

دو فصلنامه فناوری اطلاعات در طراحی مهندسی

دوره پنجم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۱

زمان انتشار: تابستان ۱۳۹۳

شاپا: ۱۷۳۵-۱۹۸۵

علمی پژوهشی

به تائید کمیسیون بررسی و تایید مجلات علمی دانشگاه آزاد اسلامی

صاحب امتیاز: دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

مدیر مسئول: دکتر حسن احمدی ترشیزی

سر دبیر: دکتر محمد علی خلیل زاده

مدیر اجرایی: دکتر مهرداد جلالی

کارشناس: مهندس مجتبی حنائی

هیات تحریریه:

دکتر حسن احمدی ترشیزی: استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

دکتر مهرداد جلالی: استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

دکتر محمد علی خلیل زاده: دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

دکتر سعید راحتی قوچانی: دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

دکتر رضا قاضی: استاد، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر خلیل مافی نژاد: استاد، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمد مولوی: استاد، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمود نقیب زاده: استاد، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر مجید وفائی جهان: استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

نشانی دبیرخانه: مشهد- قاسم آباد- دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد- دبیرخانه مجله

تلفن و نامبر: ۰۵۵-۳۶۶۲۵۰۵۱-۹۸+ پست الکترونیک: tejournal@mshdiau.ac.ir آدرس سایت: www.js.mshdiau.ac.ir/jte

چاپ: انتشارات سخن گستر

صفحه آراء: نفیسه اسماعیلی

طراح جلد: مهندس

این مجله بر اساس نامه شماره ۸۷/۱۴۶۳۷ مجوز انتشار از کمیسیون بررسی و تایید مجلات علمی دانشگاه آزاد اسلامی دارد و طبق نامه شماره ۸۷/۲۳۹۷۳۱ پروانه انتشار از هیئت انتظار بر مطبوعات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی دریافت نموده است و براساس نامه شماره ۸۷/۲۳۹۷۳۱ کمیسیون بررسی و تایید مجلات علمی دانشگاه آزاد اسلامی درجه علمی پژوهشی دارد و با کد شاپا ۱۷۳۵-۱۹۸۵ کتابخانه ملی جمهوری اسلامی شناخته می شود.

مسئولیت مطالب مندرج در مقالات به عهده نویسندگان می باشد.

نقل از این نشریه با ذکر منبع بلامانع است. استفاده از جداول نمودارها و تصاویر در سایر نشریات و کتب مستلزم کسب مجوز رسمی از نویسندگان است.

بهای نشریه: ۱۵۰۰ تومان

بسمه تعالی

سخن سردبیر

حمد و ستایش مخصوص خدایی است که نعمات و برکاتش بر اهل زمین خصوصاً صالحان و پاکان فراوان است. نور علم و آگاهی از بزرگترین الطاف خدا بر بندگان است که افزونی آن مطلوب است، مگر آنکه بدون تهذیب باشد. علمی که تحصیل آن از واجبات و نشر آن از موکدات است. علمی که به همراه عمل باشد و نفعی در آن باشد. این گونه است که مسلمانان سفارش به علم شده اند و در برهه ای از تاریخ بشریت، پیشتاز و سرآمد بوده اند.

آنچه امروز ایران اسلامی به آن امیدوار است، احیاء تمدن بزرگی است که ریشه در دین و تاریخی پر افتخار دارد و قطعاً بخش مهمی از این تمدن در جایگاه و موقعیت علمی آن است. آنچه که امروز بشارتهای آن در رشد خارق العاده تولیدات علمی کشور عزیزمان دیده می شود. عزت، اقتدار و افتخار؛ در سایه استقلال و مرجعیت علمی رقم خواهد خورد و این مهم در سایه تلاش خستگی ناپذیر محققان، دانشمندان و متخصصان میسر خواهد شد. ناگفته پیداست توسعه علمی و فناوری و حتی اقتصادی که لازمه یک تمدن پیشرفته است، مؤلفه ابزاری پیشرفته است و محتوی و متن پیشرفت در سایه بندگی و ایجاد الگوی اسلامی - ایرانی در همه ابعاد فردی و اجتماعی محقق خواهد شد.

مجله فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد با درک این موقعیت سهمی بسیار کوچک در تحقق این آرمان بلند ایفا می کند. دریافت، ارزیابی و چاپ دستاوردهای علمی بخشی از محققین کشور تحت نظارت داوران برجسته و اعضاء بلند مرتبه هیئت تحریریه، فرآیندی است که اعتبار و ارزش خاصی دارد. ارائه تولیدات علمی اساتید، دانشجویان تحصیلات تکمیلی و پژوهشگران به این مجله شروع فرآیندی است که با همکاری داوران محترم و دقت و بررسی اعضاء محترم هیئت تحریریه اعتبار می یابد.

بار دیگر از حُسن ظن و اعتماد نویسندگان مقالات تشکر نموده و آمادگی خود را برای انتشار یافته‌های اصیل و ارزشمند ایشان اعلان داشته و تلاش خود را در انجام سریع فرآیند داوری و اعلان نتیجه با همکاری داوران محترم و خوش قول، به کار بسته تا برگی بر افتخارات علمی، جامعه دانشگاهی بیافزائیم.

با امید به توفیقات الهی

دکتر محمد علی خلیل زاده

سردبیر مجله فناوری اطلاعات در طراحی مهندسی

دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

فهرست مطالب

ارائه یک مدل زمانبندی ایستای وظایف با استفاده از سوئیچینگ خطی فضای حالت

حمید طباطبایی، محمدرضا اکبرزاده توتونچی / ۱

پروتکل مسیریابی چندپرشه انرژی-کارآمد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر خوشه با استفاده از بهینه‌سازی

کلونی مورچه

کبری بهروان، رضا منصفی، حسن احمدی ترشیزی / ۲۵

سنتز، جداسازی و خالص‌سازی نانوذرات پروتئینی آلبومین و ژلاتین به عنوان حامل داروهای ضد سرطان

رابعه مهرآور، محسن جهانشاهی / ۴۳

طراحی یک کنترل‌کننده فازی بهینه بر پایه جبران‌کننده استاتیک توان راکتیو در بهبود میرایی نوسانات سیستم قدرت

حامد حسنونند، بشیر بخشیده‌زاد، بابک مظفری، سودابه سلیمانی / ۵۷

بررسی دقت داده‌های شناسگرهای حلقه‌ای در تقاطع‌های چراغدار سازگار

میعاد صابری‌کلایی، سید علی ضیایی، وهاب اسماعیلی، علی حاتمی / ۷۳

افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک با استفاده از ماشین خودکار سلولی یک بعدی

سید احسان تهامی، امیرهمایون جعفری، علی فلاح / ۸۳

جستجوی مبتنی بر برچسب در فلیکر با استفاده از ترکیب اطلاعات فوکسونومی و ویژگی‌های بصری تصویر

سید مرتضی صیادی‌کاخکی، مهرداد جلالی، سیدمحمدحسین معطر / ۱۰۹

ارائه یک مدل زمانبندی ایستای وظایف با استفاده از سوئیچینگ خطی فضای حالت

حمید طباطبایی*^۱، محمدرضا اکبرزاده توتونچی^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، گروه مهندسی کامپیوتر، قوچان، ایران
^۲دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، مشهد، ایران

چکیده:

مسئله زمانبندی وظایف در سیستمهای پردازش توزیعی از جنبه‌های متفاوتی مانند ناهمگنی پردازشگرها، تحلیل کارایی و پیچیدگی‌های محاسباتی قابل بحث است. اساساً روشهای کلاسیک در این حوزه، مانند زمانبندی مبتنی بر لیست یا جستجوی تصادفی مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی، وابسته به ارزیابی کارایی به شیوه عددی بوده و در تحلیلهای نظری با مشکلات متعدد روبرو هستند. به طور کلی این مقاله، مسئله تحلیل نظری را با استفاده از یک روش مبتنی بر مهندسی سیستم، مورد بحث قرار می‌دهد، چگونگی نگاشت زمانبندی ایستای وظایف در فضای حالت غیر خطی را به اثبات می‌رساند و پایداری آن را از طریق تحلیل نظری نشان می‌دهد. اصولاً هدف از زمانبندی استاندارد وظایف، زمانبندی ایستا در سیستم‌های چند پردازنده‌ای است که با استفاده از تبدیل مناسب، به سوئیچینگ خطی فضای حالت با قیود غیر خطی تبدیل می‌شود. سپس دو روش ارتفاع مرتب و وظایف آماده برای تعیین بردارهای کنترل ارائه می‌شود و پایداری آنها به اثبات می‌رسد. در نهایت، مقایسه نتایج حاصل از روشهای پیشنهادی با روش HEFT بر روی چند آزمون تصادفی، کارایی نسبی مدل ارائه شده را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

زمانبندی وظایف، زمانبندی ایستا، سوئیچینگ خطی فضای حالت، پایداری، سیستم‌های کنترل

* عهده دار مکاتبات

تاکنون جنبه‌های متفاوتی از زمانبندی وظایف^۱ توسط محققان مطرح شده است.

زمان بندی وظایف در بسیاری از مسائل واقعی جهان مانند مدیریت پروژه، مدیریت منابع انسانی و مالی و همچنین سیستمهای محاسباتی توزیع شده کاربرد دارد. منابع این کاربردها ممکن است دارای تواناییهای متفاوت (منابع ناهمگن) یا یکسان (منابع همگن) باشند. برای مثال پردازشگرها با توانهای پردازشی مختلف، ناهمگن می باشند. یک سیستم چندپردازنده‌ای علاوه بر سریع بودن، باید منابع موجودش را نیز به صورت مؤثر بکار گیرد. هر کاربرد، چالشهای خاص خود را به همراه دارد. برای مثال، علیرغم پیشرفت مداوم در سخت افزار کامپیوتر، همیشه کاربردهایی وجود دارند که نیازمند توان پردازشی بیشتری از میزان موجود هستند. زمانبندی نامناسب وظایف می‌تواند، به کارگیری صحیح توان یک سیستم توزیع شده را تحت تأثیر قرار دهد و به سبب ایجاد سربار مفرط ارتباطی یا بهره‌وری کم منابع، در موازی سازی، انحراف ایجاد نماید [1].

تعریف ساده‌ی زمانبندی وظایف، عبارت است از انتساب وظایف به منابع، در حالی که کل زمان اجرا در حالت برون خط^۲ حداقل شود. در زمانبندی ایستا، زمان بند وظایف از تمام ویژگی‌ها در مورد وظایف و پردازشگرها قبل از

فرایند اجرا در دنیای واقعی آگاه است؛ بنابراین، یافتن یک زمانبندی قبل از اجرا در دنیای واقعی ممکن است. این مسئله NP-complete است، مگر در دو حالت [۲]:

(۱) زمانبندی وظایف بازمان برابر بر روی تعداد دلخواهی از پردازشگرها
 (۲) زمانبندی وظیفه‌هایی با یک یا دو واحد زمانی بر روی دو پردازشگر. در این حالات، هزینه ارتباطی بین وظایف برنامه‌ی موازی در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین، زمانبندی وظایف به وسیله‌ی روشهای سنتی به طور کلی مسئله پیچیده‌ای است. تاکنون، بسیاری از محققان این مسئله را به وسیله‌ی روشهای اکتشافی و جستجوی تصادفی حل نموده اند؛ اما اغلب، قیود خاصی را در نظر گرفته اند که به غیرمؤثر بودن راهکار مورد نظر در دنیای واقعی منتهی گردیده است. ارزیابی کارایی آنها عددی می باشد و فاقد تضمین‌های نظری است؛ از اینرو، ایجاد یک مدل کلی برای مسائل زمانبندی وظایف به سبب توانایی در تحلیل دقیق نظری آن لازم به نظر می‌رسد.

در این مطالعه، شیوه‌ی مدلسازی جدیدی مبتنی بر نظریه‌ی سیستم‌های سوئیچینگ و تحلیل نظری ارائه می‌نماییم. این شیوه‌ی جدید به سبب قالب کاری مبتنی بر ریاضی، ابزارهای تحلیلی قدرتمندی را برای کسب نتایج محسوس (concrete) در زمینه‌ی زمانبندی وظایف فراهم می‌آورد. این در حالیست که اکثر الگوریتم‌های رقیب، تنها اکتشافی هستند.

1- Task Sceduling
 2- Offline

در اینجا زمانبندی ایستای وظایف وابسته به سیستم‌های چندپردازنده‌ای ناهمگن تمرکز می‌کنیم. فرض می‌شود که موازی سازی در داخل یک وظیفه وجود ندارد و تمام دستورات به صورت ترتیبی اجرا میشوند. لازم به ذکر است که "منابع" و "پردازشگرها" را با معنای یکسان در نظر گرفته و به صورت جایگزین استفاده نموده‌ایم.

۲- مسئله زمانبندی وظایف

در زمانبندی وظایف، برنامه‌ای که باید زمانبندی شود به وسیله یک گراف وظیفه نشان داده می‌شود.

تعریف ۱ (گراف وظیفه) [۶]. یک گراف وظیفه، گرافی بدون چرخه جهتدار^۱ $G = (V, E, w, c)$ است که یک برنامه کاربردی P را براساس مدل گراف نشان می‌دهد. گره‌ها (رئوس) در V معادل وظایف در P می‌باشند و یالها در E ، ارتباطات بین وظایف را نشان می‌دهند. یک یال $e_{ij} \in E$ از گره n_i به $n_j, n_j \in V$ ارتباط از گره n_i به گره n_j را نشان می‌دهد. وزن مثبت $w(n_i)$ مربوط به گره $n_j \in V$ هزینه محاسباتی آن گره را نشان می‌دهد و وزن غیرمنفی $c(e_{ij})$ مربوط به یال $e_{ij} \in E$ هزینه ارتباطی آن یال را نشان می‌دهد. قبل از اجرای یک گره، تمام گره‌های قبلی آن بایستی اجرا شده و تمام ورودی‌های آن بایستی دریافت شوند. بعد از اجرای یک گره، خروجی‌های آن به صورت همزمان برای انتقال به گره‌های بعدی آماده هستند [7].

مجموعه تمام گره‌های قبلی n_i $\{n_x \in V: e_{ix} \in E\}$ با $pred(n_i)$ نشان داده می‌شوند. گره مبداء، گره $n_i \in V$ بدون هیچگونه گره ماقبل است، $pred(n_i) = \emptyset$ و گره حفره خروج (گره sink) یک گره $n_i \in V$ بدون هیچ گونه گره بعدی است، $succ(n_i) = \emptyset$.

زمانبندی یک DAG فرآیند اختصاص دادن هر گره به یک منبع و تعیین زمان آغاز آن است. برای توصیف یک زمانبندی S از یک $DAGG = (V, E, w, c)$ بر روی یک سیستم هدف شامل یک مجموعه R از منابع اختصاصی، واژه‌های $t_s(n_i, r_j)$ و $w(n_i, r_j)$ به ترتیب زمان آغاز و طول زمان اجرای گره $n_i \in V$ بر روی منبع $r_j \in R$ را نشان می‌دهند. بنابراین زمان پایان یک گره به وسیله $t_f(n_i, r_j) = t_s(n_i, r_j) + w(n_i, r_j)$ محاسبه می‌شود. $resource(n_i)$ منبع r که به آن n_i اختصاص داده شده است را نشان می‌دهد. برای رسیدن به یک زمانبندی مناسب، دو شرط وجود دارد که بایستی برای تمام گره‌ها در G برآورده شوند [7].

شرط ۱ (قید منبع اختصاصی). در هر زمان به هر منبع حداکثر یک وظیفه اختصاص داده می‌شود. به عبارت دیگر، برای هر دو گره $n_j, n_j \in V$ اگر:

$$resource(n_i) = resource(n_j) \quad (1)$$

$$r_j \Rightarrow \begin{cases} t_f(n_i, r_j) \leq t_s(n_i, r_j), \text{ or} \\ t_f(n_i, r_j) \leq t_s(n_i, r_j) \end{cases}$$

1- DAG = Directed Acyclic Graph

شرط ۲ (قید تقدم گره)

برای

$$n_i, n_j \in V, e_{ij} \in E, r_k \in R, \\ t_s(n_j, r_k) \geq t_f(e_{ij}), (2)$$

که در آن

$$t_f(e_{ij}) = t_f(n_i) +$$

$$\begin{cases} 0 & \text{if resource}(n_i) = \text{resource}(n_j) \\ c(e_{ij}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

که $t_f(e_{ij})$ زمان پایان ارتباط بین وظیفه i و وظیفه j است و $t_f(n_i)$ زمان پایان گره n_i است.

یک مدل زمانبندی دارای سه جزء اساسی شامل برنامه کاربردی، محیط محاسباتی هدف، و یک معیار کارایی برای زمانبندی می باشد

[8-11]. این مدل که در زیر تعریف می شود

شامل یک تعمیم برای منابع ناهمگن است.

یکی از مهمترین ویژگیهای یک DAG، رتبه^۱ روبه بالا^۱ است که به صورت زیر محاسبه می شود:

تعریف ۲ (رتبه^۲ روبه بالا). رتبه^۲ روبه

بالای $n_i \in V$ به صورت بازگشتی به وسیله رابطه زیر تعریف می شود:

$$rank_u(n_i) = \overline{w}_{n_i} + \max_{n_j \in succ(n_i)} (\overline{c}(e_{ij}) + rank_{unj}) \quad (4)$$

که در آن $succ(n_i)$ مجموعه ی گره های مابعد بلافاصله وظیفه^۲ n_i ، میانگین هزینه ارتباطی از یال (ij) و \overline{w}_{n_i} میانگین هزینه محاسباتی از

وظیفه^۲ n_i است. برای وظیفه^۲ خروج n_{exit} (گره sink)، رتبه رو به بالا برابر است با:

$$rank_u(n_{exit}) = \overline{w}_{exit} \quad (5)$$

مسئله زمانبندی وظایف دارای شرایط و

فرض های زیر است:

• وظایف دارای وابستگی به یکدیگر هستند که بوسیله ی DAG نشان داده می شود.

• بین وظایف در DAG هزینه ی ارتباطی وجود دارد (هزینه ارتباطی هنگامی که وظایف وابسته بروی پردازشگرهای متفاوت زمانبندی می شوند، در نظر گرفته می شود).

• محیط مسئله ایستاست و تمام اطلاعات در ابتدا مشخص است.

• پردازشگرها ناهمگن هستند و به صورت توپولوژی کاملاً متصل به یکدیگر متصل شده اند.

• یک سیستم ارتباطی مستقل وجود دارد که پیامهای ارتباطی بین پردازشگرها را انتقال می دهد.

۳- کارهای مرتبط

زمانبندی سیستمهای توزیع شده چالشی جدید در حوزه مسئله زمانبندی وظایف است که حجم قابل توجهی از مطالعات را در سالهای اخیر به خود اختصاص داده است. عموماً، روشهای موجود بدون در نظر گرفتن جنبه مدلسازی فقط به حل نمودن مسئله زمانبندی وظایف پرداخته اند. روشهای سنتی که برای حل این مسئله استفاده می شوند می توانند به طور کلی به دو دسته اکتشافی (زمانبندی مبتنی بر لیست) و جستجوی تصادفی (مانند الگوریتم ژنتیک،

simulated annealing و PSO) تقسیم‌بندی شوند. Kong و همکاران (۲۰۰۸) PSO را با زمانبندی مبتنی بر لیست ترکیب کردند و یک الگوریتم PSO دیگر را برای زمانبندی وظایف بر روی چندپردازنده‌ها توسعه دادند. برخلاف بیشتر الگوریتم‌های اکتشافی مبتنی بر تکثیر که سعی در تکثیر تمام گره‌های اجداد ممکن یک گره افزوده شده می‌نمایند، shin و همکاران (۲۰۰۸) یک الگوریتم مبتنی بر تکثیر جدید پیشنهاد نمودند که برخی گره‌ها را بدون تکثیرهای افزونه براساس بعضی پارامترها مانند زمان آغاز و زودترین شکاف آزاد، تکثیر می‌نماید. به یک تکثیر هنگامی افزونه گفته می‌شود که به بهبودی در کارایی یا کاهش در طول زمانبندی یک پردازشگر مفرد منجر نگردد. روش آنها دارای دو گام است. در گام اول، لیست اولویت وظایف ساخته می‌شود؛ و در گام دوم، بهترین پردازشگر ممکن، که پردازشگری است که زودترین زمان آغاز را اجازه می‌دهد، انتخاب می‌شود تا وظیفه با بالاترین اولویت را اجرا نماید. Kuo و همکاران (۲۰۰۸) makespan [13] را در مسئله زمانبندی flow-shop حداقل نموده و PSO ترکیبی جدیدی با نام HPSO را معرفی نمودند. آنها شیوه یکدینگ کلید-تصادفی (RK)، شیوه افزایش (Enhancement) فردی (IE)، و PSO را ترکیب نمودند. Choi و همکاران (۲۰۰۸) ۱۴ کارهای دارای تأخیر در یک زمانبندی flow shop ترکیبی دو مرحله‌ای را حداقل نمودند. هر کار از طریق دو گام فرآوری به طوری سری پردازش می‌شود

که هر یک دارای چندین ماشین موازی یکتا می‌باشند. برای حل مسئله، یک الگوریتم انشعاب و تحدید، که روشی برای به دست آوردن حدود پایین و بالا و همچنین بدست آوردن ویژگی‌های غالب برای کاهش فضای جستجو است، پیشنهاد شده است که راه‌های بهینه را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، الگوریتم‌های اکتشافی دو مرحله‌ای پیشنهاد شده‌اند تا راه‌ها را برای مسائل بزرگ در یک مقدار قابل قبول از زمان محاسباتی بیابند. Yoo (۲۰۰۹) ۱۰ بوسیله یک الگوریتم ژنتیک چند هدفه (MOGA) کل تاخیر و تعداد کل پردازشگرهای مورد استفاده در زمانبندی DAG‌های بلادرنگ نرم را بر روی سیستم‌های چندپردازنده‌ای همگن حداقل می‌نماید. برای ارزیابی کروموزم‌ها در یک جمعیت، Yoo به وسیله‌ی رهیافت تطبیق وزن (AWA) مسئله چند هدفه را به مسئله تک هدفه تبدیل نمود. در این رهیافت، اطلاعات مفید از جمعیت فعلی برای تنظیم مجدد وزنهای هدف استفاده می‌شود تا یک فشار جستجو به سمت یک نقطه ایده آل مثبت به دست آید. Hwang و همکاران (۲۰۰۸) ۱۵ با استفاده از الگوریتم ژنتیک، یک DAG را بر روی سیستم چندپردازنده‌ای زمانبندی نمودند تا بهترین زمانبندی را با حداقل makespan بدست آورند. آنها مکانیزم کدینگ جدیدی با یک کروموزوم چند وظیفه‌ای طراحی نمودند که از نمایش اولویت استفاده می‌نماید. نمایشی که چند کروموزوم مبتنی بر اولویت نامیده می‌شود (PMC). Shahul و Sinnen (۲۰۱۰) ۱۱ از

الگوریتم A^* برای زمانبندی وظایف بر روی پردازنده‌های همگن به صورت بهینه استفاده نمودند. A^* یک الگوریتم جستجو با ارزیابی اولین و بهترین رکورد می‌باشد و تضمین می‌نماید تا راه‌های بهینه را با یک تابع هزینه قابل تصدیق و سازگار بیابد. آنها یک تابع هزینه مبتنی بر سه مؤلفه: ۱- حد پایین محاسبات، ۲- زمان بیکاری و ۳- زمان آمادگی داده پیشنهاد کردند. آنها از یک تکنیک هرس برای حذف نمودن زیر درخت‌های نامناسب در فضای جستجو استفاده کردند.

در برخی از مقالات مانند (2010)[19] و (2010)[21]، نویسندگان یک راه حل اولیه غیر تصادفی را فرض نمودند. در (2010)[19] زمانبندی، یک رهیافت مبتنی بر اکتشاف را به کار می‌گیرد تا به سرعت زمانبندی‌های مؤثری را بیابد؛ در حالی که احتمال اینکه منابع در طول گام تولید یک زمانبندی، بیکار شوند را کاهش دهد. این موضوع برای GA راه حل آغازین قابل قبولی را فراهم می‌آورد در مقایسه با آغاز از یک جمعیت اولیه‌ای که به طور کامل تصادفی تولید شده است، Zamfirache و همکاران (2011)[21] یک مکانیزم زمانبندی توسعه دادند که با یک الگوی زمانبندی اولیه که به وسیله یک الگوریتم GA تولید شده است شروع می‌شود و سپس به منظور تطبیق الگوی زمانبندی با محیط، تغییرات در منابع محاسباتی در طول زمان را بعد از هر رخداد زمانبندی در نظر می‌گیرد. Long و همکاران (2011)[22] یک قالب شبیه‌سازی توزیع شده

مبتنی بر عامل و یک روش زمانبندی بهینه شده توزیع شده با اطلاعات جزئی را پیشنهاد نمودند. زمانبندی، فاکتور تنظیم بار را نیز در نظر می‌گیرد. یکی از بهترین الگوریتم‌های اکتشافی شناخته شده در مسئله زمانبندی وظایف روش HEFT است که در [3] معرفی شده است. این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر برحسب میانگین نرخ طول زمانبندی و تسریع به صورت قابل ملاحظه‌ای بهتر عمل می‌نماید [20, 3]. بنابراین این روش را به عنوان یک الگوریتم محک در این مقاله مورد استفاده قرار می‌دهیم. شکل (۱)

الگوریتم HEFT را نشان می‌دهد.

- 1: ► 1. Part:
- 2: Sort nodes $n_i \in V$ into list L , according to upward rank in descending order.
- 3: ► 2. Part:
- 4: for each $n \in L$ do
- 5: Find processor $r_j \in R$ that finish time of n on it is lower than other processors.
- 6: Schedule n on r_j .

شکل (۱): الگوریتم HEFT

همانگونه که نشان داده شده است، HEFT دارای دو بخش است. در اولین بخش، HEFT گره‌ها را براساس رتبه‌ی روبه بالا مرتب می‌نماید. در دومین بخش، HEFT وظیفه با بالاترین مقدار رتبه‌ی روبه بالا را در هر گام انتخاب می‌نماید و وظیفه انتخابی را بر روی پردازشگری که زمان پایان آن را حداقل می‌نماید، زمانبندی می‌نماید. این گام تا زمانی که تمام وظایف بر روی پردازشگرها زمانبندی شوند، تکرار می‌شود. پیچیدگی زمانی اولین بخش

الگوریتم HEFT برای مرتب سازی وظایف $O(T \log T)$ است و پیچیدگی زمانی دومین بخش، $O(T.M)$ است، به سبب خطوط ۴ و ۵ در شکل (۲) که T تعداد وظایف و M تعداد پردازشگرها است. به طور کلی پیچیدگی زمانی الگوریتم HEFT برابر است با $O(T.M)$.

۴- مقدمه‌ای بر سیستم‌های سوئیچینگ

سیستم سوئیچینگ، یک سیستم متغیر در زمان است که شامل تعدادی متناهی از زیرسیستم‌ها و یک قانون منطقی است که سوئیچینگ بین این زیرسیستم‌ها را هماهنگ می‌نماید. به شکل ریاضی، این زیرسیستم‌ها معمولاً توسط یک مجموعه از معادلات دیفرانسیل اندیس دار یا معادلات تفاضلی توصیف می‌شوند. در این مقاله، بر روی سیستم‌های سوئیچینگ که زیرسیستم‌هایشان، سیستم‌هایی با یک مجموعه از سیستم‌های ثابت خطی گسسته زمانی (LTI) هستند، تمرکز می‌نماییم [4]:

$$X[k+1] = A_i X[k] + B_i U[k], i \in \{1, 2, 3, \dots, N\} \quad (6)$$

$$Y[k] = C_i X[k] + D_i U[k], i \in \{1, 2, 3, \dots, N\} \quad (2)$$

در رابطه فوق، $x[k]$ متغیر وضعیت در گام k و A_i, B_i, C_i, D_i ماتریس‌های زیرسیستم i ام از فضای حالت هستند، و Z^+ برای نشان دادن اعداد غیر منفی استفاده می‌شود. مجموعه متناهی Q یک مجموعه‌ی اندیس است و برای مجموعه‌ی حالت‌های گسسته استفاده می‌شود. قانون منطقی

که سوئیچینگ را بین این زیرسیستم‌ها هماهنگ می‌نماید، سیگنال‌های سوئیچینگ را تولید می‌کند، که معمولاً به عنوان کلاس‌هایی از نگاشتهای ثابت تکه‌ای $Q \rightarrow Z^+$ توصیف می‌شوند. منظور از نگاشت ثابت تکه‌ای این است که سیگنال سوئیچینگ $\sigma(k)$ تعدادی متناهی از ناپیوستگی‌ها را بر روی هر بازه متناهی از Z^+ را در اختیار دارد. این نیازمندی همیشه بوسیله‌ی سیستم‌های سوئیچینگ گسسته زمانی برآورده می‌گردد. زیرا یک حد آستانه‌ای حداقل زمان انتظار در اجتناب از تصادم‌های^۱ ممکن در سیگنال سوئیچینگ کمک می‌نماید. تصادم در سیستم‌های سوئیچینگ زمانی اتفاق می‌افتد که سیگنال سوئیچینگ از یک زیرسیستم به دیگری به سرعت اتفاق افتد، به گونه‌ای که حداقل زمان مورد نیاز برای ماندن سیستم در یک زیرسیستم خاص برآورده نشود [4].

معمولاً معادله فضای حالت سیستم‌ها را به یک مدل سیستم سوئیچینگ شکل‌دهی مجدد می‌نماییم، زیرا با استفاده از این شکل، مسئله تعیین بردارهای کنترل به یک مسئله بهینه سازی تبدیل می‌شود که برای یک کنترلگر سوئیچینگ مناسب جستجو می‌نماید [5]. شکل (۲) مثالی را از سیستم سوئیچینگ خطی و فرموله بندی آن نشان می‌دهد.

نشده است). از اینرو، هر عنصر $x_j[k]$ متناظر با فرآیند باقیمانده از یک وظیفه‌ی داده شده‌ی z در k امین گام است.

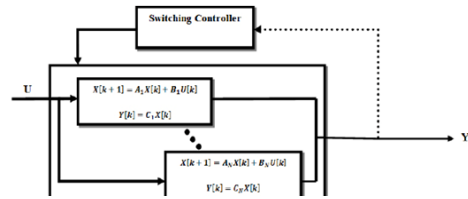
$$X[k] = [x_1[k] \ x_2[k] \ \dots \ x_T[k]]' \quad (5)$$

که در آن $(T=|V|)$ و تمام عناصر $X[k]$ معمولاً به 1 مقداردهی شده‌اند.

• بردار کنترل

بردار کنترل $U[k]$ ماتریسی $M \times T$ است، که $M=|R|$ ، $T=|V|$ و وضعیت اجرای هر وظیفه و هر منبع در k امین گام زمانی را نشان می‌دهد. هر عنصر در این ماتریس بین 0 و 1 است و توان پردازشی موجود هر منبع را نشان می‌دهد. ویژگیهای این ماتریس این است که در هر گام حداکثر یک عنصر غیرصفر در هر سطر و هر ستون وجود دارد. عنصر $u_{i,j}[k]$ در k امین گام زمانی درصد بهره‌وری منبع i در اجرای وظیفه‌ی j را نشان می‌دهد. اگر $u_{i,j}[k]=1$ گفته می‌شود که وظیفه‌ی j در k امین گام زمانی، کاملاً بر روی پردازشگر i اجرا شده باشد. یک قید مهم در بردار کنترل این است که تمام وظایف، که به صورت همزمان در گام زمانی k ام اجرا می‌شوند، باید از یکدیگر مستقل باشند. به عبارت دیگر، هر وظیفه بایستی بتواند تنها بر روی یک منبع پردازش شود، و هر منبع می‌تواند حداکثر یک وظیفه را در هر زمان پردازش نماید.

• قیود در طراحی کنترلگر



شکل (۲): سیستم سوئیچینگ خطی

۵- مدل زمانبندی پیشنهادی در فضای حالت

حل مسائل زمانبندی وظایف ناهمگن به وسیله‌ی رهیافت‌های سنتی مدلسازی/جستجو به طور کلی NP-complete می‌باشند. از اینرو، یک شیوه‌ی مدلسازی متفاوت مبتنی بر شیوه‌ی فضای حالت غیرخطی در اینجا پیشنهاد شده است. فرض کنید یک شکل کلی از یک سیستم غیرخطی در زمان گسسته:

$$\begin{aligned} X[(k+1)\Delta T] &= f[X[k\Delta T], U[k\Delta T], k\Delta T] \\ Y[k\Delta T] &= g[X[k\Delta T], U[k\Delta T], k\Delta T] \end{aligned} \quad (4)$$

$$k \in \{1, 2, 3, \dots\}, \quad X \in \mathbb{R}^n, Y \in \mathbb{R}^m, U \in \mathbb{R}^m$$

که در آن f و g بردار غیرخطی توابع، X یک بردار از متغیرهای وضعیت، U بردار کنترل، Y خروجی سیستم و ΔT طول گامهای زمانی می‌باشند. در اینجا پیشنهاد می‌نماییم تا زمانبندی وظایف را در شکل غیرخطی فوق مدل نماییم، معادله (۷). اجزاء مختلف این مدل در زیربخشهای بعدی نشان داده شده‌اند.

۱-۱- تعاریف اولیه در مدل پیشنهادی

• متغیرهای وضعیت

متغیرهای وضعیت در این مدل متناظر با یک بردار (X) است که اندازه‌ی آن برابر با تعداد وظایف است، و هر عنصر دارای یک مقدار بین 0 (وظیفه کامل شده است) و 1 (اجرای وظیفه آغاز

قید هزینه ارتباطی: اگر دو وظیفه با رابطه تقدم بر روی پردازشگرهای مختلف زمانبندی شوند، هزینه ارتباطی غیرصفر در نظر گرفته می شود.

قید تکمیل وظیفه: پس از تکمیل اجرای وظیفه، منبع متناظر آزاد می گردد. به عبارت دیگر،

$$\forall i, j \text{ if } x_j[k] = 0 \Rightarrow u_{i,j}[k+1] = 0 \quad (11)$$

قید تمامیت: از آن جایی که یک وظیفه، یک منبع را تا زمانی که به طور کامل اجرا نشود، آزاد نمیکند، تمام وظیفه های داده شده باید منتسب شوند و کامل شوند.

$$\forall j \exists i \exists k u_{i,j}[k] \neq 0 \quad (12)$$

۵-۲- تابع سیستمی غیرخطی f

تابع f در پویایی سیستم، معادله ی (۶)، پارامترهای تعریف کننده ی سیستم مانند بردار متغیرهای وضعیت X ، بردار کنترل U ، گام زمانی k ، و همچنین DAG را مرتبط می نماید. برای مسئله ی زمانبندی وظایف، f در شکل زمان گسسته به صورت زیر تعریف می شود،

$$X[k+1] = \max \left(0, X[k] - \Delta T * \text{Diag} \left(\begin{bmatrix} 1 \\ \theta_{ij} \end{bmatrix} * U \right) \right) \quad (13)$$

که در آن ΔT گام زمانی بر حسب ثانیه، Diag قطر اصلی ماتریس A و $\theta = [\theta_{ij}]_{T * M}$ است، که در آن θ_{ij} زمان محاسباتی وظیفه ی i بر روی پردازشگر j را نشان میدهد. عملگر \max برای تضمین منفی نشدن متغیر وضعیت منفی انتخاب

تحلیل و طراحی پایداری الگوریتم کنترل باید قیود مسئله را در نظر بگیرد. این قیود به صورت زیر خلاصه می شود:

قید مقداره ی اولیه: بردار وضعیت اولیه به یک ستون از یک برابر می شود. در ابتدا تمام وظایف نیاز دارند اجرا شوند.

$$X[0] = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T \quad (6)$$

تمام عناصر بردار کنترل U در بازه ی $[0,1]$ انتخاب می شوند.

$$\forall i, j \ 0 \leq u_{i,j} \leq 1 \quad (7)$$

قید استقلال: در هر ستون و هر سطر از بردار کنترل U ، حداکثر یک عنصر غیر صفر وجود دارد. به عبارت دیگر، در هر زمان حداکثر یک منبع اختصاص داده شده به هر وظیفه وجود دارد. و همچنین در هر زمان حداکثر یک انتساب داده شده به یک منبع وجود دارد.

$$\text{if } \exists u_{i,j} \neq 0 \Rightarrow \{ \forall j' \neq j u_{i,j'} = 0, \forall i' \neq i u_{i',j} = 0 \} \quad (8)$$

قید گره های ماقبل: براساس رابطه ی تقدم در DAG، هر وظیفه می تواند تنها بعد از اجرای گره (های) ماقبلش اجرا شود. به عبارت دیگر

$$\text{if } \exists u_{i,j} \neq 0 \Rightarrow (\forall r \in \text{pred}(n_j) x_r = 0) \quad (9)$$

قید استقلال وظایف همروند: براساس رابطه ی تقدم در DAG، تمام وظایفی که به صورت همروند اجرا می شوند، از یکدیگر مستقل هستند. به عبارت دیگر،

$$\forall i, j, r, \text{ if } (u_{i,j} \neq 0 \ \& \ u_{r,s} \neq 0) \Rightarrow (\mu_{j,s} = 0 \ \& \ \mu_{s,j} = 0) \quad (10)$$

شده است. به عبارت دیگر، از آنجا که زمان اجرای هر وظیفه متفاوت است، برخی از وظایف ممکن است قبل از دیگر وظایف در طول بازه‌ی گسسته زمانی یکسان کامل شوند؛ لذا لازم است تا از عملگر max استفاده نماییم. همچنین، هزینه ارتباطی بین وظایف (برروی پردازشگر های یکسان و یا مختلف) به وسیله μ نشان داده شده است که یک ماتریس T^*T است. هزینه ارتباطی در فرآیند تعیین بردارهای کنترل فرض می‌شود. این بردارهای کنترل هنگامی که ارتباطات بین دو وظیفه در حال انجام است، یکسان باقی می‌مانند. به محض تکمیل ارتباط، پردازشگرها اجرای عملیاتشان را همانگونه که توسط بردار کنترل دستور داده می‌شود، ادامه می‌دهند. برای مثال، اگر U^l ، l امین بردار کنترل، در گام بازه $[a, b]$ اعمال شود، سپس بردار کنترل U^{l+1} قابل اعمال است اگر تمام اطلاعات آن دریافت گردد. بنابراین U^{l+1} در گام بازه‌ی $[c, d]$ که $c \geq b$ اعمال می‌شود. در طول گامهای b تا c ، بردار کنترل جاری، همچنان بردار کنترل قبلی U^l است، که تأثیری بر وضعیت سیستم ندارد.

۵-۳- تابع خطی f_L

به منظور ساده‌سازی یک مدل پیچیده و استفاده کردن از نتایج نظری گسترده در زمینه سیستم‌های خطی، معادلات غیرخطی معمولاً به معادلات خطی تبدیل می‌شوند [۱۶]. سیستمهای کنترل خطی برای طراحی ساده تر هستند، اما این

تبدیل معمولاً به نتایج تقریبی منتهی می‌گردد که ممکن است غیرقابل قبول باشند. در اینجا، ساختن سیستم‌های کنترل خطی برای یافتن کنترلگرهای سوئیچینگ خطی مناسب (مسئله بهینه سازی) استفاده شده است. قیود غیرخطی به صورت مجزا از کنترلگر سوئیچینگ خطی در نظر گرفته شده اند؛ از این رو مدل حاصل دقیق است. به وسیله ساده سازی مدل به یک کنترلگر سوئیچینگ خطی، این قیود به صورت مؤثری فضای جستجو برای کنترلگرهای مناسب را "کاهش می‌دهد" [۵]. به صورت ویژه‌تر، به وسیله در نظر گرفتن تمام غیرخطی بودن‌ها به عنوان قیود غیرخطی در فرآیند طراحی کنترلگر، یک تابع خطی f_l برای هم‌تای غیرخطی آن f جایگزین نمودیم. مدل حاصل، سپس آن را به یک مسئله کنترل خطی تبدیل می‌کند. به همین سبب، عملگرهای \max و Diag بایستی از معادله (۱۶) حذف شوند. زیربخشهای بعد این مسئله را با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار می‌دهد.

۵-۳-۱- حذف عملگر Diag و ساده سازی

به وسیله نظریه زیر، عملگر Diag از ضرب دو ماتریس کلی حذف می‌شود.

نظریه ۴- شکل خطی از $\text{Diag}(Q \times U)$ ، که Q یک ماتریس $a \times b$ و U یک ماتریس $b \times a$ هستند، به صورت زیر است:

$Diag(Q \times U)$

$$= \begin{bmatrix} q_{11} & \dots & q_{1b} & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & & q_{21} & \dots & q_{2b} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & & 0 & & q_{31} & \dots & q_{3b} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ u_{31} \\ \vdots \\ u_{b1} \\ u_{12} \\ u_{22} \\ u_{32} \\ \vdots \\ u_{b2} \\ \vdots \\ u_{1a} \\ u_{2a} \\ u_{3a} \\ \vdots \\ u_{ba} \end{bmatrix} \quad (17)$$

اثبات- میتوانیم $Q_{a \times b}$ و $U_{b \times a}$ را به صورت بردار نشان دهیم:

$$Q_{a \times b} = \begin{bmatrix} \bar{q}^1 \\ \bar{q}^2 \\ \vdots \\ \bar{q}^i \\ \vdots \\ \bar{q}^a \end{bmatrix}, \bar{q}^i = [\bar{q}_1^i \quad \bar{q}_2^i \quad \dots \quad \bar{q}_b^i] \quad (18)$$

$$U_{b \times a} = [\bar{u}^1 \quad \bar{u}^2 \quad \dots \quad \bar{u}^j \quad \dots \quad \bar{u}^a], \bar{u}^j = \begin{bmatrix} \bar{u}_1^j \\ \bar{u}_2^j \\ \vdots \\ \bar{u}_b^j \end{bmatrix} \quad (19)$$

بنابراین، می‌توانیم Q را به عنوان یک بردار با a سطر و یک ستون و همچنین، U را به عنوان یک بردار با

یک سطر و b ستون بنویسیم. می‌توانیم بنویسیم:

$$Diag(Q \times U) = Diag \left(\begin{bmatrix} \bar{q}^1 \\ \bar{q}^2 \\ \vdots \\ \bar{q}^i \\ \vdots \\ \bar{q}^a \end{bmatrix} * [\bar{u}^1 \quad \bar{u}^2 \quad \dots \quad \bar{u}^j \quad \dots \quad \bar{u}^a] \right) \quad (20)$$

$$= Diag \left(\begin{bmatrix} \bar{q}^1 \bar{u}^1 & \dots & \bar{q}^1 \bar{u}^a \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{q}^a \bar{u}^1 & \dots & \bar{q}^a \bar{u}^a \end{bmatrix} \right)$$

$$= [\bar{q}^1 \bar{u}^1 \quad \bar{q}^2 \bar{u}^2 \quad \dots \quad \bar{q}^a \bar{u}^a]$$

همچنین می‌توانیم بنویسیم:

$$\begin{aligned}
 & \text{Diag}(Q \times U) \\
 & = \begin{bmatrix} q_{11} & \dots & q_{1b} & & 0 & & & & & & & 0 \\ & 0 & & q_{21} & \dots & q_{2b} & & & & & & 0 \\ & 0 & & 0 & & 0 & q_{31} & \dots & q_{3b} & 0 & & 0 \\ & \cdot & & \cdot & & \cdot & 0 & & & & & \cdot \\ & \cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot & & & & & \cdot \\ & \cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot & & & & & \cdot \\ & 0 & & \cdot & & \cdot & \cdot & & & 0 & q_{a1} & \dots & q_{ab} \end{bmatrix} \quad (21) \\
 & \quad \quad \quad \cdot \begin{bmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ u_{31} \\ \vdots \\ u_{b1} \\ u_{12} \\ u_{22} \\ u_{32} \\ \vdots \\ u_{b2} \\ \vdots \\ u_{1a} \\ u_{2a} \\ u_{3a} \\ \vdots \\ \vdots \\ u_{ba} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

بر اساس نظریه ۴، معادله (۱۶) تبدیل می‌شود به

$$\begin{aligned}
 & X[k+1] \\
 & = \max \left(0, X[k] - \Delta T * \begin{bmatrix} \bar{q}^1 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \bar{q}^2 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & \bar{q}^3 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \bar{q}^T \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \bar{u}^1 \\ \bar{u}^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \bar{u}^T \end{bmatrix} \right) \quad (22)
 \end{aligned}$$

	Task 1	Task 2	Task 3
Resource 1	1	0	0
Resource 2	0	1	0
Resource 3	0	0	1

شکل (۳): یک بردار کنترل ممکن

طول زمان اجرای هر وظیفه فرض می‌شود

باشد:

۵-۳-۲- خطی سازی عملگر max

اینجا، عملگر max را به وسیله در نظر گرفتن یک قید بر روی طراحی بردارهای کنترل حذف می‌کنیم. این فرآیند به وسیله مثال زیر نشان داده شده است.

مثال- اگر سه منبع و همچنین سه وظیفه مستقل وجود داشته باشد، یک بردار کنترل ممکن به صورت زیر را در نظر می‌گیریم:

طول زمان اجرای اولین وظیفه بر روی اولین منبع ۱۰ واحد است.

طول زمان اجرای دومین وظیفه بر روی دومین منبع ۵ واحد است.

طول زمان اجرای سومین وظیفه بر روی سومین منبع ۱۲ واحد است.

سپس، ممکن است تا بردار کنترل شکل ۳ را به صورتی که در شکل (۴) است به چندین بردار کنترل تجزیه شود.

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{(الف)} & \text{(ب)} & \text{(پ)} \end{matrix}$$

شکل (۴): الف) بردار کنترل ۱، ب) بردار کنترل ۲،

پ) بردار کنترل ۳

به عبارت دیگر، ما وظایف متناظر را در بردار کنترل در یک ترتیب صعودی از طول زمان اجرا، از صفر خارج می‌نماییم. بوسیله ی این روش، اگر اجرای یک وظیفه پایان یابد، منبع متناظرش آزاد میشود، و عناصر متناظرش از متغیرهای وضعیت منفی نمیشوند. با در نظر گرفتن این قید جدید بر روی بردار کنترل، میرسیم به یک مدل خطی به صورت زیر:

$$X[k+1] = X[k] - \Delta T \begin{bmatrix} \bar{q}^1 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \bar{q}^2 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \bar{q}^3 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \bar{q}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{u}^1 \\ \bar{u}^2 \\ \dots \\ \bar{u}^T \end{bmatrix} \quad (22)$$

۴-۵- مدل سوئیچینگ در مسائل زمانبندی

وظایف

در معادله (۲۳)، U یک ورودی خطی با قیود غیرخطی است. اکنون مناسب است تا یک شیوه ساده برای طراحی کنترلگر بیابیم. با تبدیل این مدل به یک مدل سوئیچینگ فضای خطی می‌توانیم روشهای متفاوت بهینه سازی/طراحی را برای حل آن استفاده نماییم.

اگر معادله (۲۳) به صورت زیر نوشته شود:

$$X[k+1] = A_i X[k] + B_i U[k], \quad (24)$$

$$i \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$$

سپس در مدل سوئیچینگ،

$$(\forall s = 1, 2, 3, \dots, S, i = sA = A_i, B = B_i) \quad (25)$$

$$X[k+1] = AX[k] + BU_s$$

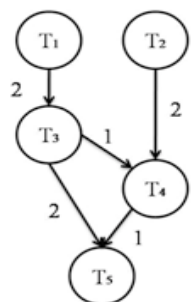
که S تعداد زیرسیستم‌ها است. حداقل مقدار زیرسیستم‌های S برابر با تعداد سطوح در DAG است؛ به سبب اینکه در هر سطح وظایف مستقل از یکدیگر هستند؛ لذا آنها می‌توانند احتمالاً به صورت موازی اجرا شوند. حداکثر تعداد زیرسیستم‌ها برابر با تعداد وظایف در DAG است؛ در هر شکاف زمانی، تنها یک وظیفه اجرا می‌شود. بنابراین ما میتوانیم بنویسیم:

$$\text{Number of Levels of DAG} \leq S \quad (26)$$

$$\leq \text{Number of Tasks}$$

سیگنال سوئیچینگ یک سیگنال گسسته است که تعیین می‌نماید کدام زیرسیستم در k امین گام فعال است. طراحی کنترلگر معادل، تعیین سیگنال

سوئیچینگ و سپس یافتن مقادیر مناسب برای اندیس های سوئیچینگ است.



(الف)

ماتریس θ		
	P ₁	P ₂
T ₁	5	8
T ₂	11	15
T ₃	4	7
T ₄	6	7
T ₅	1	2

(ب)

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
$0 \leq k < 8 : U_1$	P ₁	0	1	0	0	0
	P ₂	1	0	0	0	0
$8 \leq k < 11 : U_2$	P ₁	0	1	0	0	0
	P ₂	0	0	1	0	0
$11 \leq k < 15 : U_3$	P ₁	0	0	0	0	0
	P ₂	0	0	1	0	0
$15 \leq k < 16 : U_4$	P ₁	0	0	0	0	0
	P ₂	0	0	0	0	0

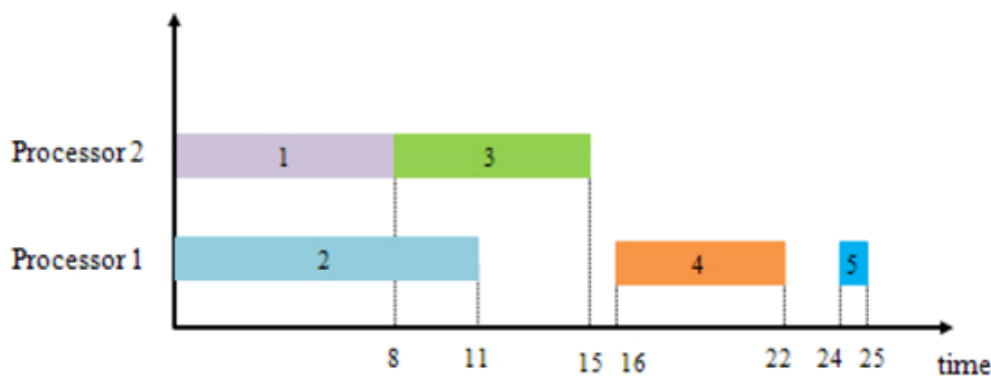
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
$16 \leq k < 22 : U_5$	P ₁	0	0	0	1	0
	P ₂	0	0	0	0	0
$22 \leq k < 24 : U_6$	P ₁	0	0	0	0	0
	P ₂	0	0	0	0	0
$24 \leq k < 26 : U_7$	P ₁	0	0	0	0	1
	P ₂	0	0	0	0	0
$26 \leq k : U_8$	P ₁	0	0	0	0	0
	P ₂	0	0	0	0	0

(پ)

شکل (۵): یک مثال عددی: (الف) DAG، (ب) جدول زمانی، (پ) بردارهای کنترل

جدول (۱): مقادیر متغیر وضعیت

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X ₁	1	0.875	0.75	0.625	0.5	0.375	0.25	0.125	0	0	0	0	0
X ₂	1	0.909	0.818	0.727	0.636	0.545	0.454	0.363	0.272	0.181	0.09	0	0
X ₃	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.857	0.714	0.571	0.428
X ₄	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X ₅	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
k	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
X ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X ₃	0.285	0.142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X ₄	1	1	1	1	0.833	0.666	0.499	0.332	0.165	0	0	0	0
X ₅	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0



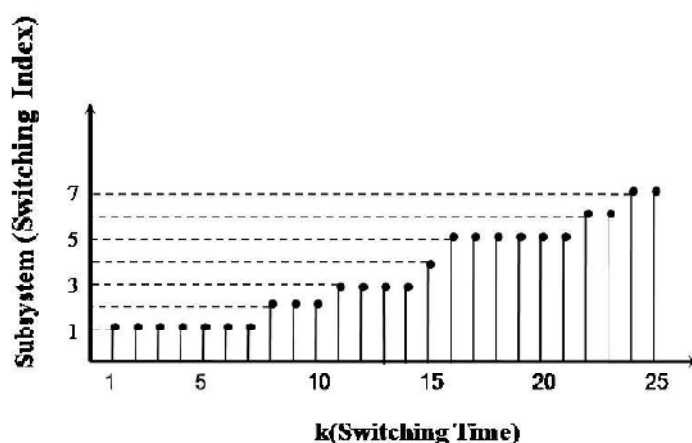
شکل (۶): نمودار گانت مثال عددی

بنابراین هر عنصر بردار کنترل، U ، صفر یا یک است. DAG و ماتریس‌های θ در مثال شکل (۵) نشان داده شده‌اند. در این مثال، بردارهای کنترل را به صورت دستی طراحی می‌کنیم. همانگونه که در جدول فوق نشان داده شده است، در ۲۵امین گام ($\text{time}=25$) تمام عناصر X صفر هستند؛ بنابراین کل زمان اجرا برابر با ۲۵ است. شکل (۶)، نمودار گانت این مسئله را نشان می‌دهد. جدول ۱ مقادیر متغیر وضعیت را براساس (16) در گام $k \in [0, 25]$ نشان می‌دهد.

