

## بررسی عملکرد و نحوه مدل سازی ترافیک های کنفرانس ویدئویی رایج در شبکه های مخابراتی

فرهاد فغانی<sup>(۱)</sup> - قاسم میرجلیلی<sup>(۲)</sup>

(۱) استادیار - دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد

(۲) دانشیار - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: بهار ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: پاییز ۱۳۹۲

**خلاصه:** با پیشرفت روزافزون تکنولوژی های مخابراتی و با دسترسی سریع، آسان و نسبتاً ارزان مشترکان به اینترنت، درخواست های متقاضیان استفاده از این نوع شبکه ها عمدتاً به سمت استفاده از سرویس هایی است که در آنها به نوعی می بایستی انتقال چندرسانه ای انجام پذیرد. یکی از پرطرفدارترین سرویس ها، ارسال تصاویر ویدئویی است که توانسته است کاربران زیادی در شبکه را به استفاده از اینگونه سرویس ها ترغیب نماید. به ویژه ترافیک های کنفرانس ویدئویی زنده که در دانشگاه ها، بیمارستان ها، سمینارها، آموزش های از راه دور و ... در حال گسترش می باشد. از این رو سرویس دهندگان مخابراتی نیازمند به مدل سازی مناسبی از اینگونه ترافیک ها جهت طراحی بهتر و ارزیابی عملکرد سرویس های ارائه شده خود می باشند. این سرویس ها در کشور ما نیز در حال توسعه می باشد. در این مقاله، روش های مدل سازی ترافیک های کنفرانس ویدئویی رایج در کشور جهت ارائه سرویس های با کیفیت ویدئویی ارائه شده است.

**کلمات کلیدی:** شبکه های مخابرات داده، مدل سازی ترافیک، ویدئو کنفرانس، ترافیک.

## Evaluation and Simulation of Common Video Conference Traffics in Communication Network

Farhad Faghani<sup>(1)</sup> - Ghasem Mirjalily<sup>(2)</sup>

(1) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Najafabad Branch  
faghani@iaun.ac.ir

(2) Associate Professor - Department of Electrical Engineering, Yazd University  
mirjalily@yazd.ac.ir

Multimedia traffics are the basic traffics in data communication networks. Especially Video conferences are the most desirable traffics in huge networks (wired, wireless, ...). Traffic modeling can help us to evaluate real networks. So, in order to have good services in data communication networks which provide multimedia services, QoS will be very important. In this research we tried to have an exact traffic model design and simulation to overcome QoS challenges. Also, we predict bandwidth by Kalman filter in Ethernet networks.

**Index Terms:** Data communication networks, traffic modeling, video conference, traffic.

## ۱- مقدمه

شبکه‌های مخابرات داده که امروزه به کار گرفته می‌شود، معمولاً بر پایه سوئیچینگ مدارمجازی و سوئیچینگ بسته عمل می‌نماید. رشد فراگیر شبکه‌های محلی و اتصال گسترده این شبکه‌ها به یکدیگر، باعث توسعه چشم‌گیر شبکه‌ها در ابعاد شهری شده است. امروزه لزوم ایجاد تغییرات اساسی در زیرساخت‌های موجود شبکه‌های شهری و تبدیل شدن آنها از فناوری‌های مختلف مانند: ATM, Frame relay... به سمت شبکه یکنواخت که همان ات‌نت<sup>۱</sup> است آشکار می‌شود. ویژگی‌های منحصربفرد شبکه ات‌نت، از قبیل: سادگی در پیاده‌سازی، اداره‌کردن و پشتیبانی، نسبت کیفیت به هزینه بهتر، انعطاف‌پذیری بیشتر، سرباره کمتر، ارزان بودن پیاده‌سازی، قابلیت نصب در شبکه‌های با سرعت بالا، قابلیت استفاده از فیبرنوری، کابل مسی و بی‌سیم و قابلیت پیوند چندنقطه-به-چندنقطه ات‌نت باعث شده است تا ات‌نت گزینه مناسبی برای شبکه‌های شهری نیز باشد و از آن با نام شبکه‌های ات‌نت شهری (MEN) نام برده می‌شود.

در شبکه‌های مخابراتی امروزی، ترافیک به سه دسته عمده تقسیم می‌شود: داده، صوت، تصویر. مدل‌سازی این ترافیک‌ها نقش بسزایی در بیان عملکرد و همچنین تحلیل ترافیک شبکه‌های واقعی به ما ارائه می‌کند. با پیشرفت روزافزون تکنولوژی‌های مخابراتی و با دسترسی سریع، آسان و نسبتاً ارزان مشترکان به اینترنت، درخواست‌های متقاضیان استفاده از این نوع شبکه‌ها عمدتاً به سمت استفاده از سرویس‌هایی است که در آنها به نوعی می‌بایستی انتقال چندرسانه‌ای انجام پذیرد. این تقاضاها استفاده از سرویس‌های چندرسانه‌ای را در کلیه شبکه‌های مخابراتی افزایش داده است و در واقع استفاده از سرویس‌های با کیفیت بالاتر طی سال‌های اخیر در شبکه افزایش یافته است؛ لذا ترافیک چندرسانه‌ای به عنوان اصلی‌ترین منبع ترافیک در شبکه‌های امروزی شناخته می‌شود. به ویژه می‌توان از ترافیک‌های کنفرانس ویدئویی که درصد عمده‌ای از ترافیک‌های چندرسانه‌ای را در شبکه‌های عظیم (باسیم، بی‌سیم و ماهواره‌ای) به خود اختصاص داده‌اند نام برد.

برای برقراری یک ارتباط خوب در شبکه‌های مخابراتی که به ارائه سرویس‌های چندرسانه‌ای می‌پردازند، معیارهایی از قبیل تضمین کیفیت خدمات، QoS، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. به منظور پشتیبانی از کیفیت خدمات در شبکه، می‌توان روش‌های مختلفی برای مدیریت ترافیک در شبکه از قبیل: سیاست‌گذاری ترافیکی و شکل‌دهی ترافیک در شبکه را بکار برد، که انجام این امور بدون مدل‌سازی دقیق ترافیک در شبکه امکان‌پذیر نخواهد بود. مدل‌سازی ترافیکی، بویژه در ترافیک‌های پر کاربرد و حجیم، می‌تواند هم در سطح طراحی، و هم در سطح سرویس دهی، بسیار مؤثر باشد.

بسیاری از خدماتی که کاربران در گذشته در شرایط مکانی و زمانی خاص دریافت می‌نمودند، امروزه می‌بایست تقریباً در هر نقطه‌ای که کاربر به شبکه دسترسی دارد امکان‌پذیر باشد. مثلاً اگر در گذشته

محل تماشای تلویزیون خانه‌ها بود و یا محل تماشای فیلم سینمایی در سینما و یا محل برگزاری یک کلاس در دانشگاه و یک جلسه در یک سالن کنفرانس، امروزه تمامی این خدمات توسط شبکه‌های مخابراتی قابل سرویس دهی است. تلویزیون بر روی گوشی موبایل قابل دریافت است، فیلم‌های سینمایی با کیفیت بالا از اینترنت دریافت می‌شود و آموزش‌های از راه دور و یا جلسات مهم اداری توسط سرویس‌های ویدئو کنفرانس قابل ارائه است. برای برقراری ارتباط تلفنی به روش سنتی امروزه با استفاده از اینترنت می‌توان با کیفیت خوب به برقراری ارتباطی صوتی و تصویری پرداخت.

ساختار این تحقیق بدین شرح است: در بخش دوم، مدل‌سازی ترافیک تشریح می‌شود و در بخش سوم، روش تخمین پهنای باند موجود و معرفی الگوی مناسب برای ارزیابی شبکه‌های ات‌نت شهری می‌پردازد. در بخش چهارم توپولوژی مناسب برای شبکه جهت ارزیابی ارائه شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در بخش پنجم بررسی می‌شود. سرانجام، با جمع‌بندی مطالب و ارائه پیشنهادات این مقاله به پایان می‌رسد.

## ۲- مدل‌سازی ترافیک

مدل‌سازی ترافیک، کاربردی از ریاضیات جهت اندازه‌گیری، مدل‌سازی و کنترل ترافیک در شبکه‌های مخابراتی است و هدف آن یافتن یک فرایند تصادفی جهت توصیف رفتار ترافیکی یک شبکه است. استفاده از مدل‌های ترافیکی ارائه شده برای شبکه‌های مبتنی بر سوئیچینگ مداری برای استفاده در شبکه‌های مبتنی بر سوئیچینگ بسته‌ای به دلایلی که ذکر خواهد شد مناسب نیست. دلیل اول آنکه ترافیک‌های انتقال صوت معمولاً رفتار یکنواختی داشته و با گذشت زمان تغییری چندانی ندارند در حالی که ترافیک‌های داده از قبیل FTP, E-mail و احراز هویت از راه دور<sup>۲</sup> رفتار بسیار متغیری دارند. این رفتار اصطلاحاً رگباری یا Bursty می‌نامند. این گوناگونی با توسعه روز افزون کاربردهای چندرسانه‌ای بیشتر نیز گردیده است. دلیل دوم آنست که شیوه کنترل ترافیک در شبکه‌های مبتنی بر سوئیچینگ مداری با شبکه‌های مبتنی بر سوئیچینگ بسته‌ای تفاوت دارد. یک مکالمه تلفنی در شبکه سوئیچینگ مداری دارای نرخ ارسال ثابت بوده و پهنای باند مورد استفاده نیز ثابت است. در مقابل، جریان بسته‌ها با کنترل دسترسی، کنترل جریان، کنترل ازدحام و... در یک شبکه سوئیچینگ بسته‌ای، بسیار پیچیده خواهد بود.

