

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هشت، آبان ماه ۹۹

## مکان‌گزینی و بهینه‌سازی پوشش دوربین‌های مدار بسته به منظور حمایت از مونیورینگ بهتر با استفاده از الگوریتم S-ROPE و بصری‌سازی سه‌بعدی

جعفر کریمی<sup>۱</sup>

محمد حسن وحیدنیا<sup>۲\*</sup>

[yahidnia84@gmail.com](mailto:yahidnia84@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۱۰

### چکیده

زمینه و هدف: در جوامع مدرن مونیورینگ براساس دوربین‌های مدار بسته مسئله‌ای ضروری برای حفظ محیط زیست و امنیت اجتماعی به شمار می‌آید. بهینه‌سازی شبکه‌های دوربین و نحوه طراحی شبکه آن‌ها از جمله چالش‌های مطالعات شبکه‌های دوربین است. هدف از این مقاله توسعه شیوه‌ای مکانمند برای یافتن پیکربندی دوربین‌های مدار بسته جهت ایجاد حداکثر پوشش تصویری ممکن در یک فضای شهری است.

روش بررسی: به‌طور کلی این پژوهش در دو مرحله در سال ۹۶ انجام گرفته است. در مرحله اول اعمال الگوریتم مکانیابی دوربین‌ها در فضای دو بعدی صورت می‌پذیرد و خروجی به دست آمده از آن در مرحله دوم در فضای سه بعدی و به صورت بصری تجزیه و تحلیل می‌گردد. اولین مرحله با استفاده از نرم افزار ArcGIS و زبان برنامه نویسی Python انجام پذیرفت و از الگوریتم S-ROPE به عنوان روشی با میزان دقت بالا در زمینه استقرار دوربین‌ها استفاده شد. ضمن این که تعدیلاتی در الگوریتم شامل زاویه دید و غیر دودویی بودن منطقه انجام گرفت. در مرحله دوم از مدلسازی سه بعدی در محیط Engine city برای اعتبارسنجی خروجی به دست آمده در یک محدوده شهری استفاده شد.

یافته‌ها: با الگوریتم S-ROPE یک مکان‌گزینی اتوماتیک برای دوربین‌ها انجام گرفت به گونه‌ای که مساحت ۱۷۹۸/۲۸ متر مربع از کل مساحت ۱۹۵۳/۹۸ مترمربعی محدوده مطالعاتی، یعنی ۹۲٪، تحت پوشش قرار گرفت. پس از بررسی سه بعدی تنها دو عدد دوربین به مجموع دوربین‌ها برای پوشش ۱۰۰٪ اضافه شد.

بحث و نتیجه‌گیری: با روش پیشنهادی اولاً در تعداد دوربین‌های به کار رفته به تعداد قابل توجهی صرفه جویی صورت می‌پذیرد و در عین حال بیشترین پوشش ممکن نیز به دست خواهد آمد. تنها چالش پیش رو زمان اجرای فرآیند برای مساحت‌های بزرگ می‌باشد که با توجه به غیر آنی بودن ماهیت مسئله، خللی در روش پیشنهادی ایجاد نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: خط دید و تحلیل محدوده دید، دوربین‌های مدار بسته، بصری‌سازی سه بعدی، S-ROPE روش ساده رتبه بندی و حذف همپوشانی

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.  
۲- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

# **Locating and Optimizing Coverage of CCTV Cameras to Support Better Monitoring Using S-ROPE Algorithm and 3D Visualization**

**Jafar Karmi**<sup>1</sup>

**Mohammad H. Vahidnia**<sup>2\*</sup>

[vahidnia84@gmail.com](mailto:vahidnia84@gmail.com)

Admission Date: October 24, 2018

Date Received: July 1, 2018

## **Abstract**

**Background and Objective:** Modern surveillance systems based on CCTV cameras is an essential element for protecting the environment and social security. Camera network optimization and designing its architecture are among the issues of camera network studies. The purpose of this paper is to develop a geospatial solution to find configurations for CCTV cameras in such a way that creates the maximum possible visual coverage in an urban area.

**Methods:** In general, this research is performed in two steps. In the first step, the algorithm is used to locate cameras in two-dimensional space, and the resulting output is analyzed in the second step in a three-dimensional space and visually. The first step was performed using ArcGIS software and Python programming language, and the S-ROPE algorithm was used as a high-precision method for 2D camera deployment. After the modifications were made at the viewing and non-binary regions of the region, the location of the cameras was determined. In the second stage, the three-dimensional model of City Engine software was used to validate the output obtained using the S-ROPE algorithm. The evaluation of the applied method was performed on an urban study area.

**Findings:** With the S-ROPE algorithm, an automated location determination for cameras was taken so that the area of 1798.28 m<sup>2</sup> was covered by a total area of 1953.98 m<sup>2</sup> of study area, i.e. 92%. After a three-dimensional review, only two cameras were added to the total of cameras to cover 100%.

**Discussion and Conclusion:** With the proposed method, the number of cameras used makes significant savings, and the most possible coverage is achieved. The only challenge is the process time for large areas, which, due to the non-urgent nature of the problem, does not create a dent in the proposed method.

**Keywords:** Line of Sight and Visibility Analysis, Close Circuit Television (CCTV), 3D Visualization, Simple Rank and Overlap Elimination Method (S-ROPE).

---

1- M.Sc., Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resource and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resource and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. \*(Corresponding Author)