۵-۵- تبدیل مسئله‌ی زمانبندی وظایف به

شکل فضای حالت

در این بخش، ابتدا یک مسئله‌ی زمانبندی داده شده را به شکل فضای حالت تبدیل می‌کنیم. سپس یک شیوه‌ی سیستماتیک برای تعیین بردارهای کنترلی که DAG ها را با حداقل کل زمان اجرا زمانبندی می‌نمایند، ارائه می‌نماییم. ما فرض می‌کنیم که تمام منابع به طور کامل موجود بوده و می‌توانیم تمام توان پردازشی آنها را برای حل مسئله زمانبندی وظایف استفاده نماییم؛



شکل (۷): سیگنال سوئیچینگ

۶- یک روش سیستماتیک برای تعیین بردارهای کنترل: کنترلگر مبتنی بر ارتفاع مرتب شده

در زیربخش قبل، یک مثال عددی چگونگی حل دستی مسئله زمانبندی وظایف را نشان داد؛ اما تعیین دستی بردارهای کنترل همیشه ساده نیست. در این بخش، یک رهیافت ساده و سریع به نام HS را که نتایج مشابه به نسبت یک زمانبندی بهینه مبتنی بر HEFT را حاصل می‌نماید، پیشنهاد می‌کنیم [۳].

در ابتدا گره‌ها را در DAG براساس ارتفاعشان برچسب می‌زنیم:

(۲۷)

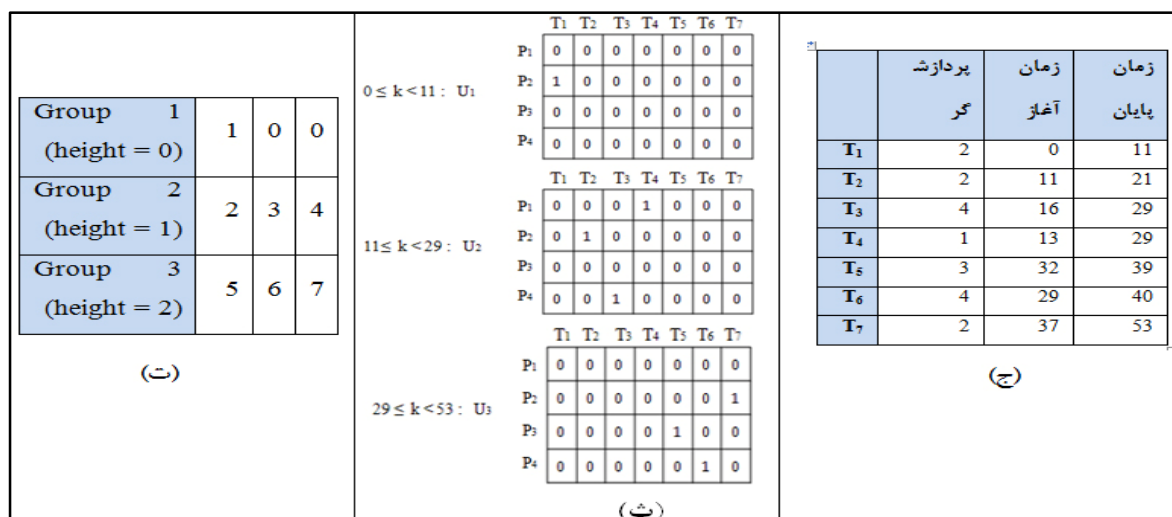
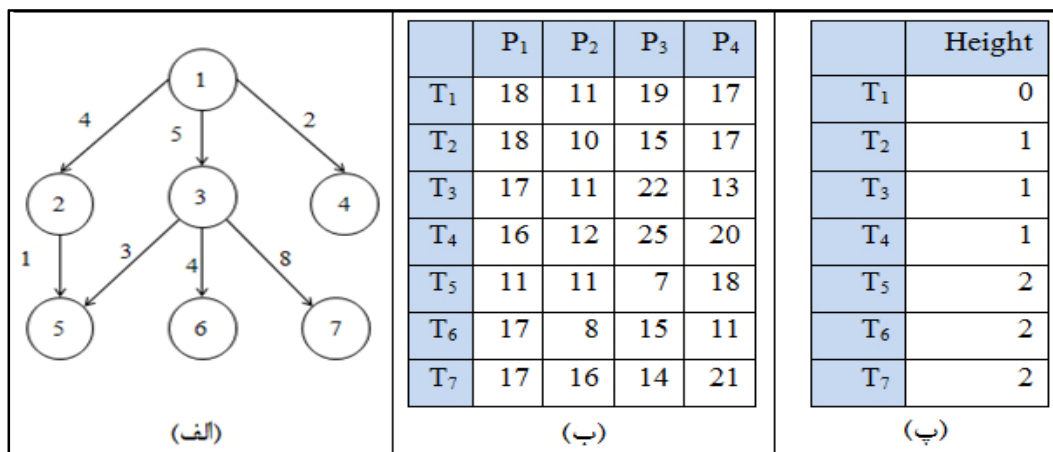
$$height(n_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } pred(n_i) = \emptyset \\ 1 + \max_{n_j \in pred(n_i)} \{height(n_j)\} & \text{otherwise} \end{cases}$$

براساس تعریف، در هر بردار کنترل، وظایف با ارتفاع یکسان دارای ارتباطات تقدم نیستند، آنها می‌توانند بر روی پردازشگرهای متفاوت به صورت همزمان اجرا شوند. بنابراین گره‌ها را براساس مقدار ارتفاعشان گروه بندی می‌نماییم. بردارهای کنترل به صورت صعودی از مقادیر ارتفاع مرتب می‌شوند. پس از گروه بندی، نیاز داریم تا وظایف در هر گروه را به پردازشگرهای مختلف اختصاص دهیم تا کل طول زمان اجرا را حداقل نماییم. در این گام، هر وظیفه را به

پردازشگری که بتواند آن را زودتر از دیگر پردازشگرها تمام نماید، اختصاص می‌دهیم. سپس زمان آغاز و پایان بردارهای کنترل براساس این اطلاعات (گروه‌ها و پردازشگرها) حاصل می‌شوند، و سپس کنترلگر اجرا می‌شود. زمان آغاز هر شکاف برابر با زمان آماده شدن وظایف شامل شده و زمان پایان هر شکاف برابر با حداکثر زمان پایان وظایف شامل شده است. همانگونه که در شکل (۹) نشان داده شده است، تمام قیود (که در بخش ۴.۱ بیان شده‌اند) بر روی بردارهای کنترل به وسیله الگوریتم برآورده شده‌اند. برای مثال، در هر سطر از بردار کنترل، همیشه تنها یک '1' وجود دارد، تمام وظایف اجرا می‌شوند و تمام ارتباطات تقدم در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین براساس نظریه ۳، الگوریتم پیشنهادی پایدار است.

1. **► 1. Part:**
2. Determine height of each task (node) in DAG.
3. Grouping tasks based on their height.
4. Sorting tasks in each group based on upward rank in descending order.
5. If there is a group with size G that $G > M$, then break down group to subgroups with size M and $G \% M$.
6. **► 2. Part:**
7. for each group g do
8. for each task t do
9. Find processor r that finish time of on it is lower than other processors.
10. Schedule t on r .

شکل (۸): الگوریتم HS



شکل (۹): حل یک مسئله عددی به وسیله HS. (الف) DAG، (ب) ماتریس θ ، (پ) ارتفاع وظایف، (ت) دسته بندی وظایف براساس مقدار ارتفاع، (ث) بردارهای کنترل، (ج) زمانبندی حاصل

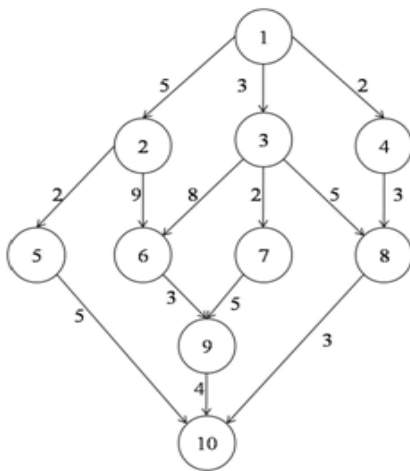
۶-۱- مقایسه بین راه حل بهینه، HEFT، HS
 در این زیربخش، نتایج HEFT و HS را با راه حل بهینه مقایسه می‌نماییم. راه حل بهینه به وسیله یک روش خطی که تمام زمانبندی‌های ممکن را می‌یابد و زمانبندی با حداقل makespan را انتخاب می‌نماید، در نظر گرفته شده است. این مقایسه برای یک DAG کوچک انجام شده است زیرا یافتن راه حل بهینه برای DAGها و شبکه

پیچیدگی زمانی اولین بخش از الگوریتم HS برای مرتب سازی وظایف $O(T \log T)$ است و پیچیدگی زمانی بخش دوم $O(T.M)$ است، به سبب خطوط ۸ و ۹ که T تعداد وظایف و M تعداد پردازشگرهاست. به طور کلی، پیچیدگی زمانی الگوریتم HS برابر با $O(T.M)$ است. شکل (۹) یک مثال عددی که بوسیله ی این روش حل شده است را نشان میدهد. شکل (۸) الگوریتم HS را نشان می‌دهد.

می‌باشد. از آنجا که آن کوچک است، تمام دیگر روشها، HEFT و HS و زمانبندی بهینه را با makespan برابر با ۵۱۴ می‌یابند.

پردازشگرهای بزرگ به سبب پیچیدگی زمانی آنها ناممکن است. به عبارت دیگر، این مسئله NP-Complete است و به صورت ساده، قابل حل توسط روشهای سنتی نیست.

شکل (۱۰) DAG و ماتریس θ را نشان می‌دهد. در این مثال، راه حل بهینه دارای makespan ۵۱۴



(الف)

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
T ₁	100	104	102	101
T ₂	102	102	103	101
T ₃	105	107	101	100
T ₄	102	102	105	106
T ₅	103	103	101	101
T ₆	103	100	100	101
T ₇	101	101	100	102
T ₈	103	103	109	102
T ₉	108	101	102	100
T ₁₀	100	100	101	101

(ب)

شکل (۱۰): مثال عددی. (الف) DAG، (ب) ماتریس θ

یک ماتریس بالامتلی است، تمام عناصر بر روی قطر و مثلث پایینی صفر هستند. هر عنصر مثلث بالایی براساس فرآیند برنولی با پارامتر p ، که احتمال موفقیت را نشان می‌دهد، تعیین می‌شود. برای هر عنصر، هنگامیکه آزمایش برنولی موفق است، یک مقدار 1 به عنصر انتساب داده میشود؛ برای شکست یک مقدار صفر به عنصر داده میشود. پارامتر $p=1$ یک گراف وظایف به طور کلی ترتیبی را می‌سازد، و $p=0$ یک گراف وظایف ذاتاً موازی را می‌سازد. مقادیر p که در بین این دو کرانه قرار می‌گیرند، به طور کلی DAG هایی که

۷- نتایج آزمایشات

در این بخش، کارآیی الگوریتم کنترلر پیشنهادی HS را بر روی چندین مثال تصادفی شامل گراف وظایف (DAGها) تولید شده به وسیله روش P (P-Method) توصیف می‌نمایم [۱۹]. در این روش، DAG براساس ساختن احتمالی یک ماتریس مجاورت از یک DAG تولید می‌شود. عنصر a_{ij} از ماتریس به صورت 1 تعریف می‌شود اگر یک رابطه تقدم از t_i به t_j وجود داشته باشد؛ در غیر اینصورت، a_{ij} صفر است. ماتریس مجاورت یک گراف بدون سیکل،

دارای ساختارهای بینابینی هستند، تولید می‌نماید [۱۹].

برای ارزیابی روش پیشنهاد شده، DAG های تولید شده به صورت تصادفی با ویژگیهای نشان داده شده در جدول (۱) استفاده شده اند. نسبت ارتباطات به محاسبات CCR معیاری است که

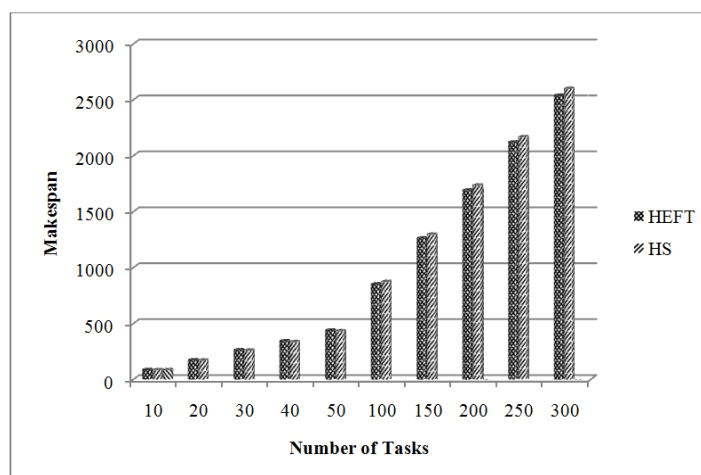
رفتار کلی زمانبندی با توجه به ارتباطات را منعکس می نماید. پراکندگی DAG پارامتر برنولی است که معیاری برای ارتباطات تقدم بین وظایف است.

جدول (۲): ویژگی های مثال های تصادفی

تعداد وظایف	CCR	پراکندگی DAG
{10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 250}	1	0.5
50	{0.1, 1, 10}	0.5
50	1	{0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9}

در این آزمایشات، تعداد پردازشگرهای ناهمگن برابر با ۱۰ است و توپولوژی آنها به صورت کاملاً متصل است. هزینه محاسبات و هزینه ارتباطات بین وظایف در گراف وظایف به صورت تصادفی براساس توزیع نرمال مشابه با [1, 8, 10] انتخاب شده اند. پارامترهای توزیع نرمال در جدول (۳) گزارش شده اند. هر آزمایش

را ۵۰ بار تکرار نمودیم و میانگین نتایج در هر آزمایش را گزارش نمودیم. نتایج آزمایشات با HEFT مقایسه شده اند ۳. همانگونه که در شکل (۱۱) نشان داده شده است، نتایج کنترلگرهای پیشنهادی بسیار نزدیک به HEFT هستند و در آزمایشات با کمتر از ۵۰ وظیفه نتایج روشهای پیشنهادی بهتر از HEFT می باشند.

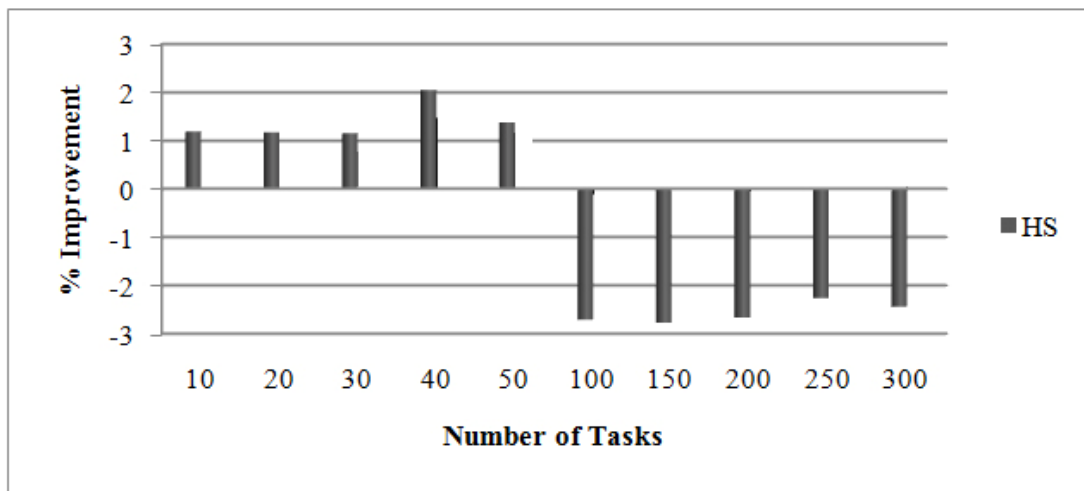


شکل (۱۱): مقایسه makespan کنترلگر HS و HEFT بر روی DAG های با اندازه های مختلف

همچنین، به منظور نشان دادن تفاوت بین روشهای پیشنهادی و HEFT، نمودار درصد بهبود را در شکل (۱۲) ترسیم نمودیم. درصد بهبود به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود:

$$(۱۴) \quad \% \text{Improvement} = \frac{\text{Makespan}_{\text{HEFT}} - \text{Makespan}_{\text{Controller}}}{\text{Makespan}_{\text{HEFT}}}$$

همانگونه که در شکل (۱۲) نشان داده شده است، درصد بهبود روشهای ما در آزمایشات با تعداد وظایف کمتر از ۵۰، غیر منفی است؛ این بدین معنی است که کنترلگرهای پیشنهادی زمانبندیهای بهتر و یا مساوی با HEFT یافته‌اند. همچنین، حداقل درصد بهبود ۲/۷٪ است.

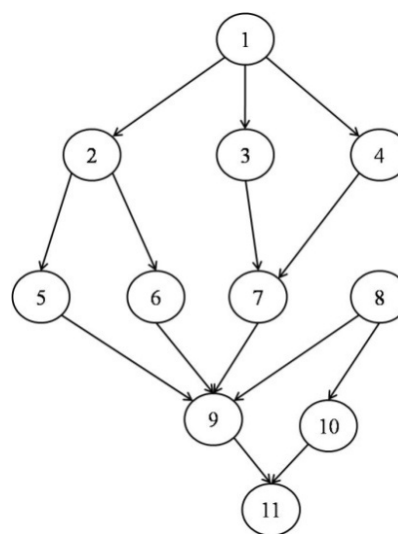


شکل (۱۲): درصد بهبود makespan در رهیافت پیشنهادی HS در مقابل HEFT

در آزمایشات با کمتر از ۵۰ وظیفه، از آنجا که DAGهای تصادفی با توزیع برنولی را تولید می‌نماییم، ممکن است در برخی DAGها بیش از یک گره مبداء (گرهی بدون هیچ گونه گره ماقبل) وجود داشته باشد. برای مثال در DAG زیر، گره ۱ و ۸ گره های مبداء هستند؛ زیرا آنها هیچگونه گره ماقبلی ندارند. برخی اوقات، برخی از گره‌های مبداء نزدیک به گره های حفره (sink-گره های بدون هیچ گره مابعد) هستند، مانند گره ۸ و بنابراین دارای رتبه بالایی پایینتری می‌باشند. با این DAGها، HEFT به صورت زیر عمل می‌نماید: محاسبه رتبه بالایی تمام گره ها و

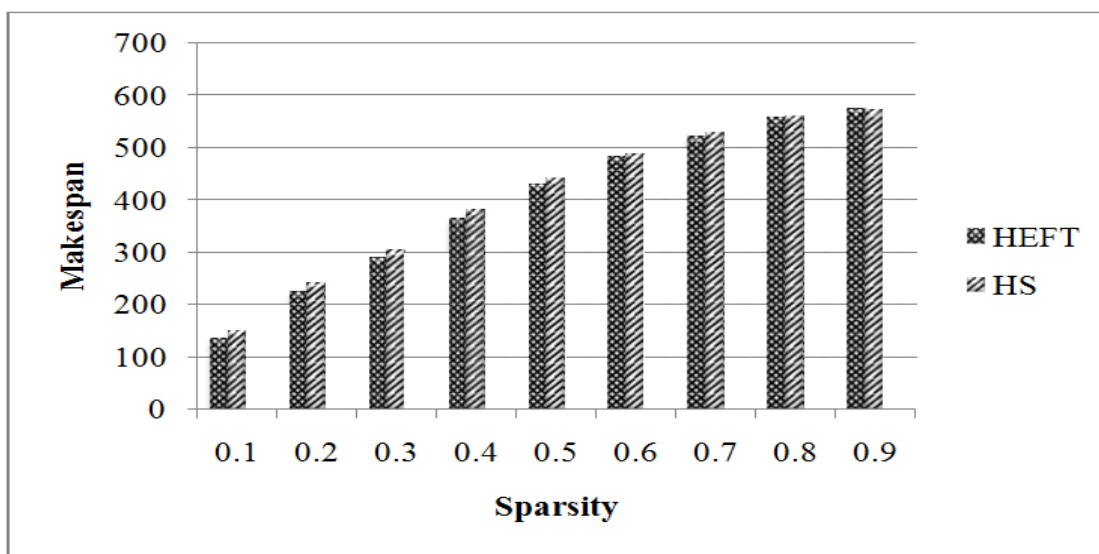
سپس مرتب نمودن گره ها به ترتیب نزولی رتبه بالایی. بنابراین گره هایی مانند گره ۸ که در سطوح میانی از لیست مرتب شده قرار داده می‌شوند، به زمانبندی با تأخیر برای آنها منتهی می‌شود. اگرچه چنین گره های رتبه بالایی پایینی را دارند، تأثیر زیادی بر روی زمانبندی دارند. در HS، از آنجا که براساس سطح عمل می‌نماییم، گره‌های ۱ و ۸ دارای سطح یکسان هستند و بنابراین نسبت به HEFT زودتر زمانبندی می‌شوند. در DAGهایی با تعداد وظایف بیشتر، تأثیر گره های با زمانبندی دارای تأخیر مانند گره ۸ کم است؛ بنابراین در آزمایشاتی با تعداد

وظایف زیاد، اگرچه makespan مربوط به HEFT کمتر از HS است، نزدیک به یکدیگر می باشند.



شکل (۱۳): یک DAG نمونه

آزمایش بعدی در مورد پراکندگی DAG است. این آزمایشات برای ۵۰ وظیفه و ۱۰ پردازشگر که به طور کامل متصل شده اند، انجام می شود. علاوه بر این، هر آزمایش ۵۰ بار تکرار شده است و مقدار میانگین گزارش شده است. جدول (۳) پارامترهای توزیع نرمالی که برای تولید تصادفی زمانهای محاسبات و ارتباطات در DAG استفاده شده است را نشان می دهد. شکل (۱۴) نتایج آزمایش را نشان می دهد. همانگونه که در این شکل نشان داده شده است، makespan کنترلگر HEFT و HS در تمام مقادیر پراکندگی نزدیک به یکدیگرند.



شکل (۱۴): مقایسه makespan به وسیله کنترلگر HS و HEFT بر روی DAG هایی با پراکندگی متفاوت

علاوه بر این، همانگونه که در جدول (۴) نشان داده شده است، آزمایشات بیشتری انجام شده است. هر سلول میانگین نتایج ۵۰ اجرای مجزا از آزمایش با DAG هایی که به صورت تصادفی با پارامترهای مشخص شده ایجاد شده اند را نشان می دهد.

زمان محاسبات و ارتباطات وظایف در آزمایشات به صورت تصادفی براساس توزیع نرمال تولید شده اند. شکل (۳) پارامترهای تابع توزیع نرمالی که استفاده شده است را نشان می دهد.

جدول (۳): پارامترهای توزیع نرمال

زمان ارتباطات		زمان محاسبات		
واریانس	میانگین	واریانس	میانگین	
۶	۱۰	۴	۱۰	آزمایشات با تعداد متغیری از وظایف
۵	۱۰	۴	۱۰	آزمایشات با مقدار پراکندگی متغیر
۶	۱۰	۴	۱۰۰	آزمایشات با $CCR=0.1$
۶	۲۰	۴	۲۰	آزمایشات با $CCR=1$
۲	۱۰۰	۳	۱۰	آزمایشات با $CCR=10$

جدول (۴): آزمایشات بیشتر - میانگین و انحراف استاندارد makespan تکرار شده برای ۵۰ اجرای مستقل

# Proc	Method	CCR=0.1		CCR=1		CCR=10	
		Average	STD	Average	STD	Average	STD
4	HEFT	12122.97	474.2812	3221.97	103.7077	2523.06	212.9125
	HS	12221.74	482.745	3301.14	88.4415	5950.41	211.6781
5	HEFT	11989.52	551.376	3182.87	133.0228	2453.74	172.7356
	HS	12071.97	544.0969	3260.24	119.5259	6000.65	280.7522
6	HEFT	12053.30	515.0406	3192.24	102.8087	2460.88	141.3361
	HS	12145.20	510.445	3264.83	104.6349	5970.45	240.0112
7	HEFT	11983.04	581.9847	3182.45	107.3619	2566.24	232.5873
	HS	12069.28	582.9445	3260.53	106.2959	5983.41	273.3193
8	HEFT	11980.84	553.7696	3197.57	121.3184	2479.69	167.3255
	HS	12067.02	545.0182	3279.69	118.1766	6005.92	239.7304
9	HEFT	12020.58	541.7361	3188.88	126.1868	2434.67	137.639
	HS	12113.87	537.4327	3270.41	117.8027	5966.56	230.7038
10	HEFT	12058.53	575.948	3183.51	114.2389	2491.59	190.4354
	HS	12155.29	570.4473	3252.69	113.9986	5976.21	244.231

HEFT است. در مرحله گروه‌بندی HS، تنها ارتفاع وظایف در DAG در نظر گرفته می‌شود که یک دیدگاه محلی به DAG دارد و انتخاب وظایف را از دیگر سطوح محدود می‌کند؛ هنگامی که $CCR=10$ ، HEFT از کارایی HS تجاوز می‌نماید. بایستی ذکر شود که برنامه‌های کاربردی در دنیای واقعی با $CCR=10$ کمتر رایج می‌باشند،

در این آزمایشها، تعداد وظایف T و پارامتر پراکندگی DAG به ترتیب به ۲۰۰ و ۰.۵ ثابت شده است. تعداد پردازشگرهای متصل شده به صورت کامل و پارامتر CCR از DAG به ترتیب بین ۴ تا ۱۰ و {۰.۱، ۱، ۱۰} تغییر می‌کند. همانگونه که در جدول (۴) نشان داده شده است، هنگامیکه $CCR=0.1$ یا $CCR=1$ است، نتیجه HS به طور کلی یا بهتر و یا مشابه با نتایج

زیرا DAG هایی با $CCR=10$ آنهایی هستند که کل ارتباطات در آنها، ۱۰ برابر محاسبات است.

۸- نتیجه گیری و کارهای آتی

در این مقاله، مسئله زمانبندی ایستای وظایف (TS) را به وسیله پیشنهاد یک شیوه کلی جدید مبتنی بر مهندسی سیستم مطرح نمودیم. این شیوه جدید مدلسازی به سبب گستردگی توسعه‌های نظری آن امیدبخش است. ما نشان دادیم چگونه زمانبندی وظایف می‌تواند از طریق فضای حالت غیرخطی نگاشت شود و از طریق تحلیل نظری، آزمایشی از قابلیت پایداری برای سیستم حاصل را ارائه کردیم. در ادامه یک روش تبدیل پیشنهاد شده است تا این مدل از فضای حالت را به سوئیچینگ خطی فضای حالت با قیود غیر خطی تبدیل نماید. سپس دو روش سیستماتیک ارائه شدند تا بردارهای کنترل را براساس این مدل تعیین نمایند. تحلیل نظری پایداری مجانبی مدل زمانبندی وظایف حلقه بسته

۹- مراجع

را تأیید می‌نماید. با استفاده از اصطلاحات زمانبندی وظایف، نشان داده شد که در صورت داشتن زمان کافی تمام وظایف می‌توانند با کنترلگر پیشنهادی کامل شوند. سپس کنترلگرهای پیشنهادی HS با شیوه HEFT بر روی چندین آزمایش که به صورت تصادفی ایجاد شده اند، مقایسه شدند. نتایج کارآیی مقایسه‌ای را نشان داد. این مقاله محیطهای زمانبندی وظایف ایستا را در نظر گرفت، همچنانکه برای بسیاری از تحقیقات پیشین مورد توجه بوده است؛ اما بیشتر مسائل دنیای واقعی در محیطهای پویا تعریف می‌شوند (تغییرات در زمان). در آینده، هدفمان در نظر گرفتن چگونگی اعمال این شیوه مدلسازی جدید برای چنین محیطهایی است و همچنین محیطهایی که با قابلیت پس گرفتن روبرو هستند.

1. A.J. Page, T.J. Naughton, "Dynamic task scheduling using genetic algorithms for heterogeneous distributed computing," in: *Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2005*, p. 189.1.
2. Y.K. Kwok and I. Ahmad, "Dynamic Critical-Path Scheduling: An Effective Technique for Allocating Task Graphs to Multiprocessors," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 7, no. 5, 1996, pp. 506-521.
3. H. Topcuoglu, et al., "Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous computing," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 13, no. 3, 2002, pp. 260-274.
4. A. Rowhanimanesh, A. Karimpour, N. Pariz, "Optimal Path Planning for Controllability of Switched Linear Systems using Multi-Level Constrained GA", *Applications of Soft Computing: From Theory to Praxis, Springer, Series: Advances in Intelligent and Soft Computing, Volume 58/2009*, Pages: 399-408.
5. Z. Sun, S.S. Ge, "Switched Linear Systems: Control and Design (Communications and Control Engineering)", Springer, 2005.

6. O. Sinnen, *Task scheduling for parallel systems*, JohnWiley & Sons-Interscience, 2007.
7. O. Sinnen, et al., "Toward a realistic task scheduling model," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 17, no. 3, 2006, pp. 263-275.
8. M. Yoo and M. Gen, "Scheduling algorithm for real-time tasks using multiobjective hybrid genetic algorithm in heterogeneous multiprocessors system," *Computers & Operations Research*, vol. 34, 2007, pp. 3084 – 3098.
9. S.-C. Cheng, et al., "Dynamic hard-real-time scheduling using genetic algorithm for multiprocessor task with resource and timing constraints," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 1, 2009, pp. 852–860.
10. M. Yoo, "Real-time task scheduling by multiobjective genetic algorithm," *Systems and Software*, vol. 82, no. 4, 2009, pp. 619-628.
11. K. Shin, et al., "Task scheduling algorithm using minimized duplications in homogeneous systems," *Parallel and Distributed Computing*, vol. 68, 2008, pp. 1146–1156.
12. X. Kong, et al., "Permutation-based Particle Swarm Algorithm for Tasks Scheduling in Heterogeneous systems with Communication Delays," *Computational Intelligence Research*, vol. 4, no. 1, 2008, pp. 61–70.
13. I.-H. Kuo, et al., "An efficient flow-shop scheduling algorithm based on a hybrid particle swarm optimization model," *Expert Systems with Applications*, 2008.
14. H.-S. Choi and D.-H. Lee, "Scheduling algorithms to minimize the number of tardy jobs in two-stage hybrid flow shops," *Computers & Industrial Engineering*, 2008.
15. R. Hwang, et al., "A comparison of multiprocessor task scheduling algorithms with communication costs," *Computers & Operations Research*, vol. 35, 2008, pp. 976 – 993.
16. K. Ogata, *Discrete-Time Control Systems*, Prentice Hall, 1995.
17. C.-T. Chen, *Linear System Theory and Design*, Oxford University Press, USA, 1995.
18. H. Ozbay, *Introduction to feedback control theory*. CRC Press-Technology & Engineering, 1999.
19. S. Al-Sharaeh and B.E. Wells, "A Comparison of Heuristics for List Schedules using The Box-method and P-method for Random Digraph Generation," *Proc. of the 28th Southeastern Symposium on System Theory*, 1996, pp. 467–471.
20. L.G. Q., et al., "Iterative list scheduling for heterogeneous computing," *Parallel and Distributed Computing*, vol. 65, no. 5, 2005, pp. 654–665.

پروتکل مسیریابی چندپرشه انرژی- کارآمد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر خوشه با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه

کبری بهروان^۱، رضا منصفی^۲، حسن احمدی‌ترشیزی^{۳*}

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، گروه کامپیوتر، سبزوار، ایران

^۲ دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه کامپیوتر، مشهد، ایران

^۳ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه کامپیوتر، مشهد، ایران

چکیده:

شبکه‌های حسگر بی‌سیم بر مبنای همکاری و هماهنگی تعداد زیادی گره حسگر ایجاد شده است. از مهمترین مؤلفه‌های گره حسگر منبع تغذیه می‌باشد. منبع تغذیه، گره حسگر دارای توان پایین، محدود و معمولاً غیر قابل تجدید است. برای کاهش مصرف انرژی گره‌ها و افزایش مقیاس‌پذیری شبکه، می‌توان از مکانیزم خوشه‌بندی نامساوی استفاده کرد. برای مقابله با سربار خوشه‌بندی، در این مقاله ما پروتکل EEMCA را معرفی می‌کنیم که از خوشه‌بندی مجدد گره‌ها در شبکه در هر دور جلوگیری می‌کند و سرخوشه‌ها را در هر دور بنابر میزان انرژی گره‌های داخل خوشه انتخاب می‌کند. در پروتکل EEMCA از روش بهینه‌سازی کلونی مورچه برای ایجاد مسیرهای چند پرشه و انرژی-کارآمد از سرخوشه‌ها تا چاهک استفاده می‌شود. پروتکل EEMCA با دو پروتکل ACALEACH و EEUC مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که پروتکل EEMCA در مقایسه با دو پروتکل دیگر از نظر انرژی بسیار کارآمدتر است و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

گره‌های حسگر، خوشه‌بندی، بهینه‌سازی کلونی مورچه، مسیریابی چند پرشه، طول عمر شبکه

* عهده دار مکاتبات

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، گروه کامپیوتر، سبزوار، ایران

پست الکترونیکی: kobra.behravan@iaus.ac.ir

پیشرفت‌های اخیر در کوچک‌سازی، طراحی مدارهای کم‌مصرف و تجهیزات ارتباطی بی‌سیم ساده و کم‌مصرف و توسعه شرکت‌های تولیدکننده منابع انرژی کوچک به همراه کاهش هزینه‌های تولید کارخانه‌ای موجب ایجاد دیدگاه فناوری جدیدی با نام شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ گردید [۱]. همانند بسیاری دیگر از فناوری‌ها، کار بر روی شبکه‌های حسگر از کارهای نظامی و دفاعی آغاز شد. کار بر روی شبکه‌های حسگر به طور جدی از سال ۱۹۸۰ و با پروژه شبکه‌های حسگر توزیع شده در آژانس پروژه‌های تحقیقات دفاعی پیشرفته آمریکا آغاز گردید. یکی از مزایای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، قابلیت آن‌ها برای عمل کردن در محیط‌های خشن است که حضور انسان برای مانیتورینگ آن نقاط خطرناک، ناکارآمد و در بعضی اوقات غیرعملی می‌باشد. بنابراین پیشنهاد شده که حسگرها به صورت تصادفی در محل مورد نظر توسط یک هلی‌کوپتر به بیرون ریخته شوند و جمعاً یک شبکه اقتصای^۲ را شکل دهند. برای پوشش دادن منطقه وسیع و همچنین به علت عمر کوتاه باتری حسگرها و احتمال خرابی گره‌ها در چیدمان، تعداد زیادی از حسگرها در کاربردهای شبکه‌های حسگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. صدها یا هزاران گره حسگر در منطقه مورد نظر با فاصله‌ای کم از یکدیگر قرار می‌گیرند؛ بنابراین

طراحی و عملکرد چنین شبکه بزرگی نیازمند معماری مقیاس‌پذیر و استراتژی مدیریتی خواهد بود [۲]. از حسگرها برای حس پارامترهایی نظیر دما، نور، لرزش، صدا، تابش، رطوبت و... استفاده می‌شود. مفهوم حسگرهای کوچک و ارتباطات بی‌سیم میان آن‌ها زمینه‌های کاربردی جدیدی را پیش رو قرار داده است. کاربردهای این شبکه‌ها در دسته‌های نظامی، محیطی، بهداشتی و دیگر موارد تجاری تقسیم‌بندی می‌شود. دسته‌هایی از جمله اکتشافات فضایی، پردازش شیمیایی و پیش‌بینی بلایای طبیعی نیز با توجه کمتری قابل بررسی می‌باشند. گره حسگر از چهار جزء اصلی تشکیل شده است. که شامل: حسگر، پردازش، فرستنده/گیرنده، و منبع تغذیه می‌باشد. واحد حسگر معمولاً از دو بخش تشکیل شده است: حسگر و مبدل آنالوگ به دیجیتال.

از مهم‌ترین واحدهای گره حسگر منبع تغذیه می‌باشد. منبع تغذیه به واسطه انرژی محدودی که دارد از نظر انرژی و توان محدود می‌باشد [۱] و [۳]. همچنین منبع تغذیه امکان دارد توسط واحد دیگری مانند سلول خورشیدی تقویت شود. به این دلیل که اکثر گره‌های حسگر خارج از دسترس هستند طول عمر گره و شبکه وابسته به منابع انرژی گره حسگر می‌باشد. بنابراین، طراحی الگوریتم‌های آگاه از انرژی برای افزایش طول عمر حسگرها فاکتوری مهم می‌باشد. الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم قدیمی سعی بر اجتناب از ازدحام، حفظ اتصال، بهبود کیفیت سرویس، تشخیص گره‌ها با

1- Wireless Sensor Networks (WSNs)

2- Adhoc Network

آدرس‌های شبکه برای مبادله داده‌ها و انتخاب بهترین مسیر تا مقصد داشتند. اما شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل خصوصیتی که دارند، الگوریتم‌های مسیریابی در این شبکه‌ها با نیازمندی‌هایی همچون بهره‌وری انرژی با کارایی بالا، سادگی، ارسال چندپرشه و ترکیب داده مواجه می‌شوند. با توجه به این‌که گره‌های حسگر دارای انرژی، ظرفیت‌های محاسباتی و حافظه محدودی می‌باشند، پروتکل‌ها و الگوریتم‌های شبکه باید حتی‌الامکان ساده باشند. شبکه حسگر عموماً با همبندی ستاره‌ای سازماندهی می‌شود. ارتباطات بی‌سیم، ارتباط ساده و قابل انعطاف را بین دستگاه‌ها، بدون تکیه بر هر ارتباط فیزیکی پیشنهاد می‌کنند [۴]. در سال‌های اخیر، پیشرفت زیادی در انواع جدیدی از سیستم‌های بی‌سیم انجام شده است. دو استاندارد IEEE 802.15.4 و ZigBee دارای میزان هزینه، پیچیدگی و نرخ داده پایین‌تری نسبت به استانداردهای دیگر انتقال بی‌سیم می‌باشند [۵].

در این مقاله، پروتکل مسیریابی چند پرشه انرژی-کارآمد برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر خوشه، با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه (EEMCA)^۱ پیشنهاد می‌شود.

این پروتکل در ابتدا شبکه را به خوشه‌های نامساوی تقسیم، و برای هر خوشه، یک سرخوشه انتخاب می‌کند. هر سرخوشه قابلیت

جمع داده‌ها را دارد و داده‌های افزونه را حذف می‌کند. بعد از عمل خوشه‌بندی، شبکه به صورت یک گراف دیده می‌شود و می‌توان از روش بهینه سازی کلونی مورچه برای ایجاد مسیرهای چند پرشه از هر سرخوشه تا مقصد استفاده کرد. با ایجاد مسیر و انتقال داده از هر گره تا چاهک، دور بعدی آغاز می‌گردد. در دورهای بعدی، برای موازنه بار بین گره‌ها، سرخوشه‌ها مجدداً انتخاب می‌شوند. به همین منظور برای هر خوشه، سرخوشه را از گره‌های داخل خوشه و بنا بر معیارهایی که در ادامه مطرح می‌گردند، انتخاب می‌کنیم. پروتکل پیشنهادی در مجموعه پروتکل‌های سلسله مراتبی شبکه‌های حسگر بی‌سیم قرار می‌گیرد و می‌تواند در شبکه‌های حسگر با مقیاس بالا مورد استفاده قرار گیرد.

در بخش دوم به بررسی برخی از پروتکل‌های مسیریابی انرژی- کارآمد طراحی شده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازیم. در بخش سوم مدل شبکه و انرژی رادیویی که برای بیان پروتکل پیشنهادی خود در نظر گرفته‌ایم را ارائه می‌کنیم. در بخش چهارم پروتکل پیشنهادی خود را بیان کرده، در بخش پنجم نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها را نشان می‌دهیم و در نهایت در بخش ششم به بیان نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲- کارهای انجام شده

پروتکل‌های مسیریابی بسیار زیادی در شبکه‌های حسگر، طراحی و شبیه‌سازی شده است که تقریباً در تمامی این پروتکل‌ها مسئله مصرف انرژی گره‌ها به عنوان پارامتری بسیار با

^۱. Energy-Efficient Multi-1- hop routing for Cluster-based wireless sensor networks using Ant colony optimization (EEMCA)

اهمیت در نظر گرفته شده است. در این بخش به بررسی پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه و روش بهینه‌سازی کلونی مورچه^۱ خواهیم پرداخت. هدف از این بررسی، شناخت خصوصیات هر کدام از این دو نوع پروتکل، استفاده نمودن از مزایای آنها و طراحی پروتکل پیشنهادی است.

۲-۱- پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه

گروه‌بندی گره‌های حسگر به خوشه‌ها توسط کمیته‌های تحقیق برای دستیابی به هدف مقیاس‌پذیری شبکه مورد مطالعه قرار گرفته است. هر خوشه باید یک رهبر داشته باشد که اغلب به آن سرخوشه^۲ گفته می‌شود. سرخوشه ممکن است حسگر یا گره‌ای باشد که از نظر منبع غنی‌تر است. سرخوشه می‌تواند استراتژی‌های مدیریتی بهینه شده را برای تقویت عملکرد شبکه و افزایش طول عمر باتری حسگر منفرد و در نهایت افزایش طول عمر شبکه را پیاده‌سازی کند. سرخوشه می‌تواند داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرها را در خوشه‌اش تجمیع نماید و در نتیجه، شمار بسته‌های هدایت شده را کاهش دهد. خوشه‌بندی استاتیک برای شبکه‌های حسگر بهینه نمی‌باشد. بنابراین معمولاً به منظور توزیع بار بین گره‌ها، سرخوشه‌ها در هر دور^۳ عوض می‌شوند. محدوده ارتباطی حسگر معمولاً محدود شده است و ممکن است سرخوشه نتواند داده‌ها

را به مقصد برساند. حتی اگر گره‌ای بتواند با چاهک به طور مستقیم ارتباط برقرار کند، روش دنبال کردن مسیرهای چندپرشه بهتر خواهد بود[۲].

LEACH، پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه می‌باشد و از چرخش تصادفی سرخوشه‌ها به منظور توزیع بار انرژی بین حسگرها در شبکه استفاده می‌کند. در این پروتکل احتمال اینکه هر گره به‌عنوان سرخوشه انتخاب شود، مساوی است و سرخوشه‌ها به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. همچنین امکان دارد توزیع سرخوشه‌ها در یک شبکه به نحو مطلوب صورت نپذیرد. در این پروتکل برای انتقال داده‌ها از سرخوشه به چاهک از روش تک‌پرشه استفاده می‌شود[۶]. در این پروتکل، حتی اگر گره‌ای بتواند با چاهک به طور مستقیم ارتباط برقرار کند، روش دنبال کردن مسیرهای چند پرشه بهتر خواهد بود[۲].

پروتکل مسیریابی چندپرشه به نام PEGASIS در مقایسه با LEACH ارائه شده است. ایده کلیدی در این الگوریتم ایجاد زنجیره بین گره‌های حسگر می‌باشد، به طوری که هر گره داده دریافتی را با داده خود ترکیب کرده و به همسایه نزدیک خود ارسال می‌کند تا در نهایت داده‌ها به چاهک منتقل شوند. در این پروتکل فرض شده که تمامی گره‌ها دانش سراسری از کل شبکه را دارند. در این پروتکل اگر گره‌ها نزدیک به یکدیگر چیده شوند، این پروتکل نسبت به پروتکل LEACH، از نظر انرژی، کارآمد نخواهد بود[۷]. پروتکل دیگری که برای خوشه‌بندی استفاده شده است، پروتکل

1-Ant Colony Optimization(ACO)

2- Cluster Head(CH)

3- Round

HEED می‌باشد. این پروتکل به صورت متناوب سرخوشه‌ها را برطبق ترکیب انرژی باقی مانده آنها و پارامتر ثانوی مانند مجاورت گره تا همسایگانش انتخاب می‌کند. این پروتکل دارای سربار خوشه‌بندی پایین می‌باشد و سرخوشه‌ها را به طور یکنواخت در طول شبکه توزیع می‌کند [۸]. اما این پروتکل در زمانی که شبکه تعداد گره‌های کمتری دارد، سرخوشه‌های زیادی تولید می‌کند. در این پروتکل می‌توان برای انتقال داده‌ها از سرخوشه‌ها به چاهک از روش تک پرشه یا چند پرشه استفاده کرد.

در مقاله [۹] مکانیزم خوشه بندی نامساوی انرژی-کارآمد به نام EEUC برای جمع‌آوری متناوب داده‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. گره‌ها به خوشه‌هایی با اندازه غیر یکسان تقسیم‌بندی می‌شوند؛ به طوری که خوشه‌هایی که به چاهک نزدیکتر می‌باشند، اندازه کمتری دارند و بنابراین سرخوشه‌های نزدیکتر به چاهک انرژی بیشتری را حفظ می‌کنند. در این پروتکل از روش چند پرشه بین گره‌های سرخوشه برای ارسال داده‌ها به مقصد استفاده می‌شود و الزاماً راه حل بهینه نمی‌باشد. در این روش برای انتخاب سرخوشه از روش تصادفی استفاده می‌شود و انتخاب اندازه خوشه بر حسب فاصله گره تا مقصد است و انرژی باقیمانده گره در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین مسیر انتخاب شده برای ارسال داده تا مقصد ممکن است از نظر انرژی، کارآمد نباشد. این پروتکل در مقایسه

با پروتکل LEACH، طول عمر شبکه را بهبود می‌بخشد.

الگوریتم LEACH-D بهبودی بر الگوریتم LEACH می‌باشد که برای انتخاب سرخوشه‌ها فاصله گره‌ها را تا چاهک در نظر می‌گیرد. بنابراین حتی‌الامکان باید سرخوشه‌ها به چاهک نزدیکتر از سایر گره‌ها باشند. در این پروتکل برای الحاق گره‌های دیگر به سرخوشه‌ها، پارامترهایی نظیر انرژی سرخوشه و فاصله از سرخوشه در نظر گرفته می‌شود [۱۰].

در پروتکل LALEACH، اتوماتای یادگیر برای هر خوشه وجود دارد که تعداد عملیات اتوماتا مساوی با تعداد گره‌های خوشه می‌باشد. در این پروتکل در ابتدای هر تناوب خوشه‌ها توسط پروتکل LEACH ایجاد می‌شوند و سپس با استفاده از اتوماتای یادگیر، به صورت پویا بعد از طی چند برش زمانی، سرخوشه از بین گره‌های داخل خوشه انتخاب می‌گردند. بعد از ارسال تمامی داده‌های گره‌های خوشه به چاهک، تناوب بعدی آغاز می‌شود [۱۱].

در مقاله [۱۲] برای افزایش طول عمر شبکه، پروتکل CHEF معرفی شده است که مکانیزم انتخاب سرخوشه‌ها، بر اساس منطق فازی می‌باشد. با استفاده از منطق فازی، سربار محاسباتی کاهش، و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. پارامترهای فازی در این پروتکل، میزان انرژی گره و فاصله گره حسگر تا همسایگانش در فاصله r می‌باشد. در این پروتکل برخلاف LEACH، سرخوشه‌ها در شبکه توزیع می‌شوند

و تعداد گره‌ها در خوشه‌ها مناسبتر است و طول عمر شبکه نسبت به LEACH، افزایش می‌یابد. از پروتکل EEU برای مقایسه با پروتکل پیشنهادی استفاده می‌شود؛ زیرا این پروتکل از خوشه‌بندی نامساوی گره‌های شبکه استفاده می‌کند و سرخوشه‌ها در هر خوشه به‌طور مناسب انتخاب می‌شود. همچنین از مسیریابی چند پرشه بین سرخوشه‌ها تا چاهک استفاده می‌گردد. بنابراین در زمانی که چاهک دور از گره‌های حسگر قرار داشته باشد، می‌تواند به صورت مؤثرتر از سایر پروتکل‌های ذکر شده در این بخش عمل نماید.

۲-۲- پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچه

بهینه‌سازی کلونی مورچه از زیر مجموعه‌های هوش جمعی^۱ یا ازدحامی است که در آن از رفتار مورچه‌های واقعی برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذایی الگوبرداری شده است. روش بهینه‌سازی کلونی مورچه (ACO)، نوعی روش فرا اکتشافی است که برای یافتن راه‌حل‌های تقریبی برای مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی مناسب است.

مشاهده شده است که مورچه‌ها در یک کلونی می‌توانند بر روی کوتاه‌ترین مسیر که لانه را با غذایشان ارتباط می‌دهد، همگرا شوند. مهم‌ترین عامل رفتار کوتاه‌ترین مسیر در سطح کلونی، استفاده از ماده شیمیایی به نام فرومون^۲

می‌باشد. یکی از کاربردهای روش بهینه‌سازی کلونی مورچه در مسیریابی شبکه است. سیستم کلونی مورچه توسط دانشمند ایتالیایی M. Dorigo در سال ۱۹۹۰ مطرح شد و در ابتدا برای حل مسأله فروشنده دوره‌گرد مورد استفاده قرار گرفت [۱۳].

با افزایش گره‌های شبکه ایجاد مسیر بهینه از هر گره تا مقصد، وقت‌گیر و در بسیاری موارد غیر عملی است؛ به طوری که جواب بهینه در زمان قابل قبول و به صورت چندجمله‌ای به دست نمی‌آید. در این‌گونه موارد از راه‌حل‌های تخمینی مناسب مانند کلونی مورچه‌ها استفاده می‌شود. بنابراین یکی از کاربردهای روش بهینه‌سازی کلونی مورچه در مسیریابی شبکه است.

