



افزایش خودکار سازی بازرسی اتلاف های فرآیند های ساخت و ساز با بهره گیری از شناسایی و ردیابی اشیاء

علی نبی زاده^۱، دکتر مجتبی مغربی^۲

۱- دانشجو کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

nabizadeh.ali@mail.um.ac.ir

خلاصه

با ورود تفکر ناب به صنعت ساخت و با توجه به همخوانی مزایای خودکار سازی با اهداف آن؛ نیاز به انجام پژوهش های گسترده در زمینه ارتقای خودکار سازی مسائل مربوط به ساخت و ساز ناب شکل گرفته است. در این پژوهش پس از معرفی اتلاف های موجود در فرآیند های ساخت و ساز، با استفاده از تکنیک های بنیادی کامپیوتر به بازرسی و تحلیل اتلاف های جریان محصولی پرداخته شده است. به بیان دیگر، با کمک شناسایی و ردیابی خودکار افراد حاضر در فیلم های تهیه شده از محیط فعالیت کارگران، فضاهای بی استفاده و مصالح دست نخورده؛ شناسایی شده اند. در پایان روش ارائه شده مورد ارزشیابی قرار گرفته و نتایج قابل قبولی بدست آمده است.

کلمات کلیدی: اتلاف، بینایی کامپیوتر، خودکار سازی، ردیابی اشیاء، ساخت و ساز ناب.

۱. مقدمه

هر روزه شاهد افزایش تعداد شرکت هایی هستیم که برای بهبود عملکردشان در پروژه های ساخت، به تکنیک های ساخت و ساز ناب روی می آورند. اغلب این شرکت ها و همچنین برخی از پژوهشگران، نتایج رضایت بخشی را از اجرای آن گزارش داده اند. [۱] تمرکز ساخت و ساز ناب بر کاهش اتلاف، افزایش ارزش برای مشتری و بهبود مستمر پروژه می باشد. [۲] اگرچه ارزش و اتلاف جزء مرکزی ترین و پر کاربرد ترین اصطلاحات موجود در حوزه ساخت و ساز ناب هستند، اما تعاریف پذیرفته شده و مشترکی برایشان موجود نیست. [۳] ولی از میان تعاریف موجود می توان به تعریف بلویکن و همکاران اشاره کرد. آن ها ارزش را به صورت خروجی خواسته شده و اتلاف را استفاده بیش از نیاز یا خروجی ناخواسته تعریف می کنند. [۳] متأسفانه مفاهیمی همچون اتلاف و ارزش به خوبی توسط افراد دخیل در ساخت و ساز درک نشده است. آن ها اغلب متوجه این موضوع نیستند که بیشتر فعالیت هایی که انجام می دهند؛ به کار ارزشی اضافه نمی کند و اتلافات ساختمانی تنها به اتلاف مصالح^۱ در فرآیند های ساخت و ساز محدود نشده و فعالیت هایی که ارزش اضافه نمی کنند نیز اتلاف محسوب می شود. [۴]

جدول ۱ طبقه بندی اتلافات تولید در ساخت و ساز را مطابق نظریه تغییر-جریان-ارزش^۲ نشان می دهد. مطابق این نظریه، تولید به سه طریق می تواند صورت گیرد. این سه روش عبارت اند از تغییر شکل منابع (شامل مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی)، خلق جریانی از جنس زمان و خلق ارزش. هر یک از این سه روش اتلاف های مختص به خود را دارند که در جدول ۱ شماره گذاری شده اند. در این بین، اتلاف هدر رفتن زمان به دو زیر گروه جریان کاری و جریان محصولی و اتلاف هدر رفتن ارزش به دو زیر گروه اتلاف های محصول اصلی و در کنار-محصول تقسیم می شوند. [۳] به طور مثال فضاهایی که در آن کاری انجام نشده است و مصالحی که مورد پردازش قرار نگرفته اند؛ دو تا از اتلاف های جریان محصولی به حساب می روند. در واقع اتلاف اول مربوط به مدت زمانی است که بایستی در آن افراد برای تولید محصولی (مثلا دیوار) در محل خاصی حضور پیدا می کرده اند ولی این اتفاق نیفتاده است و اتلاف دوم مربوط به مدت زمانی است که می بایست مصالح انبار شده برای تولید محصولی استفاده شده باشند ولی این اتفاق رخ نداده باشد.

^۱ Materials Waste

^۲ Transformation – Flow – Value theory

جدول ۱- طبقه بندی ائتلاف های تولید در ساخت و ساز

ارزش	جریان	تغییر شکل	
	زمان	مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی	منشأ تولید
از دست دادن ارزش	از دست دادن زمان	از دست رفتن منابع	نوع ائتلاف
محصول اصلی ۱. فقدان کیفیت ۲. فقدان استفاده هدفمند در کنار- محصول ۳. انتشار مواد مضر ۴. مصدومیت ها و مریضی های مرتبط با کار	در جریان کاری ۱. حرکت غیر ضروری (افراد) ۲. کار غیر ضروری ۳. کار ناکارآمد ۴. انتظار در جریان محصولی ۵. فضایی که در آن کار انجام نشده است ۶. مصالحی که مورد پردازش قرار نگرفته اند. ۷. حمل و نقل غیر ضروری (مصالح)	۱. ائتلاف مصالح ۲. استفاده غیر بهینه از مصالح ۳. استفاده غیر بهینه از تجهیزات یا نیروی انسانی	ائتلاف ها

