مروری بر پیشرفت‌های اخیر در بهینه‌سازی جایگذاری دوربین‌های نظارتی

محدثه فرخنده[۱]، مجتبی مغربی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه فردوسی مشهد

mohadese.farkhonde@mail.um.ac.ir

خلاصه

با پیشرفت‌های اخیر در دوربین‌های نظارتی و افزایش نیاز به امنیت عمومی، کاربردهای شبکه دوربین‌های مداربسته از نقش اولیه آن‌ها در ارائه نظارت ساده فراتر رفته است و امکان‌های جدیدی همچون شناسایی، ردیابی اهداف مختلف و شمارش را به صورت خودکار فراهم نموده‌اند. کاربرد عمده این دوربین‌ها در نظارت بر امنیت، ایمنی و بهره‌بری می‌باشد. مهم‌ترین چالش دوربین‌های نظارتی طراحی چیدمان بهینه به منظور اطمینان از حداکثر پوشش بوده، زیرا جایگذاری بهینه دوربین تاثیر زیادی بر کیفیت و کارایی نظارت دارد. در حال حاضر فرآیند انتخاب نوع دوربین‌های مدار بسته و چیدمان محلی آن‌ها به صورت دستی می‌باشد که این پروسه می‌تواند همراه با خطا باشد. پس لازم است برای تعیین بهینه‌ترین جایگذاری ممکن روش‌های مناسبی تعیین شود تا نه تنها فضاهای بیشتری از محل نظارت پوشش داده شود، بلکه تعداد دوربین کمتری نیز استفاده شود. قبل از استقرار دوربین‌ها باید محل نصب و جهت‌گیری آنها نیز تعیین شود. در این مقاله، رویکردهای اخیر در ارتباط با جایگذاری دوربین‌های مداربسته به روشی ساختاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین تلاش داریم تا بررسی کاملی از استراتژی‌های مربوط به فرمول‌بندی و روش‌های بهینه‌سازی متداول معرفی شده توسط محققان در این زمینه، ارائه دهیم.

کلمات کلیدی: دوربین‌های نظارتی،جایگذاری بهینه، حداکثر پوشش، فرمول‌بندی

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، شبکه‌های دوربین در مقیاس بزرگ به دلیل توانایی بالای آن‌ها در ارائه اطلاعات ویدئویی با کیفیت همه جا حاضر بوده و همچنین در مقایسه با سایر اقدامات نظارتی و امنیتی، ظرفیت عملیاتی بالا و هزینه پایین‌تری دارند، از این‌رو بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سیستم نظارتی دوربین‌های مداربسته یک ابزار مدیریتی با ارزش در صنعت ساخت‌وساز نیز به شمار می‌رود [۱]. اساسی‌ترین وظیفه دوربین‌های نظارتی شناسایی و ردیابی اهداف مورد نظر در مناطق انتخابی برای نظارت می‌باشد [۲]. جایگذاری دوربین‌ها در تهیه حداکثر میدان دید بسیار حائز اهمیت است [۳]. در نتیجه، اکثر سیستم‌های نظارتی برای اطمینان از حداقل سطح کیفیت تصویر یا وضوح تصویر و داشتن حداکثر پوشش در یک منطقه، به چیدمان مناسب دوربین‌ها نیاز دارند [۴]. در برخی پروژه‌ها برای تخمین تعداد، جهت‌گیری و محل قرارگیری دوربین‌های مورد نیاز از تجربه مدیران/کارگران استفاده می‌شود [۵]. اما تعیین وضعیت قرارگیری دوربین‌ها بر اساس تجربه مدیران یا سایر افراد معایب و محدودیت‌هایی دارد که عبارتند از:

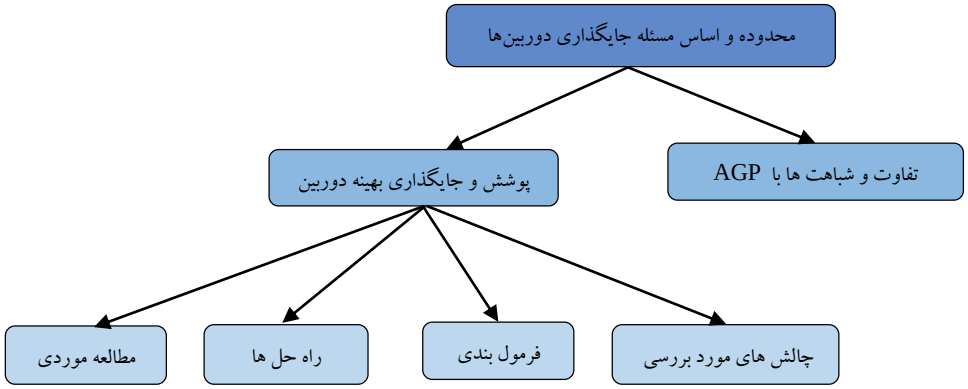
۱) زمان‌بر بودن پروسه انتخاب محل مناسب دوربین‌ها در محیط‌های بزرگ
۲) افزایش هزینه غیرضروری نصب و نگهداری دوربین‌ها در صورت اشتباه در انتخاب و جایگذاری
۳) مشکل بودن فرآیند انتخاب و نصب دوربین‌های مداربسته در محیط‌های پیچیده با محدودیت‌های فیزیکی
۴) عدم وجود مبنایی برای سنجش کارآیی دوربین‌های بکار گرفته شده در یک محیط

از این‌رو، نیاز به یک چارچوب سیستماتیک برای حل مسئله دوربین‌ها احساس می‌شود.

مسئله جایگذاری دوربین به بهینه‌سازی مربوط می‌شود زیرا مسئله یافتن استراتژی بهینه برای دستیابی به برخی از الزامات عملکردی با وجود یکسری از محدودیت‌ها می‌باشد. تمرکز اصلی این مقاله روی چگونگی فرمول‌بندی الزامات و بیان محدودیت‌های مختلف به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی و همچنین چگونگی حل این مسئله توسط محققان می‌باشد. برای کمک به درک بیشتر، یک نمای کلی از مسئله قرارگیری دوربین و دسته‌بندی مقالات با رویکردهای مختلف ارائه شده است که در ادامه به شرح دقیق آن‌ها خواهیم پرداخت. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، ساختار کلی این

مقاله شامل تفاوت‌ها و شباهت‌ها با مسئله گالری هنر(AGP)[1] و پوشش و جایگذاری بهینه دوربین‌ها می‌باشد. همچنین پژوهش‌های مرتبط با پوشش و جایگذاری دوربین‌ها که موضوع اصلی مقاله مروری نیز می‌باشد را از رویکردهای مختلف دسته‌بندی و مورد بررسی قرار داده‌ایم که این رویکردها عبارتند از:

۱) چالش‌های مورد بررسی
۲) فرمول‌بندی
۳) راه‌حل‌ها
۴) مطالعه موردی



شکل ۱- بدنه اصلی پژوهش

۲. شباهت‌ها و تفاوت‌های بین مسئله گالری هنر (AGP) و مسئله جایگذاری دوربین‌ها

اوروورک [۶] نظریه‌ای را به نام مسئله گالری هنری (AGP) مطرح کرد که با اختصاص تعدادی نگهبان در گوشه‌های چندضلعی، امکان پوشش مکانی خاص با شکل چندضلعی را نشان می‌داد. این اصل ادعا می‌کرد که هرچه تعداد نگهبان بیشتری اضافه شود، توانایی بیشتری برای پوشش کامل چندضلعی وجود دارد. در واقع AGP از چالش‌های تعیین حداقل تعداد نگهبانان مورد نیاز برای پوشش فضای داخلی یک گالری هنری نشأت گرفته است [۷]. گونزالز [۸] الگوریتم تصادفی بر مبنای AGP را به جایگذاری دوربین‌ها (سنسورها) نسبت داد. از آن زمان، مسئله جایگذاری سنسور بی‌سیم ساخته شد و توجه تعدادی از محققان را به خود جلب کرد. علی‌رغم شباهت‌ها، مسئله جایگذاری دوربین تفاوت‌های اساسی با AGP دارد، که این تفاوت‌ها عبارتند از:

۱) بر خلاف AGP که نگهبانان دارای توانایی‌های یکسان در نظر گرفته شده‌اند، دوربین‌ها می‌توانند دامنه دید مختلفی داشته باشند.
۲) مسئله شناسایی و ردیابی اهداف نسبت به مسئله AGP به دوربین‌های بیشتری نیاز دارد.
۳) در جایگذاری دوربین فرض اضافه کردن دوربین‌های بیشترکه باعث بهبود میدان دید شود نادرست است زیرا دامنه دید (FOV)[2] دوربین‌ها محدود است.
۴) این فرض که منطقه تحت نظارت به شکل یک چندضلعی است، همیشه درست نیست. در نتیجه، برای پوشاندن مناطقی با اشکال پیچیده‌تر، به دوربین‌های بیشتری نیاز است.
۵) هدف AGP فقط مشاهده گالری هنری است، اما در دوربین‌ها ممکن است هدف ردیابی افراد و تجهیزات باشد.

پس اتصالی بین هندسه محاسباتی کاملاً نظری و تثبیت شده و نیازهای دید واقعی برقرار شد [۹].

در ادامه طبق شکل (۱) پس از بیان مبناء مسئله جایگذاری دوربین که همان AGP می‌باشد، به شرح دقیق نحوه محاسبه پوشش، انتخاب جایگذاری بهینه و دسته بندی مقالات می‌پردازیم.

[1] Art Gallery Problem
[2] Field Of View

۳. محاسبه پوشش و جایگذاری بهینه دوربین

کار بر روی دوربین‌های متعدد در حدود سال ۱۹۸۵ آغاز شد، که در آن محققان بر روی افزایش دقت الگوریتم‌های دید رایانه‌ای با تلفیق داده‌ها از چندین دوربین و سنسور تمرکز کردند. به عنوان مثال ناناداکومار وآگروال [۱۰] از تصاویر دیداری و حرارتی برای بهبود تشخیص و طبقه‌بندی اشیا استفاده کردند. پس از آنها کول و شریر [۱۱] بیان کردند که موقعیت‌یابی دوربین یک مسئله چند جمله‌ای پیچیده و بدون قطعیت است، این بدان معنی است که یافتن یک راه‌حل بهینه در یک زمان معقول دشوار است و الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای دستیابی به راه‌حل‌های مؤثر و کارآمد ضروری هستند. مسئله جایگذاری دوربین به دلیل محدودیت توانایی انواع مختلف دوربین‌ها، فضای فیزیکی پیچیده‌ای که باید تحت پوشش قرار بگیرد و نیازهای سختگیرانه مشخص شده توسط کاربر نهایی به یک مسئله پیچیده بهینه‌سازی تبدیل شده است.

پوشش دوربین برای شناسایی و ارزیابی ناحیه قابل رؤیت دوربین‌های نصب شده به عنوان اولین قدم برای جایگذاری بهینه دوربین، باید مدل و محاسبه شوند. چن و همکاران [۱۲] یک روش شبیه‌سازی برای محاسبه پوشش شبکه دوربین در فضاهای عمومی ساختمان ارائه دادند اما به دلیل استفاده از فرآیند اندازه‌گیری پوشش ۲بعدی، این روش دارای اشکالات بسیاری بود. برخی از محققان نیز سعی در بهینه‌سازی پوشش برای اهداف ساکن (استاتیک) با سنسورهای جهت‌دار داشتند، اما از آنجا که اهداف آنها ساکن در نظر گرفته می‌شدند، تصوری از حرکات تصادفی اهداف وجود نداشت [۱۳]. آی و ابوزید [۱۴] یک روش طراحی چیدمان برای دوربین‌های گردان (PTZ)[1] با تشخیص موانع یا انسدادها برای نظارت بر مناطق با فعالیت بالا پیشنهاد کردند، آنها بر روی تعیین پارامترهای pan (چرخش در جهت افقی)، tilt (چرخش در جهت عمودی) و zoom (بزرگنمایی) برای هر دوربین که منجر به پوشش بهینه نقشه‌های مورد نظر می‌شد، متمرکز شدند. با این حال، آنها وضعیت قرارگیری ایده‌آل دوربین‌ها را در نقشه‌های مورد نظر مشخص نکردند. دستیابی به یک پوشش از پیش تعریف شده از یک فضای فیزیکی معین در حالی که تعداد دوربین‌ها را به حداقل برساند، خود یک مسئله بهینه‌سازی دشوار است[۱۵].