الگوریتمی به نام AntNet که توسط Di Caro و Dorigo برای شبکه‌های IP با بهترین تلاش ابداع شد. این الگوریتم بر اساس قواعد ACO ارائه شد که روشی فرا اکتشافی است. در AntNet به پرش‌های بعدی که در زمان تصمیم، صف‌های اتصال کوتاه‌تر از لحاظ بسته برای ارسال شدن دارند، مقادیر احتمال بالاتری اختصاص می‌یابد [۱۴].

در مقاله [۱۵] پروتکل مسیریابی به نام EEABR برای افزایش طول عمر شبکه حسگر ارائه شده است. در این پروتکل از عامل‌های مورچه با اندازه ثابت و پارامترهای شمار پرش‌ها و سطح انرژی گره‌ها در مسیر در مکانیزم به روز رسانی فرومون استفاده می‌گردد. همچنین برای محاسبه

1- Swarm Intelligence

2- Pheromone

مقدار اکتشافی، از انرژی باقیمانده گره همسایه استفاده می‌شود.

در مقاله [۱۶] پروتکل مسیریابی EPACOR پیشنهاد شده است. در این الگوریتم مکانیزم یادگیر توکار برای پیشگویی میزان مصرف انرژی گره‌های حسگر همسایه، در زمان ایجاد مسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً اگر هرگره، گره‌های همسایه با انرژی بالاتر را برای یک مسیر تا چاهک انتخاب کند، طول عمر شبکه می‌تواند افزایش یابد. بنابراین، این الگوریتم مسیریابی بیشتر روی مصرف انرژی گره‌های همسایه توجه می‌کند. بدین صورت که هر گره مصرف انرژی خود را به همسایگانش اعلان می‌کند. در این پروتکل برای به‌روزرسانی میزان فرومون از پارامترهای فاصله تا گره همسایه، انرژی گره همسایه و تعداد پرش‌های مسیر تا چاهک استفاده می‌گردد. برای محاسبه مقدار اکتشافی از پارامترهای فاصله تا گره همسایه، انرژی گره همسایه و انرژی گره موردنظر استفاده می‌شود.

در تمامی پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچه بیان شده، سربار ایجاد و تعمیر مسیر وجود دارد. در پروتکل‌های بیان شده، جمع‌بندی داده‌ها توسط گره‌ها صورت نمی‌پذیرد و در این‌صورت همواره افزونگی داده‌ها وجود دارد.

در مقاله [۱۷] پروتکل ACALEACH، پیشنهاد شده است. در این پروتکل ترکیبی از خوشه‌بندی و مسیریابی چندپرشه استفاده می‌شود و برای

مقایسه کارایی انرژی با پروتکل پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پروتکل برای ایجاد مسیرهای چند پرشه از سرخوشه‌ها تا مقصد از روش بهینه‌سازی کلونی مورچه استفاده می‌شود. در این پروتکل برای به‌روزرسانی میزان فرومون از پارامترهای انرژی باقیمانده سرخوشه‌های همسایه و فاصله سرخوشه‌های همسایه تا چاهک استفاده می‌گردد. گره‌هایی که نزدیک به چاهک قرار دارند، به‌عنوان دروازه عمل می‌کنند و در این‌صورت امکان از بین رفتن آن‌ها زودتر از گره‌های دیگر شبکه بیشتر است. در این پروتکل از خوشه‌بندی استفاده می‌شود؛ بنابراین با افزایش تعداد گره‌های حسگر، هزینه ایجاد مسیر نسبت به روش‌های بیان شده در این بخش افزایش چندانی نمی‌یابد. بنابراین پروتکلی مناسب برای مقایسه با پروتکل پیشنهادی می‌باشد.

۳- مقدمات

۳-۱- مدل شبکه

در ابتدا خصوصیات مدل سیستمی که به کار برده‌ایم را تشریح خواهیم کرد. در ابتدا فرضیاتی در مورد مدل شبکه خود بیان می‌کنیم:

۱- حسگرها به صورت تصادفی و به‌صورت یکنواخت چیده شده‌اند.

۲- تمامی گره‌ها و همچنین چاهک، بعد از مرحله چیدمان به صورت ثابت می‌باشند.

۳- گره‌ها قابلیت تنظیم انرژی انتقال را برطبق فاصله تا گره‌های گیرنده دارند.

۴- فاصله بین گره‌ها می‌تواند براساس شدت سیگنال دریافتی، محاسبه گردد. بنابراین نیازی نیست که گره‌های حسگر از مکان دقیق خود، آگاهی داشته باشند.

۵- تمامی گره‌های حسگر دارای میزان انرژی یکسان در مرحلهٔ چیدمان می‌باشند.

۶- چاهک در فاصلهٔ دوری از گره‌های حسگر قرار گرفته است.

۷- تمامی گره‌های حسگر دارای توان محاسباتی، میزان حافظه و انرژی یکسان هستند یا در اصطلاح به صورت همگن می‌باشند.

۳-۲- مدل انرژی رادیویی

مدل انرژی رادیویی برای انتقال بسته k بیتی، در فاصله d متر، در شبیه‌سازی‌ها به صورت رابطه ۱ می‌باشد:

(۱)

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} k * E_{elec} + k * \epsilon_{fs} * d^2, & d < d_0 \\ k * E_{elec} + k * \epsilon_{mp} * d^4, & d \geq d_0 \end{cases}$$

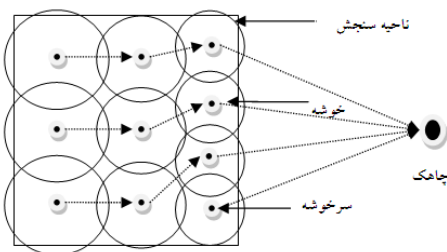
و همچنین مدل انرژی رادیویی برای دریافت یک بسته k بیتی، به صورت رابطه ۲ است:

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k \quad (۲)$$

بسته به فاصله، میزان انرژی مصرفی در مدل کانال فضای آزاد^۱ با ϵ_{fs} و در مدل کانال محوشدگی چند مسیره^۲ با ϵ_{mp} بیان شده است. E_{elec} میزان انرژی مورد نیاز برای اجرای مدار فرستنده یا گیرنده می‌باشد.

۴- پروتکل پیشنهادی

در این بخش، پروتکل مسیریابی چندپرشه انرژی-کارآمد برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر خوشه، با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه (EEMCA)^۳ ارائه می‌شود. EEMCA، شامل دو مرحله می‌باشد: مرحله آغازین^۴ و مرحله ماندگاری. شکل (۱) نمایش کلی نحوهٔ عملکرد پروتکل EEMCA ارائه می‌دهد.



شکل (۱): نمایش کلی نحوه‌ی عملکرد پروتکل

EEMCA

در شکل (۱) دایره‌ها با اندازه نامساوی، نشان دهندهٔ خوشه‌های با اندازه نامساوی و پیکان‌های بین سرخوشه‌ها، ترافیک بین سرخوشه‌ها را در مسیریابی چندپرشه نشان می‌دهند.

۴-۱- مرحلهٔ آغازین

در مرحلهٔ آغازین شبکهٔ حسگر بی‌سیم به خوشه-هایی با اندازه نامساوی تقسیم می‌شود و سپس با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچه مسیری چندپرشه بین سرخوشه‌ها ایجاد می‌شود.

Energy-Efficient Multi-3- hop routing for Cluster-based wireless sensor networks using Ant colony optimization (EEMCA)
4- Set-up

1- Free space
2- Multi-path fading

۴-۱-۱- الگوریتم خوشه‌بندی نامساوی

استفاده از روش خوشه‌بندی نامساوی باعث می‌شود که بارکاری روی گره‌های دروازه کمتر شود. در نتیجه باعث می‌شود طول عمر گره‌های حسگر که در نزدیک چاهک به‌عنوان دروازه عمل می‌کنند، افزایش یابد. در ابتدای فرآیند خوشه‌بندی هرگره میزان انرژی باقی‌مانده و شناسه خود را در قالب پیام و در فاصله مشخص در شبکه منتشر می‌کند. در پروتکل EEMCA، انتخاب حدآستانه مورد نظر برای انتخاب سرخوشه‌های آزمایشی براساس رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

(۳)

$$\text{Threshold} = a_1 * \text{residualEnergy} + a_2 * (2-4) \\ \text{neighborNode} + 0.4$$

همان‌طور که از رابطه مشاهده می‌گردد، احتمال انتخاب سرخوشه‌های آزمایشی برای تمامی گره‌ها در شبکه یکسان نمی‌باشد. رابطه ۳ بیان می‌کند که میزان حدآستانه برای انتخاب سرخوشه آزمایشی، بر اساس میزان انرژی باقیمانده گره و تعداد همسایه‌ها در یک محدوده معین می‌باشد. ضرایب a_1 و a_2 می‌تواند، بنا به درجه اهمیت هر یک از این پارامترها انتخاب گردد.

هر گره یک عدد تصادفی در بازه ۰ تا ۱ انتخاب می‌کند. اگر این عدد کوچکتر از حدآستانه باشد، گره خود را به عنوان سرخوشه آزمایشی انتخاب می‌کند. گره‌هایی که به عنوان سرخوشه‌های

آزمایشی انتخاب نشده‌اند، گره‌های معمولی می‌باشند و در شرایط خواب قرار می‌گیرند. بعد از انتخاب سرخوشه‌های آزمایشی، این سرخوشه‌ها باید مانند پروتکل EEUC [۹] در محدوده رقابتی با یکدیگر رقابت کنند تا در نهایت سرخوشه‌های نهایی انتخاب گردند. در این رقابت، تعدادی از سرخوشه‌های آزمایشی به گره معمولی تغییر وضعیت می‌دهند.

بعد از اینکه سرخوشه‌های نهایی انتخاب شدند، هر سرخوشه پیامی را در شبکه منتشر می‌کند و گره‌های خوابیده بیدار می‌شوند. بعد از دریافت پیام توسط گره‌ها، هرگره معمولی سرخوشه مورد نظر خود را براساس شدت سیگنال پیام دریافتی (فاصله تا سرخوشه) و میزان انرژی باقیمانده گره سرخوشه (CH_i) و براساس رابطه ۴ انتخاب می‌کند:

(۴)

$$\text{Best} = \text{Maximum} (\text{residualEnergy}CH_i / \text{distance} \\ (\text{node}, CH_i))$$

اندیس i ، برای متمایز کردن گره‌ها در نظر گرفته شده است. هر گره با در نظر گرفتن میزان Best می‌تواند سرخوشه مورد نظر (سرخوشه‌ای که بیشترین میزان انرژی بر فاصله را داشته باشد) را انتخاب کند. بعد از انتخاب گره سرخوشه، گره معمولی با ارسال پیامی، ملحق شدن خود را به گره سرخوشه اطلاع می‌دهد. سازماندهی انتقال داده درون خوشه، بعد از اینکه خوشه‌ها شکل داده می‌شوند، همانند پروتکل LEACH و با استفاده از زمان‌بندی TDMA انجام می‌گیرد.

۴-۱-۲- مسیریابی چندپرشه بین خوشه‌ای

در این مکانیزم نیز همانند پروتکل EEUC، گره‌های هدایت‌کننده، بسته‌های دریافت شده از سرخوشه دیگر را تجمیع نمی‌کنند. پروتکل EEMCA، مسیریابی چند پرشه آگاه از انرژی را برای ارتباط بین خوشه‌ای در نظر می‌گیرد. حد آستانه TD-MAX را معرفی می‌کنیم که اگر فاصله گره تا چاهک کمتر از TD-MAX باشد، گره داده‌اش را به سمت چاهک به صورت تک پرشه ارسال می‌کند و در غیر این صورت گره باید گره هدایت‌کننده‌ای را انتخاب کند که می‌تواند داده‌اش را به سمت چاهک به پیش براند. این حد آستانه همانند پروتکل EEUC انتخاب می‌گردد. در ابتدای این فرآیند هر سرخوشه پیامی را به داخل شبکه در یک محدوده مشخص که شامل شناسه گره و فاصله‌اش تا چاهک می‌شود را ارسال می‌کند.

هر رکورد حافظه در گره‌ها شامل گره قبلی، گره بعدی، شناسه مورچه و مقدار Timeout می‌باشد. بر روی هر گره که در فاصله بیش از TD-MAX قرار گرفته است، می‌تواند به تعداد m مورچه پیش‌رو قرار گیرد. میزان m بستگی به تعداد راه‌حل‌های بهینه دارد.

هر زمان که مورچه پیش‌رو دریافت می‌شود، گره حافظه خود را جستجو می‌کند تا دریابد که آیا شناسه مورچه در داخل حافظه‌اش وجود دارد یا خیر و از این طریق از به وجود آمدن حلقه مسیریابی جلوگیری می‌کند. مورچه پیش‌رو دارای جدولی است که شناسه گره ملاقات شده قبلی و گره‌ای که بعداً ملاقات خواهد کرد را نگهداری

می‌کند. هنگامی که گره، مورچه عقب رو را دریافت می‌کند، گره، حافظه خود را مورد جستجو قرار می‌دهد تا گره بعدی را برای ارسال مورچه پیدا کند. اگر به هر دلیل مورچه عقب‌رو در زمان تعیین شده به گره نرسد، رکورد مربوط به مورچه پاک می‌گردد.

همچنین مورچه پیش‌رو، میانگین انرژی تا گره فعلی (EAvgk)، حداقل سطح انرژی ثبت شده (EMink) و تعداد گره‌های ملاقات شده را در جدول خود نگهداری می‌کند. این مقادیر، زمانی که مورچه پیش‌رو به هرگره می‌رسد، به‌روز رسانی می‌شوند. هنگامی که مورچه پیش‌رو به گره چاهک می‌رسد، این مقادیر برای محاسبه میزان فرمون دنباله استفاده می‌شوند. C، مقدار انرژی اولیه گره‌های حسگر در مرحله چیدمان گره‌ها می‌باشد. میزان فرمون می‌تواند از رابطه h و از اطلاعات موجود در جدول مورچه پیش‌رو k محاسبه گردد:

(۵)

$$\Delta T_k = \frac{1}{C - [EMin_k - Fd_k / EAvg_k - Fd_k]}$$

ΔT_k باید به صورت تابعی از دو پارامتر محاسبه گردد: سطوح انرژی و طول مسیر. طول مسیر می‌تواند توسط معرفی پارامتر Fd_k به دست آید که در معادله بالا برابر تعداد گره‌هایی است که مورچه پیش‌رو k ملاقات کرده است. میزان به‌روزرسانی فرمون و تعداد گره‌های ملاقات شده در جدول مورچه عقب‌رو نگهداری می‌شوند. معادله استفاده شده برای به‌روز رسانی جداول مسیریابی در هرگره به صورت رابطه (۶) می‌باشد:

(6)

$$T_k(r,s) = (1-\rho)T_k(r,s) + [\Delta T_k / \phi \cdot Bd_k]$$

ϕ ضریب ثابت و Bd_k فاصله‌ای می‌باشد (تعداد گره‌های ملاقات شده) که توسط مورچه عقب رو k تا گره r طی شده است. $T_k(r,s)$ میزان فرومون دنباله را در اتصال (r,s) که مورچه پیش رو k از آن عبور کرده است را بیان می‌کند. ایده پنهان این رفتار، این است که توزیع فرومون بهتر صورت گیرد که در این صورت گره‌های نزدیک چاهک، میزان فرومون بیشتری را خواهند داشت. میزان ρ ثابت می‌باشد و میزان تبخیر فرومون مسیر را بیان می‌کند. تبخیر فرومون باعث می‌شود مسیری‌هایی که اغلب استفاده نمی‌شوند، میزان فرومون آن‌ها پایین بیاید. در این پروتکل مقدار اکتشافی $\eta_{rs} = 1/d_{relay}^2$ می‌باشد که:

$$d_{relay}^2 = d^2(r,s) + d^2(s, SINK) \quad (7)$$

در رابطه γ گره s همسایه گره r است و $d(r,s)$ میزان فاصله r تا s است. میزان فاصله s تا چاهک به صورت $d(s, SINK)$ بیان شده است. محاسبه احتمال برای تعیین گره بعدی و ارسال داده‌ها به مقصد d از طریق گره همسایه s از رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$p_{rs}^d = \begin{cases} \frac{[T_{(r,s)}]^\alpha \cdot [\eta_{(r,s)}]^\beta}{\sum_{u \in N(r)} [T_{(r,u)}]^\alpha \cdot [\eta_{(r,u)}]^\beta}, & s \in Neighbor(r) \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

α و β اعداد حقیقی مثبت می‌باشند. هر چه میزان احتمال انتخاب گره بیشتر باشد، آن گره به عنوان گره هدایت کننده انتخاب می‌شود. بعد از ایجاد مسیر، عمل انتقال داده‌ها به سمت چاهک به صورت چند پرشه انجام می‌شود. شبه کد برای ایجاد مسیر چند-پرشه انرژی-کارآمد با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه در شکل (۲) نشان داده شده است.

```

1: s ← empty
2: if distance(i, SINK) < distance(r, SINK),  $\forall i \in neighbor(r)$  then
3:   add i to s list
4: end if
5: for every edge(r,s) do
6:    $T_k(r,s) \leftarrow c$  {set an initial value for trail intensity}
7:    $\Delta T_k \leftarrow 0$ 
8: end for
9: place the m ants on the node
10: for k=1 to m do
11:   place the starting node of the k-th ant in  $tabu_k$ 
12: end for
13: for k=1 to m do
14:   nextNode  $j, j \in s, \{j \text{ is random}\}$ 
15: while nextNode  $\nrightarrow$  SINK
16:   Move the k-th ant to the node nextNode
17:   Insert nextNode in the  $tabu_k$  and compute minimum energy of node and average energy of nodes and number of visited nodes and insert them in  $tabu_k$ 
18:   nextNode  $j, j \in (nextNode.s), \{j \text{ is random}\}$ 
19: end while
20: compute  $\Delta T_k$  using equation 5 for k-th ant
21: insert SINK in  $tabu_k$ 
22:  $\forall i \in tabu_k$ , update pheromone edge(r,i) using equation 6 {backward ant moves i to r}
23: end for
24: for every edge(r,s) do
25:   compute  $p_{rs}^d$  using equation 8
26: end for

```

شکل (۲): شبه‌کد ایجاد مسیر چندپرشه با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه

۴-۱-۳- کاهش سربار خوشه‌بندی

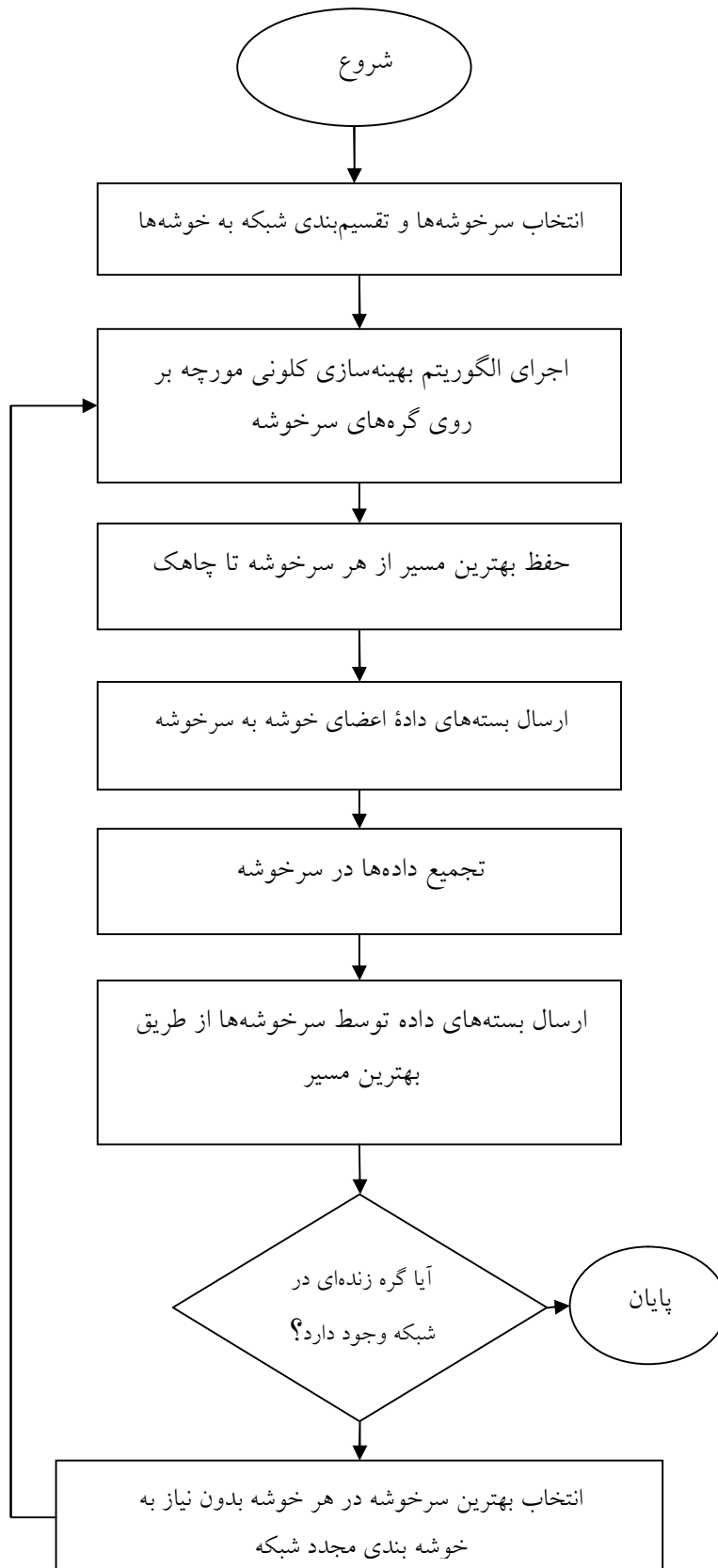
در پروتکل EEMCA در هر دور عمل خوشه‌بندی انجام نمی‌شود، بلکه یکبار عمل خوشه‌بندی انجام می‌شود و در دورهای بعدی گره‌های عضو در خوشه میزان انرژی باقی مانده و شناسه خود را در قالب پیام برای سرخوشه ارسال می‌کنند و سرخوشه، گرهی با انرژی بالاتر را به عنوان سرخوشه در نظر می‌گیرد و با انتشار پیامی که حاوی شناسه گره سرخوشه است، به گره‌های دیگر در خوشه اطلاع می‌دهد. بعد از انتخاب گره سرخوشه، مجدداً عمل ایجاد مسیر و انتقال داده‌ها نیز انجام می‌شود. بنابراین در هر دور سربار ایجاد مسیر را خواهیم داشت؛ اما باید توجه کرد که در زمان انتقال پیام از گره عضو به سرخوشه، مبنی بر انتخاب مجدد سرخوشه، گره عضو زمان‌سنج را به‌کار می‌اندازد. اگر به هر دلیلی پاسخ پیام دریافت نشد، گره تصور می‌کند که سرخوشه از بین رفته و نمی‌تواند سرویس لازم را بدهد؛ در این صورت گره پیامی را در فاصله‌ای معین که حاوی شناسه و انرژی باقی مانده خودش است در شبکه منتشر می‌کند.

گره‌های دیگر خوشه با دریافت این پیام، شناسه خود و انرژی باقی مانده خود را برای گره ارسال می‌دارند. این عمل تا جایی انجام می‌شود که تمامی گره‌ها در داخل خوشه از انرژی یکدیگر با خبر شوند و بتوانند سرخوشه خود را به صورت خود مختار و توزیع‌شده انتخاب کنند.

بنابراین گره‌ها می‌توانند سرخوشه را هم به صورت متمرکز و هم به صورت توزیع شده انتخاب کنند و نیازی به خوشه‌بندی مجدد کل شبکه نباشد و مصرف انرژی کاهش می‌یابد. بعد از مرحله آغازین، مرحله ماندگاری آغاز می‌شود.

۴-۲- مرحله ماندگاری

در این مرحله، طبق زمانبندی TDMA داده‌های اعضای خوشه به سرخوشه‌ها انتقال می‌یابد. سرخوشه، داده‌های دریافتی را با داده خود جمع کرده و به سمت چاهک ارسال می‌کند. در شکل (۳) فلوچارت الگوریتم مسیریابی EEMCA نشان داده شده است.



شکل (۳): فلوجارت الگوریتم مسیریابی EEMCA

۵- شبیه‌سازی

در این بخش به شبیه‌سازی سه پروتکل EEMCA، EEUC و ACALEACH می‌پردازیم و توسط شبیه‌سازی اثبات می‌کنیم که پروتکل پیشنهادی در شرایط و سناریوی داده شده از لحاظ انرژی، کارایی بسیار بیشتری را نسبت به این دو پروتکل دارد.

برای بررسی کارایی پروتکل پیشنهادی، از نرم افزار MATLAB و نسخه ۷/۸ برای شبیه‌سازی استفاده شده است. درصد سرخوشه‌های مطلوب در پروتکل ACALEACH، در حدود ۰/۰۰۵ می‌باشد. میزان حد آستانه برای انتخاب سرخوشه در پروتکل EEUC، ۰/۴ و ضریب ثابت برای محاسبه شعاع رقابتی ۰/۵ می‌باشد. در پروتکل EEUC و EEMCA حداکثر شعاع رقابتی برای سرخوشه آزمایشی برابر ۷۰ متر است. میزان TD-MAX در پروتکل EEUC و EEMCA،

برابر ۱۵۰ متر است. دیگر مقادیر ثابت برای پروتکل EEUC مطابق مقاله [۹] است.

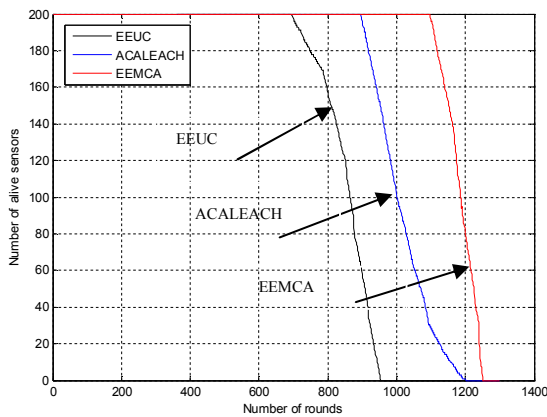
در پروتکل EEMCA مقادیر ضرایب a_1 و a_2 به ترتیب ۰/۲ و ۰/۱ می‌باشند. در پروتکل EEMCA و ACALEACH از روش بهینه‌سازی کلونی مورچه استفاده می‌شود که میزان ضرایب α و β برای محاسبه احتمال، به ترتیب ۲ و ۲ است. میزان ϕ و ρ برای به روز رسانی فرمون مسیر، در EEMCA برابر ۰/۲ و ۰/۱ است.

دیگر مقادیر ثابت برای پروتکل ACALEACH مطابق مقاله [۱۷] است. در این سناریو چاهک در موقعیت (۲۵۰ و ۱۰۰) قرار گرفته است. تعداد مورچه‌ها برای هر گره ۴ می‌باشد و میزان فرمون هر اتصال بین دو گره حسگر در ابتدا برابر ۰.۵ است. سناریوی تعریف شده به صورت ذیل است:

جدول (۱): پارامترهای پیکربندی سناریو

Parameter	Value
Network coverage	200x200m
Sink location	(100,250)m
node	200
Initial energy	0.5J
Data packet size	4000 bits
Control packet size	32 bits
E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
d_0	87m
E_{DA}	5 nJ/bit/signal
Aggregation Ratio	90%

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد، پروتکل EEMCA، همانند EEUC شبکه را به صورت خوشه‌هایی با اندازه کوچک در نزدیک چاهک و خوشه‌هایی با اندازه بزرگ در فاصله دور از چاهک، خوشه‌بندی می‌کند. در پروتکل EEMCA سعی شده است که سرخوشه‌ها در فاصله مناسبی از یکدیگر قرار گیرند. در پروتکل EEMCA تنها یکبار عمل خوشه‌بندی انجام می‌شود.



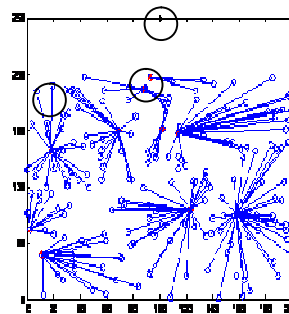
شکل (۵): توزیع گره‌های حسگر زنده را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد.

این شکل به روشنی نشان می‌دهد که از بین رفتن اولین گره حسگر در پروتکل EEMCA دیرتر از دیگر پروتکل‌های شبیه‌سازی شده اتفاق می‌افتد و بعد از آن، تمامی گره‌ها به مرور از بین می‌روند. در این مقاله، مانند مقاله [۱۸] از متریک‌های 'FND' و 'HNA' برای تخمین طول عمر شبکه استفاده شده است. جدول (۲) مقدار این متریک‌ها را برای سه پروتکل در این سناریو نشان می‌دهد.

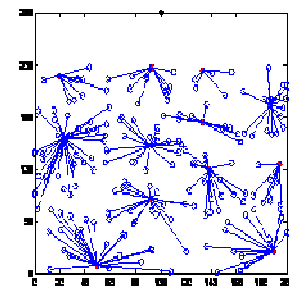
گره‌های حسگر به‌طور تصادفی چیده شده اند و متحرک نیستند. گره سرخوشه برای جمع داده‌هایش به‌میزان E_{DA} انرژی مصرف می‌کند. بنابراین میزان انرژی مصرف شده برای جمع k بیت داده به صورت رابطه ۹ می‌باشد:

$$E_{aggregation}(k) = E_{DA} * k \quad (9)$$

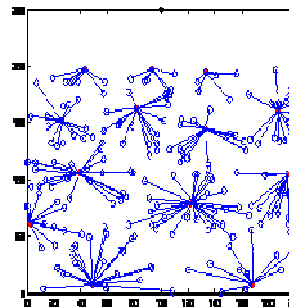
در شکل (۴) نحوه خوشه‌بندی گره‌ها توسط سه پروتکل بیان شده، نشان داده شده است.



الف، نحوه خوشه‌بندی پروتکل ACALEACH



ب، نحوه خوشه‌بندی پروتکل EEUC



ج، نحوه خوشه‌بندی پروتکل EEMCA

شکل (۴): نحوه خوشه‌بندی شبکه توسط هر سه پروتکل

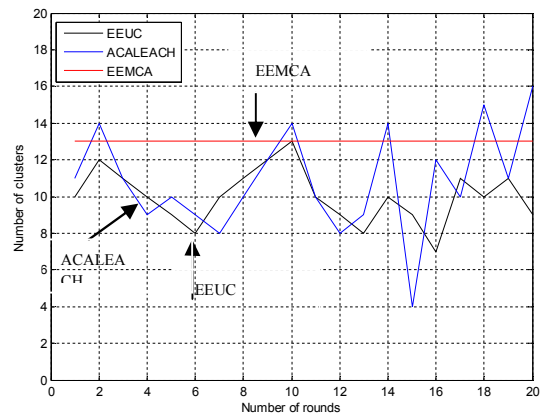
- 1- First Node Dies
- 2- Half of Nodes Alive

جدول (۲): مقادیر متریک‌های FND و HNA برای هر

الگوریتم

Algorithm	FND	HNA
EEMCA	۱۰۹۷	۱۱۸۶
ACALEACH	۸۹۷	۱۰۰۰
EEUC	۶۹۵	۸۷۵

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، در پروتکل EEMCA، اولین گره در دور ۱۰۹۷ انرژی‌اش پایان می‌یابد و همچنین در دور ۱۱۸۶ نیمی از گره‌ها فعال می‌باشند. این مقادیر بیانگر این نکته هستند که نحوه توزیع بار در پروتکل EEMCA، بهتر از سه پروتکل دیگر انجام می‌شود.



شکل (۶): توزیع خوشه‌ها را در دورهای مختلف نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل مشخص است، در پروتکل EEMCA، همواره تعداد خوشه‌ها ثابت است.

جدول (۳) سطوح انرژی باقیمانده‌ی تمامی گره‌ها را برای هر پروتکل، در دور ۸۰۰ نشان می‌دهد. EEMCA دارای بالاترین سطح انرژی، در مقایسه با دو پروتکل دیگر می‌باشد که تقریباً برابر ۶۸ ژول است.

جدول (۳): کل انرژی باقی مانده برای هر پروتکل در دور

۸۰۰

Algorithm	Total Remaining Energy (J)
EEMCA	۶۸
ACALEACH	۵۸
EEUC	۴۰

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یا پروتکل‌ها مسیریابی بهینه انرژی، برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد شده است. در پروتکل EEMCA از روش بهینه‌سازی کلونی مورچه استفاده می‌شود. در پروتکل EEMCA، عمل خوشه‌بندی در هر دور انجام نمی‌شود تا سربار خوشه‌بندی شبکه کاهش یابد.

برای ارزیابی کارایی پروتکل پیشنهادی، از دو پروتکل EEUC و ACALEACH استفاده گردید. پروتکل پیشنهادی می‌تواند نحوه خوشه‌بندی و ایجاد مسیر چندپرشه پروتکل EEUC را بهبود بخشد. همچنین می‌تواند با عمل خوشه‌بندی در زمانی که تراکم گره‌ها در محیط زیاد است، افزونگی داده و سربار ایجاد مسیر کمتری نسبت به ACALEACH داشته باشد. در واقع پروتکل پیشنهادی از مزایای دو پروتکل استفاده می‌کند. با انجام شبیه‌سازی پروتکل‌های مسیریابی EEUC، ACALEACH و EEMCA و بررسی نمودارهای حاصل، مشاهده گردید که پروتکل EEMCA از نظر انرژی از دو پروتکل دیگر در سناریوی داده شده از نظر انرژی کارآمدتر است.

1. I.F. Akyildiz and W. su, "Wireless sensor networks: a survey", *Computer Networks Journal (Elsevier)*, Vol. 38, No.4, pp. 393-422, March 2002.
2. A. A. Abbasi and M. Younis, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks", *Computer Communications Journal (Elsevier)*, 2007.
3. "Smart Sensor Networks: Technologies and Applications for Green Growth", *ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT(OECD)*, December 2009.
4. Y. Yang and F. Lambert, "A survey On Technologies for Implementing Sensor Networks for Power Delivery", in *Proc. of IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Tampa,Fl, pp. 24-28, June 2007.
5. F. Cleveland, "Use of Wireless Data Communication in Power System Operations", *Based on Report 1011751(IEEE)*, March 2006.
6. W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", in *Proc. of 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, vol. 8, Citeseer, pp. 8020, 2000.
7. S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems", in *Proc. of IEEE Aerospace Conference*, 2002.
8. O. Younis and S. Fahmy, "HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," in *Proc. of IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, pp. 366-379, 2004.
9. C. Li, M. Ye, G. Chen and J. Wu, "An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks", in *Proc. of IEEE International Conference on Mobile Adhoc and sensor Systems Conference*, pp.8, 2005.
10. S. Fengjun, "A distributed clustering algorithm for wireless sensor networks", *Journal of Natural Sciences*, China, vol.13, no.4, pp.385-390, 2008.
11. A. Mirzaei and H. Motee Ghader, "A New Clustering Algorithm for Increasing of Lifetime in sensor Networks", *International Journal of Computer and Network Security*, Vol. 2, No. 2, February 2010.
12. J.M. Kim, S.H. Park, Y.J. Han and T.M. Chung, "CHEF: Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic in Wireless Sensor Networks", in *Proc. of ICACT*, 2008.
13. S. Xia and Su Wu, "A New Energy-Efficient Routing Algorithm based on Ant Colony System for Wireless Sensor Networks", *Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Internet Computing for Science and Engineering*, 2009.
14. M. Saleem, G.A. Di Caro and M. Farooq, "Swarm intelligence based routing protocol for wireless sensor networks: survey and future directions", *Information Science Journal (Elsevier)*, 2010.

15. T. Camilo, C. Carreto, J.S. Silva and F. Boavida, “**An energy-efficient ant-based routing algorithm for wireless sensor networks**”, in *Proc. of the 5th International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence(ANTS)*, LNCS, vol.4150, Springer,Berlin,Germany, pp.49-59,2006.
16. Z. Shen and Y. Zhu, “**An Ant Colony System Based Energy Prediction Routing Algorithms for Wireless Sensor Networks**”, in *proc. of IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 1-4, 2008 .
17. W. Guifeng, W. Young and T. Xiaoling, “**An Ant Colony Clustering Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks**”, in *Proc. of Third International Conference on Genetic and Evolutionary Conference*, pp.670-673, 2009.
18. H. Bagci and A.Yazici, “**An Energy Aware Fuzzy Unequal Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks**”, in *Proc. of IEEE International Conference on Fuzzy systems(FUZZ)*, Barcelona, pp.1-8, 2010.

سننژ، جداسازی و خالص‌سازی نانوذرات پروتئینی آلبومین و ژلاتین به عنوان حامل داروهای ضد سرطان

رابعه مهرآور^{۱*}، محسن جهانشاهی^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایت الله آملی، دانشکده مهندسی شیمی، آمل، ایران

چکیده:

با وجود کاربرد بالقوه نانوذرات پلیمری در صنایع داروسازی، یکی از چالش‌ها برای کاربرد نانوذرات در ابزار تشخیص و درمان سرطان، مربوط به خالص‌سازی و جداسازی آن‌ها می‌باشد؛ لذا در سال‌های اخیر جداسازی نانوذرات توجه زیادی را در بسیاری از زمینه‌های علمی به خود جلب کرده است. هدف این مقاله، یافتن روش مناسب برای جداسازی و خالص‌سازی نانوذرات پروتئینی به عنوان حامل دارو است (زیرا روش نامناسب از فعالیت زیستی نانوذرات می‌کاهد) که بسته به روش ساخت و خواص رهایشی نانوذرات متفاوت می‌باشد. در ابتدا نانوذرات پروتئینی سرم آلبومین گاوی، سرم آلبومین انسانی و نانوذرات ژلاتینی را به روش توده ای شدن تهیه کردیم، سپس با روش اولترافیلتراسیون، دیالیز، سانتریفوژ، ژل الکتروفورز و FTIR به جداسازی و خالص‌سازی و مشخصه‌یابی آن‌ها پرداختیم. بهترین اندازه برای نانوذرات سرم آلبومین گاوی، سرم آلبومین انسانی و ژلاتینی به ترتیب ۵۳،۶۷ و ۱۷۴ نانومتر ب دست آمد که نشان می‌دهد این نانوذرات برای دارورسانی بسیار مناسب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی:

نانوذرات، دارورسانی، جداسازی، سانتریفوژ، اولترافیلتراسیون

* عهده دار مکاتبات

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایت الله آملی، دانشکده مهندسی شیمی، آمل، ایران

پست الکترونیکی: rabi_mehravar@yahoo.com

۱- مقدمه

در ده سال اخیر، الگوی استفاده از نانوداروورها در محیط درون بدن (in vivo) برای افزایش کارایی و اثربخشی بسیاری از داروها، مخصوصاً داروهای ضد سرطان؛ چه در پژوهش‌های دارویی و چه در مطالعات بالینی، به خوبی تایید شده و امروزه سیستم‌های زیادی مبتنی بر نانوذرات برای انتقال و هدف‌گیری دارو وجود دارند که یا به خوبی توسعه یافته‌اند و یا در حال توسعه هستند [۱،۲].

هدف از استفاده نانوداروورها، کاهش تخریب داروها، جلوگیری از اثرات جانبی آن‌ها، افزایش دسترسی به دارو و تجمع دارو در محل ضایعه است. از جمله ویژگی‌هایی که برای نانوداروورها پیش بینی می‌شود، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

راحت تر و ارزان تر تهیه می‌شوند، تجزیه پذیرند، ابعاد ذره ای کوچکی دارند، دارای قابلیت بارگیری بالا هستند، گردش طولانی مدت دارند و به طور ایده آلی این توانایی را دارند که به طور اختصاصی یا غیر اختصاصی در محل ضایعه تجمع کنند [۳].

در این زمینه سیستم‌های رهایش کنترل شده نقش مؤثری در رساندن عوامل فارماکولوژیکی و بیولوژیکی به نقاط مشخصی از بدن و رهایش آن با سرعت کنترل شده و بهینه ایفا می‌کنند؛ و لذا نه تنها تاثیر درمانی دارو را بیشتر می‌کنند، بلکه از اثرات جانبی نامطلوب نیز می‌کاهند. از راهکارهای موفق در زمینه رهایش کنترل شده (مکانی و

زمانی) استفاده از سیستم‌های کلوئیدی می‌باشد. این سیستم شامل لیپوزوم، نانوذرات و ... است. کپسوله کردن دارو درون نانوذرات در حقیقت روشی برای محافظت دارو در حین انتقال و همچنین روشی برای محافظت بدن در برابر داروهای بسیار سمی می‌باشد. استفاده از نانوذرات به جای میکروذرات سبب افزایش نسبت سطح به حجم می‌گردد. افزایش این نسبت موجب افزایش نفوذ دارو از ذرات شده و برهم‌کنش دارو را با سلول‌ها و بافت‌ها افزایش می‌دهد.

اندازه بسیار ریز این ذرات باعث می‌شود که آن‌ها به عمق بافت‌ها نفوذ کرده و جذب سلولی آن‌ها افزایش یابد [۴].

در میان ذرات داروبری که تاکنون شناخته شده، لیپوزوم‌ها، مایسل‌ها و نانوذرات پلیمری از همه مشهورترند. این ذرات دارای ویژگی‌های مطلوبی برای کپسوله کردن بسیاری از داروها و مواد تشخیصی (تصویربرداری) هستند [۵]. نانوذرات لیپوزوم دارای خاصیت آبدوستی و آبگریزی هستند و به عنوان حامل دارو از طریق کپسوله کردن داروها مورد استفاده قرار می‌گیرند. لیپوزوم‌های بارگذاری شده توسط دوکوروبیسین با اندازه حدود ۱۰۰ نانومتر به طور تجاری برای درمان سرطان به کار می‌روند. با این حال استفاده از لیپوزوم دارای معایبی نیز می‌باشد از جمله اینکه قابلیت کپسوله کردن دارو در لیپوزوم‌ها کم است، داروهای قابل حل در آب در حضور ترکیبات خون به سرعت از درون آن خارج می‌شوند و در نهایت اینکه لیپوزوم‌ها پایداری کمی دارد [۶].

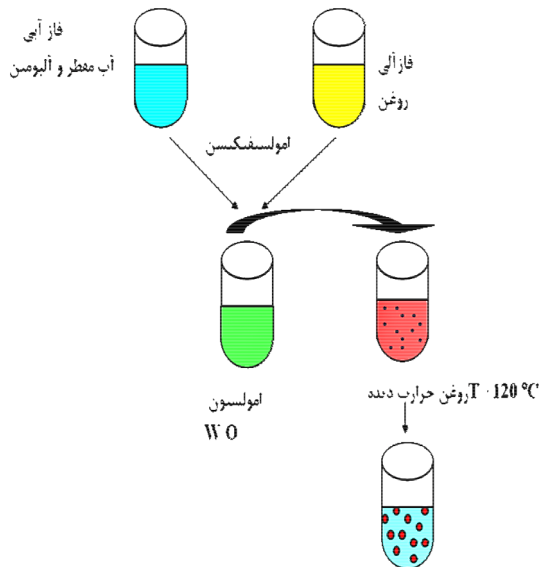
با سنتز نانوذرات پلیمری به جای لیپوزوم سیستم‌های پایدارتر با قابلیت بارگذاری بیشتری می‌توانیم ایجاد کنیم. نانوذرات پلیمری زیست تخریب پذیر و زیست سازگار کاربرد زیادی در سیستم های انتقال دارند [۷].

در میان این سیستم های پلیمری آن هایی که بر پایه پروتئین هستند کاربرد بیشتری دارند. نانو مواد به دست آمده از پروتئین ها بویژه نانوذرات پروتئینی، زیست تخریب پذیر، غیرسمی و غیرآنتی ژن بوده و پایداری بالایی دارند [۸].

نانوذرات ساخته شده از سرم آلبومین (سرم آلبومین گاوی و سرم آلبومین انسانی) دارای قابلیت بارگذاری زیاد دارو و اثرات جانبی بسیار ناچیز بر روی بافت آسیب دیده می باشند. همچنین این نانوذرات زیست تخریب پذیر و غیر آنتی ژن بوده و روش تهیه آن ها ساده میباشد. استفاده از ژلاتین به فرم نانوذرات ژلاتینی نیز دارای مزایایی می باشد؛ زیرا از ماکرو ملکول های طبیعی به دست آمده است، غیر سمی بوده و خواص آنتی ژنی بسیار ناچیزی دارد [۹] و نیز برای انتقال داروهای متعدد به نقاط مختلف بدن مورد استفاده قرار گرفته است.

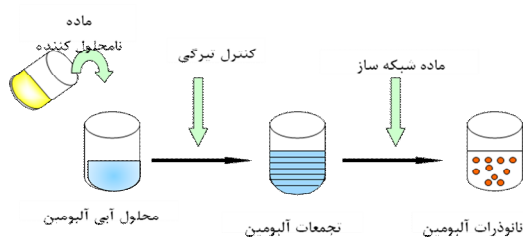
به طور کلی دو روش عمده برای ساخت این نانوذرات (نانوذرات پروتئینی) گزارش شده است؛ تکنیک اول مبتنی بر تشکیل امولسیون آب در روغن (w/o) و شبکه ای کردن ذرات (سخت کردن) به وسیله حرارت و یا روش های شیمیایی است. روش دوم مبتنی بر فرایند جدایی فاز در محیط آبی (توده ای شدن) است که به دنبال آن شبکه ای کردن شیمیایی به منظور سخت کردن

ذرات انجام می شود. این دو روش به صورت شماتیک در شکل (۱) و (۲) داده شده اند [۱۳].



شکل (۱): تهیه نانوکره های آلبومین به روش امولسیون سازی

عمده ترین عیب روش های امولسیونی این است که به منظور حذف روغن و یا عامل پراکنش (dispersing)، ذرات باید با مقدار زیادی حلال شسته شوند و مشکل دیگر این است که به دلیل ناپایداری ذاتی امولسیون قبل از سخت کردن (به وسیله گرما و یا عامل شبکه ای کننده)، امکان تهیه نانوذرات کوچکتر از ۵۰۰ نانومتر با توزیع اندازه باریک وجود ندارد، بنابراین از روش های جدایش فازی در محلول آبی (coacervation) و یا محلول زدا (desolvation) استفاده می شود.



شکل (۲): تهیه نانوکره های آلبومینی به وسیله روش

جدایش فازی در محیط آبی

بسته به روش تهیه نانوذرات، باقی مانده های سمی مختلف از قبیل حلال های آلی، مونومرها، شروع کننده ها، الکترولیت ها، سرفکتانت ها، کلوخه های پلیمری (نانوذرات به هم چسبیده) می تواند در مخلوط نانوذرات وجود داشته باشد.

درجه جداسازی و خالص سازی ذرات بستگی به کاربرد نهایی نانوذرات دارد. مثلاً باقی مانده های پایدار کننده (PVA) که غالباً در تهیه نانوذرات پلی استر به کار می رود در تجویز های خوراکی و چشمی مشکلی به وجود نمی آورد؛ اما به منظور تجویزهای تزریقی باید نانوذرات تصفیه شوند.

اگرچه جداکردن کلوخه های پلیمری (نانوذرات به هم پیوسته) به راحتی و توسط فیلتر کردن ساده انجام می شود، اما حذف بقیه ناخالصی ها مستلزم عملیات پیچیده است. ژل فیلتراسیون، دیالیز، اولتراسانتریفوژ از روشهای متداول برای حذف این ناخالصی ها به شمار می رود [۱۱].

اما این روش ها فقط در مقیاس آزمایشگاهی عملی هستند و همچنین ملکول های سنگین را با این روش نمی توان جدا کرد. به منظور حل این مشکلات از روش فیلتراسیون افقی (cross flow filtration) استفاده می کنند. در این روش سوسپانسیون نانوذرات از روی غشای فیلتر عبور داده می شود (جهت حرکت مایع به موازات فیلتر است). بسته به نوع غشا می توان میکروفیلتراسیون و یا اولترافیلتراسیون انجام داد. مخلوط چندین بار فیلتر شده تا تمام ناخالصی ها دور ریخته شود. بعد از چند بار فیلتراسیون از آنجایی که سیستم غلیظ شده (به دلیل حذف

ناخالصی ها) به همان مقدار آب اضافه می شود تا حجم ثابت بماند با این روش به راحتی می توان ذرات بزرگ و ناخالصی را حذف کرد، بدون اینکه هیچ تغییری در اندازه ذرات حاصل شود و به علاوه این روش در مقیاس های بزرگتر نیز به راحتی امکان پذیر است.

۱-۱- سانتریفوژ

سانتریفوژها به عنوان یک دسته مهم از دستگاه های جداسازی، در انواع ته نشینی و فیلتری و به صورت پیوسته و ناپیوسته عمل می کنند، محدوده عملیاتی آن ها بسیار گسترده می باشد. جداسازی و خالص سازی مایعات، رطوبت زدایی و شستشوی جامدات، تقسیم بندی ذرات با توجه به اندازه آن ها، جداسازی و استخراج مایعات از جمله کاربردهای معمول این دستگاه ها می باشد. به طور کلی روش سانتریفوژ عبارتست از جداسازی جامد از مایع تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز براساس اختلاف دانسیته وزنی آن ها.

۱-۲- فیلتراسیون

فیلتراسیون، روش های جداسازی مبتنی بر اختلاف فشار هستند که از غشاها برای جداسازی اجزا، در محلول مایع و یا سوسپانسیون، بر اساس اختلاف در اندازه و بار ذرات، استفاده می کنند. فیلتراسیون به دو صورت امکان پذیر است: فیلتراسیون با جریان نرمال و فیلتراسیون با جریان افقی. اختلاف این دو مدل در جهت جریان خوراک است که این تفاوت در شکل (۳) نشان داده شده است.

ملکولی و بار الکتریکی، تفکیک کرد. برای این منظور از روشی به نام الکتروفورز استفاده می‌شود. در ژل الکتروفورز از یک محیط نیمه جامد (ژل) به عنوان فاز ثابت استفاده می‌شود. این نوع الکتروفورز برحسب نوع ژل به کار گرفته شده به دو نوع الکتروفورز ژل پلی آکریل آمید (PAGE) و الکتروفورز ژل آگاروز تقسیم می‌شود.