## مقدمه

CAD انجام می‌گرفته است. در نتیجه، می‌تواند پوشش تصویری بیش از حد و یا ناقص فضای باز را به وجود بیاورد و در اثر آن اتلاف هزینه صرف شده برای تهیه شبکه CCTV را در پی خواهد داشت. علاوه بر این افراط در نصب این دوربین‌ها به زیبایی منظر شهری نیز لطمه وارد می‌کند. انتخاب مکان بهینه برای سایت‌های نظارت بصری در یک فضای باز شبیه به مسئله هندسه محاسباتی شناخته شده NP-hard، موسوم به مشکل گالری هنر<sup>۲</sup> (AGP)<sup>۳</sup> (۴) و نیز به طور گسترده‌ای مشابه مشکل تخصیص مکان در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. Fisk با ارائه یک الگوریتم سه رنگی<sup>۴</sup>، استدلالی مختصر و زیبا از این محاسبه بدترین حالت تعداد نگهبانان فراهم کرد (۵). در پژوهش‌های دیگری Bose و همکاران (۶) و همچنین Marengoni و همکاران (۷) مشکل گالری هنر را برای حل سه بعدی مسائل امنیتی در نظر گرفتند. Cole و Sharir نشان دادند که مشکل نظارت بر سطح یک NP-complete است (۸). Eidenbenz نیز استدلال‌ها و الگوریتم تقریبی برای این مشکل پیشنهاد نموده است (۹). مشکل گالری هنر موضوع کار بسیاری تحقیقات نظری و الگوریتم‌های کارآمد پیشنهاد شده برای راه حل موضوع نظارت بصری است و البته همچنان محور تمرکز فعالیت‌های پژوهشی نیز می‌باشد. برخی از تحقیقات علاقه مند به پرداختن به محدوده دید گارد یا همان ناظر (مثلاً دوربین) بوده‌اند (۱۰) و (۱۱). اما به طور کلی قابلیت‌های غیر واقعی برای نگهبان فرض می‌شود. به عنوان مثال، منطقه دید نامحدود و در نتیجه، روش توسعه یافته برای گالری هنری با این فرض ممکن است مناسب برای مکانیابی استقرار سنسورها نباشند. علاوه بر این، هیچ‌گونه قابلیت‌هایی برای در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه یا ناهمگن بودن منطقه وجود ندارد. درحالی که در عمل ممکن است فقط تعداد مشخصی از سنسورها به علت هزینه لحاظ شوند و یا

نصب دوربین‌های مداربسته یکی از روشهای هوشمند و موثر کنترل افراد، پایش محیط زیست و پیشگیری از جرایم است (۱). در حال حاضر کشورهای اروپایی و پیشرفته از این روش بهره می‌گیرند، به عنوان مثال انگلستان با نصب دوربین‌های متعدد در خیابانها و مناطق عمومی شهر، به کشور دوربین‌ها معروف شده است. شبکه این سیستم‌های نظارتی به تمامی خیابانها، مدارس و گاهی حتی داخل اتاقهای کار نیز سرایت می‌کند. بارزترین مورد آن در منطقه خاور میانه شهر تجاری و بندری دبی در امارت متحده عربی است که بنا بر ادعای مسئولان امنیتی در این شهر هیچ نقطه از شهر دبی خارج از دید دوربین‌های مداربسته<sup>۱</sup> آنها نیست (۲). دوربین‌های مداربسته‌ای که این روزها در گوشه و کنار شهر می‌بینیم، تا به حال کاشف بسیاری از سرقتها و جنایتها بوده‌اند سیستم‌های نظارتی می‌توانند از نحوه رفتار و عملکرد مجرمان سابقه دار در اماکن عمومی اطلاع یابند و بر آنها نظارت کنند (برای مثال افرادی که از فروشگاههای بزرگ سرقت می‌کنند). اپراتورهای این سیستم‌ها معمولاً چهره این گونه افراد را می‌شناسند و از طریق دوربین‌ها بر حرکات آنان نظارت می‌کنند که در حقیقت این روش نسبت به کارگیری نیروهای پلیس بسیار بهتر می‌نماید (۳). استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و فناوری‌های جدید، جهت هر چه بهتر نمودن موقعیت این دوربین‌ها و کاهش آن‌ها و در عین حال پوشش بیشتر، موضوعی است که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود. از آنجا که بسیاری از تجزیه و تحلیل‌های مربوط به پوشش دوربین‌ها فضایی و جغرافیایی می‌باشد، لذا GIS در این زمینه می‌تواند نقش پررنگی داشته باشد. شبکه دوربین‌های مدار بسته (CCVT) یکی از متداولترین اشکال نظارت بصری در محیط‌های اداری و فضاهای عمومی در محیط می‌باشد. به طور سنتی، طراحی شبکه‌های نظارت بصری از نوع CCTV توسط معماران و طراحان چشم‌انداز شهری از طریق یک روند تکراری و فرایند gut feel با استفاده از نرم افزار

۲- چالش در AGP این است که حداقل تعداد نگهبانان مورد نیاز برای پوشش کامل بصری یک گالری هنری را پیدا کنیم.

3- Art Gallery Problem

4- Three-coloring algorithm

1- Closed-Circuit Television (CCTV)

هزینه را در فرایند استقرار دوربین ها را در نظر گرفتند (۱۰). آنها راه حل این مشکل را با استفاده از بهینه سازی دودویی به عنوان یک مسئله فضایی گسسته یافتند. هدف اصلی مکانیابی بهینه دوربین ها تعیین موقعیت ناظر (دوربین) است، تا اشراف بصری کامل بر چشم انداز مورد نظر داشته باشد. Bocca و همکاران در پژوهش خود این هدف را با رویکرد علمی دنبال کرده اند (۱۹). Ercan و همکاران همچنین مکانیابی استقرار دوربین ها در یک شهرک مسکونی را مورد مطالعه قرار داده اند (۲۰). Bodor و همکاران مکانیابی استقرار دوربین ها را با در نظر گرفتن پارامترهای محدودیت های مالی، محدودیت های فیزیکی و تفاوت بخش های مختلف منطقه از لحاظ اهمیت نظارتی مورد مطالعه قرار دادند (۲۱). Fehr و همکاران مباحث تحلیل سه بعدی و همچنین سنسورهای سه بعدی و اتوماتیک را مورد بررسی قرار داده اند (۲۲). Ghosh به طور مفصل و از زاویه ای جدید به مسأله گالری هنری پرداخته است و راه حل های ارائه شده برای این مسأله را مورد نقد و تحلیل قرار داده و نقاط ضعف و قوت آنها را بیان نموده است (۲۳). یعقوبی و همکاران در یک مقاله مفصل و طی فرایندی سه مرحله ای مدلی برای استقرار بهینه دوربین ها در شهر بندری جده در عربستان سعودی را ارائه داده اند (۲۴). در مرحله اول از این مدل یک نمودار Voronoi از رد پای<sup>۷</sup> ساختمان ها تولید شد و دوربین ها در لبه های Voronoi قرار گرفتند، سپس در مرحله دوم سطح پوشش از طریق محاسبه محدوده دید بر اساس یک مدل رقومی ارتفاع از منطقه مورد نظر ارزیابی گردید. با توجه به این مقدمه هرچه بهتر انجام گرفتن تعیین مکان این دوربین ها و بهبود پوشش آن ها در سیستم های اطلاعات جغرافیایی به مسئله اصلی این تحقیق تبدیل می شود. به طور کلی آنچه مد نظر این پژوهش است، یافتن راه حلی به منظور انجام عملیات مکان گزینی و بهبود پوشش دوربین ها در دو مرحله می باشد. در مرحله اول اعمال الگوریتم مکانیابی و تخصیص دوربین ها در فضای دو بعدی انجام گیرد و پس از آن خروجی به دست آمده در فضای سه بعدی و به صورت بصری

