



Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: <https://modelling.semnan.ac.ir/>

ISSN: 2783-2538



Research Article

Development of Machine Vision Algorithms for Radioactive Contaminated Targets Detection in Dynamic Radiation Scenarios

Amir Mohammad Beigzadeh ^{a,*}, Hadi Ardiny ^a

^a Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2024-01-29

Revised: 2024-04-09

Accepted: 2024-04-28

Keywords:

Radiation scenario;
Radioactive
contamination detection;
Machine vision;
Data fusion;
Nuclear engineering;
Surveillance cameras.

ABSTRACT

Detecting and monitoring radioactive contamination is very important. It ensures public safety and environmental protection. However, exploring out-of-control radioactive sources in crowded places is hard. This is true, for example, among passengers or cars. This study proposes a new approach. It is based on data fusion and machine vision methods. The approach detects radiological contamination among similar moving objects. At first, we use the motion algorithm to define 5 moving objects. They are of the same shape and size and in a two-dimensional plane. Their motion equations were inspired by the small wheeled robot. These objects move with the same speed in the plane. Next, with another algorithm based on the KLT method, we extracted related features and tracked the same objects from the image data. The algorithm combines the beam detection system's data and machine vision. It finds one or more infected targets. It successfully detects the infected moving object. This research shows a promising approach to improve monitoring of radiation environments. It suggests integrating surveillance camera images and radiation detection systems for public and large areas.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2024.33125.2612>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: abeigzadeh@acoj.org.ir

How to cite this article:

Beigzadeh, A., & Ardiny, H. (2024). Development of Machine Vision Algorithms for Radioactive Contaminated Targets Detection in Dynamic Radiation Scenarios. *Journal of Modeling in Engineering*, 22(79), 281-292. doi: 10.22075/jme.2024.33125.2612

توسعه الگوریتم‌های بینایی ماشین برای شناسایی اهداف آلوده پرتوزا در سناریوهای پرتوی دینامیک

امیرمحمد بیگزاده^{*}، هادی اردینی^۱

چکیده	اطلاعات مقاله
شناسایی و نظارت بر آلودگی رادیواکتیو برای اطمینان از ایمنی عمومی و حفاظت از محیط زیست بسیار مهم است. با این حال، شناسایی منابع رادیواکتیو خارج از کنترل در مکان‌های شلوغ می‌تواند چالش برانگیز باشد، به طور مثال بین مسافران یا وسایل نقلیه. این مطالعه یک رویکرد جدید مبتنی بر ترکیب داده‌ها و روش‌های بینایی ماشین برای تشخیص آلودگی پرتوی در میان اجسام متحرک مشابه معرفی می‌کند. در ابتدا، یک الگوریتم حرکتی برای تعریف ۵ جسم متحرک با شکل و اندازه یکسان در یک صفحه دو بعدی، با الهام از معادلات حرکت یک ربات چرخدار کوچک استفاده می‌شود. این اجسام با سرعت ثابتی در صفحه دو بعدی حرکت می‌کنند. متعاقباً، الگوریتم دیگری با استفاده از روش KLT برای استخراج ویژگی‌های مرتبط و ردیابی همان اشیاء از داده‌های تصویر استفاده می‌شود. با ترکیب داده‌های سیستم تشخیص پرتو و بینایی ماشین، این الگوریتم یک یا چند هدف آلوده را شناسایی و شی متحرک آلوده را با موفقیت شناسایی می‌کند. این تحقیق یک روش امیدوارکننده را برای افزایش نظارت بر محیط‌های پرتوی ارائه می‌کند و ادغام تصاویر دوربین‌های نظارتی و سیستم‌های تشخیص پرتوی را برای مناطق عمومی و بزرگ پیشنهاد می‌کند.	دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹ بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹
	واژگان کلیدی: سناریوی پرتوی، آشکارسازی آلودگی رادیواکتیو، بینایی ماشین، همجوشی داده‌ها، مهندسی هسته‌ای، دوربین‌های نظارتی.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2024.33125.2612>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

۱- مقدمه

غیرمجاز مواد رادیواکتیو برای افزایش ایمنی و امنیت در جوامع ضروری است. از سوی دیگر، فرایند انتخاب ممکن است با محدودیت در سامانه‌های بازرسی فعال به دلیل ملاحظات ایمنی، به‌ویژه هنگام غربالگری عابران پیاده یا خطوط مسافر، مانع شود، درحالی‌که زمان‌بندی یک عامل حیاتی در مناطق کنترل شده مانند فرودگاه‌ها و گمرکات است [۱]. به عنوان مثال، میانگین روزانه تعداد افراد در فرودگاه بین‌المللی هارتسفیلد - جکسون آتلانتا بیش از ۲۵۰۰۰۰ مسافر در روز است [۲]. مرز ایالات متحده و مکزیک با بیش از ۳۰۰ میلیون نفر، ۹۰ میلیون وسیله نقلیه

با رشد سریع فناوری هسته‌ای و گسترش جهانی آن، تهدیدات احتمالی ناشی از مواد رادیواکتیو ناشی از تروریسم، سهل‌انگاری در استفاده و جابه‌جایی آن‌ها و سایر سناریوهای مشابه می‌تواند خطرات جدی برای جوامع بشری ایجاد کند. در نتیجه، نیاز قابل توجهی به توسعه سامانه‌های تشخیص و ردیابی چشمه‌های رادیواکتیو برای افزایش امنیت و جلوگیری از فعالیت‌های تروریستی وجود دارد. درحالی‌که حرکت افراد، وسایل نقلیه و کالاها در سراسر مرزها برای انسان ضروری است، شناسایی و جلوگیری از قاچاق

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: abeigzadeh@aeoi.org.ir

۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

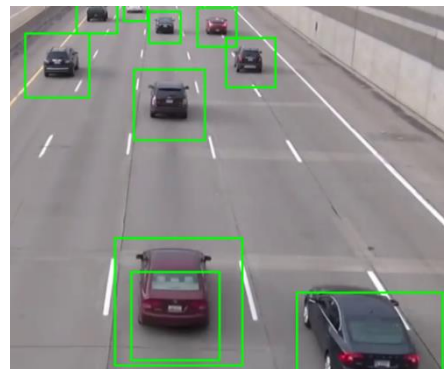
استناد به این مقاله:

که ویژگی‌های آماری یک تصویر را تجزیه و تحلیل می‌کند و مهم‌ترین ویژگی‌ها یا الگوهای موجود در آن را شناسایی می‌کند. روش KLT با تبدیل داده‌های تصویر به مجموعه جدیدی از مختصات کار می‌کند که مهم‌ترین ویژگی‌ها با بزرگ‌ترین مقادیر نشان داده می‌شوند. این تبدیل با محاسبه بردارهای ویژه و مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس تصویر به دست می‌آید [۶]. از روش ردیابی اشیا و محاسبه ضریب همبستگی بین موقعیت اشیا و داده‌های رادیواکتیو برای یافتن یک هدف آلوده اعمال می‌کنند. این تحقیق در یک بستر مدل شده به ابعاد یک اتاق انجام شده است. با مقرون به صرفه تر کردن آشکارساز و ماژول‌های انتقال داده، امکان گسترش پوشش به مناطق بزرگ‌تر مانند شهرها فراهم می‌شود. الگوریتم MV می‌تواند اشیا را بر اساس ویژگی‌های آن‌ها قابل ردیابی و تشخیص دهد. سپس، با جفت شدن با داده‌های ثبت شده از طریق آشکارسازها، می‌توان هدف یا اهداف آلوده را در میان چندین شیء متحرک شناسایی کرد.