با توجه به اینکه ترافیک ویدئویی رایج در شبکه‌های سوئیچینگ بسته استفاده می‌شود و با توجه به آنکه مقیاس این شبکه‌ها، ابعاد شهری است، لذا می‌بایست ملاحظات خاص مرتبط با این نوع شبکه‌ها در نظر گرفته شود. روش‌های بسیار متنوعی جهت مدل‌سازی ترافیک در شبکه ارائه شده است ولی این روش‌ها و مدل‌های ارائه شده عمدتاً کاربردهای خاصی را در ابعاد شبکه‌های نه چندان بزرگ در نظر گرفته‌اند.

## ۱-۲- مدل ترافیک ویدئویی در شبکه‌های مخابراتی

یک مدل ترافیکی دقیق و با کیفیت به دو عامل عمده بستگی دارد: عملکرد مدل که توانایی آنرا در جمع‌آوری ویژگیهای آماری مناسب در ارتباط با ترافیک در شبکه ارائه می‌دهد و دیگری میزان پیچیدگی مدل است که بیانگر اینست که پیچیدگی مدل ارائه شده برای برابر نمودن با دادگان واقعی چقدر است. معمولاً ترافیک در شبکه‌های مخابراتی از نظر نرخ ارسال به چهار دسته تقسیم می‌شوند: ترافیک با نرخ ثابت یا CBR، ترافیک با نرخ متغیر یا VBR، ترافیک با نرخ غیر مشخص یا UBR و ترافیک بر اساس نرخ وجود یا ABR.

ترافیک با نرخ ثابت یا CBR، عمدتاً برای کاربرانی استفاده می‌شود که به یک پهنای باند مشخص و VBR تضمین شده‌ای برای ارسال داده‌های خود نیاز دارند. ترافیک با نرخ متغیر یا، عمدتاً برای کاربرانی است که از نرم‌افزارهای real-time استفاده می‌نمایند و محدودیت‌های تأخیر و واریانس تأخیر دارند. ترافیک‌های UBR و ABR عمدتاً برای کاربرانی است که محدودیت خاصی برای استفاده از سرویس‌های خود ندارند [۳].

بحث مدل‌سازی ترافیکی عمدتاً برای ترافیک‌های VBR مطرح می‌شوند. عمده کاربرد این نوع مدل، در مدل‌سازی ترافیک‌های چند رسانه‌ای از قبیل: VOD<sup>3</sup>، HDTV<sup>4</sup>، کنفرانس‌های چندرسانه‌ای از راه دور و غیره می‌باشد. این سرویس‌ها متشکل از جریان‌های صوت و تصویر هستند که می‌بایست با رفتار زمانی خاص به منظور ایجاد یک انسجام در گیرنده و قابلیت بازوخت، در دسترس کاربر قرار گیرد.

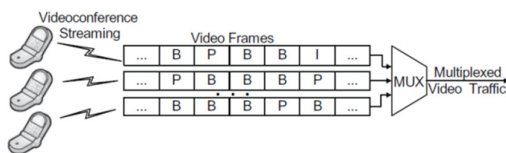
اطلاعات چندرسانه‌ای ذخیره شده و سپس با استفاده از یک کدینگ خاص توسط کانال ارسال می‌شود. امروزه یک شیوه رایج برای کدینگ چندرسانه‌ای وجود دارد: MPEG<sup>5</sup> که در نسخه‌های ۱ تا ۴ آن ارائه شده است که در HDTV، Blue-Ray و DVD مشاهده می‌شود. در میان ترافیک‌های چندرسانه‌ای، ترافیک‌های کنفرانس ویدئویی دارای اهمیت خاص و ویژه‌ای هستند. زیرا مدل‌های ترافیکی که برای این منظور در نظر گرفته می‌شوند می‌بایست انواع مدل‌های ترافیکی را در برگیرنده باشد. چراکه رنج کاربران می‌تواند کاربران خانگی و موبایل باشد (نرخ ارسال کم) تا کاربرانی که قصد ارتباط با Backbone شبکه دارند (نرخ ارسال زیاد). از این رو مدل‌سازی موفق یک کنفرانس ویدئویی، می‌تواند بازده اقتصادی شبکه را بالا برده و منجر به کاهش هزینه‌های ارتباطی و امکان دسترسی با کیفیت بالاتر برای کاربران گردد. مسأله توصیف ترافیک ویدئویی یک مسأله بسیار چالش‌برانگیز است. ویژگی‌های یک ویدئوی فشرده شده می‌تواند وابستگی زیادی به این عوامل داشته باشد: نوع و محتوای تصویر ویدئویی که بیانگر میزان حرکت (از حرکت‌های کم در کنفرانس‌های ویدئویی گرفته تا حرکت‌های زیاد) و نرخ تغییر چشم‌انداز در تصویر باشد؛ الگوریتم استفاده شده در کدینگ بین و درون فریم‌ها.

اگرچه الگوریتم‌های کدینگ متنوعی برای ویدئو ارائه شده است ولی در این بین، MPEG بیشتر مورد استقبال کاربران قرار گرفته است.

MPEG-1 در سال ۱۹۹۲ ارائه گردید و با نرخ پایین، کیفیت قابل قبولی را ارائه می‌کرد. MPEG-2 با کیفیتی بالاتر (در حد DVDها) در سال ۱۹۹۴ ارائه شد. MPEG-4 با یک بازدهی بسیار بالا جهت انتقال تصاویر ویدئویی به منظور استفاده در پخش برنامه‌های ویدئویی در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. در سال ۲۰۰۳، یک روش کدینگ ترکیبی با بازدهی بیشتر توسط ITU-T با ترکیب H.264 و MPEG، تحت عنوان MPEG-4 قسمت ۱۰ ارائه گردید که با نام کدینگ پیشرفته ویدئویی نیز شناخته می‌شود.

از آنجائی که در شبکه‌های مخابراتی امروزی، به ویژه در شبکه‌های اینترنت شهری، سرویس‌های متنوعی در هسته شبکه اینترنت جمع‌آوری می‌شود، لذا در ناحیه هسته این شبکه‌ها می‌بایست به دنبال سرویس‌های ویدئویی موجود در شبکه‌های بیسیم از قبیل EGPRS، UMTS، CDMA و شبکه‌های محلی بیسیم و یا کاربران زیادی که با اتصال از طریق شبکه‌های محلی کوچک به دنبال استفاده از چنین سرویس‌هایی هستند، لذا سرعت شبکه‌ها نقش بسیار تعیین کننده‌ای در انتخاب نوع سرویس ویدئویی استفاده شده خواهد داشت [۴].

بهترین شیوه مدل‌سازی سرویس‌های ویدئویی استفاده شده در شبکه‌ها، اعم از بی‌سیم و یا باسیم، که می‌تواند به تضمین کیفیت سرویس برای کاربران بپردازد، استفاده از مدل VBR می‌باشد. مدل‌سازی سرویس ترافیک ویدئویی به طور خاص ویدئو کنفرانس‌ها، قبلاً به طور گسترده‌ای بررسی شده‌اند. کدکننده‌های استاندارد MPEG سه نوع فریم تولید می‌نمایند: فریم‌های نوع I: Intra-coded، فریم‌های نوع P: Predictive و فریم‌های نوع B: Bidirectionally Predictive. فریم‌های نوع I اطلاعات کدینگ را دربر داشته و فریم‌های نوع P و B، اطلاعات مربوط به حرکت و درونیایی بین فریم‌ها را در بردارند. ویژگی مهم کدکننده‌های MPEG شیوه تولید انواع فریم‌ها است. شکل (۱) بیانگر شیوه تولید فریم‌های ویدئویی در شبکه‌های مخابراتی تلفن همراه بود [۵ و ۶].



شکل (۱): نحوه ارسال فریم ویدئویی توسط کاربران تلفن همراه.  
Fig. (1): Video frame forwarding by mobile cell users

از آنجائی که سرویس‌های رایج ویدئویی در کشور بر اساس ساختار MPEG-4 که ساختاری نسبتاً مناسب است، طراحی شده است، در این تحقیق نیز تمرکز ما بر استفاده از این شیوه کدینگ است. استاندارد MPEG-4، برای استفاده در شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم طراحی گردیده است. استاندارد H.261 برای استفاده از کنفرانس ویدئویی از راه دور طراحی گردید که در آن حرکت چندانی در فریم‌های تصویر به چشم نمی‌خورد و حرکات موجود بسیار محدود

$$U_n^+ = \begin{cases} U_0 & n = 0 \\ (U_n^+ + V_n) & n > 0 \end{cases} \quad (۱)$$

یا

$$U_n^- = \begin{cases} U_n^+ & n \text{ even} \\ (1 - U_n^+) & n \text{ odd} \end{cases} \quad (۲)$$

که در آن  $U_0$  متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه  $[0,1]$  بوده و  $\{V_n\}$  یک دنباله از متغیرهای تصادفی iid مستقل از  $U_0$  باتابع چگالی احتمال  $f_V$  است که به آن دنباله نوآوری گفته می‌شود. عملگر  $\langle \cdot \rangle$  بیانگر modulo-1 بوده که برای هر  $x$  حقیقی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\langle x \rangle = x - \max\{\text{integer}(n) : n \leq x\} \quad (۳)$$

$U_n^-$  و  $U_n^+$  را می‌توانند تابع خود همبستگی به ترتیب در بازه‌های  $[0,1]$  و  $[-1,0]$  تولید نمایند. می‌توان نشان داد که فرایند پس‌زمینه TES، یک دنباله مارکف ایستادن یکنواخت در بازه  $[0,1]$  را توصیف می‌نماید. از یک عملگر smoothing جهت بهبود گسستگی در عملگر  $\langle \cdot \rangle$  استفاده می‌شود [۵].