برخی از مناطق برای نظارت، بیشتر از بقیه اهمیت داشته باشند. از آن جا که Floriani و همکاران (۱۲) نشان دادند تعیین حداقل مجموعه ای از نقاط دید معادل با مشکل پوشش مجموعه<sup>۱</sup> است، پس مدل های پوشش محل، کارایی بیشتری برای حل مشکلات پوشش دید<sup>۲</sup> دارند. Lee و Goodchild (۱۳) و در تحقیق دیگری Lee (۱۴) با اعمال مشکلات پوشش مجموعه محل و پوشش حداکثری محل، مشکلات پوشش سطوح ناهموار را مورد بررسی قرار داده و این مشکلات را با استفاده از رویکردهای حریمانه<sup>۳</sup> حل نمودند. Kim و همکاران این مشکلات را بر روی مدل رقومی ارتفاع (DEM) مورد بررسی قرار داده و با استفاده از تکنیک های ابتکاری آنها را حل نموده اند (۱۵). Kaucic و Zalik مشکل پوشش چند سطحی<sup>۴</sup> را بر اساس مسأله مجموعه پوشش محل معرفی نموده و پیشنهادی برای حل آن ارائه کرده اند (۱۶). مسائل مربوط به پوشش سطح، با LSCP<sup>۵</sup> و MCLP<sup>۶</sup>، و نیز مجموعه مسائل بهینه سازی NP-complete مرتبط هستند. بدین معنا که هنگام تلاش برای حل این مسائل، مشکلات و چالش های محاسباتی مورد انتظار است. قرار دادن تجهیزات مانند دوربین ها در سیستم های نظارتی شهری (داخلی و خارجی) نیز مورد بحث قرار گرفته است (۱۰ و ۱۷). سیستم های نظارت از چندین جهت، مانند آشکارسازی شی، شناسایی، ردیابی، تجزیه و تحلیل فعالیت ها و تلفیق داده ها و نیز مکانیابی استقرار آنها قابل مطالعه هستند. اکثر تحقیقات در مورد سیستمهای نظارتی بر روی موارد اولیه متمرکز شده و عمدتاً مورد مکانیابی را نادیده گرفته اند (۱۸). Pavlidis و همکاران یک استثنا است، آنها در یک سیستم تجزیه و تحلیل گسترده تر مسأله استقرار دوربین ها را مورد بحث قرار داده و تجهیزات را با استفاده از استدلال ad hoc مستقر نمودند (۱۷). Erdem و Sclaroff قابلیت های دوربین ها، نظیر میدان دید، تفکیک مکانی و عمق میدان، و محدودیت های

- 1- set covering problem
- 2- visibility coverage problems
- 3- greedy approaches
- 4- multiple terrain covering problem
- 5- location set covering problem
- 6- maximal coverage location problem

7- buildings' footprints

در بالای سطح قرار گیرد، دو نقطه به طور متقابل قابل مشاهده می‌باشند. برای مثال در شکل ۱ نقطه  $\delta_2$  از  $\delta_1$  قابل مشاهده است، اما غیر قابل مشاهده از نقطه  $\delta_3$  می‌باشد. این بدان دلیل است که پاره خط  $\delta_1\delta_2$  بالای سطح قرار دارد، اما  $\delta_2\delta_3$  به وسیله سطح قطع شده است.

#### ۱- مکان‌گزینی دو بعدی استقرار دوربین‌ها

رتبه بندی تصادفی و از بین بردن همپوشانی (S-ROPE) اساساً یک شیوه ابتکاری (۲۷) مبتنی بر جستجوی حریص و رتبه بندی ساده و از بین بردن همپوشانی<sup>۳</sup> است. تکنیک ROPE ساده با انتخاب ناظر دارای بالاترین رتبه شروع می‌شود و سپس کل ناظران در  $N$  را که از ناظر با بالاترین رتبه قابل مشاهده می‌باشند، حذف می‌کند. این مرحله سپس برای ناظر با بالاترین رتبه بعدی ادامه می‌یابد، تا زمانی که  $N$  به طور کامل تخلیه بشود. شبه کد زیر نشان می‌دهد که چگونه ROPE می‌تواند پوشش کامل بصری را با چند ناظر ایجاد بکند:

```
while (N ≠ ∅) {
    Get  $v_i \in N$  with maximum rank i.e.  $|a_i|$ 
    Add  $v_i$  to  $\alpha$ 
    Remove  $a_i$  from N
} loop
```

که در آن  $\alpha$  مجموعه ناظران بهینه است. بار محاسباتی تکنیک ROPE بین  $O(1)$  و  $O(|N|)$  برای هر دو مورد فشرده همپوشانی متقابل است، یعنی یک پوشش کامل بصری از فضای باز توسط یک ناظر و بدون هیچ همپوشانی بین مناظر منحصر به فرد. شکل ۲ خروجی روش ROPE را نشان می‌دهد که بیان‌کننده موقعیت ۱۳ ناظر مطلوب است، اگر چه در واقع تنها ۹ ناظر برای پوشش کامل بصری کافی می‌باشند. این مثال یک ضعف کلیدی الگوریتم‌های نوع جستجوی حریص را نشان می‌دهد: نتیجه، بستگی به راه حل انتخاب شده در مرحله اول دارد. بنابراین، در حالت خاص، روش ROPE مجموعه‌ای ناظران را کاهش می‌دهد هرچند که

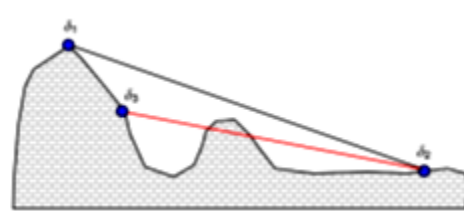
تجزیه و تحلیل گردد، تا به مناسبترین حالت استقرار دوربین‌ها برای دستیابی به پوشش بهتر دست پیدا کنیم.

#### روش بررسی

#### تجزیه و تحلیل محدوده دید

ناحیه تحت پوشش یا قابل مشاهده یک ناظر، محدوده دید آن ناظر را تشکیل می‌دهد. محدوده قابل مشاهده به سبب ویژگی‌های جغرافیایی، مانند ساختمان‌ها و درختان و همچنین ویژگی‌های ناظر (دوربین) محدود شده است. چنین ویژگی‌هایی شامل ارتفاع نسبی، فاصله عمودی از سطح و قابلیت‌های ناظر، مانند محدودیت‌های زاویه افقی و عمودی است. ناحیه قابل مشاهده یک ناظر شبیه مفهوم برد در نظریه مکان مرکزی<sup>۱</sup> می‌باشد که در آن دید به واسطه حداکثر فاصله موثر محدود می‌شود. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای مشخص کردن محدوده قابل مشاهده یک ناظر، با توجه به توانایی‌های محاسبات هندسی آنها مفید هستند. محدوده قابل رویت<sup>۲</sup>، منطقه‌ای قابل رویت از یک نقطه ( $v$ ) با مختصات معین  $(x, y, z)$  است. یک محدوده قابل رویت  $\Phi(v)$  را می‌توان به عنوان مجموعه‌ای از نقاط یا سلول‌های سطح  $D$  تعریف کرد که از  $V$  قابل مشاهده می‌باشند و تا بخشی از حداکثر فاصله  $r$  از نقطه دید ادامه می‌یابد (۲۵). به زبان ریاضی؛

$$\text{Viewshed } \Phi(v) = f(v, D, r) = \{\delta \in D \mid d(v, \delta) \leq r \text{ and } \delta \text{ visible from } v\} \quad (1)$$



شکل ۱- خط دید و قابلیت دید

Figure 1. Line of sight and viewshed

محاسبه محدوده قابل مشاهده بر روی سطح معمولاً بر اساس خط دید است. اگر پاره خط متصل به دو نقطه به صورت واضح

```

for each  $v_i \in N$ 
  Add  $v_i$  to  $\alpha$ 
  Remove  $a_i$  from  $N$ 
  while ( $N \neq \emptyset$ ) {
    Get  $v_i \in N$  with maximum rank
    i.e.  $|a_i|$ 
    Add  $v_i$  to  $\alpha$ 
    Remove  $a_i$  from  $N$ 
  } loop
} loop

```

تضمین پوشش بصری کامل فضای باز ممکن است لزوماً با حداقل تعداد ناظران بهینه تحقق نیابد (به عنوان مثال، به شکل ۲- ت مراجعه شود). یک تکنیک ساده برای بهبود روش ROPE، پیروی از یک رویکرد تصادفی است که اجازه می‌دهد تا یک ناظر بالقوه (یا حتی هر ناظر برای یک مورد جامع) انتخاب شده به صورت تصادفی به عنوان اولین راه حل معرفی گردد، نتیجه این کار N مجموعه از ناظران بهینه خواهد بود که از میان آنها کوچکترین مجموعه، مجموعه بهینه ناظران می‌باشد. شبه کد S-ROPE برای اجرای جامع این روش به شرح زیر است (که در آن  $\alpha$  مجموعه ناظران بهینه است):



شکل ۲- یک فضای باز چند ضلعی. الف- شبکه متراکم از بیش از ۲۰,۰۰۰ ناظر بالقوه، ب- بزرگترین چند ضلعی قابل

مشاهده و منشأ آن، ت- ۱۳ ناظر مبتنی بر ROPE (مربع پر شده) و ۹ ناظر بهینه صحیح (دایره های توخالی).

Figure 2. An outdoor polygon; a) dense network of more than 20,000 potential observers, b) The largest visible polygon and its origin, c) 13 ROPE-based observers (filled squares) and 9 correct optimal observers (hollow circles)

S-ROPE مشکل نابرابری فضایی را از طریق یکی از آزمونهای بی نظیر اتحاد و نابرابری کاهش می‌دهد. در این تحقیق الگوریتم S-ROPE در محیط GIS و با زبان Python جهت اعمال در منطقه اجرا می‌شود.

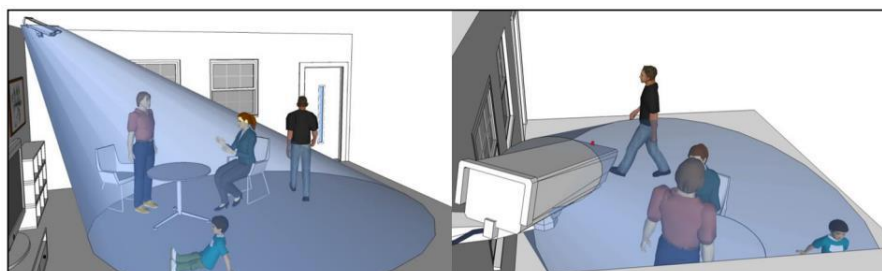
## ۲- بازسازی مدل سه بعدی شهری و بهینه سازی پوشش دوربین ها

هر دوی مدل GIS و سه بعدی منطقه مورد مطالعه باید قبل از طراحی سیستم نظارت تصویری ایجاد شوند. جهت دستیابی به بهترین نتایج از لحاظ مکان نصب یا استقرار دوربین های مدار بسته و نیز تحرک بدون محدودیت آنها، نیاز به مدل سه بعدی شهری از مناطق نظارت شده و کل منظره شهر است. هنگامی که اشیاء یا مناطق در فضای باز تحت نظارت قرار می‌گیرند، اشیاء متحرک در ناحیه تحت نظارت ممکن است بخشی از نمای آنها را مهار کنند (۲۶). نقاط کور می‌تواند در پشت

در نتیجه بار محاسباتی به دامنه بین  $O(1)$  و  $O(|N|^2)$  افزایش می‌یابد. بار محاسباتی می‌تواند با انتخاب پیشینی ناظران بالقوه که برای تست ناظران بهینه استفاده می‌شوند، کاهش داده شود. در بعضی موارد، در واقع عدم پوشش بصری کامل، عمده است زیرا تنها نظارت بر چند سایت مهم در فضای باز برای ما مهم و در اولویت باشد. در این موارد، مناسب آن است که شبکه را به این مناطق حساس محدود بکنیم. یک محیط کار غنی با اطلاعات GIS گزینه ای ایده آل برای چنین کارهایی است که نیاز به تعامل گرافیکی و ترکیب چندین معیار دارند. بدیهی است، تکنیک S-ROPE همیشه حداقل تعداد ناظران را تضمین نمی‌کند، اما دارای دو ویژگی مهم است که هنوز این تکنیک را روش ایده آل برای ایجاد یک پوشش کامل بصری قرار داده اند. این دو ویژگی یکی آن است که S-ROPE وابسته به هندسه و توپولوژی فضای باز نیست. و دوم

است. از این رو، مدل رقومی ارتفاع (DEM) این منطقه، با ارتفاع مرز پایین ساختمان، اصلاح می‌شود. خود تهیه مدل سه بعدی شهری نیز می‌تواند به روشهای مختلفی صورت بگیرد، اما معمولاً نهادهای مربوط این لایه‌ها را با دقت بالا در اختیار دارند و پژوهشگر می‌تواند با مراجعه به آنها دریافت نماید. در این تحقیق مدل سه بعدی در نرم افزار City Engine شبیه سازی می‌گردد و به وسیله آن پوشش دوربین‌ها بهبود می‌یابد.

اشیا تشکیل شود. ناحیه کور نامناسب، امنیت سیستم را تهدید می‌کند. ابعاد هندسی اشیاء، فاصله و ارتفاع بین اشیاء و دوربین‌ها و سطح زمین دارای نوسان، عوامل عمده‌ای برای تعیین اندازه و توزیع نقاط کور هستند. به همین دلیل لازم است هنگامی که یک مدل سه بعدی شهری تولید می‌شود، ملاحظات سطح زمین به منظور نمایش واقعی از چشم‌انداز و محاسبه نقاط کور مورد توجه قرار داده شود (شکل ۳). بدیهی است که یک ساختمان در یک شهر همواره دارای ارتفاع یکسان



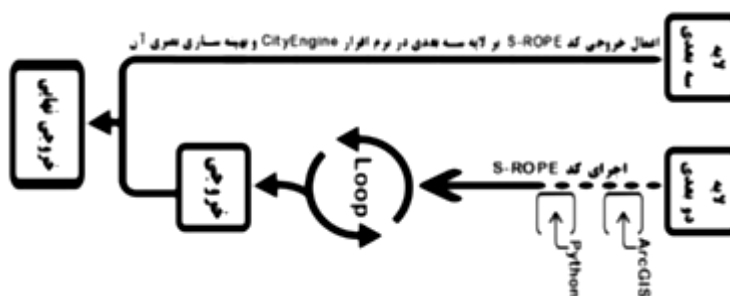
شکل ۳- اگرچه در فضای دو بعدی کل منطقه پوشش داده شده است اما در فضای سه بعدی پوشش کامل به شمار نمی‌رود (۲۶)

Figure 3. Although it is covered in the 2D space of the entire area, it is not considered to be full coverage in 3D

#### مدل مفهومی تحقیق

ورودی دریافت می‌نماید. این الگوریتم به عنوان خروجی موقعیت دوربین‌ها را برای دستیابی به پوشش مناسب ارائه می‌دهد. در مدل سه بعدی با استفاده از نرم افزار City Engine و با سعی و خطا محدوده پوشش بهبود یافته و در صورت لزوم تعداد دوربین‌ها افزایش می‌یابد.

در شکل ۴ مدل مفهومی تحقیق ملاحظه می‌شود که شامل تهیه اطلاعات محدوده شهری مورد نظر هم به صورت دو بعدی و هم سه بعدی می‌باشد. در مدل دو بعدی به کمک زبان Python و نرم افزار ArcGIS فرآیند الگوریتم بهبودیافته S-ROPE اجرا می‌شود، که محل و تعداد دوربین‌ها را به عنوان



شکل ۴- مدل مفهومی تحقیق

Figure 4. Conceptual model of the research

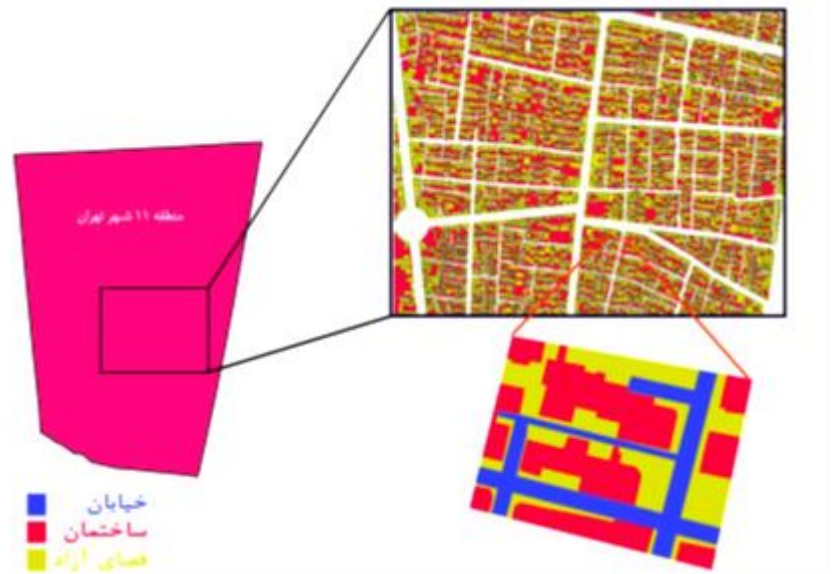
#### یافته‌ها

محدوده تحت بررسی بخشی کوچکی از منطقه ۱۱ شهر تهران می‌باشد. لایه‌های عرصه و اعیان، شبکه راه‌ها و همچنین

در این پژوهش از ابتدا منطقه شهری و به طور خاص شهر تهران به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید (شکل ۵).

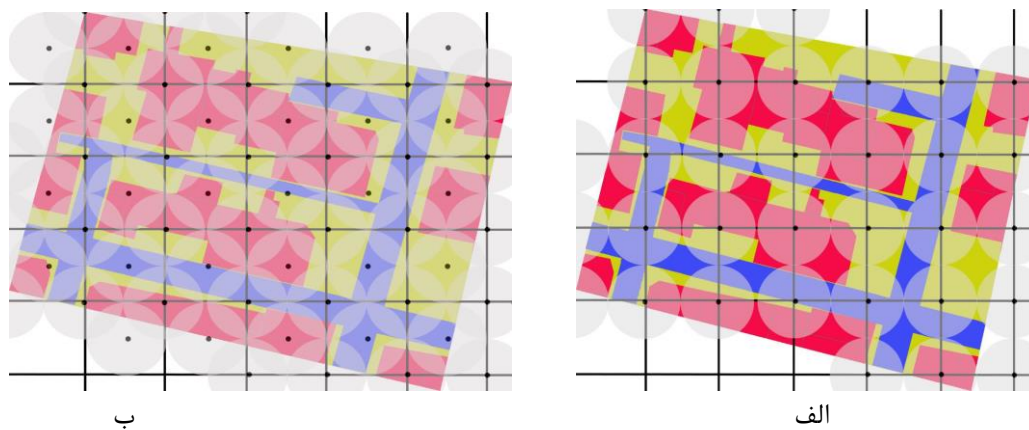
اندازه خانه ها اندکی بزرگتر فرض شده اند تا نقاط کور (نقاطی که به وسیله هیچ دوربین شبکه دیده نمی شوند) در آن ایجاد شوند و سپس خواننده با مفهوم و نحوه ایجاد آنها آشنا شود، لیکن در نهایت این خلأ پر و اصلاح می گردد. بنابراین فرض شده است که دوربین ها میدان دایره ای شکل با شعاع ۴۰ متر را دارند.

ارتفاع ساختمان مربوط به این منطقه از سازمان نقشه برداری کشور تهیه گردید و به منظور اجرای الگوریتم شرح داده شده، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. جهت ساده سازی روش کار الگوریتم S-ROPE، شکل ۶-الف را در نظر بگیرید که با یک شبکه منظم به طور مساوی به خانه هایی تقسیم شده است. اندازه هریک از خانه های این شبکه به طور مستقیم به مقدار برد دوربین بستگی دارد. جهت شرح مفهوم نقاط کور،



شکل ۵- منطقه مورد مطالعه

Figure 5. The case study



شکل ۶- تصویر شماتیک از اعمال شبکه بندی اولیه الگوریتم S-ROPE، الف- قرار دادن دوربین در هر تقاطع شبکه؛ ب- قرار دادن دوربین در مرکز هر خانه برای جلوگیری از حدوث نقطه کور در پوشش تصویری

Figure 6. A schematic illustration of the primitive gridding operations by the S-ROPE algorithm, a) placing the camera at each intersection of the grid; b) Place the camera at the center of each home to prevent the blind spot from appearing in the area

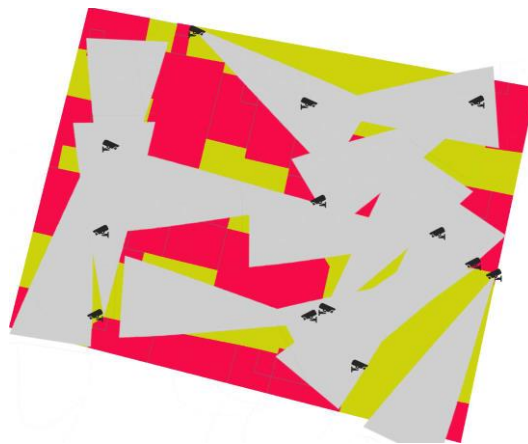
در آن هر تقاطع مکان یک دوربین فرض می شود. به دلیل آن که از ابتدا، شبکه بندی منطبق با محاسبات الگوریتم S-

الگوریتم S-ROPE برای تهیه شبکه دوربین هایی با این ویژگی در ابتدا شبکه منظم بر روی منطقه ایجاد می کند که



در حالت معمولی الگوریتم S-ROPE آن گونه که در تصاویر بالا نیز دیده شد، متناسب با ویژگی دوربین از لحاظ زاویه و محدوده دید، شبکه‌ای را بر منطقه مورد نظر اعمال می‌کند، نقاط استقرار دوربین‌ها را در تقاطعات این شبکه فرض می‌کند و سپس با حذف دوربین‌های اضافی که تنها همپوشانی را به وجود می‌آورند، دوربین‌هایی را که وجود آنها ضروری می‌باشد، ابقا می‌کند. اما بنابر آنچه گفته شد، این الگوریتم در حالت پیش فرض منطقه را دو بعدی در نظر می‌گیرد، زاویه دید را ۳۶۰ درجه متصور می‌شود و محدوده دید را کاملاً دودویی در نظر می‌گیرد.

ROPE نمی‌باشد، دایره‌های اتحاد دایره‌های ایجاد شده کل منطقه مورد نظر را پوشش نمی‌دهد، در حالی که در اصل باید شبکه بندی طوری صورت گیرد که اتحاد این دایره‌ها کل منطقه را تحت پوشش قرار دهد. همان گونه که گفته شد، این خطا به طور عمدی ایجاد شد تا خواننده به طور ملموس مفهوم نقطه کور را درک نماید. مطابق تحلیل‌ها قرار دادن دوربین‌هایی با زاویه دید ۳۶۰ درجه و شعاع دید ۴۰ متر در تقاطعات یک شبکه بندی مشابه شکل ۶-الف نمی‌تواند کل منطقه مورد نظر را پوشش دهد و لاجرم برای حذف این نقاط کور می‌بایست در مرکز هر خانه نیز دوربینی مستقر گردد تا خلأ موجود را پر نماید (شکل ۶-ب).



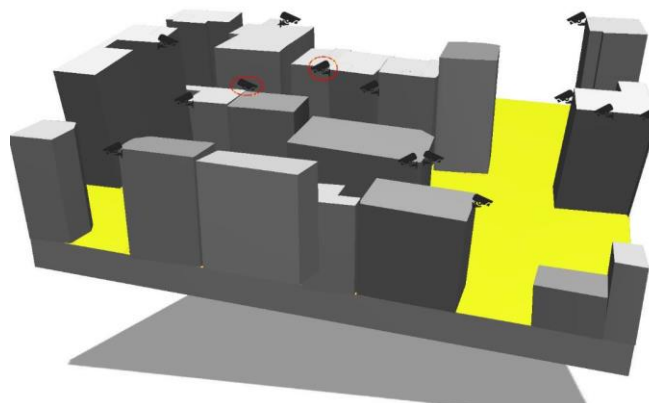
شکل ۷- مشاهده محدوده دید زاویه‌ای هر دوربین. محدوده دید غیر باینری تلقی گردید و بر همین اساس نقاطی که خارج از محدوده دید دوربین دیده می‌شوند نیز به دلیل غیر باینری بودن دید در واقع در پوشش شبکه هستند.

Figure 7. Viewing angle of each camera. The range of non-binary viewing is considered, and accordingly, points that are outside the camera's viewing area are also due to non-binary visibility in the network coverage.

باعث شد ما کل منطقه را بر جزئی از آن ترجیح بدهیم. لذا وارد کردن تعدیلاتی بر الگوریتم S-ROPE ضروری می‌نمود. که مهمترین این تغییرات زاویه‌ای بودن دید دوربین و برد ۸۰ متری و غیر باینری است (شکل ۷). نتیجه شکل ۷ پس از اعمال این تغییرات و نوشتن کد آن در زبان برنامه نویسی پایتون و ویرایش خروجی‌ها به دست آمده است. محیط واقعی شهری یک محیط سه بعدی است و نمی‌توان با برخورد دو بعدی با آن تجزیه و تحلیل بهینه‌ای انجام داد. به ویژه در حالتی که کاربرد ما نصب دوربین‌ها باشد که در آن نگاه سه بعدی به محیط نه تنها مطلوب بلکه ضروری است. نرم

مکان بهینه دوربین‌ها در خروجی این الگوریتم ممکن است وسط خیابان، بر روی سقف خانه و سایر اماکنی که امکان نصب دوربین در آنها وجود ندارد، انتخاب بشود. لذا خروجی آن باید متناسب با شرایط و قابلیت‌های منطقه تحت نظر تعدیل گردد و با دستکاری مکان دوربین‌ها به صورت مکرر از وضعیت حداکثری پوشش باید اطمینان حاصل شود. البته گرچه می‌توان تنها محدوده فضای باز (بدون ساختمان‌ها) را به عنوان منطقه مور نظر به الگوریتم معرفی کرد که در این صورت شبکه تنها در درون این منطقه شکل می‌گیرد و کمتر به دستکاری نیاز است، اما این امر تبعات منفی دیگری را در پی دارد که

در فضای دو بعدی تمام شد، لایه GIS ای منطقه مورد مطالعه وارد نرم افزار CityEngine گردید و به صورت نمای سه بعدی مدلسازی شد و پس از آن مکان دوربین های تعیین شده بر روی لایه سه بعدی قرار گرفت و با تغییر زاویه دید عمودی و افقی هر دوربین پوشش کامل دوربین ها از لحاظ سه بعدی تجزیه و تحلیل شد، تا این که حد اکثر پوشش محقق گردید و خروجی نهایی به صورت شکل ۸ حاصل شد.



شکل ۸- نمای سه بعدی استقرار دوربین ها، دوربین های اضافه شده با رنگ قرمز مشخص شده اند  
Figure 8. 3D camera coverage deployment. Added cameras are marked in red

بعدی ملاحظه گردید که به واسطه الگوریتم S-ROPE ۱۷۹۸/۲۸ متر مربع از منطقه مورد مطالعه تحت پوشش دوربین ها قرار گرفته است و هنوز ۱۵۵/۶۹ خارج از دید دوربین ها می باشد که با افزودن بعد سوم ارتفاع به داده های منطقه این خلأ نیز برداشته شد و تعداد دو دوربین اضافه گردید. ارزیابی روش ها در جدول ۱ مشاهده می شود.

افزار CityEngine یک نرم افزار سه بعدی است که برای طراحی شهری استفاده می شود. این برنامه همچنین عمل مدلسازی را انجام داده و در واقع برای برنامه ریزی و طراحی فضاهای شهری به کار می رود. این نرم افزار امکان طراحی نماها، راه ها و مسیرهای شهری و بلوک های شهر را میسر می سازد. این نرم افزار امکان سه بعدی کردن اطلاعات GIS را به ما می دهد. پس از آن که فرایند اجرای الگوریتم S-ROPE

کل مساحت منطقه مورد مطالعه که نیاز به آن دارد تا به واسطه دوربین ها مانیتور گردد برابر با ۱۹۵۳/۹۸ متر مربع می باشد، این سطوح در واقع فضای خالی بین ساختمان ها می باشد. پس از اجرای الگوریتم S-ROPE گرچه، خروجی الگوریتم گویای این بود که تمام منطقه مد نظر تحت پوشش دوربین ها قرار گرفته است، منتها به علت پایه دو بعدی آن، نمی تواند پوشش ۱۰۰ درصدی را تضمین کند و بنابراین پس از بررسی سه

جدول ۱- ارزیابی روش های به کار گرفته شده برای تعیین تعداد و محل استقرار دوربین های مدار بسته

Table 1. Evaluation of methods used to determine the number and location of CCTV cameras

تعداد دوربین ها	درصد پوشش	مساحت تحت پوشش	روش
۳۳	۵۸	۴۶/۱۱۲۸	نقاط استقرار اولیه دوربین ها واقع در تقاطع شبکه منظم و در نظر گرفتن شعاع ثابت
۶۲	۹۳	۱۲/۱۸۳۳	نقاط تقاطع شبکه و قرار دادن دوربین در مرکز هر خانه برای جلوگیری از حدوث نقطه کور
۱۳	۹۲	۲۸/۱۷۹۸	الگوریتم اصلاح شده S-ROPE با در نظر گرفتن زاویه و بعد متغیر دوربین
۱۵	۱۰۰	۹۸/۱۹۵۳	الگوریتم اصلاح شده S-ROPE با در نظر گرفتن زاویه و بعد متغیر دوربین همراه با بهبود سه بعدی

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مسئله پوشش دوربین‌های مداربسته در فضای شهری به کمک GIS و مدلسازی سه بعدی پرداخته شد. مهمترین دستاورد تحقیق آن است که نشان داده ایم چگونه با اندکی دخل و تصرف در الگوریتم S-ROPE جهت انطباق بیشتر آن با واقعیات زمینی، می‌توان نتایج قابل قبولی از آن به دست آورد. با روش پیشنهادی اولاً در تعداد دوربین‌های به کار رفته به تعداد قابل توجهی صرفه جویی صورت می‌پذیرد و در عین حال بیشترین پوشش ممکن نیز به دست خواهد آمد. تنها چالش پیش رو زمان اجرای فرآیند برای مساحت‌های بزرگ می‌باشد که با توجه به غیر آنی بودن ماهیت مسئله، خللی در روش پیشنهادی ایجاد نمی‌کند. حالت پیش فرض این الگوریتم زاویه دید ۳۶۰ درجه و محدوده حساسیت کاملاً دودویی است، در حالی که در واقع هرگز این گونه نیست و تقریباً تمام دوربین‌های استفاده شده در جهت نظارت بصری از دید زاویه‌ای برخوردارند. در نتیجه لازم بود تا این مورد تعدیل گردد. همچنین محدوده دید باینری در حالت دوربین‌های تصویر برداری مصداق پیدا نمی‌کند و دید دوربین‌ها با افزایش فاصله کاهش می‌یابد و یا به وسیله مانعی در محیط محدود می‌گردد. با لحاظ کردن این دو پارامتر S-ROPE برای شرایط واقعی تری تعدیل گردید. جهت بررسی سه بعدی خروجی به دست آمده از نرم افزار پر قدرت مدلسازی سه بعدی شرکت ESRI یعنی CityEngine استفاده شد و با تغییر در زاویه هر یک از دوربین‌ها تا رسیدن به حالت پوشش کامل به یک حد اکثری از پوشش دست یافته ایم. ضروری نبود تا حتماً محدوده‌های دید دوربین‌ها با یکدیگر همپوشانی داشته باشند و یا به طور بلافاصل در مجاورت همدیگر قرار گیرند، چراکه دید باینری برای الگوریتم تعریف گردید و هر نقطه از فضا در میدان دید دوربینی قرار دارد. مدت زمان اجرای این الگوریتم بر حسب مقیاس منطقه تحت

مطالعه متفاوت می‌باشد، در این مطالعه که به دنبال اهداف پژوهشی می‌باشد، منطقه نسبتاً کم وسعتی انتخاب گردید تا در زمان و هزینه صرفه جویی صورت گیرد و اجرا نیز به مثابه یک نمونه کوچک و به راحتی قابل فهم تلقی گردد. اما مکانیابی دوربین‌ها در فضای باز معمولاً مقیاس‌های فراتری از قبیل بلوک، محله یا ناحیه از یک شهر و شاید بیشتر را شامل می‌شود. بزرگی مقیاس از یک طرف و اصل وقت گیر بودن پردازش کدهای سنگین از طرف دیگر، زمان اجرای این روش را می‌افزاید. تبعاً اجرای روش اعمال شده در این پژوهش برای محیط‌های شهری نیازمند رایانه‌هایی با قدرت پردازشی بالا می‌باشد، چراکه ممکن در حالتهایی چندین روز به طول بیانجامد تا رایانه پس از پردازش خروجی نهایی را ارائه کند. طبق نتایج این تحقیق تقریباً به ازای هر ۱۵۰۰ متر مربع مساحت نیاز به ۱۵ دقیقه برای اجرای مدل داریم. البته در مساحت‌های بزرگتر این رقم حتی می‌تواند به کمتر از نصف کاهش یابد.

### Reference

1. Ratcliffe, J.H., Taniguchi, T., Taylor, R.B., 2009. The Crime Reduction Effects of Public CCTV Cameras: A Multi-Method Spatial Approach. *Justice Quarterly*, Vol. 26, pp. 4746-770.
2. Jalali, G., Pirhour, H., 2016. Developing smart city strategies from a passive defense perspective using SWOT analysis with an emphasis on transportation. *First International Conference on Urban Economics (with Respectable Economic Approach and Action)*. Scientific Society of Urban Economics of Iran pp. 899-910, Tehran, Iran(Persian).
3. Welsh, B.C., Farrington, D.P., 2002. Crime prevention effects of closed circuit television: a systematic review. *Home*

- Proceedings, Second International Symposium on Spatial Data Handling, (pp. 235–250). Seattle, WA, USA.
13. Goodchild, M., Lee, J., 1989. Coverage problems and visibility regions on topographic surfaces. *Annals of Operations Research*, Vol. 18, pp. 175–186.
  14. Lee, J., 1991. Analyses of visibility sites on topographic surfaces. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5, 413-429.
  15. Kim, Y., Rana, S., Wise, S., 2004. Exploring multiple viewshed analysis using terrain features and optimisation techniques. *Computers & Geosciences*, Vol. 30, pp. 1019–1032.
  16. Kaucic, B., Zalik, B., 2004. K-guarding of polyhedral terrain. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 18, pp. 709–718.
  17. Pavlidis, I., Morellas, V., Tsiamyrtzia, P., Harp, S., 2001. Urban surveillance systems: From the laboratory to the commercial world. *Proceedings of the IEEE*, pp. 1478–1497.
  18. Valera, M., Velastin, S., 2001. Intelligent distributed surveillance systems: A review. *IEEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, Vol. 152, pp. 192–204.
  19. Bocca, E., Viazzo, S., Longo, F., Mirabelli, G., 2005. Developing data fusion systems devoted to security control in port facilities. In *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, pp. 445-449. Orlando, FL, USA.
  20. Ercan, A., Yang, D., El Gamal, A., Guibas, L., 2006. Optimal placement and selection of camera network nodes for target localization. In *Proc. IEEE Int. Office Research Study Number 252. Home Office, London.*
  4. Chvatal, V., 1975. A combinatorial theorem in plane geometry. *Journal of Combinatorial Theory*, Vol. 18, pp.39-41.
  5. Fisk, S., 1999. A Short Proof of Chvatal's Watchman Theorem. *Journal of Combinatorial Theory*, Vol. 24, pp. 374-375.
  6. Bose, S.P., Toussaint, G., Zhu, B., 1997. Guarding polyhedral terrains. *Computational Geometry*, Vol. 1, pp. 173–185.
  7. Marengoni, M., Draper, B., Hanson, A., Sitaraman, R., 2000. A system to place observers on a polyhedral terrain in polynomial time. *Image and Vision Computing*, Vol. 18, 773–780.
  8. Cole, R., Sharir, M., 1989. Visibility problems for polygedral terrain. *Journal of Symbolic Computation*, Vol. 17, pp. 11–30.
  9. Eidenbenz, S., 2002. Approximation algorithms for terrain guarding. *Information Processing Letters*, Vol. 82, pp. 99–105.
  10. Erdem, U., Sclaroff, S., 2004. Optimal placement of cameras in floorplan to satisfy task requirements and Classical Cameras. *Proceedings of the fifth Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-Classical Cameras*. Prague, Czech Republic.
  11. Kazazakis, G., Argyros, A., 2002. Fast positioning of limited-visibility guards for the inspection of 2D Workspaces. *Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2843–2848. Lausanne, Switzerland.
  12. Floriani, L., Falcidieno, B., Pienovi, C., Allen, D., Nagy, G., 1986. A visibility-based model for terrain features.

- ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 4, pp. 754-782.
25. de Floriani, L., Magillo, P., 2003. Algorithms for visibility computation on terrains: A survey. *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 30, pp. 709-728.
26. Choi, K., Lee, I., 2015. CCTV coverage index based on surveillance resolution and its evaluation using 3D spatial analysis. *Sensors*, Vol. 15, pp. 23341-23360.
27. Vahidnia, M.H., Vafaeinejad, A., Shafiei, M., 2019. Heuristic game-theoretic equilibrium establishment with application to task distribution among agents in spatial networks. *Journal of Spatial Science*, Vol. 64, pp. 131-152.
- Conf. Distributed Computing in Sensor System, 2006, vol. 4026, pp. 389-404.
21. Bodor, R., Drenner, A., Schrater, P., Papanikolopoulos, N., 2007. Optimal camera placement for automated surveillance tasks. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 50, pp. 257-295.
22. Fehr, D., Fiore, L., Papanikolopoulos, N., 2009. Issues and solutions in surveillance camera placement. In *Proceedings of 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, pp. 3780-3785. St. Louis, MO, USA.
23. Ghosh, S., 2010. Approximation algorithms for art gallery problems in polygons. *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 158, pp. 718-722.
24. Yaagoubi, R., El Yarmani, M., Kamel, A., Khemiri, W., 2015. HybVOR: A Voronoi-Based 3D GIS Approach for Camera Surveillance Network Placement.