۲- پیشینه پژوهش

در اموری مانند بازرسی، کنترل کیفیت و آزمایش‌های غیرمخرب، سامانه‌های بینایی ماشین یک جایگزین مقرون به صرفه برای نیروی انسانی هستند. تشخیص امضا و دست خط، تشخیص اشیا و الگو، بازرسی ارز و مواد، تجزیه و تحلیل تصویر پزشکی و امنیت و دفاع تنها چند کاربرد این دستگاه‌ها هستند. تصمیمات اتخاذ شده توسط سامانه‌های بینایی ماشین به شدت تحت تأثیر کیفیت داده‌های به دست آمده است [۸][۹]. برای اجرای بینایی ماشین، الزامات پروژه باید به دقت برنامه‌ریزی شود و راه‌حل مناسب ارائه شود [۱۰-۱۴]. در صنعت هسته‌ای، سامانه‌های بینایی ماشین برای تصویربرداری پزشکی هسته‌ای برای بهبود کیفیت تصویر برای بازرسی رآکتورها استفاده می‌شوند [۱۵]. آن‌ها می‌توانند خوردگی و ترک در خطوط لوله را تشخیص دهند و ایمنی کلی را افزایش دهند [۱۶]. سامانه‌های بینایی ماشین همچنین در شناسایی چشمه‌های رادیواکتیو با استفاده از انواع مختلف روبات‌ها مؤثر بوده‌اند [۱۷]. تحقیقات انجام شده توسط هانسون و همکاران از یک نمونه اولیه ربات مجهز به دوربین یکپارچه از Cognex استفاده کرد. هدف محققان ارائه راه‌حلی بود که

و ۴ میلیون گذرگاه کامیون در سال، فعال‌ترین دروازه سیاره زمین است [۳]. داده‌های جمع‌آوری شده توسط آشکارسازهای رادیواکتیو نامرئی را می‌توان با سایر تجهیزات بازرسی غیرقابل نفوذ مانند دوربین‌ها ترکیب کرد تا تشخیص امنیت هسته‌ای را در مرزها، مکان‌های تجاری و سایر مکان‌های شلوغ افزایش دهد و از قاچاق غیرقانونی مواد رادیواکتیو جلوگیری کند. هدف از این تحقیق توسعه الگوریتم‌های مستقلی است که بتواند به طور مداوم در محیط‌های پرخطر، از جمله سایت‌های هسته‌ای و حتی مناطق شهری مانند مرزها را برای یافتن مواد خارج از کنترل نظارتی^۲ برای افزایش قابلیت پایش سامانه‌های مبتنی بر بینایی ماشین^۳ متشکل از دوربین‌های نظارتی و آشکارسازهای رادیواکتیو سودمند باشد.



شکل ۱- نمونه‌هایی از صحنه‌های دوربین‌های نظارتی در حالی که الگوریتم‌های MV چندین شیء مشابه را ردیابی می‌کنند: (۵)

این تحقیق داده‌های آشکارسازهای رادیواکتیو را که معمولاً سامانه‌های تشخیص کم‌هزینه (مانند گایگر مولر و...) هستند و دوربین‌های شهری برای استخراج اطلاعات دقیق‌تر و بهبود قابلیت‌های تشخیص تهدید هسته‌ای یکپارچه می‌کند. الگوریتم بینایی ماشین داده‌های دوربین را پردازش می‌کند تا ویژگی‌های شیء (افراد/وسایل نقلیه/اقلام) را استخراج کند، همان اشیا را برچسب‌گذاری کند و سپس آن‌ها را محلی‌سازی و ردیابی کند. از روش Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) برای ردیابی اشیا شناسایی شده و برچسب‌گذاری شده استفاده شد. روش KLT یک روش بینایی ماشین محبوب و قدرتمند است که می‌تواند به استخراج اطلاعات معنی‌دار از تصاویر و ردیابی اشیا با دقت بالا کمک کند. این یک الگوریتم ریاضی است

³ Machin Vision

² material out of regulatory control (MORC)

می‌پردازد [۲۶]. در این مطالعه، سیستم تصویربرداری خودروهای عبوری را شناسایی کرده و در صورت آلوده بودن آن‌ها به مواد رادیواکتیو، اطلاعات آن‌ها را ثبت می‌کند. مطالعه دیگری [۲۷] به بررسی ادغام بین دوربین تصویربرداری و آشکارساز کامپتون^۸ نیز می‌پردازد. سیستم کامپتون برای شناسایی منابع رادیواکتیو ثابت استفاده می‌شود. با این حال، با ترکیب تصاویر، شناسایی منابع متحرک از طریق روش جبران‌کننده حرکت دوربین امکان‌پذیر شده است. شناسایی و مکان‌یابی مواد رادیواکتیو در مناطق پویا مانند ایستگاه‌های مترو و فرودگاه‌ها به دلیل جابه‌جایی افراد و محموله‌ها می‌تواند چالش‌برانگیز باشد. تحرک بالقوه این مواد، همراه با حضور افراد، خطر عدم شناسایی را افزایش می‌دهد.

۳- مدل‌سازی

۳-۱- الگوریتم حرکت پیوسته اشیای متحرک

برای ایجاد یک سناریوی پرتوی که اشیای متحرک در آن حضور دارند. این کد شبیه‌سازی مربع‌های متحرک با رنگ‌های مختلف را تنظیم می‌کند و فایل ویدئوی آن را ایجاد می‌کند. در این مرحله موقعیت و سرعت اولیه مربع‌ها مقداردهی اولیه می‌شود، موقعیت آن‌ها در طول زمان به‌روز می‌شود، با تعریف معادلات در الگوریتم از برخورد مربع‌ها با یکدیگر جلوگیری به عمل می‌آید و در مرز تصویر زمانی که اشیای متحرک به لبه تصویر رسیدند دوباره در حرکتی پیوسته مسیر خورد را تغییر می‌دهند و در کادر قرار می‌گیرند. تمام الگوهای حرکتی در این الگوریتم از حرکت واقعی ربات‌های کوچک تیمیو الگوبرداری شده است که نمونه‌ای از آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- تصویری از یک ربات تیمیو

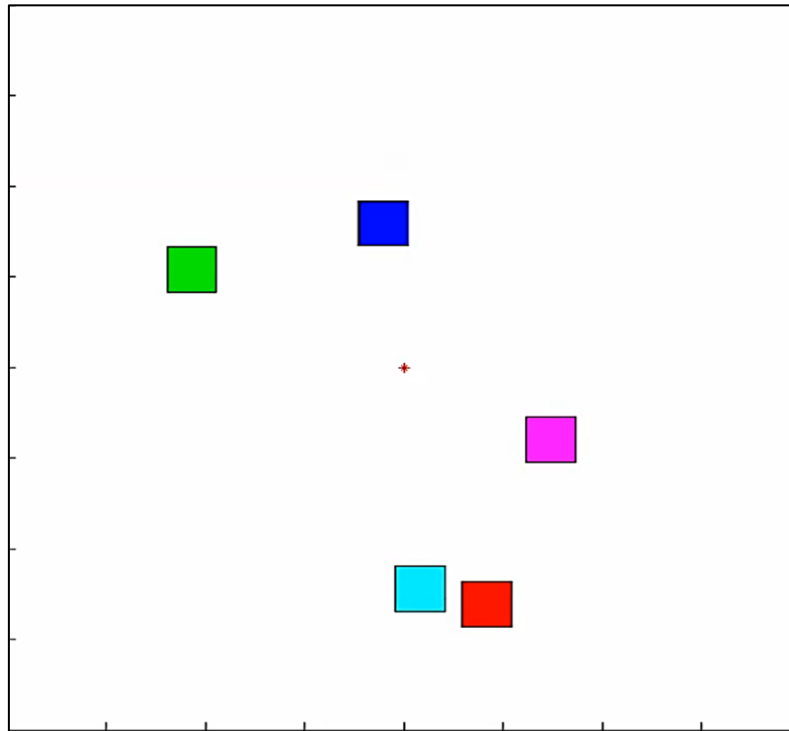
از کنترل بینایی رباتیک برای بهبود عملیات در یک راکتور هسته‌ای بهره می‌برد [۱۸]. در یک مطالعه جداگانه توسط باندسترا^۴ و همکاران، مفهوم ادغام یک سیستم بینایی ماشین با یک سیستم آشکارسازی پرتوی گاما با مساحت بزرگ برای بهبود حساسیت و مقابله با تهدیدات با مکان‌یابی سریع آن‌ها در مکان‌های شلوغ مانند مترو، فرودگاه‌ها و برج‌ها توسعه داده شد. در این پروژه، محققان از یک آرایه یک مترمربعی متشکل از ۱۰۰ آشکارساز NaI (TI) برای به دست آوردن اولین تصاویر رمزگذاری شده با ماسک استفاده کردند. علاوه بر این، از دو دوربین فیلم‌برداری استریو برای تولید یک نقشه سه‌بعدی از آشکارساز آرایه استفاده شد که منجر به تصویر نهایی برای تشخیص و ردیابی اشیای منفرد در میدان دید تصویر می‌شود [۱۹]. هوو و همکاران استراتژی به نام ACA را معرفی کرد که از یک شبکه عصبی کانولوشن^۵ برای تقریب موقعیت یک چشمه رادیواکتیو و یک الگوریتم *A* برای ترسیم مسیر استفاده می‌کند. منطقه جستجو به عنوان یک نقشه شبکه اشغال به تصویر کشیده شده است و توزیع دوز تابش منبع با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو^۶ به دست آمده است. هنگامی که کاوشگر به منطقه جستجو می‌رسد، مدل شبکه مکان چشمه را پیش‌بینی می‌کند و الگوریتم *A* مسیر جستجو را ایجاد می‌کند. جستجو به صورت مکرر ادامه می‌یابد تا زمانی که چشمه‌ها پیدا شوند [۲۳]. توسعه یک بستر آزمایشی برای یک شبکه چند حسگر که قادر به شناسایی و مکان‌یابی چشمه‌های رادیواکتیو در محیط‌های شهری و همچنین روش‌های نوآورانه برای ردیابی بلادرنگ چشمه‌های پرتوی در کل شهر است، توسط کوپر و همکاران انجام شد [۲۴]. مطالعه توسط استاس^۷ و همکاران یک مدل بیزی را نشان می‌دهد که از داده‌های شبکه‌ای از آشکارسازهای پرتوهای برای ردیابی حرکت یک چشمه رادیواکتیو استفاده می‌کند. با ترکیب محدودیت‌های دامنه خاص، مانند مکان جاده، دقت تخمین مکان با کاهش عدم قطعیت افزایش می‌یابد. علی‌رغم عدم تغییر قابل توجهی در تناسب داده‌های شمارش گاما [۲۵]. مطالعات تحقیقاتی متعددی در زمینه تلفیق داده‌ها انجام شده است. یک مطالعه قابل توجه به بررسی ادغام داده‌ها بین تصویر گرفته شده توسط دوربین و تعداد ثبت شده در آشکارساز

⁷ Osthus
⁸ Compton

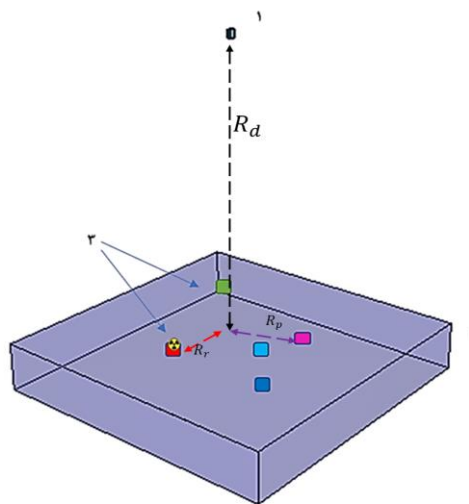
⁴ Bandstra
⁵ Convolutional Neural Network(CNN)
⁶ Monte Carlo(MC)

را تشخیص دهد و به تیمیو امکان می‌دهد مسیرها را دنبال کند یا در چالش‌های رهگیری خط شرکت کند. در شکل (۳) یک فریم از فایل ویدئویی تشکیل شده از حرکت ۵ ربات در فضای دو بعدی نشان داده شده است.

تیمیو^۹ یک ربات آموزشی متن‌باز است. این ربات دارای حسگرهای مجاورتی مادون‌قرمز است که به آن اجازه می‌دهد اشیا را تشخیص دهد و از برخورد جلوگیری کند. همچنین دارای حسگرهای زمینی است که می‌تواند خطوط



شکل ۳- تصویری از یک فریم محیط مدل شده که ۵ شیء متحرک در آن در حال حرکت هستند.



شکل ۴- نمایی از هندسه در فضای مدل‌سازی (۱) آشکارساز سه اینچ در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین به ابعاد ۳ در ۳ مترمربع، (۲) زمین آزمایش و (۳) نماینده پنج ربات هم‌شکل، R_d فاصله آشکارساز از مرکز اتاق، R_p و R_r فاصله ربات‌های قرمز و صورتی از مرکز اتاق

شد. این کد یک کد کامپیوتری پرکاربرد برای شبیه‌سازی انتقال ذراتی مانند نوترون، فوتون و الکترون از طریق مواد

۳-۲- شبیه‌سازی ترابرد پرتوی

کد: برای مدل‌سازی از کد مونت کارلوی MCNPX استفاده

^۹ Thymio

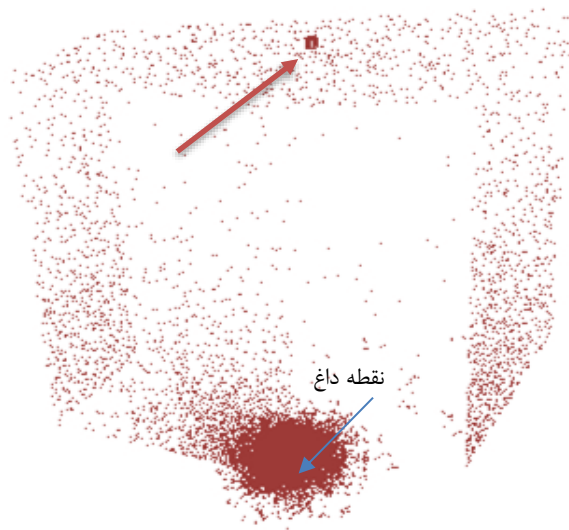
و پرتودرمانی مناسب می‌کند. در زمینه پرتونگاری صنعتی، سزیم-۱۳۷ در بازرسی جوش، خطوط لوله و اجزای سازه‌ای استفاده می‌شود.

آشکارساز: در مدل‌سازی از آشکارساز یدور سدیم آلاینده با تالیوم استفاده شد. NaI (TI) مخفف سدیم یدید آلاینده با تالیوم است. این کریستال در آشکارسازی پرتوهای گاما و اشعه ایکس بسیار کارآمد است. آرایش با تالیوم به بهبود خواص سوسوزنی کریستال کمک می‌کند و باعث می‌شود در هنگام اندرکنش با پرتوهای یون‌ساز، نور در ناحیه مرئی گسیل کند. آن‌ها می‌توانند در زمینه‌های مختلفی مانند پزشکی هسته‌ای، نظارت بر محیط‌زیست و حتی در کاربردهای امنیتی استفاده شوند. توانایی آن‌ها در اندازه‌گیری دقیق سطوح پرتوی، آن‌ها را به ابزارهای ضروری در تشخیص مواد رادیواکتیو و تضمین ایمنی تبدیل می‌کند. هنگامی که یک پرتوگاما یا اشعه ایکس وارد کریستال می‌شود، با اتم‌های سدیم و ید اندرکنش می‌کند و باعث گسیل نور سوسوزن می‌شود. سپس این نور توسط یک لوله تقویت‌کننده نوری یا نوع دیگری از حس‌گر نور به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. شدت سیگنال الکتریکی با انرژی تابش فرودی مطابقت دارد و امکان تعیین مشخصات چشمه را فراهم می‌کند. در این مطالعه سائز آشکارساز ۳ اینچ در نظر گرفته شد.

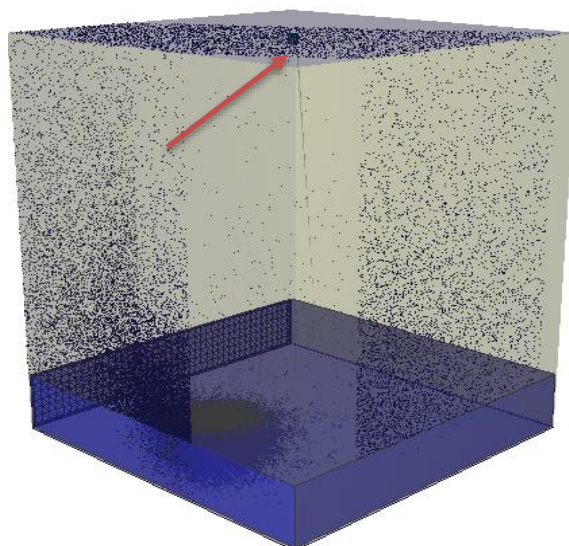
است. این ابزار قدرتمندی برای محققان و مهندسين شاغل در زمینه‌های مهندسی هسته‌ای، حفاظت در برابر پرتوها، فیزیک پزشکی و سایر رشته‌های مرتبط است [۲۸].

برای این منظور ۱۲۰ برنامه برای موقعیت‌های مختلف با گام پیوسته ربات قرمز در میان دیگر اشیای متحرک مدل‌سازی شد. در این مدل‌سازی از تالی F8 برای ثبت تعداد ذرات ثبت شده در سلول آشکارساز استفاده گردید. خطای محاسبات ۴ درصد به دست آمد. نمایی از هندسه در فضای مدل‌سازی در شکل (۴) نشان داده شده است.

رادیوایزوتوپ: برای ایجاد سناریوی پرتوی از یک چشمه رادیواکتیو استفاده شد. از چشمه گام‌آزای سزیم-۱۳۷ در مدل‌سازی استفاده گردید. سزیم-۱۳۷ که اغلب با نام اختصاری Cs-137 شناخته می‌شود، ایزوتوپ رادیواکتیو سزیم است. این یک رادیو ایزوتوپ به صورت مصنوعی تولید می‌گردد و به عنوان محصول جانبی شکافت هسته‌ای در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. با نیمه‌عمر تقریبی ۳۰ سال، سزیم-۱۳۷ مورد توجه بسیاری قرار گرفته است و کاربردهای مختلفی در صنعت، پزشکی و تحقیقات پیدا کرده است. پرتوهای گامای گسیل شده از سزیم-۱۳۷ دارای سطوح انرژی نسبتاً بالایی در مقدار ۶۶۷ کیلو الکترون‌ولت هستند که آن‌ها را برای طیف وسیعی از کاربردها از جمله پرتونگاری صنعتی، تصویربرداری پزشکی



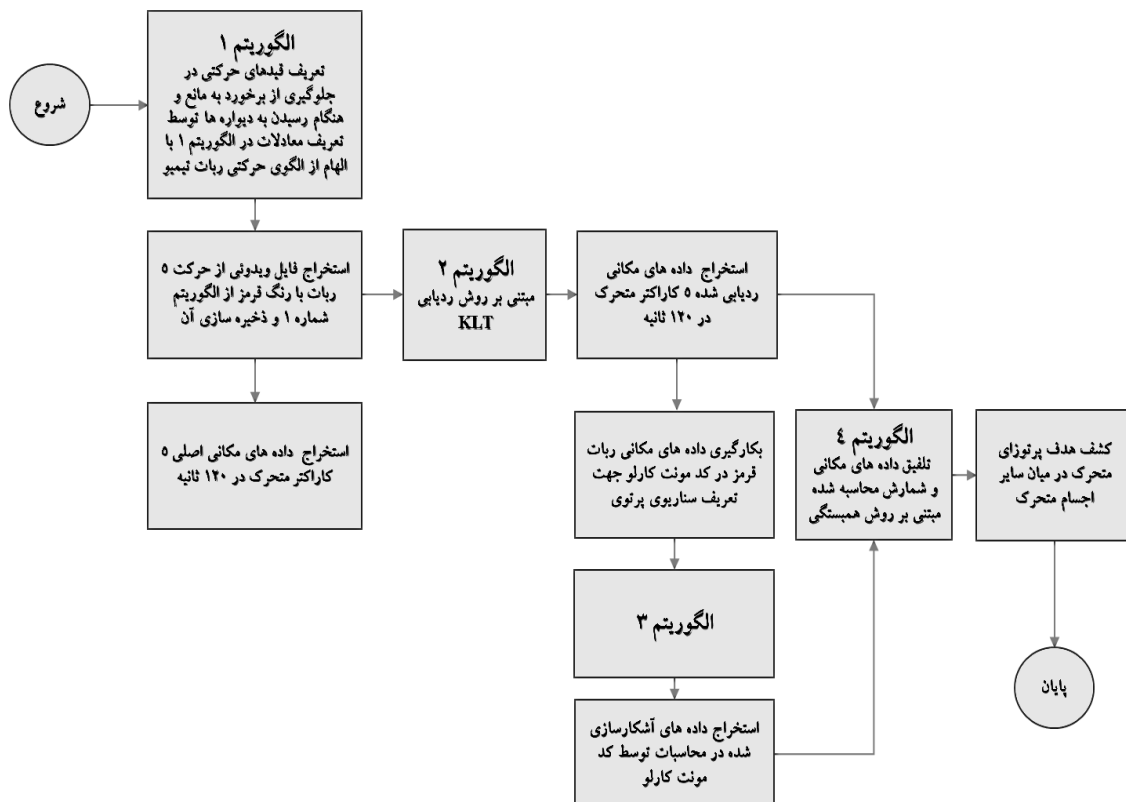
ب



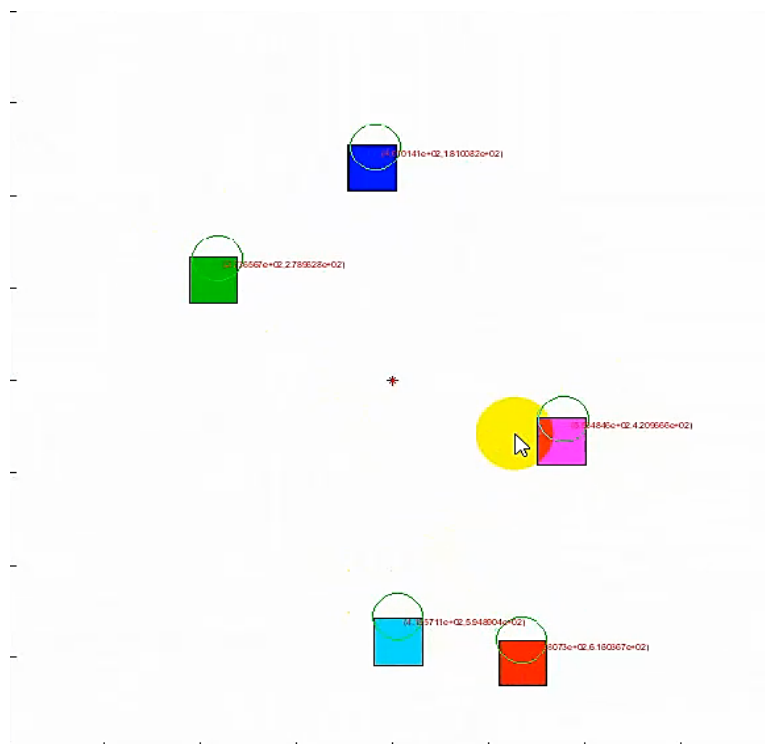
الف

شکل ۵- فضای آزمایش (الف) اتاق به ابعاد $3 \times 3 \times 3$ مترمکعب، (ب) نقطه داغ^{۱۰} محل چشمه و پخش ذرات در فضای اطراف، بردار قرمز نشان‌دهنده محل آشکارساز

¹⁰ Hot Spot



شکل ۶- فلوجارت روند اجرای الگوریتم شناسایی اهداف آلوده



شکل ۷- ردیابی کاراکترها و ثبت موقعیت مکانی آن‌ها در هر زمان

آن‌ها را نشان می‌دهد. برای این منظور فایل ویدیویی تولید شده به عنوان ورودی به این الگوریتم داده می‌شود. در ابتدا الگوریتم فریم اول این فایل ویدیویی را دریافت و مکان هر

فلوجارت روند اجرای الگوریتم شناسایی اهداف آلوده در شکل (۶) نشان داده شده است. شکل (۷) عملکرد الگوریتم مبتنی بر روش KLT در ردیابی اشیاء و تعیین نقشه حرکتی

$$\sum (\nabla I(x, y) \cdot \nabla I(x, y) T) V \\ = - \sum (\nabla I(x, y) \cdot \nabla t(x, y)) \quad (1)$$

که $\nabla I(x, y)$ گرادیان شدت تصویر را در پیکسل (x, y) نشان می‌دهد، $\nabla t(x, y)$ گرادیان مشتق زمانی شدت تصویر است و V بردار سرعتی است که قرار است تخمین زده شود. معادله لوکاس - کاناد اساساً بردار سرعت V را با به حداقل رساندن خطا بین تغییر شدت تصویر مشاهده شده $(\nabla I(x, y))$ و تغییر شدت تصویر پیش‌بینی شده $(\nabla t(x, y))$ حل می‌کند. با حل این معادله برای هر پیکسل یا مجموعه‌ای از پیکسل‌های انتخاب شده در یک دنباله تصویر، می‌توان جریان نوری را تخمین زد که اطلاعات ارزشمندی در مورد حرکت و الگوهای حرکت اجسام درون دنباله ارائه می‌دهد. معادله لوکاس - کاناد کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف، از جمله ردیابی اشیا، تثبیت‌کننده ویدئو و تحلیل حرکت پیدا کرده است. سادگی و کارایی آن، آن را به گزینه‌ای محبوب برای کارهای تخمین جریان نوری تبدیل کرده است.

۳-۴- الگوریتم مبتنی بر معادلات همبستگی

اثر بخشی آشکارسازی و کشف با روش آنالیز مبتنی بر همبستگی بین مسیرهای اشیا و شمارش گامای ثبت شده در آشکارساز شده تعیین می‌شود. ضریب همبستگی که از ۱- تا ۱ متغیر است، میزان همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقدار صفر نشان‌دهنده عدم ارتباط بین متغیرها است، درحالی‌که ۱- یا ۱ یک همبستگی کامل و حالت ایدئال را نشان می‌دهد.

$$\frac{\text{correlation}(X, Y)}{\text{covariance}(X, Y)} \\ = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2)$$

که σ انحراف استاندارد داده‌ها است. انتظار می‌رود که با افزایش فاصله بین آشکارساز و جسم آلوده به ماده رادیواکتیو متحرک، شمارش کاهش یابد که در اثر پراکندگی بیشتر پرتوها در فاصله بیشتر و دریافت شار کمتر در آشکارساز است و در نتیجه ضریب همبستگی نزدیک به ۱- باشد. برای به دست آوردن ضرایب همبستگی برای هر شیء، الگوریتم ضریب در ثانیه را تا ۱۲۰ ثانیه محاسبه می‌کند.

۴- نتایج

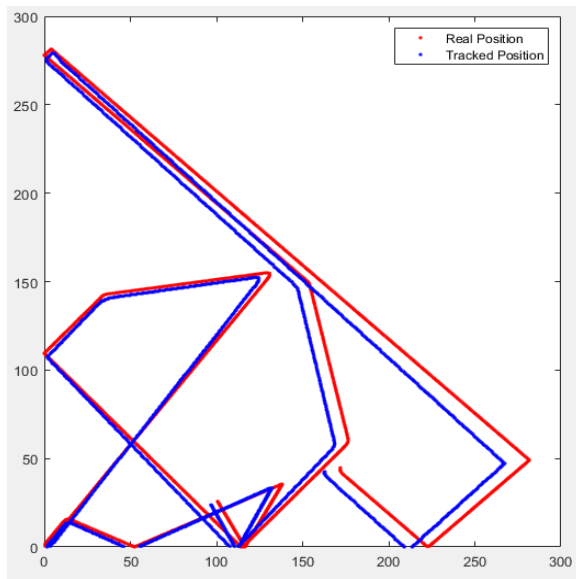
پس از حرکت کاراکترها در مسیر دوبعدی به صورت کاملاً

یک از مربع‌ها که معادل با یک ربات تیمیو هستند را تشخیص می‌دهد و یک دایره بر روی هر کدام از آنها قرار می‌دهد. الگوریتم موقعیت مکانی دو بعدی اولیه نیز بر روی هر یک از کاراکترها را نشان می‌دهد. با حرکت کاراکترها، دایره محاط بر روی هر کدام از آنها نیز بر همراه با آنها جابجا می‌گردد و موقعیتهای جدیدی که کاراکترها در آن به مسیر خود ادامه داده‌اند ثبت و ذخیره می‌گردد تا در نهایت مسیر و نقشه حرکتی تمامی آنها به دست آید.

۳-۳- الگوریتم ردیابی اشیای هم‌شکل

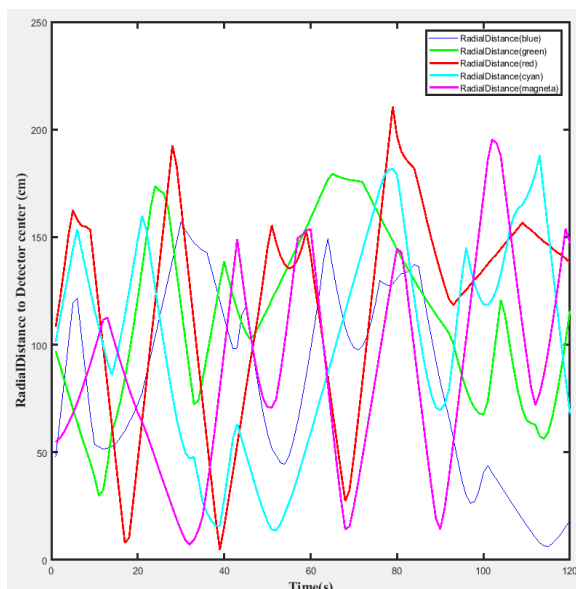
۳-۳-۱- الگوریتم مبتنی بر روش KLT

روش KLT بر این اصل استوار است که مهم‌ترین اطلاعات در یک تصویر را می‌توان با مجموعه کوچک‌تری از ویژگی‌ها یا الگوها نشان داد که می‌توان با استفاده از تکنیک‌های ریاضی استخراج کرد. این روش به ویژه برای ردیابی اشیا در فیلم‌های ویدئویی مفید است، زیرا می‌تواند حرکت و تغییرات موقعیت یک شیء را در طول زمان شناسایی کند. پیش‌پردازش داده‌های تصویر برای حذف نویز و افزایش کنتراست، محاسبه ماتریس کوواریانس و محاسبه بردارهای ویژه و مقادیر ویژه ماتریس برخی از مراحل درگیر در روش KLT هستند. سپس از این مقادیر برای تبدیل داده‌های تصویر به مجموعه جدیدی از مختصات استفاده می‌شود که مهم‌ترین ویژگی‌ها با بزرگ‌ترین مقادیر نشان داده می‌شوند. یکی از مزایای کلیدی روش KLT توانایی آن در سازگاری با تغییرات داده‌های تصویر در طول زمان است. این روش می‌تواند اشیا را حتی در صورت حرکت یا تغییر شکل، با به‌روزرسانی بردارهای ویژه و مقادیر ویژه با جمع‌آوری داده‌های جدید، ردیابی کند. یکی دیگر از مزایای روش KLT توانایی آن در مدیریت کارآمد مقادیر زیاد داده است. سودمندی این ابزار در توانایی آن در تجزیه و تحلیل تصاویر و ویدئوهای پیچیده است، مانند مواردی که در تصویربرداری پزشکی یا برنامه‌های نظارتی استفاده می‌شود. [۶][۲۹]. فرمول ریاضی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد. معادله لوکاس-کاناد برای اولین بار توسط بروس دی. لوکاس و تاکو کاناد در مقاله اصلی خود در سال ۱۹۸۱ معرفی شد. این معادله بر اساس این فرض است که جریان نوری بین دو فریم متوالی تقریباً در یک همسایگی کوچک از پیکسل‌ها ثابت است. این فرض امکان تخمین سرعت اجسام در یک دنباله تصویر را فراهم می‌کند. خود معادله از بسط سری تیلور گرفته شده و به صورت زیر بیان می‌شود [۳۰]:



شکل ۱۰- مقایسه مسیر واقعی و ردیابی شده برای کاراکتر آلوده به ماده رادیواکتیو (نمودار قرمز: مسیر اصلی، نمودار آبی: مسیر ردیابی شده)

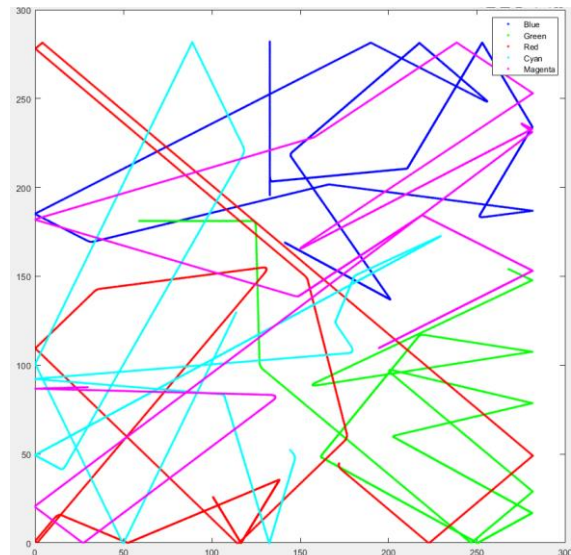
در شکل (۱۰) فاصله هر کدام از کاراکترها از محور عمودی آشکارساز در صفحه دو بعدی بر حسب زمان نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهد که کاراکترها در چه زمانی در کمترین و در چه زمانی در بیشترین فاصله از آشکارساز قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۱- فاصله شعاعی کاراکترها از محور مرکزی آشکارساز

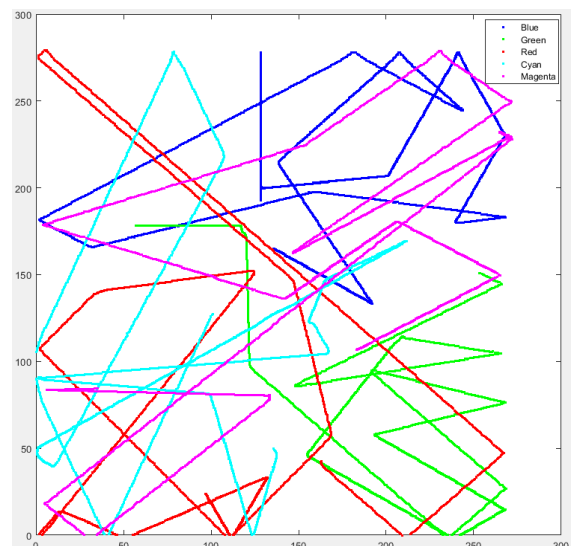
تغییرات فاصله شعاعی کاراکترها از محور مرکزی آشکارساز در شکل (۱۱) نشان داده شده است. برای محاسبه این تغییرات شعاعی برای ربات‌های مختلف از موقعیت مکانی ردیابی شده آنها توسط الگوریتم استفاده می‌گردد. بدیهی

تصادفی، موقعیت دوبعدی آنها پس از دو دقیقه ثبت گردید. نمودارهای مربوط به مسیر حرکت کاراکترها در شکل (۸) نشان داده شده است. برای هر کاراکتر نمودار مسیر حرکت آن مطابق با همان رنگ کاراکتر نشان داده شده است.



شکل ۸- مسیر واقعی ایجاد شده برای ربات‌ها با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی حرکت تیمیو

نتایج مربوط به الگوریتم ردیابی برای تعیین موقعیت کاراکترها در هر زمان، در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹- مسیر ردیابی شده از ویدئو با استفاده از روش KLT

در شکل (۸) مقایسه بین مسیر حرکت اصلی کاراکتر قرمز و مسیر ردیابی شده آن توسط الگوریتم مبتنی بر روش KLT نشان داده شده است. همان‌گونه که شکل (۸) نشان می‌دهد الگوریتم توانسته است با دقت خوبی هدف را ردیابی کند.

در شکل (۱۳) روند تغییرات ضریب همبستگی برای ۵ کاراکتر نشان داده شده است. از نمودارهای نشان داده شده در ۱۲ می‌توان استنباط نمود که شیء آلوده کاراکتر قرمز رنگ دمی باشد که ضریب همبستگی آن مقداری در نزدیک به عدد ۱- را نشان می‌دهد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

تشخیص و پایش آلودگی رادیولوژیکی یک جنبه حیاتی برای تضمین امنیت عمومی و حفاظت از محیط‌زیست است. این مطالعه یک رویکرد تئوری محور جدید برای شناسایی آلودگی رادیولوژیکی در میان اجسام متحرک با شکل‌های یکسان و رنگ‌های مختلف با استفاده از همجوشی داده‌ها و روش‌های بینایی ماشین پیشنهاد می‌کند. الگوریتم پیشنهادی دقت بالایی را در تشخیص هدف آلوده در یک بستر آزمایشی کوچک نشان داد و راه‌حلی امیدوارکننده برای بهبود نظارت پرتوی و اقدامات واکنش اضطراری ارائه کرد. پنج کاراکتر مشابه که الگوی حرکتی آن‌ها از ربات‌های کوچک تیمیو الهام گرفته شده بود توسط الگوریتم توسعه داده شده با نرم‌افزار متلب مدل‌سازی شدند. در ادامه برای ایجاد سناریوی پرتوی از کد مونت‌کارلی MCNPX استفاده شد؛ و بر روی یکی از کاراکترهای شبه ربات، چشمه رادیواکتیو گاما‌زای سزیم-۱۳۷ قرار داده شد تا اثر حرکت یک شیء رادیواکتیو در میان سایر اشیای متحرک بررسی شود. کاراکترهای مشابه به طور تصادفی در یک اتاق مدل‌سازی شده به ابعاد ۲۷ مترمکعب حرکت می‌کردند.

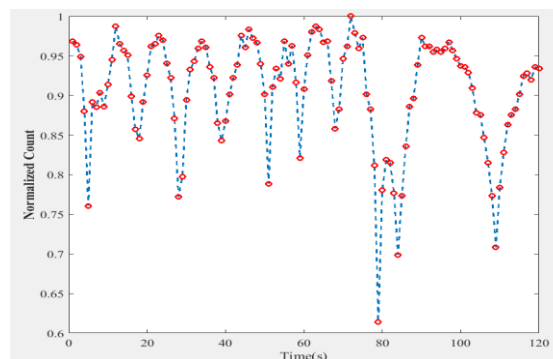
کل زمان حرکت تصادفی این کاراکترها ۱۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد. با استفاده از الگوریتم ردیابی اشیای متحرک مسیر حرکت آن‌ها محاسبه و با مقدار اصلی مقایسه گردید که با دقت بالایی تطابق داشتند. در گام نهایی با استفاده از الگوریتم مبتنی بر معادله ریاضی همبستگی شیء آلوده در میان اجسام متحرک شناسایی گردید.

الگوریتم‌های نوشته شده در این مطالعه قابلیت خود را در طراحی و مدل‌سازی سناریوهای پرتوی مختلف و نیز کشف مکان‌یابی چشمه‌های مفقود متحرک در میان اشیای دیگر را نشان داد. نتایج مؤید تطبیق‌پذیری و پتانسیل الگوریتم‌های توسعه داده شده در این مطالعه بود که می‌توان آن‌ها را قبل از اقدام عملی و آزمایش‌های تجربی به منظور تعریف سناریوهای پرتوی بدون نیاز به در معرض قرار گرفتن پرتوهای یون‌ساز مورد استفاده داد. سامانه‌هایی که با ادغام دوربین‌های نظارتی و سامانه‌های آشکارسازی پرتوی،

است که این مقادیر متفاوت باشند به این سبب که ربات‌ها در صفحه دارای حرکت تصادفی هستند. در نهایت فاصله مستقیم اشیا از آشکارساز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

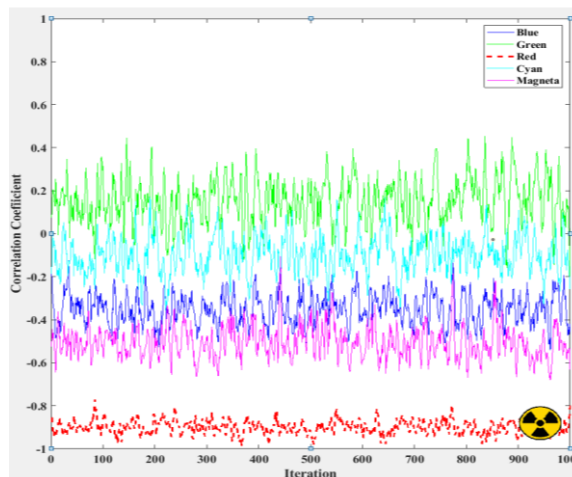
$$R_{rd} = \sqrt{(x_r^2 + y_r^2 + R_d^2)} \quad (۳)$$

که R_{rd} فاصله طولی هر ربات تا آشکارساز، x_r و y_r موقعیت هر ربات در صفحه دو بعدی و R_d که همواره مقدار ثابتی است، فاصله آشکارساز تا مرکز صفحه حرکت است. در شکل (۱۲) تغییرات آهنگ شمارش ثبت شده در آشکارساز بر حسب زمان نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که کاراکتر آلوده در زمان حدود ۸۰ ثانیه در دورترین موقعیت خود نسبت به آشکارساز قرار گرفته است لذا کمترین میزان شمارش ثبت شده است (شکل ۱۲ را ببینید).



شکل ۱۲- تغییرات شمارش ثبت شده در واحد زمان در آشکارساز

در نهایت نتایج مربوط به کشف شیء آلوده در میان اهداف متحرک مشابه با استفاده از رابطه همبستگی داده‌های مکانی و شمارش پرتوی به صورت زیر در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳- روند تغییرات ضریب همبستگی برای ۵ کاراکتر

می‌توانند بر پایش پرتوی مؤثر باشند و منجر به ارتقای ایمنی عمومی و حفاظت از محیط‌زیست شوند می‌توانند از این الگوریتم‌ها در طراحی و مدل‌سازی‌هایی اولیه به کار ببرند. تحقیقات آینده می‌تواند ادغام این الگوریتم‌ها را با سایر فناوری‌ها مانند هوش مصنوعی برای بهبود دقت و حتی قابلیت‌های تشخیص پیشرفته‌تر بررسی کند.

مراجع

- [1] H. Al Hamrashdi, S.D. Monk, and D. Cheneler. "Passive gamma-ray and neutron imaging systems for national security and nuclear non-proliferation in controlled and uncontrolled detection areas: Review of past and current status." *Sensors* 19, no. 11 (2019): 2638.
- [2] C. Fernandez. "These are the top 10 busiest airports in the world—5 of them are in the U.S." Accessed: Sep. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.cnbc.com/2023/04/10/world-busiest-airports-airports-council-international-ranking.html>
- [3] P. Andreas. "A tale of two borders: The US-Canada and US-Mexico lines after 9–11." In *The Rebordering of North America*, pp. 1-23. Routledge, 2014.
- [4] M.R. Munawar. "Github." Accessed: Sep. 25, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/RizwanMunawar/yolov7-object-tracking>
- [5] J.S. Bisht. "Github." Accessed: Sep. 25, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/jitendrasb24/Car-Detection-OpenCV>
- [6] J. Shi. "Good features to track." In 1994 Proceedings of IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 593-600. IEEE, 1994.
- [7] A. Lukežič, T. Vojř, L. Čehovin Zajc, J. Matas, and M. Kristan. "Discriminative Correlation Filter Tracker with Channel and Spatial Reliability." *Int. J. Comput. Vis* 126, no. 7 (2018): 671–688.
- [8] E.R. Davies. *Computer and machine vision: theory, algorithms, practicalities*. Academic Press, 2012.
- [9] C. Steger, M. Ulrich, and C. Wiedemann. *Machine vision algorithms and applications*. John Wiley & Sons, 2018.
- [10] C.Y. Huang, J.H. Hong, and E. Huang. "Developing a machine vision inspection system for electronics failure analysis." *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* 9, no. 9 (2019): 1912-1925.
- [11] K.D. Joshi, V.D. Chauhan, and B.W. Surgenor. "Real time recognition and counting of Indian currency coins using machine vision: a preliminary analysis." In *Proceedings of the Canadian Society for Mechanical Engineering International Congress (CSME)*, pp. 26-29. 2016.
- [12] A.K. Dubey, A. Kumar, S. Rakesh Kumar, N. Gayathri, and P. Das, eds. *AI and IoT-based intelligent automation in robotics*. John Wiley & Sons, 2021.
- [13] Y. Shen, and W. Zhu. "Medical image processing using a machine vision-based approach." *International journal of signal processing, Image processing and Pattern Recognition* 6, no. 3 (2013): 139-146.
- [14] R. Jain, R. Kasturi, and B.G. Schunck. *Machine vision*. Vol. 5. New York: McGraw-hill, 1995.
- [15] B.L. Luk, A.A. Collie, D.S. Cooke, and S. Chen. "Walking and climbing service robots for safety inspection of nuclear reactor pressure vessels." *Measurement and Control* 39, no. 2 (2006): 43-47.
- [16] S.J. Schmugge, L. Rice, N. Rich Nguyen, J. Lindberg, R. Grizzi, C. Joffe, and M.C. Shin. "Detection of cracks in nuclear power plant using spatial-temporal grouping of local patches." In 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), pp. 1-7. IEEE, 2016.
- [17] H. Ardiny, A. Beigzadeh, and H. Mahani. "MCNPX simulation and experimental validation of an unmanned aerial radiological system (UARS) for rapid qualitative identification of weak hotspots." *Journal of Environmental Radioactivity* 258 (2023): 107105.
- [18] N. Marturi, A. Rastegarpanah, C. Takahashi, M. Adjigble, R. Stolkin, S. Zurek, M. Kopicki, M. Talha, J.A. Kuo, and Y. Bekiroglu. "Towards advanced robotic manipulation for nuclear decommissioning: A pilot study on tele-operation and autonomy." In 2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications (RAHA), pp. 1-8. IEEE, 2016.
- [19] A.R. Benson, M.S. Bandstra, D.H. Chivers, T. Aucott, B. Augarten, C. Bates, A. Midvidy et al. "The gamma-ray imaging framework." *IEEE Transactions on Nuclear Science* 60, no. 2 (2013): 528-532..

- [20] Z. Yan, Q. Wei, G. Huang, Y. Hu, Z. Zhang, and T. Dai. "Nuclear radiation detection based on uncovered CMOS camera under dynamic scene." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 956 (2020): 163383.
- [21] R. Vilalta, S. Kuchibotla, F. Ocegueda-Hernandez, S. Hoang, and L. Pinsky. "Machine learning for identification of sources of ionizing radiation during space missions." In *International Joint Conference on Artificial Intelligence, Workshop on AI in Space: Intelligence Beyond Planet Earth*. 2011.
- [22] A. Abdelhakim. "Machine learning for localization of radioactive sources via a distributed sensor network." *Soft Computing* 27, no. 15 (2023): 10493-10508.
- [23] J. Huo, X. Hu, J. Wang, and L. Hu. "ACA: Automatic search strategy for radioactive source." *Nuclear Engineering and Technology* 55, no. 8 (2023): 3030-3038.
- [24] R.J. Cooper, N. Abgrall, G. Aversano, M.S. Bandstra, D. Hellfeld, T.H. Joshi, V. Negut et al. "Networked sensing for radiation detection, localization, and tracking." In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2586, no. 1, p. 012125. IOP Publishing, 2023.
- [25] D. Osthus, P. Mendoza, P. Lalor, E. Casleton, D. Archer, J. Ghawaly, I. Garishvili, A.J. Rowe, I.R. Stewart, and M. Willis. "Tracking the location of a road-constrained radioactive source with a network of detectors." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 1039 (2022): 166992.
- [26] E. Cazalas. "Defending cities against nuclear terrorism: Analysis of a radiation detector network for ground based traffic." *Homeland Security Affairs* 14 (2018).
- [27] K. Stadnikia, K. Henderson, S. Koppal, and A. Enqvist. "Data fusion for a vision-aided radiological detection system: Correlation methods for single source tracking." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 954 (2020): 161913.
- [28] L.S. Waters, G.W. McKinney, J.W. Durkee, M.L. Fensin, J.S. Hendricks, M.R. James, R.C. Johns, and D.B. Pelowitz. "The MCNPX Monte Carlo radiation transport code." In *AIP conference Proceedings*, vol. 896, no. 1, pp. 81-90. American Institute of Physics, 2007.
- [29] B.D Lucas, and T. Kanade. "An iterative image registration technique with an application to stereo vision." In *IJCAI'81: 7th international joint conference on Artificial intelligence*, vol. 2, pp. 674-679. 1981.
- [30] C. Tomasi, and T. Kanade. "Detection and tracking of point." *Int J Comput Vis* 9, no. 137-154 (1991): 3.