به طور خلاصه می‌توان گفت که گام اول در مدل‌سازی TES، تولید دنباله زمانی از متغیرهای تصادفی همبسته با توزیع یکنواخت روی  $[0,1]$  است. میزان این همبستگی به ساختار تابع چگالی احتمال  $f_V$  بستگی دارد. در گام دوم، دنباله پیش‌زمینه به دنباله متناظر پس‌زمینه نگاشته می‌شود:

$$\{X_n^+\}_{n=0}^\infty \rightarrow X_n^+ = D(U_n^+) \quad (۴)$$

و یا

$$\{X_n^-\}_{n=0}^\infty \rightarrow X_n^- = D(U_n^-) \quad (۵)$$

که در رابطه فوق،  $D$  تابع نگارنده از  $[0,1]$  به مقادیر حقیقی است. این مدل عمده‌تاً جهت توصیف در شبکه‌های مبتنی بر ATM به کار برده می‌شود.

### ۲-۲-۲-۲ مدل DAR(p)

یک مدل DAR مرتبه  $p$  که به صورت  $DAR(p)$  نیز نمایش داده می‌شود، یک دنباله ایستادن از متغیرهای تصادفی با یک توزیع دلخواه تولید می‌نماید. فرض کنید که  $\{V_n\}$  و  $\{Y_n\}$  دو دنباله مستقل از متغیرهای تصادفی باشند. متغیر تصادفی  $V_n$  می‌تواند دو مقدار 0 و 1 را به ترتیب با احتمال‌های  $1 - \rho$  و  $\rho$  انتخاب نماید. متغیر تصادفی  $Y_n$  دارای فضای حالت گسسته  $S$  و می‌باشد. دنباله متغیرهای تصادفی  $\{X_n\}$  که با مدل خطی زیر مدل می‌شوند:

$$X_n = V_n X_{n-1} + (1 - V_n) Y_n \quad (۶)$$

یک فرایند DAR می‌باشد. یک فرایند  $DAR(1)$  یک زنجیره مارکف با فضای حالت گسسته  $S$  و ماتریس انتقال زیر می‌باشد:

$$P = \rho I + (1 - \rho) Q \quad (۷)$$

که در آن  $\rho$  ضرایب خودهمبستگی و  $I$  ماتریس شناسه و  $Q$  ماتریسی با  $Q_{ij} = \pi(i)$  که  $i, j \in S$  می‌باشند. خود همبستگی‌ها عمدتاً بر

است. لذا این استاندارد در مقایسه با MPEG ضعیف‌تر عمل می‌نماید. کدینگ استفاده شده در H.263 بسیار شبیه به H.261 است.

H.263، ۵ رزولوشن کیفیتی را پشتیبانی می‌کند: علاوه بر QCIF و CIF که توسط H.261 پشتیبانی می‌شوند، از SQCIF، 4CIF و 16CIF پشتیبانی می‌کند. SQCIF تقریباً نیمی از رزولوشن QCIF را داشته و 4CIF و 16CIF به ترتیب ۴ و ۱۶ برابر رزولوشن CIF هستند. پشتیبانی از 4CIF و 16CIF بیانگر وجود قابلیت رقابت با استانداردهای با کیفیت از قبیل MPEG می‌باشد.

استاندارد MPEG-1 جهت ذخیره و پخش ویدئو در کامپیوترهای شخصی با نرخ ارسال پایین طراحی شد. نرخ مورد انتظار برای آن 1.5Mb و یا ذخیره‌سازی ویدئوهای دیجیتالی روی CDها بود. در این شیوه، فشرده‌سازی بر کیفیت برتری دارد. دوربین‌های قدیمی از این شیوه استفاده می‌نمایند.

استاندارد MPEG-2 برای تلویزیون‌های دیجیتالی طراحی شد که می‌تواند پاسخگوی نیازهای HDTV و یا DVDها باشد. هدف اصلی در این استاندارد بهبود کیفیت تصاویر با ابعاد بزرگتر نسبت به MPEG-1 در همان نرخ بیت بوده است. استاندارد MPEG-4 منظو غلبه بر مشکلات صوتی و تصویری موجود در سرویس‌های کنفرانس ویدئویی ارائه شد. در این استاندارد توانایی جداسازی، صوت، ویدئو، تصویر، گرافیک، متن و غیره وجود دارد. اگرچه آخرین استاندارد ارسال تصاویر دیجیتالی H.264 می‌باشد که توسط ITU-T پذیرفته شده است، ولی به دلیل عدم وجود زیر ساخت مناسب در کشور جهت ارائه این سرویس در ابعاد شهری و تمایل شرکت‌های متصدی زبرساخت به استفاده از MPEG-4 ما نیز در این تحقیق از مدل MPEG-4 استفاده می‌نماییم [۶].

### ۲-۲-۲-۲ مدل‌سازی ترافیک ویدئویی MPEG-4

همانگونه که در بخش قبلی نیز عنوان شد، کدکننده‌های MPEG-4 به تولید سه نوع فریم می‌پردازند: فریم‌های I، P و B. در ابتدا می‌بایست فریم‌های مرجع ارسال شود. در زیر نحوه ارسال و نحوه نمایش نشان داده شده است:

• شیوه ارسال: IPB B P B B P B B P B B I B B

• شیوه نمایش: I B B P B B P B B P B B P B B I

در ابتدا همیشه فریم I خواهیم داشت. فریم I و اولین فریم P همیشه به عنوان مرجع برای دو فریم B به کار می‌روند. دومین فریم I به عنوان مرجع فریم‌های B قبلی به کار می‌رود.

### ۲-۲-۱-۲ مدل‌سازی به روش TES:

روش TES<sup>۲</sup> برای توصیف مدل ترافیکی MPEG-4 در نظر گرفته می‌شود. یک دنباله همبسته با توزیع یکنواخت روی  $[0,1]$  که فرایند پیش‌زمینه TES نیز نامیده می‌شود اینگونه تعریف می‌گردد:

این واقعیت پرداخته شود که توپولوژی مناسب برای شبیه‌سازی شرایط نزدیک به واقعیت برای یک شبکه اینترنت شهری چیست.

### ۳-۱- تخمین پهنای باند کانال با روش BART و با استفاده از فیلتر کالمن [۷]

امروزه در بسیاری از کاربردهای شبکه‌های مخابراتی، ارتباطات زنده و یا Real time از قبیل VoIP و یا ویدئو کنفرانس‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در این نوع از شبکه‌های وابسته به بسته، چنانچه تخمین مناسبی از پهنای باند کانال در اختیار نباشد، بهره استفاده از شبکه کاهش خواهد یافت. لذا تخمین BART<sup>۷</sup>، یکی از زمینه‌هایی است که امروزه در شبکه مخابرات داده‌ها، از اهمیت خاصی برخوردار است. به عبارت ساده‌تر سعی بر آنست که پهنای باند موجود بین دو گره، تخمین زده شود. تا کنون روش‌های متعددی برای تخمین BART ارائه شده است [۳]. یکی از مهمترین این روش‌ها، استفاده از فیلتر کالمن<sup>۸</sup> است.

شبکه‌ای را متشکل از تعدادی گره تصور نمایید. اگر برای برقراری بین دو گره، تعداد N لینک موجود باشد، به نحوی که مسیر یاب‌های شبکه<sup>۹</sup>، مجاز به انتخاب هر یک از این N لینک جهت برقراری یک ارتباط سالم بین مبدأ و مقصد، در مسیر انتخابی خود باشد، آنگاه پهنای باند موجود در شبکه عبارتست از:

$$B = \min_j (C_j - X_j) \quad (9)$$

که در آن،  $1 < j < N$  بوده و بیانگر اندیس لینک می‌باشد،  $C_j$  ظرفیت لینک و  $X_j$  مقدار پهنای باند اشغال توسط سایر ترافیک‌های موجود در شبکه می‌باشد. در واقع با در نظر گرفتن این نکته بدیهی که پهنای باند موجود در هر لینک  $\lambda_m$  برابر  $B_j$  بوده، رابطه (۹) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$B = \min_j B_j \quad (10)$$

این بدان معناست که هیچ فرستنده‌ای مجاز به ارسال داده، با نرخی بیش از ظرفیت کمینه موجود در شبکه نخواهد بود. در غیر اینصورت ازدحام رخ خواهد داد و بر اساس قوانین از پیش تعیین شده در شبکه با بسته‌های زاید برخورد خواهد شد.