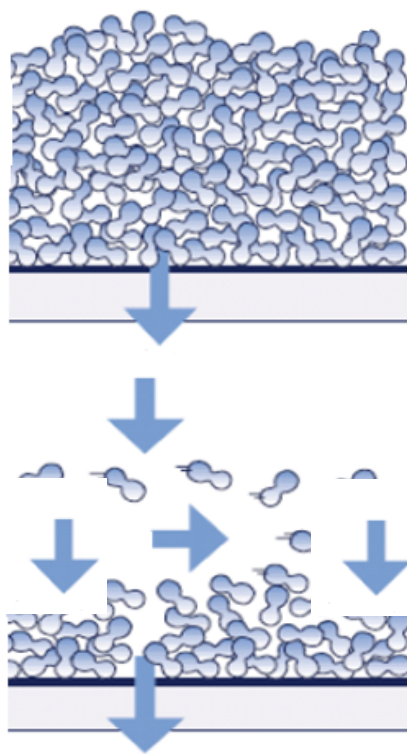
۱-۵- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون

قرمز (FTIR)

طیف سنجی مادون قرمز بر اساس جذب تابش و بررسی جهش‌های ارتعاشی مولکول‌ها و یون‌های چند اتمی صورت می‌گیرد. این روش به عنوان روشی پر قدرت و توسعه یافته برای تعیین ساختار و اندازه‌گیری گونه‌های شیمیایی به کار می‌رود. برهم کنش تابش مادون قرمز با یک نمونه باعث تغییر انرژی ارتعاشی پیوند در مولکول‌های آن می‌شود و روش مناسبی برای شناسایی گروه‌های عاملی و ساختار مولکولی است. برخی اطلاعاتی که می‌توان از FTIR به دست آورد، شامل موارد ذیل است:

شناسایی کیفی و کمی ترکیبات آلی حاوی نانوذرات، تعیین نوع گروه عاملی و پیوندهای موجود در مولکول‌های آن. برای تعیین مقادیر بسیار کم یون هیدروژن فسفات در هیدروکسی آپاتیت که در اعضاء مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین برای آنالیز برخی داروهای حاوی نانو ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این مقاله ابتدا نانوذرات سرم البومین گاوی، سرم آلبومین انسانی و نانوذرات ژلاتینی را



شکل (۳): نمای شماتیکی از الف) فیلتراسیون نرمال و ب) فیلتراسیون افقی [۱۲].

۱-۳- دیالیز

فرایندی است که در آن ترکیب مواد حل شونده در یک محلول با در معرض قرار گرفتن با محلول دیگر که از طریق غشای نیمه تراوا از هم جدا شده‌اند، تغییر می‌کند. مولکول‌های آب و مواد با وزن مولکولی کم می‌توانند از منافذ غشا عبور کرده، ولی مواد با وزن مولکولی زیاد مانند پروتئین‌ها نمی‌توانند عبور کنند.

۱-۴- ژل الکتروفورز

به سبب اینکه ماکرومولکول‌های زیستی مانند دی.ان.ای و پروتئین‌ها باردار هستند، می‌توان با قرار دادن آن‌ها در یک میدان الکتریکی، آن‌ها را بر اساس خواص فیزیکی مانند شکل فضایی، وزن

به روش جدایش فازی در محلول آبی یا روش محلول زدا تهیه می کنیم و جهت به دست آوردن ذرات در اندازه های مناسب و خلوص بالا با استفاده از روش هایی مانند: اولترافیلتراسیون، دیالیز و اولتراسانتریفوژ به جداسازی و خالص سازی آن ها می پردازیم.

۲- مواد

پودر سرم آلبومین گاوی (جزء ۷، خلوص ۹۸٪)، پودر سرم آلبومین انسانی (جزء ۷، خلوص ۹۹-۹۶٪)، پودر ژلاتین نوع A، توپین ۲۰، اتانول آمین، گلوکارآلدهید و استن که از شرکت سیگما تهیه گردیده، اتانول، سدیم آزید و دیگر مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان خریداری شده اند.

۳- روش ها

۳-۱- آماده سازی نانوذرات سرم آلبومین

گاوی

ساخت این نانوذرات با روش توده ای شدن ساده و اتصال عرضی ذرات توسط عامل شبکه ای کننده گلوکارآلدهید انجام شد [۸،۱۳].

ابتدا سرم آلبومین گاوی را در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر حل کرده به آن Tris/HCl اضافه کرده سپس pH محلول را با استفاده از هیدروکسید سدیم به ۵/۷ رساندیم. در این مرحله اتانول را قطره قطره به محلول حاضر اضافه کرده تا اینکه رنگ محلول کدر شود. پس از تشکیل نانوذرات سرم آلبومین گاوی، به منظور تثبیت نانوذرات بدست آمده ۵۰ میکرولیتر گلوکارآلدهید به آن اضافه گردید. این محلول به مدت یک ساعت توسط همزن مغناطیسی

همزده شد. سپس به ازای هر میلی لیتر از حجم محلول نهایی ۰/۱۲۵ میکرولیتر اتانول آمین به آن افزوده شده و مجدداً به ازای هر میلی لیتر از حجم محلول نهایی ۰/۰۱ میلی لیتر توپین ۲۰، اضافه گردید. در پایان محلول نانوذرات به دست آمده به مدت ۱ ساعت توسط همزن مغناطیسی همزده شد.

۳-۲- آماده سازی نانوذرات سرم آلبومین

انسانی

ساخت این نانوذرات با روش توده ای شدن ساده که توسط مارتی و همکارانش پیشنهاد شده، انجام شد [۱۴]. ابتدا پودر سرم آلبومین انسانی را در ۲ میلی لیتر محلول ۱۰ میلی مولار کلرید سدیم حل کرده سپس با استفاده از محلول ۱/۰ نرمال هیدروکسید سدیم، pH را به ۹ رساندیم. در این مرحله ۸ میلی لیتر اتانول را به عنوان عامل ضد حلال به صورت قطره قطره به محلول پروتئینی اضافه نمودیم. پس از تشکیل نانوذرات، با افزودن گلوکارآلدهید، عامل اتصال دهنده عرضی دوتایی همگن، ذرات تثبیت شدند. محلول به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط توسط همزن مغناطیسی همزده شد.

۳-۳- آماده سازی نانوذرات ژلاتینی

برای تهیه این نانوذرات ابتدا ژلاتین نوع A را در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر تحت شرایط دمایی ثابت حل کردیم. سپس ۲۵ میلی لیتر استن را به عنوان ضد حلال یکبار به محلول اضافه نمودیم تا ژلاتین با وزن ملکولی بالا ته نشین شود. محلول شناور دور ریخته شده و ژلاتین با وزن

ملکولی بالا که ته نشین شده بود دوباره در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر حل شده و تحت شرایط دمایی ثابت همزده شد. pH محلول را به ۲/۵ رسانده و سپس استن را قطره قطره به محلول اضافه می‌کردیم تا رنگ محلول کدر شود. در این مرحله گلو تار آلدئید به عنوان عامل تثبیت کننده اضافه شد. در نهایت محلول نانوذرات به دست آمده به مدت ۱۲ ساعت توسط همزن مغناطیسی همزده شد.

۴- جداسازی و خالص سازی نانوذرات

۴-۱- جداسازی و خالص سازی نانوذرات

سرم آلبومین گاوی

جداسازی و خالص سازی نانوذرات سرم آلبومین گاوی در چند مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا ذرات بزرگتر توسط یک مرحله سانتریفوژ با سرعت g ۳۶۰۰۰، در دمای ۴ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۰ دقیقه جدا می‌شوند. سپس محلول شناور حاصل از این مرحله را جدا کرده وارد کیسه دیالیز می‌کنیم و به مدت ۱۴ ساعت در محلول آب مقطر با pH برابر با ۷/۵ قرار می‌دهیم. در این مرحله نیز مقداری از ناخالصی‌ها جدا می‌گردند و در نهایت به منظور تکمیل فرایند جداسازی، از میکرو و اولترافیلتراسیون در محدوده اندازه منافذ ۰/۲ تا ۰/۰۲ میکرومتر و کات آف ۳۰۰ کیلو دالتون استفاده می‌شود.

۴-۲- جداسازی و خالص سازی نانوذرات

سرم آلبومین انسانی

به منظور جداسازی و خالص سازی نانوذرات سرم آلبومین انسانی به دست آمده، از ۵ مرحله سانتریفوژ با سرعت g ۲۵۰۰۰ در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و به مدت ۱۰ دقیقه استفاده می‌کنیم به طوری که پس از هر با سانتریفوژ محلول شناور دور ریخته شده و قسمت ته نشین شده را مجدداً در محلول ۱۰ میلی مولار کلرید سدیم پراکنده می‌شود. این پراکنندگی مجدد ذرات در محلول اولیه توسط قرار دادن نمونه در حمام اولتراسونیک صورت می‌گیرد. پس از پایان این ۵ مرحله سانتریفوژ، نانوذراتی با خلوص بالا خواهیم داشت.

۴-۳- جداسازی و خالص سازی نانوذرات

ژلاتینی

به منظور تهیه نانوذرات ژلاتینی با خلوص بالا، توسط سه مرحله سانتریفوژ با سرعت g ۱۵۰۰۰ و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه، ناخالصی‌ها را جداسازی می‌کنیم. به این صورت که پس از هر مرحله سانتریفوژ، محلول شناور دور ریخته شده و رسوب حاصله را در محلول ۳۰٪ استن (۳۰٪ استن و ۷۰٪ آب) مجدداً پراکنده می‌کنیم. در پایان مرحله سوم به منظور جداسازی استن موجود در محلول حاوی نانوذرات، این محلول را در حمام آب با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد قرار می‌دهیم تا استن موجود در آن تبخیر گشته و نانوذرات با خلوص بالا حاصل گردد.

۵- بررسی خواص فیزیکی و اندازه نانوذرات اندازه ذرات به دست آمده و مورفولوژی آنها را با استفاده از دستگاهها PCS SALD-2101 (محصول کشور ژاپن) و AFM (ساخت شرکت DME از کشور دانمارک) و SEM (XL30 ساخت شرکت فیلیپس) مورد بررسی قرار گرفت.

۶- ارائه نتایج و تحلیل یافته ها

قطر ذرات فاکتور مهمی برای توزیع نانوذرات در اندام و نسوج بدن است [۱۵]. مطالعات صورت گرفته در مورد توزیع نانوذرات در بدن نشان می دهد که نانوذرات بزرگتر از ۲۳۰ نانومتر در طحال به دلیل بخش های مویینی که در اندام وجود دارد انباشته می شود [۱۶]. مطالعاتی که بر روی بدن صورت گرفته نشان می دهد که سایز ذرات، جذب سلولی نانوذرات را تحت تأثیر خود قرار می دهد. به عنوان مثال دسای و همکارانش [۱۷] نشان دادند که جذب ذرات با اندازه ۱۰۰ نانومتر، ۲/۵ برابر ذرات با اندازه ۱ میکرومتر و همچنین ۶ برابر جذب میکروذرات ۱۰ میکرومتر در سلول های Caco-2 می باشد. علاوه بر اندازه، ساختار و ویژگی های این ذرات نیز پارامتر مهمی در به کارگیری آنها به عنوان حامل دارو در بدن است؛ به طوری که این ذرات خود باید غیر سمی و به دور از هر گونه ناخالصی باشند.

پس از ساخت نانو ذرات پروتئینی برای به دست آوردن اندازه ذره کوچکتر به جستجوی عوامل مؤثر در اندازه پرداختیم و با روش های مناسب به جداسازی و خالص سازی آنها پرداختیم و

و سپس با استفاده از یک روش مناسب اقدام به بهینه سازی نانو ذرات نمودیم. برای بهینه سازی از روش کسری از فاکتوریل کامل استفاده گردید، چون روش فاکتوریل کامل نیاز به انجام تعداد زیادی (با توجه به شش عامل و در سطوح مختلف حداقل به بیش از پنج هزار) آزمایش بود و روش یک عامل در یکرمان هم نمی توانست تمامی خواسته های ما را برآورده نماید؛ زیرا احتمال در نظر نگرفتن بسیاری از عوامل وجود خواهد داشت. در نتیجه روش کسری از فاکتوریل کامل از میان روش های فوق انتخاب گردید و در میان روش های آماری نیز با توجه به در دسترس بودن و همچنین کارهای مشابه انجام شده روش تاگچی انتخاب گردید برای بهینه سازی از نرم افزار تاگچی مدل (Qualiteck – 4 version 4.82.0) استفاده گردید.

برای بهینه سازی اندازه ذرات چهار عامل مؤثر ذکر شده در چهار سطح انتخاب می شوند که می توان آنها را در جدول (۳ و ۲ و ۱) مشاهده نمود به نتایج ذیل دست یافتیم:

جدول (۱): عوامل و سطوح آنها در فرایند ساخت

نانوذرات پروتئینی سرم آلبومین گاوی

سطح				عامل
۴	۳	۲	۱	
۷۰۰	۵۵۰	۴۰۰	۲۵۰	(A): سرعت همزن (rpm)
۳۰	۲۰	۱۰	۵	(B): غلظت پروتئین (mg/ml)
۸	۷/۵	۷	۶	pH:(C)
۳۴	۲۴	۱۴	۴	(D): دما (°C)

جدول (۴): طراحی آرایه متعامد

سطوح متغییرها				شماره آزمایش
A	B	C	D	
۱	۱	۱	۱	۱
۱	۲	۲	۲	۲
۱	۳	۳	۳	۳
۱	۴	۴	۴	۴
۲	۱	۲	۲	۵
۲	۲	۱	۴	۶
۲	۳	۴	۱	۷
۲	۴	۳	۲	۸
۳	۱	۳	۴	۹
۳	۲	۴	۳	۱۰
۳	۳	۱	۲	۱۱
۳	۴	۲	۱	۱۲
۴	۱	۴	۲	۱۳
۴	۲	۳	۱	۱۴
۴	۳	۲	۴	۱۵
۴	۴	۱	۳	۱۶

پس از انجام آزمایش‌ها مطابق آرایه متعامد، با وارد نمودن اعداد به دست آمده از آزمایشات در نرم افزار و انتخاب گزینه "هر چه کوچکتر باشد بهتر است" نرم افزار با انجام محاسبات شرایط بهینه برای تهیه نانوذرات را به صورت زیر پیشنهاد می‌کند (جدول ۵ و ۶ و ۷). سپس در این شرایط اندازه ذرات به دست آمده و مورفولوژی آن‌ها را با استفاده از دستگاه‌های PCS و AFM و SEM مورد بررسی قرار دادیم. تصاویر به دست آمده از SEM نشان دهنده این است که ذرات حاصله کروی یا شبه کروی بوده، دارای سطحی متراکم و یکنواخت هستند که این ویژگی‌ها به همراه خلوص بالای به دست آمده اثبات می‌کند. این نانوذرات می‌توانند به عنوان حامل‌های دارویی به کار گرفته شوند.

جدول (۵): شرایط بهینه برای تهیه نانوذرات سرم آلبومین گاوی

سرعت همزن (rpm)	غلظت پروتئین (mg/ml)	pH	دما (°C)
۷۰۰	۱۰	۷/۵	۴

جدول (۲): عوامل و سطوح آن‌ها در فرایند ساخت

نانوذرات پروتئینی سرم آلبومین انسانی

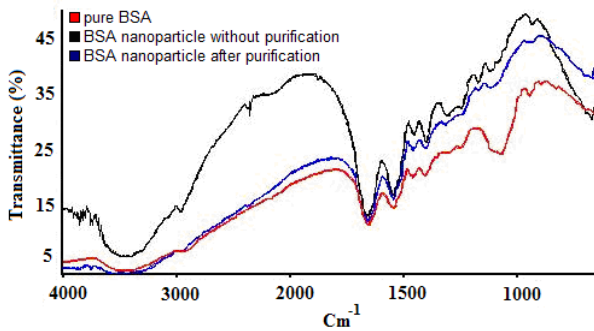
عامل	سطح			
	۱	۲	۳	۴
pH:(A)	۷/۵	۸	۸/۵	۹
(B): غلظت پروتئین (mg/ml)	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
(C): نسبت حجم اتانول به پروتئین	۱	۲	۳	۴
(D): نرخ افزودن اتانول به محلول پروتئین (ml/min)	۰/۵	۱	۱/۵	۲

جدول (۳): عوامل و سطوح آن‌ها در فرایند ساخت

نانوذرات ژلاتین

عامل	سطح			
	۱	۲	۳	۴
(A): دما (°C)	۴۰	۵۰	۵۵	۶۰
(B): غلظت ژلاتین (mg/ml)	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
(C): حجم استن (ml)	۶۰	۶۵	۷۵	۸۰
(D): سرعت همزن (rpm)	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰

با توجه به تعریف عوامل به صورت بالا نرم افزار تاگوجی تعداد ۱۶ آزمایش را پیشنهاد نموده است. با توجه به تمامی ترکیب‌های ممکن بین ۴ عامل در ۴ سطح، ۲۵۶ آزمایش برای پوشاندن تمامی حالات ممکن ضروری بوده است (روش فاکتوریل کامل) اما تاگوجی از میان ۲۵۶ آزمایش، تعداد ۱۶ آزمایش را که بیشترین اثر چهار عامل مربوط را در خود دارند، مشخص و پیشنهاد می‌کند (جدول ۴).



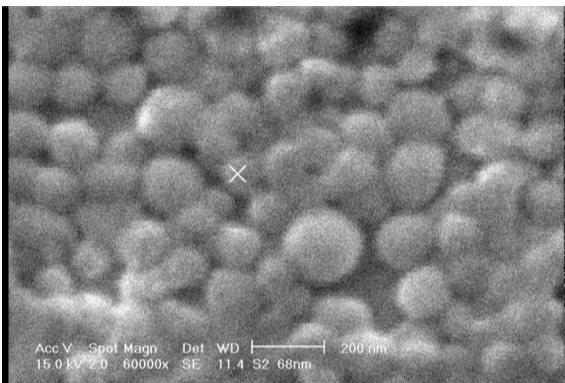
شکل (۶): آنالیز نانوذرات سرم آلبومین گاوی با استفاده از FTIR [۸].

نتایج به دست آمده از آنالیز نانوذرات سرم آلبومین گاوی نشان می دهد که این ذرات با اندازه مناسب و خلوص بالا، این قابلیت را دارند که به عنوان حامل مناسبی برای انتقال دارو به بدن به شمار آیند.

جدول (۶): شرایط بهینه برای تهیه نانوذرات سرم آلبومین انسانی

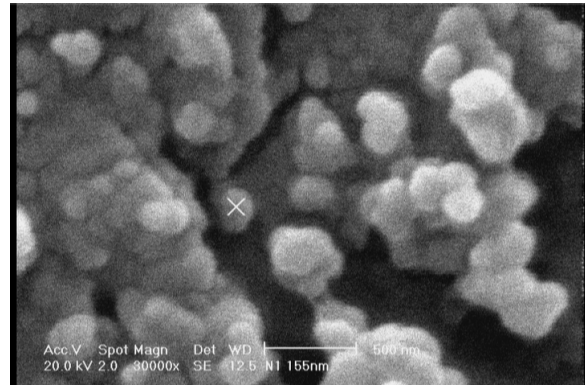
pH	غلظت پروتئین (mg/ml)	نسبت حجم اتانول به پروتئین	نرخ افزودن اتانول به محلول پروتئین (ml/min)
۹	۷۵	۴	۱/۵

که در این شرایط توانستیم ذراتی با اندازه متوسط ۵۳ نانومتر را بدست آوریم.



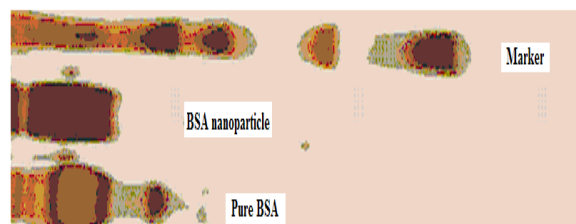
شکل (۷): تصویر SEM از نمونه نهایی نانوذرات سرم آلبومین انسانی با بزرگ نمایی ۶۰۰۰۰

که در این شرایط توانستیم ذراتی با اندازه متوسط ۶۷ نانومتر را به دست آوریم.



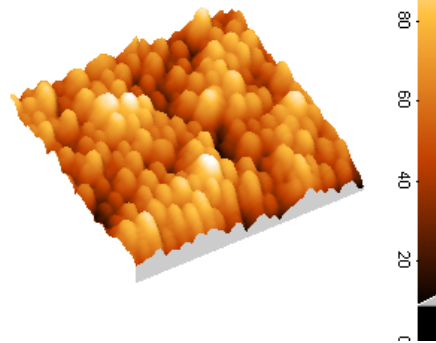
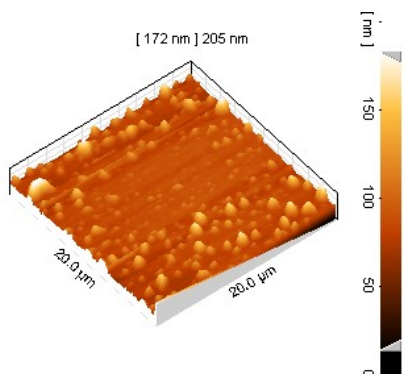
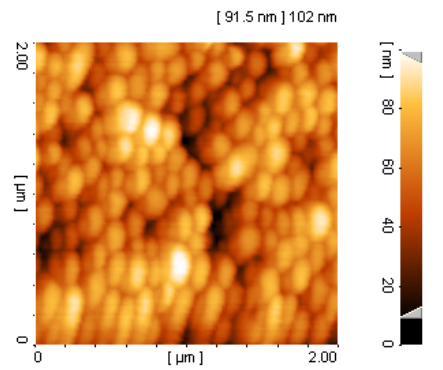
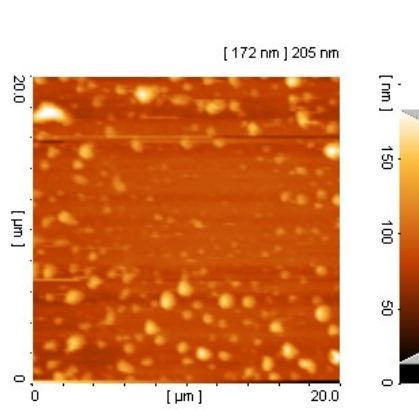
شکل (۸): تصویر SEM از نمونه نهایی نانوذرات سرم آلبومین گاوی با بزرگ نمایی ۳۰۰۰۰

برای مقایسه خلوص نانوذرات به دست آمده با سرم آلبومین گاوی خالص از ژل الکتروفورز SDS-PAGE استفاده شد (شکل ۵). نمونه هایی با مقادیر مختلف (۱۰، ۲۰، ۳۰ میکرولیتر) مورد آنالیز واقع شد. باندهای پروتئین، خلوص نانوذرات به دست آمده را نشان می دهد و نوارهای موجود در شکل خلوص بالایی محصولات را اثبات می کند.



شکل (۵): آنالیز نانوذرات سرم آلبومین گاوی با مقادیر ۲۰، ۱۰ و ۳۰ میکرولیتر توسط ژل الکتروفورز [۶].

ساختار ملکولی نانوذرات سرم آلبومین گاوی نیز توسط طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) مورد ارزیابی واقع شد (شکل ۶).



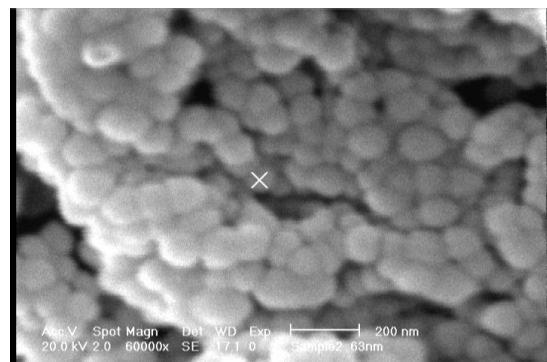
شکل (۱۰): تصویر AFM از نمونه نهایی نانوذرات ژلاتینی [۱۸]

شکل (۸): تصویر AFM از نمونه نهایی نانوذرات سرم آلبومین انسانی

جدول (۷): شرایط بهینه برای تهیه نانوذرات ژلاتین

سرعت همزن (rpm)	حجم استن (ml)	غلظت ژلاتین (mg/ml)	دما (°C)
۷۰۰	۸۰	۴۵	۵۰

در این شرایط موفق به تهیه ذراتی با اندازه متوسط ۱۷۴ نانومتر شدیم.



شکل (۹): تصویر SEM از نمونه نهایی نانوذرات ژلاتینی با بزرگ‌نمایی ۶۰۰۰ [۱۸]

۷- جمع بندی

در سال‌های اخیر در زمینه بهبود دارودرمانی به صورت توزیع کنترل شده دارو در بدن به منظور کاهش اثرات جانبی داروها تحقیقات وسیعی صورت گرفته است. سیستم‌های دارورسانی جدید و متنوعی در اندازه میکرو و نانومتر برای غلبه بر این مشکل تولید شدند.

نانوذرات پروتئینی کاربردهای بسیاری در داروسازی و پزشکی دارند. از بین پروتئین‌های مورد استفاده، آلبومین‌ها و ژلاتین بیشترین کاربرد را دارند. آلبومین‌ها به طور گسترده در سیستم‌های رهاسازی کنترل شده و به عنوان ابزاری برای انتقال عوامل درمانی به سایت‌های

مورد نظر، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته اند. هدف از انجام این تحقیق، ساخت نانوذرات پروتئینی مناسب از لحاظ اندازه و کیفیت، جهت انتقال هوشمندانه و هدفمند دارو به نقاط مورد نظر بوده است. در این تحقیق از روش توده ای شدن برای ساخت نانوذرات پروتئینی سرم آلبومین انسانی (HSA)، سرم آلبومین گاوی (BSA) و ژلاتین نوع A استفاده شده است. تأثیر عوامل مختلفی مانند دما، pH، غلظت پروتئین، سرعت همزن، حجم ضد حلال و ... روی اندازه ذرات مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بهینه سازی اندازه ذرات از نرم افزار تاگوچی مدل (Qualiteck – 4 version 4.82.0) استفاده گردید. پس از ساخت نانوذرات نوبت به جداسازی و خالص سازی آن ها می رسد. از آنجا که تهیه این نانوذرات به منظور کاربرد در سیستم های انتقال دارو به عنوان حامل داروهای ضد سرطان می باشد، جهت به دست آوردن ذرات در اندازه های مناسب و خلوص بالا با استفاده از روش هایی

مانند: اولترافیلتراسیون، دیالیز، اولتراسانتریفوژ، ژل الکتروفورز و FTIR به جداسازی و خالص سازی آن ها پرداختیم و در نهایت موفق به ساخت این ذرات در اندازه های بسیار کوچک (نانوذرات سرم آلبومین گاوی ۶۷ نانومتر، نانوذرات سرم آلبومین انسانی ۵۳ نانومتر و نانوذرات ژلاتین ۱۷۴ نانومتر) و با خلوص بسیار بالا شدیم که در نوع خود بی نظیر است. بارگذاری دارو بر روی این نانوذرات هدف بعدی و موضوع مقالات آینده خواهد بود.

۸- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله مراتب تشکر خود را از مرکز تحقیقاتی نانو بیوتکنولوژی بابل به منظور فراهم کردن تسهیلات لازم برای انجام این تحقیق ابراز داشته و به طور ویژه از پرفسور نجف پور، آقای مهندس رحیم نژاد، خانم مهندس بابایی و خانم مهندس گل بیانی تقدیر می نمایند.

۹- مراجع

- [1] RH Müller; “Colloidal carriers for controlled drug delivery and targeting”. Wissenschaftliche verlagsgesellschaft: Stuttgart, Germany and CRC Press: Boca Raton, 1991.
- [2] S Cohen, H Bernstein (eds); “Microparticulates systems for the delivery of proteins and vaccines”, Marcel Dekker, New York, 1996.
- [3] R Gref, Y Minamitake, MT Peracchia, V Trubetskoy, VP Torchilin, R Langer; “Biodegradable long-circulating polymeric nanospheres”, Science 263, 1994, 1600.
- [4] G Panyam, V Labhasetwar; “Biodegradable nanoparticles for drug and gene delivery to cells and tissue”, Advanced Drug Delivery Reviews, Vol. 55, 2003, 329-347.
- [5] F Yuan, M Dellian, M Fukumura, M Leunig, BD Berk, VP Torchilin, RK Jain; “Vascular permeability in a human tumor xenograft, Molecular size dependence and cutoff size”, Cancer Res 55, 1995, 3752.

[6] M Rahimnejad, M Jahanshahi, G. D Njafpour: “**Production of biological nanoparticles from bovine serum albumin for drug delivery**”, Afr. J. Biotechnol, **5** (20), 2006, 1918-1923.

[7] L Brannon-Peppas, J.O Blanchette; “**Nanoparticle and targeted systems for cancer therapy**”, Advanced Drug Delivery Reviews, Vol. 56, 2004, 1649-1659.

[8] M Jahanshahi, G. D Njafpour, M Rahimnejad; “**Applying Taguchi method for optimized fabrication of bovine serum albumin (BSA) nanoparticles as drug delivery vehicles**”, Afr. J. Biotechnol, **7**(4), 2008, 362.

[9] M Jahanshahi, M H Sanati, S Hajizadeh, Z Babaei; “**Gelatin nanoparticle fabrication and optimization of the particle size**”, Phy. Stat. sol. (a), 2008, 1-5.

[10] M Jahanshahi, Z Babaei; “**Protein nanoparticle: A unique system as drug delivery Vehicles**”, Afr. J. Biotechnol, **7**(25), 2008, 4926-4934.

[11] **Hand book of drug delivery systems**, Nanoparticles.

[12] Protein Concentration and Diafiltration by Tangential Flow Filtration, [Internet source], Millipore, Viewed 2007-10-01, Available at:

<http://www.millipore.com/techpublications/tech1/tb032>

[13] M Jahanshahi, Z Zhang, ALyddiatt; “**Subtractive chromatography for purification and recovery of Nano-bioproducts**”, J.IEE Proc-Nanobiotechnol, **152**(3), 2005, 121-126.

[14] J.J Marty, R.C Oppenheimer, P Speiser; “**Nanoparticles-a new colloidal drug delivery system**”, Pharm. Acta Helv, **53**, 1978, 17-23.

[۱۵] سید عباس شجاع الساداتی، محمد علی اسدالهی، بیوتکنولوژی صنعتی. انتشارات دانشگاه تربیت

مدرس، ۱۳۸۱.

[16] J Kreuter; “**Peroral administration of nanoparticles**”, Adv Drug Del Rev **7**(1), 1991, 71-86.

[17] MP Desai, V Labhasetwar, E Walter, RJ Levy, GL Amidon; “**The mechanism of uptake of biodegradable microparticles in Caco-2 cells in size dependent**”, Pharm Res **14** , 1997, 1568 -1573.

[18] M Jahanshahi, MH Sanati , Z Babaei; “**Optimization of parameters for the fabrication of gelatin nanoparticles by the Taguchi robust design method**”, Journal of Applied Statistics, **35**, **12**, 2008, 1345–1353,

طراحی یک کنترل‌کننده فازی بهینه بر پایه جبران‌کننده استاتیک توان راکتیو در بهبود میرایی نوسانات سیستم قدرت

حامد حسونند^{۱*}، بشیر بخشیده‌زاد^۲، بابک مظفری^۳، سودابه سلیمانی^۴

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی برق، تهران، ایران

^۲ دانشگاه مانس، گروه مهندسی برق، مانس بلژیک

^۳ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی برق، تهران، ایران

چکیده:

در این مقاله، طراحی بهینه یک کنترل‌کننده فازی بر پایه جبران‌کننده استاتیک توان راکتیو به منظور افزایش میرایی نوسانات سیستم قدرت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. این مسئله به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی فرمولبندی گشته و توسط الگوریتم بهینه‌سازی هوش گروهی حل می‌شود. الگوریتم بهینه‌سازی هوش گروهی به منظور تنظیم مناسب و بهینه ضرایب مقیاس ورودی/خروجی کنترل‌کننده فازی به منظور رسیدن به یک عملکرد کنترلی مطلوب به کار می‌رود. همچنین یک کنترل‌کننده فازی معمولی که ضرایب مقیاس ورودی/خروجی آن توسط روش سعی و خطی محاسبه شده‌اند، معرفی گردیده و کارآیی هر دو کنترل‌کننده از منظر میرایی و زمان نشست، برای نشان دادن تأثیر بهینه نمودن ضرایب مقیاس با یکدیگر مقایسه می‌گردد. نتایج بیانگر تأثیر کنترل‌کننده فازی بر میرایی نوسانات یک سیستم تک ماشینه متصل به شین بینهایت است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که کنترل‌کننده فازی بهینه تحت شرایط متفاوت بارگذاری و خطاهای گوناگون، عملکرد بهتری نسبت به کنترل‌کننده فازی که ضرایب مقیاس آن از سعی و خطا محاسبه شده‌اند دارد.

واژه‌های کلیدی:

نوسانات فرکانس پایین، جبران‌کننده استاتیک توان راکتیو، کنترل‌کننده فازی، روش بهینه‌سازی هوش گروهی

* عهده‌دار مکاتبات:

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی برق، تهران، ایران

پست الکترونیکی: hamed_hasanvandb@yahoo.com

۱- مقدمه

سیستمهای قدرت اغلب در معرض نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین که ناشی از اغتشاشات الکتریکی است، قرار می‌گیرند [۱]. اتصال نواحی مختلف تولید به یکدیگر با خطوط انتقال ضعیف، نوسانات فرکانس پایین توان در محدوده ۱/۰ الی ۳ هرتز را در شبکه تقویت می‌کند. باقی ماندن و گسترش یافتن این گونه نوسانات ممکن است باعث جداسازی قسمتی از سیستم قدرت شود. پایدارسازهای سیستم قدرت^۱ (PSS) برای ایجاد میرایی در مقابل این نوع از نوسانات بکار می‌روند. امادر بعضی از شرایط عملکرد به دلیل محدودیت ظرفیت توان راکتیو ژنراتور و در نتیجه محدودیت تغییر ولتاژ از طریق سیستم تحریک ژنراتور، PSS میرایی مناسب را ایجاد نمی‌کند و نیاز است تا علاوه بر PSS، ابزار دیگری مورد استفاده قرار بگیرد و یا میراسازی نوسانات توان با افزودن کنترل‌کننده‌های تکمیلی به کنترل‌کننده استاتیک توان راکتیو^۲ (SVC) در نقاط مختلف شبکه تأمین گردد. این خواسته معمولاً از طریق افزودن یک سیگنال کنترل تکمیلی (کمکی) به حلقه کنترل ولتاژ SVC تحقق می‌یابد. بنابراین SVC با تنظیم سوسپتانس موازی خود، نوسانات را میرا نموده و پایداری سراسری سیستم را افزایش می‌دهد [۲]. روشهای متفاوتی برای طراحی این کنترل‌کننده تکمیلی وجود دارد که آنالیز گشتاور

میراکننده^۳ [۳] و کنترل تطبیقی^۴ [۴] از این جمله‌اند. روشهای بالا نیازمند به مدل خطی شده سیستم حول نقطه کار نامی هستند. در حالیکه وجود تغییرات گسترده و همچنین غیر خطی بودن سیستم قدرت، باعث می‌شود تا رسیدن به یک عملکرد کنترلی خوب با استفاده از این کنترل‌کننده‌ها در شرایط گوناگون تغییر نقطه کار سیستم مشکل باشد. کنترل فازی ابزاری جدیدی را برای حل پیچیدگی‌های موجود در سیستم قدرت ارائه می‌دهد. عملکرد سیستم فازی هنگامی که تغییرات گسترده شرایط کار (نقطه کار) به واسطه بروز خطاهای بزرگ در سیستم قدرت وجود دارد، به دلیل استقامت ذاتی آن، بسیار مناسب است. بعلاوه، به راحتی می‌توان غیرخطی بودن سیستم قدرت را در طراحی سیستم فازی به حساب آورد [۶] و [۵]. باید توجه کرد که از مهمترین موارد قابل توجه در طراحی کنترل‌کننده فازی، تنظیم بهینه ضرایب مقیاس ورودی/خروجی کنترل‌کننده در آن است. بهینه نمودن این ضرایب با روشهای گوناگونی صورت می‌پذیرد. روشهای سعی و خطا و الگوریتم‌های بهینه سازی هوشمند از این جمله می‌باشند. اخیراً با استفاده از روشهای هوشمند، کنترل‌کننده فازی بهینه برای PSS طراحی شده است. از جمله می‌توان به روش الگوریتم ژنتیک و هوش گروشی اشاره کرد که با استفاده از این روشها، ضرایب کنترل‌کننده فازی برای بهبود عملکرد PSS

3- Damping torque analysis
4- Adaptive control

1- Power System Stabilizer (PSS)
2- Static VAR Compensator (SVC)

به صورت بهینه تنظیم شده‌اند [۸] و [۷]. استفاده از کنترل‌کننده فازی بر پایه SVC به منظور افزایش میرایی نوسانات فرکانس پایین و بهبود پایداری سیستم قدرت در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۹] و [۱۰]. اما تنظیم بهینه ضرایب کنترل کننده فازی SVC و تأثیر آن بر بهبود میراسازی نوسانات توان، موضوعی است که کمتر به آن پرداخته شده است. در این مقاله یک کنترل کننده فازی با ضرایب کنترلی بهینه برای SVC طراحی می‌شود. سیستم فازی مورد نظر دارای دو ورودی انحراف سرعت ($\Delta\omega$) و تغییر در توان اکتیو ژنراتور (ΔP) و یک خروجی که همان سیگنال کنترلی تکمیلی (U_{supp}) است می‌باشد. برای این دو ورودی و تک خروجی ضرایب مقیاس^۱ G_w برای انحراف سرعت، G_p برای انحراف در توان اکتیو و G_U برای سیگنال خروجی کنترل کننده فازی تعریف می‌گردد. به دلیل فاصله SVC از ژنراتور و با توجه به اینکه سیگنالهای ورودی ذکر شده از سیستم ژنراتور اندازه‌گیری می‌شوند، مسئله مهم انتقال این اطلاعات به فواصل دور می‌باشد. امروزه با استفاده از سیستمهای انتقال سریع داده‌ها، سیگنالهای مورد نظر در سیستم قدرت متمرکز شده و پردازش می‌گردند؛ سپس این اطلاعات به صورت بدون تأخیر به سیستمهای موردنظر، انتقال یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهمترین مزیت این تکنولوژی‌ها از بین بردن اثر

تأخیر زمانی در اندازه‌گیری و ارسال داده‌ها می‌باشد.

در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهینه سازی هوش گروهی، مقادیر بهینه ضرایب مقیاس ورودی/خروجی کنترل کننده فازی با استفاده از تکنیک PSO تعیین شده (OFLC) و تاثیر این بهینه‌سازی بر بهبود میرایی نوسانات فرکانس پایین با مقایسه با یک کنترل کننده فازی که ضرایب مقیاس ورودی/خروجی آن از روش سعی و خطا محاسبه شده‌اند (CFCL)، مطالعه و مورد بررسی قرار می‌گیرد. شرایط سیستم برای طراحی OFLC بدین صورت است که یک خطای سه فاز در شین بی‌نهایت تحت بارگذاری نامی ژنراتور اتفاق می‌افتد و ضرایب مقیاس بهینه یافت می‌شوند. این ضرایب برای دیگر تستهای مطرح شده در این مطالعه ثابت باقی می‌مانند. اثر هر دو کنترل کننده تحت شرایط کاری و خطاهای مختلف بررسی می‌شود. نتایج بیانگر کارایی بهتر OFLC نسبت به CFCL است.

۲- مروری بر الگوریتم بهینه‌سازی هوش

گروهی

PSO در حقیقت شبیه‌سازی رفتار موجوداتی است که به صورت گروهی هدف مشخصی را جستجو می‌کنند. از مهمترین مشخصه‌های آن می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- روشی الهام گرفته از رفتار دسته موجوداتی است که به صورت گروهی به دنبال غذا می‌گردند؛ مانند پرندگان و ماهی‌ها.

1- Scaling factor

- قوانین حرکت و جستجو در این الگوریتم ساده، اما پر معنا است؛ بنابراین زمان محاسباتی آن کم و به فضای حافظه زیادی احتیاج ندارد.
- به طور کلی برای حل مسائل غیر خطی با متغیرهای پیوسته توسعه داده شده است، اما به راحتی می‌تواند در مورد مسائل غیرخطی با متغیرهای گسسته نیز به کار رود [۱۲] و [۱۱].

در این الگوریتم مکان هر ذره توسط بردار سرعت همان ذره تغییر می‌کند. جهت و اندازه بردار سرعت هر ذره توسط ترکیب بردار سرعت قبلی آن در راستای بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه گروه، تعیین می‌شود. بیان ریاضی این مفهوم در رابطه (۱) نشان داده شده است. در این رابطه منظور از بردار مکانی بهترین تجربه شخصی هر ذره و $g\ best$ نمایانگر بردار مکانی بهترین تجربه به دست آمده توسط گروه می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، بردار سرعت قبلی (V_i^k) با بردار فاصله تا بهترین تجربه شخصی و بردار فاصله تا بهترین تجربه گروهی ترکیب می‌شود تا راستای بردار جدید سرعت آن ذره به دست می‌آید.

$$V_i^{k+1} = w \times V_i^k + c_1 \times rand_1 \times (Pbest_i - S_i^k) + c_2 \times rand_2 \times (gbest - S_i^k) \quad (1)$$

V_i^k : ام در تکرار k ام بردار سرعت ذره،
 V_i^{k+1} : ام i سرعت اصلاح شده ذره بردار،
 S_i^k : ام در تکرار k ام مکان ذره مختصات،
 $rand_i$: عدد تصادفی مابین ۱ و ۰، $i=1,2$

$Pbest_i$: ام i بردار مکانی بهترین تجربه شخصی ذره،
 $gbest$ بردار مکانی بهترین تجربه بدست آمده در گروه:

w : ضریب وزنی بردار سرعت هر ذره

c_i : ضرایب یادگیری، $i=1,2$

با استفاده از معادله (۱)، یک سرعت خاص محاسبه شده و در مرحله بعد مکان جاری (نقطه جستجو در فضای حل) توسط معادله (۲) اصلاح می‌شود:

$$S_i^{k+1} = S_i^k + V_i^{k+1} \quad (2)$$

تابع وزنی w توسط رابطه (۳) مشخص می‌شود. معمولاً مقدار این ضریب وزنی در هر تکرار به صورت خطی کاهش داده می‌شود تا اثر جهت‌گیری به سوی بهترین تجارب شخصی و گروهی تقویت شود.

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (3)$$

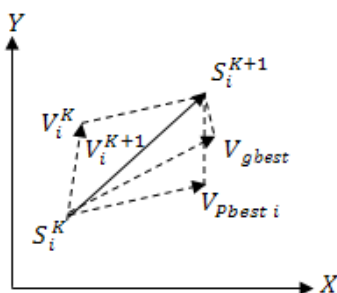
وزن نهایی:

$iter_{max}$: کمترین تعداد تکرار:

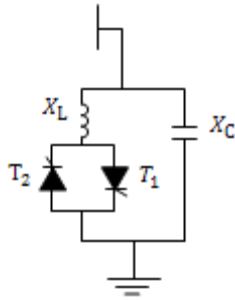
$iter$: شماره تکرار w_{max}

$iter, 1, 2, \dots, iter_{max}$

شکل (۱) مفهوم حرکت هر ذره در الگوریتم PSO را به صورت ترسیمی در یک فضای دو بعدی نشان می‌دهد.



شکل (۱): مفهوم قوانین حرکت هر ذره در الگوریتم PSO

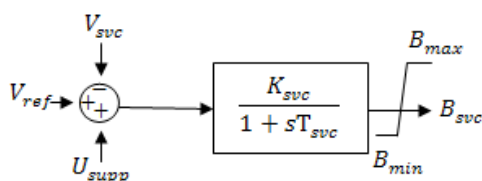


شکل (۲): آرایش SVC از نوع TCR-FC

B_C سوسپتانس خازن موازی بوده که اجازه تغییر سوسپتانس SVC در بازه خازنی تاسلفی را می‌دهد. مدل ساده شده SVC برای مطالعات دینامیکی در شکل (۳)

نشان داده شده است. در این مدل، دینامیک تغییر سوسپتانس SVC از طریق کنترل زاویه آتش با استفاده از یک مدل مرتبه اول شامل ثابت زمانی T_{svc} و ضریب بهره K_{svc} ، تقریب زده می‌شود [۹].

این مدل اساساً برای تنظیم دامنه ولتاژ در محل نصب SVC توسعه داده شده است؛ اما به کمک سیگنال کنترل تکمیلی (U_{supp}) می‌توان سایر اهداف کنترلی مورد نظر را تحقق بخشید. در واقع می‌توان چنین گفت که در این مقاله طراحی یک کنترل‌کننده مناسب برای یک SVC که با هدف تنظیم و تثبیت ولتاژ محل نصب طراحی شده، صورت می‌پذیرد و هدف میرایی را به عنوان یک هدف تکمیلی در نظر می‌گیریم.



شکل (۳): بلوک دیاگرام مدل دینامیکی SVC

S_i^K : نقطه جستجو

S_i^{K+1} : نقطه جستجوی اصلاح شده

V_i^K : سرعت جاری :

V_i^{K+1} : سرعت اصلاح شده

$$V_{Pbest\ i} = c_1 \times rand_1 \times (P_{best\ i} - S_i^K)$$

$$V_{gbest} = c_2 \times rand_2 \times (g_{best} - S_i^K)$$

۳- مروری بر SVC

جبران‌ساز استاتیک توان راکتیو موازی، یک مولد توان راکتیو متغیر است. این عمل از طریق تنظیم سوسپتانس خروجی جبران‌کننده توسط کنترل زاویه آتش آن صورت می‌گیرد. یکی از مهمترین انواع آرایش آن، ترکیبی از یک خازن ثابت (FC) و یک سلف کنترل شونده با تایریستور (TCR) می‌باشد. این آرایش در شکل (۲) نشان داده شده است. رابطه مقدار سوسپتانس مدار سلفی آن، B_L ، با توجه به زاویه هدایت σ در فرکانس اصلی به صورت ذیل می‌باشد [۱۳]:

$$B_L(\sigma) = \frac{1}{X_L(\sigma)} = \frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi X_{L0}} \quad (۴)$$

که در آن X_{L0} مقدار سوسپتانس مدار سلفی SVC در زاویه هدایت ۱۸۰ درجه می‌باشد. α زاویه آتش می‌باشد. رابطه بین زاویه آتش و زاویه هدایت به صورت ذیل است:

$$\sigma + 2\alpha = \pi$$

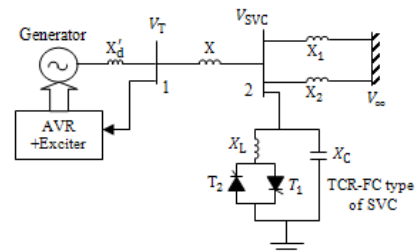
سوسپتانس مجموع برای SVC بدین صورت

خواهد بود:

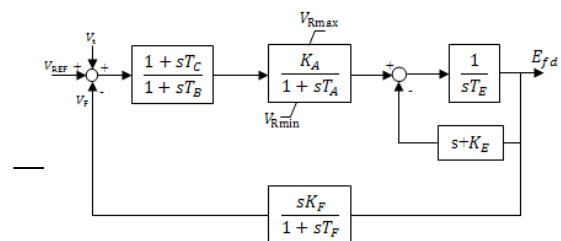
$$B_{svc} = B_L(\sigma) - B_C \quad (۵)$$

۴- طراحی کنترل کننده فازی

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌کنید، سیستم مورد مطالعه شامل یک ژنراتور سنکرون است که از طریق خط انتقال به شین بینهایت متصل شده است. از آنجائی که سیستم تحریک گر^۱ و حلقه کنترل ولتاژ نقش مهمی در بررسی مسائل پایداری دارا می‌باشند، ژنراتور سیستم با یک تحریک گر نوع IEEE DC1 که در شکل (۵) نمایش داده شده است، مجهز می‌باشد. بنابراین دینامیک اکسایتر و حلقه کنترل ولتاژ نیز در شبیه سازی‌ها منظور شده است.



شکل (۴): مدل سیستم مورد مطالعه

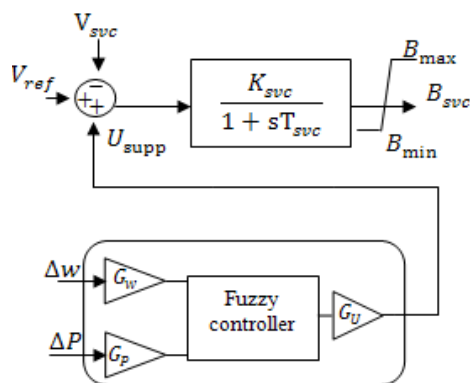


شکل (۵): تحریکگر نوع IEEE DC1

سیگنال کنترلی که توسط سیستم فازی تعیین می‌شود، به عنوان سیگنال تکمیلی به سیستم کنترل SVC اعمال می‌گردد. همانطور که قبلاً اشاره شد، هدف از این عمل، افزایش میرایی نوسانات و بهبود پایداری سیستم مورد مطالعه است. نمای

کنترل کننده فازی مورد نظر را در شکل (۶) مشاهده می‌کنید.

اختلاف سرعت (ΔW) و تغییر در توان اکتیو ژنراتور (ΔP) همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌کنید به عنوان سیگنال‌های ورودی کنترل کننده فازی و U_{supp} به عنوان سیگنال خروجی مشخص شده‌اند. همانطور که در شکل می‌بینید، ضرایب مقیاس G_W و G_P به ترتیب برای انحراف سرعت و تغییر توان اکتیو معرفی شده‌اند. سیگنال کنترلی خروجی که به حلقه کنترل ولتاژ SVC اضافه می‌گردد تا هدف بهبود میرایی تأمین شود نیز دارای ضریب مقیاس می‌باشد که با G_U مشخص شده است. تنظیم بهینه این ضرایب تأثیر مهمی برای رسیدن به هدف مطلوب دارد.



شکل (۶): بلوک دیاگرام کنترل کننده فازی

کنترل کننده فازی مورد استفاده از نوع ممدانی می‌باشد.

مهمترین اجزای کنترل کننده فازی در ذیل لیست شده‌اند:

• فازی کننده: ^۱ وظیفه این بخش تبدیل مقادیر صریح به مقادیر فازی می باشد.

• سیستم ارتباط فازی: ^۲ در این بخش، قوانین فازی با استفاده از اصول منطق فازی با یکدیگر ترکیب می شوند تا تصمیمی منطقی برای کنترل کننده اتخاذ شود.

غیر فازی کننده: ^۳ از آنجایی که مقدار فازی قابل تزریق به سیستم واقعی نیست، غیر فازی کننده، مقادیر فازی را به مقادیر صریح تبدیل می کند.

پارامترهای کنترل کننده فازی که در این مقاله استفاده شده است، موارد ذیل می باشد:

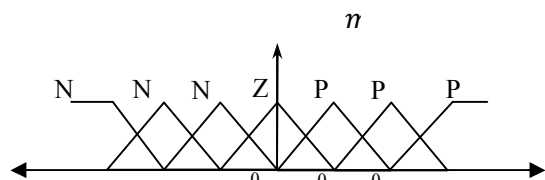
• تعداد متغیرهای ورودی / خروجی: $۱/۲$

• تعداد توابع عضویت متغیرها: $۷/۷$

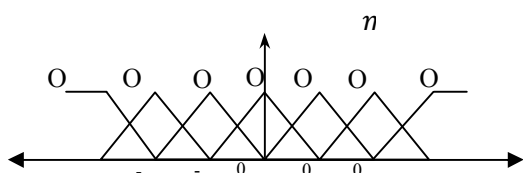
• [سیستم ارتباط فازی : max-min : ۱۴]

• روش غیر فازی کننده : مرکز جرم [۱۴]

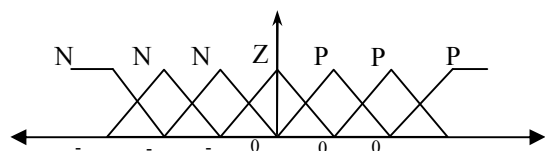
دو ورودی مورد نظر و سیگنال کنترلی خروجی هرکدام در فضای متغیرهای فازی با هفت تابع عضویت مثلثی معرفی می شوند. این توابع عضویت ^۴ (mf) برای ΔP و Δw توسط متغیرهای زبانی، خیلی منفی (NB)، تا حدی منفی (NM)، کم منفی (NS)، صفر (ZE)، کم مثبت (PS)، تا حدی مثبت (PM) و خیلی مثبت (PB) و سیگنال خروجی هم توسط خروجی خیلی منفی (ONB)، خروجی تا حدی منفی (ONM)، خروجی کم منفی (ONS)، خروجی صفر (OZE)، خروجی کم مثبت



شکل (۱) قوانین فازی که از دانش مهندسی مسئله و تجربه به دست می آیند، برای این دو ورودی و خروجی متناظر با آن داده شده است. با داشتن (۷) تابع عضویت برای دو ورودی، ۴۹ قانون برای طراحی کنترل کننده فازی می توان متصور شد.