یابوتا و کیتازاوا [۱۶] یک روش ۲ بعدی برای یافتن موقعیت بهینه دوربین در یک منطقه بخصوص اتخاذ کردند سپس لی و همکاران [۱۷] یک روش بهینه‌سازی چندهدفه برای چیدمان سنسورها پیشنهاد دادند. در ادامه نام و هونگ [۴] با در نظر گرفتن پوشش و هزینه دوربین‌ها ، محل دوربین‌های متعدد را در فضاهای داخلی بهینه‌سازی کردند، موقعیت و جهت‌گیری دوربین‌ها هر دو در این شبکه قابل تغییر بود. کیم و همکاران [۱۸] علاوه‌بر موری و همکاران [۱۹] جایگذاری دوربین‌های نظارتی را در یک منطقه شهری بهینه کردند. علیرغم نتایج مؤثر، این تحقیق‌ها محدودیت‌هایی داشت که عبارتند از: ۱) برای شناسایی مناطق غیرقابل مشاهده در پشت اجسام یا تجهیزات با ارتفاع مختلف، محاسبه پوشش دوربین با استفاده از روش ۲ بعدی کارامد نبود، ۲) نحوه تقسیم منطقه تحت کنترل به مناطق کوچکتر نادرست بود زیرا باعث ایجاد مناطق با اندازه‌های مختلف می‌شد که ممکن بود دوربین را از تشخیص مناطق کوچک پشت موانع بازدارد و در نهایت منجر به نتایج نادرست از پوشش به ویژه در فضاهای پنهان کوچک پشت موانع شود، ۳) فضای جستجوی آنها محدود به یک منطقه شهری بود، ۴) در این مقالات حضور مناطق با درجه اهمیت متفاوت در منطقه تحت نظارت در نظر گرفته نشده بود در حالی که منطقه تحت نظارت دارای مناطقی با درجه اهمیت متفاوت است. به عنوان مثال ، ممکن است نظارت بر یک منطقه‌ای که در آن فعالیت دیوارچینی صورت می‌گیرد به اندازه بازرسی از یک منطقه بتن‌ریزی حیاتی نباشد، ۵) در محیط‌های شهری، موانع دید (انسدادها) مانند ساختمان‌ها ساکن (استاتیک) هستند اما ممکن است در بعضی محل‌ها مانند سایت پروژه، موانع دید ساکن (استاتیک) و پویا (دینامیک) باشند.

هندو و همکاران [۲۰] از الگوریتم ژنتیک (GA)[2] برای حل مسئله بهینه‌سازی جایگذاری دوربین به منظور اطمینان حاصل کردن از حداکثر پوشش منطقه با قرار دادن چندین دوربین استفاده کرد، اما به دلیل کوچک بودن منطقه تحت نظارت عملکرد GA را مورد بررسی قرار ندادند. خو و همکاران [۲۱] الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)[3] را برای افزایش پوشش شبکه دوربین بر اساس یک سناریوی خاص که دوربین‌ها به طور تصادفی در یک منطقه بزرگ پخش می‌کند، پیشنهاد کردند اما هر دوربین فقط می‌توانست جهت خود را تغییر دهد نه محل خود را. کریستوستومو و گاستراتوس [۲۲] یک الگوریتم کلونی زنبورعسل[4] را برای بهینه‌سازی پوشش با استفاده از حداقل تعداد دوربین پیشنهاد کردند اما فقط لبه موانع دید را انسداد (ساکن) در نظر گرفتند. آهن و همکاران [۲۳] یک الگوریتم دو فازی مبنی بر عدد صحیح باینری را برای حل مسئله جایگذاری دوربین در فضاهای بزرگ ارائه دادند اما موانع دید (انسداد) را بطور کامل نادیده گرفتند.