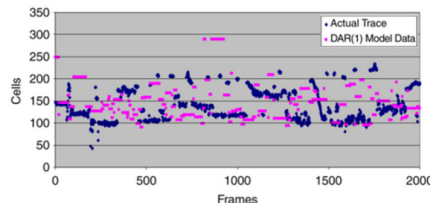
تخمین BART، بر پایه این فرض استوار است که بسته‌های موجود در شبکه، در مسیر خود، از پرش‌های FCFS<sup>۱۰</sup> استفاده می‌کنند، که هر پرش شامل یک صف FIFO در لینک عبور است. حسن این روش در مقابل سایر روش‌ها در اینست که در هنگامی که کاربرهای متعددی از شبکه استفاده می‌کنند، ترافیک سنگین خواهد شد و یا ازدحام<sup>۱۱</sup> رخ خواهد داد، برای حذف بسته‌ها، از یک روش به نسبت عادلانه‌ای استفاده شده است.

در روش BART، یک قطار از بسته‌ها، از یک گره مشخص و با یک نرخ معلوم، مانند u، سمت گره مقصد فرستاده می‌شود. بسته‌ها قبل از

اساس رنج W از lagها ترسیم می‌شوند. خود همبستگی توسط تابع زیر توصیف می‌گردد:

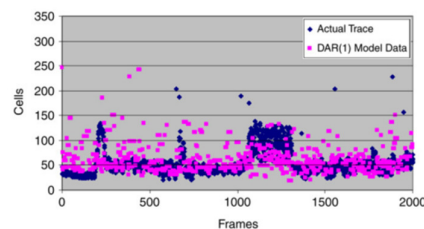
$$\rho(W) = \frac{E[(X_i - \mu)(X_{i+W} - \mu)]}{\sigma^2} \quad (8)$$

که در آن  $\mu$  میانگین و  $\sigma^2$  واریانس طول فریم‌های ویدیویی است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این مدل با مدل واقعی برای فریم در یک دفتر کاری برای هر سه نوع فریم در شکل‌های (۲) تا (۴) ترسیم شده است.



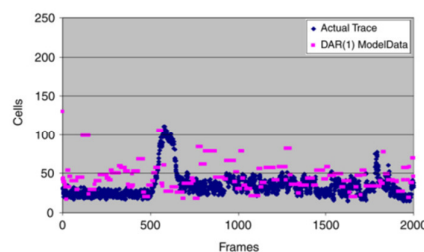
شکل (۲): مقایسه مدل DAR(1) با مدل واقعی برای فریم‌های نوع I، برای ارسال ۲۰۰۰ فریم.

Fig. (2): Comparison of DAR(1) with real model for frame I with 2000 frames forwarding.



شکل (۳): مقایسه مدل DAR(1) با مدل واقعی برای فریم‌های نوع P، برای ارسال ۲۰۰۰ فریم.

Fig. (3): Comparison of DAR(1) with real model for frame P with 2000 frames forwarding.



شکل (۴): مقایسه مدل DAR(1) با مدل واقعی برای فریم‌های نوع B، برای ارسال ۲۰۰۰ فریم.

Fig. (4): Comparison of DAR(1) with real model for frame B with 2000 frames forwarding.

### ۳-ارائه الگوی ارزیابی ترافیک ویدئویی

استفاده از شیوه‌های ریاضی نسبتاً ساده برای تقریب پهنای باند موجود در شبکه راهکاری مناسب برای تخمین پهنای باند موجود در کانال می‌باشد. در کنار حل مشکل تقریب پهنای باند موجود، می‌بایست به

با توجه به مطالب گفته شده در بخش قبلی، معادله حالت سیستم را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$x = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$H = [u \ 1] \quad (22)$$

و در نهایت خواهیم داشت:

$$x_k = x_{k-1} + w_{k-1} \quad (23)$$

بردار مشاهدات در این تحقیق همان رابطه (۱۳) است که به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\varepsilon = v + \begin{cases} 0 & u \leq B \\ \alpha u + \beta & u > B \end{cases} \quad (24)$$

که در واقع  $\varepsilon$  همان بردار مشاهدات،  $z$  بوده و  $v$ ، نویز اندازه‌گیری می‌باشد. محاسبات فیلتر کالمن، در این تحقیق، ساده است. فقط کافی است ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  تخمین زده شود. سپس از روی آن می‌توان پهنای باند موجود کانال را تخمین زد:

$$\alpha B + \beta = 0 \quad (25)$$

لذا خواهیم داشت:

$$\hat{B} = -\frac{\hat{\beta}}{\hat{\alpha}} \quad (26)$$

#### ۴- توپولوژی مناسب برای شبکه‌های اترنت شهری

یکی از مشکلات اساسی جهت ارزیابی راهکارهای مختلف پیش‌رانی ارائه شده توسط محققان، فقدان یک الگوی استاندارد جهت مقایسه است. از اینرو، هر محقق یک شبکه دلخواه با معیارهایی خاص را جهت ارزیابی راهکار خود استفاده می‌کند، که مسلماً با شرایط در نظر گرفته در سایر تحقیقات متفاوت خواهد بود [۸].

در بسیاری از موارد، شرایط در نظر گرفته شده، از شرایط واقعی فاصله بسیاری دارد. الگوها، راهکارهای پذیرفته شده‌ای هستند که می‌توان به کمک آنها به مقایسه و ارزیابی الگوریتم‌ها، ساختارها و پروتکل‌های مختلف پرداخت. استفاده از یک الگو به منزله اینست که روند تحقیق به خوبی توصیف شده است.

الگوی ارزیابی استاندارد در شبکه‌های اترنت شهری می‌بایست شامل یکسری توپولوژی ساختار استاندارد، بار ترافیکی استاندارد و مجموعه‌ای استاندارد از معیارهای ارزیابی باشد. تاکنون هیچ الگوی استاندارد مناسبی جهت مقایسه روش‌ها به صورت مستقل وجود ندارد. در این تحقیق به بررسی الگوهای ارائه شده قبلی در تحقیقات مختلف می‌پردازیم. در اینجا تمرکز ما بر روی رویکردهای مبتنی بر استفاده از درخت پوشا (دسته‌های (۲) می‌باشد. همچنین معیارهای ارزیابی مناسب جهت بررسی توازن بار و کیفیت سرویس را بررسی خواهیم نمود. الگوهای معروف را می‌توان به دو دسته عمده تقسیم نمود:

ارسال، با ثبت زمان ارسال برچسب گذاری می‌شوند. هنگام دریافت بسته‌ها در گره مقصد، زمان دریافت نیز ثبت می‌گردد.

اما رابطه بین شدت ترافیک مشاهده‌گر، یا probe، و پهنای باند موجود بدین صورت بیان می‌شود که اگر نرخ ارسال بسته‌های probe کمتر از پهنای باند موجود باشد،  $u \leq B$ ، اتفاق خاصی در شبکه رخ نمی‌دهد و بسته‌ها بدون ازدحام، از شبکه عبور می‌کنند. ولی چنانچه نرخ ارسال بسته‌های probe، بیش از پهنای باند موجود باشد،  $u > B$ ، آنگاه در شبکه ازدحام رخ خواهد داد و در نتیجه، Inter Packet Strain به صورت خطی بیان خواهد شد. با دانستن زمان ارسال بسته‌ها و همچنین زمان دریافت آنها در گره مقصد، می‌توان Inter Packet Strain را به صورت زیر محاسبه نمود [۲۰]:

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N+1} \frac{(\tau_i^* - \tau_{i-1}^*) - (\tau_i - \tau_{i-1})}{(\tau_i - \tau_{i-1})} \quad (11)$$

بسته probe شماره  $i$ ، در زمان  $\tau_i$  ارسال شده و در زمان  $\tau_i^*$  در گیرنده دریافت شده است. از اینرو Inter Packet Strain برای  $N$  زوج بسته ارسال، محاسبه شده است. همچنین واریانس آن، به صورت زیر محاسبه شده است:

$$R = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N+1} \left( \frac{(\tau_i^* - \tau_{i-1}^*) - (\tau_i - \tau_{i-1})}{(\tau_i - \tau_{i-1})} - \varepsilon \right)^2 \quad (12)$$

محاسبه واریانس  $R$ ، در محاسبه پهنای باند موجود، بسیار مؤثر خواهد بود [۲۰].

می‌توان رابطه (۹) را به صورت زیر نیز بازنویسی نمود:

$$B = \begin{cases} 0 & u < \beta \\ \alpha u + \beta & u > \beta \end{cases} \quad (13)$$

چنانچه بردار حالت سیستمی را با  $x$  نشان دهیم، معادلات سیستم به صورت زیر بیان خواهد شد:

$$x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \quad (14)$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (15)$$

که در آن  $w_k$  نویز پردازش و  $v_k$  نویز اندازه‌گیری است؛ همچنین در روابط فوق، فرض می‌شود که هیچ ورودی کنترلی به سیستم نداریم. در نتیجه برای محاسبه روابط فیلتر کالمن، با دو دسته رابطه روبرو خواهیم بود:

۱. بروز رسانی زمانی (Time Update (Predict):

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}^- \quad (16)$$

$$\bar{P}_k = A\bar{P}_{k-1}A^T + Q \quad (17)$$

که در آن  $Q$ ، ماتریس کواریانس نویز پردازش و  $A=I$ ، است.