شکل (۲) توابع عضویت نرمالیزه برای انحراف سرعت ورودی (۲) توابع عضویت نرمالیزه برای سیگنال کنترلی



شکل (۷): توابع عضویت کنترل کننده فازی

در جدول (۱) قوانین فازی که از دانش مهندسی مسئله و تجربه به دست می آیند، برای این دو ورودی و خروجی متناظر با آن داده شده است. با داشتن (۷) تابع عضویت برای دو ورودی، ۴۹ قانون برای طراحی کنترل کننده فازی می توان متصور شد.

- 1- Fuzzifier
- 2- Fuzzy inference system
- 3- Defuzzifier
- 4- Membership function (mf)

جدول (۱): قوانین کنترلی، کنترل‌کننده فازی SVC

انحراف سرعت (ΔW)	تغییر توان اکتیو (ΔP)						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	ONB	ONB	ONB	ONB	ONS	ONS	OZE
NM	ONB	ONB	ONMON	MONS	OZE	OPS	
NS	ONB	ONMON	MONS	OZE	OPS	OPM	
ZE	ONM	ONM	ONS	OZE	OPS	OPM	OPM
PS	ONM	ONS	OZE	OPS	OPM	OPM	OPB
PM	ONS	OZE	OPS	OPM	OPM	OPB	OPB
PB	OZE	OPM	OPM	OPB	OPM	OPB	OPB

از جمله این روشها می‌توان به هوش گروهی^۱ (PSO)، الگوریتم ژنتیک^۲ (GA) و غیره اشاره نمود. همانطور که اشاره شد از آنجایی که PSO روشی کارآمد است، از این روش در مطالعه حاضر استفاده شده است. همچنین برای نشان دادن قدرت و کارایی این تکنیک یک مطالعه آماری بر پاسخهای به دست آمده از این روش نیز صورت گرفته است که در انتهای این بخش به آن اشاره خواهد شد.

در این بخش ابتدا یک تابع هدف مناسب برای مسئله بهینه سازی معرفی خواهد شد. آنگاه با استفاده از PSO با مینیم نمودن این تابع هدف^۳ مقدار بهینه سه پارامتر محاسبه می‌گردد. تأثیر این پارامترهای بهینه شده از طریق روش PSO برای کنترل فازی

SVC(OFLC) با کنترل‌کننده فازی که ضرایبش از سعی و خطا به دست آمده است (CFLC) در بخش نتایج و ارائه شبیه‌سازی‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

با معرفی سه شاخص عملکرد و استفاده از الگوریتم بهینه سازی هوش گروهی، سه پارامتر مورد نظر را بهینه می‌کنیم که این سه شاخص در معادلات ذیل تعریف شده اند:

شاخص بیانگر حداکثر انحراف از پاسخ نهایی:

$$OS = \max\left(\frac{r-y}{r}\right) \quad (1)$$

۵- طراحی بهینه کنترل‌کننده فازی برای SVC

همانطور که ذکر شد، سه ضریب مقیاس G_U ، G_P و G_W تأثیر بسزایی بر اهداف کنترلی مسئله دارند. تجربیات گذشته مرتبط با کنترل سیستم در انتخاب اولیة این پارامترها بسیار مفید است. انتخاب این ضرایب براساس تجربه و تخصص صورت می‌گیرد و اگر اطلاعات کافی برای یافتن این ضرایب موجود نباشد، این ضرایب از سعی و خطا به دست می‌آیند. تلاشهای زیادی برای یافتن جواب مناسب برای ضرایب مقیاس یا نزدیک به مقدار مناسب صورت گرفته است. در صورت فقدان اطلاعات در مورد این پارامترها، جستجو برای یافتن مقدار مناسب این پارامترها نیازمند به تعداد تکرار زیاد بوده و بسیار وقتگیر خواهد بود. همچنین از آنجایی که معادلات سیستم قدرت مورد نظر غیر خطی و پارامترهای زیادی نیز در حل مسئله دخیل می‌باشند، ممکن است روشهای محاسباتی ریاضی نیز چندان کارآمد نباشند. برای حل این مشکل امروزه روشهای هوشمندانه، بسیار مؤثر هستند.

1- Particle Swarm Optimization (PSO)

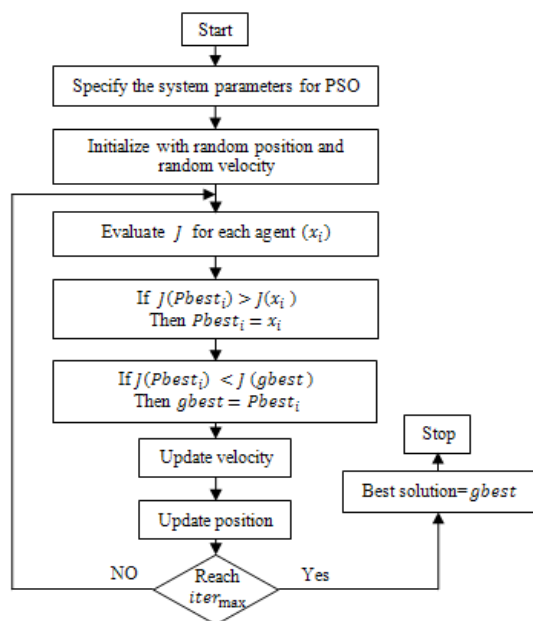
2- Genetic Algorithm (GA)

3- Objective function

گرفته می‌شود. با مینیمم کردن تابع هدف J ، هدف اصلی مسئله که بهبود پاسخ سیستم (کاهش زمان نشست و حداکثر انحراف از پاسخ نهایی مسئله) است، ارضا می‌شود. بنابراین به ازای هر ذره تابع هدف محاسبه می‌گردد. در هر تکرار، بهترین ذره (که بعد آن بهترین ضرایب مقیاس است) که در واقع دارای کمترین مقدار تابع هدف است، معین شده و در نهایت با توجه به نمودار ارائه شده در شکل (۸) بهترین جواب نهایی ارائه می‌شود.

پارامترهای جستجوی روش PSO برای یافتن جواب بهینه بدین صورت می‌باشند:

- پارامترهای بهینه سازی: G_U, G_p, G_w
- جمعیت اولیه: ۱۰
- $c_1 = c_2 = 2$
- $w_{max} = 0.9, w_{min} = 0.4$
- ماکزیمم تکرار = ۷۰ تکرار.



شکل (۸): نمودار الگوریتم PSO

شاخص بیانگر مجموع مربعات خطای انحراف از پاسخ نهایی:

$$J_1 = \sum e^2 \quad (7)$$

شاخص بیانگر مجموع مربعات خطای وزندار شده انحراف از پاسخ نهایی:

$$J_2 = \sum te^2 \quad (8)$$

که در آن τ سیگنال سرعت مرجع ژنراتور انتخاب شده است، y سیگنال سرعت ژنراتور، $e = r - y$ خطای اندازه‌گیری شده در سیستم و t زمان می‌باشد.

تابع هدف مسئله به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$J = J_1 + J_2 + |OS| \quad (9)$$

برای بررسی چگونگی روند بهینه‌سازی و دخالت پارامترهای G_U, G_p, G_w در مسئله بهینه‌سازی توضیح مختصری ارائه می‌گردد. تابع هدف تعریف شده در مسئله برای هر ذره (که دارای سه بعد که بیانگر همین سه ضریب مقیاس هستند) توسط شبیه سازی سیستم قدرت مورد مطالعه همراه با کنترل‌کننده فازی بر پایه SVC، با در نظر گرفتن یک اغتشاش بزرگ^۱ محاسبه می‌شود. مهم است بدانیم کنترل‌کننده OFLC به دنبال حداقل کردن نوسانات در سیستم قدرت است که بعد از وقوع یک اغتشاش بزرگ به وجود می‌آید. در این مقاله، برای محاسبه تابع هدف برای هر ذره و در هر تکرار، یک خطای سه فاز تحت بارگذاری نامی^۲ در باس بینهایت در نظر

1- Large disturbance
2- Nominal loading

حدود بالا و پایین ضرایب مقیاس در جدول (۲) خلاصه شده‌اند. همچنین بهترین پاسخ برای این ضرایب مقیاس که از الگوریتم مورد نظر به دست آمده در جدول (۳) نمایش داده شده است.

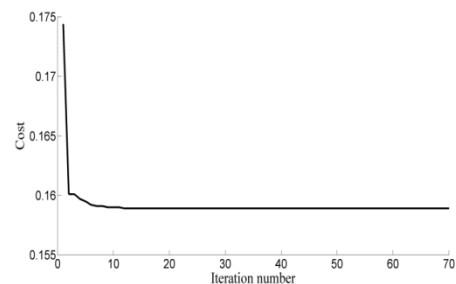
جدول (۲): محدوده تغییر ضرایب مقیاس

پارامتر	G_c	G	G
حد پایین	0.01	1	1
حد بالا	100	20	8

جدول (۳): مقادیر بهینه ضرایب مقیاس

پارامتر	G_c	C	G
مقدار بهینه	0.	1	1

این ضرایب برای تمامی شرایط مطالعه در سیستم ثابت باقی می‌مانند. نمودار همگرایی الگوریتم PSO در حل مسئله مورد مطالعه در شکل (۹) نمایش داده شده است.



شکل (۹): نمودار همگرایی الگوریتم PSO

به منظور بررسی کارایی PSO، در این قسمت یک مطالعه آماری بر جوابهای به دست آمده توسط الگوریتم PSO صورت می‌پذیرد. این بررسی به دنبال آن است تا مشخص کند آیا الگوریتم مورد نظر در یافتن جوابها قابل اعتماد است یا خیر. بدین منظور الگوریتم PSO برای ۲۰

تست مجزا مقاردهی اولیه شده و راه اندازی می‌شود (۲۰ بار این الگوریتم را بکار می‌گیریم). مقادیر ماکزیمم، مینیمم، مقدار میانگین و انحراف از معیار^۱ در جدول (۴) خلاصه شده است. همانطور که از مقادیر انحراف معیار در این جدول مشخص است، جوابهای به دست آمده توسط PSO مناسب و قابل اعتماد هستند.

جدول (۴): مقایسه آماری بر جوابهای به دست آمده

از PSO

پارامتر	انحراف معیار	مقدار ماکزیمم	مقدار میانگین	مقدار مینیمم
G_w	0.0257	0.19	0.091	0.07
G_p	0.1209	1.02	0.94	0.9
G_v	0.0099	1.06	0.95	0.88

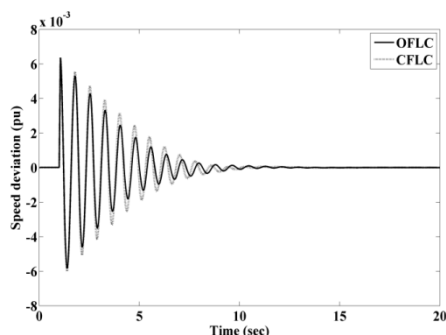
۶- نتایج

سیستم مورد مطالعه در شکل ۴ نمایش داده شده است. جایگاه ژنراتور از طریق خط انتقال به شین بینهایت متصل شده است. SVC به همراه سیستم کنترل فازی آن در باس ۲ مستقر شده‌اند. ژنراتور سیستم با مدل دینامیکی درجه سه آن توصیف شده است. علت استفاده از مدل درجه سه این است که سیستم قدرت مورد نظر دارای یک ماشین است و برای بررسی پایداری گذرای آن مدل، درجه سه کافی می‌باشد. این مدل با چشم پوشی از حالت‌های گذرای استاتور و کل شبکه و عملکرد سیم‌پیچ‌های میرا کننده ژنراتور به دست آمده است. هدف بررسی اثر میراسازی

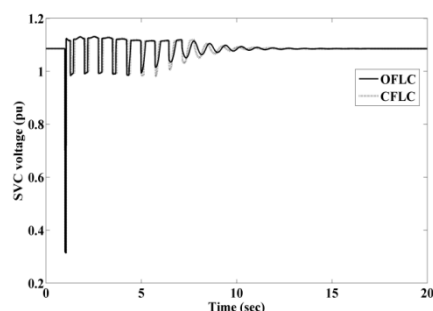
1- Standard deviation

مطالعه ۱ بارگذاری نامی و خطای سه فاز

رفتار کنترل کننده های پیشنهادی تحت شرایط نامی در حالیکه خطای سه فازی در شین بینهایت در ثانیه ۱ اتفاق افتاده و ۶۰ میلی ثانیه بعد رفع می شود، مورد بررسی قرار می گیرد. پاسخ انحراف سرعت و ولتاژ شین SVC به ترتیب در شکل های (۱۱) و (۱۰) رسم شده است. با توجه به این اشکال مشخص است که OFLC کارآیی بهتری در میرایی نوسانات نسبت به CFLC دارد و دامنه نوسانات را کاهش داده است همچنین کنترل ولتاژ نیز مؤثرتر است.



شکل (۱۰): پاسخ انحراف سرعت ژنراتور برای مطالعه ۱



شکل (۱۱): ولتاژ باس SVC برای مطالعه ۱

مطالعه ۲ بارگذاری سبک و خطای سه فاز

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده های پیشنهادی تحت شرایط مختلف کاری و تغییرات نقطه کار، شرایط مطالعه اول در نظر گرفته

نوسانات با استفاده از کنترل تکمیلی است. در ذیل شرایط بارگذاری خلاصه شده است:

$$P = 0.85 \text{ pu}, Q = 0.52 \text{ pu} \text{ بار نامی} :$$

$$P = 0.6 \text{ pu}, Q = 0.3671 \text{ pu} \text{ بار سبک}^1 :$$

$$P = 1.02 \text{ pu}, Q = 0.624 \text{ pu} \text{ بار سنگین}^2 :$$

همانطور که اشاره شد، کنترل کننده فازی که ضرایب مقیاس آن با استفاده از روش سعی و خطا به دست آمده است، با CFLC نامگذاری شد. این ضرایب مقیاس در جدول ۵ خلاصه شده اند.

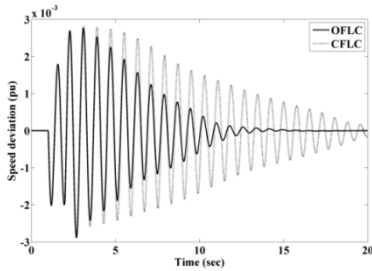
جدول (۵): مقادیر ضرایب مقیاس CFLC

پارامتر	G_1	G_2	G_3
مقدار	2	1	1

از آنجایی که کمترین زمان واقعی خطا به منظور شبیه سازی خطاهای بزرگ در سیستم ۵۰ میلی ثانیه می باشد و زمان های کمتر از این توسط مدارشکنها^۳ و رله های سرعت بالا رفع می شوند، برای بررسی واقعی سیستم مورد مطالعه زمان شبیه وقوع خطا باید بیشتر از ۵۰ میلی ثانیه باشد؛ در غیر این صورت خطا به عنوان خطای بزرگ در نظر گرفته نمی شود. به طور خلاصه می توان گفت خطایی با زمان وقوع کمتر از ۵۰ میلی ثانیه خطایی نیست که از موارد شاخص وقوع^۴ N-1 شناخته شود.

- 1- Light loading
- 2- Heavy loading
- 3 -Circuit Breaker
- 4- Contingency

می‌شود با این تفاوت که شرایط بارگذاری به بارگذاری سبک تغییر می‌یابد. پاسخ انحراف سرعت در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. همانطور که می‌بینید با اینکه CFLC یک کنترل‌کننده فازی است، اما به دلیل عدم بهینه بودن ضرایب مقیاسش، در این تست پاسخ مناسبی ندارد و سیستم نوسانی است؛ اما OFLC در این تست نیز دارای عملکرد مناسبی از منظر تأثیر بر میرایی و زمان نشست است.

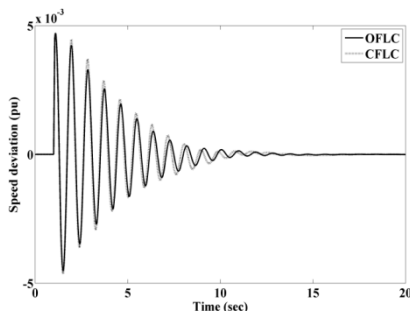


شکل (۱۳): پاسخ انحراف سرعت برای مطالعه ۳

مطالعه ۴: بارگذاری نامی و خروج یکی از

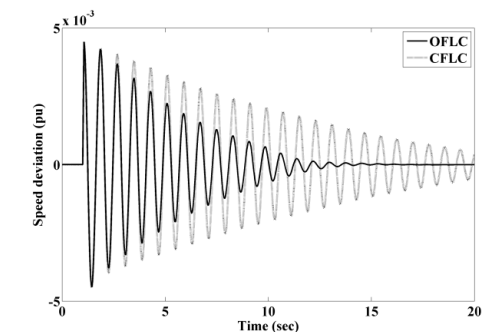
خطوط

بار دیگر برای بررسی عملکرد کنترل‌کننده‌های پیشنهادی تحت شرایط متفاوت خطا و بارگذاری، نوع دیگری از اغتشاش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش شرایط بارگذاری به شرایط نامی تغییر می‌یابد. یکی از خطوط مابین باس ۲ و باس بینهایت در ثانیه ۱ خارج شده و ۶۰ میلی ثانیه بعد به مدار باز می‌گردد. پاسخ سیستم در شکل (۱۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۴)، در این حالت هر دو کنترل‌کننده OFLC و CFLC پاسخهای مناسبی از منظر اثر میرایی و زمان نشست دارند و پاسخ‌ها نزدیک به یکدیگر است؛ اما عملکرد OFLC کمی بهتر از CFLC می‌باشد.



شکل (۱۴): پاسخ انحراف سرعت برای مطالعه ۴

مطالعه ۳: بارگذاری سبک و خروج هر دو خط



شکل (۱۲): پاسخ انحراف سرعت برای مطالعه ۲

برای بررسی کارایی کنترل‌کننده‌ها تحت شرایط گوناگون خطا و بارگذاری، در این قسمت شرایط بارگذاری سبک در نظر گرفته می‌شود. هر دو خط انتقال بین باس ۲ و باس بینهایت در ثانیه ۱ قطع شده و بعد از ۶۰ میلی ثانیه هر دو خط دوباره متصل می‌شوند و سیستم بعد از وصل شدن خطوط شرایط خود را بازیابی می‌کند. شکل (۱۳) پاسخ انحراف سرعت ژنراتور را در این شرایط نشان می‌دهد. در این شرایط نیز با اینکه CFLC یک کنترل‌کننده فازی است، اما به دلیل بهینه نبودن ضرایب، مقیاس آن پاسخ مناسبی ندارد و سیستم نوسانی است. در حالیکه

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی بر پایه الگوریتم بهینه سازی هوش گروهی برای بهینه‌سازی ضرایب مقیاس کنترل‌کننده فازی به منظور تزریق سیگنال تکمیلی به SVC برای افزایش میرایی نوسانات سیستم قدرت ارائه شد. نتایج شبیه سازی به روشنی اثر تنظیم بهینه این پارامترها را با استفاده از مقایسه کنترل‌کننده فازی همراه با ضرایب کنترلی بهینه (OFCL) و کنترل‌کننده فازی معمولی همراه با ضرایب کنترلی به دست آمده از روش سعی و خطا (CFLC) مشخص نمود. برای

بررسی عملکرد دو کنترل کننده کارآیی آنها تحت شرایط متفاوت بارگذاری و انواع خطا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که کنترل‌کننده OFCL عملکرد مناسبتری نسبت به CFLC تحت تغییرات گسترده نقطه کار سیستم دارد. OFCL دامنه نوسانات و زمان نشست را به میزان مؤثرتری کاهش می‌دهد که این مسئله در مجموع افزایش میرایی را به دنبال داشته و نهایتاً باعث بهبود پایداری سیستم قدرت موردنظر می‌شود.

۸- مراجع

1. J. Lu, M. H. Nehrir, D. A. Pierre, "A fuzzy logic-based adaptive damping controller for static VAR compensator", Electric Power System Research, Vol. 68, pp. 113-118, 2004.
2. K. Phorang, M. Leelajindakraireak, and Y. Mizutani., "Damping improvement of oscillation in power system by fuzzy logic based SVC stabilizer", Asia Pacific IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Vol. 3, pp. 1542-1547, 2002.
3. K. R. Padiyar, R. K. Varma, "Damping torque analysis of static var system controllers", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 6, No. 2, , pp. 458-465, May 1991.
4. C. C. Hsing, Y. Y. Hsu, "Damping of generator oscillations using adaptive static var compensator", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 77, pp. 718-725, 1992.
5. A. Ghafari, M. R. Zolghadr and M. Ehsan, "Fuzzy controlled STATCOM for improving the Power System Transient Stability", IEEE international conference on Power system, pp. 1178-1185, 2001.
6. C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control System : Fuzzy Logic Controller - Part 1 and 2", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics ,Vol. 20, No. 2, pp. 404-435, 1990.
7. G. Hyun Hwang, W. K. Dong, H. L. Jae, J. A. Young, "Design of Fuzzy power system stabilizer using adaptive evolutionary algorithm", Engineering Application of Artificial Intelligence, Vol. 21, pp. 86-96, 2008.
8. A. M. El-Zonkoly, A. A. Khalil, N. M. Ahmied, "Optimal tuning of lead-lag and fuzzy logic power system stabilizers using particle swarm optimization", Expert systems with Applications, Vol. 36, pp. 2097-2106, 2009.
9. Q. Gu, A. Pandey, S. K. Starrett, "Fuzzy logic control schemes for static VAR compensator to control system damping using global signal", Electric Power System Research, Vol. 67, pp. 115-122, 2003.
10. N. Karpagam, D. Devaraj, P. Subbaraj, "Improved fuzzy logic controller for SVC in power system damping using global signal", Electr Eng, Vol. 91, pp. 395-404, 2010.

11. J. Kennedy and R. Eberhart, "**Particle Swarm Optimization**", Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. IV, pp. 1942-1948, 1995.
12. H. Yoshida, K. Kawata and Y. Fukuyama, "**A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment**", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, pp. 1232-1239, 2000.
13. K. L. Lo and L. Khan, "**Fuzzy logic based SVC for power system transient stability enhancement**", International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, pp. 453-458, 2000.
14. Y. H. Song and A. T. Johns, "**Application of fuzzy logic in power systems- Part 1**", Power engineering journal, pp. 219-222. October 1997.

$$\begin{aligned}
 X_q &= 1.8 \quad (pu) \\
 X_d &= 1.8 \quad (pu) \\
 X'_d &= 0.3 \quad (pu) \\
 H &= 4 \quad (s) \\
 X &= 0.15 \quad (pu) \\
 X_1 = X_2 &= 0.3 \quad (pu) \\
 w_0 &= 377 \\
 E_{fd} &= 2.4094 \quad (pu) \\
 T_{do} &= 6 \quad (s) \\
 V_\infty &= 1 \quad (pu) \\
 V_{ref} &= 1.078
 \end{aligned}$$

EXCITER & AVR DATA

$$\begin{aligned}
 T_A &= 0.06 \\
 K_A &= 50 \\
 T_E &= 0.314 \\
 K_E &= 0.00 \\
 T_F &= 0.92 \\
 K_F &= 0.028 \\
 V_{Rmax} &= 1 \quad (pu) \\
 V_{Rmin} &= -1 \quad (pu)
 \end{aligned}$$

SVC DATA

$$\begin{aligned}
 K_{svc} &= 100 \\
 T_{svc} &= 0.05 \quad (s) \\
 B_{max} &= 0.05 \quad (pu) \\
 B_{min} &= -0.05 \quad (pu)
 \end{aligned}$$

نمایه‌ها

$$\begin{aligned}
 \delta &= \text{زاویه روتور ژنراتور} \\
 w &= \text{سرعت روتور ژنراتور} \\
 w_0 &= \text{سرعت مرجع روتور ژنراتور} \\
 H &= \text{ثابت اینرسی ژنراتور} \\
 P_m &= \text{توان مکانیکی ورودی ژنراتور} \\
 X_d &= \text{راکتانس سنکرون محور d ژنراتور} \\
 X'_d &= \text{راکتانس گذرای محور d ژنراتور}
 \end{aligned}$$

ضمیمه الف

معادلات سیستم در حالت pu

معادلات زیر توصیف کننده یک ژنراتور سنکرون متصل به شین بینهایت از طریق خط انتقال است.

$$\begin{aligned}
 \frac{d\delta}{dt} &= w_0 - w \\
 \frac{dw}{dt} &= \frac{(p_m - p_\theta)}{2H} \\
 \frac{dE_q}{dt} &= (E_{fd} - (X_d - X'_d)i_d - \dot{E}_q)/T_{do} \\
 P_e &= \dot{E}_q i_d + (X_d - X'_d)i_d i_q \\
 V_d &= X_d i_q \\
 V_q &= \dot{E}_q - X'_d i_q
 \end{aligned}$$

جائیکه V_d و V_q ولتاژها و i_d و i_q جریانهای محور d و q می‌باشند. برای جبران‌ساز استاتیک راکتیو متصل در وسط خط انتقال معادلات جریان به فرم ذیل خواهند بود:

$$\begin{aligned}
 i_q &= \frac{V_\infty \sin \delta}{\gamma + X_q \beta} \\
 i_d &= \frac{E'_q \beta - V_\infty \cos \delta}{\gamma + X'_d \beta}
 \end{aligned}$$

جاییکه داریم :

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 2X - B_{svc} X^2 \\
 \beta &= 1 - B_{svc} X
 \end{aligned}$$

$$\frac{dB_{svc}}{dt} = \frac{K_{svc}}{T_{svc}} (V_{ref} - V_{svc} + U_{supp}) - \frac{B_{svc}}{T_{svc}}$$

ضمیمه ب

داده های سیستم مورد مطالعه اطلاعات ژنراتور سنکرون و خط انتقال به صورت ذیل است [۱۳].

K_{svc} = ضریب بهره SVC
 V_{ref} = ولتاژ مرجع
 T_{svc} = ثابت زمانی SVC
 U_{supp} = سیگنال تکمیلی تزریقی به حلقه کنترل
 ولتاژ SVC
 T_A = ثابت زمانی تحریکگر
 K_A = ضریب بهره تحریکگر
 T_E = ثابت زمانی انتگرالگیر
 K_E = ضریب بهره انتگرالگیر
 T_F = ثابت زمانی پایدارساز تحریکگر
 K_F = ضریب بهره پایدارساز تحریکگر

X_q = راکتانس سنکرون محور q ژنراتور
 T'_{do} = ثابت زمانی گذرای محور d ژنراتور
 E'_q = ولتاژ محور q ژنراتور
 E_{fd} = ولتاژ میدان تحریک ژنراتور
 i_d = جریان محور d ژنراتور
 i_q = جریان محور q ژنراتور
 V_d = ولتاژ محور d ترمینال ژنراتور
 V_q = ولتاژ محور q ترمینال ژنراتور
 X = نصف راکتانس خط انتقال
 B_{svc} = سوسپتانس SVC
 V_{svc} = ولتاژ SVC
 V_{∞} = ولتاژ شین بینهایت

بررسی دقت داده‌های شناسگرهای حلقه‌ای در تقاطع‌های چراغدار سازگار

یادداشت پژوهشی

میعاد صابری کلایی^۱، سید علی ضیایی^{۲*}، وهاب اسماعیلی^۳، علی حاتمی^۴

^۱دانشگاه نورث وسترن، شیکاگو، ایالت ایلینویز، آمریکا

^۲دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه عمران، مشهد، ایران

چکیده:

حلقه‌های مغناطیسی به صورت گسترده در بزرگراه‌ها، خیابانها و تقاطع‌های بسیاری از کشورهای دنیا استفاده می‌شود. این شناسگرها فناوری به اثبات رسیده‌ای برای شمارش محسوب می‌شوند؛ اما خطاهای احتمالی زیادی می‌توانند کیفیت داده‌های آن را کاهش دهند. آگاهی بهنگام از حجم دقیق ترافیک، امری مهم در سیستمهای سازگار کنترل تقاطع می‌باشد. تقاطع چراغدار سازگار، تقاطعی است که مجهز به دوربینهای ترافیکی و حلقه‌های مغناطیسی برای شمارش وسایل نقلیه می‌باشد. زمان بندی چراغ راهنمایی با کمک این داده‌ها از طریق مرکز انجام می‌شود. هدف از این پژوهش، ارزیابی دقت داده‌های شناسگرها در تقاطع‌های مجهز به SCATS در مشهد است. نتایج این پژوهش، رابطه‌ای سهمی‌گونه بین خطای شناسگرها و حجم ترافیک پیشنهاد می‌دهد، اما کالیبراسیون دقیق این نمودار، بستگی به شرایط متغیری دارد که از یک تقاطع به تقاطع دیگر و حتی در بعضی مواقع در یک تقاطع در ساعات مختلف تغییر می‌کند. همچنین اثر ترکیب ترافیک بر دقت داده‌های شناسگرها مورد مطالعه قرار گرفت. افزون بر این در این مقاله برخی عوامل تأثیرگذار بر خطای داده‌های شناسگرها بیان شده‌اند که بیشتر آنها از رفتار رانندگان ناشی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی:

تقاطع چراغدار سازگار، شناسگر حلقه‌ای، خطا، حجم ترافیک، ترکیب ترافیک

* عهده‌دار مکاتبات

دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، گروه عمران، مشهد، ایران

پست الکترونیکی: Sa-ziaee@um.ac.ir

مقدمه:

طبق تعریف، کیفیت داده‌ها عبارت است از میزان تناسب داده‌ها با کلیه اهداف مورد نظر. اندازه‌گیری کیفیت داده‌ها نیازمند درک درستی از اهداف است [۱]. پژوهشگران در دنیا جنبه‌های گوناگونی از کیفیت داده‌های ترافیکی به دست آمده از سیستم‌های هوشمند حمل و نقل را شناسایی کرده‌اند. مطالعات پیشین معیارهای اندازه‌گیری کیفیت داده‌ها را به صورت ذیل معرفی کرده‌اند:

- دقت: میزان نزدیکی داده‌های جمع‌آوری شده به شرایط واقعی،

- جامعیت: میزان کامل بودن داده‌ها،

- اعتبار: میزان داده‌های عبور کرده از فیلترهای کنترل کیفیت،

- به روز بودن: میزان به روز بودن داده‌ها،

- پوشایی: درصد تقاطع‌ها یا بزرگراه‌های تحت پوشش شناسگرها،

- قابلیت دسترسی: میزان دسترسی داده‌های طراحی شده برای جمع‌آوری،

آگاهی بهنگام از حجم دقیق ترافیک امری مهم در سیستم‌های سازگار کنترل تقاطع می‌باشد.

SCATS یک سیستم کامل سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است با قابلیت هماهنگ‌سازی

زمان‌بندی تقاطع‌های متعدد که سبب کاهش زمان سفر و مصرف سوخت می‌گردد. این سیستم

زمان‌بندی تقاطع‌ها را برای پاسخ به تقاضای ترافیک بهینه می‌کند. SCATS عمدتاً با استفاده از

شناسگرهای حلقه‌ای مغناطیسی، حجم ترافیک را اندازه‌گیری می‌کند [۲]. در نتیجه دقت داده‌های

SCATS به دقت شناسگرها بستگی دارد. اخیراً

دقت داده‌های SCATS در تقاطع‌های مشهد به دلیل نقص و خرابی حلقه‌ها کاهش یافته است. این

امر به دلیل نبود آیین‌نامه و استاندارد تدوین شده‌ای جهت نصب یکسان حلقه‌های مغناطیسی

در ایران می‌باشد. از آنجایی که ملاحظات و جزئیات فنی نصب این حلقه‌ها با توجه به تجربه

کارگران و نحوه کار شرکت‌های تولید کننده و نصب‌کننده متفاوت است، این نواقص ممکن است

بر روی عملکرد سیستم‌های کنترل ترافیک تأثیر بسزایی داشته باشند [۳].

حلقه‌های مغناطیسی متداوولترین وسیله برای

کنترل ترافیک است. هر چند سالها از کاربرد این شناسگرها در سراسر دنیا می‌گذرد، بحث

پیرامون تفسیر داده‌ها و نحوه کالیبراسیون آنها همچنان ادامه دارد. حلقه‌های مغناطیسی توانایی

اندازه‌گیری حجم ترافیک عبوری در دوره زمانی ثابت را دارند. برای هر خط از مسیر این پارامتر

اینگونه تعریف می‌شود:

$$q_k = \frac{n_k}{T} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن q_k جریان عبوری در نمونه k ،

n_k تعداد وسایل نقلیه عبوری از روی شناسگر در نمونه k و T بازه زمانی نمونه‌برداری است.

دقت شناسگرها به عوامل زیادی بستگی دارد

که عبارتند از: موقعیت وسیله نقلیه در خط عبور (lane)، ارتفاع کف وسیله از سطح آسفالت، مقدار

فلز موجود در وسیله نقلیه، خطاهای فیزیکی حلقه، خطاهای کنترلی یا الگوریتمی و نقصهای

ارتباطی [۴] و [۵]. مطالعات پیشین در دنیا نشان می‌دهند که بیشتر نقص داده‌ها مربوط به دقت شناسگرها است [۶]. در این پژوهش رابطه بین درصد خطای شناسگرها و حجم ترافیک مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این مقاله به مهمترین دلایل بروز خطا در داده‌های شناسگرها در مشهد اشاره شده است.

منطقه مورد مطالعه

۵۸ تقاطع در مشهد مجهز به SCATS می‌باشند که در هر یک تعدادی شناسگر حلقه‌ای جهت شمارش وسایل نقلیه عبوری از هر خیابان نصب شده است. همچنین توسط ۵۶ دوربین کنترل ترافیک که در سطح شهر نصب شده‌اند، تصاویر بهنگام تقاطع‌ها و خیابانها قابل دسترسی می‌باشند. در این پژوهش، حجم ترافیک در تقاطع‌ها به صورت داده‌های دسته‌بندی شده در هر ۱۵ دقیقه که در آرشیو داده‌های مرکز کنترل ترافیک مشهد ذخیره می‌شود، استفاده شده است. با توجه به محدودیتهای نرم‌افزار موجود در مرکز کنترل ترافیک، بازه‌های برداشت داده‌ها ۱۵ دقیقه‌ای بوده است. افزون بر این، هدف از زمانهای مختلف برای برداشت داده‌ها، پوشش دادن حجم‌های مختلف عبوری از تقاطع بوده است، نه یک نقطه یا بازه زمانی خاص. یک امر ضروری در این مطالعه انتخاب تقاطع‌هایی بود

که دامنه نسبتاً گسترده‌ای از حجم ترافیک را تجربه می‌کنند و همچنین اینکه امکان ضبط فیلمهای مربوطه توسط دوربینهای کنترل ترافیک وجود داشته باشد. برای این منظور ۶ تقاطع ذیل انتخاب شدند:

۱- تقاطع خیام - ملک آباد

۲- تقاطع مدرس - امام خمینی

۳- تقاطع سناباد - کلاهدوز

۴- تقاطع راه‌آهن

۵- تقاطع سجاد - بزرگمهر

۶- تقاطع دارایی

مسیرهای مورد بررسی در سه دسته قرار داده شده‌اند. دسته نخست دارای چهار حلقه مغناطیسی در عرض مسیر بوده، دسته دوم دارای سه حلقه مغناطیسی و دسته سوم دارای دو حلقه مغناطیسی. همچنین یک شبانه روز به چهار بازه زمانی ۶ ساعته تقسیم شده است. همان طور که در جدول (۱) مشخص است، بیشترین بازه‌های مورد مطالعه بین ساعت ۶ صبح و ۱۲ ظهر می‌باشد که بر پایه توضیحات پیشین، این امر حامل معنای خاصی نبوده و پژوهش انجام شده بر نقطه یا بازه زمانی خاصی تأکید ندارد. شایان توجه است در مسیرها، حجم مجموع سنسورها ملاک عمل بوده است.

جدول (۱): پراکندگی بازه‌های مورد مطالعه

تعداد کل	تعداد بازه‌های مورد مطالعه در طول روز				دسته
	۱۸-۲۴	۱۲-۱۸	۶-۱۲	۰-۶	
۳۴	۲	۳	۲۸	۱	چهار حلقه
۲۷	۳	۱	۲۲	۱	سه حلقه
۲۴	۲	۳	۱۹	۰	دو حلقه

روش‌شناسی پژوهش

هدف این پژوهش بررسی دقت داده‌های شناسگرهای نصب شده برای تقاطع‌های مجهز به SCATS در مشهد می‌باشد. برای این منظور مسیرهای انتخاب شده در مطالعه به مسیرهای دو، سه و چهارخطه که در هر خط یک حلقه نصب شده است، تقسیم بندی شدند. گزارش حجم ترافیک هر مسیر مورد مطالعه و همچنین فیلم مربوط به هریک در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای ذخیره شده و دو نفر با بازیابی فیلمها تعداد واقعی وسایل نقلیه عبوری را به تفکیک سواری، وسیله سنگین، موتور و دوچرخه پیدا کردند. نمونه‌هایی از گزارش نموداری و جدولی حجم ترافیک و تصویری از فیلم ذخیره شده به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده‌اند. محور افقی گراف نماینده زمان با فواصل ۱۵ دقیقه در طول یک شبانه‌روز بوده و محور قائم تعداد وسیله نقلیه عبوری در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای می‌باشد. همچنین هریک از چهار منحنی مربوط به یک راه از چهارراه خواهد بود. جدول نمایش داده شده نیز تعداد وسیله نقلیه عبوری در هر بازه ۱۵ دقیقه‌ای را گزارش می‌دهد. همان‌گونه که

آشکار است، تاریخ، زمان، مکان، مسیر و همچنین حجم عبوری ساعتی نیز گزارش شده است. ارزیابی دقت داده‌های شناسگرها با مقایسه بین تعداد شمارش شده به وسیله آنها و تعداد واقعی وسایل نقلیه عبوری انجام شد. افزون بر این برای هر دسته مسیر با تعداد حلقه‌های مشخص به رابطه بین نسبت خطای شناسگرها و حجم ترافیک نیز پرداخته شد. نسبت خطا به صورت ذیل تعریف می‌شود:

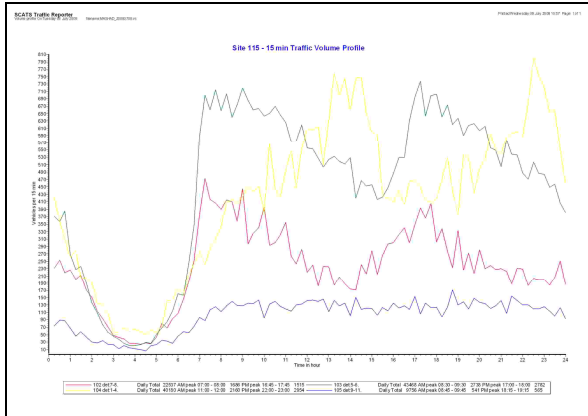
$$e = \frac{q_S - q_A}{q_A} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن q_A حجم ترافیک واقعی به دست آمده از بازیابی فیلمهای ذخیره شده بوده و q_S حجم ترافیک گزارش شده توسط SCATS می‌باشد. هنگامی که $q_A < q_S$ باشد، نسبت خطا مثبت است؛ به این معنا که حجم ترافیک واقعی از حجم گزارش شده شناسگرها کمتر بوده و چنانچه $q_A > q_S$ باشد، نسبت خطا منفی است؛ به این معنا که حجم ترافیک واقعی از حجم گزارش شده شناسگرها بیشتر است.

Site: 115 Tuesday, August 05, 2008 Traffic Flow filename: MASHAD_20080805.vs

On Tuesday, 05 August 2008
 Approach: Approach 1, Detector(s): 9-11

	00:	01:	02:	03:	04:	05:	06:	07:	08:	09:	10:	11:
:15	111	60	42	25	5	31	49	116	136	145	113	128
:30	116	59	30	8	14	29	62	137	108	114	147	91
:45	68	51	37	9	22	32	60	125	158	116	119	-
:60	69	35	22	18	31	40	82	111	140	119	101	-
Hourly												
Total	364	205	131	60	72	132	253	489	542	494	480	219



شکل (۱): گزارش حجم ترافیک برای تقاطع خیام - ملک آباد



شکل (۲): نمای دوربین تقاطع سجاد - بزرگمهر

آنالیز داده ها

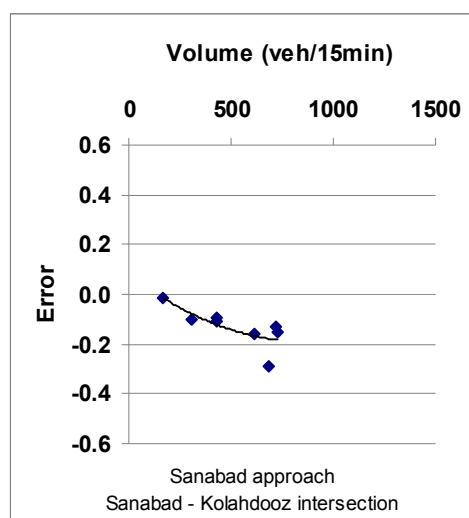
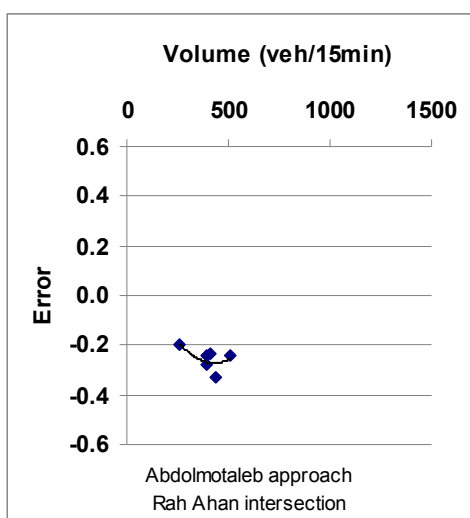
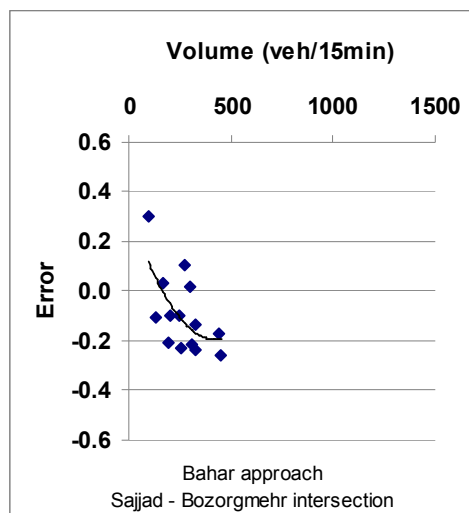
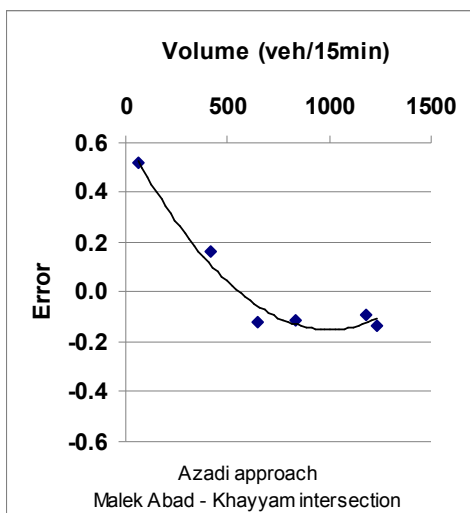
رابطه حجم ترافیک با نسبت خطای

شناسگرها

رابطه نسبت خطای داده های شناسگرها با حجم ترافیک برای مسیره های چهارخطه در شکل (۳) نمایش داده شده است.

نمودار خطا-حجم را می توان به سه بخش تقسیم کرد. درصد خطا در حجم ترافیک کم، مثلاً هنگام نیمه شب، مثبت و بسیار زیاد بوده؛ به این معنا که حجم ترافیک واقعی خیلی کمتر از تعداد گزارش شده است. در بخش نخست رفته رفته با افزایش حجم، درصد خطا کاهش می یابد تا اینکه به صفر

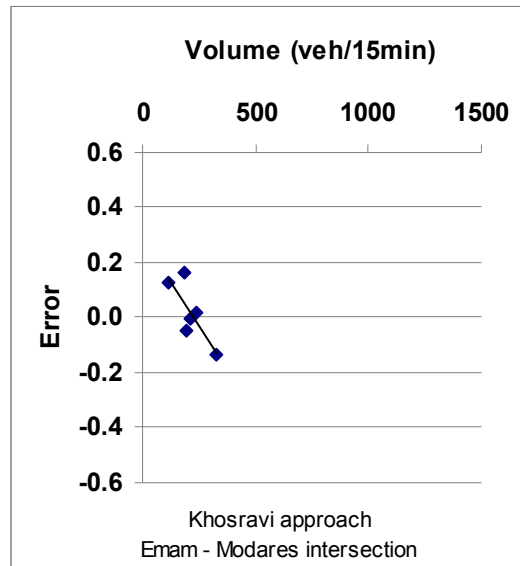
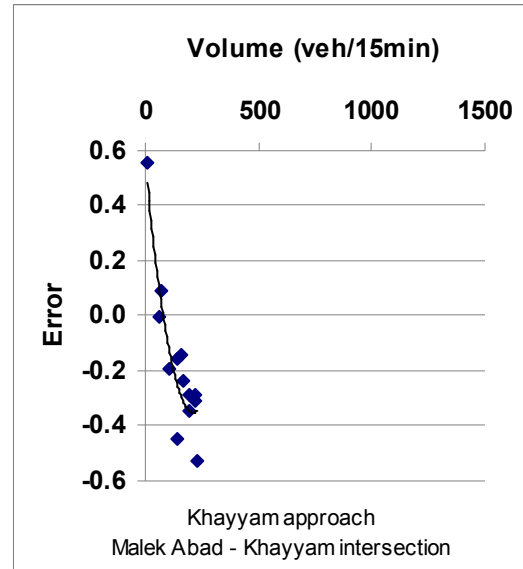
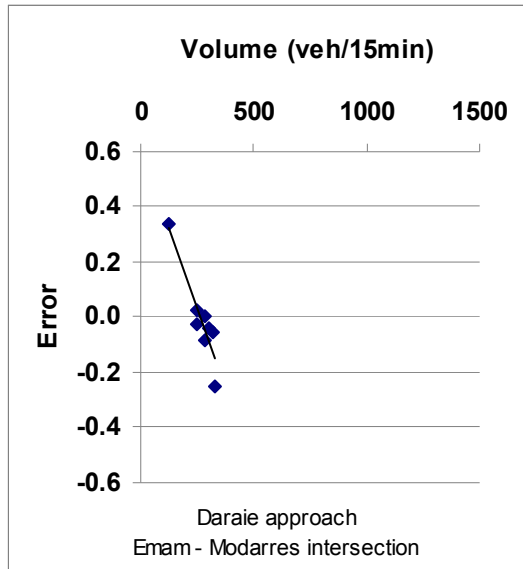
برسد. نقطه خطای صفر به عوامل زیادی بستگی دارد، از جمله طرح هندسی تقاطع، رفتار رانندگان و بویژه این که آیا رانندگان به نگه داشتن وسیله نقلیه بین خطوط توجه دارند یا خیر. مشاهدات نشان می دهند بیشتر رانندگان ایرانی به این مورد توجهی ندارند و پی در پی تغییر خط داده و پیوسته دو خط مجاور را اشغال می کنند. این عامل اخیر را که سبب می شود شناسگرها یک وسیله را دو بار بشمارند به عنوان عامل خطای مثبت یاد خواهیم کرد.



شکل (۳): رابطه نسبت خطای داده‌های شناسگرها با حجم ترافیک برای مسیرهای چهارخطه

رابطه نسبت خطا با حجم ترافیک برای مسیرهای سه خطه در شکل (۴) نمایش داده شده است. در این دسته مسیر مورد مطالعه بیشتر اوقات حجم ترافیک از ۵۰۰ وسیله در ۱۵ دقیقه فراتر نمی‌رود. بنابراین تنها بخشهای اول و دوم نمودار خطا-حجم پدیدار می‌شوند. همان‌گونه که نمایان است با افزایش حجم درصد خطای مثبت کاهش یافته تا این که به صفر برسد و سپس این روند به افزایش درصد خطای منفی تغییر می‌کند.

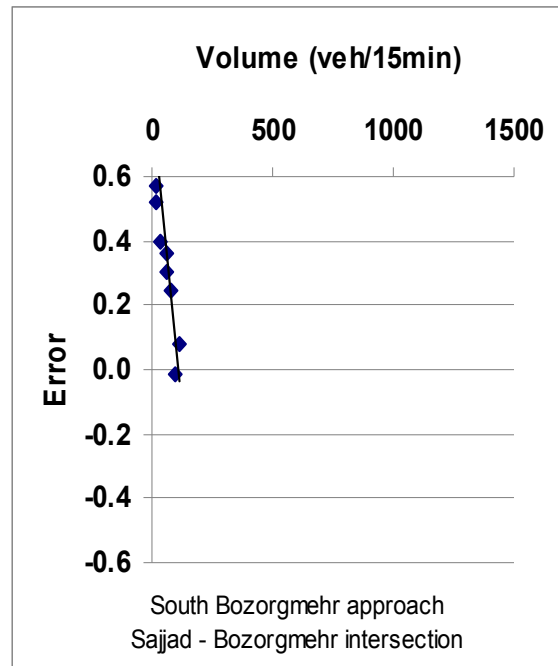
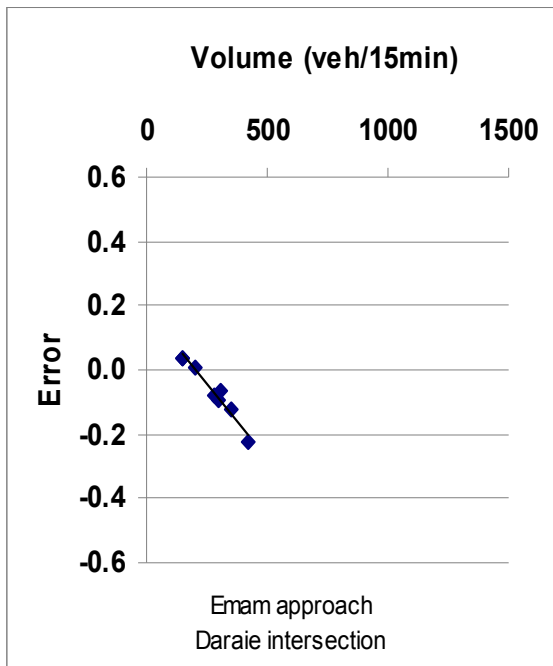
در بخش دوم نمودار، درصد خطا منفی بوده و از نظر قدر مطلق افزایش می‌یابد؛ به این معنا که شناسگرها تعدادی کمتر از تعداد واقعی می‌شمارند. شناسگرها از تفکیک وسایل نقلیه‌ای که نزدیک به هم و بدون سرفاصله عبوری زمانی کافی گذر می‌کنند ناتوانند برپایه پژوهش انجام شده، این مورد به عنوان رایج‌ترین عامل خطای منفی شناسایی شده است. در حجم‌های بیشتر به دلیل تعداد زیاد وسایل نقلیه عبوری دوباره درصد خطا از نظر قدر مطلق کاهش یافته است و بخش سوم نمودار را نمایان می‌سازد.