[1] Pan–tilt–zoom
[2] Genetic algorithm
[3] Particle swarm optimization
[4] Artificial bee colony algorithm

مدلسازی اطلاعات ساختمان(BIM)[1] می‌تواند بیشتر محدودیت‌های ناشی از بکار بردن تکنیک‌های جایگذاری دوربین ۲بعدی و ۳ بعدی را برطرف کند. این روش می‌تواند فرآیند محاسبه پوشش را برای دستیابی به نتایج دقیق به صورت خودکار انجام دهد [۲۴]، اما کاربرد این روش محدود به ساختمان‌هایی با موانع ساکن و طبقه همکف می‌باشد. BIM میتواند یک رویکرد کمکی بسیار مؤثر و کم‌هزینه برای تجزیه و تحلیل پوشش سیستم دوربین‌های نظارتی به منظور طراحی چیدمان آن باشد [۱۲] و همچنین می‌تواند نقش اساسی را در شناسایی خودکار شرایط مانند محدودیت‌های فضایی (سقف، دیوار و ...) و محدودیت‌های عملیاتی (مانند لرزش تولید شده توسط اجزای تاسیسات) در روند بهینه‌سازی ایفا کند [۱۵]. هافمن [۲۵] نیز خاطرنشان کرد که هیچ‌کدام از الگوریتم‌های اکتشافی که مورد بررسی قرار گرفته همیشه برای همه موقعیت‌ها مناسب نیستند.
در ادامه مسئله جایگذاری بهینه دوربین‌ها را از منظرهای مختلف بررسی میکنیم.

۳-۱. چالش‌ها و موضوعات پیش رو

چالش‌ها و موضوعات مربوط به مسئله جایگذاری بهینه دوربین‌ها عبارتند از: ۱) نوع بهینه دوربین، ۲) تعداد بهینه، ۳) مکان بهینه، ۴) حداکثر پوشش، ۵) هم‌پوشانی، ۶) جهت‌گیری بهینه دوربین، ۷) حداقل هزینه، ۸) موازنه پوشش-هزینه، ۹) موانع دید و ۱۰) پوشش ۱۰۰٪ یا کامل. در ادامه در جدول ۱ به دسته‌بندی مقالات از نظر مسائل یا موضوع‌های مطرح شده در آن‌ها می‌پردازیم.

جدول ۱-دسته بندی مقالات با رویکرد چالش های پیش رو

ردیف	پژوهش	چالش ها و موضوعات									
		نوع بهینه دوربین	تعداد بهینه	مکان بهینه	حداکثر پوشش	هم‌پوشانی	جهت گیری بهینه	حداقل هزینه	پوشش -هزینه	موانع دید	پوشش ۱۰۰٪
۱	Erdem and Sclaroff [۲۶]		✓	✓			✓				
۲	Ahn et al. [۲۳]		✓	✓	✓		✓	✓			
۳	Ai and Abouzeid [۱٤]		✓	✓	✓		✓				
۴	Hörster and Lienhart [۷]			✓	✓		✓	✓		✓	
۵	Hanoun et al. [۲۷]	✓	✓	✓	✓		✓			✓	
۶	Yao et al. [۲۸]		✓	✓	✓	✓		✓			
۷	Yabuta and Kitazawa [16]		✓	✓				✓	✓	✓	
۸	Lee et al. [۱۷]		✓	✓	✓	✓				✓	
۹	Kim et al. [۱۸]			✓	✓	✓		✓			
۱۰	Murray et al. [۱۹]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
۱۱	Chrysostomou and Gasteratos [۲۲]		✓	✓	✓			✓			
۱۲	Albahri and Hammad [۲۴]	✓	✓	✓	✓					✓	
۱۳	Kim et al. [۱۵]	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
۱۴	Gonzalez-Barbosa et al. [۸]		✓	✓			✓	✓			
۱۵	Morsly et al. [۹]		✓	✓	✓		✓	✓			
۱۶	Yildiz et al. [۲۹]			✓				✓			✓
۱۷	Yao et al. [۳۰]			✓	✓	✓		✓			
۱۸	Zhang et al. [۵]		✓	✓				✓		✓	✓
۱۹	Yang et al. [۱]			✓	✓			✓	✓		

[1] Building Information Modelling

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شد هیچ محققی به بررسی تمام چالش‌ها در حین حل مسئله بهینه‌سازی جایگذاری دوربین‌ها نپرداخته است که این خود می‌تواند موضوعی برای پژوهش‌های آتی باشد.