۲. بروز رسانی اندازه‌گیری (Measurement Update(correct):

$$K_k = \bar{P}_k H_k^T (H\bar{P}_k H_k^T + R)^{-1} \quad (18)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k^T \hat{x}_k^-) \quad (19)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (20)$$

بنابراین هنگامی که می‌خواهیم راهکارهای پیش‌رانی را در شبکه‌های اترنت شهری واقعی ارزیابی کنیم، که شامل نواحی دسترسی، تجمع و هسته باشند، این توپولوژی‌ها مناسب‌تر هستند ولی ارزیابی تحلیلی در این توپولوژی‌ها امکان‌پذیر نیست. در چنین شرایطی شبیه‌سازی کامپیوتری کارآمد خواهد بود.

#### ۴-۱-۱- توپولوژی تمام-توری (FM)

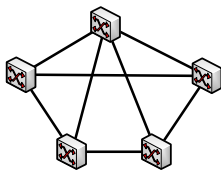
این توپولوژی، یک توپولوژی معروف است که در آن، هر وسیله موجود در شبکه، به منظور افزونگی و حل مشکل قطع ارتباط، یک پیوند نقطه-به-نقطه به سایر وسایل موجود در شبکه دارد. شکل (۵) یک شبکه تمام-توری با ۵ گره را نشان می‌دهد. یکی از مزایای این توپولوژی آنست که به علت وجود ارتباط فیزیکی هر گره با سایر گره‌ها، چنانچه مشکل قطعی یک پیوند رخ دهد، همچنان ارتباط آن گره با سایر گره‌ها برقرار خواهد بود. استفاده از توپولوژی تمام-توری در شبکه‌های اترنت شهری، زمینه مناسبی را جهت دست یافتن به توازن بار بهتر بر روی پیوندها و سوئیچ‌ها فراهم می‌کند و تعداد پرش‌ها را در الگوریتم‌هایی که از چندین درخت پوشا استفاده می‌کنند و یا از یک درخت پوشا و پیوندهای مسدود شده آن استفاده می‌کنند (دسته‌های ۱-۲ و ۲-۲) به مراتب کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، در الگوریتم‌هایی که فقط از یک درخت پوشا استفاده می‌کنند، در توپولوژی تمام-توری، بسیاری از پیوندها مسدود شده خواهد بود. برای مثال در یک شبکه تمام-توری با  $n$  گره، تعداد پیوندها برابر  $\frac{n(n-1)}{2}$  می‌باشد که با اجرای الگوریتم درخت پوشا تنها  $(n-1)$  پیوند فعال بوده و تعداد پیوندهای غیر فعال برابر است با:

$$N_{Blocked-links} = (n-1) \left( \frac{n}{2} - 1 \right) \quad (27)$$

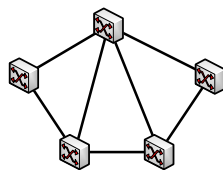
در یک شبکه با توپولوژی تمام-توری، به ویژه وقتی که تعداد گره‌ها زیاد باشد، تعداد پیوندها و درگاه‌ها بسیار زیاد خواهد بود. لذا این توپولوژی بسیار پرهزینه است. این توپولوژی برای ناحیه هسته شبکه‌های اترنت شهری کوچک مناسب است. در بسیاری از تحقیقات، این توپولوژی جهت ارزیابی تحلیلی استفاده شده است.

#### ۴-۱-۲- توپولوژی قسمتی-توری (PM)

همانگونه که عنوان شد توپولوژی تمام-توری بسیارگران خواهد بود. با استفاده از توپولوژی قسمتی-توری می‌توان به یک مصالحه مناسب بین



(ب)



(ف)

شکل (۶): دو شبکه با توپولوژی قسمتی-توری  
Fig. (6): 2 networks with Partial-Mesh Topology.

۱. الگوهای تحلیلی مناسب برای مقایسه تحلیلی راهکارهای پیش‌رانی مختلف.

۲. الگوهای تجربی مناسب برای شبیه‌سازی‌های کامپیوتری.

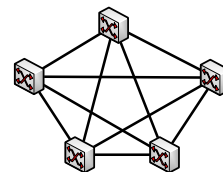
در الگوهای تحلیلی، توپولوژی‌ها ساده و متقارن می‌باشند و مدل‌های ترافیکی با نرخ بیت ثابت بوده و به صورت یکنواخت بین گره‌ها توزیع می‌شوند و معیارهای ارزیابی به منظور ساده‌سازی تحلیل، معمولاً معیارهای کمی می‌باشند. در الگوهای تجربی از مدل‌های واقعی‌تر توپولوژی‌های شهری، مدل‌های واقعی‌تر ترافیکی و معمولاً معیارهای کیفی استفاده می‌شود تا بتوان راهکارهای مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد.

#### ۴-۱-۲- توپولوژی‌های شبکه اترنت شهری

در حالت کلی یک شبکه اترنت شهری شامل سه قسمت اصلی خواهد بود: ناحیه دسترسی، ناحیه تجمع و ناحیه هسته. ناحیه دسترسی ناحیه‌ای از شبکه است که با کاربران انتهایی در تماس است. در ناحیه تجمع، ارتباطات از گره‌های ناحیه دسترسی ( ${}^{13}AN$ ) فاصله گرفته و محل تجمع ادارات مرکزی است که به خطوطی با ظرفیت بالاتر متصل می‌شوند. ناحیه هسته، وظیفه ارسال ترافیک ناحیه تجمع را به گره‌های مرزی  ${}^{13}$  را دارد.

چنانچه در بسیاری از تحقیقات ملاحظه می‌شود، بهترین و نزدیکترین توپولوژی برای نواحی هسته و تجمع اینست که این سوئیچ‌های با ظرفیت بالا توسط توپولوژی تمام-توری (FM) و یا قسمتی-توری (PM) و توسط پیوندهای با ظرفیت بالا به یکدیگر متصل شوند. برای ناحیه دسترسی که شامل ترافیک صدها گره متصل به سوئیچ‌های داخلی که به ناحیه تجمع متصل هستند، می‌باشد، توپولوژی درخت مناسب‌تر خواهد بود. معروفترین توپولوژی‌هایی که تا کنون در تحقیقات جهت ارزیابی الگوریتم‌های پیش‌رانی در شبکه اترنت به کار گرفته شده‌اند عبارتند از: تمام-توری (FM)، قسمتی-توری (PM)، تمام-توری در هسته و قسمتی-توری در ناحیه تجمع (FM-PM)، مشبک ( ${}^{14}GR$ )، درخت حلقه ( ${}^{15}TR$ )، دو خانگی ( ${}^{16}DH$ )، دو خانگی با درخت حلقه (DH-TR) و دو خانگی با درخت قسمتی-توری ( ${}^{17}DH-TPM$ ).

چهار توپولوژی اولی، معمولاً در الگوهای تحلیلی به کار برده می‌شوند که تمرکز بر روی یکی از سه ناحیه (هسته، تجمع و دسترسی) خواهد بود. چهار توپولوژی دیگر، به صورت سلسله‌مراتبی بوده و با مدل مرجع سازگاری دارد.



شکل (۵): توپولوژی تمام-توری (FM)

Fig. (5): Full-Mesh Topology.

توپولوژی FM-PM، به علت سادگی و تقارن، گزینه مناسبی برای ارزیابی تحلیلی راهکارهای پیش‌رانی است.

#### ۴-۱-۴- توپولوژی مشبک (GR)

در توپولوژی مشبک، بسته به اینکه شبکه مشبک چند بعدی باشد، هر گره به ۲ گره همسایه (یا بیشتر) متصل است. یک شبکه مشبک در شکل (۸) نشان داده شده است. اگر شبکه ۱ بعدی باشد و تمام گره‌ها با هم یک حلقه را تشکیل دهند، توپولوژی را حلقه<sup>۱۸</sup> می‌گویند. در عمل توپولوژی مشبک، معمولاً برای شبکه‌های پردازش موازی، کاربرد داشته و گزینه مناسبی برای شبکه‌های اترنت شهری نیست. در شبکه‌های مشبک مربعی، اگر تعداد گره‌ها  $n = m \times m$  باشد، تعداد پیوندها برابر است با:

$$N_{total-links} = 2m(m - 1) \quad (۲۹)$$

لذا تعداد پیوندهای مسدود شده در شبکه‌های مبتنی بر استفاده از یک درخت پوشا برابر است با:

$$N_{Blocked-links} = (m - 1)^2 \quad (۳۰)$$

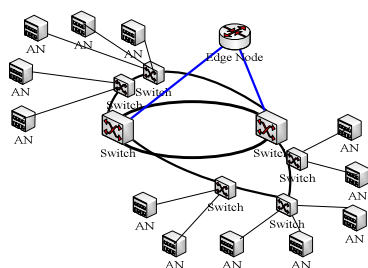
از روابط فوق به وضوح پیداست که با افزایش تعداد گره‌ها به سمت بی‌نهایت، تعداد پیوندهای مسدود شده به ۵۰٪ تعداد کل پیوندها میل خواهد کرد.

در تحقیقات Huynh و همکاران، از توپولوژی مشبک جهت ارزیابی ترمیم خرابی و ارزیابی توازن بار استفاده شده است. همچنین Lin و همکاران، و Sharma و همکاران، از توپولوژی مشبک با پیوندهای 100Mbps، جهت ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی خود استفاده کرده‌اند [۸].