شکل (۴): رابطه نسبت خطا با حجم ترافیک برای مسیرهای سه خطه

مشاهدات نشان می‌دهند که در صورت نبودن یا کم‌رنگ بودن خط‌کشی‌ها و نشانهای سطح راه، رانندگان نمی‌توانند وسیله را در مسیر مناسب و یا بین خطوط هدایت کنند. بنابراین چنانچه این خط‌کشی‌ها هرچند وقت یک بار پررنگ شده و رانندگان نیز تشویق یا مجبور به رانندگی بین خطوط شوند، انتظار می‌رود که نسبت خطا کاهش یابد.

رابطه نسبت خطا با حجم ترافیک برای مسیرهای دوخطه در شکل (۵) نمایش داده شده است. بیشتر اوقات حجم ترافیک این مسیرها از مسیرهایی با بیش از دو خط کمتر است. در این دسته مسیر با افزایش حجم ترافیک درصد خطای مثبت کاهش یافته و به خطای منفی تبدیل می‌شود. هرچند انتظار می‌رود که به دلیل حجم ترافیک کم، خطاها مثبت باشند.

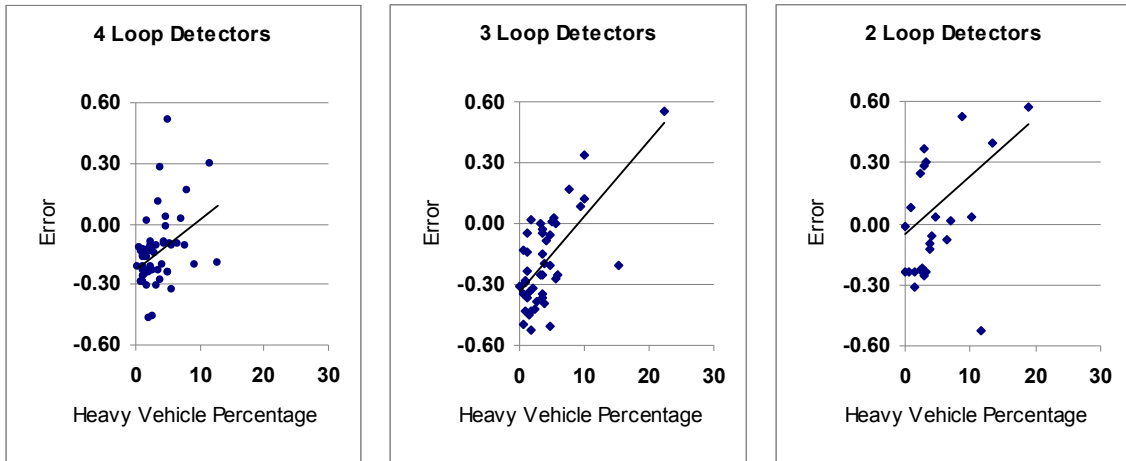


شکل (۵): رابطه‌ی نسبت خطا با حجم ترافیک برای مسیرهای دوخطه

شکل (۶) نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که ترکیب ترافیک بر دقت داده‌های شناسگرها اثرگذار است. با افزایش درصد وسایل نقلیه سنگین رفته‌رفته عامل خطای منفی جای خود را به عامل خطای مثبت می‌دهد. اگر درصد وسایل نقلیه سنگین، خیلی کم باشد، درصد خطای منفی است؛ به این معنا که شناسگرها تعدادی کمتر از تعداد واقعی وسایل گذرکرده را می‌شمارند؛ در حالی که اگر درصد وسایل نقلیه سنگین زیاد باشد، درصد خطای مثبت بوده، به این معنا که شناسگرها تعدادی بیشتر از تعداد واقعی وسایل گذرکرده را خواهند شمرد.

اثر ترکیب ترافیک

ترکیب ترافیک به صورت نسبت وسایل نقلیه سنگین به کل وسایل نقلیه عبوری تعریف می‌شود. درصد وسایل نقلیه سنگین نه تنها برای برنامه‌ریزی‌های گوناگون بزرگراه‌ها، طراحی و آنالیزهای سیاستگذاری مهم است؛ بلکه برای آنالیز ظرفیت و تعیین سطح سرویس تقاطع‌های با چراغ نیز اهمیت می‌یابد. در این پژوهش تلاش شد تا رابطه درصد وسایل نقلیه سنگین، شامل کامیون و اتوبوس، با نسبت خطای داده‌های شناسگرها در صورت وجود پیدا شود. نمودارهای خطای برحسب درصد وسایل نقلیه سنگین برای هر دسته مسیر مورد مطالعه در

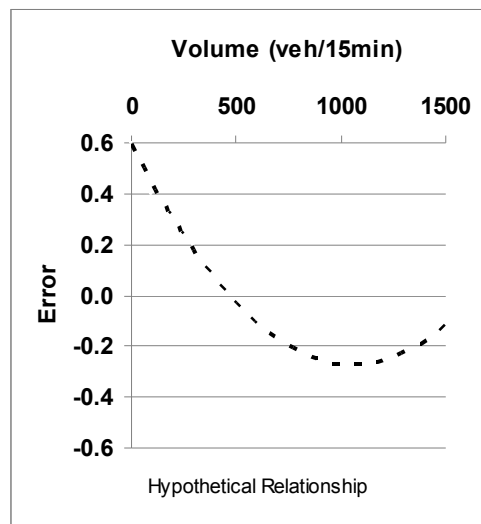


شکل (۶): نمودارهای خطا برحسب درصد وسایل نقلیه سنگین برای هر دسته مسیر مورد مطالعه

نتایج

در شکل (۷) صورت کلی نمودار خطا-حجم برای شناسگرهای حلقه‌ای نصب شده در تقاطع‌های چراغ‌دار با جریان ترافیک قطع‌شونده به تصویر کشیده شده است. این نمودار از دیدگاه تئوری به صورت یک سهمی پیشنهاد می‌شود.

شکل دقیق ریاضی آن برای ارائه بهترین توصیف از این رابطه ممکن است از یک موقعیت به موقعیت دیگر تغییر کند و همچنین با آزمودن شکل‌های گوناگون و به‌کاربردن شیوه‌های استاندارد برازش داده‌ها تعیین شود.



شکل (۷): رابطه تئوری بین حجم ترافیک و نسبت خطا

در حجم ترافیک خیلی کم، درصد خطا مثبت و زیاد بوده، به این معنا که حجم ترافیک واقعی از حجم گزارش شده‌ی شناسگرها کمتر است. با افزایش حجم درصد خطای مثبت رفته‌رفته

کاهش می‌یابد تا اینکه به صفر برسد. سپس درصد خطای منفی افزایش می‌یابد تا به بیشینه خطای منفی که نقطه مینیمم منحنی است برسد. در حجم ترافیک زیاد به دلیل تعداد زیاد وسایل

نقلیه عبوری و امکان کم رخداد خطا درصد خطای منفی کاهش می‌یابد. رابطه تعداد حلقه‌ها و نسبت خطا و همچنین اثر طرح هندسی تقاطع به دلیل محدودیتهای مطالعه مورد بررسی قرار نگرفتند؛ بنابراین نیازمند پژوهش و مطالعه بیشتر می‌باشند.

افزون بر این، نتایج نشان می‌دهند که ترکیب ترافیک بر دقت داده‌های شناسگرهای حلقه‌ای در تقاطع‌های مجهز به SCATS اثرگذار است. با افزایش درصد وسایل نقلیه سنگین، رفته‌رفته عامل خطای منفی جای خود را به عامل خطای مثبت می‌دهد. اگر درصد وسایل نقلیه سنگین خیلی کم باشد، شناسگرها تعداد کمتری نسبت به تعداد واقعی گذرکرده شناسایی می‌کنند که بیانگر خطای منفی است؛ در حالی که اگر درصد وسایل نقلیه سنگین زیاد باشد، شناسگرها تعداد بیشتری نسبت به تعداد واقعی گذرکرده

می‌شمارند. اثر موتورسیکلت و دوچرخه همچنان نیازمند مطالعات بیشتر است.

محدودیت‌های مطالعات

پاره‌ای از مهمترین محدودیتهای این مطالعه بود که نمونه مورد مطالعه از گستردگی و پوشایی کامل برخوردار نبود. شناسگرها کالیبره نبودند، حساسیت حلقه‌ها به درستی مشخص نبود و راهنما و دستورالعمل استاندارد برای نصب یکنواخت و سازگار حلقه‌ها در دسترس قرار نداشت. از آنجایی‌که این پژوهش به مطالعه موردی در شهر مشهد پرداخته، بدیهی است که این امر، جزئی از خطای این سیستم در شهر مشهد خواهد بود. افزون بر این، امکان ذخیره فیلم‌ها به مدت طولانی، مثلاً بیش از سه ساعت، به دلیل کمبود ظرفیت حافظه‌ها وجود نداشت. از همه مهم تر اندازه نمونه و مقادیر ناکافی حجم ترافیک در مسیرهای مورد مطالعه مانع از به تصویر کشیدن منحنی کامل رابطه خطا-حجم می‌شد.

مراجع:

1. Turner, S., "Defining and Measuring Traffic Data Quality, Texas Transportation Institute Cambridge Systematics Inc", 2002.
2. Traffic Management – SCATS, "SCATS brochure, TYCO Integrated Systems", 2001, Available at www.tycointegratedsystems.com.au.
3. Lee, S.H., Lee, S. and Oh, Y., "New Loop Detectors Installation Guidelines for Real-Time Adaptive Signal Control System", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 2337 - 2348, 2005.
4. Coifman, B., "Improved Data Measurement Using Existing Loop Detectors", Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, UCB-ITS-WP-99-4, 1999.
5. Bertini, R., Tufte, K. and Matthews, S., "Including Systematic Evaluation of Inductive Loop Detector Data Quality in an Archived Data User Service", North American Travel Monitoring Exhibition & Conference, Minneapolis, Minnesota, 2006.
6. Bertini, R., Hansen, S., Matthews, S. and Delcambre, A., "PORTAL: Implementing a New Generation Archived Data User Service in Portland", Oregon, Portland State University, 2005.

افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک با استفاده از ماشین خودکار سلولی یک بعدی

سید احسان تهامی^{۱*}، امیرهمایون جعفری^۲، علی فلاح^۳

^۱دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی پزشکی، تهران، ایران

^۲دانشگاه علوم پزشکی، دانشکده فیزیک پزشکی، تهران، ایران

^۳دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پزشکی، تهران، ایران

چکیده:

الگوریتم ژنتیک در حل بسیاری از مسائل بهینه سازی الگوریتم قدرتمندی است که کارایی آن به میزان زیادی تحت تأثیر انتخاب صحیح پارامترها و عملگرهای آن نظیر تعداد کروموزوم جمعیت، نوع عملگر تقاطع، جهش و... قرار دارد. تا کنون روشهای مختلفی به منظور افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. در این مقاله برای اولین بار از یک روش محاسبه برآزندگی جدید مبتنی بر ماشین خودکار سلولی (CA) به منظور افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده شده است. الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در نهایت به منظور تعیین مینیمم ۵ تابع شناخته شده در زمینه بهینه سازی با ۵ و ۱۰ متغیر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که الگوریتم ترکیبی CA-GA در مقایسه با الگوریتم ژنتیک استاندارد از دقت بیشتری در پیدا کردن بهترین مینیمم توابع مورد بهینه سازی برخوردار است. همچنین الگوریتم ترکیبی CA-GA به لحاظ زمان رسیدن به بهترین مینیمم گلوبال (زمان همگرایی) در حدود ۵ برابر کمتر از الگوریتم ژنتیک استاندارد می باشد.

واژه‌های کلیدی:

بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، ماشین خودکار سلولی یک بعدی

*عهده دار مکاتبات

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی پزشکی، تهران، ایران

پست الکترونیکی: tahami@mshdiau.ac.ir

قبیل تولید جمعیت اولیه، مرحله انتخاب، تقاطع و جهش استفاده نمودند [۶].

Wu. J و همکاران از ماشین خودکار سلولی دو بعدی به منظور افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک استفاده کرده‌اند. آنها الگوریتم ترکیبی CA-GA پیشنهادی را در بهینه سازی طراحی یک ساختار مکانیکی به نحوی مورد استفاده قرار دادند که کروموزومهای هر جمعیت با استفاده از فاصله همینگ میان کروموزوم ها و مقدار برازندگیشان روی سلولهای ماشین خودکار سلولی دو بعدی نگاشت داده می شوند و بدین ترتیب انتخاب هرکدام از کروموزوم ها در مراحل بعد بر مبنای ساختار ماشین خودکار سلولی دوبعدی کنترل می‌شود [۷]. همچنین در تحقیق دیگری Yufa Xu و همکاران از ماشین خودکار سلولی دو بعدی "بازی زندگی" به عنوان عملگر تقاطع در الگوریتم ژنتیک استفاده کرده و نشان دادند که کارایی الگوریتم در بهینه سازی وزنهای شبکه عصبی بهبود یافته است [۸].

در این مقاله با توجه به خواص قانونمندی محلی، خودسازماندهی و خودتولید کننده‌های ماشین خودکار سلولی، برای اولین بار از یک روش محاسبه برازندگی جدید مبتنی بر ماشین خودکار سلولی (CA) به منظور افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک (GA) در یافتن مینیمم گلوبال استفاده شده است. سپس الگوریتم ترکیبی حاصل به منظور بهینه‌سازی چند تابع بهینه‌سازی شناخته شده مورد استفاده قرار گرفته است. این مقاله به سه بخش کلی تقسیم‌بندی می‌شود. در بخش اول،

الگوریتم ژنتیک^۱، الگوریتم قدرتمندی است که می‌تواند در حل بسیاری از مسائل بهینه سازی مفید باشد. البته کارایی این الگوریتم به میزان بسیار زیادی وابسته به انتخاب مناسب، تعداد و نوع پارامترهای آن به عنوان مثال اندازه جمعیت، روش انتخاب کروموزومها، نوع عمل تقاطع، احتمال تقاطع، احتمال جهش و... می باشد [۱].

تا کنون روشهای زیادی به منظور افزایش کارایی محاسباتی الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. Liu, Juan و همکاران از یک روش جستجوی آشوبی به منظور افزایش دینامیکی اندازه جمعیت اولیه و افزایش تنوع و بهبود کارایی در حل مسئله استفاده کردند [۲].

Ondrej Hrstka و همکاران از یک اپراتور دیفرانسیلی در عمل تقاطع الگوریتم ژنتیک استفاده کرده اند [۳]. J. Andrea و همکاران از کاهش تطبیقی بازه مربوط به هر متغیر و استفاده از فاکتور مقیاس در محاسبه احتمالات تقاطع در الگوریتم ژنتیک استفاده کرده اند [۴]. Abu Bakar و Md Sultan همکاران از یک تکنیک عددگذاری یکتا به منظور نمایش جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و نشان دادند که با این روش، تنوع جمعیت بهبود می‌یابد و کارایی الگوریتم ژنتیک در حل مسائل افزایش پیدا می‌کند [۵].

Riccardo Caponetto و همکاران از دنباله‌های آشوبی در تمامی بخشهای الگوریتم ژنتیک از

ساختارها و پارامترهای ماشین خودکار سلولی و الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در الگوریتم ترکیبی پیشنهاد شده CA-GA تعریف شده‌اند. در بخش دوم، ساختار الگوریتم ترکیبی پیشنهادی CA-GA ارائه می‌شود و در نهایت در بخش سوم کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در حل توابع شناخته شده در زمینه بهینه‌سازی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و با الگوریتم ژنتیک استاندارد مقایسه می‌شود.

۲- روش کار

در این مقاله هدف تعیین مینیمم گلوبال توابع استاندارد است که از شکل کلی ذیل پیروی می‌کنند.

$$\text{Minimize } f(x), x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in S \quad (1)$$

که در این رابطه $f(x)$ تابع مورد بهینه‌سازی و x_1, x_2, \dots, x_n متغیرهای تابع اند و $S \in R^n$ نشان‌دهنده فضای جستجوی n بعدی (به تعداد متغیرهای تابع مورد بهینه‌سازی) است که محدود به کرانه‌های استاندارد در نظر گرفته شده برای تابع مورد بهینه‌سازی است. بنابراین $S = [x_{i_L}, x_{i_R}]$ است که در آن $x_{i_L} < x_i < x_{i_R}$ است. در ادامه، بخشهای مختلف الگوریتم ترکیبی پیشنهادی برای تعیین مینیمم گلوبال توابع مورد بهینه‌سازی در این مقاله معرفی خواهد شد.

۲-۱- ماشین خودکار سلولی

ماشین خودکار سلولی دسته‌ای از سیستم‌های ریاضی قطعی و گسسته زمانی است که با

تعاملات و شکلهای موازی تکامل مشخص می‌شود. ماشینهای خودکار سلولی همچنین دسته بزرگی از سیستمهای پیچیده هستند که در آن اجزاء کاملاً شناخته شده و به لحاظ درک، ساده‌اند؛ اما رفتار و عملکرد کلی سیستم به دلیل تعاملات غیرخطی محلی اجزاء دارای توضیح ساده ای نیست [۹].

اولین بار وون نیومن در سال ۱۹۵۰ اتوماتای سلولی را به عنوان مدل ساده‌ای به منظور مدلسازی رفتار خود تکثیری و خودسازماندهی بیولوژیکی ابداع و ارائه کرد [۱۰]. ماشین خودکار سلولی در واقع مدلی از سیستم‌های پیچیده و فرآیندهایی است که دارای تعداد زیادی از اجزاء مشابه، ساده و دارای تعاملات محلی است. مطالعه بر روی ماشین‌های خودکار سلولی در سالهای اخیر به دلیل توانایی‌شان در تولید الگوهای بسیار پیچیده از قوانین ساده، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به عبارت دیگر ماشینهای خودکار سلولی توانسته اند بسیاری از الگوهای اساسی رفتارهای پیچیده خودسازمانده و مشارکتی که در سیستم‌های واقعی مشاهده می‌شود را مدلسازی کرده و نشان دهند، [۹] و [۱۱]. کاربردهای زیادی از ماشین خودکار سلولی در فیزیک، زیست شناسی، شیمی، بیوشیمی و زمین شناسی و... گزارش شده است. به عنوان مثالهایی خاص از پدیده‌هایی که با ماشین خودکار سلولی مدل شده‌اند می‌توان به رشد شاخه‌ای کریستالها [۱۲] و [۱۳] تئوری‌های اکولوژیکی، مطالعه تکامل، بازسازی و خود تولیدکنندگی DNA درون سلولها اشاره کرد [۱۶] و [۱۵] و [۱۴] مدلسازی رشد

آتش‌سوزی در جنگلها [۱۷] و [۱۸]، الگوهای فعالیت الکتریکی شبکه‌های نورونهای عصبی [۱۹]، رشد تومورهای سرطانی [۲۰]، [۲۱] و [۲۲]، همچنین ساخت رباتهایی از مکعب که بتوانند با مکعب، نظیر خود را بسازند [۲۳] و خود را تعمیر کنند، اشاره نمود. لازم به ذکر است که ماشین خودکار سلولی می‌تواند طیف گسترده‌ای از دینامیکهای رفتاری (پیچیدگی، خودسازماندهی، آشوبی، پریودیک، نقطه تعادل و ...) را تولید کند.

۲-۱-۱- معرفی متغیرهای ریاضی ماشین

خودکار سلولی

یک ماشین خودکار سلولی محدود یک بعدی \mathcal{L} با N سلول با Σ و Φ مشخص می‌شود که:

$$-1 \quad \Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N\} \text{ مجموعه محدودی از}$$

حالت هاست و $\sigma_i(t) \in \Sigma \equiv \{0, 1, 2, \dots, k-1\}$ مقدار سلول i ام ماشین خودکار سلولی در لحظه t و k تعداد حالت‌های ممکن است که یک سلول در هر لحظه می‌تواند اختیار کند.

$$-2 \quad r \text{ تعداد نزدیکترین همسایگی های سلول}$$

است.

$$-3 \quad \phi \text{ قانون تعامل میان سلولها در هر مرحله}$$

است و

$$\sigma_i(t+1) = \phi(\sigma_i \in \{i\}) =$$

$$\phi(\sigma_{i-r}(t), \dots, \sigma_i(t), \dots, \sigma_{i+r}(t)), \phi: S^{2r+1} \rightarrow S$$

که $N\{i\}$ مجموعه‌ای شامل سلول i ام و همسایه‌هایش می‌باشد. در حالت کلی تعداد k^{2r+1} قانون تعامل وجود دارد.

به منظور تعیین وضعیت سلولهای مرزی (سلولهای قرار گرفته در مکانهای ۱ و N) در زمان t در این مقاله فرض شده است که در دو طرف شبکه سلولی با N سلول، سلولهایی با مقادیر پیش فرض صفر وجود دارند. بنابراین برای یک ماشین خودکار یک بعدی \mathcal{L} ، در هر طرف از شبکه سلولی با N سلول، دو سلول فرضی و غیر قابل مشاهده وجود دارند که به صورت ذیل دارای مقادیر صفر می‌باشند.

$$(2) \quad \sigma_{N+1}(t) = \sigma_{N+2}(t) = \sigma_0(t) = \sigma_{-1}(t) = 0$$

مطابق با رابطه (۲) شرط اولیه (حالت سلولها در $t = 0$) برای یک ماشین خودکار یک بعدی به صورت ذیل خواهد بود.

$$\overbrace{00\sigma_1(0)\sigma_2(0)\dots\sigma_N(0)00}^{\sigma(t=0)}$$

پارامترهای ماشین خودکار سلولی مورد استفاده در این مقاله در جدول (۱) قابل مشاهده است.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای ماشین خودکار سلولی مورد استفاده در این مقاله

فضای حالت سلولی گسسته \mathcal{L}	یک بعدی
شعاع همسایگی r	2
پارامتر k	2
فضای مقدار محلی Σ	{0,1}
شرایط مرزی	$\sigma_{N+1}(t) = \sigma_{N+2}(t) = \sigma_0(t) = \sigma_{-1}(t) = 0$
تعداد قوانین دینامیکی Φ	2^{32} یا $4.2950 \text{ e}+009$

۲-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الگوریتمی است الهام گرفته شده از نظریه تکامل داروین و علم نوپای ژنتیک که اولین بار در کاربردهای مهندسی و توسط فردی به نام جان هلند، متخصص علوم کامپیوتر دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد گردید [۲۴]. الگوریتم‌های ژنتیک که بر اساس بقای برترینها یا انتخاب طبیعی استوارند، دسته بزرگی از الگوریتم‌های تکاملی محسوب می‌شوند که می‌توانند با استفاده از تکنیکهایی که از تکامل طبیعی الهام گرفته است به منظور تولید پاسخ (نقاط بهینه) در مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گیرند و از این رو ابزار سودمندی در بازشناسی الگو، انتخاب ویژگی، درک تصویر و یادگیری ماشین محسوب می‌شود.

۲-۲-۱- معرفی متغیرهای ریاضی الگوریتم

ژنتیک

الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این مقاله به شکل کلی:

$GA = (I, \Phi, \Omega, s, l, \mu, \lambda)$ تعریف می‌شود که در

آن:

۱- فضای کروموزوم هاست.

۲- $\Phi: I \rightarrow R$ نشان دهنده تابع (نگاشت)

برازندگی^۱ است که مقادیر حقیقی برازندگی را به هر کروموزوم^۲ به نحوی نسبت می‌دهد. با توجه به اینکه در این مقاله هدف، مینیمم کردن مقادیر

برازندگی است، هر چه برازندگی جواب مسئله کمتر باشد، شانس انتخاب آن پاسخ بیشتر است. به عبارت دیگر داریم:

$$x_1 > x_2 \Rightarrow \Phi(x_1) < \Phi(x_2), \forall x_1, x_2 \in I \quad (۳)$$

۳- Ω مجموعه‌ای شامل اپراتورهای احتمالاتی

است که هر کدام توسط پارامترهای ویژه‌ای که در مجموعه اعداد حقیقی قرار دارند کنترل می‌شوند. متداولترین این اپراتورها اپراتور جهش و تقاطع است.

۴- μ $(I^\lambda \cup I^{\mu+\lambda}) \rightarrow I^\mu$ پارامتر انتخاب است

که به منظور انتخاب **Error! Bookmark not defined.** تا کروموزوم از میان

Error! Bookmark not defined. یا $\mu + \lambda$ کروموزوم

مورد استفاده قرار می‌گیرد. μ تعداد

کروموزوم‌های والد و **Error! Bookmark not**

defined. λ تعداد کروموزوم‌های فرزند است.

۵- در نهایت $I^\mu \rightarrow \{true, false\}$ معیار توقف

الگوریتم ژنتیک است.

لازم به ذکر است که در الگوریتم ژنتیک

استاندارد جمعیت کروموزومی اولیه $P(0) \in I^\mu$ به

صورت رندم در فضای حل مسئله تولید می‌شود.

۲-۳- مراحل کار الگوریتم ترکیبی CA-GA

در این قسمت بخشهای مختلف الگوریتم ترکیبی پیشنهادی به منظور حل مسائل بهینه‌سازی مشخص می‌شود. ویژگی این الگوریتم، ترکیبی از ویژگیهای ساختاری الگوریتم ژنتیک؛ یعنی تکاملی بودن و ماشین خودکار

1- Mutation
2- Crossover

سلولی، یعنی خودسازماندهی، خودتکثیری و قانونمندی محلی است. کلیه مراحل کار الگوریتم عبارتند از:

۱- ابتدا جمعیت کروموزومی اولیه A با M کروموزوم به صورت رابطه (۵) تولید می شود که هر کروموزوم یک رشته دودویی با طول l و معادل با قانونی است که باید به ماشین خودکار سلولی داده شود. از آنجا که شماره قانون داده شده به ماشین خودکار سلولی باید صحیح باشد، لذا رشته کروموزومهای دودویی جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک استاندارد (سطرهای ماتریس A) پس از تبدیل به عدد دهدهی گرد می شوند تا بخش اعشار آنها حذف شود و سپس عدد گرد شده حاصل، به عنوان شماره قانون R_M به ماشین خودکار سلولی داده می شود. لازم به ذکر است که در این مقاله جمعیت کروموزومهای اولیه به صورت رندم انتخاب می شوند:

$$\vec{A} = (A_1, A_2, \dots, A_M)^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1l} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & \dots & a_{Ml} \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\vec{R} = (R_1, R_2, \dots, R_M)^T \quad (4)$$

که R_1 و R_2 و ... شماره قانونهایی است که به ماشین خودکار سلولی داده خواهد شد.

۲- مرحله بعدی که تخصیص و مقیاس بندی مقادیر برازندگی کروموزوم های جمعیت اولیه است ابتدا به صورت ذیل، مقدار برازندگی هر

کروموزوم مشخص و سپس مقادیر برازندگی مقیاس بندی می شوند.

- قانونهای R_M تولید شده در مرحله اول به صورت تک تک به ماشین خودکار سلولی که شرط اولیه آن $\vec{\sigma}(t=0)$ متناسب با کران متغیرهای تابع مورد بهینه سازی تعیین خواهد شد، داده می شود و ماشین خودکار سلولی پس از دریافت هر قانون و اعمال آن به شرط اولیه با در نظر گرفتن جدول ذیل، شروع به کار کرده و به تعداد Δ تا رشته دودویی تولید می کند. برای این کار ابتدا شماره قانون R_M به شکل دنباله باینری $\alpha = (\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{32})$ تبدیل می شود که هر یک از اعضای این دنباله به صورت جدول (۲) به هر یک از ۳۲ حالت ممکن چهار سلول همسایه سلول i ام $(\sigma_{i-2}(t) \sigma_{i-1}(t) \sigma_i(t) \sigma_{i+1}(t) \sigma_{i+2}(t))$ ماشین خودکار سلولی (با $r=2$) نسبت داده می شود و سپس حالت سلول i ام در مرحله بعد $(\sigma_i(t+1))$ با توجه به این جدول مشخص می شود.

جدول (۲): قوانین محلی ساده برای CA با $r=2$

$\sigma_{i-2}(t)$	$\sigma_{i-1}(t)$	$\sigma_i(t)$	$\sigma_{i+1}(t)$	$\sigma_{i+2}(t)$	$\sigma_i(t+1)$
۱	۱	۱	۱	۱	α_1
۱	۱	۱	۱	۰	α_2
۱	۱	۱	۰	۱	α_3
۱	۱	۱	۰	۰	α_4
۱	۱	۰	۱	۱	α_5
۱	۱	۰	۱	۰	α_6
۱	۱	۰	۰	۱	α_7
۱	۱	۰	۰	۰	α_8
۱	۰	۱	۱	۱	α_9
۱	۰	۱	۱	۰	α_{10}
۱	۰	۱	۰	۱	α_{11}
۱	۰	۱	۰	۰	α_{12}
۱	۰	۰	۱	۱	α_{13}
۱	۰	۰	۱	۰	α_{14}
۱	۰	۰	۰	۱	α_{15}
۱	۰	۰	۰	۰	α_{16}
۰	۱	۱	۱	۱	α_{17}
۰	۱	۱	۱	۰	α_{18}
۰	۱	۱	۰	۱	α_{19}
۰	۱	۱	۰	۰	α_{20}
۰	۱	۰	۱	۱	α_{21}
۰	۱	۰	۱	۰	α_{22}
۰	۱	۰	۰	۱	α_{23}
۰	۱	۰	۰	۰	α_{24}
۰	۰	۱	۱	۱	α_{25}
۰	۰	۱	۱	۰	α_{26}
۰	۰	۱	۰	۱	α_{27}
۰	۰	۱	۰	۰	α_{28}
۰	۰	۰	۱	۱	α_{29}
۰	۰	۰	۱	۰	α_{30}
۰	۰	۰	۰	۱	α_{31}
۰	۰	۰	۰	۰	α_{32}

که شماره R_M مربوط به M امین قانون به صورت رابطه (۶) محاسبه می شود.

$$(\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{32})_{binary} = \sum_{j=1}^{32} \alpha_j 2^{32-j} =$$

$$R_M \in [1, 4.2950e + 9] \quad (5)$$

همانطور که در بخش ۳ (بخش نتایج) نیز اشاره خواهد شد، شرط اولیه پیشنهادی برای اتوماتای سلولی در این مقاله، با توجه به معادل دودویی کران پایین x_{iL} تابع مورد بهینه سازی که شامل N_L بیت می باشد، در نظر گرفته شده است. البته همانطور که در ادامه نشان خواهیم داد، حساسیت به شرایط اولیه الگوریتم ترکیبی CA-GA در فرآیند پیدا کردن مینیمم گلوبال با توجه به تعدد قوانین ماشین خودکار سلولی بسیار پایین است. برای یک تابع مورد بهینه سازی، n متغیره تقسیم بندی رشته دودویی ماشین خودکار سلولی در لحظه، t به شکل کلی رابطه (۷) است:

$$\bar{\sigma}(t) = \underbrace{\sigma_{-1}(t) \sigma_0(t) \sigma_1(t) \sigma_2(t) \dots \sigma_{fl_1}(t) \dots \sigma_{N_L}(t)}_{x_1(t)} \dots \underbrace{\sigma_{(n-1)N_L+1}(t) \sigma_{(n-1)N_L+2}(t) \dots \sigma_{fl_n}(t) \dots \sigma_{nN_L}(t)}_{x_2(t)} \dots \sigma_{nN_L+1}(t) \sigma_{nN_L+2}(t) \quad (6)$$

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، در این مقاله شرایط مرزی هر رشته باینری در ماشین

خودکار سلولی در هر لحظه t مقدار ثابت صفر در نظر گرفته شده است (رابطه (۸)).

$$\sigma_0(t), \sigma_{-1}(t), \sigma_{nN_L+1}(t), \sigma_{nN_L+2}(t) = 0 \quad (7)$$

همچنین هر رشته باینری تولید شده توسط ماشین خودکار سلولی باید به معادل دهدهی تبدیل شود که $x_n(t)$ در رابطه (۷) معادل دهدهی متغیر n ام تابع مورد بهینه سازی در لحظه t است و داریم:

$$x_n(t) \text{ قسمت صحیح } \xRightarrow{Dec} (\sigma_{(n-1)N_L+2}(t) \dots)_{bin}$$

$$x_n(t) \text{ قسمت اعشاری } \xRightarrow{Dec} (\sigma_{fl_n}(t) \dots \sigma_{nN_L}(t))_{bin}$$

و $\sigma_{(n-1)N_L+1}(t)$ بیت علامت متغیر $x_n(t)$ است و داریم:

$$\sigma_{(n-1)N_L+1}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_n(t) \text{ is negative number} \\ 0 & \text{if } x_n(t) \text{ is positive number} \end{cases}$$

لازم به ذکر است در صورتی که کران پایین x_{iL} دارای بخش اعشاری نباشد، تعداد بیت های قسمت اعشاری معادل برای تمامی متغیرهای $x_i(t), i = 1, 2, \dots, n$ ماشین خودکار سلولی را به صورت دلخواه و با توجه به دقت مورد نیاز در نظر گرفته و به جای بیت های مربوط به آن قسمت، یعنی عدد 0 قرار می دهیم. سپس مقادیر دهدهی متغیرهای $x_i(t), i = 1, 2, \dots, n$ که توسط ماشین خودکار سلولی تولید شده اند به

صورت رابطه (۹) به تابع مورد بهینه‌سازی f_{obj}^1 داده می‌شوند و ارزش هر کدام مشخص می‌شود:

$$f_{val}(t) = f_{obj}(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \quad (۸)$$

پس از محاسبه تابع $f_{val}(t)$ برای هر رشته باینری از Δ تا رشته باینری، تولید شده توسط ماشین خودکار سلولی، در نهایت میان تمامی این مقادیر به صورت رابطه (۱۰) مینیمم گرفته می‌شود و مقدار این مینیمم به عنوان مقدار برازندگی $\Phi(R_M)$ کروموزوم (قانون R_M ماشین خودکار سلولی) M ام در جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته می‌شود.

$$\Phi(R_M) = \min\{f_{val}(t) | t = 1: \Delta\} \quad (۹)$$

۲-۳-۱- انتخاب

در این مقاله از اپراتور انتخاب نمونه برداری تصادفی جامع^۱ استفاده شده است. در این روش که توسط Baker پیشنهاد شده است، ابتدا احتمال انتخاب هر یک از کروموزومهای جمعیت کروموزومی اولیه با استفاده از رابطه (۱۱) و بر اساس مقدار برازندگی هر کروموزوم محاسبه می‌شود:

$$F(R_i) = \frac{\Phi(R_i)}{\sum_{j=1}^M \Phi(R_j)} \quad (۱۰)$$

که در این رابطه $\Phi(R_i)$ مقدار برازندگی کروموزوم (قانون ماشین خودکار سلولی) R_i و

$F(R_i)$ احتمال انتخاب کروموزوم است. پس از آن کروموزومها با توجه به احتمال انتخابشان و از بیشترین احتمال تا کمترین احتمال در کنار هم به نحوی در محدوده ۰ و ۱ (از احتمال ۰ تا احتمال ۱) مرتب می‌شوند و سپس یک عدد رند ptr در محدوده $[0, 1/N_{ind}]$ [که N_{ind} تعداد کروموزومهایی است که می‌خواهیم انتخاب شوند] تولید می‌شود. بعد از آن نشانگرهایی به ترتیب در مکان‌های $ptr, 2ptr, \dots, N_{ind} \cdot ptr$ قرار می‌گیرند و در نهایت کروموزوم‌هایی که نشانگر در آنها قرار گرفته است، انتخاب می‌شوند.

۲-۳-۲- تقاطع

بعد از اینکه بهترین کروموزومها (قوانین ماشین خودکار سلولی) از میان جمعیت اولیه کروموزومی انتخاب شدند، دو تا از این کروموزومها (قوانین ماشین خودکار سلولی) R_1 و R_2 مطابق با احتمال انتخابشان، به عنوان کروموزوم (قانون) های والد انتخاب می‌شوند و با استفاده از عملگر تقاطع $c: I^2 \rightarrow I$ با احتمال p_c با هم ترکیب می‌شوند و دو کروموزوم (قانون) فرزند R_1' و R_2' را تولید می‌کنند که ممکن است از والدین بهتر باشند. در این مقاله از عملگر تقاطع تک نقطه‌ای استفاده شده است.

۲-۳-۳- جهش

پس از انجام مراحل انتخاب و تقاطع، عملگر جهش $m: I \rightarrow I$ با احتمال p_m به کروموزومها (قوانین) اعمال می‌شود تا از عدم یکسان بودنشان اطمینان حاصل شود. در

1- Objective function
2- Stochastic Universal Sampling (SUS)

این مقاله از الگوریتم ژنتیک اپراتور جهش گوسی استفاده شده است. اصول و نحوه عملکرد این نوع عملگر در مرجع [۲۵] ارائه شده است.

۲-۳-۴- شرط توقف الگوریتم ژنتیک

شرایط توقف الگوریتم ژنتیک مورد استفاده

در این مقاله یکی از دو شرط ذیل است:

۱- میانگین وزن دار مقدار برازندگی کروموزوم‌های موجود در جمعیت جدید تولید شده کمتر از $1e-6$ شود، ۲- تعداد تولیدهای G به مقدار مشخص شده G_{max} برسد.

$$l(P(G)) = \begin{cases} true & \text{if } G > G_{max} \\ false & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

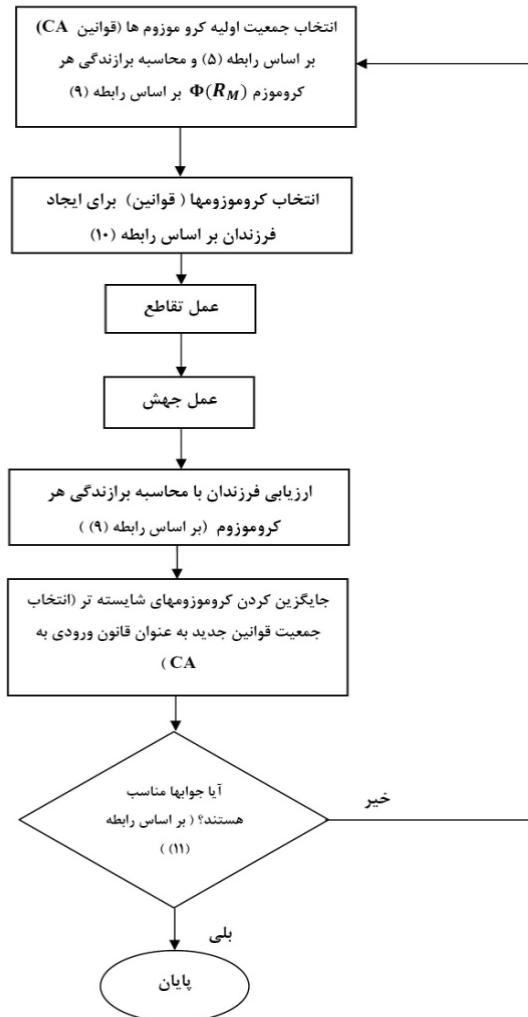
در این رابطه، G شماره تولید و G_{max} بیشترین تعداد تولید است. پس از اتمام کار الگوریتم ژنتیک، قانون برتر ماشین خودکار سلولی که کمترین مقدار برازندگی Φ را در میان سایر قوانین داشته است، به عنوان خروجی برنامه انتخاب می‌شود و مقدار برازندگی آن به عنوان مینیمم تابع مورد بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

شکل (۱) به صورت خلاصه الگوریتم پیشنهادی در این مقاله را نشان می‌دهد.

۳- نتایج

در این قسمت از ۵ تابع شناخته شده موجود در جدول ۳ به عنوان توابع مورد بهینه‌سازی که باید نقطه مینیمم آنها تعیین شود، استفاده شده

است و نقش پارامترهای مختلف الگوریتم ترکیبی CA-GA در تعیین میزان کارایی الگوریتم مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل (۱): مراحل مختلف الگوریتم ترکیبی CA-GA

جدول (۳): توابع مورد بهینه سازی مورد استفاده (n تعداد متغیرهای تابع است)

	توابع مورد بهینه سازی	محدوده متغیرهای تابع	مینیمم گلوبال تابع f min
f_1	Ackley	$-32.768 \leq x_i \leq 32.768$	0
f_2	Rosenbrock	$-2.048 \leq x_i \leq 2.048$	0
f_3	Rastrigin	$-5.12 \leq x_i \leq 5.12$	0
f_4	Schwefel	$-500 \leq x_i \leq 500$	-418.9829n
f_5	Griewangk	$-600 \leq x_i \leq 600$	0

در این جدول $i = 1, 2, \dots, n$ است که n بعد تعداد متغیرهای پیشنهادی برای توابع) می باشد و در این مقاله تمامی توابع با ابعاد ۵ و ۱۰ مورد استفاده قرار گرفته اند. لازم به ذکر است که روابط مربوط به هر یک از توابع در ضمیمه آورده شده است.

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، شرط اولیه برای اتوماتای سلولی مورد استفاده در بهینه سازی تمامی توابع n متغیره، با توجه به معادل دودویی قسمتهای کران پایین x_{iL} تابع مورد بهینه سازی در نظر گرفته شده است. تعداد رشته های باینری Δ تولید شده توسط ماشین خودکار سلولی نیز در بهینه سازی همه توابع ۳۰ و شعاع همسایگی r برابر ۲ در نظر گرفته شده است. همچنین محدوده جمعیت اولیه برای

الگوریتم ژنتیک استاندارد $[x_{iL}, x_{iR}]$ و برای الگوریتم ژنتیک ترکیبی با ماشین خودکار سلولی $[1, 4.2950e+9]$ در نظر گرفته شده است. احتمال جهش در الگوریتم پیشنهادی و در تمامی آزمایشات مقدار ۰/۱ در نظر گرفته شده است. هر کدام از این دو الگوریتم ۱۰۰ بار برای هر تابع مورد بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته اند و میانگین و واریانس بهترین مقادیر برازندگی به دست آمده با این دو الگوریتم به عنوان معیار ارزیابی کارایی آنها محاسبه شده است.

۳-۱- بررسی اثر احتمال تقاطع p_c

جدول (۴) اثر احتمال تقاطع p_c را بر پیدا کردن مینیمم توابع استاندارد نشان می دهد.

جدول (۴): بررسی اثر احتمال تقاطع P_c بر پیدا کردن مینیمم توابع استاندارد در ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم ترکیبی

CA-GA

توابع مورد بهینه سازی		الگوریتم ژنتیک استاندارد				CA-GA الگوریتم ترکیبی			
		$P_c=0.1$	$P_c=0.5$	$P_c=0.8$	$P_c=0.9$	$P_c=0.1$	$P_c=0.5$	$P_c=0.8$	$P_c=0.9$
f_1 (N=5)	میانگین	2.5707	0.7783	0.3086	0.4233	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
	واریانس	0.4998	0.4775	0.1955	0.2548	0	0	0	0
f_1 (N=10)	میانگین	4.5328	2.6661	1.7323	1.9051	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
	واریانس	0.4571	0.4410	0.3585	0.3925	0	0	0	0
f_2 (N=5)	میانگین	1.5056	1.1466	1.3490	1.4578	0	0	0	0.3088
	واریانس	0.6644	0.6818	0.6884	0.7873	0	0	0	0.4850
f_2 (N=10)	میانگین	8.8799	4.4232	4.3928	4.4115	0	0	0	0.4901
	واریانس	1.6377	1.5836	1.3886	1.4872	0	0	0	0.5050
f_3 (N=5)	میانگین	4.1458	0.2005	0.0694	0.1151	0	0	0	0
	واریانس	1.4176	0.2285	0.0840	0.1550	0	0	0	0
f_3 (N=10)	میانگین	29.3992	5.8505	2.4781	2.9068	0	0	0	0
	واریانس	5.5794	1.8609	1.0280	1.1112	0	0	0	0
f_4 (N=5)	میانگین	-1.7458e+3	-1.3412e+3	-1.8172e+3	-1.5365e+3	-2.0907e+3	-2.0947e+3	-2.0943e+3	-2.0917e+3
	واریانس	983.0502	1.1213e+3	855.1495	873.7160	14.1	0.2791	0.5455	7.1569
f_4 (N=10)	میانگین	-2.9570e+3	-2.3097e+3	-3.3396e+3	-2.0613e+3	-4.1895e+3	-4.1897e+3	-4.1883e+3	-4.1856e+3
	واریانس	1.1901e+3	1.5152e+3	1.2698e+3	1.1275e+3	0.4491	0.3094	1.1099	8.2472
f_5 (N=5)	میانگین	0.1906	0.1213	0.1165	0.2536	0	0	0	0
	واریانس	0.1059	0.0795	0.1068	0.1436	0	0	0	0
f_5 (N=10)	میانگین	1.6112	1.2419	1.0651	1.4032	0	0	0	0
	واریانس	0.5425	0.3381	0.2661	0.4922	0	0	0	0

از آنجا که در الگوریتم ترکیبی CA-GA هر یک از کروموزوم های جمعیت اولیه، قانون (rule) ای است که باید به شرط اولیه CA اعمال شود و Δ تا رشته باینری تولید کند تا برازندگی آن قانون تعیین شود، بنابراین می توانیم بگوییم این کار معادل حالتی است که تعداد کروموزومهای جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک استاندارد $\Delta \times M_H$ باشد که M_H تعداد کروموزومهای اولیه در الگوریتم ژنتیک موجود در الگوریتم ترکیبی CA-GA است؛ از این رو به منظور مقایسه صحیح میان الگوریتم ژنتیک استاندارد و الگوریتم ترکیبی CA-GA تعداد کروموزومها (قوانین) های اولیه در الگوریتم ترکیبی CA-GA را 20 و تعداد کروموزومهای جمعیت اولیه را در الگوریتم استاندارد sGA برابر 600 (یا 300x20) در نظر گرفته ایم و تعداد تولیدهای GA در هر دو الگوریتم را نیز 100 قرار داده ایم.

همانطور که در جدول (4) دیده می شود، الگوریتم ترکیبی CA-GA به ازای همه مقادیر p_c مینیمم گلوبال توابع f_1 و f_3 و f_5 را به صورت دقیق پیدا کرده است.

همچنین الگوریتم ترکیبی CA-GA برای تابع f_2 با $N=5$ و $N=10$ و به ازای مقادیر احتمال تقاطع $p_c=0.1$, $p_c=0.5$, $p_c=0.8$ مینیمم گلوبال را به صورت دقیق پیدا کرده است. برای تابع f_4 نیز الگوریتم ترکیبی CA-GA نزدیکترین پاسخ را به مینیمم گلوبال به ازای $p_c=0.5$ پیدا کرده است.

الگوریتم استاندارد sGA به ازای همه مقادیر p_c در پیدا کردن مقدار مینیمم در مقایسه با

الگوریتم CA-GA دارای خطای قابل توجهی است؛ اما این الگوریتم با $p_c=0.8$ برای همه توابع نزدیکترین پاسخ به مینیمم گلوبال را نسبت به سایر مقادیر p_c پیدا کرده است. همچنین هر چه درجه تابع افزایش پیدا می کند، خطای الگوریتم استاندارد sGA در پیدا کردن مینیمم گلوبال تابع افزایش می یابد.

۳-۲- بررسی اثر احتمال جهش p_m

جدول (5) اثر احتمال جهش p_m را بر پیدا کردن مینیمم توابع استاندارد نشان می دهد. با توجه به دلایل ذکر شده در بخش قبل، تعداد کروموزومها (قوانین) اولیه در الگوریتم ترکیبی CA-GA را Δ و تعداد کروموزومهای جمعیت اولیه را در الگوریتم استاندارد sGA برابر $\Delta \times M_H$ در نظر گرفته ایم. همچنین مقدار p_c را بهترین مقدار انتخاب شده در بخش 3-1 یعنی $p_c=0.5$ در نظر گرفته ایم.

جدول (۵): بررسی اثر احتمال جهش p_m بر پیدا کردن مینیمم توابع استاندارد در ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم ترکیبی CA-GA.

توابع مورد بهینه سازی	الگوریتم ژنتیک استاندارد				CA-GA الگوریتم ترکیبی			
	$Pm=0.1$	$Pm=0.5$	$Pm=0.8$	$Pm=0.9$	$Pm=0.1$	$Pm=0.5$	$Pm=0.8$	$Pm=0.9$
f_1 میانگین (N=5) واریانس	2.8707	0.6783	0.3186	0.3233	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
f_1 میانگین (N=10) واریانس	0.3999	0.3775	0.1905	0.2648	0	0	0	0
f_2 میانگین (N=5) واریانس	3.5328	2.8661	1.7323	1.9051	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
f_2 میانگین (N=10) واریانس	0.4571	0.4410	0.3585	0.3925	0	0	0	0
f_3 میانگین (N=5) واریانس	1.4056	1.1466	1.3490	1.3178	0	0	0	0.1088
f_3 میانگین (N=10) واریانس	0.5644	0.5718	0.6884	0.7873	0	0	0	0.3850
f_4 میانگین (N=5) واریانس	7.8199	4.4232	4.3928	3.4115	0	0	0	0.3901
f_4 میانگین (N=10) واریانس	1.6377	1.5836	1.3886	1.4872	0	0	0	0.3050
f_5 میانگین (N=5) واریانس	3.1058	0.2005	0.0694	0.1151	0	0	0	0
f_5 میانگین (N=10) واریانس	1.5126	0.2285	0.0840	0.1550	0	0	0	0
f_6 میانگین (N=5) واریانس	22.0992	5.8505	2.4781	2.9068	0	0	0	0
f_6 میانگین (N=10) واریانس	5.5794	1.8609	1.0280	1.1112	0	0	0	0
f_7 میانگین (N=5) واریانس	-	-1.3412e+3	-1.8172e+3	-	-	-2.0949e+3	-2.0933e+3	-2.0940e+3
f_7 میانگین (N=10) واریانس	1.6458e+3	1.3213e+3	655.1495	1.5365e+3	2.0937e+3	0.2791	0.4455	2.1569
f_8 میانگین (N=5) واریانس	-	-2.4097e+3	-3.3396e+3	-	-	-4.1897e+3	-4.1890e+3	-4.1898e+3
f_8 میانگین (N=10) واریانس	2.9970e+3	1.5152e+3	1.2698e+3	2.0613e+3	4.1895e+3	0.2094	0.9099	0.2472
f_9 میانگین (N=5) واریانس	1.21901e+3	0.1806	0.1313	0.1120	0.3401	0	0	0
f_9 میانگین (N=10) واریانس	3	0.1059	0.0795	0.1068	0	0	0	0
f_{10} میانگین (N=5) واریانس	1.5112	1.2219	1.1651	1.3132	0	0	0	0
f_{10} میانگین (N=10) واریانس	0.4425	0.2381	0.2861	0.3122	0	0	0	0

همانطور که در جدول (۵) دیده می شود، الگوریتم ترکیبی CA-GA به ازای همه مقادیر p_m مینیمم گلوبال توابع f_1 و f_3 و f_5 را به صورت دقیق پیدا کرده است. همچنین الگوریتم ترکیبی برای تابع f_2 با $N=5$ و $N=10$ و به ازای مقادیر احتمال تقاطع $0.1p_m$ و $0.p_m$ و $0.p_m$ مینیمم گلوبال را به صورت دقیق پیدا کرده است. برای تابع f_4 نیز الگوریتم ترکیبی نزدیکترین پاسخ را به مینیمم گلوبال به ازای $0.5p_m$ و $0.9p_m$ پیدا کرده است.