از طرف دیگر، رشد سریع زیرساخت ها و توسعه تکنولوژی، منجر به ظهور خودکارسازی و روش های آن در ساخت و ساز و بهبود آن توسط این روش ها شده است. [۵] در واقع خودکارسازی و روش های زیر مجموعه اش نظیر رباتیک از طریق دقیق تر کردن انجام فعالیت ها، بهبود شرایط سلامت، افزایش تولید و کاهش هزینه ها (با توجه به کاهش هزینه های نیروی انسانی) ساخت و ساز را ارتقا می بخشد. [۶]

به خاطر این موارد است که در پژوهش های اخیر، شاهد استفاده از روش های مدرن زیر مجموعه خودکارسازی و رباتیک برای رفع مسائلی هستیم که تطابق زیادی با نیاز های ساخت و ساز ناب نظیر کاهش ائتلاف ها و افزایش ارزش دارند. با این وجود؛ هنوز پژوهشی به طور خاص به خودکارسازی بازرسی ائتلاف های جریان محصولی ساخت و ساز نپرداخته است.

در این مقاله در بخش سابقه پژوهشی مقالاتی که با استفاده از روش های خودکارسازی و رباتیک به کاهش ائتلاف های تغییر-جریان-ارزش پرداخته اند را بررسی کرده و در بخش سوم یا روش شناسی، روش پیشنهادی خود را برای کاهش ائتلاف های جریان محصولی ارائه می دهیم. در نهایت در بخش چهارم مقاله نتایج حاصل از روش پیشنهادی را بررسی و آزمایش می کنیم.

۲. سابقه پژوهشی

برای کاهش ائتلاف ناشی از طولانی بودن زمان بازرسی، می توان از بازرسی خودکار استفاده کرد. [۷] بنابراین بازرسی دقیق و کوتاه می تواند به کاهش ائتلاف ها کمک شایانی بکند. در طول یک دهه گذشته پژوهش های خیلی زیادی در زمینه خودکارسازی بازرسی انجام گرفته است. [۸] برخی از این پژوهش ها با هدف بازرسی فقدان کیفیت محصولات اصلی که جزء ائتلاف های مرتبط با از دست رفتن ارزش محسوب می شوند؛ صورت گرفته است. به عنوان نمونه دو پژوهش زیر به بازرسی نواقص پل ها پرداخته اند:

در پژوهش اول سیستم بازرسی رباتیکی متشکل از سه جزء اصلی پیشنهاد شده است. این سه جزء عبارت اند از: یک واگن متحرک کم عرض و مناسب برای محیط، یک مکانیزم رباتیکی متحرک که از ناحیه مورد نظر تصویر برداری می کند و یک نرم افزار که به طور اتوماتیک این تصاویر را با مدل طراحی به کمک- کامپیوتر (کد) ^۱ پل در هم می آمیزد. پس از آن، کاربران در دفتر، تصاویر سطوح پل را به کمک نرم افزار کد و یک پلاگین ^۲

^۱ Computer-Aided Design (CAD)

^۲ Plugin

اختصاص داده شده جهت تشخیص، اندازه گیری و نظر دهی راجع به نواقص پل جستجو کرده تا بعداً مورد پردازش قرار گیرند. نتیجه در قالب یک گزارش تولید شده توسط نرم افزار جمع بندی می شود. [۹] در پژوهش دیگر روشی برای بازرسی عیوب پل ها پیشنهاد شده است که در آن یک وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین^۱ تصویر بردار به کمک الگوریتمی، مدل سه بعدی از پل مورد نظر را تهیه می کند. این مدل در حالی که بازرسی از نواقص را مقدور می سازد؛ سند گزارشی نیز تولید می کند. [۱۰]

جهت بازرسی و کاهش اتلاف های جریان کاری نظیر کار غیر ضروری، کارناکارآمد و انتظار، در پژوهشی روش سیستماتیکي ارائه شده است که مدل فعالیت آرماتور بندی را با استفاده از نرم افزار شبیه سازی آرنا ۱۳،۹ توسعه داده و آزمایش می کند. [۱۱] یا در پژوهشی دیگر، روش نیمه خود کاری برای بازرسی سریع تولید از ویدئو های کارگاه ارائه شده است که با کاهش دخالت انسانی، پیمانکاران ساخت را قادر به ذخیره سازی زمان و هزینه ناشی از جمع آوری داده های تولید کرده و اتلاف های ناشی از آن را کاهش می دهد. روش نیمه خود کار مذکور، در واقع شامل سیستم نمونه اولیه^۲ ای است که الگوریتم های بینایی ماشین انتخاب شده (شامل شناسایی شیء^۳ و ردیابی^۴) را جهت بازرسی اطلاعات تولید همچون فرآیند های کاری، زمان های چرخه و تاخیرات استفاده می کند. [۱۲]

در پژوهشی دیگر پس از مرور کاربرد سامانه بازشناسی با امواج رادیویی^۵ در پروژه های پژوهشی ساخت و ساز، سیستمی معرفی شده است که با هدف ارتقای تولید، به طور موثری مصالح را ردیابی می کند. [۱۳]

در واقع دو پژوهش اخیر و بسیاری دیگر از پژوهش های مشابه، با ردیابی موجودیت های پروژه، زمان فرآیند ها را کاهش داده و با افزایش بهره وری از منابع، تولید را ارتقا می دهند.

ردیابی موجودیت های مرتبط با پروژه های ساخت؛ همچون ماشین آلات ساختمانی، مصالح و افراد؛ تکنولوژی جدید و در حال رشدی است که تاکنون علاوه بر محاسبه تولید، برای تشخیص تعارضات مسیر سفر، افزایش ایمنی در کارگاه و نظارت بر پروژه استفاده شده است. برای ردیابی اغلب از تکنولوژی های بسامد رادیویی^۶ (نظیر وای-فای، سامانه بازشناسی با امواج رادیویی و باند فوق وسیع^۷) و سیستم موقعیت یاب جهانی^۸ استفاده می شود. [۱۴] روش های ردیابی به بلوغ رسیده زیادی؛ در صنعت ساخت امتحان شده اند. هدف این روش ها، ارتقای انتقال از مدیریت سنتی که به شدت وابسته به کار دستی است به سیستم کنترل کارگاهی هوشمندتر که خودکار سازی نقش مهمی در آن ایفا می کند؛ می باشد. [۱۵] از جمله این پژوهش هایی که با ردیابی به وسیله تکنولوژی های بسامد رادیویی به مسائل مربوط به ساخت و ساز ناب پرداخته اند؛ می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

پژوهشی به تحقیق درباره کاربردهای مختلف سامانه بازشناسی با امواج رادیویی در صنعت ساخت و چگونگی ادغام آن با فرآیند صنعت ساخت و ساز ناب پرداخته است. [۱۶]

یا در پژوهشی دیگر، یک چهارچوب تحقیقاتی ارائه شده که با هدف برنامه ریزی پیشرفته ساخت و ساز ناب و تصمیم گیری سریع به ردیابی خودکار مکان منابع ساخت و ساز (نیروی انسانی، ماشین آلات و مصالح) می پردازد. همچنین در این پژوهش، دورنما و کاربرد های اطلاعات مسیری جمع آوری شده منابع را که می تواند در تصمیم گیری پروژه مورد استفاده قرار گیرند؛ ارائه شده است. [۱۷]

در پژوهشی، یک سیستم هوشمند برای کنترل آنی نیاز های تنظیم شده توسط افراد حرفه ای در صنعت ساخت چهار کشور، معرفی شده است. این نیاز های شناسایی شده توسط مصاحبه ها، عبارت اند از: ۱- مدیریت ایمنی ۲- کنترل فرآیند اطلاعات، تولید و اتلاف ۳- تدارکات مصالح ۴- اطلاعات بر پایه مکان طبق اساس کشش^۹. سیستم ارائه شده آن ها، این نیاز های کلیدی ساخت و ساز ناب را توسط ترکیب و اشتراک اطلاعات آنی بین مصالح ردیابی شده با برچسب های سامانه بازشناسی با امواج رادیویی، کارگران و تجهیزات ردیابی شده توسط بیکن های بلوتوث، که با دروازه های برپایه مکان^{۱۰} به وسیله یک راهکار برپایه ابر^{۱۱} تعامل دارند؛ رفع می کند. [۱۸]

در پژوهش جدید دیگری؛ مکان یابی خودکار کارگران، به عنوان روشی برای امکان پذیر کردن کنترل تولید در پروژه های ساخت و ساز ارائه شده است. در این پژوهش، سیستم ردیابی آنی^{۱۲} پیشنهاد شده اشان در قالب مطالعه های موردی ای در کارگاه های ساختمانی فنلاند و چین پیاده

^۱ Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

^۲ Prototype System

^۳ Object Detection

^۴ Tracking

^۵ Radio Frequency Identification (RFID)

^۶ Radio Frequency

^۷ Ultra Wideband (UWB)

^۸ Global Positioning System

^۹ Pull Basis

^{۱۰} Location-Based Gateways

^{۱۱} Cloud-Based Solution

^{۱۲} Real-Time



دوازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران

۸ و ۷ خرداد ۱۳۹۹

دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران



سازی شده است. مدل ارائه شده با هدف احداث پلنفرمی که می تواند برای مدیریت جریان منابع مطابق اصول ساخت و ساز ناب به کار برود؛ تکنولوژی بلوتوث با انرژی کم و شبکه ۳ جی یا ۴ جی^۱ را ترکیب کرده و به دنبال کشف حرکات و اطلاعات زمانی کارگران کارگاه می گردد. [۱۹]

۳. روش شناسی

همان طور که پیشتر ذکر شده است؛ ردیابی منابع کارگاهی با بهره جویی از فناوری های بسامد رادیویی و پردازش تصاویر ویدئویی امکان پذیر است. در کارگاه های بزرگ، به کارگیری، نگهداری و برچیدن سیستم های ردیابی بسامد رادیویی هزینه بر و زمان بر است. علاوه بر این موارد، اغلب مسائل مرتبط با حریم خصوصی در هنگام ردیابی افراد، استفاده از تکنولوژی های بسامد رادیویی را در کارگاه های ساخت و ساز محدود می کند. [۱۴] از طرف دیگر، در اغلب کارگاه های بزرگ استفاده از دوربین های مدار بسته جهت کنترل مسائل امنیتی ضروری است. بنابراین بهره گیری از این دوربین های از قبل تعبیه شده، هزینه اضافی به کارگاه تحمیل نکرده و به دلیل عدم نیاز به چسباندن برچسب، به حریم خصوصی کارگران لطمه ای وارد نمی شود. بنابراین پردازش تصاویر ویدئویی با ارزش های ساخت و ساز ناب تطابق بیشتری داشته و این روش گزینه بهتری محسوب می شود. ردیابی بصری یک شیء^۲ با روش های متعددی از قبیل تفریق پس زمینه^۳ [۲۰] یا شار نوری^۴ [۲۱] قابل اجرا است. هر چند که این دو روش برای حل مسائل عمرانی به کار گرفته شده اند [۲۲]؛ حل مسئله ما نیازمند روشی پیچیده تر و ساختار یافته تر است. چرا که ردیابی چند شیء به طور همزمان و ترسیم مسیر حرکتشان، بدون قابلیت شناسایی و تفکیک افراد از یک دیگر؛ امکان پذیر نیست. فلوچارت روش پیشنهادی ما برای ردیابی افراد حاضر در دامنه دید دوربین؛ در شکل ۱ نمایش داده شده است. مطابق این روش در فریم اول منابع انسانی کارگاه، شناسایی شده و مختصات افراد شناسایی شده ذخیره و به الگوریتم ردیاب داده می شود. در فریم دوم ردیاب استفاده شده، محل جدید افراد را پیدا کرده و این مختصات جدید ذخیره می شود. فاصله مختصات ذخیره شده در فریم دوم با فریم اول مطابقت داده شده و به این طریق با دقت خوبی مسیر حرکت هر فرد به درستی ترسیم می شود. در فریم سوم ردیاب ها خود را روزرسانی^۵ می کنند. به عبارت دیگر؛ ردیاب ها با استفاده از مختصاتی که در فریم دوم توسط خودشان بدست آمده؛ محل جدید افراد را پیدا کرده و این مختصات جدید ذخیره می شود. سپس مختصات ذخیره شده در فریم سوم با فریم دوم مطابقت داده شده و مسیر حرکت هر فرد ترسیم می شود. چنانچه هر n فریم به شناسایی منابع انسانی پردازیم، در فریم چهارم تا $n-1$ ام اتفاق مشابهی با فریم سوم می افتد. در فریم n عملیات ردیابی متوقف شده و مشابه فریم اول تنها منابع انسانی شناسایی می شوند. مختصات حاصل از این شناسایی با مختصات حاصل از ردیابی در فریم $n-1$ ام مطابقت داده شده و مسیر حرکت هر فرد ترسیم می شود.

جزئیات بیشتر، در بخش های ۱.۳ تا ۳.۳ شرح داده می شود.

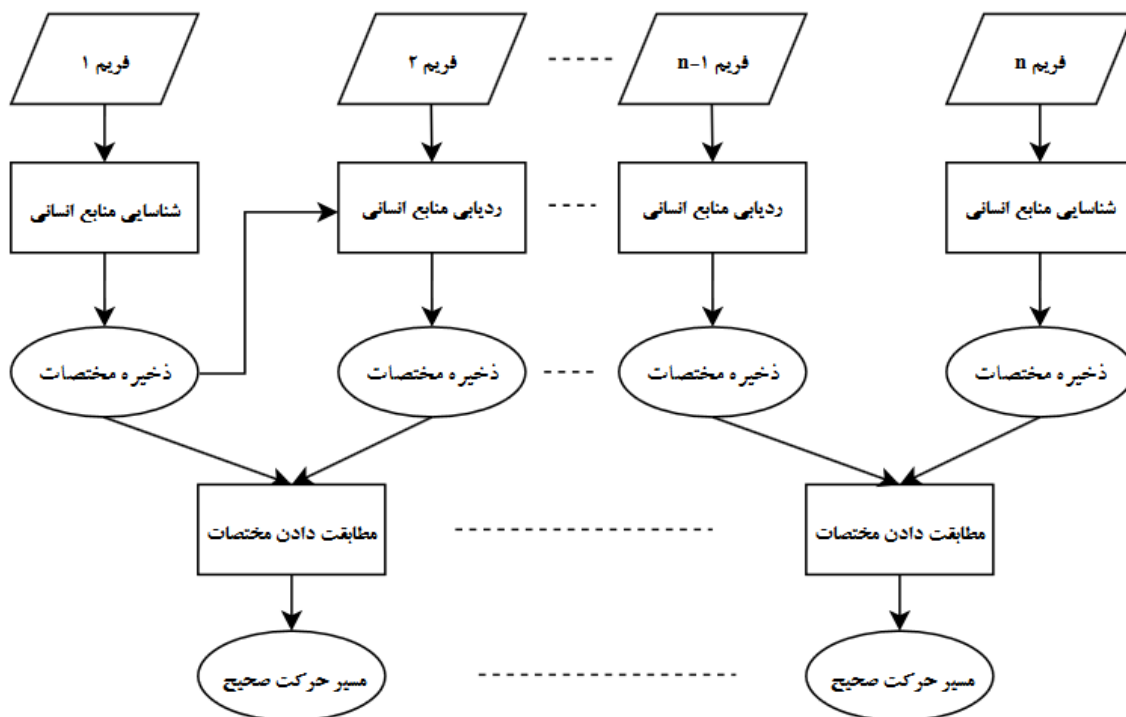
^۱ 3G/4G

^۲ Visual Object Tracking

^۳ Background Subtraction

^۴ Optical Flow

^۵ Update



شکل ۱- چهارچوب کلی روش ترکیبی پیشنهاد شده

۱.۳ شناسایی اشیاء

با روش های تشخیص اشیاء می توان علاوه بر ماهیت اشیاء، محل آن ها را نیز تعیین کرد. در واقع الگوریتم تشخیص اشیاء، افراد جدید را شناسایی کرده و زمانی که فردی در بخش ردیابی گم بشود، ردیابی مجدد او را ممکن می سازد. برای تشخیص اشیاء روش های گوناگونی وجود دارد. معمولاً بهترین و جدیدترین این روش ها، بر پایه استفاده از یادگیری عمیق هستند. [۲۳-۲۵] در این پژوهش برای شناسایی اشخاص از یک شبکه عصبی پیچشی^۱ از پیش آموزش داده بهره گرفته شده است. این شبکه معماری MobileNet را که توسط Howard و همکاران ارائه شده [۲۶] به همراه بدنه یک SSD^۲ دارد. [۲۳] این شبکه عصبی پیچشی که برای اولین بار توسط مجموعه داده COCO^۳ آموزش داده شده، قادر است انسان ها، وسایل نقلیه مختلف و چند نوع شیء دیگر را در یک فریم شناسایی کرده و مستطیل هایی که آن اشیاء درونشان قرار می گیرند را به عنوان خروجی به ما بدهد. چون الگوریتم های شناسایی اشیاء برخلاف الگوریتم های ردیابی اطلاعاتی از ظاهر و مکان اشیاء ندارند؛ باید در کل ابعاد فریم به شناسایی اشیاء پردازند؛ به همین دلیل راه اندازی آن ها نیازمند محاسبات سنگین تری نسبت به ردیاب ها است. از طرف دیگر، ورود و خروج محسوس اشیاء به ویدئو نیازمند اجرای چندین فریم (تعداد فریم = n) است. به همین خاطر، در هر n فریم الگوریتم شناسایی اشیاء را اجرا کرده و در بین آن ها تنها اشیاء شناسایی شده را ردیابی می کنیم. بهترین مقدار عددی n ، به پارامترهای زیادی به خصوص نرخ اجرای فریم بر ثانیه ویدئو وابسته بوده و انتخاب آن به راحتی با انجام سعی و خطا امکان پذیر است.

۲.۳ ردیابی اشیاء

برای ردیابی کارگران روش های متنوعی وجود دارد. اخیراً ردیابی با استفاده از فیلترهای همبستگی^۴ به دلیل عملکرد سریعتر و دقیق تر، نسبت به سایر روش ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. [۲۷-۳۰] در واقع این ردیاب ها، فیلتر همبستگی ای که برای مکان یابی شیء هدف در فریم جدید استفاده

^۱ Convolutional Neural Network

^۲ Single Shot Detector

^۳ Common Objects in Context

^۴ Correlation Filters

شده را یاد می گیرند. برای مثال یکی از معروف ترین فیلتر های همبستگی به نام MOSSE^۱ مطابق معادله (۱) فیلتر H را به گونه ای میابد که مجموع مربعات خطا بین خروجی واقعی و خروجی مطلوب حداقل باشد. [۳۱] ماتریسی متشکل از تبدیل سریع فوری^۲ از ظاهر شیء هدف به عنوان نمونه های یادگیری و G ماتریسی متشکل از تبدیل سریع فوری از ظاهر شیء هدف به عنوان خروجی می باشد. منظور از خروجی واقعی حاصل ضرب هادامار مزدوج مختلط فیلتر H در i امین قطعه تصویر^۳ از ماتریس F و منظور از خروجی مطلوب، i امین قطعه تصویر از ماتریس G است.

$$\min_H \sum_i |F_i \circ H^* - G_i|^2 \quad (1)$$

در این پژوهش از ردیاب های همبستگی دی لب^۴ که بر پایه کار Danelljan^۵ و همکاران عمل می کند؛ استفاده شده است. این ردیاب بهبود یافته ردیاب MOSSE بوده و نواقص آن را برای اشیائی که مقیاسشان تغییر می کند؛ ندارد. [۳۲] پیش از ردیابی یک شیء به وسیله فیلتر های همبستگی، بایستی مختصات آن شیء برای ردیاب مهیا شود؛ این کار را می توان به دو شیوه دستی و خودکار انجام داد. به عنوان مثال می توان دور شیء مورد نظر را به صورت دستی مستطیلی کشید و یا می توان به صورت کاملاً خودکار از مستطیل تهیه شده توسط شناساینده شیء^۵ بهره جست. در این پژوهش، پس از شناسایی خودکار اشیاء به کمک یادگیری عمیق، مختصات مستطیل های پیدا شده به ردیاب های همبستگی داده شده و این ردیاب ها در فریم های بعدی اشیاء مورد نظر و مختصات جدیدشان را پیدا می کنند.

۳.۳. ترسیم مسیر حرکت و مطابقت دادن مختصات

مسیر حرکت هر فرد را می توان با خطوطی که محل حدودی پای یک فرد در یک فریم را به فریم بعدی وصل می کند؛ نمایش داد. محل حدودی پای یک فرد را می توان مرکز ضلع قاعده مستطیل های شناسایی شده در نظر گرفت. چالش های زیادی برای رسم صحیح مسیر حرکت کارگران یا افراد دخیل در پروژه وجود دارد. یکی از مهمترین چالش ها به درستی اختصاص دادن مختصات یافت شده افراد است. چرا که اگر به اشتباه مختصات پیدا شده یک فرد به مختصات فردی دیگر در فریم قبل ربط داده بشود؛ مسیر حرکت از محل پای یک فرد به فردی دیگر ترسیم می شود. برای رفع چالش های ترسیم مسیر حرکت، می بایست مختصات افراد شناسایی شده در فریم جدید با مختصاتشان در فریم قبلی مقایسه شده و هر کدام با دیگری تطابق داده شود. برای این کار فاصله اقلیدسی مرکز هر یک از مستطیل های شناسایی شده در فریم قبلی را با مرکز هر یک از مستطیل های شناسایی شده در فریم بعدی محاسبه کرده و مستطیلی که مرکزش کمترین فاصله را تا مرکز مستطیل فریم قبل دارد؛ به عنوان همان شیء شناسایی می کنیم. حال برای رسم صحیح مسیر حرکت، کافی است تا مرکز ضلع قاعده مستطیل فریم قبلی را با خطی به مرکز ضلع قاعده مستطیل شناخته شده در فریم بعدی وصل کنیم.

۴. آزمون روش پیشنهادی و نتایج

برای ارزیابی مناسب روش پیشنهادی به داشتن ویدئویی نیاز داشتیم که بتواند علاوه بر پوشش همه چالش های تشخیص و ردیابی، با قطعیت ثمر بخش بودن یا نبودن این روش را تضمین کند. به دلیل محدودیت هایی که در تولید ویدئو با این شرایط ایده آل داشتیم، سعی کردیم تا با جستجوی فراوان بهترین ویدئوهای موجود را پیدا کنیم. در نهایت از محیط یوتیوب^۶ دو ویدئو کوتاه از محیط کار کارگران ساختمانی را یافتیم که اغلب چالش های کار ما را به خوبی پوشش می دهند. در ویدئو اول کارگران مشغول کار در کنار دو کامیون هستند. یکی از کامیون ها به جابه جایی خاک پرداخته و دیگری به محلی تعبیه شده رفته و گل های چرخ هایش شسته می شود. این ویدئو با پوشش اغلب چالش های موجود در تشخیص و ردیابی کارگران؛ می تواند معیار بسیار خوبی برای ارزیابی روش پیشنهاد شده باشد. در طول این ویدئو؛ کارگران متعددی با سرعت های کم و زیاد از تصویر خارج و به تصویر

^۱ Minimum Output Sum of Squared Error

^۲ Fast Fourier Transform

^۳ Image patches

^۴ Dlib Correlation Tracker

^۵ Object Detector

^۶ YouTube

وارد شده اند. در تصاویر این ویدئو به دلیل وجود سایه، شدت روشنایی متفاوت است؛ کامیون ها و وجود محل تعبیه شده مذکور، موجب انسداد^۱ کارگران شده و علاوه بر همه این موارد برخی کارگران حالت های غیر ایستاده نظیر خم شدن برای جاروب کردن را تجربه می کنند. ویدئو دوم نیز به جز انسداد، همه چالش های تشخیص و ردیابی موجود در ویدئو اول را پوشش می دهد. در این ویدئو چالش هایی نظیر تغییر شدت روشنایی و تغییر موقعیت سریع و ناگهانی افراد؛ نسبت به ویدئو پیشین، شدیدتر است. همچنین این ویدئو می تواند معیار مناسبی برای آزمون صلاحیت این شیوه در تشخیص مصالح دست نخورده باشد. در این ویدئو که میلگرد، لوله و تخته انبار شده است؛ یک نفر جهت انتقال میلگرد ها، ۳ بار به صحنه وارد و از آن خارج می شوند. پس از چند بار اجرای برنامه، بهینه ترین مقادیر پارامترها نظیر میزان α را بدست می آوریم. مقدار α برای ویدئو اول ۴۰ و برای ویدئو دوم ۳۰ بدست آمده است. در پایان ویدئوهای ۱ و ۲، نتیجه ای که در قالب شکل های ۲ و ۳ و نمایش داده شده است؛ حاصل شده است.



شکل ۲- مسیر حرکت کارگران در ویدئو ۱

همان طور که در شکل ۳ ملاحظه می شود؛ از روی تراکم زیاد مسیر حرکت، می توان استفاده شدن میلگرد ها را به درستی نتیجه گرفت. از طرف دیگر، به دلیل تراکم کم مسیر حرکت در کنار تخته ها و لوله ها می توان به درستی به استفاده نشدن آن ها پی برد.



شکل ۳- مسیر حرکت کارگران در ویدئو ۲

^۱ Occlusion

برای سنجش دقیق تر عملکرد روش پیشنهادی، جدول ۲ تهیه شده است. این جدول عملکرد تشخیص و ردیابی در ویدئو ها را بر پایه سه شاخص دقت، دقت یادآوری و دقت کل ارزیابی می کند. نحوه محاسبه هر کدام از شاخص ها به ترتیب در روابط (۲)، (۳) و (۴) آمده است. در این روابط ^۱TP تعداد افرادی که به طور صحیح ردیابی یا تشخیص داده شده اند؛ ^۲FP تعداد ردیابی ها یا تشخیص هایی که نیروی انسانی نیستند و ^۳FN تعداد افرادی که ردیابی یا تشخیص داده نشده اند را نشان می دهند. در ویدئو اول و در لحظه ای نادر که در شکل ۴ نمایش داده شده است؛ هر سه این موارد رخ داده اند.



شکل ۴- TP، FP و FN

همان طور که در جدول ۲ ملاحظه می شود؛ دقت یادآوری نسبت به دقت به مقدار قابل توجهی کمتر بوده و این موضوع منجر به پایین آمدن دقت کل شده است. دلیل این مسئله بالا بودن FN به خاطر شدید بودن چالش های ذکر شده به خصوص تغییر شدت نور است. اما پایین بودن دقت یادآوری موضوع جدی ای برای حل مسئله ما به شمار نمی رود؛ چرا که این موضوع تنها منجر به منقطع شدن مسیر حرکت شده و بدیهی است که منقطع بودن مسیر حرکت تولید شده؛ در تشخیص مسیری که کارگران طی کرده اند، مشکلی ایجاد نمی کند. علاوه بر این، در اغلب کارگاه ها چالش های تشخیص و ردیابی به وخامت دو ویدئو انتخاب شده نیستند.

$$\text{دقت} = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (2)$$

$$\text{دقت یادآوری} = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (3)$$

$$\text{دقت کل} = \frac{TP}{(TP + FP + FN)} \quad (4)$$

TP: تعداد افرادی که به طور صحیح ردیابی یا تشخیص داده شده اند.

FP: تعداد ردیابی ها یا تشخیص هایی که نیروی انسانی نیستند.

FN: تعداد افرادی که ردیابی یا تشخیص داده نشده اند.

^۱ True Positive

^۲ False Positive

^۳ False Negative

جدول ۲- عملکرد تشخیص و ردیابی در ویدئوها

شماره ویدئو	TP	FP	FN	دقت	دقت یادآوری	دقت کل
۱	۱۱	۱	۳	۹۲٪	٪۷۹	٪۷۳
۲	۸	۰	۳	٪۱۰۰	٪۷۳	٪۷۳
کل	۱۹	۱	۶	٪۹۵	٪۷۶	٪۷۳

۵. نتیجه گیری

در گام اول این پژوهش به معرفی اهمیت ساخت و ساز ناب و خودکارسازی پرداخته شده و با بررسی پژوهش های اخیر، ضرورت تعامل هر چه بیشتر این دو حوزه نشان داده شده است. سپس روشی برای ارتقای خودکارسازی بازرسی یکی از مسائل ساخت و ساز ناب ارائه شده است. در روش پیشنهاد شده، افراد حاضر در ویدئوهای گرفته شده از دوربین های مدار بسته به وسیله یک روش بر پایه یادگیری عمیق، شناسایی شده و به وسیله یک مدل از ردیاب های فیلتر همبستگی، ردیابی شده و مسیر حرکتشان ترسیم می شود. تحلیل باقی مانده مسیر حرکت افراد و کارگران، اطلاعات مفید زیادی را آشکار می کند. به عنوان مثال، با مقایسه تراکم مسیر حرکت کارگران در دو بازه زمانی متفاوت می توان به طور حدودی، تخمینی از کاهش یا افزایش تولید را بدست آورد؛ یا فهمید که آیا در بازه زمانی خاص، کارگری در محل مورد نظر قرار داشته است یا خیر و یا حرکت کارگران به محیط های پر خطر را شناسایی کرد. اما به طور خاص در زمینه اتلاف های جریان محصولی کارگاه، می توان به طور نسبتاً دقیقی فضاهایی که در آن ها عملیاتی صورت نمی گیرد و مصالح دست نخورده را شناسایی کرد. برای ارزشیابی دقت مسیر های حرکت تولید شده؛ روش ارائه شده بر روی دو ویدئو ضبط شده از محل کار کارگران ساختمانی، پیاده سازی شده و نتایج قابل قبول و مناسبی حاصل شده است.

۶. مراجع

- Alarcón, L. F., Diethelm, S., Rojo, O & Calderón, R., (2011), "Assessing the impacts of implementing lean construction," *Revista ingeniería de construcción*, 23(1), pp 26-33 .
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R., (2010), "Interaction of lean and building information modeling in construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), pp 968-980 .
- Bølviken, T., Rooke, J., & Koskela, L., (2014), "The Wastes of production in construction—A TFV based taxonomy," In Proc. 22nd Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction.
- Alwi, S., Hampson, K. D., & Mohamed, S. A., (2002), "Non value-adding activities: a comparative study of Indonesian and Australian construction projects"
- Oke, A., Aigbavboa, C., & Mabena, S. , (2017), "Effects of Automation on Construction Industry Performance," In Second International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering (ICMMSE 2017).
- Bock, T. , (2008), Construction automation and robotics, *Robotics and Automation in Construction*: IntechOpen.
- Ballard, G., Koskela, L., Howell, G., & Zabelle, T., (2001), " Production system design in construction ", At the Annual Conference of the International Group for Lean Construction.
- Agnisarman, S., Lopes, S., Madathil, K. C., Piratla, K., & Gramopadhye, A., (2019), "A survey of automation-enabled human-in-the-loop systems for infrastructure visual inspection," *Automation in Construction*, 97, pp 52-76.
- Sutter, B., Lelevé, A., Pham, M. T., Guoin, O., Jupille, N., Kuhn, M., . . . Rémy, P. ,(2018), "A semi-autonomous mobile robot for bridge inspection," *Automation in Construction*, 91, pp 111-119 .
- Khaloo, A., et al., *Unmanned aerial vehicle inspection of the Placer River Trail Bridge through image-based 3D modelling*. Structure and Infrastructure Engineering, 2018. 14(1): p. 124-136.
- Nikakhtar, A., Hosseini, A. A., Wong, K. Y., & Zavichi, A., (2015), "Application of lean construction principles to reduce construction process waste using computer simulation: a case study," *International Journal of Services and Operations Management*, 20(4), pp 461-480.
- Gong, J., & Caldas, C. H. ,(2011), "An object recognition, tracking, and contextual reasoning-based video interpretation method for rapid productivity analysis of construction operations," *Automation in Construction*, 20(8), pp 1211-1226 .



13. Moon, S., Xu, S., Hou, L., Wu, C., Wang, X., & Tam, V. W., (2017), "RFID-aided tracking system to improve work efficiency of scaffold supplier: stock management in Australasian supply chain," *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(2), 04017115 .
14. Brilakis, I., Park, M.-W., & Jog, G., (2011), "Automated vision tracking of project related entities," *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), pp 713-724 .
15. Nath, T., Attarzadeh, M., Tiong, R. L., Chidambaram, C., & Yu, Z., (2015), "Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering," *Automation in Construction*, 54, pp 54-68 .
16. Taylor, M. (2010), "Radio frequency identification (RFID) and the lean construction process," *Proc. 18th CIB World Congress*.
17. Cheng, T., Yang, J., Teizer, J., & Vela, P. A., (2010), "Automated construction resource location tracking to support the analysis of lean principles," *Challenging Lean Construction Thinking: What Do We Think and What Do We Know*, pp 643-653 .
18. Olivieri, H., Seppänen, O., & Peltokorpi, A., (2017), "Real-time tracking of production control: requirements and solutions," At the In: *Proc. Lean & Computing in Construction Congress (LC3)*.
19. Zhao, J., Zhang, J., & Seppänen, O., (2019), "Real-time Tracking for Intelligent Construction Site Platform in Finland and China: Implementation, Data Analysis and Use Cases," In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*.
20. Stauffer, C., & Grimson, W. E. L. (1999). *Adaptive background mixture models for real-time tracking*. Paper presented at the Proceedings. 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cat. No PR00149).
21. Barron, J. L., Fleet, D. J., & Beauchemin, S. S. (1994). Performance of optical flow techniques. *International journal of computer vision*, 12(1), 43-77.
22. Yang, J., Vela, P., Teizer, J., & Shi, Z. (2014). Vision-based tower crane tracking for understanding construction activity. *Journal of computing in civil engineering*, 28(1), 103-112.
23. Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.-Y., & Berg, A. C., (2016), "*Ssd: Single shot multibox detector*," In *European conference on computer vision*.
24. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A., (2016), "You only look once: Unified, real-time object detection," In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*.
25. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J., (2015), "Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks," In *Advances in neural information processing systems* .
26. Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., . . . Adam, H., (2017), "Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications," *arXiv preprint arXiv:1704.04861* .
27. Henriques, J. F., Caseiro, R., Martins, P., & Batista, J., (2014), "High-speed tracking with kernelized correlation filters," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 37(3), pp 583-596 .
28. Kiani Galoogahi, H., Sim, T., & Lucey, S., (2015), "Correlation filters with limited boundaries," In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
29. Danelljan, M., Hager, G., Shahbaz Khan, F., & Felsberg, M., (2015), "Learning spatially regularized correlation filters for visual tracking", In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*.
30. Mueller, M., Smith, N., & Ghanem, B., (2017), "Context-aware correlation filter tracking," In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
31. Bolme, D. S., Beveridge, J. R., Draper, B. A., & Lui, Y. M. (2010). Visual object tracking using adaptive correlation filters. Paper presented at the 2010 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition.
32. Danelljan, M., Häger, G., Khan, F., & Felsberg, M. (2014). Accurate scale estimation for robust visual tracking. Paper presented at the *British Machine Vision Conference*, Nottingham, September 1-5, 2014.