در ادامه به توصیف یکسری از توپولوژی‌های ترکیبی که برای شبکه‌های اترنت شهری مناسب‌تر هستند، می‌پردازیم.

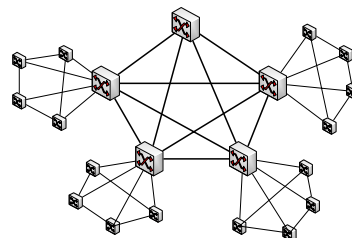
#### ۴-۱-۵- توپولوژی درخت-حلقه (TR)

در این توپولوژی، یک زوج گره در ناحیه هسته به یکدیگر متصل شده و سایر گره‌ها در ناحیه تجمع نیز به صورت حلقوی به این گره‌ها متصل شده‌اند. همچنین گره‌های ناحیه دسترسی، با توپولوژی درختی به ناحیه تجمع متصل می‌شوند. شکل (۹) یک شبکه نمونه با



شکل (۹): یک شبکه با توپولوژی TR

Fig. (9): A typical network with TR Topology.



شکل (۷): یک شبکه با توپولوژی FM-PM.

Fig. (7): A typical network with FM-PM Topology.

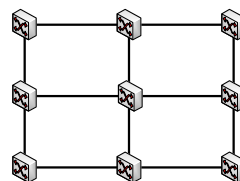
قیمت و بازدهی دست یافت. معمولاً توپولوژی قسمتی-توری به عنوان ستون فقرات شبکه به کار می‌رود. هدف اصلی در استفاده از توپولوژی قسمتی-توری اینست که با استفاده از افزونگی به کارایی بهتر دست یابد. مدل‌های مختلفی از توپولوژی قسمتی-توری وجود دارد. معمولاً توپولوژی قسمتی-توری به عنوان ستون فقرات شبکه به کار می‌رود. هدف اصلی در استفاده از توپولوژی قسمتی-توری این است که با استفاده از افزونگی به کارایی بهتر دست یابد. مدل‌های مختلفی از توپولوژی قسمتی-توری وجود دارد. در یک مدل خاص که برای کاربرد در شبکه‌های شهری مناسب است، یک گره به صورت تمام-توری به سایر گره‌ها متصل بوده و بعضی از گره‌ها تنها به ۱ یا ۲ گره در شبکه متصل هستند. شکل (۶)، نمونه‌هایی از این توپولوژی را نشان می‌دهد. توپولوژی قسمتی-توری به دلیل نیاز به پیوندها و درگاه‌های کمتر به گرانی توپولوژی تمام-توری نیست. این توپولوژی در بسیاری از تحقیقات به عنوان توپولوژی به کار رفته در نواحی هسته و تجمع در نظر گرفته شده است.

#### ۴-۱-۳- توپولوژی تمام-توری در ناحیه هسته و قسمتی-توری در ناحیه تجمع (FM-PM)

در شبکه‌های اترنت شهری، تعداد گره‌های موجود در ناحیه هسته بسیار کمتر از گره‌های ناحیه تجمع می‌باشد. از اینرو می‌توان توپولوژی ناحیه هسته را تمام-توری و توپولوژی ناحیه تجمع را قسمتی-توری در نظر گرفت. شکل (۷) یک شبکه با توپولوژی FM-PM رانمایش می‌دهد.

در این توپولوژی، اگر تعداد گره‌های موجود در ناحیه هسته  $n$  و گره‌های موجود در ناحیه تجمع  $m$  باشد، تعداد کل پیوندها برابر است با:

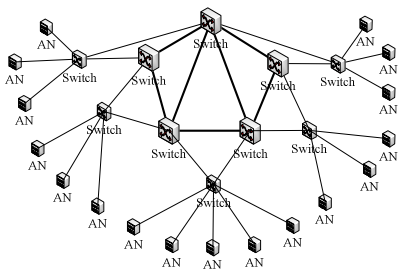
$$N_{total-links} = \frac{1}{2}(n - 1)(n + 4m) \quad (۲۸)$$



شکل (۸): یک شبکه با توپولوژی مشبک

Fig. (8): A typical network with Grid Topology.





شکل (۱۲): یک شبکه با توپولوژی DH-TPM  
Fig. (12): A typical network with DH-TPM Topology.

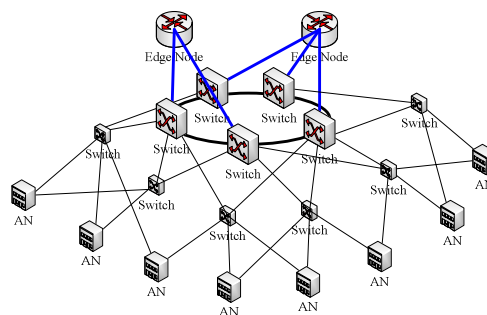
در توپولوژی DH-TR، در ناحیه هسته، از توپولوژی حلقه و برای سوئیچ‌های واقع در ناحیه تجمع از توپولوژی دوخانگی و برای گره‌های واقع در ناحیه دسترسی از توپولوژی درخت استفاده می‌شود. شکل (۱۱) یک توپولوژی DH-TR را نمایش می‌دهد.  
در توپولوژی DH-TPM، در ناحیه هسته از توپولوژی قسمتی-توری و در ناحیه تجمع از توپولوژی دوخانگی و برای گره‌های ناحیه دسترسی از توپولوژی درخت استفاده می‌شود. شکل (۱۲) یک توپولوژی DH-TPM را نمایش می‌دهد.

#### ۵- شبیه‌سازی

در این تحقیق سعی شده است تخمین BART، با استفاده از فیلترکالمن، و برای کاربردهای مختلف شبکه از قبیل CBR، Exponential و Pareto، و با استفاده از شبیه‌ساز NS-2 که داده‌های شبکه را به صورت تقریباً واقعی تولید می‌کند، به دست آید. همانگونه که در بخش قبلی نیز توضیح داده شد، برای استفاده از فیلتر کالمن در BART، از بردار مشاهدات یا همان Inter Packet Strain استفاده می‌نماییم. تغییرات موجود در داده‌ای که قرار است تخمین زده شود، بسیار سریع، تقریباً غیر قابل پیش‌بینی است. لذا در نگاه اول، به نظر می‌رسد که فیلتر کالمن، روش مناسبی برای تخمین پهنای باند موجود، نخواهد بود. ولی در مطالعات نشان داده شده است که فیلتر کالمن در این مورد تا حد خوبی بهتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند. آنچه در این تحقیق، بسیار مهم به نظر می‌رسد، حساسیت سیستم به ماتریس Q، R، و ترافیک شبکه می‌باشد. لذا در این تحقیق سعی شده است تأثیر این پارامترها مورد توجه و بررسی قرار گیرد. قبل از هرچیز لازم است که معیار بهینگی را تعریف نماییم:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left( \frac{\hat{B}_k - B_k}{B_k} \right)^2} \quad (31)$$

که در آن،  $\hat{B}_k$  پهنای باند موجود تخمین زده شده و  $B_k$  پهنای باند موجود واقعی است. در تمامی شبیه‌سازی‌ها فرض بر آنست که سیگنال از کانال AWGN عبور کرده است.



شکل (۱۰): یک شبکه با توپولوژی دوخانگی  
Fig. (10): A typical network with Dual Home Topology.

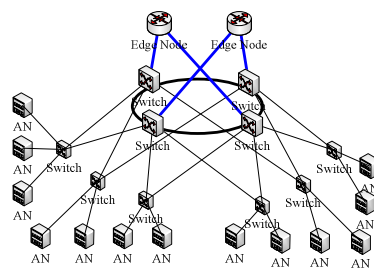
توپولوژی TR را نشان می‌دهد استفاده از توپولوژی حلقه در ناحیه هسته مناسب بوده و عیب عمده این توپولوژی، مهندسی ترافیک ترمیم قطعی ضعیف است. این توپولوژی توسط Huynh و همکاران و همچنین Santos و همکاران استفاده شده است [۸].

#### ۴-۱-۷- توپولوژی دو خانگی

این توپولوژی به منظور غلبه بر مشکلات موجود در توپولوژی حلقه ارائه شده است. در حالت کلی، شامل سه سطح می‌شود: هسته، تجمع و دسترسی. در توپولوژی دوخانگی، هسته از نوع حلقوی بوده و در سطح تجمع و دسترسی، هرگره با دو ارتباط مجزا به دو گره در سطح بالاتر متصل می‌شود. شکل (۱۰)، یک توپولوژی دوخانگی را نشان می‌دهد.

در این توپولوژی قابلیت‌های مهندسی ترافیکی و ترمیم قطعی پیوند وجود دارد. یکی از معایب این توپولوژی، تعداد بسیار زیاد پیوندها از ناحیه دسترسی به ناحیه تجمع و پیچیدگی طراحی توپولوژی است. این توپولوژی در رساله Kern برای ارزیابی الگوریتم ارائه شده استفاده شده است.

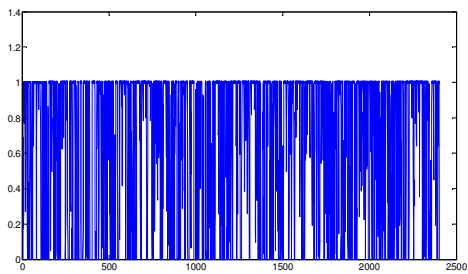
توپولوژی‌های دو خانگی با درخت حلقه (DH-TR) و دو خانگی با درخت قسمتی-توری (DH-TPM) مزایای زیادی در استفاده از توپولوژی دوخانگی وجود دارد ولی تعداد زیاد پیوندها به‌ویژه زمانی که فاصله از ناحیه هسته زیاد باشد، به دلیل هزینه زیاد پیوندها مقرون به‌صرفه و قابل قبول خواهد بود. لذا دو توپولوژی ترکیبی DH-TR و DH-TPM پیشنهاد می‌گردد.



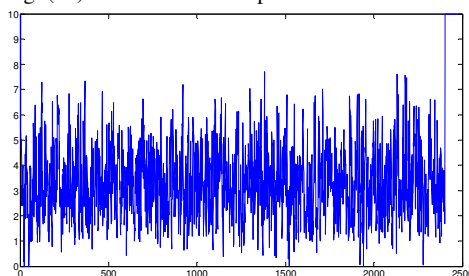
شکل (۱۱): یک شبکه با توپولوژی DH-TR  
Fig. (11): A typical network with DH-TR Topology.

در مدل ترافیکی exponential، پهنای باند بسیار نامنظم است. در واقع به مدل واقعی شبکه نزدیکتر شده است. در این مورد، شیب و عرض از مبدأ برای Inter Packet Strain ثابت نیست. در این قسمت که تغییرات سیستم شدید است، بایستی وزنه‌های  $\alpha$  و  $\beta$  را زیادتر نماییم. شکل‌های (۱۷) تا (۲۱) نتایج حاصل از شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

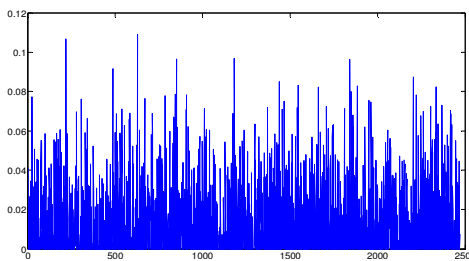
در مدل ترافیکی CBR، منابع با نرخ ثابت به ارسال می‌پردازند. در این حالت در صورتی که ازدحام رخ داده باشد، شیب و عرض از مبدأ Inter Packet Strain تغییری نمی‌کند. این بهترین حالت برای فیلتر کالمن است. نکته جالب نتایج به دست آمده به ازای Qهای مختلف می‌باشد که در شکل‌های (۱۳) تا (۱۶) آورده شده است. هنگامی که سیستم در حالت پایدار است، در این حالت  $Q_{22}$  نباید مقدار بزرگی باشد.



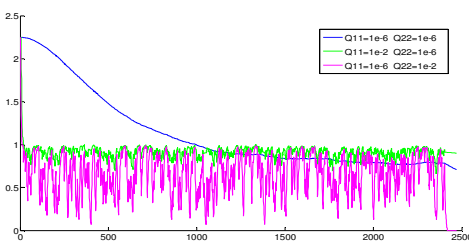
شکل (۱۷): نرخ ارسال منبع برای توزیع نمایی  
Fig. (17): Source rate for exponential traffic model.



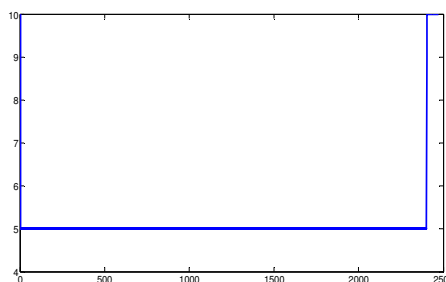
شکل (۱۸): پهنای باند موجود برای توزیع نمایی  
Fig. (18): Available bandwidth for exponential traffic model.



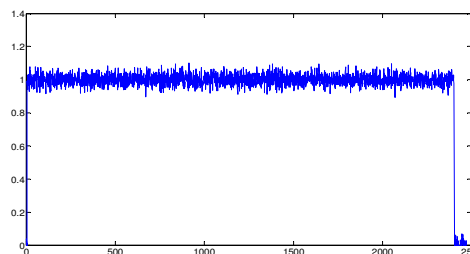
شکل (۱۹): Inter Packet Strain برای توزیع نمایی و Exponential و  $R=0.2975$   
Fig. (19): Inter Packet Strain for Exponential traffic and  $R=0.2975$ .



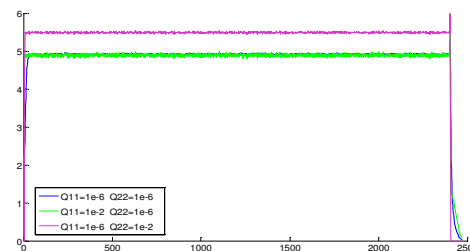
شکل (۲۰): پهنای باند موجود تخمین زده شده برای توزیع نمایی  
Fig. (20): Estimation of Available bandwidth for exponential traffic model.



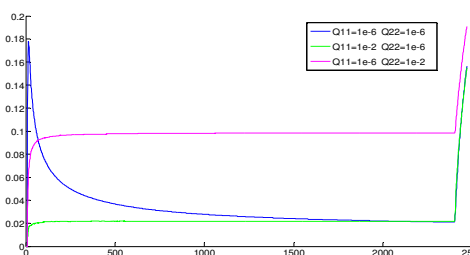
شکل (۱۳): پهنای باند موجود لینک برای توزیع ترافیکی CBR  
Fig. (13): Available bandwidth for CBR traffic model.



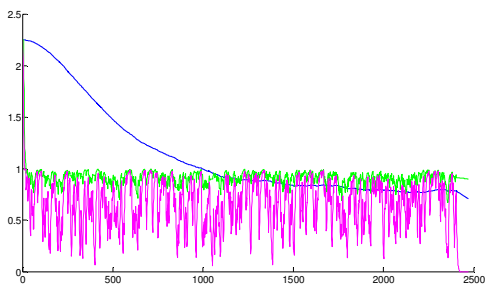
شکل (۱۴): Inter Packet Strain برای ترافیک CBR و  $R=0.001$   
Fig. (14): Inter Packet Strain for CBR traffic and  $R=0.001$ .



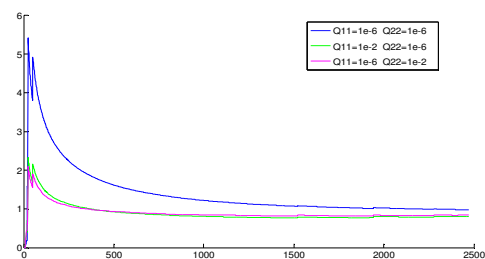
شکل (۱۵): تخمین پهنای باند موجود لینک برای ترافیک CBR  
Fig. (15): Available Bandwidth estimation for CBR traffic.



شکل (۱۶): RMSE برای ترافیک CBR  
Fig. (16): RMSE for CBR traffic.



شکل (۲۵): پهنای باند موجود تخمین زده شده برای Pareto  
Fig. (25): Estimation of Available bandwidth for Pareto traffic model.

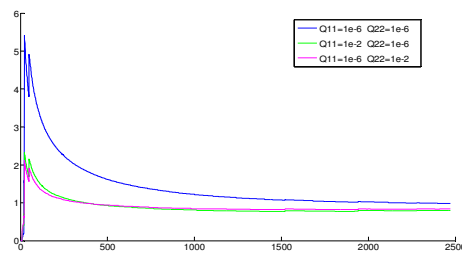


شکل (۲۶): RMSE برای Pareto  
Fig. (26): RMSE for Pareto traffic.

برای شبیه سازی کلی مدل ترافیک ویدئویی از نرم افزار OPNET استفاده شده است. توپولوژی را بر اساس اطلاعات فصل قبل، از توپولوژی DH-TR استفاده می کنیم که در آن تعداد گرهها مطابق شکل (۱۱) در نظر گرفته شده است. ترافیکهایی تصادفی در شبکه اجرا می گردد. ظرفیت لینکها تصادفی بین 100Mbps تا 10Gbps در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده از نرم افزار با نتایج تقریب زده شده مقایسه شده است. به منظور تعیین پارامترهای مدل سازی ترافیکی، نیازمند پهنای باند تقریبی در کانال هستیم که با توجه به مطالب عنوان شده در فصل قبلی قابل استخراج است.

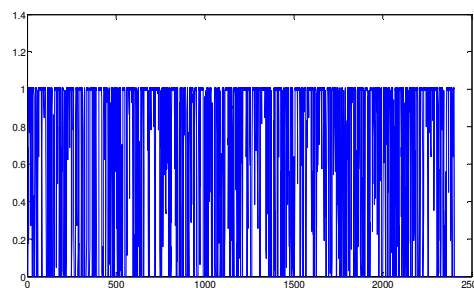
برای نشان دادن نحوه عملکرد مدل تقریب زده شده، سه لینک با سه ظرفیت حداکثری برابر با 1Mbps، 10Mbps و 100Mbps انتخاب شده اند. ترافیک واقعی و ترافیک تقریب زده با ارسال ۶۵۰۰ فریم در شکل های (۲۷) تا (۲۹) نمایش داده شده است.

چنانچه ملاحظه می شود، مدل ارائه با تقریب خوبی، رفتار ترافیک اصلی را تعقیب می نماید. ولی این تقریب با خطایی همراه است. این خطاها در لینک های با ظرفیت پایین تر که بار ترافیک ویدئویی کمتری

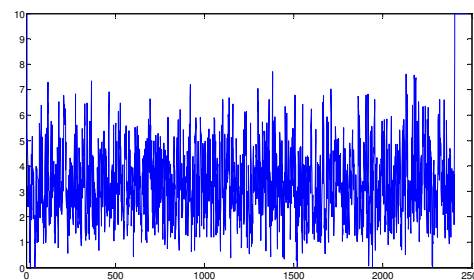


شکل (۲۱): RMSE برای توزیع نمایی  
Fig. (21): RMSE for exponential traffic.

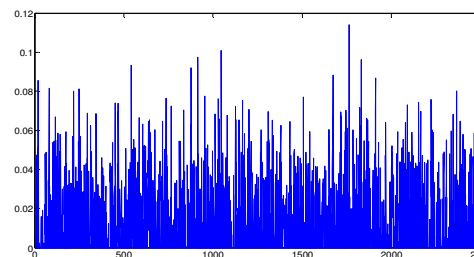
نتایج به دست آمده برای مدل ترافیکی Pareto نیز مشابه توزیع نمایی است. به علت تغییرات ناگهانی و سیستم ناپایدار، بایستی وزنهای  $\alpha$  و  $\beta$  را تغییر دهیم. این سبب می شود هیچ گاه به پهنای باند واقعی دسترسی نداشته باشیم. شکل های (۲۲) تا (۲۶) نتایج حاصل از شبیه سازی را نشان می دهد.



شکل (۲۲): نرخ ارسال برای Pareto  
Fig. (22): Source rate for Pareto traffic model.



شکل (۲۳): پهنای باند موجود برای Pareto  
Fig. (23): Available bandwidth for Pareto traffic model.



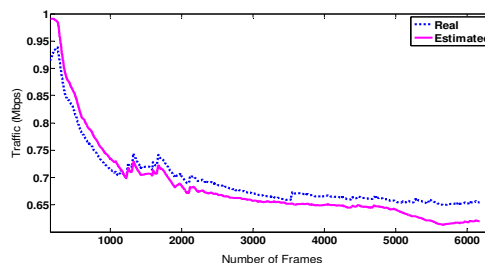
شکل (۲۴): Inter Packet strain برای Pareto و  $R=0.2970$   
Fig. (24): Inter Packet Strain for Pareto traffic and  $R=0.2970$ .

### ۶- جمع‌بندی نتایج

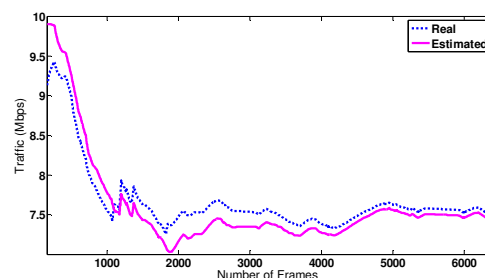
در این مقاله مدل‌های ترافیکی رایج در شبکه‌های مخابرات مورد بررسی قرار گرفت و برای مدل‌سازی ترافیک آن از تصاویر MPEG-4 استفاده شد. برای تخمین پهنای باند کانال از روش فیلتر کالمن استفاده گردید. همچنین توپولوژی‌های رایج برای مدل‌سازی شبکه‌های اینترنت شهری ارائه و مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت مدل ارائه شده با نتایج حاصل از نرم‌افزار OPNET مقایسه و نشان داده شده که مدل ارائه شده تا چه حد به واقعیت نزدیک است.

### پی‌نوشت:

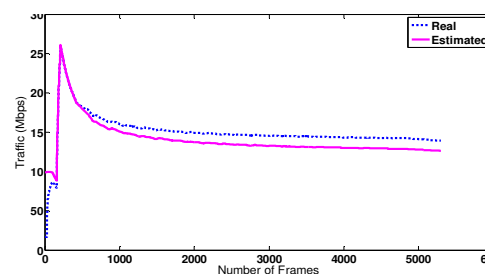
- 1- Ethernet
- 2- Remote login
- 3- Video on Demand
- 4- High definition TV
- 5- Moving Picture Expert Group
- 6- Transform Expand Sample (TES)
- 7- Bandwidth Available in Real Time
- 8- Kalman Filter
- 9- Router
- 10- First-Come-First-Served
- 11- Congestion
- 12- Access Node (AN)
- 13- Edge Node
- 14- Grid (GR)
- 15- Tree Ring (TR)
- 16- Dual Home (DH)
- 17- Dual Home-Tree Partial Mesh (DH-TPM)
- 18- Ring



شکل (۲۷): مقایسه پهنای باند اشغال شده برای ترافیک ویدئویی در مقایسه با تخمین به کار رفته برای یک لینک 1Mbps  
Fig. (27): Comparison of used Bandwidth for video traffic width estimaton for 1Mbps link.



شکل (۲۸): مقایسه پهنای باند اشغال شده برای ترافیک ویدئویی در مقایسه با تخمین به کار رفته برای یک لینک 10Mbps  
Fig. (28): Comparison of used bandwidth for video traffic width estimaton for 10Mbps link.



شکل (۲۹): مقایسه پهنای باند اشغال شده برای ترافیک ویدئویی در مقایسه با تخمین به کار رفته برای یک لینک 100Mbps  
Fig. (29): Comparison of used bandwidth for video traffic width estimaton for 100Mbps link.

بر روی آن‌ها قرار داده شده است، بیشتر و بر روی لینک‌هایی ظرفیت بیشتری داشته‌اند، کمتر است و نهایتاً می‌توان گفت که خطا به میزان ثابتی می‌رسد. این رفتار بر روی سایر لینکها نیز مشاهده می‌شود. دلیل این خطا وجود تقریب‌های مکرری است که در این تحقیق به کار گرفته شده است.

### References

- [1] R.C. Sofia, "A survey of advanced ethernet forwarding approaches", IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 1, pp. 92-115, 2009.
- [2] G. Ibanez, A. Garcia-Martinez, A. Azcorra, I. Soto, "ABridges: Scalable, self-configuring ethernet campus networks", Computer Networks Journal, Elsevier, Vol. 52, No. 3, pp. 630-649, 2008.
- [3] J.H. Sarker, "Models for video traffic", Communication Lab., Helsinki University of Technology, Finland, 1999.
- [4] G. Benke, J. Brandt, H. Chen, S. Dastango, "Performance analysis of ATM ABR service under self-similar traffic in the presence of background VBR traffic", Sandia National Labs., Livermore, CA (United States), 1996.
- [5] A. Matrawy, I. Lambadaris, C. Huang, "MPEG4 traffic modeling using the transform sample methodology", Broadband Networks Lab, Carlton University, Canada, 2004.
- [6] A. Iazzaris, P. Koutsakis, "Modeling multiplexed traffic from H.264/AVC video conference streams", J. of COMCOM, Elsevier, Vol. 33, pp. 1235-1242, 2010.
- [7] F. Faghani, G. Mirjalily, F. Adibnia, "Estimation of bandwidth available in real-time computer networks by kalman filter", Proc. of CSICC, Kish, Iran, 2008.
- [8] F. Faghani, G. Mirjalily, R. Saadat, F. Hendessi, "Toward benchmarks for evaluation of forwarding strategies in metro ethernet networks", Proc. of International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSyN), pp. 114-119, Bali, Indonesia, 2011.
- [9] V. S. Frost, B. Melamed, "Traffic modeling For telecommunications networks", IEEE Communication Magazine, pages: 70-81, 1994.
- [11] K. Kim, H.A. Latchman, "Statistical traffic modeling of MPEG frame size: Experiments and Analysis", J. of Systemics, Cybernetics and Informatics, Vol. 7, No. 6, 2009.
- [12] S. Kouremenos, S. Domoxoudis, V. Loumos, A. Drigas, "Measurement modeling and simulation of video conference traffic from VBR video encoders", In proceeding of the 2nd Inter. Working Conf. on Performance Modelling and Evaluation of Heterogeneous Networks, 2004.
- [13] A.D. Plessis, M.A. van Wyk, "Modeling of ethernet traffic with self-similar processes",
- [14] B. Maglaris, D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson, J.D. Robbins, "Performance models of statistical multiplexing in packet video communications", IEEE Transaction on Communications, Vol. 36, pp. 834-844, 1988.
- [15] F. Fitzek, M. Reisslein, "MPEG-4 and H.263 video traces for network performance evaluation", Technische Universität Berlin, Technical report, Vol. 15, No. 6, pp. 40-54, 2001.
- [16] A.W. Berger, Maurizio Naldi, Livia De Giovanni, and Manuel Villén-Altamiran, "Standardization of traffic measurements and models for broadband networks: open issues", Journal of Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 30, Issue 14, pp. 1327-1340, 1998.
- [17] MOTOROLA Inc., "Overview of MPEG standards in 3DTV", www.motorla.com, 2010.
- [18] J.Y. Kang, Sandeep K. Gupta, Jean-Luc Gaudiot, "An efficient data-distribution mechanism in a processor-in-memory (PIM) architecture applied to motion estimation", IEEE Transactions on Computers, Vol. 57, No. 3, pp. 375-388, 2008.