۳-۳- بررسی اثر تعداد تولید الگوریتم ژنتیک

به منظور بررسی اثر تعداد تکرارهای G_{max} بر کارایی الگوریتم های sGA و CA-GA در پیدا کردن مینیمم گلوبال، مطابق با جدول (۶) سه مقدار تولید G_{max} متفاوت برای هر دو الگوریتم در نظر گرفته شده است. همچنین احتمال تقاطع در هر دو الگوریتم $p_c=0.8$ و $0.5p_m$ (با توجه به بخش قبل) در نظر گرفته شده است و به منظور مقایسه صحیح میان الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی CA-GA و با توجه به دلایل ذکر شده در بخش قبل تعداد کروموزومهای (قوانین) اولیه در الگوریتم ترکیبی CA-GA را Δ و تعداد کروموزوم های جمعیت اولیه را در الگوریتم استاندارد sGA برابر $\Delta \times M_H$ در نظر گرفته ایم.

همانطور که در جدول (۶) دیده می شود، الگوریتم ترکیبی CA-GA به ازای تمامی تکرارهای G_{max} برای توابع f_1 و f_3 و f_5 مینیمم گلوبال را به صورت دقیق پیدا کرده است و برای تابع f_2 با $n=5$ و $n=10$ و به ازای $100G_{max}$ و $150G_{max}$ مینیمم

گلوبال را به صورت دقیق پیدا کرده است و برای تابع f_4 با $n=5$ و $n=10$ و به ازای $100G_{max}$ دقیقترین مینیمم گلوبال را پیدا کرده است. الگوریتم استاندارد GA به ازای همه مقادیر G_{max} در پیدا کردن مقدار مینیمم در مقایسه با الگوریتم ترکیبی CA-GA دارای خطای قابل توجهی است. در الگوریتم استاندارد GA هر چه تعداد تکرارها بیشتر شود، جوابها به مینیمم گلوبال نزدیکتر می شود. همچنین هر چه درجه توابع بیشتر می شود، الگوریتم استاندارد sGA در پیدا کردن مینیمم گلوبال دچار خطای بیشتری می شود.

۳-۴- بررسی اثر تعداد کروموزومهای جمعیت

اولیه الگوریتم ژنتیک

جدول (۷) اثر تعداد کروموزوم های M جمعیت اولیه را بر پیدا کردن مینیمم توابع استاندارد نشان می دهد. به منظور مقایسه صحیح میان الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی CA-GA، تعداد کروموزومهای (قوانین) اولیه در الگوریتم ترکیبی CA-GA را M_H و تعداد کروموزومهای جمعیت اولیه را در الگوریتم استاندارد sGA برابر Error! Bookmark not defined. $M = \Delta \times M_H$ (که Δ و p_c را به ترتیب ۳۰ و ۰.۸ انتخاب کرده ایم. همانطور که در این جدول دیده می شود، در مورد توابع f_1 و f_2 و f_3 و f_5 الگوریتم CA-GA به ازای همه مقادیر جمعیت اولیه کروموزومهای M_H به مقدار مینیمم گلوبال تابع رسیده است و در حالت کلی الگوریتم استاندارد sGA به ازای همه مقادیر جمعیت اولیه M در پیدا کردن مقدار مینیمم در مقایسه با

الگوریتم ترکیبی CA-GA دارای خطای قابل توجهی است. همچنین هر چه درجه توابع بیشتر شود، الگوریتم استاندارد sGA در پیدا کردن مینیمم گلوبال دچار خطای بیشتری می‌شود.

جدول (۶): توابع استاندارد در ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم ترکیبی CA-GA. تعداد پارامتر احتمال تقاطع ۰.۸ و تعداد کروموزوم‌های جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک ۶۰۰ و در الگوریتم ترکیبی CA-GA ۲۰ در نظر گرفته شده است.

توابع مورد بهینه سازی		الگوریتم ژنتیک استاندارد sGA			الگوریتم ترکیبی CA-GA		
		$G_{max}=50$	$G_{max}=100$	$G_{max}=150$	$G_{max}=50$	$G_{max}=100$	$G_{max}=150$
f_1 (N=5)	میانگین	0.9246	0.3086	0.2870	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
	واریانس	0.5251	0.1955	0.1811	0	0	0
f_1 (N=10)	میانگین	2.8697	1.7323	1.7199	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
	واریانس	0.4387	0.3585	0.3405	0	0	0
f_2 (N=5)	میانگین	1.5895	1.3490	1.3099	0.3519	0	0
	واریانس	0.8499	0.6884	0.5978	0.9007	0	0
f_2 (N=10)	میانگین	4.9478	4.3928	4.1256	0.5120	0	0
	واریانس	1.5507	1.3886	1.1467	1.7231	0	0
f_3 (N=5)	میانگین	0.3301	0.0694	0.0510	0	0	0
	واریانس	0.2956	0.0840	0.0750	0	0	0
f_3 (N=10)	میانگین	5.1724	2.4781	2.0999	0	0	0
	واریانس	1.6710	1.0280	0.9679	0	0	0
f_4 (N=5)	میانگین	-1.8918e+3	-1.9016e+3	-1.9587e+3	-2.0903e+3	-2.0943e+3	-2.0939e+3
	واریانس	1.1215e+3	987.5072	900.5726	14.3626	1.1455	3.1263
f_4 (N=10)	میانگین	-3.6577e+3	-3.8931e+3	-3.9921e+4	-4.1822e+3	-4.1883e+3	-4.1882e+3
	واریانس	1.3100e+3	1.1580e+3	1.1009e+3	15.2339	5.4099	3.1339
f_5 (N=5)	میانگین	0.2860	0.1341	0.9018	0	0	0
	واریانس	0.1240	0.0574	0.0379	0	0	0
f_5 (N=10)	میانگین	1.2222	0.9578	0.8641	0	0	0
	واریانس	0.1388	0.1328	0.1185	0	0	0

این بدان معنی است که میزان صحت الگوریتم استاندارد sG در پیدا کردن نقاط بهینه به درجه پیچیدگی تابع مورد بهینه سازی وابسته است؛ از طرفی با افزایش تعداد کروموزم‌های جمعیت اولیه کارایی الگوریتم استاندارد sGA و الگوریتم ترکیبی CA-GA در یافتن نقطه مینیمم بهینه بیشتر می‌شود.

جدول (۷): مقایسه کارایی الگوریتم sGA و الگوریتم ترکیبی CA-GA به ازای سه مقدار مختلف جمعیت اولیه کروموزوم‌ها

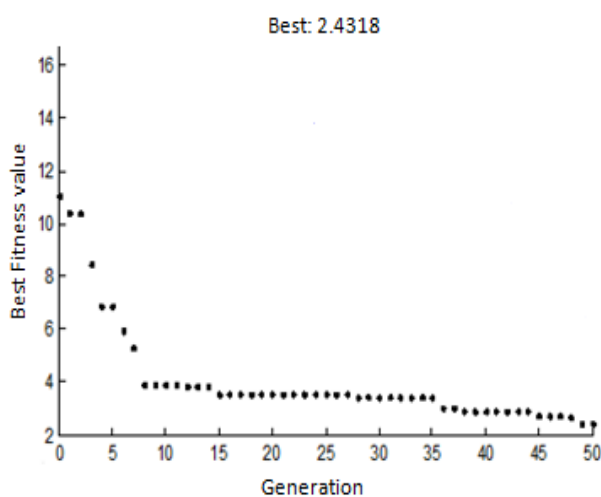
توابع مورد بهینه سازی	الگوریتم ژنتیک استاندارد sGA			الگوریتم ترکیبی CA-GA			
	$M=60$	$M=3000$	$M=4500$	$M_H = 20$	$M_H = 100$	$M_H = 150$	
f_1 (N=5)	میانگین	0.3086	0.0516	0.0497	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
	واریانس	0.1955	0.0285	0.0260	0	0	0
f_1 (N=10)	میانگین	1.7323	0.4106	0.2328	8.8818e-16	8.8818e-16	8.8818e-16
	واریانس	0.3585	0.1982	0.1105	0	0	0
f_2 (N=5)	میانگین	1.3490	0.8433	0.8111	0	0	0
	واریانس	0.6884	0.4673	0.0391	0	0	0
f_2 (N=10)	میانگین	4.3928	3.7331	3.1225	0	0	0
	واریانس	1.3886	1.3624	1.3234	0	0	0
f_3 (N=5)	میانگین	0.0694	0.0033	0.0031	0	0	0
	واریانس	0.0840	0.0030	0.0015	0	0	0
f_3 (N=10)	میانگین	2.4781	0.1985	0.1890	0	0	0
	واریانس	1.0280	0.1794	0.1601	0	0	0
f_4 (N=5)	میانگین	-1.8616e+3	-	-	-2.0943e+3	2.0948e+3	2.0949e+3
	واریانس	987.5072	1.0654e+3	1.0652e+3	0.2455	0.0853	0.0741
f_4 (N=10)	میانگین	-2.4931e+3	-	-	-4.1883e+3	-4.1894e+3	-4.1896e+3
	واریانس	1.1580e+3	1.3377e+3	1.1968e+3	1.1099	0.9631	0.5631
f_5 (N=5)	میانگین	0.1341	0.0364	0.0228	0	0	0
	واریانس	0.0574	0.0169	0.0154	0	0	0
f_5 (N=10)	میانگین	0.9578	0.4256	0.3981	0	0	0
	واریانس	0.1328	0.1860	0.1589	0	0	0

۳-۵- مقایسه سرعت همگرایی دو الگوریتم

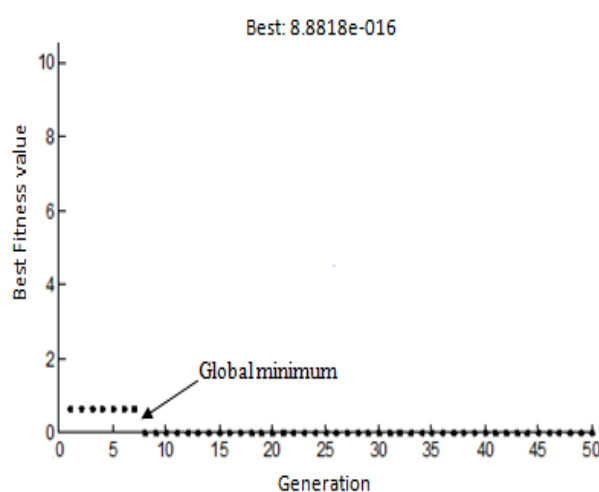
CA-GA و sGA

برای مقایسه سرعت همگرایی الگوریتم‌های sGA و CA-GA به بهترین مقدار برازندگی (مینیمم گلوبال تابع)، دو الگوریتم به منظور پیدا کردن مینیمم گلوبال تابع Ackley (به عنوان نمونه‌ای شناخته شده از توابع مورد بحث در بهینه‌سازی) استفاده شده است و تغییرات میانگین مقادیر برازندگی و بهترین مقدار

برازندگی کروموزوم‌ها در ۵۰ بار تولید در شکل (۲) ترسیم شده‌اند. لازم به ذکر است آنچه در نهایت برای خروجی الگوریتم‌های CA-GA و sGA به عنوان مینیمم تابع Ackley پیشنهاد می‌گردد، بهترین مقدار برازندگی مجموعه کروموزوم‌ها پس از ۵۰ بار تولید می‌باشد که با نقاط پررنگ (مشکی) در نمودارهای شکل (۱) نشان داده شده‌اند.



(ب)



(الف)

شکل (۲): تغییرات مقادیر بهترین برازندگی کروموزوم‌ها در ۵۰ بار تولید به منظور پیدا کردن مینیمم گلوبال تابع Ackley. نقاط کمرنگ بیانگر میانگین مقادیر برازندگی در مجموعه کروموزوم‌ها در هر بار تولید و نقاط پررنگ بهترین برازندگی در میان همه کروموزوم‌ها در هر بار تولید است. الف) تغییرات مقادیر برازندگی در کروموزوم‌های الگوریتم CA-GA (ب) تغییرات مقادیر برازندگی در کروموزوم‌های الگوریتم استاندارد sGA

به همراه سایر آزمایشات (پس از ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم) نشان داد به طور متوسط سرعت همگرایی الگوریتم ترکیبی CA-GA برای یافتن مینیمم گلوبال تابع Ackley در حدود ۵ برابر بیشتر از سرعت همگرایی الگوریتم استاندارد

همانطور که در قسمت الف شکل (۲) مشاهده می‌شود، الگوریتم ترکیبی CA-GA در هشتمین تولید به مینیمم گلوبال تابع دست می‌یابد، اما بهترین مقدار برازندگی در الگوریتم استاندارد sGA (قسمت ب شکل (۲) در ۵۰ بار تولید هنوز به مینیمم گلوبال دست نیافته است. این آزمایش

sGA می‌باشد. برای سایر توابع مورد بهینه‌سازی نیز نتایج مشابه استخراج گردید.

۳-۶- بررسی اثر حساسیت به شرط اولیه

در الگوریتم ترکیبی CA-GA

شرایط اولیه یکی از مهمترین بخشهای مربوط به ماشین خودکار سلولی است. در این بخش هدف این است تا اثر تغییر در شرایط اولیه ماشین خودکار سلولی بر میزان کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در پیدا کردن مینیمم گلوبال تابع مورد بهینه‌سازی بررسی شود. به همین منظور چهار شرط اولیه بر اساس محدوده مجاز متغیرهای توابع مورد بهینه‌سازی $[x_{i_L}, x_{i_R}]$ و مطابق با روابط ۷ و ۸ برای ماشین خودکار

سلولی در نظر گرفته شده اند. میانگین و واریانس بهترین مقادیر برازندگی مربوط به الگوریتم CA-GA با چهار مقدار مختلف شرط اولیه برای ماشین خودکار سلولی و ۱۰۰ بار تکرار الگوریتم در جداول (۹، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) قابل مشاهده است. لازم به ذکر است اولین شرط اولیه پیشنهادی براساس کران پایین x_{i_L} دومین شرط اولیه براساس کران بالای x_{i_R} سومین شرط اولیه به صورت رندم و چهارمین شرط اولیه در نزدیکی نقطه مینیمم گلوبال واقعی تابع مورد بهینه‌سازی (به عنوان مثال شرط اولیه ۰/۵ برای توابع f_1, f_2, f_3, f_4 و ۴۱۷.۱۸۱۱ برای تابع f_4) در نظر گرفته شده است.

جدول (۸): کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در پیدا کردن مینیمم تابع f_1 (n=5)

مقادیر دهمی x_i های مورد استفاده در شرط اولیه الگوریتم ترکیبی CA-GA	میانگین	واریانس
$x_i(0) = -32.7680, i=1,2,...,10$	8.8818e-016	0
$x_i(0) = 32.7680, i=1,2,...,10$	8.8818e-016	0
$x_i(0) = -27.0512, i=1,2,...,10$	8.8818e-016	0
$x_i(0) = 0.5, i=1,2,...,10$	8.8818e-016	0

جدول (۹): کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در پیدا کردن مینیمم تابع f_2 (n=5)

مقادیر دهمی x_i های مورد استفاده در شرط اولیه الگوریتم ترکیبی CA-GA	میانگین	واریانس
$x_i(0) = -2.048, i=1,2,...,10$	0	0
$x_i(0) = 2.048, i=1,2,...,10$	0	0
$x_i(0) = -1.640, i=1,2,...,10$	0	0
$x_i(0) = 0.5, i=1,2,...,10$	0	0

جدول (۱۰): کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در پیدا کردن مینیمم تابع f_3 ($n=5$)

مقادیر دهنده x_i های مورد استفاده در شرط اولیه الگوریتم ترکیبی CA-GA	میانگین	واریانس
$x_i(0) = -5.120, i=1,2,\dots,10$	0	0
$x_i(0) = 5.120, i=1,2,\dots,10$	0	0
$x_i(0) = -3.100, i=1,2,\dots,10$	0	0
$x_i(0) = 0.5, i=1,2,\dots,10$	0	0

جدول (۱۱): کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در پیدا کردن مینیمم تابع f_4 ($n=5$)

مقادیر دهنده x_i های مورد استفاده در شرط اولیه الگوریتم ترکیبی CA-GA	میانگین	واریانس
$x_i(0) = -500, i=1,2,\dots,10$	-2.0940e+3	2.1345
$x_i(0) = 500, i=1,2,\dots,10$	-2.0943e+3	1.1099
$x_i(0) = -300.1792, i=1,2,\dots,10$	-2.0947e+3	0.8141
$x_i(0) = 417.1811, i=1,2,\dots,10$	-2.0948e+3	0.2798

جدول (۱۲): کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در پیدا کردن مینیمم تابع f_5 ($n=5$)

مقادیر دهنده x_i های مورد استفاده در شرط اولیه الگوریتم ترکیبی CA-GA	میانگین	واریانس
$x_i(0) = -600, i=1,2,\dots,10$	0	0
$x_i(0) = 600, i=1,2,\dots,10$	0	0
$x_i(0) = -500.12, i=1,2,\dots,10$	0	0
$x_i(0) = 0.5, i=1,2,\dots,10$	0	0

اولیه ماشین خودکار سلولی بر اساس نزدیکترین نقطه به مینیمم گلوبال واقعی تابع مورد بهینه سازی f_4 در نظر گرفته شود؛ اگر چه آزمایشات دیگر نشان داد که بهتر است کران پایین x_{iL} در شرط اولیه ماشین خودکار سلولی مورد استفاده قرار گیرد.

شکل (۳) اثرات دو شرط اولیه متفاوت $\bar{\sigma}_1(t=0)$ و $\bar{\sigma}_2(t=0)$ ماشین خودکار سلولی را در پیدا کردن

همانطور که در جداول شماره (۱۲ و ۱۰ و ۹ و ۸) قابل مشاهده است، مقادیر کارایی الگوریتم CA-GA (مقادیر میانگین و واریانس مینیمم های پیدا شده در ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم) مستقل از مقادیر اولیه است، اما جدول (۱۰) نشان می دهد که کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA به میزان بسیار ناچیزی وابسته به شرایط اولیه می باشد و بهترین کارایی، زمانی به دست می آید که شرط

مینیم گلوبال تابع schwefel با ۵ متغیر نشان می‌دهد. دو مقدار مختلف $x_1(0)=-500$ و $x_2(0)=-300.1792$ به ترتیب در ساختار شرایط اولیه

به صورت ذیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

$$\sigma_{(n-1)N_L+1}(t) = 1, \sigma_{(n-1)N_L+1}(t) \dots = (111110100)_{bin} = (500)_{dec}$$

$$\sigma_{fl_n}(t) \dots \sigma_{nN_L}(t) = (0000000000000000)_{bin}$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_1(t=0) = \overbrace{001111110100000000000000}^{x_1(0)} \overbrace{1111110100000000000000}^{x_2(0)}$$

$$\overbrace{111111010000000000000000}^{x_3(0)} \overbrace{111111010000000000000000}^{x_4(0)}$$

$$\overbrace{111111010000000000000000}^{x_5(0)} \overbrace{111111010000000000000000}^{x_6(0)}$$

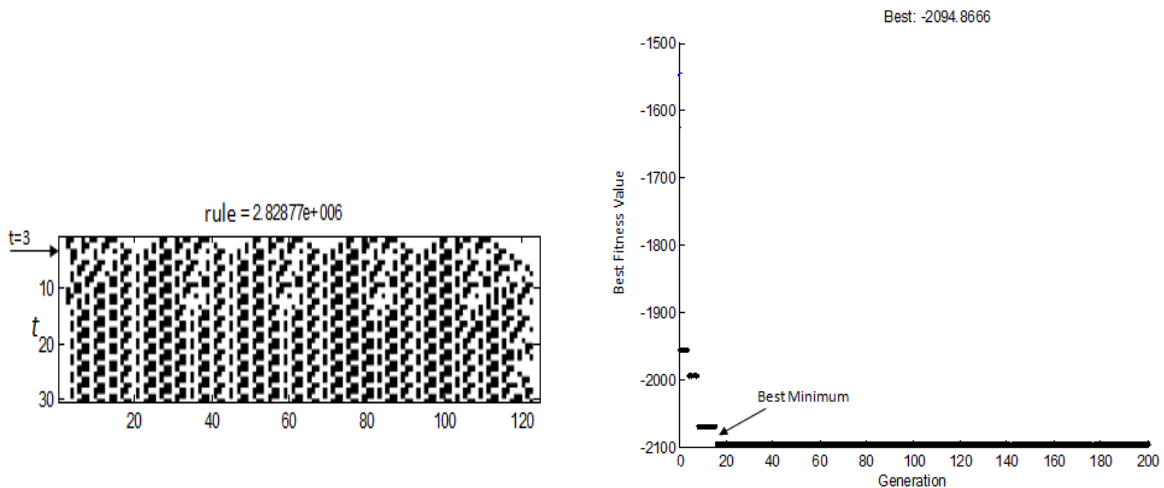
$$\sigma_{(n-1)N_L+1}(t) = 1, \sigma_{(n-1)N_L+1}(t) \dots = (1100101100)_{bin} = (300)_{dec}, \sigma_{fl_n}(t) \dots \sigma_{nN_L}(t) = (1110000000000000)_{bin} = (1792)_{dec}$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_2(t=0) = \overbrace{0011100101100111000000000000}^{x_1(0)} \overbrace{11100101100111000000000000}^{x_2(0)}$$

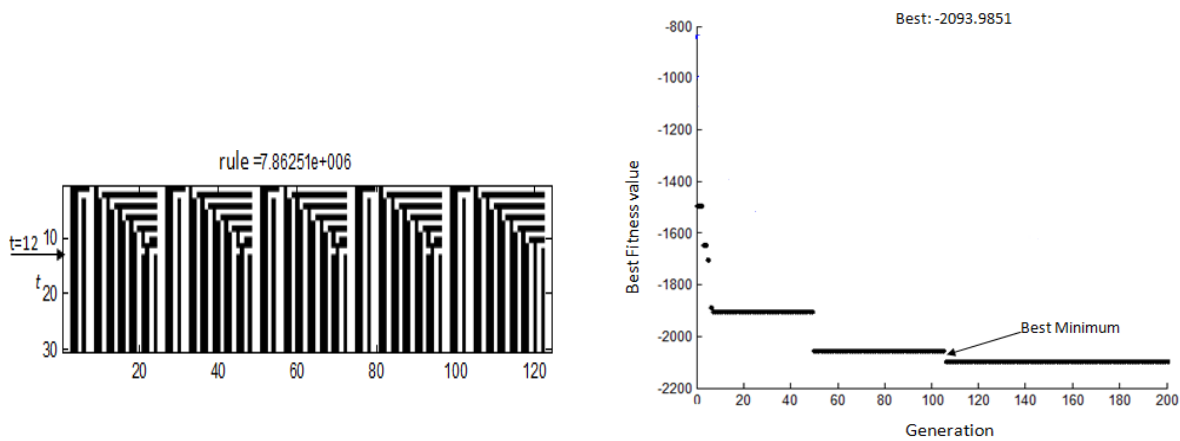
$$\overbrace{11100101100111000000000000}^{x_3(0)} \overbrace{11100101100111000000000000}^{x_4(0)}$$

$$\overbrace{11100101100111000000000000}^{x_5(0)} \overbrace{11100101100111000000000000}^{x_6(0)}$$

همانطور که در شکل (۳) قسمت الف دیده می‌شود، قانون شماره



(الف)



(ب)

شکل (۳): مقایسه نتایج به دست آمده از قرار دادن دو شرط اولیه $\bar{\sigma}_1(t=0)$ و $\bar{\sigma}_2(t=0)$ ماشین خودکار سلولی در پیدا کردن نقطه مینیم گلوبال تابع schwefel پنج متغیره. شکل های سمت چپ، نشان دهنده رشته بیت تولید شده توسط ماشین خودکار سلولی در لحظه t است. در این شکل ها مربع های سفید معرف بیت ۰ و مربعات سیاه معرف بیت ۱ است. الف) شکل سمت راست تغییرات مقادیر برازندگی الگوریتم ژنتیک، شکل سمت چپ ۳۰ رشته تولید شده ماشین خودکار سلولی با شرط اولیه $\bar{\sigma}_1(t=0)$ توسط قانون شماره ۲۸۲۸۷۷۰ پیدا شده توسط الگوریتم ژنتیک. ب) شکل سمت راست تغییرات مقادیر برازندگی الگوریتم ژنتیک، شکل سمت چپ ۳۰ رشته تولید شده ماشین خودکار سلولی با شرط اولیه $\bar{\sigma}_2(t=0)$ توسط قانون شماره ۷۸۶۲۵۱۳ پیدا شده توسط الگوریتم ژنتیک.

شماره ۷۸۶۲۵۱۳ با بهترین مقدار برازندگی $2093e+3$ توسط الگوریتم ژنتیک در ۱۰۵ امین تولید (G=105) و ۱۲ امین تکرار ($t=12$) ماشین خودکار سلولی پیدا شده است. بنابراین

۲۸۲۸۷۷۰ با بهترین برازندگی $2094e+3$ توسط الگوریتم ژنتیک در دهمین تولید (G=17) و سومین تکرار ($t=3$) ماشین خودکار سلولی پیدا شده است. همچنین در شکل (۲) قسمت ب، قانون

مینیم‌های پیدا شده با استفاده از این دو شرط اولیه CA تقریباً برابر با مینیم گلوبال واقعی تابع schwefel پنج متغیره یعنی مقدار $2094e+3$ است. لازم به ذکر است قوانین مشاهده شده در شکل، نمونه ای از قوانینی است که الگوریتم ژنتیک پیدا می‌کند.

۴- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید به منظور افزایش کارایی الگوریتم ژنتیک با استفاده از ماشین خودکار سلولی یک بعدی پیشنهاد گردید و میزان کارایی و ویژگیهای الگوریتم ترکیبی CA-GA پیشنهاد شده با الگوریتم ژنتیک استاندارد sGA در حل مسأله بهینه‌سازی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. آزمایشات نشان داد کارایی الگوریتم ژنتیک استاندارد sGA با افزایش درجه تابع مورد بهینه سازی افزایش می‌یابد؛ در صورتی که وابستگی الگوریتم ترکیبی CA-GA به درجه تابع، بسیار ناچیز است. نتایج به دست آمده نشان داد که به جز تابع schwefel، در تمامی توابع کارایی الگوریتم ترکیبی CA-GA مستقل از شرط اولیه CA می‌باشد و در مورد تابع schwefel نیز کارایی الگوریتم پیشنهادی وابستگی بسیار پایینی به شرط اولیه ماشین خودکار سلولی CA دارد و بهترین جواب، زمانی به دست می‌آید که شرط اولیه در نزدیکی نقطه مینیم واقعی تابع مورد بهینه‌سازی قرار داشته باشد. البته در حالت کلی پیشنهاد می‌شود که شرط اولیه ماشین خودکار سلولی CA در

الگوریتم ترکیبی CA-GA براساس کران پایین مجاز برای متغیرهای تابع مورد بهینه‌سازی تعیین شود. نتایج دیگر آزمایشات نشان داد که سرعت همگرایی الگوریتم ترکیبی CA-GA در رسیدن به مینیم گلوبال واقعی تابع به وضوح بسیار بیشتر از الگوریتم ژنتیک استاندارد sGA است. همچنین دیگر نتایج نشان داد که انحراف معیار جوابهای به دست آمده از الگوریتم ترکیبی CA-GA در ۱۰۰ بار اجرای این الگوریتم در اغلب موارد صفر و یا در حالت کلی بسیار کمتر از الگوریتم ژنتیک استاندارد می‌باشد که این نشان‌دهنده تکرارپذیری بهتر جوابهای الگوریتم ترکیبی CA-GA نسبت به الگوریتم استاندارد sGA است. دیگر نتایج نشان داد که نقش الگوریتم ژنتیک GA در الگوریتم ترکیبی CA-GA، پیدا کردن بهترین قوانین برای ماشین خودکار سلولی CA است که بتوانند پاسخ مینیم گلوبال تابع مورد بهینه‌سازی را تولید کنند. بنابراین می‌توان جدولی از بهترین قوانین مربوط به CA را برای هر تابع مورد بهینه سازی تولید نمود.

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که الگوریتم ترکیبی CA-GA در بسیاری از موارد می‌تواند کارایی بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک استاندارد در مسائل بهینه سازی داشته باشد. به نظر می‌رسد که دلیل این امر آن است که این الگوریتم با بهره‌گیری از تنوع زیاد قوانین محلی موجود میان سلولهای CA که توسط الگوریتم GA انتخاب می‌شوند، می‌تواند

جستجوی متنوع و قانونمندی را جهت دستیابی به پاسخ بهینه انجام دهد؛ در حالی که جستجوی الگوریتم استاندارد sGA در فضای حل مسئله، مستقیماً بر اساس روشهای محدود و مبتنی بر تصادف انجام می‌شود.

پیشنهاد می‌شود از الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در این مقاله در مدلسازی برخی از مکانیزم‌های طبیعی همچون فرآیند یادگیری در مغز انسان استفاده شود. همچنین از ویژگیهای خودسازماندهی و خودتولید کننده‌ای مبتنی بر قوانین محلی ماشین خودکار سلولی CA به منظور بهینه سازی برخی دیگر از الگوریتم‌های بهینه‌سازی نظیر PSO نیز استفاده شود.

ضمائم

توابع مورد بهینه سازی استفاده شده در

مقاله:

(۱۲)

$$f_1(x) = -a \cdot \exp\left(-b \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(cx_i)\right) + a + 1$$

که در این رابطه $a = 20, b = 0.2, c = 2\pi$ در نظر گرفته شده است. مینیم این تابع صفر و در $x_i = 0$ که $i=1, \dots, n$ قرار دارد.

(۱۳)

که مینیم این تابع صفر و در $x_i = 1$ که $i=1, \dots, n$ قرار دارد.

$$f_3(x) = 10n + \sum_{i=1}^n \left[x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) \right] \quad (14)$$

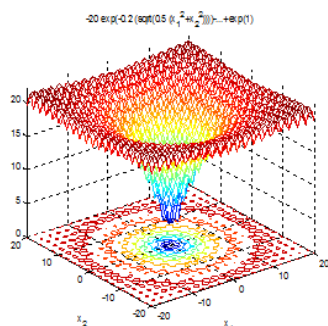
که مینیم این تابع صفر و در $x_i = 0$ که $i=1, \dots, n$ قرار دارد.

$$f_4(x) = \sum_{i=1}^n \left[-x_i \sin\left(\sqrt{|x_i|}\right) \right] \quad (15)$$

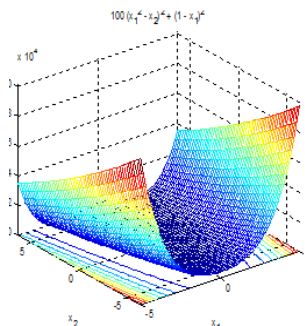
که مینیم این تابع صفر و در $x_i = 420.9687$ که $i=1, \dots, n$ قرار دارد.

$$f_5(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1 \quad (16)$$

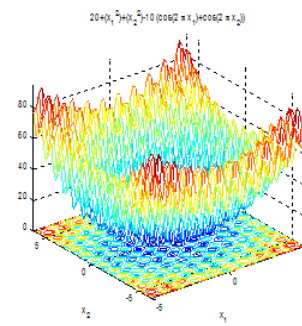
که مینیم این تابع صفر و در $x_i = 0$ که $i=1, \dots, n$ قرار دارد. لازم به ذکر است نمودارهای سه بعدی هر یک از توابع شکل (۳) قابل مشاهده است.



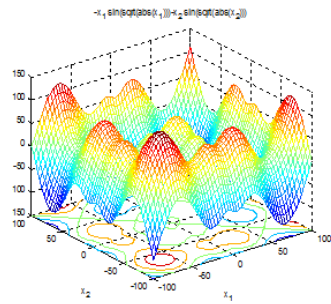
Ackley



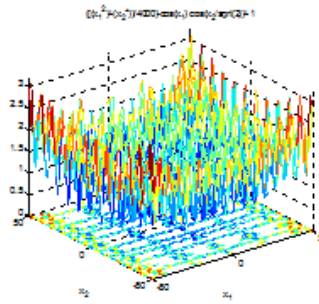
Rosenbrock



Rastrigin



Schwefel



Griewangk

شکل (۳): نمایش سه بعدی توابع استاندارد مورد بهینه‌سازی با دو متغیر X_1 و X_2 .

۵- مراجع

1. Katsaras, Vlasios K. Koumoussis and Christos P. "A Saw-Tooth Genetic Algorithm Combining the Effects of Variable Population Size and Reinitialization to Enhance Performance". 1, s.l. : IEEE, FEBRUARY 2006, IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, Vol. 10. doi:10.1109/TEVC.2005.860765.
2. Liu, Juan Cai, Zixing Liu, Jianqin. Hefei, "Premature Convergence in Genetic Algorithm :Analysis and Prevention Based on Chaos Operator." P.R. China : Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation, 2000 , June 28-July 2. pp. 495-499. doi:10.1109/WCICA.2000.860016.
3. Ondrej Hrstkaa, Anna Kuceroab,. "Improvements of real coded genetic algorithms based on differential operators preventing premature convergence." s.l. : Advances in Engineering Software, 2004, Vol. 35, pp. 237-246. doi:10.1016/S0965-9978(03)00113-3.
4. J. Andrea, P. Siarryb,T. Dognona. "An improvement of the standard genetic algorithm fighting premature convergence in continuous optimization." s.l. : Advances in Engineering Software, 2001, Vol. 32, pp. 49-60. doi:10.1016/S0965-9978(00)00070-3.
5. Abu Bakar Md Sultan, Ramlan Mahmud, Muhammad Nasir Sulaiman. "Reducing Premature Convergence Problem through Numbers Structuring in Genetic Algorithm." 4, s.l. : IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, April 2007, Vol. 7. doi:10.1.1.130.5783.
6. Riccardo Caponetto, Member, IEEE, Luigi Fortuna, Stefano Fazzino, and Maria Gabriella Xibilia. "Chaotic Sequences to Improve the Performance of Evolutionary Algorithms." 3, s.l. : IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, JUNE 2003, Vol. 7, pp. 289-304. doi: 10.1109/TEVC.2003.810069.
7. Wu, J. Cao Q. H. "A CELLULAR AUTOMATA BASED GENETIC ALGORITHM AND ITS APPLICATION IN MECHANICAL DESIGN OPTIMISATION." s.l. : UKACC International Conference on CONTROL, 1998, September. pp. 1-4. doi: 10.1049/cp:19980467.
8. Yufa Xu "A Hybrid Optimization Method Based on Cellular Automata and Its application in Soft-Sensing Modeling." 1, 2, Guochu Chen1, and Jinshou Yu2. Haikou, Hainan, China : ICNC '07 Proceedings of the Third International Conference on Natural Computation, 2007 , August. doi:10.1109/ICNC.2007.53.
9. Ilachinski, Andrew, "Cellular Automata, A discrete universe." s.l.: World Scientific Publishing, 2001. p. 71. ISBN 981-02-4623-4.

10. Neumann, John von. **"The general and logical theory of automata."** Los Alamos : John Wiley & Sons, New York, 1951. pp. 1-31.
11. wolfram, Stephen. **"Statistical mechanics of cellular automata."** 2, July 1983, Reviews of Modern Physics, Vol. 55. doi:10.1103/RevModPhys.55.601.
12. Kessler, D.A., H.Lavine and W.N.Reynolds. **"Coupled-map lattice model for crystal growth."** 1990, Phys. Rev, Vol. 42. doi:10.1103/PhysRevA.42.6125.
13. M. Chahoud¹, D. Fehly, H. -H. Wehmann, and A. Schlachetzki. **"Cellular-automata -based simulation of anisotropic crystal growth."** 4, December 2000, Journal of Crystal Growth, Vol. 220, pp. 471-479 . doi:10.1016/S0022-0248(00)00902-7.
14. Ch. Mizasa, G.Ch. Sirakoulisa, V. Mardirisa, I. Karafyllidisa, N. Glykosb and R. Sandaltzopoulos. **"Reconstruction of DNA sequences using genetic algorithms and cellular automata: Towards mutation prediction?"** 1, April 2008, Biosystems, Vol. 92, pp. 61-68 . doi: 10.1016/j.biosystems.2007.12.002.
15. G. Ch. Sirakoulisa, I. Karafyllidis , b, Ch. Mizasa, V. Mardirisa, A. Thanailakisb and Ph. Tsalidesb. **"A cellular automaton model for the study of DNA sequence evolution."** 5, September 2003, Computers in Biology and Medicine , Vol. 33, pp. 439-453. doi:10.1016/S0010-4825(03)00017-9 I.
16. Langton, Christopher. **"Studying Artificial Life With Cellular Automata."** 1-3, s.l. : 22, October-November 1986, Physica D: Nonlinear Phenomena, pp. 120-149. doi:10.1016/0167-2789(86)90237-X.
17. L. Hernández Encinasa, S. Hoya Whiteb, A. Martín del Rey, and G. Rodríguez ánchezd. **"Modelling forest fire spread using hexagonal cellular Automata."** 6, June 23, 2007, Applied Mathematical Modelling, Vol. 31, pp. 1213-1227. doi:10.1016/j.apm.2006.04.001.
18. Ying Zhenga, Bin Jia, a, Xin-Gang Lia and Nuo Zhua. **"Evacuation dynamics with fire spreading based on cellular automaton."** 18-19, September 15, 2011, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications , Vol. 390, pp. 3147-3156 . doi:10.1016/j.physa.2011.04.011.
19. Acedoa, L. **"A cellular automaton model for collective neural dynamics."** 5-6, September 2009, Mathematical and Computer Modelling, Vol. 50, pp. 717-725. doi:10.1016/j.mcm.2008.12.018.
20. Lev Naumova, Alfons Hoekstra, and Peter Sloot. **"Cellular automata models of tumour natural shrinkage."** 12, June 15 , 2011, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 390, pp. 2283-2290 . doi:10.1016/j.physa.2011.02.006.
21. P. Gerlee, a, and A.R.A. Andersona. **"An evolutionary hybrid cellular automaton model of solid tumour growth."** 4, June 21 , 2007, Journal of Theoretical Biology, Vol. 246, pp. 583-603 . doi:10.1016/j.jtbi.2007.01.027.
22. P. Gerlee, a, and A.R.A. Andersona. **"A hybrid cellular automaton model of clonal evolution in cancer: The emergence of the glycolytic phenotype."** 4, February 21, 2008, Journal of Theoretical Biology , Vol. 250, pp. 705-722 . doi:10.1016/j.jtbi.2007.10.038.
23. Zykov V., Mytilinaios E., Adams B., Lipson H. **"Self-reproducing machines."** 7038, 2005, Nature , Vol. 435, pp. 163-164. doi:10.1038/435163a.
24. JH, Holland. **"Adaptation in natural and artificial systems."** Internal report. Ann Arbor,MI : University of Michigan, 1975.
25. P.M. Mateo, I. Alberto. **"A mutation operator based on a Pareto ranking for multi-objective evolutionary algorithms."** s.l. : J Heuristics, 14 January 2011. DOI 10.1007/s10732-011-9156-4.

جستجوی مبتنی بر برچسب در فلیکر با استفاده از ترکیب اطلاعات فوکسونومی و ویژگی‌های بصری تصویر

سید مرتضی صیادی کاخکی^{۱*}، مهرداد جلالی^۲، سیدمحمدحسین معطر^۳

^۱ و ^۲ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه کامپیوتر و نرم‌افزار، مشهد، ایران

چکیده:

با محبوبیت وب سایت‌های به اشتراک گذاری تصاویر مانند فلیکر، پیکاسا و زومر، تکنولوژی‌های بازیابی مؤثر برای حجم زیاد تصاویر موجود مورد نیاز است. در بازیابی مبتنی بر برچسب، بیشتر از روش‌های موجود با ویژگی‌های برچسب یا ویژگی‌های بصری به منظور تخمین میزان ارتباط برچسب با تصاویر استفاده می‌کنند و اطلاعات کاربران را مد نظر قرار نمی‌دهند. در این مقاله روشی ارائه می‌دهیم که بر اساس اطلاعات استخراج شده از ارتباط سه‌تایی میان کاربران، تصاویر و برچسب‌های موجود در فوکسونومی و ویژگی‌های بصری استخراج شده از تصاویر، شباهت میان تصاویر و برچسب‌ها را به دست آورده، و از شباهت استخراج شده برای بازیابی مبتنی بر برچسب استفاده می‌کنیم. ما برای بدست آوردن شباهت میان تصاویر بر اساس ویژگی‌های بصری از روش محاسبه شباهت کسینوسی ویژگی‌های محلی تصاویر استفاده می‌کنیم. برای ارزیابی کار خود از دیتاست NUS-WIDE استفاده کردیم. به دلیل این‌که این دیتاست اطلاعات کاربران را شامل نمی‌شود، از API ارائه شده فلیکر به منظور دریافت اطلاعات اختصاص برچسب‌ها و کاربران موجود در فوکسونومی استفاده کردیم. ارزیابی انجام شده، بهبود نتایج روش پیشنهادی مبتنی بر ترکیب ویژگی‌های بصری و فوکسونومی در بازیابی مبتنی بر برچسب را نسبت به روش‌هایی که به تنهایی از ویژگی‌های بصری یا از فوکسونومی بهره می‌برند، نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

جستجوی مبتنی بر برچسب، ویژگی‌های بصری، فوکسونومی.

* عهده دار مکاتبات

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه کامپیوتر و نرم‌افزار، مشهد، ایران

پست الکترونیکی: msyadi@mshdiau.ac.ir

برچسب بهره می‌برند. در این مقاله سیستمی را پیشنهاد می‌دهیم که با یک معماری سه لایه و با استفاده همزمان از اطلاعات ارتباط سه تایی میان کاربران، تصاویر و برچسب‌ها و همچنین ویژگی‌های بصری استخراج شده از تصاویر، شباهت برچسب - تصویر استخراج شده و به منظور بازیابی مبتنی بر برچسب استفاده می‌شود. ادامه مطالب مقاله بدین صورت سازماندهی شده است در بخش دوم کارهای مرتبط معرفی می‌شود. در بخش سوم روش پیشنهادی به تفصیل شرح داده می‌شود. بخش چهارم اختصاص به پیاده‌سازی و نتایج حاصل از روش ارائه شده دارد و در بخش پنجم نیز نتیجه گیری مقاله و کارهای آینده ارائه می‌گردد.

۲- کارهای مرتبط

در این بخش ما به صورت مختصر کارهای مرتبط با جستجوی تصاویر مبتنی بر برچسب را ارائه می‌دهیم. روش بازیابی مبتنی بر برچسب تصاویری را که با کلمات کلیدی کاربر منطبق است بر اساس حاشیه نویسی‌های اعمال شده به تصاویر برمی‌گرداند. این روش روی معانی پرس‌وجو تمرکز می‌کند [۹].

تحقیقات زیادی درباره جستجوی تصاویر مبتنی بر برچسب در سال‌های اخیر انجام شده است. چندین روش برای بهبود برچسب [۱۰-۱۲] یا یادگیری برچسب‌های مرتبط [۱۳ و ۱۴] ارائه شده است. به هر حال بیشتر روش‌های موجود از اطلاعات برچسب و ویژگی‌های بصری به صورت

با توسعه سریع تکنولوژی دوربین‌های دیجیتال و اینترنت، حجم داده‌های تصویری زندگی روزانه ما به میزان زیادی افزایش یافته است [۱]. در نتیجه، کاربران در میان حجم عظیم تصاویر موجود قرار گرفتند و با مشکل یافتن تصاویر متناسب با نیازشان مواجه شدند [۲]. بنابراین تکنولوژی‌های جستجوی مؤثر برای شبکه‌های چند رسانه‌ای اجتماعی مانند فلیکر و یوتیوب اهمیت زیادی پیدا کرده است [۳]. با توسعه وبسایت‌های اجتماعی، برچسب‌گذاری اجتماعی بسیار محبوب شده است. با محبوبیت سرویس‌های برچسب گذاری اجتماعی که فوکسونومی [۴] شناخته می‌شود، تعدادی از محققین به جستجوی اجتماعی مبتنی بر برچسب روی آورده‌اند تا به صورت کامل از پتانسیل سرویس‌های برچسب‌گذاری بهره ببرند. به هر حال در محیط چندرسانه‌ای تصاویر با اطلاعات مختلفی همراه هستند (مانند محتوای بصری، برچسب‌ها و اطلاعات ارتباطات کاربران) که عمل جستجو را با چالش بیشتر مواجه می‌کند. این‌که چگونه از ترکیب اطلاعات به نحو مطلوب استفاده شود، به عنوان یک چالش مطرح است [۵]. بیشتر روش‌های موجود، از اطلاعات برچسب‌ها و ویژگی‌های بصری استفاده می‌کنند [۶-۸]. همچنین بیشتر روش‌های موجود از ویژگی‌های بصری و برچسب‌ها به صورت جداگانه یا پشت سرهم بهره می‌برند. تعدادی از مقالات نیز از اطلاعات سه تایی استخراج شده در فوکسونومی به منظور بهبود

محتوای بصری در مرحله‌ی دوم جستجوی تصویر کمک گرفته می‌شود. مقاله [۱۶] یک روش رتبه‌دهی مبتنی بر امتیاز را ارائه می‌دهد که در ابتدا از اطلاعات برچسب‌ها برای ایجاد امتیازات اولیه استفاده کرده و سپس از ویژگی‌های بصری تصاویر به منظور بهبود امتیازات بهره می‌برد.



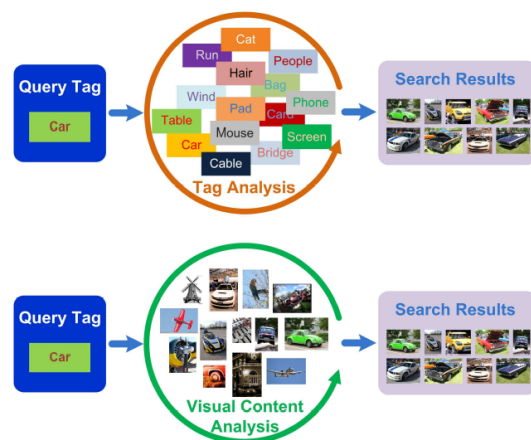
شکل (۲): روش‌های ترتیبی [۳]

در روش‌های مستقل از هم، تنها محتویات بصری یا برچسب‌ها برای جستجوی تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرند و در نتیجه اطلاعات مناسب و مفیدی از دست می‌روند. در روش ترتیبی ارتباط میان محتویات بصری و برچسب‌ها جدا هستند. بنابراین روش‌های مستقل از هم یا ترتیبی از دو منبع مختلف اطلاعات استفاده می‌کنند که در نتیجه نتایج جستجوی تصویر اجتماعی کمتر از حد مطلوب خواهد بود.

شکل (۳) روش‌های ترکیبی در بازیابی مبتنی بر تگ را ارائه می‌دهد. روش‌های ترکیبی از هر دوی ویژگی‌های بصری و برچسب‌ها به صورت همزمان استفاده می‌کنند. مقاله [۲] یک روش مبتنی بر گراف را ارائه می‌دهد که به صورت همزمان از اطلاعات بصری و برچسب‌ها برای یادگیری میزان

جداگانه یا به صورت پشت سرهم استفاده می‌کنند.

شکل (۱) روش‌های مستقل در بازیابی مبتنی بر تگ را ارائه می‌دهد. در روش‌های مستقل از هم تنها محتویات متن یا محتویات بصری برای تحلیل برچسب استفاده می‌شود. مقاله [۹] یک روش رتبه‌دهی مبتنی بر ارتباط را برای جستجوی اجتماعی تصاویر ارائه می‌دهد که تنها ویژگی‌های بصری به منظور محاسبه میزان ارتباط استفاده می‌شود. مقاله [۱۵] یک روش پیشنهاد برچسب در هنگام بارگذاری تصویر توسط کاربر را ارائه می‌دهد که برای محاسبه شباهت برچسب-تصویر از ویژگی‌های بصری کمک گرفته است.



شکل (۱): روش‌های مستقل از هم [۳]

شکل (۲) روش‌های ترتیبی در بازیابی مبتنی بر تگ را ارائه می‌دهد. در روش‌های ترتیبی محتوای بصری و برچسب‌ها به صورت ترتیبی برای جستجوی تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بیشتر روش‌های موجود در ابتدا تحلیل مبتنی بر برچسب را انجام داده و سپس از

ارتباط تصویر استفاده می‌کنند و سپس از این ترکیب برای جستجوی اجتماعی مبتنی بر برچسب کمک می‌گیرد. اما این مقاله اطلاعات اجتماعی کاربران را استفاده نمی‌کند.

مقاله [۱۷] از یک معماری سه لایه برای بازیابی و برچسب گذاری ویدئوها استفاده کرده است. در بازیابی و برچسب گذاری، تنها اطلاعات بصری و برچسب‌ها مدنظر قرار گرفته است و اطلاعات کاربران مورد استفاده قرار نگرفته است.



شکل (۳): روش ترکیبی [۳]

علاوه بر استفاده از اطلاعات برچسب‌ها و ویژگی‌های بصری، تعدادی از مطالعات بر روی ارتباط سه تایی استخراج شده از فوکسونومی برای جستجوی مبتنی بر برچسب تکیه می‌کنند. مقاله [۲] جستجوی مبتنی بر فوکسونومی به صورت شخصی‌سازی شده برای هر کاربر را در سرویس‌های چندرسانه‌ای اجتماعی ارائه می‌دهد. در این مقاله از اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی و ارتباطات برچسب‌ها، کاربران و آیتم‌ها برای جستجوی مبتنی بر برچسب به صورت شخصی‌سازی شده (نتایج بازیابی مختلف برای کاربران متفاوت) استفاده می‌شود. این مقاله برای ارزیابی کار خود از داده‌های CiteULike

استفاده کرده است. مقاله [۱۰] از ارتباط سه‌تایی میان کاربران، تصاویر و برچسب‌ها که از فوکسونومی استخراج می‌شود، به منظور بهبود برچسب بهره می‌برد. مقاله [۱۱] از ویژگی‌های بصری و رخدادهای برچسب استخراج شده از فوکسونومی به صورت ترکیبی برای بهبود برچسب تصاویر استفاده می‌کند.

