

Real-Time Topology-Based Tracking of Microscopic Objects

A. Mahabadi*

*Computer Engineering Department, Shahed University, Tehran, Iran

(Received: 10/09/2020, Accepted: 24/01/2021)

ABSTRACT

Visual tracking of microscopic objects is one of the most important studies of dynamic biological processes and requires automated segmentation and tracking methods. It is often limited to the morphology of objects or human study and lacks the automation and scalability to detect objects, track the path of any object, and examine their topology with the detection of related anomalies. This paper presents a fast scalable agent-oriented method for automatic detection, real-time video tracking, simultaneous tracking of microscopic objects, monitoring object behavior, and their topology based on graph theory applicable to the Internet of Things. It has no mentioned restrictions. Its segmentation method is a combination of temporal and spatial changes of the image to detect moving objects and predict their movement path, and the possibility of detecting individual anomalies of the object (death, moving a stop, collision of objects, a sudden departure from and a sudden entry into processing frame). Provides abrupt onset and onset of anomalies (network splitting, batch changes, batch decomposition, batch spacing, attenuation, and network collapse). The results of experimental experiments to track microscopic objects of sperm and birds in 2D images of 3D video film show that it has 99% sensitivity and 97% accuracy of instantaneous detection of objects with 99% detection accuracy. In monitoring and tracking, correlation and collision of sperm objects have an accuracy of 99.8% and in birds due to environmental noise and error detection in rapid topology changes, birds have an accuracy of 88%.

Keywords: Real-Time Topology-Based Tracking, Microscopic Objects, Anomaly Detection, Image Processing, Distributed Algorithm, Internet of Things (IoT), Big Data

*Corresponding Author Email: mahabadi@shahed.ac.ir

ردیابی بی‌درنگ همبندگرای اشیاء میکروسکوپی

امین‌اله مه‌آبادی

استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، مرکز تحقیقات آکوستیک، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۰، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵)

چکیده

ردیابی تصویری اشیاء میکروسکوپی از مهم‌ترین مطالعات پویای فرآیندهای بیولوژیکی و نیازمند روش‌های قطعه‌بندی و ردیابی خودکار است. اغلب محدود به مورفولوژی اشیاء یا بررسی انسانی می‌شود و فاقد قدرت خودکارسازی و مقیاس‌پذیری جهت تشخیص اشیاء، ردیابی مسیر هر شیء و بررسی همبندی آن‌ها به‌همراه تشخیص ناهنجاری‌های مربوطه است. این مقاله روش سریع مقیاس‌پذیر عامل‌گرا برای تشخیص خودکار، ردیابی بی‌درنگ ویدیویی، ردیابی همزمان اشیاء میکروسکوپی، پایش رفتار هر شیء و همبندی آن‌ها براساس تئوری گراف قابل‌کاربرد در اینترنت اشیاء ارائه می‌کند که این محدودیت‌ها را ندارد. روش قطعه‌بندی آن ترکیبی از تغییرات زمانی و مکانی تصویر جهت تشخیص اشیاء متحرک و پیش‌بینی مسیر حرکت آن‌ها است و امکان تشخیص ناهنجاری‌های فردی شیء مانند مرگ‌شیء، توقف‌شیء متحرک، تصادم اشیاء، و خروج ناگهانی از ورود ناگهانی به محدوده و ناهنجاری‌های تغییرات همبندی مانند تقسیم‌دسته‌ها، تغییرات دسته، تجزیه‌دسته، تغییرفاصله دسته‌ها، میرایی و فروپاشی شبکه را فراهم می‌سازد. نتایج آزمایش‌های تجربی ردیابی اشیاء میکروسکوپی اسپرم‌ها و پرندگان در تصاویر دوبعدی از فضای سه‌بعدی ویدیویی نشان می‌دهد که دارای حساسیت ۹۹٪ و دقت ۹۷٪ تشخیص بی‌درنگ اشیاء با دقت ردیابی بالای ۹۹٪ است. در پایش و ردیابی همبندی و تصادم اشیاء اسپرم دارای دقت ۹۹/۸٪ و در پرندگان به‌دلیل نویزهای محیطی و خطای تشخیص در تغییرات سریع همبندی پرندگان دارای دقت ۸۸٪ است.

کلید واژه‌ها: اینترنت هرچیز، ردیابی بی‌درنگ همبندگرا، ردیابی اشیاء میکروسکوپی، تشخیص ناهنجاری، الگوریتم توزیعی، داده‌های عظیم، پردازش تصویر

پرندگان) نیز اشاره کرد. بررسی رفتارهای اشیاء و همبندی آن‌ها به ما قدرت پیش‌بینی رفتار هر شیء و حتی رفتار سیستم آن‌ها را می‌دهد. مثلاً، بررسی اسپرم‌های موجود در تصاویر پزشکی برای آگاهی از شانس باروری سال‌ها است که به‌وسیله چشم انسان با درصد خطای بالا به‌کمک میکروسکوپ و در آزمایشگاه‌ها انجام می‌شود و در تجهیزات نوین نیازمند دقت و سرعت هستند [۸]. همچنین در مراقبت از محیط زیست و بررسی ساختار اجتماع موجودات مانند ردیابی و پایش دسته پرندگان و حیوانات بسیار مهم است. در سال‌های اخیر محققین تلاش کرده‌اند تا با ارایه الگوریتم‌های گوناگون به‌پردازش تصاویر ویدیویی سه‌بعدی در فضای دوبعدی، بتوانند به بررسی تعداد و تحرکات دو بعدی اشیاء میکروسکوپی برای اخذ دانش در سطوح مختلف در شبکه‌ای از اشیاء به‌پردازند [۹]. اکنون تولید سیستم‌ها و نرم‌افزارهای قوی‌هوشمند برای کاهش مشکلات موجود در راستای ردیابی بی‌درنگ و تحلیل همبندی^۲ اشیاء میکروسکوپی در اینترنت اشیاء^۳ امری حیاتی است.

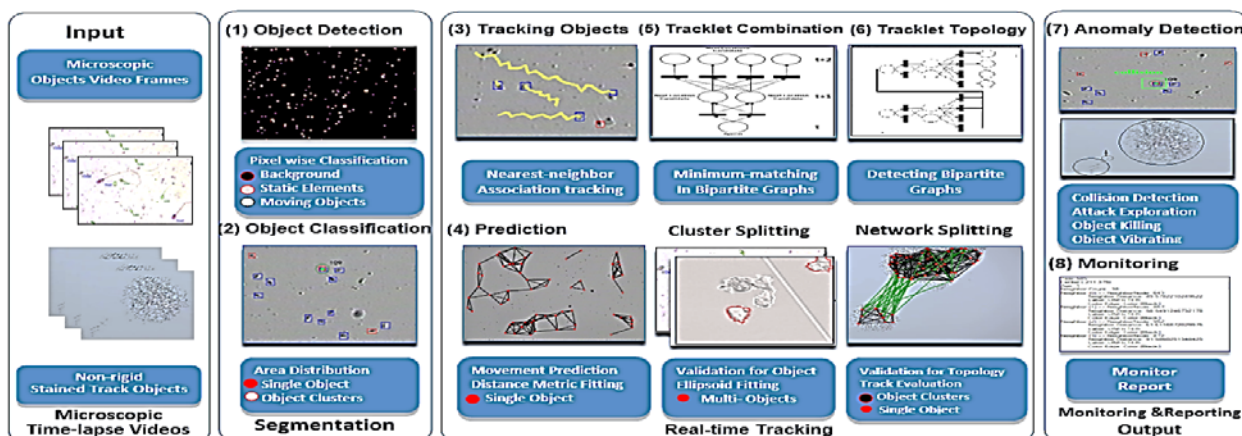
۱- مقدمه

در دنیای امروز با ارایه اینترنت از هر چیز^۱، پردازش تصاویر سه‌بعدی و دو بعدی برای شناسایی اشیاء میکروسکوپی در کاربرد پزشکی و اشیاء بسیار کوچک در تصویر برداری از راه دور و کاربرد ماهواره‌ای استفاده فراوانی دارد. تحقیقات بسیاری انجام شده که می‌توان از کاربردهای آن در تصاویر ماهواره‌ای به‌تشخیص ترافیک جاده (مانند تعیین جاده و تصادف) [۱]، تراکم ماشین‌ها (حجم خودروهای عبوری) [۲]، و تشخیص هواپیما (ردیابی هر شیء) [۳]، تشخیص پهبادهای کوچک (پایش همبندی) [۴]، آلودگی هوا (تراکم آلودگی) [۵] اشاره کرد. در کاربرد پزشکی به تعیین وضعیت سرطان (تغییرات همبندی و رشد توده) [۶]، مشکلات قلب و عروق (انسداد حرکت خون) [۷] و تشخیص ناهنجاری توجه کرد و در کاربرد زیست محیطی به پایش موجودات زنده (حمله عقاب به دسته

^۲ Topology^۳ Internet of Things (IoT)

*رایانامه نویسنده مسئول: najme.mansouri@gmail.com

^۱ Internet of Every Things (IoET)



شکل (۱): دیاگرام بلاکی روش پیشنهادی ردیابی در قطعه‌بندی (گام ۱ الی ۲)، ردیابی بی‌درنگ (گام ۳ الی ۶)، تشخیص ناهنجاری (گام ۷) و پایش (گام ۸).

ردیابی اشیاء متحرک در ابعاد نانو و میکرو افزایش می‌یابد [۱۲]. از این نظر در پژوهش‌ها، ترکیبی از فیلترهای کالمن^۹ و پارتیکل^{۱۰} را برای ارایه یک الگوریتم قدرتمند به‌منظور ردیابی شی اسپرم^{۱۱} به‌کار گرفته شود [۱۳] و حتی به‌منظور کاهش پیچیدگی و ردیابی سریع‌تر نسبت به روش نزدیک‌ترین همسایگی^{۱۲} از تفاضل‌گیری^{۱۳} استفاده شد [۱۴]. الگوریتم تشخیص اشیاء قابل‌اجرا بودن در سیستم‌های میکروسکوپی قابل‌حمل جهت تشخیص اسپرم ارایه شد [۱۵]. این روش از فیلتر کالمن به‌عنوان اساس کار در راستای شناسایی چندین شیء در یک تصویر نویزی^{۱۴} استفاده کرد. الگوریتم دیگری برای پیاده‌سازی ساده، آن را با تقسیم‌بندی غیرپویا و ردیابی حرکت به‌وسیله پردازش سری^{۱۵} و غیرموازی انجام شد [۱۶]. بعضی از الگوریتم‌های موجود اهداف را بر اساس دامنه هیستوگرام تصاویر خاکستری عمل بخش‌بندی^{۱۶} انجام دادند و با ترکیب روش‌ها سعی می‌کنند تا نقاط روشن موجود در تصویر موجود که اسپرم نیستند را از آمار اسپرم‌های شناسایی شده حذف کنند. بعضی الگوریتم‌ها، تصاویر را در همان ابتدا به تصاویر باینری تبدیل می‌کنند و بر اساس آن فرآیند، بخش‌بندی را انجام می‌دهند. این روش‌ها در راستای پردازش داده‌های عظیم و اینترنت اشیاء نیازمند مقیاس‌پذیری و بی‌درنگی هستند.

در سیستم‌های نوین پایش اشیاء، تشخیص ناهنجاری و تصمیم‌گیری در شرایط مخاطره^{۱۷} امری جدید و لازم است [۱۷]. روش‌های تشخیص ناهنجاری که به‌عنوان تشخیص پَرت^{۱۸} هم شناخته می‌شوند، به‌تشخیص الگوهای موجود یک مجموعه در

۱-۱- ردیابی بی‌درنگ

کاهش هزینه‌های زیاد تولید تجهیزات اینترنت از هر چیز که در برگیرنده مردم، پردازش‌ها، داده‌ها و اشیاء شبکه ارتباطی است به‌سمت کاربردهای صنعت سلامت برای ایجاد اینترنت اشیاء پزشکی^۱ برای سیستم‌های سلامت لازم است [۱۰]. سیستم‌های پیشرفته میکروسکوپی در حال حرکت از تجهیزات اینترنت اشیاء به‌حالات مختلف اینترنت چندرسانه‌ای اشیاء^۲، اینترنت اشیاء نانو^۳، اینترنت اشیاء با ماموریت مهم^۴، و اینترنت اشیاء موبایل^۵ هستند [۱۱]. در ابعاد نانو و میکرو نیاز شدید به تشخیص خودکار^۶ اشیاء، بی‌درنگی و سرعت‌بالای تشخیص، ردیابی همزمان اشیاء، قدرت‌زیاد پردازش، توزیع‌موازی پردازش‌ها، معماری‌توزیعی روش تشخیص و مقیاس‌پذیری آن برای کاربرد در داده‌ها عظیم^۷ تصویری همراه با شناسایی دقیق اشیاء جهت ردیابی سریع برخط از مهم‌ترین چالش‌های موجود است. همچنین تشخیص ارتباط اشیاء، تشخیص همبندی اشیاء، ثبت مکان و مسیر حرکت هر شیء، نوع ارتباط اشیاء در تشخیص ناهنجاری^۸ و فهم تغییرات شبکه اشیاء از چالش‌های کاربرد داده‌های عظیم است [۹].

مساله ردیابی بی‌درنگ اشیاء میکروسکوپی و همبندی آن‌ها به سه‌بخش تشخیص اشیاء، ردیابی هرشیء و پایش همبندی تقسیم می‌شود. هیچ‌کدام از الگوریتم‌ها به‌شکل مستقیم نمی‌توانند از اشتباهاتی که ذرات غیر اشیاء در تشخیص و ردیابی به‌وجود می‌آورند رها شوند. این مشکل باعث می‌شود که روش‌های مورد استفاده، عناصر غیر مطلوب که از نظر ابعاد معادل اشیاء مورد توجه هستند را به‌عنوان شیء هدف شناسایی کنند لذا خطای تشخیص و

⁹ Calman Filter

¹⁰ Particle Filtering

¹¹ Sperm

¹² Neighbour

¹³ Differential

¹⁴ Noise

¹⁵ Serial

¹⁶ Segmentation

¹⁷ Risk

¹⁸ Outlier

¹ Internet of Medical Things (IoMT)

² Internet of Multimedia Things (IoMET)

³ Internet of Nano Things (IoNT)

⁴ Internet of Mission-Critical Things (IoMCT)

⁵ Internet of Mobile Things (IoMT)

⁶ Automatic Recognition

⁷ Big Data

⁸ Anomaly

ردیابی با استفاده از تخصیص عامل هوشمند^۲ یا تِرد به هر شیء و ثبت سابقه حرکت و چرخش هر شیء صورت می‌گیرد. عامل هوشمند هر شیء به صورت مستقل وظیفه پیش‌بینی مسیر حرکت را برعهده دارد.

در مرحله (۴) پیش‌بینی، پیش‌بینی مسیر حرکت براساس احتمال وجود هر شیء در مکان‌های بعدی اشیاء موجود در فریم جدید براساس مدل پتری اشیاء، بررسی هوشمند سوابق ثبتي مسیر حرکت شیء و زاویه چرخش شیء صورت گرفته و با بررسی نزدیکترین احتمال انتخاب می‌گردد. در مرحله (۵) ردیابی ترکیبی، سپس با تشخیص مستقل اشیاء و کلاسترهای اشیاء، شبکه ارتباطی اشیاء متحرک یا هم‌بندی اشیاء براساس فاصله‌شان و با مدل پتری تشکیل شده است. به صورت مداوم پایش و تجدید می‌شود تا تجزیه و چند بخشی شدن شبکه برای تعیین ناهنجاری براساس مدل گراف جهت ترکیب اشیاء متحرک در یک دسته براساس فاصله میانگین هر دسته ثبت گردد. در مرحله (۶) ردیابی همبندی، ردیابی شبکه‌ارتباطی اشیاء با تشخیص اشیاء، تخصیص عوامل هوشمند، ردیابی هر شیء، رنگ‌کردن اشیاء هم‌گروه، تشکیل شبکه ارتباطی اشیاء همبند متحرک براساس فاصله نزدیک‌ترین همسایگی‌ها و مدل پتری تشکیل شده به صورت مداوم پایش و تجدید می‌گردد. این عملیات بر مبنای ردیابی حرکت اشیاء و ردیابی دسته‌اشیاء مرتبط با مدل پتری شبکه به صورت ردیابی بی‌درنگ صورت می‌گیرد. در مرحله (۷) تشخیص ناهنجاری، براساس پایش و بررسی سوابق، اقدام به تشخیص ناهنجاری در ابعاد مختلف از قبیل توقف‌شیء، تحرک در جای شیء، مرگ شیء، برخورد اشیاء، فروپاشی شبکه، تجزیه‌همبندی به زیرشبکه‌ها، حمله به کولونی‌های اشیاء و تعیین مهاجم می‌شود. در مرحله (۸) پایش، عمل پایش اشیاء و همبندی جهت درج سوابق حرکتی و ناهنجاری‌های شبکه جهت تولید گزارشات صورت می‌گیرد. این بخش می‌تواند با تجهیز شدن به ساختارهای یادگیر در تسریع تشخیص‌های حرکت اشیاء و الگوهای ناهنجاری بیشتر توسعه‌یابد.

طراحی سیستم ردیابی با استفاده از فرضیات و محدودیت‌های صورت گرفته است: (۱) غیرمحکم^۳، موجودیت‌ها هنوز به صورت یک‌شیء خاص در نظر گرفته نشده‌اند و دارای تغییرات خیلی زیاد و چرخش‌های شدید نیستند. (۲) مجاورت، به دلیل ماهیت میکروسکوپی اشیاء تغییرات مکانی آن‌ها در بین فریم‌ها خیلی زیاد نیست. (۳) مقداردهی عمومی^۴، در هر برهه زمانی ردیابی درحاشیه‌ها و داخل فریم‌ها انجام می‌شود. (۴) تحرک شیء پیچیده،

عدم تطابق به رفتار طبیعی، می‌پردازد [۱۸]. این الگوهای غیرمنطبق اغلب با عنوان ناهنجاری، نقاط پرت، مشاهدات ناسازگار، استثناها و غیره در حوزه‌های مختلف بیان می‌شود. تشخیص ناهنجاری در حوزه‌هایی مانند تشخیص تقلب کارت‌های اعتباری، بیمه و مراقبت‌های بهداشتی، تشخیص نفوذ برای دوربین‌های امنیتی، تشخیص خرابی در سیستم‌های بحرانی ایمنی و نظارت‌نظامی برای کنترل فعالیت‌های دشمن، و حتی تشخیص بیمارهای حاد پزشکی کاربرد دارد [۱۱]. برای تشخیص ناهنجاری در تصاویر ویدئویی مطالعات زیادی انجام شده است. کاربردهایی در ناهنجاری‌های تصاویر ویدئویی با اشیاء میکروسکوپی برای محیط‌های شلوغ جهت آشکارسازی ناهنجاری در آن محیط‌ها انجام شد که می‌توان به تشخیص ناهنجاری حرکت خودروها و تشخیص ناهنجاری‌های ترافیکی اشاره کرد.

۱-۲- روش پیشنهادی و ارزیابی

آخرین روش‌های علمی ردیابی و تشخیص ناهنجاری، متمرکز بر روش تشخیص شیء و ردیابی براساس حرکت است. مشاهده همبندی اشیاء دارای چالش مهم تعیین محل شیء است. الگوریتم‌های مختلفی برای حل مساله ارایه شد ولی بیشتر الگوریتم‌ها فقط متکی بر ردیابی اشیاء است و پایش همبندی سریع وجود ندارد. زمانی که تعداد اشیاء زیاد باشد محاسبات آن بسیار زمان‌بر است و کاربرد برای داده‌های عظیم ندارند. در این مقاله تمرکز بر افزایش سرعت تشخیص و ردیابی همزمان اشیاء و همبندی آن‌ها است از طریق پیش‌بینی جهت حرکت است تا میزان محاسبات کاهش یابد تا در داده‌های عظیم به کار رود. با بررسی سوابق و پیش‌بینی فضاهای احتمال حضور اشیاء و با تخمین مسیر، به افزایش قدرت تشخیص کمک می‌کنیم. اشیاء با بررسی فاصله و مشخصات و پیش‌بینی‌های لازم به سه دسته اشیاء زمينه، ساکن و متحرک دسته‌بندی می‌شوند. روش پیشنهادی مبتنی بر ردیابی زمانی دارای هشت‌گام است (شکل (۱)).

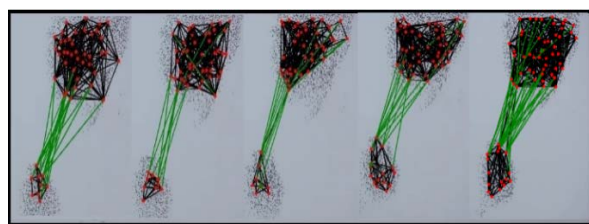
در ابتدا تصاویر ویدئویی ورودی همراه نویز دریافت و پالایش می‌شود. در مرحله (۱) تشخیص اشیاء، تصویر با استفاده از تغییرات مکانی-زمانی آن و قواعد حرکت اشیاء^۱، به صورت بیتی به‌نواحی مورد توجه اشیاء (ثابت و متحرک) و زمینه به صورت خودکار تقسیم می‌شود. در مرحله (۲) دسته‌بندی اشیاء، نواحی مورد توجه برای تشخیص بین عناصر ثابت و اشیاء متحرک جهت حذف نویز و عناصر ثابت بدون تحرک دسته‌بندی می‌گردند تا اشیاء مورد توجه به‌عنوان اشیاء مستقل و دسته‌اشیاء مرتبط مشخص و برچسب‌دار شوند. این دسته‌بندی به مرور زمان در چند فریم و براساس قواعد حرکت اشیاء، فاصله و نواحی آن‌ها صورت می‌گیرد. در مرحله (۳) ردیابی اشیاء،

² Agent

³ Non-rigid

⁴ Universal Initialization

¹ Object



شکل (۶): ردیابی پویای تقسیم دسته‌پرنندگان به دو شبکه مجزا.



شکل (۷): تصادم عبور اسپرم‌ها در تبدیل از فضای سه‌بعدی به دوبعدی.

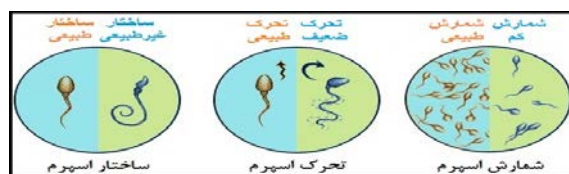
۱-۳- موارد مطالعه و چالش‌ها

در این مقاله دو مورد مطالعه با موضوعات ردیابی همزمان و دقیق اشیاء و تحلیل رفتار و بررسی شبکه ارتباطی آن‌ها برای ردیابی اسپرم‌ها و شبکه‌پرنندگان، جهت تشخیص خودکار اشیاء، تحرک و میریابی اسپرم‌ها، فروپاشی شبکه آن‌ها، پایش^۲ همبندی اشیاء را برای نشان دادن قدرت سیستم پیشنهادی بررسی می‌کنیم.

ردیابی اشیاء: در ردیابی یک شیء از دو الگوریتم استفاده می‌کنیم که یکی دارای دقت بهتر برای ردیابی همزمان و با قابلیت پیش‌بینی و دیگری جهت بهبود سرعت است. هردو به صورت همزمان اشیاء را یافته و دارای قدرت تشخیص اشیاء با تحرک بالا و ردیابی در فریم‌های متوالی هستند. تمرکز در ردیابی همزمان و دقیق اشیاء و در کاربرد ردیابی اسپرم‌ها و ردیابی پرنندگان است. جنبه‌های مختلف ردیابی، ویژگی‌های مهم و تعریف مختصری از محیط اسپرم‌ها و پرنندگان ارائه که در موارد مطالعه به‌صورت مفصل بحث می‌شود.

• **اسپرم:** در توجه به یک سیستم تشخیص و شناسایی رفتار اسپروم‌ها به‌موردی از قبیل شمارش درست اشیاء، تحرک طبیعی، حرکت مستقیم و ساختار طبیعی آن‌ها توجه می‌شود (شکل (۲)). اولین مرحله برای تحلیل رفتار اسپرم‌ها شناسایی آن و میزان تحرک و قدرت حرکت آن‌ها است. براساس دسته‌بندی سازمان سلامت جهانی، اسپرم‌ها از نظر تحرک مانند شکل (۳)، به دو دسته زنده^۳ و مرده^۴ تقسیم می‌شوند که دارای کلاس‌های مختلف از A تا D هستند [۱۹]. کلاس A (متحرک و پیش‌رونده سریع): اسپرم‌های زنده‌ای هستند با قابلیت شای سریع و رو به جلو را که از سرعت بیش از $25 \mu\text{m/s}$ در یک خط مستقیم برخوردارند. کلاس B (متحرک و پیش‌رونده کند): اسپرم‌های زنده‌ای هستند که

به دلیل گزینش مدل حرکتی تصادفی در ردیابی اجازه ردیابی اشیاء با ساختار و الگوی پیچیده داده‌شده، محدود به شیء خاص و نوع حرکت معین نیست و نیازمند آموزش نمی‌باشد. آزمایشات روش پیشنهادی با ردیابی هم‌زمان و دقیق اشیاء و تحلیل رفتار (ردیابی اسپرم‌ها و تحلیل ناباروری) و بررسی شبکه ارتباطی آن‌ها (تشخیص میریابی یا فروپاشی شبکه اسپرم‌ها)، ردیابی تغییرات شبکه پرنندگان^۱ در ساختار شبکه (تشخیص حمله با تقسیم ساختار شبکه) صورت می‌گیرد. آزمایشات تجربی در فضای داده‌های متفاوت اشیاء میکروسکوپی اسپرم‌ها در قالب سه‌بعدی به مدت ۱۰ دقیقه و اشیاء ماکروسکوپی حرکت پرنندگان به مدت ۱۲ دقیقه در حضور نویز انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش ضمن برخورداری از سرعت زیاد در تشخیص هم‌زمان اشیاء و پایش هم‌بندی آن‌ها در سناریوهای مختلف، مقیاس‌پذیر می‌باشد که در مجموعه داده‌های ویدیویی، دارای دقت زیاد در تشخیص اشیاء میکروسکوپی و ماکروسکوپی و قدرت بالای ردیابی و تشخیص هم‌بندی اشیاء است.



شکل (۲): نوع و ساختار و رفتار اسپرم‌های انسانی



شکل (۳): اسپرم‌های زنده و مرده در تصاویر پزشکی انسانی



شکل (۴): ساختار محیطی شبکه‌پرنندگان، مهاجم و درختان مزاحم.



شکل (۵): تراکم اشیاء (الف) حالت طبیعی حمله (ب) ناهنجاری آغاز حمله.

² Monitoring

³ Live

⁴ Dead

¹ Birds

• **تغییر رفتار شبکه:** در اینجا تغییراتی مثل کاهش حرکت و عدم تغییر شبکه و تغییر جهت حرکت شبکه را داریم که از آن‌ها در تشخیص ناهنجاری‌هایی مانند حمله به پرندگان (شکل ۶) و تصادم اسپرم‌ها^۱ (شکل ۷) بهره می‌بریم.

• **تغییر میدان دید:** در میدان دید بررسی اشیاء یا محدوده پردازش، اشیاء جدید وارد یا از میدان دید خارج می‌شوند که باعث ایجاد خطا است. در حوزه بررسی همبندی شبکه نیز به دلیل وجود اشیاء مزاحم در محیط مانند درختان و ابرها در محیط پرندگان و اشیاء غیر اسپرمی در محیط اسپرم‌ها باعث ایجاد تغییرات در تشخیص همبندی دقیق و چند بخشی شدن می‌شوند که از چالش‌های مهم پردازش هستند که نگهداری سابقه موقعیت اشیاء به تقلیل آن کمک می‌کند.

چالش‌های اصلی پیاده‌سازی سیستم‌ردیابی و تشخیص ناهنجاری را می‌توان در قالب چالش‌های تشخیص خودکار اشیاء، ردیابی دقیق و برخط هر شیء، ثبت سوابق‌ردیابی، ردیابی همزمان اشیاء سریع، تشخیص حرکت و سکون اشیاء، تشخیص خودکار همبندی اشیاء، پایش مستمر شبکه ارتباطی اشیاء و تشخیص ناهنجاری است. تشخیص شبکه و ردیابی هرشی در شرایطی که حرکت اشیاء سریع‌تر از نرخ تغییر فریم‌ها باشد کار دشواری است. همچنین تغییر جهت ناگهانی مسیر حرکت اشیاء، ردیابی دقیق و تغییر سریع شبکه ارتباطی ردیابی آن را پیچیده‌تر می‌کند. پایش برای درج سوابق و درک صحنه جهت‌ردیابی شیء خاص اسپرم یا ردیابی هم‌زمان اشیاء میکروسکوپی متحرک صورت می‌گیرد. بررسی ما برای ارتباطات و ناهنجاری در قالب میرایی شبکه اسپرم‌ها و تغییر همبندی شبکه پرندگان انجام می‌شود.

۱-۴- هدف و نوآوری

در این مقاله روش مقیاس‌پذیر ردیابی خودکار همزمان اشیاء متحرک ارائه شده که دارای معماری چندلایه است. بیشتر اتکا و مانور معماری، در مدل پیشنهادی مبتنی بر تشخیص خودکار اشیاء، ردیابی همزمان آن‌ها، ثبت همبندی شبکه اشیاء و موقعیت آن‌ها، و حفظ سوابق تغییرات است. تشخیص خودکار اشیاء در هر فریم با استفاده از اطلاعات مفید عامل‌ها و با پیش‌بینی مسیر حرکت اشیاء همچنین کاهش تاثیر نویز در ردیابی است. عامل‌های جستجو هم‌زمان عملیات خود را انجام می‌دهند و نسبت به پیش‌بینی مکان بعدی خود اقدام می‌کنند تا امکان مقیاس‌پذیری روش برای مطالعه شبکه‌های پیچیده بسیار بزرگ فراهم شود.

قابلیت‌شنای رو به جلو را دارند ولی از مسیر حرکت منحنی و کج برخوردارند. کلاس C (متحرک و غیر پیش‌رونده): اسپرم‌های زنده‌ای هستند که فقط از قدرت حرکت دم برخوردارند یا سرعت حرکت‌شان کمتر از $5 \mu\text{m/s}$ است. کلاس D (مرده و بی‌تحرک): اسپرم‌هایی هستند که هیچ تحرکی ندارند یا مرده هستند.

• **پرندگان:** ما تشخیص نقطه‌ای و تشخیص مهاجم را نداریم و بیشتر پرندگان و جهت حرکت دسته پرندگان را تشخیص و دنبال می‌کنیم. شبکه ارتباطی بین اشیاء بررسی و ناهنجاری‌هایی مثل ازدحام و تقسیم دسته اشیاء (چندبخشی) را بررسی می‌کنیم. اولین مرحله برای تحلیل رفتار پرندگان تشخیص دسته پرندگان و جهت حرکت آن‌ها است. پرنده مهاجم که باعث تغییر رفتار و حرکت پرندگان دیگر است تشخیص و ردیابی می‌شود (شکل ۴). این سیستم ۳ نوع شیء پرندگان هدف، پرنده مهاجم و اشیاء دیگر دارد. دسته A پرندگان که به صورت دسته‌ای حرکت می‌کنند. دسته B همان پرنده مهاجم که به دسته حمله می‌کند. پرنده مهاجم سرعتی بیشتر و جهتی متفاوت با حرکت پرندگان دسته A دارد. اشیاء دیگر که مرز بین اشیاء ثابت سطح زمین و آسمان مانند درختان هستند بسیار مزاحم پردازش هستند. در بعضی موارد محل استقرار پرندگان هستند و با توجه به حرکت شاخه‌ها قابل تشخیص هستند.

پایش شبکه: در تشخیص و ترسیم شبکه ارتباطی اشیاء را به هم متصل می‌کنیم و همبندی اشیاء را بررسی می‌کنیم. ساختار شبکه و همبندی به صورت مداوم پایش و ردیابی می‌شود. ذخیره تاریخچه همبندی به تحلیل رفتار شبکه کمک می‌کند. مشخصات شبکه ارتباطی یا همبندی به شرح زیر است.

• **میرایی شبکه:** میرایی شبکه در واقع میرایی اشیاء است که باعث کاهش نودها و در نتیجه کاهش حجم شبکه می‌شود. از این ویژگی در شبکه اسپرم‌ها برای تشخیص ناباروری استفاده می‌شود (شکل ۳). البته کارایی‌های دیگر آن در تیراندازی به اهداف پرنده است که می‌توان محل حمله را تعیین کرد.

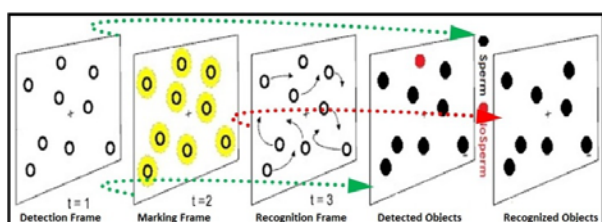
• **تراکم شبکه:** هنگامی که تعداد همسایگی‌ها افزایش یابد و فاصله نودهای شبکه یا بخشی از شبکه کم شود با افزایش تراکم روبرو هستیم (شکل ۵). برعکس این حالت یعنی با کاهش تعداد همسایگی و افزایش فاصله نودهای شبکه با کاهش تراکم یا توسعه مواجه هستیم.

• **تقسیم شبکه:** تغییرات همبندی شبکه (تغییر تراکم) برای آغاز تشخیص فرآیند حمله به پرندگان است و هنگامی شبکه شروع به تقسیم کند و یا ناهنجاری در هم‌بندی (دوبخشی شدن شبکه) شروع برای تشخیص محل مهاجم است (شکل ۶). البته کارایی‌های دیگر آن در تیراندازی به اهداف پرنده است که می‌توان محل حمله را تعیین کرد.

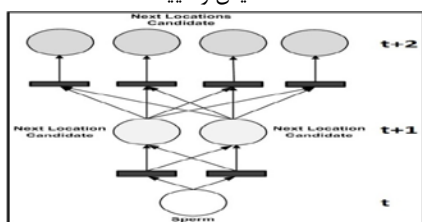
¹ Occlusion

۲-۱- آشکارسازی اسپرم

در برخی مواقع به دلیل اشتراک ویژگی‌هایی مانند مساحت و سرعت تحرک میان اسپرم‌ها و ذرات غیراسپرمی موجود در نمونه و همچنین نویزهای موجود در فایل ویدیویی این احتمال وجود دارد که اسپرم‌ها، اشتباه تشخیص داده شوند. اگر تعداد اسپرم‌های مورد بررسی در نمونه زیاد باشد پردازش موازی اطلاعات آن‌ها سخت است و باید برای قابلیت اجرای آن بر روی سخت‌افزارهای میان‌رده از الگوریتمی بهینه استفاده شود. به دلیل سرعت تحرک زیاد و توانایی اسپرم در تغییر جهت، به‌عنوان اهدافی با قدرت مانور بالا و تحرک زیاد دسته‌بندی می‌شوند. لذا سیستم تصویر برداری مورد استفاده باید توانایی نمونه‌برداری با سرعت زیاد را داشته‌باشد. همچنین به دلیل پیچیدگی جنبشی اسپرم‌ها، شبیه‌سازی رفتاری آن‌ها نیازمند امکانات نرم‌افزاری قوی است که به هزینه زیاد منجر می‌شود. اکثر تحقیقات روی نمونه‌های واقعی و با الگوریتم‌های سریع انجام می‌شود در نتیجه برای بررسی و تحلیل رفتاری و ساختاری اسپرم‌ها دو پیش‌نیاز اصلی دارد. اول تصاویر با امکان نمونه‌برداری با نرخ بالا و دوم استفاده از الگوریتم موثر و بهینه با پیچیدگی محاسباتی کم و قابلیت اجرا بر روی سخت‌افزارهای معمولی است [۱۶].



شکل (۸): تشخیص اشیاء در سه فریم متوالی با علامت‌گذاری، تشخیص و تایید.



شکل (۹): کاندیداهای همسایگی اشیاء در فریم بعدی ردیابی‌شی در مدل پتری.

ارایه روش خودکار مناسب و سریع آشکارسازی اشیاء با امکان برچسب‌گذاری، ثبت اشیاء و مسیر حرکت آن‌ها از الزامات اولیه یک سیستم برخط است. ما برای آشکارسازی و بررسی اسپرم‌ها از یک روش سریع با استفاده از مدل‌سازی شبکه‌پتری بهره می‌بریم که ضمن تشخیص اشیاء، بتواند خطاها را اصلاح و شبکه حرکتی اشیاء را (برای رفع خطاهای ردیابی در تصاویر سه‌بعدی واقعی) با تخصیص یک عامل هوشمند به هر اسپرم ثبت کند. این شبکه با مردن اسپرم‌ها، کوچکتر و کوچکتر می‌شود و دامنه مطالعه حوزه‌ای (مانند سرعت، زاویه، و مسافت طی‌شده هر شیء در بین دو فریم) را فراهم

هدف ارایه سیستم تشخیص و ردیابی خودکار اشیاء میکروسکوپی جهت تعیین خودکار اشیاء، ردیابی دقیق هرشیء در کنار تشخیص شبکه ارتباطی اشیاء جهت تشخیص ناهنجاری و تغییر رفتار شبکه ارتباطی آن‌ها است. در این مقاله دو مورد مطالعه اسپرم‌ها و پرندگان انتخاب شده که برای تشخیص خودکار اشیاء تصویر، تشخیص توقف یا تصادم اشیاء متحرک، ردیابی دقیق و هم‌زمان حرکت اشیاء، میرایی اشیاء، تشخیص تغییرات موقعیت و ارتباط اشیاء، و همچنین تعیین ناهنجاری در همبندی برای تشخیص حمله به کولونی پرندگان بیان شده است. نوآوری‌های این مقاله به‌طور خلاصه عبارت از:

- تشخیص خودکار سریع و هم‌زمان اشیاء متحرک میکروسکوپی همراه با مدل‌سازی فرمال شبکه‌های پتری برای ردیابی و تشخیص همبندی اشیاء.
- پیش‌بینی دقیق و بی‌درنگ مکان بعدی شیء با اصلاح خطای عبور اشیاء از روی یکدیگر و کنار هم‌دیگر برای فضای سه‌بعدی در فضای دوبعدی جهت افزایش سرعت ردیابی؛
- مدل‌سازی مقیاس‌پذیر و عامل‌گرا با معماری موازی چندلایه جهت ردیابی بی‌درنگ و هم‌زمان اشیاء متحرک زیاد؛
- مدل‌سازی شبکه همبندی اشیاء جهت تشخیص ناهنجاری‌هایی مانند تصادم اشیاء، سکون اشیاء متحرک، فروپاشی همبندی، چندبخشی شدن شبکه با قابلیت درج ارتباطات در شبکه‌های پیچیده بزرگ؛
- قابلیت توسعه و توزیع مدل تشخیص، ثبت و تحلیل وقایع داده‌های عظیم همراه با عملیات موازی عامل‌های هوشمند، مشاوره آن‌ها و جریان لوله‌ای فریم‌های داده‌ها است.

۱-۵- ساختار مقاله

در بخش ۲ کارهای مرتبط در ردیابی هم‌زمان اشیاء شرح داده می‌شود. در بخش ۳ پیش‌زمینه مورد نیاز تعریف مساله ردیابی بیان می‌گردد. بخش ۴ به تعریف مساله ردیابی و روش پیشنهادی می‌پردازد. در بخش ۵ به نتایج آزمایش‌های تجربی اشاره و نهایتاً بخش ۶ نتیجه‌گیری می‌کند.

۲- پیش‌زمینه و کارهای مرتبط

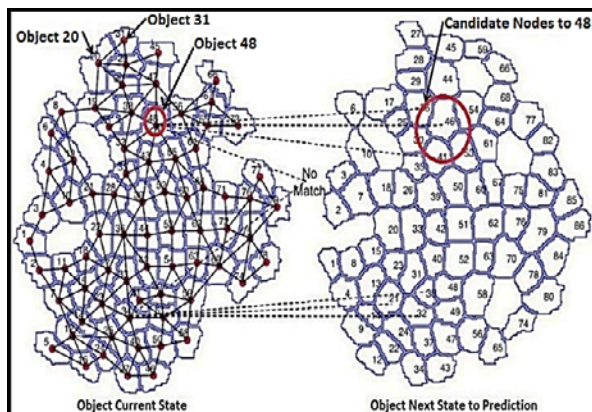
در این بخش مطالب پیش‌زمینه و کارهای مرتبط، معماری سیستم، مساله مدل‌سازی، ردیابی اشیاء و تشخیص همبندی ارایه می‌گردد. همچنین به بررسی مشکل آشکارسازی خودکار اشیاء کوچک می‌پردازد و مدل خاصی برای مدل‌سازی فرمال معرفی می‌شود. همچنین مساله تشخیص هم‌زمان، ردیابی اشیاء و تشخیص همبندی آن‌ها بیان می‌گردد.

۳-۲- شبکه‌های پتری

پتری نت PN مدل ریاضی قدرتمندی است [۲۰] که برای مدل‌سازی سیستم‌های مختلف مانند فعل‌انفعالات شیمیایی، خط سیر متابولیک [۲۱]، خط سیر سیگنال‌دهی [۲۲]، یا تعریف شبکه‌ژن‌ها [۲۳] بکار می‌رود. ایده اصلی آن تشخیص و تمایز بین بخش‌های فعال و غیرفعال شبکه برای بررسی قابلیت هم‌زمانی است. گراف جهت‌دار با مجموعه عناصر مکان‌های P و گذارهای T و مجموعه اتصالات PUT به صورت $PN = (P, T, E, f(e), m(p_i))$ بیان می‌شود. به مجموعه P مکان، T مجموعه گذار، $E \subseteq ((P \times T) \cup (T \times P))$ مجموعه تمام لبه‌های جهت‌دار، $f(e): E \rightarrow N_+$ تابع وزن‌دار با عددی به‌عنوان وزن مثبت برای هر لبه $e \in E$ ، با امکان تخصیص تعدادی ژتون (عدد صحیح مثبت) به هر مکان به‌عنوان علامت‌گذاری $m(p_i): P \rightarrow N_0$ آن شبکه است. مکان‌ها (حالت یا قطعات) مبین عناصر غیرفعال‌ها و گذارها (فعل و انفعالات) موبد عناصر فعال هستند. اشیاء قابل حرکت همان ژتون‌ها هستند که درون مکان‌ها $P_i \in P$ قرار می‌گیرند. توزیع ژتون‌ها موبد تعداد موجودیت‌های مربوطه و مبین حالت سیستم است. پویایی شبکه با حرکت ژتون‌ها از طریق شلیک‌گذارها و کاربرد قوانین شلیک‌مدل می‌شود [۲۳]. برای آشکارسازی و تشخیص خودکار اسپرم‌ها و حفظ گام‌های زمانی همبندی آن‌ها (لایه اول تصویر شکل (۱۰))، عملیات ردیابی و تحلیل حرکت (لایه سوم عامل شکل (۱۰)) به‌کمک تخصیص عامل به اشیاء (لایه دوم پتری شکل (۱۰)) میسر است.

۴-۲- پایش همبندی

همبندی اشیاء مرتبط به‌صورت گراف نمایش داده می‌شوند. در این شبکه گره‌ها مراکز اشیاء، یال‌ها و وزنشان نسبت همسایگی‌های اشیاء را نشان می‌دهند. یال ارتباطی وزن‌دار است و مبین فاصله بین دو شیء می‌باشد که دارای تناظر یک به یک بین گره‌های گراف و اشیاء هستند.



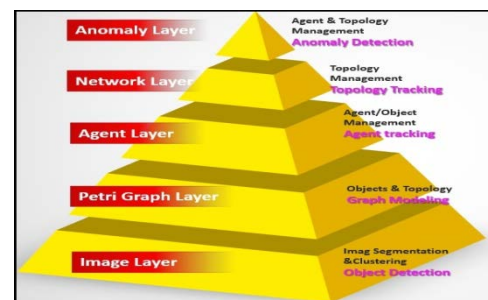
شکل (۱۱): تشخیص خودکار شیء در فریم‌تصویر و نامزدهای مکان بعدی.

می‌کند. همچنین عامل‌ها به‌صورت محلی و هم‌زمان نسبت به پیش‌بینی مسیر حرکت شیء مختص خود و به‌صورت سراسری با هماهنگی همدیگر نسبت به اصلاح خطاهای عبور هم‌زمان اشیاء در فضای سه‌بعدی (تقاطع روی هم یا کنار هم در یک نقطه دو بعدی) عمل می‌کنند.

۲-۲- تشخیص هم‌زمان اشیاء

عبور اسپرم‌ها از روی یکدیگر و یا از کنار یکدیگر پس از جداسازی آن‌ها و خروج این اشیاء از کادر یا ورود آن‌ها به‌کادر تصویر باعث کاهش توانایی شناسایی و شمارش دقیق اسپرم‌ها می‌شود. همچنین وجود ذرات غیر اسپرم و افزایش تعداد اسپرم‌ها می‌تواند باعث افزایش خطای تشخیص جهت اخذ آمارهای لازم باشد. لذا ارایه روش با مشکلاتی روبه‌رو خواهد بود و نمی‌تواند تعداد دقیق اسپرم‌های در حال حرکت را نشان‌دا. البته این فقط یکی از فاکتورهای مورد بررسی است. در واقع تحرک بیش از نیمی از اسپرم‌های مورد بررسی در تصویر به‌هیچ‌عنوان، دلیلی بر توانایی تشخیص نیست و بی‌تحرکی بیش از نصف اسپرم‌ها شانس تشخیص را به‌شدت کاهش می‌دهد [۵]. همچنین غیر از تعداد باید رفتار اسپرم از جمله سرعت حرکت، مسیر و نوع حرکت اسپرم‌ها تحلیل شود. در واقع رفتار اسپرم‌ها بسیار مهم‌تر از تعداد آن‌ها است [۴].

در سیستم ردیابی و براساس تشخیص تصویری و پالایش اشیاء زاید در هر فریم و سابقه حرکت هر شیء، می‌توان براساس بهترین کاندیداهای موجود در فریم بعدی، پیش‌بینی مسیر حرکت هر شیء را به بهترین کاندیدا نسبت داد تا با توجه به زاویه و سرعت حرکت هر شیء، دقت پیش‌بینی افزایش یابد.



شکل (۱۰): معماری پنج‌لایه تشخیص خودکار و ردیابی هم‌زمان اشیاء.

ابتدا تصویر باینری می‌شود (شکل (۱)). اشیاء نامزد تعیین می‌گردند تا در سه فریم متوالی (شکل (۸)) موجودیت آن‌ها تایید شود. در زمان $t + 1$ یعنی فریم فعلی عمل پیش‌بینی مکان‌های بعدی نامزد هر شیء در زمان $t + 2$ یعنی فریم بعدی با مدل پتری صورت می‌گیرد (شکل (۹)) تا مسیر صحیح آن‌ها به مکان‌های بعدی همسایگی تشخیص داده شود. در نتیجه شیء مشخص شده است لذا اشیاء ساکن و نویزهای به‌اشتباه شیء فرض شده به آسانی حذف می‌گردند.

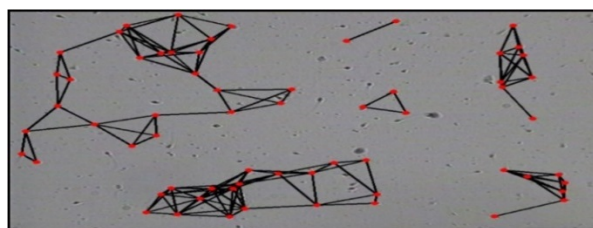
نشان می‌دهد (شکل (۱۰)). مدل دارای پنج لایه تصویر (تشخیص‌شی، شبکه پتری (تشخیص اشیاء در هر فریم و تحلیل شبکه)، عامل هوشمند (تخصیص عامل هوشمند به هر شی برای کنترل، تصمیم‌سازی و ثبت سوابق)، شبکه (ثبت و بررسی ارتباطات اشیاء و مسیر حرکت) و ناهنجاری (تشخیص ناهنجاری شیء و همبندی) است. در لایه دوم، ساختاری ارائه شده که به‌طور همزمان و به‌سرعت قادر به تشخیص اولیه کلیه اشیاء هر فریم است؛ سپس پالایش اشیاء غیر اسپرم را انجام می‌دهد؛ سابقه و تعداد اشیاء را به‌طور همزمان ثبت و بررسی می‌کند؛ شبکه پتری اشیاء را تشکیل می‌دهد؛ برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی مقصد بعدی اشیاء، اطلاعات لازم عامل‌ها را فراهم می‌آورد و مقصد احتمالی آن‌ها را از گره‌های کاندیدا در فریم بعدی تعیین می‌کند. برای مقیاس‌پذیری الگوریتم پیشنهادی از روش‌های موازی‌سازی عامل‌ها به‌همراه تشخیص و پیش‌بینی سریع مسیر استفاده شده که از جهت توسعه و توزیع عامل‌ها در دو ساختار معماری و همزمانی پردازش‌ها برخوردار است. مقیاس‌پذیری^۲ الگوریتم یعنی با افزایش نمایی عناصر و اندازه شبکه، زمان اجرای آن نمایی افزایش پیدا نکند. لایه‌های معماری پیشنهادی و وظایف لایه‌ها به‌شرح زیر است.

- **لایه تصویر:** در پایین‌ترین لایه، تصاویر ویدیویی ورودی قرار دارد؛ وظیفه پیش‌پردازش، قطعه‌بندی و آماده‌سازی تصاویر و اشیاء لازم برای لایه‌های بالاتر را انجام می‌دهد.

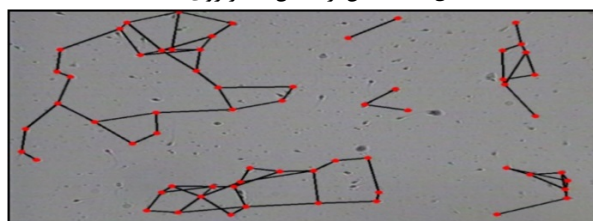
- **لایه شبکه پتری:** در این لایه تمامی اشیاء موجود در تصویر ورودی مشخص می‌شوند؛ جهت کاهش خطای تشخیص اشیاء و برای سرعت تشخیص مسیر بعدی، مکان بعدی هر شیء حدس زده می‌شود؛ حتی اشیاء اضافه شده جدید در فریم‌های متوالی تشخیص داده شده، بررسی و به‌گراف اضافه می‌شوند.

- **لایه عامل:** با تعیین اشیاء در لایه قبل، به‌هر مکان شبکه پتری یک عامل هوشمند تخصیص می‌یابد؛ این عامل وظیفه پیش‌بینی مسیر حرکت، تشخیص مکان در تصویر بعدی، اصلاح خطای تشخیص، ثبت زاویه چرخش، سرعت حرکت و طول مسیر شیء متحرک، بررسی وضعیت زنده بودن شیء متحرک، خودکشی و حذف از شبکه در صورت مرگ شیء، میرایی شیء، فروپاشی شبکه، تشخیص اشیاء جدید، ثبت اطلاعات آماری موردنیاز، ردیابی و نمایش شیء متحرک را برعهده دارد.

- **لایه شبکه:** این لایه وظیفه ثبت سوابق شبکه اشیاء و ارتباطات عامل‌ها را برعهده دارد. با تشخیص عبور اشیاء از یک نقطه یا عبور از کنار همدیگر، تصادم اشیاء باهم، میرایی آن‌ها، عمل مشاوره و وظیفه تشخیص‌نهایی مسیر اشیاء را انجام می‌دهد.



شکل (۱۲): قبل از اعمال فیلتر روی شبکه.



شکل (۱۳): بعد از اعمال فیلتر روی شبکه.

این نمایش در ردیابی اشیاء و همبندی شبکه کمک می‌کند و با توجه به همسایگی‌ها، کاندیداهایی برای پیش‌بینی مکان بعدی شیء می‌توان در نظر گرفت تا شبکه بتواند در فریم بعدی ردیابی شود. ردیابی کنونی بیشتر براساس یک‌شیء صورت می‌گیرد و در موضوع ردیابی و مطالعه رفتار جمعی اشیاء و همبندی آن‌ها کار ارزشمندی ارائه نشده است [۳۶]. برای تشکیل همبندی از ساختار فیلد تصادفی وضعیتی^۱ CRF استفاده می‌شود. این ساختار متشکل از ساختار گراف و محاسبه گره‌ها و یال‌های بالقوه برای پیش‌بینی مانند وضعیت فعلی شیء گره ۴۸ و موقعیت گره‌های بعدی ۳۱، ۴۱ و ۴۶ برای پیش‌بینی تطبیق زمانی شیء با گره از سمت چپ به‌سمت راست شکل (۱۱) است. استفاده از اطلاعات محلی و رنگ برای افزایش سرعت صورت می‌گیرد. بهترین تطبیق برای انتخاب گره بالقوه بعدی در کنار معیار فاصله براساس سوابق جهت حرکت و سرعت هر شیء از بین گره‌های بالقوه است. سپس باید در هر فریم بر روی همسایه‌های مشترک مجاور، یال‌هایی که در تحلیل ما کارایی ندارند (شکل (۱۲)) با اعمال فیلتر حذف شوند (شکل (۱۳)).

برای تشخیص همبندی شبکه، برای هر گره و یال تعاریفی ارائه می‌شود که در نمایش شبکه و در تشخیص همبندی به‌ما کمک کند. بار رنگ کردن گراف، اشیاء به دو دسته اشیاء دارای همسایه و اشیاء بدون همسایه تقسیم می‌شود تا گوناگونی اشیاء (مانند درختان و پرندگان) در محیط‌های مختلف لحاظ گردد. یال‌های مجاوری که فاصله آن‌ها از یک مقدار آستانه فاصله بیشتر باشد و یال‌های با فاصله زیاد مشخص می‌شوند تا برای تشخیص تقسیم گراف شبکه و تصادم اشیاء این امتیازات مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۵- معماری چندلایه

معماری پنج‌لایه پیشنهادی قابلیت‌تغییرات در هر لایه را محفوظ می‌دارد و مقیاس‌پذیری روش را با ساختار سلسله‌مراتبی عامل‌گرا

^۲ Scalable

^۱ Conditional Random Field (CRF)

تخمین بردارهای حرکت وجود دارد [۹]. روش مشخصه برخلاف شار نوری، بردارهای حرکت را برای نقاط خاصی از تصویر محاسبه می‌کند در نتیجه حجم محاسبات کاهش می‌یابد. انتخاب نوع ویژگی به در دسترس بودن نوع مشخصه و قابلیت اطمینان در اندازه‌گیری آن بستگی دارد و معمولاً از لبه‌ها، گوشه‌ها، نقاط مورد علاقه^۷ یا هر سطح خاکستری استفاده می‌کند. دو مشکل استخراج و برقراری تشابه بین ویژگی‌های استخراجی از یک فریم و فریم بعدی، و محاسبه ساختار سه‌بعدی یا دستیابی به حرکت اشیاء در صحنه دارد.

روش پیرامون فعال مبتنی بر کمینه‌سازی انرژی و دارای سه وظیفه استخراج، تطبیق و ردیابی مشخصه‌های لبه تصاویر است. در این روش یک ناحیه پیرامون دور شیء متحرک در نظر گرفته شده و با استفاده از نقاط مشخصی روی این پیرامون عمل‌ردیابی صورت می‌گیرد. شکل پیرامون می‌تواند باز یا بسته باشد. پیرامون از یک نقاط کنترلی تشکیل شده که می‌تواند دارای حرکت دو بعدی باشد و با این تغییر مکان شکل پیرامون عوض می‌شود. هرچه تعداد این نقاط بیشتر باشد منحنی نرم‌تر ولی محاسبات بیشتری خواهد داشت [۲]. از روش‌های جدید ردیابی هدف متحرک، تلفیق روش‌های کمینه‌سازی انرژی با روش‌های تطبیق مشخصه است که از مزایای هر دو روش بهره می‌گیرد. در این روش‌ها ابتدا نقاط مشخصه مثل روش‌های تطبیق مشخصه استخراج و محل تطبیق آن‌ها در تصویر بعدی محاسبه می‌شود. سپس از مش‌های ایجاد شده برای ردیابی نقاط مشخصه بهره می‌برد. عموماً از روش مثلث دیلنی^۸ برای تولید مش استفاده و در کاربردهایی نظیر رمزگذاری و فشرده‌سازی ویدیویی، گرافیک کامپیوتری و نیز ردیابی و قطعه‌بندی اشیاء تصاویر ویدیویی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الگوریتم مش فعال تطبیقی^۹ شبیه الگوریتم مش فعال است ولی تغییرات کوچکی دارد. مش فعال تطبیقی قادر است به‌طور سازگار مشخصه به مش اضافه و یا از آن کم کند [۹]. روش‌های ارایه‌شده دارای ویژگی‌ها و معایبی از قبیل حساسیت به تغییر نمود، شدت روشنایی، نویز دارد و مناسب جسم صلب هستند. روش ما دارای سرعت بسیار خوب، حساسیت کم به نویز و شدت روشنایی، و مناسب جسم متحرک است. براساس دانش ما تاکنون مساله مدل‌سازی ردیابی هم‌زمان اشیاء در چندلایه در کنار معماری چندعاملی برای حل مشکلات ردیابی در قالب استخراج و درج ارتباطات عناصر شبکه به‌صورت مقیاس‌پذیر و با عناصر زیاد ارایه نشده است. کارهای انجام‌شده در بحث عناصر میکروسکوپی دارای اشیاء کمی هستند و در مقیاس بزرگ و با قابلیت تشخیص خودکار اشیاء و عبور اسپریم‌ها از روی یک‌دیگر به‌صورت سه‌بعدی همراه

• **لایه ناهنجاری:** این لایه وظیفه تشخیص ناهنجاری اشیاء یعنی میرایی شیء، مرگ شیء، توقف شیء متحرک، خودکشی، فروپاشی شبکه، اشیاء جدید، تقسیم همبندی، فروپاشی شبکه آن‌ها و اعلام هشدارهای آن را برعهده دارد.

۲-۶- کارهای مرتبط

روش‌های گوناگونی در ردیابی هدف متحرک ارایه‌شد که دارای مزایا و معایب هستند. مسلماً نمی‌توان روشی یافت که به‌تواند پاسخ‌گوی تمامی چالش‌های موجود باشد. داشتن اطلاعات صحنه مانند نحوه حرکت دوربین و نرخ فریم‌ها می‌تواند در کاهش پیچیدگی‌های کمک کند تا روش انتخابی برای کاربرد خاص بهترین باشد. در این بخش فقط مروری بر آخرین کارها و مهم‌ترین روش‌های ردیابی هدف متحرک براساس "شبه‌شیء"^۱ از قبیل ردیابی براساس حرکت آشکار^۱، تطابق مشخصه^۲، شار نوری^۳، پیرامون فعال^۴ و مش فعال^۵ خواهیم داشت.

در روش لکه، مدل پس‌زمینه تولید و برای هر تصویر، اختلاف تصویر ورودی و تصویر پس‌زمینه پردازش می‌شود تا لکه‌های پیش‌زمینه متناظر با اشیاء که در فیلم دارای حرکت هستند استخراج شوند [۹]. در تمامی آن‌ها باید فریم موجود با فریم(های) قبلی یا با تصویر زمینه مقایسه شوند. در ساخت فریم پس‌زمینه مشکلات و پیچیدگی‌های خاصی وجود دارد. مقایسه فریم کنونی با فریم قبلی در صورتی مفید است که به‌خواهیم تغییرات را در دو فریم به‌دست آوریم ولی برای کل فریم‌ها، این روش مفید نیست. بیشتر تصاویر دوربین‌ها دارای نویز بسیار هستند که موجب تشخیص اشتباه حرکت می‌شوند [۲]. برای حل آن از عملگرهای مورفولوژیکی استفاده می‌شود که نویز تا حد زیادی از بین برود. اگر اشیاء دارای حرکت آرام و کند از یک فریم به فریم بعدی باشند تشخیص کل حرکت‌های انجام شده غیر ممکن است.

روش تطبیق مشخصه و شار نوری از نظر ساختار شبیه هم هستند اما در شار نوری به‌ازای تمام نقاط تصویر یا ناحیه مورد نظر بردارهای حرکت محاسبه می‌شود. درحالی‌که در تمامی روش‌های تطبیق مشخصه، بردارهای حرکت برای مشخصه‌های قوی در تصویر غالباً گوشه‌های تصویر محاسبه می‌شوند. روش شار نوری در واقع با حرکت آشکار مقادیر سطح خاکستری در تصاویر مرتبط است. هدف آن تعیین بردار حرکت ظاهری در نواحی مختلف تصویر است که شار نوری مترام^۶ نیز گفته می‌شود [۲]. این روش دارای مشکلات محاسبه بردارهای حرکت در تمام نقاط تصویر یا ناحیه مورد نظر، حجم محاسبات بالا، و در نقاط فقدان اطلاعات کافی مساله خطای

¹ Apparent Motion

² Template Matching

³ Optical Flow

⁴ Active Contour

⁵ Active Mesh

⁶ Dense Optical Flow

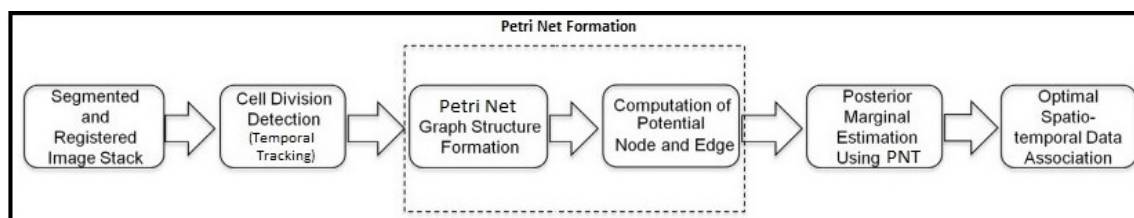
⁷ Interest Point

⁸ Delaunay Triangulation

⁹ Adaptive

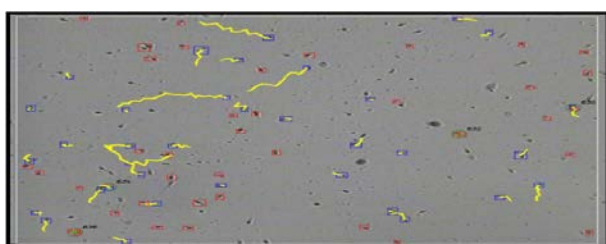
که با تئوری همسانی^۱ مانند ردیابی انجمن‌ها در شبکه‌های اجتماعی برای مساله ردیابی حتی در درمان پزشکی ارایه شده است [۲۵]. اولین بار این تئوری با مطالعه سری زمانی تصویر برای دینامیک مابعات استفاده شد [۲۶].

پایه همبندی هنوز در راستای عملیات موازی موجود نیست. استفاده از تغییرات همبندی در طول زمان، مدلی برای ردیابی اشیاء است [۲۴]. این تغییرات شامل تجزیه یک‌شی، یا ترکیب چندشیء می‌گردد و به‌عنوان اجزاء متصل مانند ابرهای باران‌زا ردیابی می‌شوند

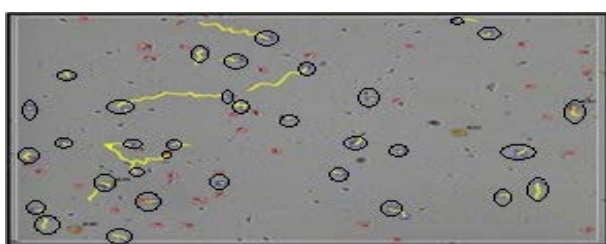


شکل (۱۴): دیاگرام بلاکی آشکارسازی اشیاء.

که برای کاهش محاسبات از تخمین محل‌شیء و حرکت آن استفاده و سگمنت‌بندی را در فرآیند ردیابی ادغام می‌کند. به‌صورت خودکار محل اشیاء، ابعاد و جهت حرکت را در هر فریم تعیین و آن را براساس تخمین حضور چندشیء و تداخل براساس شبکه پتری و سابقه حرکت هر شیء، سریع ردیابی می‌کند. اول محور پردازش سریع و تقسیم‌بندی تصویری اشیاء به اشیاء (اسپریم‌ها) و دوم بحث همبندی اشیاء بیان می‌شود. گام‌های روش پیشنهادی طبق شکل (۱۴) ارایه شده است.



شکل (۱۵): قاب‌گذاری اشیاء و تخصیص عامل هوشمند به هر شیء.



شکل (۱۶): ردیابی هوشمند چندعاملی مقیاس‌پذیر پیشنهادی.

در این روش در پیش‌پردازش و بهبود تصویر، تشخیص خودکار اشیاء، برچسب‌گذاری اشیاء، استخراج خصوصیات، تشخیص هر شیء، بازشناسی و احراز هویت شیء (اسپریم)، ردیابی همزمان اسپریم‌های متحرک، و نمایش برخط ردیابی خلاصه می‌شود که اثر اشیاء سریع، زمینه‌پیچیده تصویر و اشیاء مشابه را کم می‌کند. تاکنون برای تحلیل اسپریم‌ها، الگوریتم‌هایی دارای مراحل مشترک ارایه شده است. در ابتدا باید تصویر پیش‌زمینه از پس‌زمینه جداسازی، هر شیء تعیین و اشیاء غیرمتحرک و اشتباه حذف شوند. شبکه پتری ایجاد، اشیاء اصلی ماندگار از اشیاء واقعی و غیر واقعی را تشکیل

البته با اندازه‌گیری فاصله بین دیاگرام مرتبط با جفت‌های^۱ تصاویر اشیاء، گسستگی‌ها در مشخصات همبندی آشکار شد ولی نتوانست محل اشیاء را تعیین کند. روش خاص‌منظوره برای ردیابی اشیاء به‌عنوان همولوژی پیوسته ارایه شد که جنبه عمومیت نداشت [۲۷]. سپس همولوژی پیوسته زیگزاگ برای بررسی رفتار زمانی مکانی زنبورها بکار رفت گرچه باز هم مشکل تعیین محل اشیاء وجود داشت [۲۸]. همچنین جهت ردیابی اشیاء در علوم جغرافیایی مدل‌هایی ارایه شد [۲۹-۳۲]. برای این مدل مفهومی ردیابی، مدل محاسباتی وجود نداشت و مبین ارتباط اشیاء با چندین مولفه متصل^۲ بود [۲۸ و ۲۹]. همچنین مدلی مفهومی دیگری برای ردیابی تغییرات همبندی در پدیده‌های مکانی با استفاده شبکه ژئوسنسورها ارایه شد که با برخورداری از فرضیات بسیار، مستقیماً برای داده‌های واقعی کاربرد نداشت [۳۱ و ۳۲]. فن‌های دیگری با استفاده از خوشه‌بندی^۳ داده‌های زمانی- مکانی ارایه شد [۳۳]. در خوشه‌بندی، محل اشیاء باید ثابت فرض شود لذا ردیابی پویا را بی‌اثر می‌کند. کارهای ردیابی همبندی بدون توجه به تعیین محل دقیق اشیاء ارایه می‌شود که بیشتر در ردیابی انجمن‌ها و کلونی‌ها مهم هستند. این امر پایه مساله ردیابی در کاربرد داده‌های بزرگ را با چالش‌های مقیاس‌پذیری، تعیین سریع محل هرشیء، ردیابی دقیق اشیاء و دقت پوشش تمامی اشیاء روبرو می‌سازد که نیازمند مدل، معماری، ابزار، تجهیزات و فن‌های نوین است.

۳- روش پیشنهادی

در این بخش به جزئیات روش پیشنهادی که در بخش ۱-۲ بیان شد برای آشکارسازی و تشخیص اشیاء، کلاس‌بندی اشیاء، ردیابی همزمان اشیاء، قاب‌گذاری اشیاء، و تعیین همبندی شبکه می‌پردازیم. الگوریتم و معیارهای لازم را ارایه می‌دهیم. روش پیشنهادی، ترکیبی از سگمنت‌بندی اشیاء ویدیویی و ردیابی^۴ است

^۱ Homology Theory

^۲ Connected Components

^۳ Clustering

^۴ Video Object Segmentation and Tracking (VOST)

ترد^۴ است که قادر به تشخیص وضعیت و انجام وظایفش به‌طور خودمختار است. عامل ضمن دارا بودن قدرت تصمیم‌گیری مستقل، در حال مشورت با دیگر عامل‌ها و مبادله اطلاعات خود با عامل مرکزی خواهد بود [۳۴].

در مدل ما، هر عامل هوشمند، وظیفه پیش‌بینی مکان بعدی، شناسایی مسیر، ردیابی، اصلاح‌خطا و ذخیره‌سازی داده‌های خود را برعهده دارد. تمامی عامل‌ها فقط با عامل مرکزی تحت مدل شبکه‌پتری مرتبط هستند و پس از انجام وظایف خود به مرکزیت اتمام عملیاتشان را اطلاع می‌دهند. عامل مرکزی وظیفه مدیریت و بررسی وضعیت سیستم، تنظیم شرایط، کنترل پردازش هر فریم، شروع فریم بعدی، اتمام پردازش‌ها و تشخیص ناهنجاری را برعهده دارد. هوشمندی شامل مراحل جستجو، پیش‌بینی، پردازش، تصمیم‌گیری، مبادله‌برخط پیام، پاسخ به فجایع، ذخیره اطلاعات میانی و مدل‌سازی همبندی اشیاء است.

۳-۲- تشخیص و کلاس‌بندی اشیاء

برای ردیابی اشیاء به‌منظور جداسازی اشیاء از تصویرزمینه به الگوریتم‌های آمیخته میانگین‌گیری و مرزبندی نیاز است. اگر حرکت اشیاء از یک فریم به فریم بعدی کند باشد تشخیص حرکت را غیرممکن می‌سازد. موثرترین الگوریتم‌های تشخیص حرکت، پس‌زمینه را ایجاد می‌کنند و سپس فریم‌های ورودی با آن مقایسه می‌شود که بسیار پیچیده است. در این مقاله روش مناسب و سریع تشخیص حرکت ارائه می‌شود. فریم پس‌زمینه را به‌سمت فریم ورودی کنونی با ضریب خاصی حرکت می‌دهد. یعنی برای هر فریم با یک ضریب اختصاصی، اندکی پس‌زمینه را به‌سوی فریم‌کنونی سوق می‌دهد. در این صورت رنگ پیکسل‌های متحرک در فریم پس‌زمینه به فریم خاص تغییر می‌کند. یعنی جهت‌دستیابی به تغییرات دو فریم متوالی، فریم‌کنونی با فریم قبلی مقایسه (شکل (۱۷)) و به‌کمک مرفولوژی، بهبود ایجاد شده (شکل (۱۸)) و اشیاء پالایش می‌گردند. پس از پالایش و تشخیص اشیاء، به هرشیء چند مختصات مانند نام مکان در شبکه تخصیص داده می‌شود. براساس مسیر حرکت شیء و سرعت حرکت آن، یک کمان از هرشیء به اشیاء بعدی نامزد مکان حرکت با بیشترین احتمال مکان‌بعدی حرکت، ترسیم می‌شود. این کار خطای ردیابی را به‌خوبی کاهش می‌دهد و بررسی زود هنگام عبور اسپرم‌ها از کنار هم و روی هم را بررسی می‌کند. با مدل‌سازی شبکه‌پتری مساله همجواری و محل جدید اسپرم‌ها تجدید می‌شود. محل جدید اشیاء متحرک با بررسی خطای احتمالی، ثبت و ردیابی می‌گردد. ثبت موقعیت و مسیر حرکت به‌صورت هم‌زمان انجام می‌شود. هم‌زمان با این اعمال، عامل مرکزیت با بررسی وضعیت اشیاء به ترسیم شبکه همبند اشیاء اقدام می‌کند. اگر اسپرم در دو فریم‌بعدی حرکت محسوس‌نشده و حتی دم آن نیز تکان نخورد

می‌دهد که در سه فریم اشیاء غیر واقعی و زاید حذف و به مرور زمان همبندی اصلاح می‌گردد.

در مرحله بعد، اشیاء جداشده از پیش‌زمینه بررسی، اشیاء واقعی علامت‌گذاری و از لحاظ حرکت و ابعاد، تقسیم‌بندی می‌شوند. سپس به‌هر شیء برچسب^۱ و عامل هوشمندی (شکل (۱۵) و (۱۶)) تخصیص می‌یابد تا ردیابی و ساختار شبکه اشیاء و اطلاعات آماری آن‌ها، ذخیره و نهایتاً تحلیل گردد. در این مدل مشکل تعیین مکان بعدی اسپرم است که در فریم بعدی با مدل‌پتری (شکل (۹)) و سوابق مسیر حرکت همه کاندیداهای مکان‌های بعدی هر شیء را حول شعاع حرکتی حدس‌زده می‌شود تا از اطلاعات زیاد سراسری نقطه به نقطه به پردازش سریع اطلاعات محلی و محدود منتقل به-پردازیم. ضمناً مشکل خطای ایجاد حاصل از عبور اشیاء از روی هم‌دیگر یا کنار هم با پیش‌بینی از اطلاعات سرعت، زاویه و جهت حرکت آن‌ها، تقلیل می‌یابد.



شکل (۱۷): تصویر اصلی و آشکارسازی اشیاء.



شکل (۱۸): فیلتر مرفولوژی و پالایش اشیاء.

۳-۱- مقیاس‌پذیری هوشمند

مقیاس‌پذیری مدل پیشنهادی به‌دلیل برخورداری از ساختار چندعاملی با عامل مرکزیت و عامل‌های هر شیء و ساختار ارتباطی مدل‌پتری در فریم فعلی و فریم بعدی مانند شکل (۱۱) است. در شروع فریم‌های آغازین، عامل مرکزیت پس از شناسایی هر شیء، به آن یک عامل و نام تخصیص می‌دهد. عامل مرکزیت با ثبت نام عامل‌ها و ردیابی آن‌ها در انتهای پردازش هر فریم با دریافت سیگنال اتمام وظیفه هر عامل و اتمام وظایف همه عامل‌ها، فرآیند اجراء آن فریم را پایان داده و مرحله آغاز پردازش فریم‌بعدی را مهیا می‌کند. این سامانه چندعاملی^۲ از عوامل هوشمند متعامل تشکیل شده که به‌طور خودکار توسط مدل‌پتری تخصیص‌یافته و به‌صورت متناوب تجدید و بررسی می‌شود. هر عامل هوشمند^۳ در پیاده‌سازی، یک

¹ Label

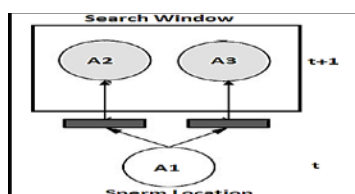
² Multi-agent System

³ Agent

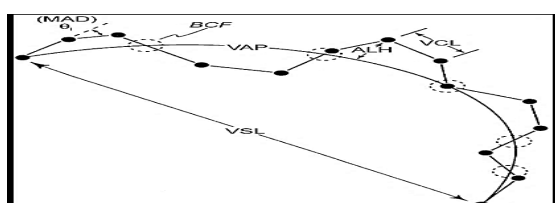
⁴ Thread

۳-۳- ردیابی همزمان اشیاء

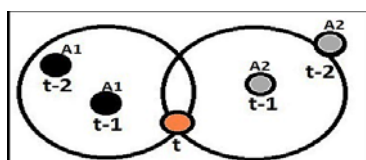
مسیر حرکت اسپرم‌ها معمولا شبیه حرکت ماهی‌ها در تصاویر ویدیویی اندازه‌گیری و توسط عامل شیء و عامل مرکزیت ارزیابی می‌شود. مکان بعدی هر شیء، مانند نامزدهای A2 و A3 در پنجره جستجوی شکل (۱۹)، با استفاده از شبکه پتری اشیاء و با توجه به قواعد شبکه و قانون همسایگی حدس می‌زنیم. الگوهای حرکتی هر شیء در شکل (۲۰) ارائه شده است [۳۵]. مهم‌ترین مولفه‌های حرکت عبارت از سرعت حرکت منحنی (سرعت واقعی در طول مسیر VCL^۱) و سرعت حرکت مستقیم (فاصله مستقیم بین شروع و پایان مسیر، تقسیم بر زمان مسیر VSL^۲) است که در مسیر مستقیم این دو مولفه یکسان هستند. سرعت مسیر زاویه‌دار (سرعت در امتداد مشتق مسیر مستقیم VAP^۳) معمولا در منحنی‌های صاف به کار می‌رود لذا آن دو مولفه مساوی و از معیارهای خوب حرکت هستند. نرخ $\frac{VSL}{VAP}$ ، تقریب خوبی از میزان جلو یا عقب رفتن اسپرم^۴ در خط‌سیر خود است. مسیر به سمت انتهای دوره فعال هر اسپرم می‌تواند دارای انحنای بیشتر و حتی مستقیم باشد که به صورت خطی $\frac{VSL}{VCL}$ (نرخ خالص فاصله به کل فاصله) یا صاف (نرخ خالص فاصله به فاصله مسیر صاف) به عنوان شاخص انحنای مسیر است. درصد حرکت (اسپرم‌های متحرک) یک شاخص خوب از تعداد اسپرم‌ها است. مرکز ثقل سر اسپرم (مرکز مربع حاوی اسپرم) در هر فریم به دست می‌آید و شاخص فیزیکی و حرکت اسپرم در فریم فعلی تعیین و برای یافتن مکان آن در فریم‌های بعدی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۱۹): پیش‌بینی کاندیداهای A2 و A3 در همسایگی اسپرم A1.



شکل (۲۰): الگوی تشخیص حرکت هر اسپرم و مولفه‌های مربوطه [۳۵].



شکل (۲۱): عبور اسپرم‌های A1 و A2 از کنار هم با هم‌پوشانی کامل.

عامل آن شیء، اقدام به خودکشی یا اتمام اجرای خود می‌کند. عامل مرکزیت با مشاهده حذف تمامی عامل‌ها کار ردیابی را متوقف و عمل تحلیل را آغاز می‌کند البته عامل‌ها به صورت هم‌زمان، آمارهای خود را جمع‌آوری می‌کنند.

$$B_1(i, j) = \max(H_{i,j}(k)) \quad k = 0, \dots, L - 1 \quad (۱)$$

$$I_2(i, j, t) = f(i, j, t) - B_1(i, j) \quad t = 1, \dots, m \quad (۲)$$

$$B_2(i, j) = I_2(i, j, 1) - I_3(i, j, 1) \quad (۳)$$

$$I_4(i, j, t) = f(i, j, t) - B_1(i, j) - B_2(i, j) \quad t = 2, \dots, m \quad (۴)$$

$$I_3(i, j) = I_1(i, j) - I_2(i, j) \quad (۵)$$

دو مشکل اصلی یعنی حذف بخش‌های ثابت و مرزهای مبهم، در الگوریتم مسیریابی اختلال ایجاد می‌کند. همچنین نویز موجود در تصاویر متوالی گاهی باعث عدم ردیابی بعضی عامل‌ها و ایجاد خطا می‌گردد. اطلاعات مربوط به فریم‌های مختلف برای حذف قسمت‌های ثابت به کار برده و از تصویر حذف می‌شوند. سطح روشنایی مربوط به هر پیکسل از تصویر در فریم‌های متوالی تحلیل می‌شود که تکرارپذیری سطح روشنایی هر پیکسل در فریم‌های متوالی نشان دهنده جزء ثابت آن است. اگر هیستوگرام مربوط به پیکسل ij در فریم‌های مختلف $H_{ij}(k)$ باشد لذا سطح روشنایی زمینه از رابطه (۱) به دست می‌آید. طبق رابطه (۲) اجزا ساکن از تصویر حذف می‌شوند. پس از آن در مرحله بعد، حذف یا کاهش اثرات مرز مبهم است که عمل بهبود تصویر بر روی I_2 با تبدیلات مورفولوژی انجام می‌شود. تصویر حاصل از مرحله I_3 ، در جهت افزایش سرعت الگوریتم از دومین زمینه تصویر اول مطابق رابطه (۳) استفاده می‌کند. لذا تمامی فریم‌ها با رابطه (۴) بهبود می‌یابند. تعیین درصد حرکت شیء اسپرم متحرک در مایع یکی از موارد مهم و نیازمند کلاس‌بندی است.

کلاس‌بندی برای تشخیص اشیاء متحرک جهت ردیابی است. برای به دست آوردن اسپرم‌های بی حرکت با رابطه (۵) عمل می‌شود. در این رابطه، I_1 ماتریس تصویر فریم اول مورد نظر برای مسیریابی و I_2 ماتریس تصویر همان فریم پس از حذف زمینه است که در آن تصویر، فقط اشیاء متحرک وجود دارد. در این صورت I_3 ماتریس اجزا ساکن است و با تفکیک، تمامی قسمت‌ها از زمینه جدا می‌شوند. تشخیص دقیق اسپرم‌ها از دیگر اجزا، با استفاده از تحلیل چند تصویر متوالی و حدس مساحت اجسام متحرک صورت می‌گیرد. برای هر اسپرم مساحت خاصی در نظر گرفته می‌شود تا اشیاء بزرگتر و اشیاء کوچک‌تر به عنوان اسپرم شناخته نشوند. با سابقه‌گیری و تشخیص ویژگی تحرک هر اسپرم، تخمین سرعت و ابعاد حرکت آن توسط هر عامل آسان‌تر انجام می‌شود. با حدس و تشخیص مکان بعدی هر اسپرم در تصویر بعدی، برای یافتن و الگوی حرکت آن، خطا کاهش می‌یابد و زمان ردیابی در طول مسیر کمتر می‌شود (شکل (۱۹)).

^۱ Curvi-Linear Velocity (VCL)

^۲ Straight-line Velocity (SVL)

^۳ Average Path Velocity (VAP)

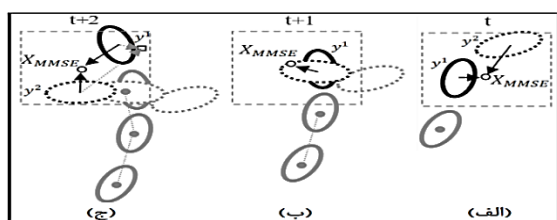
^۴ Strightness (STR)

تشخیص وجود دارد. زاویه سر هر اسپرم θ در یک ناحیه مربع محاسبه می‌شود که این زاویه از رابطه (۹) به‌دست می‌آید. اختلاف زاویه سر $\theta_i - \theta_{i+1}$ در دو فریم متوالی باید کمتر از ۲۰ درجه باشد (رابطه (۱۰)). اولین جزیی که باید در این شرط صدق کند اسپرم مورد نظر در فریم جدید است. هر چه زاویه سر اسپرم بیشتر باشد حرکت پیش‌رونده اسپرم کمتر خواهد بود لذا برای تعیین مکان‌بعدی اسپرم در فریم‌بعدی، از نقاط نامزد نزدیک‌تر استفاده می‌شود. محل بعدی اسپرم مشخص و با تعیین مرکز ثقل آن، این نقطه به‌عنوان مرکز ثقل نقطه ورودی الگوریتم تقطیع، برای فریم‌بعدی به‌کاربرده می‌شود که تا آخرین فریم موردنظر این مسیریابی ادامه می‌یابد.

(۲) خارج محدوده: با خروج اسپرم از زاویه دید یا قاب‌تصویر مسیریابی، خطا در محاسبات وارد و بحث مخاطره یا ریسک در تصمیم‌گیری طرح می‌شود. در هر فریم، محل مربع تفکیک از روی مختصات آن بررسی و با خروج اسپرم از حوزه دید، مسیریابی قطع و با حذف عامل شی‌مربوطه، این خطا کنترل می‌شود. در مقابل خطر انسداد در گوشه‌ها یا عدم اطمینان در حرکت، موضوع مخاطره بررسی و تغییرات مختلف‌شیء با استفاده از جهت‌حرکت مورد بازیابی قرار می‌گیرد (شکل (۲۲)). این ارزیابی همان مخاطره یا ردیابی‌ریسک‌گرا است. در شکل (۲۳)، شکل (۲۳-ج) قسمتی از تصویر اصلی و شکل (۲۳-الف) است که چهار اسپرم در آن دیده می‌شود و با استفاده از الگوریتم تفکیک و درنظر گرفتن محدوده مساحت برای تشخیص اسپرم، از دیگر اجزای تفکیکی شکل (۲۳-ب) به‌دست آمده است. تصاویر بعدی مربوط به اسپرم‌های متحرک در شکل (۲۳-ب) و غیر متحرک در شکل (۲۳-ج) است که باید برای تشخیص اسپرم‌ها، سطح مجاز درنظر گرفته شود. درصد حرکت در این تصویر پنجاه درصد می‌باشد.

۳-۴- ردیابی همبندگرای اشیاء

برای تشکیل شبکه و تشخیص همبندی ابتدا ساختار CRF تشکیل می‌شود. برای تشخیص همبندی شبکه و بررسی ویژگی‌های رفتاری و تحلیل‌هایی که از روی همبندی شبکه به‌دست می‌آید ابتدا اقدام به حذف یال‌هایی که در تحلیل ما مورد استفاده نیستند می‌کنیم. این کار با الگوریتمی روی گره‌ها بر اساس همسایگی مشترک آنها اجرا می‌شود.



شکل (۲۲): ردیابی اسپرم در صحنه مسدود و بازگشت به صحنه ردیابی (الف) قبل از انسداد (ب) زمان انسداد (ج) بعد از انسداد [۱۹].

براساس تحقیق تجربی، تعریف WHO^۱، حداکثر قدرت پیش‌روندگی یک اسپرم در هر ثانیه بیش از ۵ برابر طول سر خودش است. حداکثر مسافت طی شده اسپرم در فاصله دو فریم متوالی می‌تواند با توجه به‌فرکانس پیش‌روی اسپرم BCF^۲ و حداکثر مساحت سر اسپرم ALH^۳ محاسبه شود [۱۹]. سپس برای استخراج محل اسپرم در فریم بعدی، مکان‌های موجود اسپرم‌ها در فریم‌بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مکان‌های نامزد برای تصمیم تشخیص مکان‌بعدی، با توجه به‌مشخصات حرکتی اسپرم در مدل پتری، توسط عامل هوشمند هر اسپرم انتخاب می‌شود. این اطلاعات در کلاس‌بندی اشیاء میکروسکوپی دارای مشکلات (۱) همپوشانی یا عبور همزمان اشیاء در فضای سه‌بعدی و (۲) خارج محدوده یا خروج از قاب‌تصویر به‌کار می‌رود که خطا وارد محاسبات می‌کند. البته در کارهای پزشکی با ایجاد محدودیت فیزیکی فضای مطالعه در دو بُعد، این محدودیت رفع می‌شود. ما این مشکلات را بدون تغییر فضای مطالعه حل کرده‌ایم و کیفیت روش پیشنهادی در کمک به تشخیص پیشرفت اسپرم، از نظر دقت برابر و از نظر سرعت، سریع‌تر شده است.

(۱) همپوشانی: اگر چندین اسپرم به‌طور همپوشان در یک ناحیه قرار گیرند انتخاب صحیح هر شیء دارای خطاست (شکل (۲۱)). با توجه به‌اطلاعات فریم‌قبل، برای جلوگیری از خطا، اشیاء موجود در محدوده فضاهای نامزد در فریم‌بعدی جستجو می‌شوند. محور سر اسپرم برای اطمینان از وجود اجزا در محیط جستجوی اسپرم با قسمت‌های تفکیکی جهت تعیین زاویه سر مورد بررسی قرار می‌گیرد. منظور از زاویه سر MAD^۴ همان زاویه محور اصلی قسمت تفکیکی از محور Xها است. در صورتی که ماتریس مختصات پیکسل‌های روی مرز $N \times n_i$ باشد، هر کدام از n پیکسل مرزی دارای مختصات (ij) هستند (رابطه ۶). برای هر پیکسل، برداری از فاصله آن پیکسل تا دیگر پیکسل‌ها و سپس بیشینه فواصل $dMax_{n_1}$ طبق رابطه (۷) به‌دست می‌آید که محور اصلی سر اسپرم Major axis در رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$N = \{n_1(i_1, j_1), n_2(i_2, j_2), \dots, n_n(i_n, j_n)\} \quad (6)$$

$$d(n_1, n_2) = \sqrt{(i_1 - i_2)^2 + (j_1 - j_2)^2} \quad (7)$$

$$Major\ axis = Max\{dMax_{n_1}, dMax_{n_2}, \dots, dMax_{n_n}\} \quad (8)$$

$$\theta = \text{Arctg} \left(\frac{j_b - j_a}{i_a - i_b} \right) \quad (9)$$

$$-20 < \theta_i - \theta_{i+1} < 20 \quad (10)$$

معمولاً حرکت اسپرم پیش‌رونده است و نمی‌تواند انحراف شدیدی نسبت به‌حالت خود در فریم قبل داشته‌باشد. در صورت تفاوت بسیار زاویه سر اسپرم با زاویه آن در فریم‌قبل، احتمال خطا در

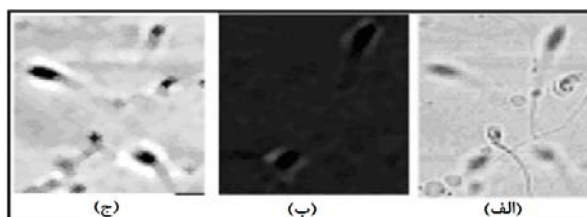
¹ World Health Organization (WHO)

² Beat Cross Frequency (BCF)

³ Amplitude of Lateral Head Displacement (ALH)

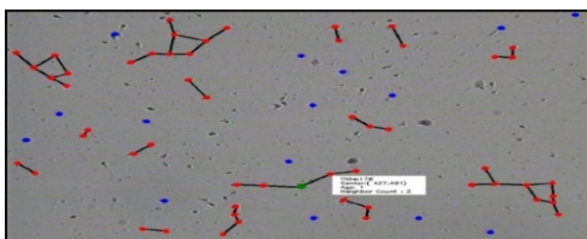
⁴ Mean Angular Degree (MAD)

با حداقل و حداکثر وزنی که یال‌ها می‌توانند داشته باشند می‌توان راجع به تراکم آن بخش نظر داد. اگر عدد حاصل از میانه بازه حداکثر و حداقل وزن یال‌ها بیشتر بود اشیاء از هم فاصله زیادی دارند لذا شبکه تراکم کمی دارد. غیر آن اشیاء بهم نزدیک هستند و نشان از متراکم بودن شبکه است (شکل (۲۵)).

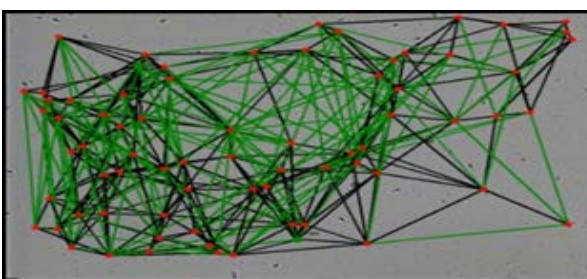


شکل (۲۳): اشیاء (الف) اشیاء اصلی (ب) اشیاء متحرک (ج) اشیاء ساکن.

● **تقسیم شبکه:** در تقسیم شبکه، بررسی می‌شود که تعداد بخش‌های شبکه از یک فریم به فریم دیگر کم یا زیاد شده است. در صورت اضافه شدن یا تقسیم شبکه با توجه به محیطی آن تفسیر خاص خود را دارد. مثلا در محیط پرندگان این تقسیم در حالی ایجاد می‌شود که به پرنده‌ها حمله شده و مجموعه آن‌ها به دو یا چند دسته تقسیم شده باشند. برای تشخیص تقسیم شبکه با توجه به فاصله یال‌ها در هر فریم، تمام یال‌هایی که از حد آستانه مشخص بیشتر باشند (یال‌های سبز رنگ) و گره‌های دو سر آن یال‌ها را در نظر گرفته می‌شوند. در صورتی که همسایه‌های آن نیز یال با ویژگی ذکر شده را دارا باشند همین روال برای همسایه‌های آن نیز ادامه می‌یابد. شبکه به حداقل دو یا چند بخش تقسیم می‌شود. الگوریتم دوبخشی شبکه می‌تواند تمام بخش‌های شبکه را تشخیص دهد (شکل (۲۶)).



شکل (۲۴): میرایی عناصر و گسست همبندی شبکه.



شکل (۲۵): شبکه همبسته و متراکم.

● **تصادم عناصر شبکه:** برای تشخیص تصادم، تمام یال‌هایی که دارای وزن خیلی کم هستند بررسی می‌شوند و با توجه به زاویه حرکت شی اگر به سمت هم در حال حرکت باشند به عنوان نامزد وقوع تصادم فرض می‌شوند. در فریم بعد در صورت کمتر شدن فاصله به عنوان تصادم مشخص می‌گردند.

۴- نتایج آزمایش‌های تجربی

نتایج آزمایش‌های تجربی در چهار بخش در سیستم شکل (۲۷) ارائه می‌شود. ابتدا تنظیمات آزمایشات، ابزار، مجموعه‌های داده‌ای ارائه می‌گردد. سپس به توضیح موارد مطالعه می‌پردازد و معیارهای ارزیابی آزمایش‌ها و الگوریتم معرفی و نهایتاً نتایج تجربی بیان و تحلیل می‌شوند. اعتبارسنجی هر مرحله از عملیات تصویر با استفاده از معیارهای مناسب و بررسی دستی و شهودی صورت گرفته است.

۴-۱- تنظیمات و مجموعه داده‌ها

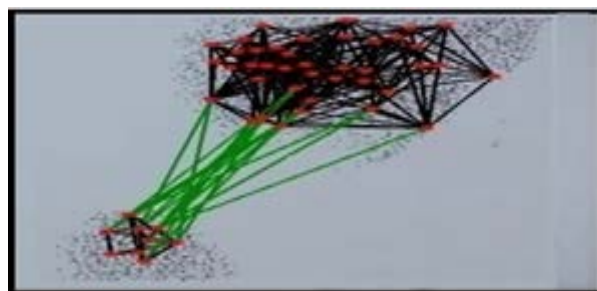
مدل‌سازی و معماری پیشنهادی مساله و الگوریتم ردیابی را در ابزار C# و با کتابخانه EmguCV۳/۲ پیاده‌سازی و در ماشین core i۵، 1.7GHz با حافظه اصلی ۸G RAM با سیستم عامل Win۸ انجام شد. به وسیله مجموعه داده‌های مختلف ویدیویی در غلظت‌های متمایز برای اسپرم‌ها و تراکم متفاوت پرنده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول (۱)). در مجموع ۲۰۰ ثانیه با فرمت avi و mp4 دارای ابعاد متفاوت فریم در هر مورد مطالعه با سرعت حداقل ۲۵ فریم بر ثانیه و حاوی ۱۰۰ تا ۲۰۰ عامل اسپرم‌ها است.

این الگوریتم ابتدا آن گره‌ای که بیشترین همسایه را دارد انتخاب می‌کند. از بین همسایه‌های آن نزدیک‌ترین را انتخاب و سپس به بررسی همسایه‌های مشترک دو گره انتخابی می‌پردازد. برای تمام همسایه‌ها مشترک این موضوع بررسی می‌شود که به هر کدام نزدیک‌تر بود فقط به عنوان همسایه همان گره در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب تمام همسایگی‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. دیگر هیچ دو گره‌ای همسایه مشترک نخواهند داشت و تعداد قابل توجهی از همسایگی‌های غیر ضروری حذف می‌شوند. این امر به سرعت سیستم کمک‌فرآوانی می‌کند و سرعت تحلیل روی نتایج حاصل از همبندی شبکه و تشخیص ناهنجاری‌ها را بهبود می‌بخشد. تحلیل‌های مربوط به شبکه عبارت است از:

● **میرایی شبکه:** عامل مرکزی در هر فریم، تعداد اشیاء و همسایگی آن‌ها را بررسی و گزارش می‌کند. با توجه به آن، میرایی شبکه بررسی می‌شود. نسبت تعداد همسایگی‌ها به تعداد کل همسایگی‌ها به وسیله اشیاء در هر فریم به دست می‌آید که مقداری بین صفر و یک است. در صورت نزدیکی این مقدار به صفر نشان از میرایی شبکه است. این امر از نمایش شبکه نیز مشهود است زیرا در صورتی که شبکه به سمتی برود که تعداد گره‌های آبی‌رنگ (بدون همسایه) رو به افزایش باشد شبکه میرا است (شکل (۲۴)).

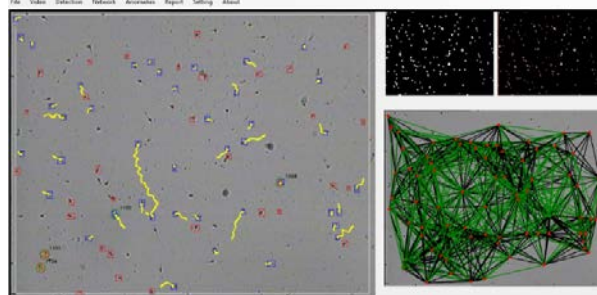
● **تراکم شبکه:** در به دست آوردن تراکم شبکه، ابتدا میانگین فاصله گره‌های مرتبط محاسبه می‌شود و از مقایسه آن عدد

اهمیت بالایی دارد. مورد دیگر مهم برای ما اهمیت دارد دسته‌بندی اشیاء است که کدام زنده هستند، کدام کند حرکت می‌کنند و کدام از تحرک بالا برخوردارند. بررسی این محیط و تشخیص و ردیابی اشیاء و تحلیل شبکه و رفتار آن از اهدافی است که بررسی شد. سیستم به‌صورت خودکار محیط سه‌بعدی را به دو بعد تبدیل می‌کند. در این محیط بازخورد مناسب از ردیابی دقیق و پیش‌بینی مکان بعدی مهم و با تحلیل حرکت شبکه ارتباطی و ناهنجاری‌های تصادم و میرایی بررسی می‌شود (شکل (۲۷)).



شکل (۲۶): تقسیم شبکه به دو بخش در حمله عقاب به دسته پرندهگان.

پرندهگان: حرکت دسته‌جمعی پرندهگان مورد حمله شکارچی قرار می‌گیرند بررسی و اتفاقات روی شبکه اشیاء نمونه‌خوبی برای ارزیابی سیستم است. در حرکت پرندهگان و محیط آن روی ویدیو با نرخ فیلم‌برداری بالا تمرکز دارد. پرندهگان ریزتر از اسپرم‌ها هستند و همچنین تعداد آنها نیز از حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ پرنده است. برخلاف اسپرم‌ها، پرندهگان هماهنگی حرکتی دارند. همبندی در شبکه ارتباطی آن‌ها دارای تغییرات بالایی است و عقاب مهاجم تغییراتی در این شبکه ایجاد می‌کند. نظیر تغییر تراکم شبکه و دو یا چند بخش شدن آن و حرکت دسته‌ها به سطح زمین و بین‌درختان نیز صورت می‌گیرد. چالش‌های این محیط عبارت از خطاهای حاصل از ابرها و درختان، خطا در تشخیص شبکه درختان به دلیل وجود باد، تشخیص لحظه حمله و دنبال کردن شکارچی در فریم‌های بعد است. در این آزمون به دنبال ردیابی دقیق پرندهگان و تحلیل ویژگی خود اشیاء نیست بلکه پایش همبندی شبکه اهمیت دارد.



شکل (۲۷): تصویری از سیستم پایش اشیاء و همبندی آن‌ها.

جدول (۱): مشخصات داده‌های سه‌بعدی تصاویر ویدیویی.

مجموعه داده‌ها	نوع اشیاء	زمان ثانیه	تعداد اشیاء	فریم بر ثانیه	تعداد فریم	میزان نویز
Sperm 1	اسپرم	۱۰۰	۱۰۰	۲۵	۷۴۴	زیاد
Sperm 2	اسپرم	۱۰۰	۱۸۰	۲۵	۷۴۴	متوسط
Sperm 3	اسپرم	۱۰۰	۲۰۰	۲۵	۷۳۴	زیاد
Bird 1	پرندهگان	۲۰۰	۱۵۰	۳۲	۸۹۰۰	زیاد
Bird 2	پرندهگان	۴۰۰	۷۰۰	۲۹	۳۹۳۶	زیاد

۴-۲- معیارهای ارزیابی

معیارهای ارزیابی گام‌های مختلف الگوریتم از قبیل تشخیص‌شیء، کلاس‌بندی اشیاء، ردیابی همگام اشیاء، پیش‌بینی حرکت، ردیابی همبندی، تشخیص ناهنجاری و پایش بیان می‌شود. بسیاری از معیارهای استاندارد برای تمامی گام‌های فوق مانند تشخیص ناهنجاری و ردیابی و پایش همبندی موجود نیست. بسیاری از معیارها شهودی است و نمی‌توان اندازه‌گیری عددی کرد که در این بخش به معیارهای مورد استفاده موجود اشاره می‌شود.

کلاس‌بندی اشیاء: معیارهای اصلی ارزیابی کلاس‌بندی اشیاء

را می‌توان به چهار دسته TP ^۱، FP ^۲، TN ^۳ و FN ^۴ تقسیم‌بندی نمود. معمولاً برای ارزیابی هر الگوریتم از چند معیار مختلف استفاده می‌شود که این معیارها عبارت از صحت^۵، دقت^۶، فراخوانی^۷

مجموعه داده‌های پرواز پرندهگان در شرایط مختلف آب و هوایی و زمان‌های متفاوت روز انتخاب و در مجموع ۶۰۰ ثانیه با سرعت حداقل ۳۰ فریم بر ثانیه و حاوی ۵۰۰ تا ۷۰۰ عامل پرنده است. مجموعه داده‌های ویدیویی اسپرم‌ها از VISEM [۳۷] و پرندهگان از GTZAN [۳۸] استفاده شده است. برای حذف نویزهای خطی لبه‌های هر فریم، بخشی از لبه در پردازش حذف شده که با توجه به اندازه تصویر این مقدار به‌صورت خودکار تغییر می‌کند. محیط و ویژگی‌های محیطی و اشیاء را برای هر کدام شرح می‌دهیم. در زیر کارکرد، خروجی و عملکرد سیستم بررسی و نتایج در بخش‌های بعدی بررسی و ارزیابی می‌شود.

اسپرم‌ها: محیط شامل اسپرم‌ها دارای تعداد اشیاء متوسط حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ شیء با قابلیت مانور بالا که می‌توانند تا حدود زیادی بهم نزدیک شوند و تصادم داشته باشند. تغییرات شبکه ارتباطی بین آنها کند است. از طرف دیگر ویدیو از یک محلول سه‌بعدی اسپرم‌ها در یک نمونه آزمایشگاهی که دارای نویز بالا تهیه شده که باعث محو برخی اشیاء می‌شود. در فریم‌های سه‌بعدی اسپرم‌ها به سطوح عمیق‌تر رفته و ممکن است بازگردند. همچنین به دلیل نشان دادن بخشی از محلول در میکروسکوپ مشکل خروج اشیاء از کادر و ورود اشیاء جدید را داریم پس ردیابی و گم نکردن آن‌ها

^۱ True Positive (TP)

^۲ False positive (FP)

^۳ True Negative (TN)

^۴ False Negative (FN)

^۵ Accuracy

^۶ Precision

^۷ Recall

در آن $L_{Correct}$ تعداد اتصالات درست و L_{Total} تعداد کل اتصالات است. از ATE برای ارزیابی خطای ردیابی شی به عنوان میانگین خطای ردیابی با میزان دوری ST و GT در برهه زمانی T طبق رابطه (۱۵) تعریف می شود.

$$ATE = \frac{1}{|ST|} \sum_{ST} \frac{1}{|GT|_{ST}} \sum_{GT \text{ matches } ST} \frac{1}{|T|} \sum_{t \in T} \|C_t^{ST} - C_t^{GT}\|_2 \quad (15)$$

۴-۳- نتایج آزمایش های تجربی

در این بخش نتایج تجربی آزمون ارزیابی و کارایی سیستم، کلاس بندی اشیاء، ردیابی خودکار اشیاء، و ردیابی خودکار همبندی ارایه و تحلیل می شود. نتایج در قالب شکل ها و جداول مربوطه بیان می گردد.

ارزیابی کارایی سیستم: ما موفق شدیم با بخش بندی مناسب

تصویر، تخصیص عامل ها، کنترل های بدون ناظر محلی، و کنترل محلی عامل های هوشمند بر مشکل اساسی توسعه سیستم بدون ناظر برای داده های عظیم غلبه کنیم. همچنین توانستیم اشیاء را به صورت خودکار تشخیص دهیم و در سه فریم متوالی اشیاء مزاحم را از کادر پردازش حذف کنیم. در نهایت مشکل اساسی شناسایی اشیاء بدون حرکت متعلق به سیستم را با کلاس بندی مناسب به نوز، اشیاء تنها و دسته اشیاء با تشخیص اشیاء ثابت و متحرک رفع کنیم. در نهایت به عنوان سیستم مهم بتوانیم ارتباط بین اشیاء را مدل، پیاده سازی و ردیابی کنیم. همچنین بر مشکل وقایع ناگهانی با اهمیت بالا در ردیابی و تشخیص مانند ظهور ناگهانی اشیاء، مرگ و میر آن ها، ورود و خروج اشیاء در قاب تصویر، او جسم واقعی بی حرکت غلبه کنیم و در برابر تعداد متغیر اشیاء و اشیاء زیاد مقاوم باشیم. نهایتاً با ثبت خودکار سوابق حرکت هر شیء در تصویر بر مشکلات ردیابی بی-درنگ غلبه کنیم. یکی از معیارهای مهم برای پیش بینی و ردیابی اشیاء و پایش شبکه، داشتن زمان اجرای سریع است هرچند که با افزایش ابعاد شبکه ها و عناصر مورد ردیابی، زمان مورد نیاز پردازش ها نمایی خواهد بود. ما برای مقیاس پذیری الگوریتم های ردیابی از روش های موازی سازی مانند تخصیص عامل ها به همراه روش های تشخیص و پیش بینی سریع مسیر استفاده کرده ایم. روش پیشنهادی به سهولت قابل پیاده سازی و از نظر توسعه و توزیع عامل ها مقیاس پذیر است. از زمان پاسخ بی درنگ برخوردار است که توسعه ابعاد خللی به پیش بینی وارد نمی کند.

قطعه بندی: سیستم قطعه بندی و کلاس بندی هر تصویر فریم

ویدیویی را در گام های ۱ و ۲ انجام می دهد (شکل (۲۸)). برای تشخیص اشیاء در حال حرکت و انجام محاسبات تغییرات زمانی و مکانی هر پیکسل، به سه فریم متوالی نیاز است. با کلاس بندی مناسب، اشیاء به سه نوع مورد نظر اشیاء زمینه (سیاه)، اشیاء ثابت (خاکستری) و اشیاء متحرک (سفید) تقسیم می کند. به دلیل دانش از شیء و دسته اشیاء، خطای قطعه بندی و کلاس بندی کاهش می یابد.

حساسیت^۱ و معیار f هستند. ما از صحت، دقت و حساسیت استفاده و صحت آن ها را به صورت روابط (۱۱، ۱۲، ۱۳) محاسبه می کنیم. منظور از صحت، میزان درجه نزدیکی یک اندازه به مقدار واقعی خودش است. این معیار حاکی از نزدیک بودن نتیجه آزمایش به ارزش واقعی خودش است. منظور از دقت درجه ای است که تکرار آزمایش ها، نتایج یکسانی را نشان می دهند. دقت نشان دهنده میزان احتمال یا ارتباط مورد پیش بینی با مورد واقعی است. از تحلیل حساسیت برای اعتماد به سیستم در عملیات پردازش در مقیاس بزرگ استفاده می شود. از معیار میانگین خطای ردیابی^۲ برای ردیابی خطا در هر فریم استفاده می شود که ابتدا به صورت دستی در هر فریم، هدف را مشخص و برچسب می زنیم. سپس هر اسپرم به وسیله الگوریتم ردیابی، ردیابی می شود. نتیجه مقایسه بین ردیابی دستی و ردیابی الگوریتم با خطای ردیابی شیء^۳ OTE در هر فریم به وسیله رابطه (۱۴) تعیین می شود. جایی که x_M مبین موقعیت اسپرم در روش دستی، n تعداد فریم ها تا زمان حضور اسپرم در صحنه است. در هر گروه، میانگین خطاهای ردیابی تعیین و محاسبه می شود. در حالتی که اسپرم پنهان شود یا ردیاب را از دست بدهد خطای مربوطه، به شدت افزایش می یابد. لذا میانگین خطا برای اسپرم هایی که کامل ردیاب می شوند محاسبه می گردد. x_{MMSE} عبارت از تخمین کمینه خطای مربعی^۴ مطابق شرح [۳۱۶] است.

$$Precision = TP / (TP + FP) \quad (11)$$

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FN + FP) \quad (12)$$

$$Sensitivity = TP / (TP + FN) \quad (13)$$

$$OTE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \sqrt{(x_{MMSE} - x_M(t))^2} \quad (14)$$

ردیابی خودکار اشیاء: معیارهای ارزیابی ردیابی خودکار اشیاء

رامی توان با GT ، CTA ، TFE ، TME ، TFN ، TFP و ST تعریف کرد. برای ارزیابی ردیابی از این چند معیار استفاده می شود. از TME برای ارزیابی خطای ردیابی شی به عنوان میانگین تعداد تطابق غلط به ازای ردیابی هر شیء، استفاده می شود که به صورت تعداد تطابق $ST - GT$ به ازای تعداد ST است. از TFE برای ارزیابی خطای تکه تکه شدن ردیابی به عنوان ردیابی سلول تلفیقی به صورت تعداد تطابق $ST - GT$ به ازای تعداد GT است. از CTA برای دقت ردیابی مطابق رابطه $CTA = L_{Correct} / L_{Total}$ استفاده می شود که

¹ Sensitivity

² Average Tracking Errors (ATE)

³ Object Tracking Error (OTE)

⁴ Minimum Mean Square Error (MMSE)

⁵ Track False Positive (TFP)

⁶ Track False Negative (TFN)

⁷ Track Merging Error (TME)

⁸ Track Fragmentation Error (TFE)

⁹ Cell Track Accuracy (CTA)

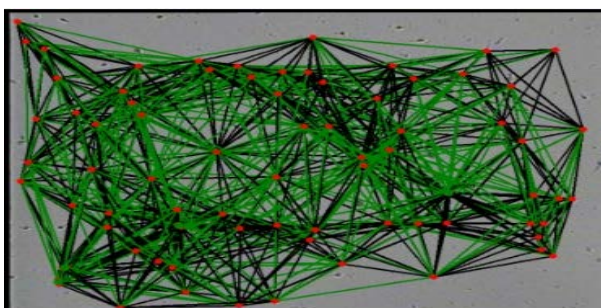
¹⁰ Ground Truth Tracks (TFP)

¹¹ System Tracks (TFP)

در اثنای کلاس‌بندی اشیاء، نواحی قطعه‌بندی شده به موارد نوپز، زمینه، اشیاء تنها، اشیاء مجتمع تقسیم می‌شوند. در حدود ۲۳٪ نواحی به غلط به‌عنوان نوپز دسته‌بندی می‌شوند که بیشتر متعلق به اشیاء تنها و منفرد هستند و این مشکل وقتی رخ می‌دهد که اشیاء از قاب تصویر خارج می‌شوند یا به آن وارد می‌شوند و با کنترل ورود و خروج‌ها کاهش یافته است. در حدود ۹۶٪ اشیاء تنهای تصویر به‌صورت صحیح دسته‌بندی شده‌اند و گاهی به‌عنوان نوپز فرض می‌شوند که با ردیابی در فریم‌های متوالی این دقت به حدود ۹۸٪ رسیده است. خطای موجود و عدم‌رفع کامل آن به دلیل ورود و خروج اشیاء به‌داخل و خارج قاب‌پدرازش است و در حالت فقدان این مشکل به دقت ۱۰۰٪ رسیده است. سیستم در قطعه‌بندی اشیاء به‌دقت زیاد ۹۹٪ رسیده که عدم‌موفقیت کامل به‌دلیل وجود اشیاء غیرمتحرک و ورود و خروج اشیاء متحرک در قاب‌پدرازش و روی‌هم‌قرارگرفتن اشیاء در فضای سه‌بعدی یا تصادم در فضای دوبعدی است.

جدول (۴): نتایج اعتبارسنجی ردیابی خودکار گام‌های ۱ الی ۶.

ویدیو	#Cells	GT	ST	TFP	TEN	TFE	TME	CTA
Sperm 1	۱۰۰	۵۲	۷۴	۲	۲	۱/۵۷	۱/۰۷	>٪۹۹
Sperm 2	۲۰۰	۵۰	۷۳	۱	۰	۱/۳۴	۱/۰۲	>٪۹۹
Birds 3	۶۵۰	۱۰۱	۱۳۲	۷	۱	۱/۵۱	۱/۵۰	>٪۹۹



شکل (۳۰): ردیابی خودکار همبندی دسته اشیاء.



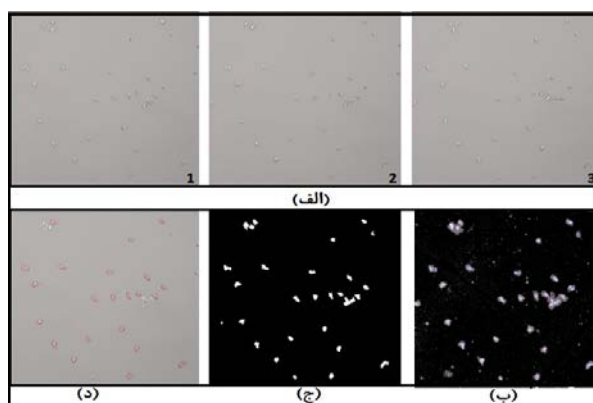
شکل (۳۱): تشخیص ناهنجاری در شبکه ردیابی پرندگان و تعیین مهاجم.

ردیابی خودکار اشیاء: با استفاده از عملیات دستی برای

حقیقت‌پایه داده‌ها، به بررسی کارایی گام‌های ۳ الی ۷ از الگوریتم برای تعیین مولفه‌های ردیابی و بیان محدودیت‌های آن می‌پردازیم. این نتایج حاصل در جدول (۳) و نمایش آن در شکل (۲۹) ارائه شده است. در گام ۳ در اثنای مدت‌زمانی هنوز اشیاء با هم ارتباطی ندارند و برخورد و تصادمی نیست. لذا تطابق غلطی رخ‌نداده و مقدار TME برای تمامی موارد برابر ۱/۰ است. یعنی روش ما براساس توالی

کلاس‌بندی اشیاء: ما برای اعتبارسنجی الگوریتم‌های

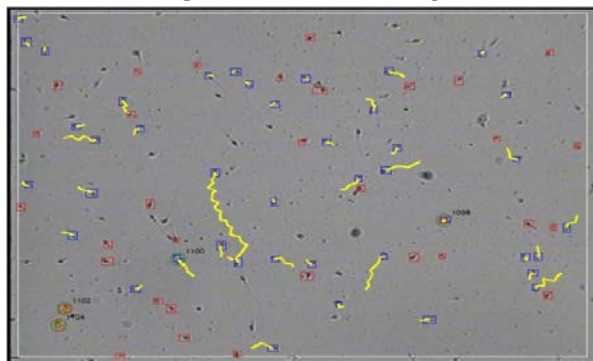
آشکارسازی، سگمنت‌بندی و ردیابی، کارایی گام‌های آن را به جزئیات بیان می‌کنیم. برای تشخیص حرکت اسپرم‌ها به سه فریم متوالی نیاز است. به‌صورت دستی نمونه‌ها علامت‌گذاری شده و با استفاده از معیارهای TP (اشیاء متحرک) و FP (تشخیص زمینه‌تصویر) بررسی و تایید می‌شود. نتایج آن در جدول (۲) نشان می‌دهد که قادر به آشکارسازی اسپرم با حساسیت برابر ۹۹٪ است. تشخیص خطا در ورود به یا خروج از قاب مورد مطالعه باعث کاهش تغییرات مکانی می‌شود که به‌عنوان پیکسل‌زمینه تلقی نگردند. با دقت معادل ۹۷٪ زمینه را مشخص و فقط ۳٪ آن جزو زمینه یا عناصر ثابت تلقی شده است.



شکل (۲۸): قطعه‌بندی و کلاس‌بندی اشیاء (الف) سه فریم متوالی (ب)

کلاس‌بندی اشیاء زمینه، اشیاء ثابت و اشیاء متحرک

(ج) تصویرباینری (د) تصویر اصلی.



شکل (۲۹): ردیابی خودکار و توزیعی و همزمان اشیاء متحرک.

جدول (۳): نتایج اعتبارسنجی گام‌های مختلف تشخیص و ردیابی

معیار	ویدیو	گام ۱-۳	گام ۱-۴	گام ۱-۵	گام ۱-۶	گام ۱-۷
TME	Sperm 1	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۸	۱/۰۰	صحیح
	Sperm 2	۱/۰۰	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۰۰	
	Bird 3	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۳۴	۱/۰۱	
TFE	Sperm 1	۵/۰۸	۲/۹۹	۱/۳۳	٪۹۸	صحیح
	Sperm 2	۲/۳۳	۲/۳۳	۱/۱۳	٪۹۹	
	Bird 3	۴/۹۸	۲/۴۸	۱/۴۵	۱/۰۱	
CTA	Sperm 1	>٪۹۹	>٪۹۹	>٪۹۹	>٪۹۹	صحیح
	Sperm 2	>٪۹۹	>٪۹۹	>٪۹۹	>٪۹۹	
	Bird 3	>٪۹۹	>٪۹۹	>٪۹۹	>٪۹۹	

این قاب تعریف شده است. همچنین در ردیابی پرندگان، ناهنجاری برای تقسیم شبکه حرکتی پرندگان (شکل (۳۱))، حمله مهاجم به دسته پرندگان، و تشخیص مهاجم تعیین شده است. در تمامی موارد سیستم با دقت بسیار زیاد در عملیات پایش این موارد را گزارش و در ردیابی خود نشان می دهد.

زمان محاسبات: سرعت مشاهده آماری نرخ است که ردیاب جریان ویدیویی را براساس فریم بر ثانیه پردازش می کند که بدون در نظر گرفتن زمان نمایش شیء است. آزمون سرعت در تشخیص شیء با حداکثر دقت صورت می گیرد. گام های مختلف قطعه بندی، ردیابی اشیاء و همبندی با استفاده از پردازش تصویر صورت گرفته است. این محاسبات بر روی چندین هسته، ساختار چندنخی و جریان فریم ها انجام شده که بتواند عملیات همگام برای تشخیص همزمان شیء، ردیابی تک به تک اشیاء و ردیابی همبندی اشیاء را سریع و بی درنگ اجرا کند. در این سیستم، زمان محاسبات مستقل از تعداد اشیاء و ارتباطات اشیاء موجود در ویدیوها است و در فضای سه بعدی قابل توسعه برای پردازش داده های عظیم به صورت بی درنگ می باشد. سرعت الگوریتم پیشنهادی با یک هسته تنها اجازه ردیابی تا ۲۰۰ شیء میکروسکوپی با سرعت های ۷۰ تا ۱۳۰ فریم بر ثانیه را می دهد. فرآیند اجرای تشخیص و کلاس بندی اشیاء در گام های ۱ و ۲ برای هر تصویر 800×800 پیکسل حدودا ۳ ثانیه زمان می برد. ردیابی اشیاء و همبندی در گام های ۳ الی ۶ برای ۳۶۰ فریم بر ثانیه در ویدیوهای *Sperm 1*، *Sperm 2*، *Sperm 3*، *Bird 1* و *Bird 2* به ترتیب ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۳۸، ۱۳۸۲ و ۲۵۰ ثانیه زمان برده است. این زمان محاسباتی وابستگی بسیار به تعداد اشیاء، ارتباطات بین آن ها، تردهای موجود و هسته های پردازشی تخصیصی دارد. با تنظیمات نخ ها و هسته های الگوریتم چندنخی و ماهیت لوله ای جریان داده با ۷۰۰ شیء همزمان، عمل ردیابی بی درنگ تا ۳/۹ برابر سریعتر فراهم شد. ارزیابی ها نشان داد که با توجه به افزایش تعداد اهداف در ردیابی داده های عظیم تصویری استفاده از معماری موازی عامل گرا با عوامل هوشمند اجتناب ناپذیر است که کارهای آینده ما در جهت توسعه روش های مقاوم موجود برای مقیاس پذیر شدن با اشیاء زیاد خواهد بود.

۵- نتیجه گیری

روش پیشنهادی با ردیابی سریع هوشمندانه و ثبت سوابق، رفتار انفرادی هر شیء را در مجموعه اجتماع بزرگ آن ها بررسی می کند و ناهنجاری های فردی و اجتماعی موجودات در راستای داده های عظیم نمایش می دهد. در برابر نویز، تغییرات زمانی اشیاء، شکل شیء و نوع حرکت آن مقاوم است. در قطعه بندی چندنخی دارای سرعت زیاد تشخیص و مقاوم در برابر تغییرات میکروسکوپی و مقیاس پذیر است. مراحل تشخیص خودکار اشیاء، ردیابی همزمان بی درنگ هر

بین فریم ها، به درستی بخش قابل ردیابی تولید کرده است. مقدار TFE بعد از این گام زیاد است که در گام های بعدی کاهش می یابد. در گام ۴ تقسیم تمامی نواحی که به عنوان کلاسترهای یک شیء دسته بندی می شوند صورت می گیرد به عنوان جزء اصلی تشکیل اشیاء هستند و بخش های مجتمع قابل ردیابی را توسعه می دهند.

به دلیل فقدان اطلاعات در باره محدوده و تعداد اشیاء قابل تقسیم نیستند و این خطا تعداد TFN را زیاد می کند که TME را از ۱٪ تا ۶٪ افزایش می دهد. به دلیل ارتباط بخش های قابل ردیابی در این گام، مقدار TFE کاهش خواهد یافت. روش قطعه بندی الگوریتم با پیش بینی و تخمین محل بعدی اشیاء، بر مشکلات این بخش غلبه می کند. گام ۵ با ترکیب سراسری بخش های قابل ردیابی و اجازه فاصله مجاز، بر خطاهای قطعه بندی و کلاس بندی گام های ۱ و ۲ غلبه می کنند و عملیات آن اثر زیادی بر افزایش دقت این بخش ها دارد. با ورود اشیاء به قاب پردازش و خروج از آن خطای TME به ۱/۰۸، ۱/۱۳ و ۱/۳۴ افزایش می یابد در حالی که هنوز دقت ردیابی بالای ۹۹٪ است. این امر مبین آن است که تعداد اتصالات غلط در مقایسه با کل اتصالات بسیار کم است. لذا بعد از این گام خطای TFE در مقایسه با مقادیر شروع بسیار کاهش یافته است. کارایی فن ردیابی خودکار در جدول (۴) نمایش داده شده است. تعداد اشیاء از ۱۰۰ تا ۶۵۰ متغیر است. TFN فقط در لبه ها یعنی جایی که اشیاء نمی توانند به طور کامل قطعه بندی شوند و از سیستم حذف می شوند رخ می دهد. TFP ناشی از اشیاء مرده است که در تحلیل دستی حقیقت پایه احتساب نشده اند. مشاهده می شود که TFE و TME وابسته به شدت اشیاء و تعداد آن ها هستند. مقدار زیاد CTA، دقت تشخیص بالای سیستم را نشان می دهد.

ردیابی همبندی اشیاء: در این بخش، ردیابی و مطالعه رفتار جمعی اشیاء مانند پرندگان و همبندی آن ها پیاده سازی و مطالعه شده که برای تشخیص رفتار جمعی و تعیین ناهنجاری بیان می گردد (شکل (۳۰)). معیار خاصی برای بررسی و اندازه گیری میزان موفقیت این موضوع بیان نشده و از طریق تعریف الگوریتم های مربوطه و تشخیص قابل بیان است. مثلا در تعیین حمله به دسته پرندگان از الگوریتم معروف دوبخشی شدن گراف شبکه و تشخیص مهاجم از فاصله بین این دو دسته بهره برده شده است. البته در تعریف و یافتن سریع ناهنجاری این طرح موضوع مطالعه همبندی به ما کمک کرده است.

تشخیص ناهنجاری: تشخیص ناهنجاری به تناسب استفاده از

ردیابی برای اشیاء مختلف در سیستم قابل تعیین است. در ردیابی اسپرما ناهنجاری برای بی تحرکی شیء، توقف شیء، مرگ شیء، کاهش سرعت شیء، افزایش سرعت شیء و تغییر ناگهانی مسیر حرکت، تصادم اشیاء، خروج شیء از قاب پردازش، و ورود شیء به

- [13] D. Mayorca-Torres, et al. "Multi-Target Tracking for sperm motility measurement using the Kalman Filter and JPDAF: Preliminary Results," *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação (E22)*. pp.282-294,2019.
- [14] V.S. Abbiramy, et al. "Spermatozoa detection, counting and tracking in video streams to detect Asthenozoospermia," *Signal and Image Processing*. pp.265-270,2010.
- [15] IG. Masdiyasa, et al. "A new method to improve movement tracking of human sperms," *IAENG International Journal of Computer Science*. vol.45, no.4, pp.1-9, 2018.
- [16] OL. Şavkay, et al. "Sperm motility analysis system implemented on a hybrid architecture to produce an intelligent analyzer," *Informatics in Medicine Unlocked*. p.100324,2020.
- [17] B. Wang, et al. "Risk-Aware Identification of Highly Suspected COVID-19 Cases in Social IoT: A Joint Graph Theory and Reinforcement Learning Approach," *IEEE Access*. vol.8, pp.115655-115661, 2020.
- [18] A. Cook, et al. "Anomaly detection for IoT time-series data: A survey," *IEEE Internet of Things Journal*. vol.7, no.7, pp.6481-6494, 2020.
- [19] World Health Organization. "WHO laboratory manual for the examination of human semen and sperm-cervicalmucus interaction," Fourth Edition. Cambridge University Press. 1999.
- [20] H. Ehrig, et al. "Petri net technology for communication-based systems: advances in Petri Nets," Springer Science & Business Media. 2003.
- [21] B. Junker, et al. VANTED: "A system for advanced data analysis and visualization in the context of biological networks," *BMC Bioinf*. vol.7, no.1, pp.1-3, 2006.
- [22] A. Sackmann, M. Heiner and I. Koch, "Application of Petri net based analysis techniques to signal transduction pathways," *BMC Bioinf*. vol.7, no.1, p.482, 2006.
- [23] S. Grunwald, et al. "Petri net modelling of gene regulation of the Duchenne muscular dystrophy," *Biosystems*. vol.92, no.2, pp.189-205, 2008.
- [24] P. Corcoran. "Topology Based Object Tracking. Mathematical and Computational Applications," vol.24, no.3, p.84, 2019.
- [25] M. Patel, et al. "Rapid, topology-based particle tracking for high-resolution measurements of large complex 3D motion fields," *Scientific Reports* 8, no.1, pp.1-14,2018.
- [26] M. Kramár, et al. "Analysis of Kolmogorov flow and Rayleigh-Bénard convection using persistent homology," *Phys. D Nonlinear Phenom*. no.334, pp.82-98, 2016.
- [27] R. Gonzalez-Diaz, et al. "Topological tracking of Connected Components in Image Sequences," *Journal of Computer and System Sciences*. no.95, pp.134-142, 2018.
- [28] P. Corcoran, C. B. Jones. "Spatio-temporal modeling of the topology of swarm behavior with persistence landscapes," *International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp.1-4, 2016.
- [28] H. Liu, M. Schneider. "Detecting the Topological Development in a Complex Moving Region. *Journal of Multimedia Processing and Technologies*," vol.1, no.3, pp.160-180, 2010.

شیء، ردیابی همبندی اشیاء، پایش رفتار اشیاء و همبندی آن‌ها برای تشخیص ناهنجاری‌های انفرادی و جماعی را دارد. توان پردازش همزمان نخ‌های موازی بر روی هسته‌های همزمان پردازشی آن قدرت بی‌درنگی و پایش مناسب ساختار و رفتار اشیاء را فراهم می‌کند. نتایج آزمایش‌های تجربی در ردیابی اشیاء و همبندی آن‌ها مبین حساسیت و دقت بالای عملیات پردازشی است. کارهای آینده در بهبود فن قطعه‌بندی و ردیابی ساختارگرای اشیاء، ترفیع هوشمندی عامل‌ها، افزایش پردازش‌های محلی، بهبود قدرت توازی، مقاومت بیشتر به نویز، و افزایش نرخ تشخیص جهت رفع محدودیت‌های فعلی سیستم است. ""

۶- منابع

- [1] Li. Wei, et al. "Robust Airplane Detection in Satellite Images," 18th IEEE International Conference on Image Processing. 2011.
- [2] P. Wang, et al. "A survey of techniques for mobile service encrypted traffic classification using deep learning," *IEEE Access*. vol. 23, no. 7, pp. 54024-54033, 2019.
- [3] W. Hui, et al. "Fast Aircraft Detection In Satellite Images Based On Convolutional Neural Networks," *International Conference on Image Processing*. pp. 4210-4214, 2015.
- [4] DS. Lakew, et al. "Routing in Flying Ad Hoc Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. vol.22, no.2, pp. 1071-1120, 2020.
- [5] T. Goswami, H. Sarma. "Intelligent Computing for Air Pollution Monitoring Using GIS, Remote Sensing and Machine Learning. *Emerging Trends in Electrical, Communications, and Information Technologies*. pp.125-133, 2020.
- [6] P. P. Gawade, R.P. Chauhan. "Detection of Lung Cancer Cells using Image Processing Techniques," 1st IEEE International Conference on Power Electronics. Intelligent Control and Energy Systems . pp.1-6, 2016.
- [7] S. Ye , et al. "Extraction of Vascular Structure in 3D Cardiac CT Images by Using Object/Background Normalization," *Pattern Recognition and Image Analysis*. vol.30, No.2, pp.237-246, 2020.
- [8] ME. Özgür, et al. "A novel computer assisted sperm analyzer for assessment of spermatozoa motility in fish; BASA-sperm aqua," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*. vol.6, No.1, pp.208-219, 2019.
- [9] R. Yao, et al. "Video Object Segmentation and Tracking: A Survey," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*. vol.11, no.4, pp.1-47, 2020.
- [10] C. R. Srinivasan, et al. "A review on the different types of Internet of Things (IoT)," *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. vol.11, no.1, pp.154-158, 2019.
- [11] Y. B. Zikria, et al. "Internet of Multimedia Things (IoMT): Opportunities," *Challenges and Solutions*. p.2334, 2020.
- [12] IG. Masdiyasa, et al. "Counting the Number of Active Spermatozoa Movements Using Improvement Adaptive Background Learning Algorithm," *International Journal of Artificial Intelligence Research*. vol.4, no.1, 2020.

- [34] M. Jiang, et al. "Multi-agent deep reinforcement learning for multi-object tracker," IEEE Access. no.7, pp.32400-32407, 2019.
- [35] M. Kraemer, et al. "Factors Influencing Human Sperm Kinematic Measurements by the Celltrak Computer-assisted Sperm Analysis System," Human Reproduction. vol.13, no.3, pp.611-619, 1998.
- [36] R. Vishnuvardhan, et al. "Automatic detection of flying bird species using computer vision techniques," Journal of Physics: Conference Series. vol.1362, no.1, p.012112, 2019.
- [37] <https://datasets.simula.no/visem/>
- [38] <https://arma.sourceforge.net/vb100/>
- [30] H. Liu, M. Schneider. "Tracking continuous topological changes of complex moving regions," Symposium on Applied Computing. pp.833-838, 2011.
- [31] M. Worboys, M. Duckham. "Monitoring qualitative spatio temporal change for geosensor networks," International Journal of Geographical Information Science. vol.20, no.10, pp.1087-1108, 2006.
- [32] J. Jiang, M. Worboys. "Event-based topology for dynamic planar areal objects," International Journal of Geographical Information Science. vol.23, no.1, pp.33-60, 2009.
- [33] D. Birant, A. Kut. "ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data," Data & knowledge Engineering. vol.60, no.1, pp.208-221, 2007.