۳-۲. فرمول‌بندی

در جدول (۲) به دسته‌بندی مقالات از نظر فرمول‌بندی برای حل مسئله بهینه‌سازی می‌پردازیم:

جدول2- دسته‌بندی مقالات از منظر فرمول‌بندی

ردیف	پژوهش	فرمول‌بندی					
		پیوسته		عدد صحیح		مختلط	
		برنامه‌ریزی خطی	برنامه‌ریزی غیر خطی	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح	برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط	برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط
۱	Erdem and Sclaroff [۲۶]			■			
۲	Ahn et al. [۲۳]				■		
۳	Ai and Abouzeid [۱۴]			■			
۴	Hörster and Lienhart [۷]			■			
۵	Hanoun et al. [۲۷]			■			
۶	Yao et al. [۲۸]			■			
۷	Yabuta and Kitazawa [۱۶]			■			
۸	Lee et al. [۱۷]			■			
۹	Kim et al. [۱۸]			■			
۱۰	Murray et al. [۱۹]			■			
۱۱	Chrysostomou and Gasteratos [۲۲]			■			
۱۲	Albahri and Hammad [۲۴]					■	
۱۳	Kim et al. [۱۵]				■		
۱۴	Gonzalez-Barbosa et al. [۸]			■			
۱۵	Morsly et al. [۹]				■		
۱۶	Yildiz et al. [۲۹]					■	
۱۷	Yao et al. [۳۰]			■			
۱۸	Zhang et al. [۵]			■			
۱۹	Yang et al. [۱]						■

حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته نسبت به مسائل بهینه‌سازی گسسته آسان‌تر است. با این حال، همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود هیچ‌کدام از پژوهش‌ها در زمینه جایگذاری بهینه دوربین‌ها مدل ریاضی پیوسته برای حل مسئله پیشنهاد نداده است این بدان معنی است که مسئله جایگذاری دوربین‌ها را نمی توان در محیط پیوسته مدل کرد. اما در برخی از پژوهش‌ها دیده شده که در محیط مختلط می‌توان آن را مدل کرد.

۳-۳. راه‌حل‌ها و مطالعه‌های موردی

در جدول (۳) به دسته‌بندی مقالات از نظر راه‌حل‌ها، نوع مطالعه موردی، ژورنال‌ها و ارجاعات می‌پردازیم:

جدول3- دسته‌بندی مقالات از منظر راه‌حل‌ها، مطالعه‌های موردی، ژورنال‌ها و ارجاعات

ردیف	پژوهش	راه حل		مطالعه موردی		ژورنال	ارجاع (تعداد در هر سال)
		دقیق	تقریبی	واقعی	شبیه سازی		
۱	Erdem and Sclaroff [۲۶]		■		■	Computer Vision and Image Understanding	۱۷
۲	Ahn et al. [۲۳]		■	■		Scientific Programming	۳
۳	Ai and Abouzeid [۱۴]	■	■		■	Journal of Combinatorial Optimization	۳۳
۴	Hörster and Lienhart [۷]		■		■	ACM Conferences	۱۵
۵	Hanoun et al. [۲۷]		■	■		Journal of Intelligent Manufacturing	۴
۶	Yao et al. [۲۸]		■	■		Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)	۴
۷	Yabuta and Kitazawa [۱۶]	■			■	IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)	۶
۸	Lee et al. [۱۷]		■		■	IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics	۲
۹	Kim et al. [۱۸]		■		■	Environment and Planning B: Planning and Design	۳
۱۰	Murray et al. [۱۹]	■		■		Computers, Environment and Urban Systems	۱۳
۱۱	Chrysostomou and Gasteratos [۲۲]		■		■	IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques (IST)	۲
۱۲	Albahri and Hammad [۲۴]		■	■		ASCE	۲
۱۳	Kim et al. [۱۵]		■	■		ASCE	۹
۱۴	Gonzalez-Barbosa et al. [۸]	■			■	IEEE International Conference on Robotics and Automation	۵
۱۵	Morsly et al. [۹]		■		■	IEEE Sensors Journal	۱۰
۱۶	Yildiz et al. [۲۹]	■			■	IEEE Transactions On Computers	۸
۱۷	Yao et al. [۳۰]		■		■	IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part B	۵
۱۸	Zhang et al. [۵]		■	■		ASCE	۵
۱۹	Yang et al. [۱]		■	■		Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering	۴

۴. نتیجه‌گیری

شبکه‌های دوربین به سیستم‌های پیچیده‌ای تبدیل شده‌اند که می‌توانند اطلاعات ویدئویی گسترده‌ای را برای کارهای پردازشی هوشمند مانند محلی‌سازی هدف، شناسایی و ردیابی به دست آورند. در همه موارد، تعیین چیدمان بهینه دوربین (به عنوان مثال، مکان بهینه، جهت‌گیری و ...) قبل از استقرار دوربین‌ها از اهمیت حیاتی برخوردار است زیرا هزینه تغییرات شبکه دوربین‌ها گران می‌باشد. یک راه‌حل جایگذاری بهینه ممکن است تأثیر منفی بر تحلیل‌های ویدیوئی بگذارد همانطور که یک چیدمان بهینه دیگر ممکن است صرفه‌جویی قابل توجهی در تعداد کل دوربین‌های مورد نیاز برای دستیابی به همان سطح از پوشش ایجاد کند. در ابتدا به دسته‌بندی چالش‌های مسئله جایگذاری دوربین پرداخته و سپس مجموعه بزرگی از تلاش‌های محققان برای حل این چالش‌ها با توانایی‌ها، رویکردها و درجات مختلف موفقیت را جمع‌آوری و دسته‌بندی کردیم. در این مقاله، ما سعی کرده‌ایم تمام روش‌های اخیر در مورد جایگذاری دوربین را به صورت ساختاریافته خلاصه کنیم. همچنین در این بررسی توجه ویژه‌ای به فرمول‌بندی اهداف و روش‌های مختلف مورد استفاده برای حل آن‌ها شده است. در انتها، ما بر این باوریم که پژوهش مروری حاضر می‌تواند اولین نقطه ورود برای خوانندگانی که مایل به تحقیق در این زمینه هستند یا مهندسانی که نیاز به اجرای یک سیستم جایگذاری دوربین در عمل دارند، باشد.

۵. مراجع

1. Yang, X., Li, H., Huang, T., Zhai, X., Wang, F. & Wang, C. (2018) Computer-aided optimization of surveillance cameras placement on construction sites, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering.* 33, 1110-1126.
2. Erdem, U. M. & Sclaroff, S. (2003) Automated placement of cameras in a floorplan to satisfy task-specific constraints, *Boston University, Boston December.* 2003.
3. Liu, J., Sridharan, S. & Fookes, C. (2016) Recent advances in camera planning for large area surveillance: A comprehensive review, *ACM Computing Surveys (CSUR).* 49, 1-37.
4. Nam, Y. & Hong, S. (2014) Optimal placement of multiple visual sensors considering space coverage and cost constraints, *Multimedia tools and applications.* 73, 129-150.
5. Zhang, Y., Luo, H., Skitmore, M., Li, Q. & Zhong, B. (2019) Optimal camera placement for monitoring safety in metro station construction work, *Journal of construction engineering and management.* 145, 04018118.
6. O'rourke, J. (1987) *Art gallery theorems and algorithms*, Oxford University Press Oxford.
7. Hörster, E. & Lienhart, R. (2006). On the optimal placement of multiple visual sensors. Paper presented at the *Proceedings of the 4th ACM international workshop on Video surveillance and sensor networks*.
8. Gonzalez-Barbosa, J.-J., Garcia-Ramirez, T., Salas, J. & Hurtado-Ramos, J.-B. (2009). Optimal camera placement for total coverage. Paper presented at the *2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation*.
9. Morsly, Y., Aouf, N., Djouadi, M. S. & Richardson, M. (2011) Particle swarm optimization inspired probability algorithm for optimal camera network placement, *IEEE Sensors Journal.* 12, 1402-1412.
10. Nandhakumar, N. & Aggarwal, J. K. (1988) Integrated analysis of thermal and visual images for scene interpretation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* 10, 469-481.
11. Cole, R. & Sharir, M. (1989) Visibility problems for polyhedral terrains, *Journal of symbolic Computation.* 7, 11-30.
12. Chen, H.-T., Wu, S.-W. & Hsieh, S.-H. (2013) Visualization of CCTV coverage in public building space using BIM technology, *Visualization in Engineering.* 1, 1-17.
13. Piciarelli, C., Micheloni, C. & Foresti, G. L. (2010). Occlusion-aware multiple camera reconfiguration. Paper presented at the *Proceedings of the Fourth ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras.*
14. Ai, J. & Abouzeid, A. A. (2006) Coverage by directional sensors in randomly deployed wireless sensor networks, *Journal of Combinatorial Optimization.* 11, 21-41.
15. Kim, J., Ham, Y., Chung, Y. & Chi, S. (2019) Systematic camera placement framework for operation-level visual monitoring on construction jobsites, *Journal of Construction Engineering and Management.* 145, 04019019.

16. Yabuta, K. & Kitazawa, H. (2008). Optimum camera placement considering camera specification for security monitoring. Paper presented at the *2008 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*.
17. Lee, J.-Y., Seok, J.-H. & Lee, J.-J. (2011) Multiobjective optimization approach for sensor arrangement in a complex indoor environment, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews).* 42, 174-186.
18. Kim, K., Murray, A. T. & Xiao, N. (2008) A multiobjective evolutionary algorithm for surveillance sensor placement, *Environment and Planning B: Planning and Design.* 35, 935-948.
19. Murray, A. T., Kim, K., Davis, J. W., Machiraju, R. & Parent, R. (2007) Coverage optimization to support security monitoring, *Computers, Environment and Urban Systems.* 31, 133-147.
20. Indu, S., Chaudhury, S., Mittal, N. R. & Bhattacharyya, A. (2009). Optimal sensor placement for surveillance of large spaces. Paper presented at the *2009 Third ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC)*.
21. Xu, Y.-C., Lei, B. & Hendriks, E. A. (2011) Camera network coverage improving by particle swarm optimization, *EURASIP Journal on Image and Video Processing.* 2011, 1-10.
22. Chrysostomou, D. & Gasteratos, A. (2012). Optimum multi-camera arrangement using a bee colony algorithm. Paper presented at the *2012 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques Proceedings*.
23. Ahn, J.-W., Chang, T.-W., Lee, S.-H. & Seo, Y. W. (2016) Two-phase algorithm for optimal camera placement, *Scientific Programming.* 2016.
24. Albahri, A. H. & Hammad, A. (2017) Simulation-based optimization of surveillance camera types, number, and placement in buildings using BIM, *Journal of Computing in Civil Engineering.* 31, 04017055.
25. Hoffmann, H. (2013). Racing and pacing to idle: an evaluation of heuristics for energy-aware resource allocation. Paper presented at the *Proceedings of the workshop on power-aware computing and systems*.
26. Erdem, U. M. & Sclaroff, S. (2006) Automated camera layout to satisfy task-specific and floor plan-specific coverage requirements, *Computer Vision and Image Understanding.* 103, 156-169.
27. Hanoun, S., Bhatti, A., Creighton, D., Nahavandi, S., Crothers, P. & Esparza, C. G. (2016) Target coverage in camera networks for manufacturing workplaces, *Journal of intelligent manufacturing.* 27, 1221-1235.
28. Yao, Y., Chen, C.-H., Abidi, B., Page, D., Koschan, A. & Abidi, M. (2008). Sensor planning for automated and persistent object tracking with multiple cameras. Paper presented at the *2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
29. Yildiz, E., Akkaya, K., Sisikoglu, E. & Sir, M. Y. (2013) Optimal camera placement for providing angular coverage in wireless video sensor networks, *IEEE transactions on computers.* 63, 1812-1825.
30. Yao, Y., Chen, C.-H., Abidi, B., Page, D., Koschan, A. & Abidi, M. (2009) Can you see me now? Sensor positioning for automated and persistent surveillance, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics).* 40, 101-115.