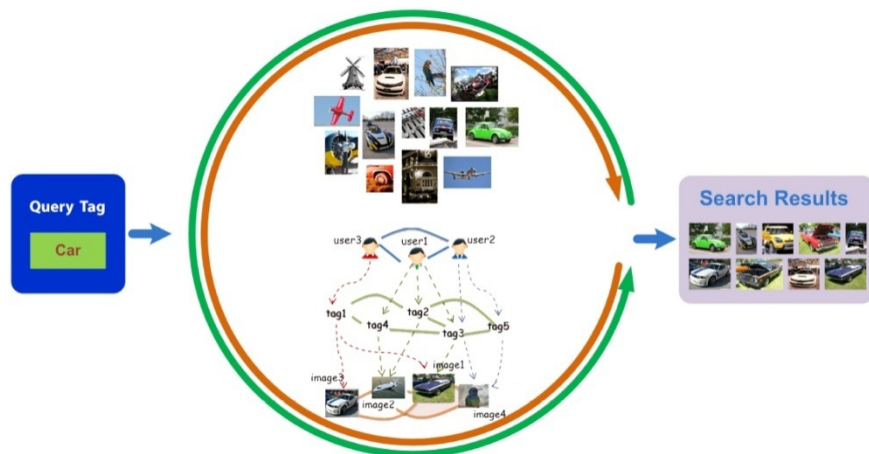
در این مقاله به کمک آنچه در مقاله [۲] برای جستجوی مبتنی بر برچسب بر اساس اطلاعات فوکسونومی در سرویس‌های اجتماعی ارائه شده است و همچنین با کمک ویژگی‌های بصری استخراج شده از تصاویر، روشی پیشنهاد شده است که برای جستجوی مبتنی بر برچسب در فلیکر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بازیابی مبتنی بر برچسب بیشتر روش‌های موجود در این بازیابی از ویژگی‌های برچسب و ویژگی‌های بصری به صورت جداگانه یا پشت سرهم به منظور تخمین میزان ارتباط برچسب با تصاویر استفاده می‌کنند که استفاده از اطلاعات فوکسونومی به همراه ویژگی‌های بصری می‌تواند به بهبود نتایج جستجو کمک نماید.

۳- سیستم پیشنهادی

شکل (۴) روش‌های پیشنهادی در بازیابی مبتنی بر تگ را ارائه می‌دهد. در این مقاله به کمک معماری ارائه شده در مقاله [۱۷] و همچنین با کمک مدل پیشنهادی مقاله [۲] برای جستجوی مبتنی بر برچسب و بر اساس اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی یک معماری برای جستجوی

تصاویر به صورت همزمان برای بازیابی مبتنی بر برچسب استفاده می‌کنیم.

تصاویر اجتماعی ارائه می‌دهیم که از هر سه اطلاعات کاربران، آیتم‌ها و برچسب‌های موجود در فوکسونومی به همراه ویژگی‌های بصری



شکل (۴): ساختار سیستم پیشنهادی

لایه بالایی (GUI) که شامل ابزار اساسی برای

بازیابی مبتنی بر برچسب می‌باشد.

لایه پایینی (Data) که شامل سه پایگاه داده

است:

Image DB: شامل داده‌های خام تصاویر

می‌باشد.

Content DB: ویژگی‌های بصری از تصاویر را

نگهداری می‌کند.

Social DB: که اطلاعات اجتماعی کاربران،

تصاویر و برچسب‌ها را نگهداری می‌کند.

در نهایت، لایه میانی که شامل ۳ جزء اساسی

است:

استخراج کننده ویژگی‌های بصری به منظور

استخراج اتوماتیک ویژگی‌های سطح پایین از

تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استخراج کننده اطلاعات فوکسونومی به منظور

استخراج ارتباطات سه تایی میان کاربران،

تصاویر و برچسب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۱- معماری روش پیشنهادی

به کمک مقاله [۱۷] که برای برچسب گذاری و

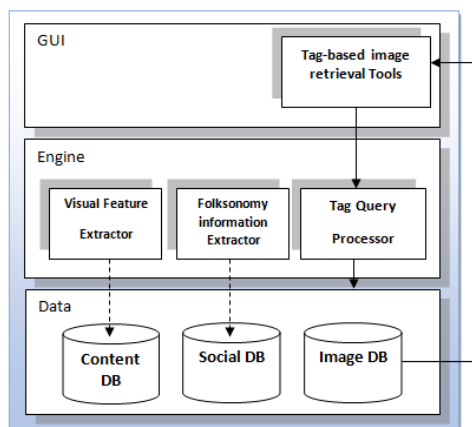
بازیابی ویدئوها مورد استفاده قرار می‌گیرد، یک

معماری سه لایه برای بازیابی تصاویر مبتنی بر

برچسب در شبکه‌های اجتماعی تصاویر ارائه

می‌دهیم. شکل (۵) معماری روش پیشنهادی را

ارائه می‌دهد.



شکل (۵): معماری روش پیشنهادی

معماری ارائه شده شامل لایه های ذیل است:

پردازشگر جستجوی برچسب که بر اساس اطلاعات فوکسونومی و ویژگی‌های بصری استخراج شده از تصاویر عمل جستجوی تصاویر را ارائه می‌دهد.

۲-۳- مفاهیم اولیه

قبل از وارد شدن به جزئیات، مفاهیم مقدماتی را که در بخش بعدی بهره برداری می‌شود، فرموله می‌کنیم. در جدول (۱) به صورت خلاصه نمادهایی که در مقاله استفاده شده است را ارائه می‌دهیم.

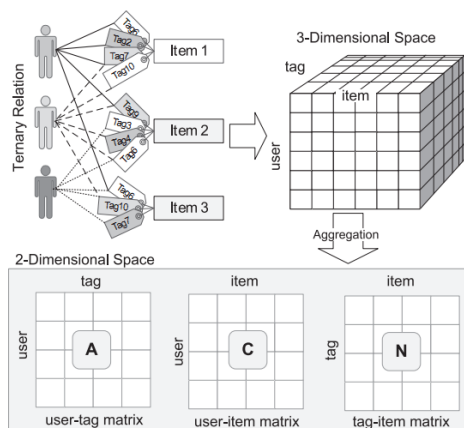
جدول (۱): نمادهای مورد استفاده در مقاله

نماد	معنی
U	مجموعه کاربران
T	مجموعه برچسب‌ها
I	مجموعه تصاویر
A	ماتریس برچسب-کاربر
N	ماتریس تصویر-برچسب
$H(H^k)$	ماتریس شباهت تصویر-تصویر بر اساس اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی
$\omega(\omega^k)$	ماتریس شباهت تصویر-تصویر بر اساس ویژگی‌های بصری تصویر
$\mu(\mu^k)$	ماتریس شباهت تصویر-تصویر بر اساس ویژگی‌های بصری و اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی
mW_H	ماتریس وزن (شباهت واقعی) برچسب-تصویر بر اساس اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی
mW_ω	ماتریس وزن (شباهت واقعی) برچسب-تصویر بر اساس ویژگی‌های بصری تصویر
W_μ	ماتریس وزن (شباهت واقعی) برچسب-تصویر بر اساس ویژگی‌های بصری و اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی

۳-۳- ساختار فوکسونومی بصری

بر اساس مقاله [۱۸ و ۱۹] یک فوکسونومی بصری به صورت یک تاپل $F=(U,T,I,A)$ تعریف می‌شود که U؛ مجموعه کاربران، T؛ مجموعه برچسب‌ها و I؛ مجموعه تصاویر (آیتم‌ها) و A؛ مجموعه‌ای از اختصاص برچسب‌ها (یعنی مجموعه‌ای از ارتباط سه‌تایی میان کاربران، برچسب‌ها و تصاویر) می‌باشد. بعلاوه عناصر A می‌تواند به صورت یک سه تایی $a=(u,t,i)$ نمایش می‌یابد که t یک برچسب است که به وسیله کاربر u به تصویر i اختصاص یافته است. واضح است که $A \subseteq U \times T \times I$.

بنابراین یک فوکسونومی می‌تواند به عنوان یک فضای سه بعدی از کاربران، برچسب‌ها و آیتم‌ها نمایش یابد که در سه ماتریس دو بعدی در شکل (۶) نشان داده شده‌اند.



شکل (۶): ساختار یک فوکسونومی [۲]

بر اساس شکل (۶) می‌توانیم با استفاده از اطلاعات تصاویر، برچسب‌ها و کاربران به سه ماتریس مختلف برسیم:

تصویر به طور مکرر شامل یک مجموعه از برچسب‌ها باشند، آن دو تصویر ممکن است موضوعات مشابهی را به اشتراک بگذارند که اساساً از برچسب‌ها نشأت می‌گیرد. به علاوه اطلاعات آماری که در ماتریس کاربر-تصویر وجود دارد، اطلاعات کمتری در محاسبه شباهت میان تصاویر نسبت به اطلاعات آماری که در ماتریس برچسب-تصویر وجود دارد ارائه می‌دهد [۲]. در نتیجه برای محاسبه شباهت میان تصاویر با هم از ماتریس برچسب-تصویر کمک می‌گیریم.

• روش محاسبه شباهت تصویر-تصویر

روش‌های اندازه‌گیری شباهت متفاوتی وجود دارد که هرکدام منجر به مقادیر شباهت متفاوت میان جفت‌های تصاویر می‌شود. تعداد زیادی از مقالات از شباهت کسینوسی برای محاسبه شباهت در فوکسونومی و برچسب‌گذاری اجتماعی استفاده کرده‌اند [۲۶-۲۲]. ما نیز از این روش برای محاسبه شباهت کمک می‌گیریم.

• محاسبه شباهت تصویر-تصویر

ماتریس برچسب-تصویر را می‌توانیم به یک بردار ستونی تبدیل کنیم:

$$N = |i_1, i_2, \dots, i_{|I|}| \quad (1)$$

$$i_b = |n_{1,b}, n_{2,b}, \dots, n_{|T|,b}|^T \text{ که}$$

$$b = 1, 2, \dots, |I| \text{ برای}$$

• ماتریس برچسب-تصویر $N = [n_{t,i}]_{|T| \times |I|}$ که $n_{t,i}$ بیانگر تعداد کاربرانی است که برچسب t را برای تصویر i اختصاص داده‌اند.

• ماتریس کاربر-برچسب $A = [a_{u,t}]_{|U| \times |T|}$ که $a_{u,t}$ بیانگر تعداد تصاویری است که کاربر u با برچسب t برچسب‌گذاری کرده است.

• ماتریس کاربر-تصویر $C = [c_{u,i}]_{|U| \times |I|}$ که $c_{u,i}$ بیانگر تعداد برچسب‌هایی است که کاربر u به تصویر i اختصاص داده است را نشان می‌دهد.

۴-۳- استخراج شباهت بین تصاویر

به منظور محاسبه شباهت تصاویر با هم از سه روش ویژگی‌های بصری، فوکسونومی و ترکیب ویژگی‌های بصری و فوکسونومی کمک می‌گیریم.

۴-۳-۱- محاسبه شباهت تصویر-تصویر

کمک اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی در اینجا بر اساس اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی شباهت تصویر-تصویر را محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه این شباهت می‌توانیم از ماتریس‌های مختلفی کمک بگیریم.

• ماتریس مورد استفاده در محاسبه شباهت

بین تصاویر

بر اساس [۲۰ و ۲۱]، برچسب‌هایی که یک تصویر را برچسب‌گذاری می‌کنند می‌توانند مفهوم و موضوعات اصلی آن تصویر را مشخص می‌کنند. برای محاسبه شباهت میان تصاویر اگر دو

بنابراین می‌توانیم میزان شباهت را به کمک شباهت کسینوسی اندازه گیری کنیم.

$$h_{x,y} = \cos(i_x, i_y) = \frac{i_x \cdot i_y}{\|i_x\| \cdot \|i_y\|} \quad (2)$$

در نهایت برای $\|I\|$ تصویر، شباهت میان تصاویر می‌تواند با یک ماتریس شباهت تصویر-تصویر با نام H نشان داده شود.

$$H = |h_{x,y}|_{|I| \times |I|} \quad (3)$$

۳-۴-۲- محاسبه شباهت تصویر-تصویر به

کمک ویژگی‌های بصری

برای به دست آوردن تصاویر نزدیک به تصویر بارگذاری شده بر اساس مقاله [۲۷ و ۲۸] می‌توانیم از دو مجموعه ویژگی‌های سراسری و ویژگی‌های محلی استفاده کنیم. در این مقاله از ویژگی‌های محلی استفاده می‌کنیم و برای این کار از بردار ۵۰۰ تایی Visual word و شباهت کسینوسی استفاده می‌کنیم:

$$\omega = \cos(i_x, i_y) = \frac{i_x \cdot i_y}{\|i_x\| \cdot \|i_y\|} \quad (4)$$

۳-۴-۳- محاسبه شباهت تصویر-تصویر بر

اساس ویژگی‌های بصری و اطلاعات اجتماعی

بر اساس دو ماتریس ایجاد شده ω و H و رابطه (۶) میزان شباهت تصاویر با هم را بر اساس هر دو ویژگی بصری و اطلاعات اجتماعی محاسبه می‌کنیم:

$$\mu = \alpha H + (1 - \alpha)\omega \quad (5)$$

که α ؛ میزان تاثیر ویژگی‌های بصری و فوکسونومی می‌باشد. ما $\alpha = 0.5$ در نظر گرفتیم تا تأثیر یکسانی برای ویژگی‌های بصری و فوکسونومی داشته باشیم. همچنین به منظور یکسان سازی بعد، ماتریس‌های H و ω را به کمک رابطه نرمال‌سازی min-max به صورت زیر به بازه $[0,1]$ انتقال می‌دهیم:

$$z_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

که x_i درایه‌ای از ماتریس‌های H یا ω ، x_{\min} و x_{\max} مینیمم و ماکزیمم مقادیر می‌باشند و Z_i عدد نرمال بدست آمده در بازه $[0,1]$ می‌باشد.

۳-۴-۴- حذف تصاویر غیر مرتبط

به منظور حذف تصاویر غیرمرتبط با یک تصویر و همچنین کاهش بار محاسباتی [۲]، برای هر تصویر تنها k مقدار شباهت نزدیکترین تصاویر به آن تصویر را در نظر گرفته و به ازای مقدار شباهت سایر تصاویر، صفر در نظر می‌گیریم و به ماتریس‌های H^k ، ω^k ، μ^k می‌رسیم.

۳-۵- محاسبه وزن تصاویر و برچسب‌ها

به منظور محاسبه وزن برچسب-تصویر که همان شباهت واقعی میان تصاویر و برچسب‌ها می‌باشد، از ویژگی‌های فوکسونومی بر اساس مقاله [۲] و ویژگی‌های بصری تصویر بر اساس مقاله [۱۵] بهره برده و یک روش ترکیبی بر اساس ترکیب اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی و ویژگی‌های بصری ارائه می‌دهیم.

۳-۵-۱- نرمالسازی ماتریس برچسب-

تصویر

برای نرمالسازی ماتریس برچسب-تصویر N ، هر سطر از تصاویر به صورت $b = \|i_b\| = 1$ ، به صورت رابطه‌ای ما می‌توانیم ماتریس نرمال برچسب-تصویر \tilde{N} را به صورت $\tilde{N} = [\tilde{n}_{t,i}]_{|T| \times |I|}$ تعریف نماییم؛ به گونه‌ای که $\tilde{n}_{t,i}$ به صورت رابطه (۷) بدست می‌آید:

$$\tilde{n}_{t,i} = \frac{n_{t,i}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{|T|} (n_{j,i})^2}} \quad (7)$$

۳-۵-۲- محاسبه وزن تصویر- برچسب بر

اساس اطلاعات فوکسونومی

بر اساس مقاله [۲] به کمک اطلاعات فوکسونومی، نشان می‌دهیم که چگونه یک برچسب خاص به تصاویر مشابه به تصویر داده شده اختصاص می‌یابد. برای این کار ما یک ماتریس برچسب-تصویر جدید را که از ضرب دو ماتریس بدست می‌آید می‌سازیم:

$$W_H = \tilde{N} \times H^k \quad (8)$$

که \tilde{N} : نرمال شده ماتریس N ، و H^k : ماتریس شباهت تصویر- تصویر می‌باشد که k شبیه‌ترین تصاویر را در هر ستون نگهداری می‌کند.

۳-۵-۳- محاسبه وزن برچسب-تصویر بر

اساس ویژگی‌های بصری

به منظور ارزیابی و مقایسه کار خود، روشی که در مقاله [۱۵] اشاره شده است را به عنوان گام بعدی محاسبه می‌کنیم. در این مقاله برای محاسبه

وزن تصویر- برچسب از حاصل ضرب ویژگی‌های بصری در ماتریس برچسب-تصویر استفاده شده است. برای این کار از رابطه (۹) استفاده می‌کنیم:

$$W_\omega = \tilde{N} \times \omega^k \quad (9)$$

۳-۵-۴- محاسبه وزن برچسب- تصویر بر

اساس ویژگی‌های بصری و اطلاعات اجتماعی

در گام بعدی برای محاسبه وزن برچسب- تصویر از ماتریس ترکیب اطلاعات فوکسونومی و ویژگی‌های بصری برای شباهت تصاویر و برچسب‌ها کمک می‌گیریم. برای این کار از رابطه (۱۰) استفاده می‌کنیم:

$$W_H = \tilde{N} \times \mu^k \quad (10)$$

۳-۶- جستجوی مبتنی بر برچسب

به منظور بازیابی مبتنی بر برچسب کاربر، یک یا مجموعه‌ای از برچسب‌ها را در ورودی وارد کرده و در خروجی مجموعه‌ای از آیتم‌ها (تصاویر) به کاربر برگردانده می‌شود. برای بازیابی تصاویر مرتبط می‌توانیم از ماتریس‌های وزن W_μ, W_ω, W_H استفاده نماییم.

۴- ارزیابی نتایج

در این بخش به ارزیابی نتایج بازیابی مبتنی بر برچسب می‌پردازیم.

۴-۱- دیناست مورد استفاده

برای ارزیابی روش خود از یک دیتاست تصویر واقعی به نام NUS-WIDE [۲۹] استفاده

می‌کنیم. این دیتاست شامل ۲۶۹۶۴۸ تصویر و ۵۰۱۸ برچسب وابسته می‌باشد. همه این تصاویر از وب سایت به اشتراک گذاری تصاویر فلیکر با استفاده از API^۱ ارائه شده آن دریافت شده است.

به دلیل این که NUS-WIDE اطلاعات کاربران را شامل نمی‌شود [۵] و تنها شامل اطلاعات برچسب‌ها و ویژگی‌های بصری است، ما مجبور هستیم به‌گونه‌ای به این اطلاعات دسترسی پیدا کنیم. بدین منظور با استفاده از API موجود در فلیکر، اطلاعات کاربران را به دست می‌آوریم. در واقع برای این که بتوانیم کار خود را ارزیابی نماییم، هم به ویژگی‌های سطح پایین و هم به اطلاعات اختصاص برچسب موجود در فوکسونومی فلیکر نیاز داریم که برای بدست آوردن اطلاعات اختصاص برچسب از API موجود در فلیکر کمک می‌گیریم. در نهایت به ۲۸۲۴۶۷۳ اختصاص برچسب دست یافتیم که شامل ۴۳۲۷۵ کاربر، ۲۶۹۶۴۸ تصویر و ۲۹۸۳۷۰ برچسب می‌باشد. دیتاست اختصاص برچسب به دست آمده برای ارزیابی بسیار پراکنده بود. بنابراین بر اساس مقاله [۲] ما دیتاست را برای انجام ارزیابی به گونه‌ای که معنادار باشد، کاهش می‌دهیم. ما از: ۱- کاربرانی که حداقل ۵ تصویر را برچسب‌گذاری کرده‌اند. ۲- تصاویری که حداقل با ۵ برچسب برچسب گذاری شده‌اند و توسط ۵ کاربر برچسب خورده باشند. ۳- برچسب‌هایی که حداقل توسط ۵ کاربر استفاده شده باشند و

حداقل برای برچسب‌گذاری ۵ تصویر مورد استفاده قرار گرفته باشند، در نهایت به ۹۸۶۵۱ اختصاص برچسب رسیدیم که شامل ۳۰۸۵ کاربر، ۳۹۶۰ تصویر و ۸۸۷۶ برچسب می‌باشد.

۴-۲- پارامترهای ارزیابی

به منظور ارزیابی نتایج جستجوی مبتنی بر برچسب بایستی مفاهیم معنایی نهفته در تصاویر مشخص باشد. بدین منظور دیتاست NUS-WIDE، ۸۱ مفهوم معنایی را انتخاب کرده و به‌عنوان Ground-truth مورد استفاده قرار می‌دهد.

جستجوی مبتنی بر برچسب می‌تواند به دو صورت انجام گیرد: جستجو بر اساس تنها یک برچسب یا جستجو مبتنی بر مجموعه‌ای از برچسب‌ها.

در جستجوی مبتنی بر یک برچسب از هرکدام از ۸۱ مفهوم معنایی موجود به عنوان پرس و جوی ورودی استفاده می‌کنیم و از ground-truth برای ارزیابی کار خود کمک می‌گیریم. می‌توانیم از پارامترهای ارزیابی Precision، Recall و F-measure برای ارزیابی جستجو مبتنی بر یک برچسب استفاده نماییم. در بحث ارزیابی اطلاعات معمولاً از سه پارامتر ارزیابی زیر استفاده می‌کنیم:

$$\text{Precision} = \frac{|\{\text{تصاویر باز یابی شده}\} \cap \{\text{تصاویر مرتبط}\}|}{|\{\text{تصاویر باز یابی شده}\}|} \quad (11)$$

$$\text{Recall} = \frac{|\{\text{تصاویر باز یابی شده}\} \cap \{\text{تصاویر مرتبط}\}|}{|\{\text{تصاویر مرتبط}\}|} \quad (12)$$

¹. www.flickr.com/services/api/

$$NDCG@K = \frac{1}{Z} \sum_{r=1}^k \frac{2^{rel(r)} - 1}{\log_2(r + 1)} \quad (14)$$

که Z ؛ فاکتور نرمال سازی، R : مکان ranking در بین k نتیجه بازیابی شده و $rel(r)$: درجه ارتباط تصویر در رتبه r می باشد که عبارتست از:

$$(15) \quad \frac{\text{تعداد برچسب های مرتبط}}{\text{تعداد برچسب های جستجو شده (query)}}$$

۳-۴- ارزیابی جستجوی مبتنی بر برچسب

در این بخش ما به ارزیابی روش ارائه شده برای بازیابی مبتنی بر برچسب با استفاده از ترکیب اطلاعات فوکسونومی و ویژگی های بصری استخراج شده از تصاویر پرداخته و نتیجه کار خود را با مقاله [۱۵] که تنها از ویژگی های بصری استفاده نموده و همچنین مقاله [۲] که از اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی به منظور بازیابی مبتنی بر برچسب در سرویس های چندرسانه ای اجتماعی ارائه شده است، مقایسه می نماییم.

۳-۴-۱- جستجوی مبتنی بر یک برچسب

با در نظر گرفتن $k=50$ ، یعنی در نظر گرفتن حداکثر ۵۰ نزدیکترین تصویر به برچسب مورد پرس و جوی کاربر و در نظر گرفتن صفر به جای سایر تصاویر، نتایج ارزیابی روش ترکیبی بر اساس پارامتر Precision در شکل (۷)، پارامتر Recall در شکل (۸) و پارامتر F-measure در شکل (۹) ارائه شده است. N ؛ بیانگر تعداد تصاویر بازیابی شده به کاربر می باشد.

یک پارامتر که Precision و Recall را با هم ترکیب کرده و به عنوان میانگین هارمونیک Precision و Recall تعریف می شود F-measure می باشد که به صورت معادله (۱۳) محاسبه می شود:

$$(13) \quad F = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

در جستجوی مبتنی بر چند برچسب به دلیل این که دیتاست شامل ground-truth برای چند برچسب نیست ما پرس و جوهای مبتنی بر چند برچسب را با ترکیب مفاهیم معنایی و برچسب گذاری های ground-truth آنها انجام می دهیم. به منظور این که تضمین کنیم پرس و جوهای مبتنی بر چند برچسب منجر به ground truth کافی در دیتاست شود، ترکیب هایی با کمتر از ۵۰ تصویر را که با پرس و جو منطبق باشد در نظر نمی گیریم.

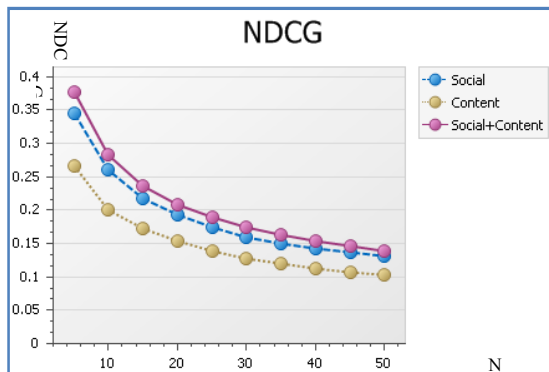
اما برای ارزیابی جستجوی مبتنی بر چند برچسب از پارامتر ارزیابی دیگری به نام NDCG کمک می گیریم.

درجه ارتباط یک تصویر عبارت است از تعداد برچسب های مطابق با آن تصویر. به عنوان مثال اگر از سه برچسب پرس و جو تنها دو برچسب از یک تصویر مرتبط باشد، ارتباط کمتری نسبت به این دارد تا این که از سه برچسب پرس و جو سه برچسب مرتبط باشند. بنابراین برای چند برچسب از پارامتر NDCG کمک می گیریم. NDCG به صورت رابطه (۱۴) تعریف می شود:

فوکسونومی یا ویژگی‌های بصری استفاده می‌کنند ارائه می‌دهد.

۴-۳-۲- جستجوی مبتنی بر چند برچسب

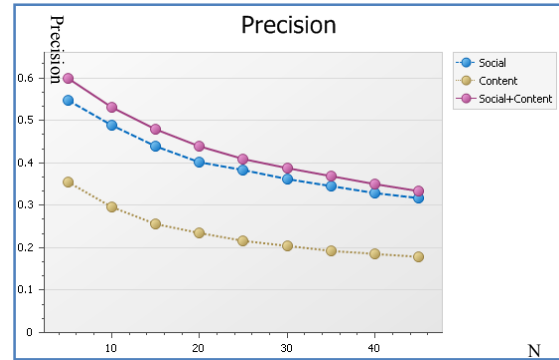
با در نظر گرفتن $K=50$ به ارزیابی نتایج بر اساس پارامتر NDCG می‌پردازیم. شکل (۱۰) نتایج جستجوی مبتنی بر برچسب بر اساس پارامتر NDCG را ارائه می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار NDCG با در نظر گرفتن ترکیب اطلاعات فوکسونومی و ویژگی‌های بصری بهتر از نتایج ارائه شده بر اساس اطلاعات فوکسونومی یا ویژگی‌های بصری به تنهایی می‌باشد.



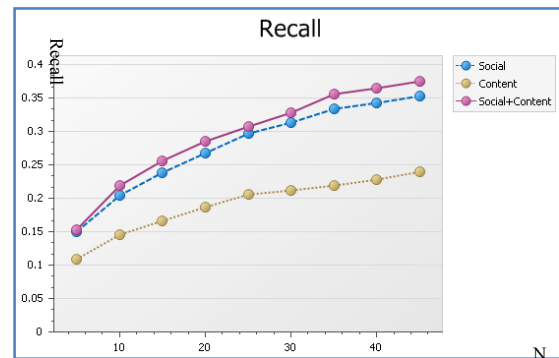
شکل (۱۰): نتایج ارزیابی NDCG برای چند برچسب

۵- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

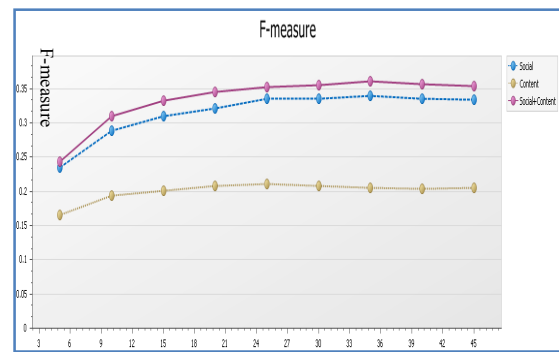
در این مقاله با استفاده از یک معماری سه لایه و با در نظر گرفتن اطلاعات سه تایی کاربران، تصاویر و برچسب‌های اختصاص یافته استخراج شده از فوکسونومی و همچنین ویژگی‌های بصری تصاویر، روشی برای جستجوی مبتنی بر برچسب ارائه داده‌ایم. عمل بازیابی مبتنی بر برچسب، بر اساس حاشیه‌نویسی‌های اختصاص یافته به وسیله کاربران به تصاویر انجام می‌گیرد. این



شکل (۷): نتایج ارزیابی Precision برای یک برچسب



شکل (۸): نتایج ارزیابی Recall برای یک برچسب



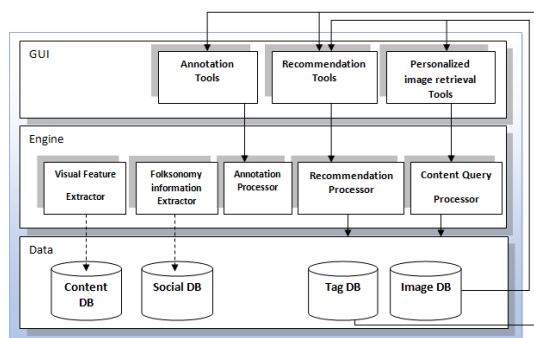
شکل (۹): نتایج ارزیابی F-measure برای یک برچسب

عملاً ما نتایج را به صورت $Precision@N$.

$Recall@N$ و $F\text{-measure}@N$ ارائه کرده‌ایم.

همانطور که مشاهده می‌شود در جستجوی مبتنی بر یک برچسب، استفاده از ترکیب اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی و ویژگی‌های بصری بدست آمده از تصاویر، نتایج بهتری نسبت به روش‌هایی که تنها از اطلاعات

مبتنی بر برچسب استفاده نمود و می‌توان از ماتریس به‌دست آمده برای کاربر- تصویر به منظور شخصی سازی نتایج جستجوی مبتنی بر محتوا کمک گرفت. همچنین با استفاده از اطلاعات فوکسونومی می‌توان به ویژگی‌های بصری تصویر بارگذاری شده توسط کاربر و حاشیه نویسی تصاویر پرداخت. در واقع می‌توان معماری آینده روش پیشنهادی را به صورت شکل (۱۱) عنوان کرد.



شکل (۱۱): معماری آینده روش پیشنهادی

روش با چالش‌هایی همچون برچسب‌های نویزی و عدم تمایل کاربران به برچسب‌گذاری همراه است. برای رفع این چالش‌ها مطالعات متعددی از هر دوی اطلاعات برچسب‌ها و ویژگی‌های بصری به صورت جداگانه یا پشت سرهم استفاده نموده‌اند، ولی مقالات کمی وجود دارند که از یک روش ترکیبی برای استفاده از برچسب‌ها و ویژگی‌های بصری استفاده کرده باشند.

در این مقاله اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی به همراه ویژگی‌های بصری به صورت همزمان به منظور بهبود نتایج جستجوی مبتنی بر برچسب استفاده شده است. ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده همزمان اطلاعات استخراج شده از فوکسونومی به همراه اطلاعات استخراج شده از ویژگی‌های بصری می‌تواند باعث بهبود نتایج بازیابی شده به کاربر شود. این بهبود هم در دقت نتایج و هم در میزان درجه ارتباط تصاویر بازیابی شده به کاربر مشاهده می‌شود.

سیستم ارائه شده از جنبه‌های مختلف در آینده قابل بررسی است. با استفاده از ماتریس کاربر- برچسب و کاربر-تصویر می‌توان برای ارائه پیشنهاد مبتنی بر برچسب و تصویر به کاربر استفاده کرد که در آینده می‌توان به ارزیابی این روش برای ارائه پیشنهاد تصویر و برچسب پرداخت. همچنین می‌توان به شخصی‌سازی نتایج جستجوی مبتنی بر برچسب و محتوا پرداخت. روش ارائه شده در مقاله [۲] با عنوان FBR می‌توان برای شخصی‌سازی نتایج جستجوی

1. R. Datta, D. Joshi, J. Li, and J. Wang, “**Image retrieval: ideas, influences, and trends of the new age,**” ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 40, no. 2, pp. 5,2008.
2. Heung-Nam Kim, Majdi Rawashdeh , Abdullah Alghamdi , Abdulmotaleb El Saddik, “**Folksonomy- based personalized search and ranking in social media services,**” Information Systems vol. 37, no. 1, pp. 61-76, 2012.
3. Yue Gao, Meng Wang, Zheng-Jun Zha, Jialie Shen, XuelongLi, Xindong Wu, “**Visual-Textual Joint Relevance Learning forTag-Based Social Image Search,**” IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, 2011
4. S.A. Golder, B.A. Huberman, “**Usage patterns of collaborative tagging systems,**” Journal of Information Science vol. 32, no. 2, pp. 198–208 , 2006.
5. Xiaoming Zhang, XiaojianZhao, ZhoujunLi, JialiXia, RameshJain, WenhanChao, “**Social image tagging using graph-based reinforcement on multi-type interrelated objects,**” Signal Processing vol. 93 , no. 8 ,pp. 2178-2189, 2013.
6. M. Kato, H. Ohshima, S. Oyama, and K. Tanaka, “**Can social tagging improve web image search?,**” Lecture Notes in Computer Science, vol.5175, pp. 235–249, 2008.
7. L. Chen, D. Xu, W. Tsang, and J. Luo, “**Tag-based web photo retrieval improved by batch mode re-tagging,**” in Proceedings of IEEE InternationalConference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010.
8. K. Yang, M. Wang, X. S. Hua, and H. J. Zhang, “**Social image search with diverse relevance ranking,**” in Proceedings of ACM Conference on Multimedia Modeling, pp. 174–184, 2009.
9. X. Li, C. G. M. Snoek, and M. Worring, “**Learning tag relevance by neighbor voting for social image retrieval,**” in Proceedings of ACM conference on multimedia information retrieval, pp. 180–187, 2008.
10. Jitao Sang, Changsheng Xu, and Jing Liu. “**User-Aware Image Tag Refinement via Ternary Semantic Analysis,**” IEEE TRANSACTIONS ON MULTIMEDIA, VOL. 14, NO. 3, 2012.
11. Sihyoung Lee, Wesley De Neve, Yong Man Ro. “**Tag refinement in an image folksonomy using visual similarity and tag co-occurrence statistics,**” Signal Processing: Image Communication vol.25 , no.10,pp. 761-773 , 2010.
12. G. Zhu, S. Yan, and Y. Ma, “**Image tag refinement towards low rank, content-tag prior and error sparsity,**” in Proceedings of ACM International Conference on Multimedia, pp. pp.461-470, 2010.
13. X. Li, C. G. Snoek, and M. Worring, “**Learning social tag relevance by neighbor voting,**” IEEE Transaction on Multimedia, vol. 11, no. 7, pp.1310–1322, 2009.

14. J. Bu, S. Tan, C. Chen, C. Wang, H. Wu, L. Zhang, and X. He, “**Music recommendation by unified hypergraph: combining social media information and music content**,” in Proceedings of ACM International Conference on Multimedia, pp. 391-400 , 2010.
15. Sare Gul Sevil , Onur Kucuktunc,Pinar Duygulu, Fazli Can. “**Automatic tag expansion using visual similarity for photo sharing websites**,” Multimedia Tools and Applications, vol.49 , no. 1, pp. 81-99,2010.
16. D. Liu, M. Wang, L. Yang, X. S. Hua, and H. Zhang, “**Tag quality improvement for social images**,” in Proceedings of IEEE InternationalConference on Multimedia, pp. 350–353, 2009.
17. Ilaria Bartolini, Marco Patella , Corrado Romani, “**SHIATSU: tagging and retrieving videos without worries**,” Multimedia Tools and Applications, pp. 1-29, 2013.
18. A.Hotho,R.J aschke, C.Schmitz,G.Stumme, “**Information retrieval in folksonomies: search and ranking**,” in:Proceeding sof the Third European Semantic Web Conference ,pp.411–426, 2006.
19. Sihyoung Lee, Wesley De Neve, Konstantinos N. Plataniotis, Yong Man Ro. “**MAP-based image tag recommendation using a visual folksonomy**,” Pattern Recognition Letters, vol. 31, no. 9, pp. 976-982, 2010.
20. K. Bischoff, C.S. Firan, W. Nejdl, R. Paiu, “**Can all tags be used for search?**,” in: Proceeding of the 17th ACM Conference on Information and Knowledge Management, pp. 203–212, 2008.
21. X. Li, L. Guo, Y.E. Zhao, “**Tag-based social interest discovery**,” in: Proceeding of the 17th International Conference on World Wide Web, pp. 675–684, 2008.
22. M. Deshpande, G. Karypis, “**Item-based top-n recommendation algorithms**,” ACM Transactions on Information Systems, vol.22, no. 1, pp. 143–177, 2004.
23. R.J aschke, L.Marinho,A.Hotho,L.Schmidt-Thieme,G.Stumme, “**Tag recommendations in social bookmarking systems** ,” AI Communications, vol.21 ,no. 4, pp.231–247, 2008.
24. H.N.Kim,A.T.Ji,I.Ha,G.S.Jo, “**Collaborative filtering based on collaborative tagging for enhancing the quality of recommendation**,” Electronic Commerce Research and Applications, vol. 9, no. 1, pp.73–83, 2010.
25. S. Xu, S. Bao, B. Fei, Z. Su, Y. Yu, “**Exploring folksonomy for personalized search**,” in: Proceedings of the 31st Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 155–162, 2008.
26. V. Zanardi, L. Capra, “**Social ranking: uncovering relevant content using tag-based recommender systems**,” in: Proceedings of the 2008 ACM Conference on Recommender Systems, pp. 51–58, 2008.
27. Ba Quan Truong, Aixin Sun, Sourav S. Bhowmick, “**Content is Still King: The Effect of Neighbor Voting Schemes on Tag Relevance for Social Image Retrieval**,” Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Multimedia Retrieval. ACM, 2012.

28. Aixin Sun, Sourav S. Bhowmick, Khanh Tran Nam Nguyen. “**Tag-Based Social Image Retrieval: An Empirical Evaluation,**” Journal of the American Society for Information Science and Technology (JASIST), vol.62, no. 12, pp.2364–2381, 2011.
29. Tat-Seng Chua, Jinhui Tang, Richang Hong, Haojie Li, Zhiping Luo, Yantao Zheng. “**NUS-WIDE: A Real-World Web Image Database from National University of Singapore,**” Proceedings of the ACM International Conference on Image and Video Retrieval. ACM, 2009.

The Linear Switching State Space: A New Modeling Paradigm for Task Scheduling Problems

Hamid Tabatabaee*^a, Mohammad Reza Akbarzadeh Totonchi^b

^aDepartment Of Computer Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

^bDepartment of Electrical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Task Scheduling (TS) poses a challenging problem in distributed systems from multiple perspectives such as the uncertainty in resource capacity and topology, heterogeneity of processors, computational complexity as well as theoretical performance analysis. To reach timely solutions, current approaches, whether classic approaches, which are based on list scheduling, or intelligent approaches, which are generally based on evolutionary algorithms, either impose extra constraints or ignore some aspects of the reality of this problem. Furthermore, they generally depend on numerical performance evaluation and lack the ability to reach clear theoretical conclusions. Here, we address the problem of theoretical analysis by proposing a new paradigm based on system engineering. This new modeling paradigm is promising due to its extensive theoretical developments. In its general form, TS is inherently nonlinear because of its many nonlinear constraints. In this paper, we demonstrate how TS can be mapped via nonlinear state space and, through theoretical analysis, show stability of the resulting system. Then, a suitable transformation is devised to convert this model to linear switching state space with some nonlinear constraints. It is shown that the resulting model can suitably represent uncertainty in resource capacity. We then present a systematic method to determine control vectors based on this model. Finally, the proposed method is compared against HEFT (heterogeneous earliest finish time) scheme on several random experiments and demonstrate comparative performance.

Keywords: Task scheduling, static scheduling, heuristic algorithm, dynamic scheduling, linear switching state space

EEMCA: An Energy Efficient Multi-hop Routing in Cluster-based Wireless Sensor Networks using Ant Colony Optimization

Kobra Behravan^{*a}, Reza Monsefi^b, Hassan Ahmadi Torshizi^c

^aDepartment of computer science, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

^bDepartment of computer science, Ferdowsi University of Mashhad Branch, Mashhad, Iran

^cDepartment of computer science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) is created based on a collaborative effort of a large number of nodes. One of the most important components of the sensor nodes is the power unit. It has low limited power and is usually renewable. To decreasing the consumption power of sensors and to increase the scalability of a network, one can use unequal clustering mechanism. To confront the clustering overhead, in this paper we introduce Energy Efficient Multihop routing for Cluster-based wireless sensor networks using Ant Colony Optimization (EEMCA) protocol that prevents reclustering of sensor nodes and decides on the cluster heads based on the measuring of power of sensors in clusters. In EEMCA protocol, Ant Colony Optimization (ACO) method is used for creating energy efficient multihop routes from cluster heads to sink. EEMCA is compared to two protocols; ACALEACH and EEUC. Simulation results show that EEMCA protocol outperforms the other two protocols with an increase in network lifetime.

Keywords: Sensor Nodes, Clustering, Ant Colony Optimization (ACO), Multi-hop Routing, Network Lifetime

*Corresponding Author

Department of computer science, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

Email: kobra.behravan@iau.ac.ir

Synthesis and Optimization of Human Serum Albumin Nanoparticles for Drug Delivery Application

Rabeah Mehravar^{*a}, Mohsen Jahanshahi^b

^{a,b}Department of Chemical Engineering, Ayatollah Amoli Branch m Islamic Azad University, Amol, Iran

Abstract

In recent years, the application of protein nanoparticles has become of more and more interest to the pharmaceutical industry. In this study, Human Serum Albumin (HSA) was used for the synthesis of nanoparticles by desolvation method for application in drug delivery system because of biodegradability, owing to the high capacity of drug loading and nontoxicity. Moreover, the effects of different parameters i.e. pH, HSA concentration, agitation speed, glutaraldehyde concentration, organic solvent adding rate, the ratio of organic solvent/HSA solution were examined in this research and Taguchi method with L_{16} orthogonal array was implemented to optimize experimental conditions. The best parameters for nanobioparticles production were obtained at pH=9, HSA concentration: 75 mg.ml^{-1} , ethanol adding rate: 1.5 ml.min^{-1} and the ratio of organic solvent/HSA solution: 4. Under these conditions, the software predicted the 46.625 nm for HSA nanoparticle size, which, in experiment 53 nm, was achieved for the nanoparticles. With respect to our study, the synthesis of human serum albumin nanoparticles was carried out for the first time and to the best of our knowledge, no reference has been found in the literature about using Taguchi method for optimization of HSA nanoparticles up to now.

Keywords: drug delivery, nanoparticles, HSA, desolvation method, optimization, Taguchi method

Optimal Tuning of Fuzzy Logic Static VAR Compensator using Particle Swarm Optimization for Damping Power oscillations

Hamed Hasanvand^{*a}, Bashir Bakhshideh zad^b, Babak Mozafari^c, Sodابه Soleimani^d

^aDepartment of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

^bDepartment of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mons, Mons, Belgium

^{c,d}Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

This paper presents an application of fuzzy control to determine the supplementary signal of static VAR compensator (SVC) for improvement of power system stability and enhancement of low frequency oscillations damping. The proposed controller for the SVC is based on fuzzy logic (FL) and is optimized by particle swarm optimization algorithm (PSO). The input signals for the fuzzy logic controller are chosen as deviation in generator speed and active power. Since the SVC is in a distance from the generator, it is assumed that the proper input signals are measured and transmitted to the SVC location using WAMS technology and PMUs. The output of SVC is changed based on these two signals. PSO optimizes scaling factors for the input signals as well as the output signal. The effectiveness and performance of the proposed controller is demonstrated by the simulation of a single machine infinite bus test system.

Keywords: Low frequency oscillations, power system stability, static VAR compensator, fuzzy logic controller, particle swarm optimization

*Corresponding Author

Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Email: hamed_hasanvand@yahoo.com

Evaluation of the Data Accuracy of Loop Detector in Adaptive Signal Control Systems

Meead Saberi Kalae^a, Seyed Ali Ziaee^{*b}, Vahab Esmaeili^c, Ali Hatami^d

^aCandidate in Transportation Systems Analysis and Planning, Northwestern UniversityUSA

^{b,c,d}Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Inductive loop detectors are widely used on highways, streets and intersections in many countries. They are proven technologies for traffic count, but high error rates can affect their data quality. Accurate real-time knowledge of traffic volume is a critical issue in adaptive signal control systems. The aim of this research is to evaluate the data accuracy of inductive loop detectors installed in adaptive signalized intersections equipped with SCATS in Mashhad, Iran. This study also aims to understand the relationship between error ratios of loop detectors and traffic volume. Results theorize a parabolic relationship but its exact calibration of it depends upon prevailing conditions, which vary from location to location and even over time at the same locations. It is confirmed that traffic composition affects the data accuracy of loop detectors. The research reported in this paper also addresses the most common reasons for improper operation of inductive loop detectors in Mashhad's signalized intersections; this is highly related to the driver's behavior.

Keywords: Adaptive Signalized Intersection, Loop Detector, Error, Traffic Volume, Traffic Composition

Efficiency Enhancement of Standard Genetic Algorithm using One-Dimensional Cellular Automata

Ehsan tahami^{*a}, Amir homayoun jafari^b, Ali fallah^c

^aDepartment of Biomedical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

^bDepartment of medical physics and Biomedical Engineering, school of medicine, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

^cDepartment of Biomedical Engineering, Amir kabir University of Technology, Tehran, Iran

Abstract:

Genetic Algorithm is a powerful algorithm for solving optimization problems. Its performance is affected by appropriate selection of its parameters and operators such as size of population, type of crossover, mutation, etc. Different methods have been suggested to enhance the performance of standard Genetic Algorithm (sGA). In this paper, we propose a new method based on one dimensional Cellular Automata (1D CA) to enhance the performance of sGA. The proposed hybrid CA-GA algorithm then has been used to find the minimum of five well-known test functions (with 5 and 10 dimension). Results showed that the hybrid CA-GA algorithm has a greater accuracy compared with sGA in finding the best minimum of test function. Also, the convergence speed of hybrid CA-GA algorithm to the exact global minimum is clearly more than sGA.

Keywords:One dimensional Cellular Automata, Genetic Algorithm, Optimization

*Corresponding Author

Department of Biomedical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Email: tahami@mshdiau.ac.ir

Tag-based search on Flickr by combining folksonomy information and image visual features

Seyed Morteza Sayadi Kakhi^{*a}, Mehrdad. Jalali^b, Mohammad Hossein Moattar^c

^{a,b,c}Department of Software Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran

Abstract

In recent years, there are explosive photo sharing websites such as Flickr that users can upload and annotate images with arbitrary keywords called tags. Consequently users have been overwhelmed by the huge numbers of images that effective retrieval technology for this volume of images is needed. In tag-based image retrieval most existing methods use tags or visual characteristics and do not consider users information. In this paper we propose a system for tag-based image retrieval on Flickr. Base on extracted information from ternary relationships between users, images and tags in folksonomy and simultaneously visual features that extracted from images, the similarity between images and tags derive and use for tag-based image retrieval. A folksonomy can be viewed as a three-dimensional space of users, tags, and images; consequently this three-dimensional space can be projected onto three two-dimensional matrices user-tag, user-image and tag-image. We then extract Tag-Image similarity from tag-item matrix. To calculate similarity between images based on visual features we use cosine similarity between local features. To validate the effectiveness of our proposed approach on real-world web image datasets, we conduct extensive experiments on the image dataset NUS-WIDE. Since the NUS-WIDE dataset do not contain user information and only contain visual features and tag information, we use Flickr API to access users tag assignments. Experimental evaluations demonstrate that using simultaneously folksonomy and image visual features can improve results of tag-based image retrieval than using separated folksonomy information or image visual features.

Keywords: Tag-based Image Search, Visual Features, Folksonomy

Corresponding Author

Department of Software Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran

Email: msayadi@mshdiau.ac.ir

دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

راهنمای اشتراک

خواهشمند است قبل از پر کردن برگه درخواست اشتراک به نکات زیر توجه فرمائید:

- ۱- بهای اشتراک هر تک شماره ۱۵۰۰۰ ریال و هر چهار شماره ۵۰۰۰۰ ریال است.
- ۲- وجه اشتراک به حساب سیبا ملی ۰۱۰۳۸۶۰۳۸۶۰۰۰ به نام دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد واریز و فیش بانکی به همراه فرم اشتراک تکمیل شده به آدرس مجله ارسال شود.
- ۳- نشانی کامل و خوانا همراه با کدپستی درج شود.
- ۴- تخفیف ویژه حق اشتراک برای اعضای هیأت علمی و دانشجویان با ارسال تصویر کارت شناسایی برای اعضای هیأت علمی یا کارت دانشجویی برای دانشجویان ۵۰٪ می باشد.
- ۵- لطفاً تصویر فیش بانکی تا زمان تأیید اشتراک نگهداری شود.

نشانی: مشهد - قاسم آباد - بلوار امامیه - دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی - دبیرخانه مجله

سندوق پستی: ۴۱۳-۹۱۷۳۵ تلفن: ۰۵۱۱-۶۶۲۵۰۵۵

آدرس سایت: www.js.mshdiau.ac.ir/jte پست الکترونیکی: tejournal@mshdiau.ac.ir

برگه درخواست اشتراک

قبلاً مشترک بوده‌ام مشترک جدید هستم

شماره اشتراک (در صورتی که قبلاً مشترک بوده‌اید)

نام کتابخانه اشتراک کتابخانه

نام سازمان اشتراک شرکت، سازمان، موسسه

نام و نام خانوادگی اشتراک شخصی

نشانی دقیق:

کدپستی:

به پیوست رسید بانکی شماره:

بابت هر چهار شماره / تک شماره:

از هر شماره نسخه، شروع اشتراک از شماره ارسال می‌شود.

نام و نام خانوادگی درخواست کننده:

امضاء:

Biannual Journal of Information Technology on Engineering Design

Islamic Azad University, Mashhad Branch

ISSN 1735-1985

Volume 5, Number 2, Fall & Winter 1391

Publish Date: summer 1393

Scientific and Research

Accredited by Islamic Azad University Journal Accreditation Commission

License Holder: Islamic Azad University, Mashhad Branch

President: H. Ahmadi Torshizi

Editor in Chief: M. A. Khalilzadeh

Executive Manager: M. Jalali

Experts: M. hanaei

Editorial Board:

H. Ahmadi Torshizi: Assistant Professor, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

M. Jalali: Assistant Professor, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

M.A. Khalilzadeh: Associate Professor, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

Kh. Maafinezhad: Professor, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

M. Molavi: Professor, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

M. NaqibZadeh: Professor, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

R. Qazi: Professor, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

S. Rahati-Qouchani: Associate Professor, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

M. Vafaei Jahan: Assistant Professor, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

Text Editor: Z. Rahbarniya (Persian)

Typist & Cover Design: N. Esmailii

Office Address: Islamic Azad University, Mashhad Branch, Qasem Abad, Technical Engineering
Journal Office, P. O. Box 91735-413, Mashhad, Iran

Published by: Entesharat Sokhan Gostar

Site Address: www.js.mshdiau.ac.ir/jte

E-Mail: tejournal@mshdiau.ac.ir

0513-6625055 -+98 Tel & Fax: