سامانه تشخیص سقوط افراد مبتنی بر منطق فازی نوع دو و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات چندهدفه

آذر محمودزاده*، حامد آگاهی و مهسا واقفی

گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده

توجه به سلامت سالمندان به‌عنوان سرمایه‌های ارزشمند کشور، امری ضروری و شایان توجه است. آسیب‌های جدی یا حتی مرگ ناشی از زمین‌خوردن برای افراد سالمند بسیار محتمل است؛ بنابراین تشخیص سریع وقوع این رخداد در بسیاری موارد می‌تواند منجر به نجات جان شخص شود. در این مقاله روشی پیشنهاد شده است که بر اساس آن تصاویر ویدئویی نظارتی از محل حضور شخص همواره مورد پردازش قرار می‌گیرد. در ادامه، با استفاده از الگوریتم استخراج پس‌زمینه بصری (ViBe)، شخص متحرک از پس‌زمینه جدا شده و شش ویژگی مؤثر از تصویر استخراج می‌شود. در انتها سامانه منطق فازی نوع دو برای تشخیص سقوط فرد به کار گرفته می شود؛ همچنین به‌منظور کاهش پیچیدگی محاسباتی سامانه فازی، از الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات چندهدفه برای انتخاب توابع تعلق مؤثر استفاده شده است. نتایج اعمال روش پیشنهادی تصدیق می‌کند که این سامانه قادر به تشخیص سقوط شخص با سرعت قابل قبول و دقت تصمیم‌گیری مناسب است.

واژگان کلیدی: تشخیص سقوط، الگوریتم ViBe، منطق فازی نوع دو، الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات چندهدفه.

A Fall Detection System based on the Type II Fuzzy Logic and Multi-Objective PSO Algorithm

Azar Mahmoodzadeh*, Hamed Agahi & Mahsa Vaghefi

Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Abstract

The Elderly health is an important and noticeable issue; since these people are priceless resources of experience in the society. Elderly adults are more likely to be severely injured or to die following falls. Hence, fast detection of such incidents may even lead to saving the life of the injured person. Several techniques have been proposed lately for the fall detection of people, mostly categorized into three classes. The first class is based on the wearable or portable sensors [1-6]; while the second class works according to the sound or vibration sensors [7-8]. The third one is based on the machine vision. Although the latter methods require cameras and image processing systems, access to surveillance cameras -which are economical- has made them be extensively used for the elderly.

By this motivation, this paper proposes a real-time technique in which, the surveillance video frames of the person's room are being processed. This proposed method works based on the feature extraction and applying type-II fuzzy algorithm for the fall detection. First, using the improved visual background extraction (ViBe) algorithm, pixels of the moving person are separated from those of the background. Then, using the obtained image for the moving person, six features including 'aspect ratio', 'motion vector',

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۵/۲۳ • تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۱ • تاریخ انتشار: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

'center-of-gravity', 'motion history image', 'the angle between the major axis of the bounding ellipse and the horizontal axis' and the 'ratio of major axis to minor axis of the bounding ellipse' are extracted. These features should be given to an appropriate classifier.

In this paper, an interval type-II fuzzy logic system (IT2FLS) is utilized as the classifier. To do this, three membership functions are considered for each feature. Accordingly, the number of the fuzzy laws for six features is too large, leading to high computational complexity. Since most of these laws in the fall detection are irrelevant or redundant, an appropriate algorithm is used to select the most effective fuzzy membership functions. The multi-objective particle swarm optimization algorithm (MOPSO) is an operative tool for solving large-scale problems. In this paper, this evolutionary algorithm tries to select the most effective membership functions to maximize the 'classification accuracy' while the 'number of the selected membership functions' are simultaneously minimized. This results in a considerably smaller number of rules.

In this paper to investigate the performance of the proposed algorithm, 136 videos from the-movements of people were produced; among which 97 people fell down and 39 ones were related to the normal activities (non-fall). To this end, three criteria including accuracy (ACC), sensitivity (Se.), and specificity (Sp.) are used. By changing the initial values of the parameters of the ViBe algorithm and frequent re-tuning after multiple frames, detecting the moving objects is done faster and with higher robustness against noise and illumination variations in the environment. This can be done via the proposed system even in microprocessors with low computational power. The obtained results of applying the proposed approach confirmed that this system is able to detect the human fall quickly and precisely.

Keywords: Fall Detection, ViBe Algorithm, Type II Fuzzy Logic, MOPSO.

۱- مقدمه

طبق آمارهای سازمان بهداشت جهانی بخش عمده‌ای از آسیب‌های واردشده به سالمندان مانند کاهش سطح هوشیاری، تشنج، سکته ناگهانی و مشکلات محیطی ممکن است به‌دنبال زمین‌خوردن آنان ایجاد شده باشد یا در آینده به سقوط آن‌ها روی زمین منتهی شود. اگر فرد سالمند نتواند افتادنش را به سایرین اطلاع دهد، ممکن است، صدمات وارده افزایش یابد و حتی منجر به مرگ فرد آسیب‌دیده شود؛ بنابراین، ارائهٔ راه‌کارهای هوشمند و کارآمد برای تشخیص سقوط افراد سالمند امری ضروری است.

تاکنون روش‌های متنوعی برای تشخیص سقوط افراد ارائه شده است که عمدتاً می‌توان آن‌ها را به سه دسته تقسیم‌بندی کرد. روش‌های دسته نخست بر پایه حس‌گرهای پوشیدنی [6-1] یا قابل حمل، دسته دوم بر پایه حس‌گرهای حساس به لرزش یا صدا [8-7] و دسته سوم بر پایه بینایی ماشین است [14-9]. استفاده از روش‌های دسته نخست و دوم به تهیه سخت‌افزارهای خاص و در بسیاری موارد گران‌قیمت نیاز دارد. همچنین در بیش‌تر مواقع نیاز است افراد لباس‌های خاص و سنگین پوشیده یا همیشه دستگاهی را با خود حمل کنند؛ علاوه‌براین عملکرد حس‌گرهای حساس به لرزش یا صدا در محیط‌های نوفه‌ای افت می‌کند. روش‌های مبتنی بر بینایی ماشین هرچند نیاز به دوربین و سامانه‌های پردازش تصویر دارد، اما با توجه به در دسترس بودن دوربین‌های مدار بسته و مقرون به صرفه‌بودن آن‌ها، در بیشتر مراکز مراقبت از سالمندان به کار گرفته می‌شود.

در سال ۲۰۰۰، سازمان پروژه‌های پژوهشی پیشرفته دفاعی[1] سامانه‌ای ارائه کرد که با استفاده از یک اپراتور و شبکه نظارت ویدئویی گسترده قادر به بررسی وضعیت افراد بود [15]. در این پژوهش به‌مدت سه سال با استفاده از تعداد زیادی دوربین، پوشش مستمر مردم و وسایل نقلیه در یک محیط شلوغ انجام گرفت. در [16] با استفاده از اطلاعات هشت دوربین، یک حجم سه‌بعدی از شخص ایجاد شده است. به‌کمک این حجم، هنگامی سقوط تشخیص داده می‌شود که قسمت بزرگی از بدن برای دوره معینی از زمان، نزدیک به کف زمین باشد. در [17] یک تابع هزینه بین قاب‌های متوالی تصویر ویدئو به روش تطبیق شکل محاسبه شده و این هزینه به‌عنوان ورودی به دسته‌بند مدل مخلوط گوسی (GMM)[2] داده می‌شود. در [18] روشی بر مبنای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)[3] ارائه شد که در آن سقوط افراد از دیگر فعالیت‌های روزانه آن‌ها تشخیص داده می‌شود. در [19] یک سامانه SVM فازی ارائه شده که یادگیری آن بر اساس ویدئوهای ضبط‌شده از افتادن افراد

[1] Defense Advanced Research Projects Agency
[2] Gaussian Mixture Model
[3] Support Vector Machine

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

است و با توجه به عمل افتادن و دیگر فعالیت‌های روزانه، پارامترهای سامناه تنظیم می‌شود. در این روش توابع عضویت فازی به نمونه‌های یادگیری متفاوت نسبت داده می‌شود که نتایج نشان‌دهنده عملکرد بهتر این سامانه SVM مبتنی بر فازی نسبت به سامانه SVM است. در [20] با استخراج ویژگی از تصاویر ویدئویی و به کارگیری روش‌های دسته‌بندی سقوط فرد از دیگر حالات آن مانند نشستن، دویدن و خوابیدن تشخیص داده می‌شود. در این مقاله از چهار روش دسته‌بندی K-مرکز، K نزدیک‌ترین همسایه (KNN)[1]، SVM و ماشین احتمال مینی‌ماکس تک‌رده (SCMPM)[2] استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده عملکرد بهتر روش SCMPM نسبت به دیگر روش‌ها است. در [21] پس از حذف پس‌زمینه تصویر، بر اساس شکل انسان سقوط تشخیص داده می‌شود. در این روش با استفاده از سه نقطهٔ به‌دست‌آمده روی بدن شخص دو خط رسم می‌شود. از روی دو خط رسم‌شده ویژگی‌هایی برای تشخیص سقوط استخراج می‌شود. در [22] پس از جداسازی شخص از پس‌زمینه و استخراج ویژگی، با استفاده از قوانین فازی حرکات فرد را دسته‌بندی می‌کند.

بسیاری از روش‌هایی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، برای حل یک مسأله و در شرایط خاص طراحی شده‌اند. این گونه سامانه‌ها اغلب رخدادهای متفاوت را در شرایط و موقعیت‌های گوناگونی تشخیص می‌دهند و هر کدام به‌صورت منحصربه‌فرد برای تشخیص یک وضعیت خاص ساخته شده‌اند. همچنین یکی از چالش‌های مطرح در این روش‌ها رسیدن به نرخ تشخیص سقوط بالا با پیچیدگی محاسباتی پایین است. در مقاله حاضر روشی بر مبنای استخراج ویژگی و به‌کارگیری الگوریتم فازی نوع دو جهت تشخیص سقوط ارائه شده است. ابتدا با استفاده از الگوریتم استخراج پس‌زمینهٔ بصری (ViBe) [3] بهبودیافته، پیکسل‌های شخص متحرک از پیکسل‌های پس زمینه جدا می‌شود؛ سپس با استفاده از تصویر به‌دست‌آمده شش ویژگی "نسبت اندازه تصویر (AR[4])"، "بردار حرکت"، "مرکز ثقل"، "تصویر حافظه حرکت (MHI[5])"، "زاویه بین قطر بزرگ بیضی محاط و محور افقی" و "نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی محاط" استخراج می‌شود که این ویژگی‌ها باید به یک دسته‌بند مناسب داده شود.

[1] K Nearest Neighbor
[2] Single Class Minimax Probability Machine
[3] Visual Background Extraction
[4] Aspect Ratio
[5] Motion History Image

عدم قطعیت داده‌ها یک چالش مهم در هر مسأله دسته‌بندی است؛ چنانکه کارایی سامانه قویاً به سطح عدم قطعیت در پایگاه داده ارتباط دارد. سامانه‌های منطق فازی[6] به دلیل قابلیت طراحی ساختارهای مقاوم[7] در شرایط عدم قطعیت شهرت دارند. به این دلیل، این سامانه‌ها در کاربردهای متنوع مانند طراحی کنترل‌کننده، دسته‌بندی و اهداف تشخیص خطا به کار گرفته شده‌اند. با این حال، در سال‌های اخیر، سامانه‌های فازی نوع دو[8] که پیچیدگی بیشتری نسبت به سامانه‌های فازی اولیه (نوع یک) دارند به واسطه قابلیت دست‌یابی به کارایی بالاتر در مواجهه با عدم قطعیت‌های بزرگ‌تر، به‌صورت گسترده‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند [23]. در این مقاله از سامانه منطق فازی نوع دو بازه‌ای (IT2FLS)[9] به‌عنوان دسته‌بند استفاده شده است. در این راستا برای هر ویژگی سه تابع عضویت در نظر گرفته می‌شود. در این حالت تعداد قوانین فازی به‌دست‌آمده برای این شش ویژگی، بسیار زیاد و در نتیجه پیچیدگی محاسباتی بالا است. با توجه به اینکه بسیاری از این قوانین در تشخیص سقوط غیرمرتبط یا تکراری هستند، یک الگوریتم مناسب می‌تواند مؤثرترین توابع تعلق فازی را انتخاب کند. الگوریتم فراابتکاری بهینه سازی اجتماع ذرات چندهدفه (MOPSO)[10] یک ابزار مناسب برای حل مسائل با اندازه بزرگ است. در این مقاله، این الگوریتم تکاملی می‌کوشد تا با انتخاب مؤثرترین توابع تعلق، تابع هزینه "دقت دسته‌بندی" را بیشینه کند، درحالی‌که همزمان تابع هدف "تعداد توابع تعلق انتخاب‌شده" کمینه شود.

در ادامه مقاله، در قسمت دوم به بررسی سامانه پیشنهادی برای تشخیص سقوط افراد پرداخته می‌شود. در قسمت سوم نتایج شبیه‌سازی سامانه پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و درنهایت نتیجه به‌دست‌آمده بیان می‌شود.

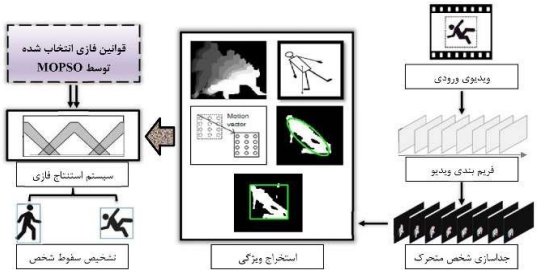
۲- سامانه پیشنهادی

هدف الگوریتم پیشنهادی تشخیص سقوط افراد سالمند مبتنی بر روش‌های پردازش تصویر است. برای دست‌یابی به این هدف ابتدا تصاویر مربوط به قاب‌های ویدوئی آماده می‌شود؛ سپس شخص متحرک از پس زمینه جدا شده و ویژگی‌های مربوط به آن برای تشخیص سقوط یا عدم سقوط

[6] Fuzzy Logic Systems (FLS)
[7] robust
[8] Type 2 Fuzzy Logic System (T2FLS)
[9] Interval-valued T2FLS
[10] Multi-Objective Particle Swarm Optimization

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

استخراج می‌شود. شکل (۱) نمودار جعبه‌ای مراحل الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه جزئیات این مراحل آورده شده است.



(شکل-۱): بلوک دیاگرام کلی مراحل پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی در تشخیص سقوط افراد.

(Figure-1): General framework of the proposed algorithm for the fall detection.

۱-۲- دریافت قاب تصویر و پیش پردازش

نخستین قدم در یک سامانه نظارت تصویری دریافت تصویر مربوط به هر قاب ویدئو است. در این مقاله از کتابخانه AForge برای تبدیل قاب‌های ویدئویی به تصویر استفاده شده است. این کتابخانه برای انجام برخی کارهای معمول در حوزه بینایی ماشین و پردازش تصویر استفاده می‌شود [24].

با هدف افزایش سرعت محاسبات و کاهش پیچیدگی، هر قاب با استفاده از الگوریتم درون‌یابی دوخطی[1] به ابعاد مناسب تبدیل می‌شود. این الگوریتم اندکی وضوح تصویر را کاهش می‌دهد، اما سرعت و کیفیت آن نسبت به دیگر الگوریتم‌ها مناسب‌تر است. در بسیاری از مسائل بینایی ماشین و الگوریتم‌های پردازش تصویر، بالا یا پایین‌بودن شدت نور به میزان نامناسب، در جداسازی قسمت‌های مختلف تصویر، باعث ایجاد خطا می‌شود. به همین منظور برای کاهش اثرات ناخواسته نور و تأثیرات سایه اجسام یا خود فرد در تصویر، قاب‌ها از فضای RGB به HSV تبدیل می‌شود [22].

۲-۲- جداسازی تصویر شخص متحرک

پس از انتقال تصویر به فضای HSV فرد متحرک در تصویر تشخیص داده شده و از پس‌زمینه جدا می‌شود. الگوریتم ViBe یک روش جداسازی تصویر پس‌زمینه است که در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است [25]. در این الگوریتم برای استخراج تصویر پس‌زمینه باید سه مسأله در نظر گرفته شود تا بتواند در شرایط واقعی کار کند: نخست این‌که مدل چیست و چگونه رفتار می‌کند؛ دوم اینکه مدل چگونه مقداردهی اولیه می‌شود؛ سوم اینکه مدل چگونه به‌روزرسانی می‌شود. بیش‌تر الگوریتم‌ها یک مدل ذاتی و سازوکار به‌روزرسانی دارند. اما در کاربردهایی که به سرعت پردازشی بالا نیاز است به یک مقداردهی اولیه برای الگوریتم نیاز است که در بیش‌تر روش‌ها در نظر گرفته نشده است.

یکی از مشکلات استفاده از الگوریتم ViBe این است که اگر در زمان شروع به کار در تصویر پس‌زمینه، جسم متحرک وجود داشته باشد تا حدود صد قاب بعدی، الگوریتم به‌اشتباه در قاب‌های متوالی بعدی همچنان آن جسم اولیه را نشان می‌دهد. در این مقاله دو روش برای حل این مشکل ارائه گردید. روش نخست تغییر در پارامترهای تنظیمات اولیه الگوریتم است که با کاهش تعداد نمونه‌های تصادفی تولید شده توسط الگوریتم این مشکل در برخی از وضعیت‌ها برطرف شد. الگوریتم در شروع به کار، تعداد بیست نمونه تصادفی از فریم اول ساخته و از آن برای تولید نمونه تصویر پس‌زمینه استفاده می‌کند، که در این مقاله با کاهش این تعداد به سه نمونه، مشکل در برخی شرایط برطرف شد (ViBe بهبود یافته نوع اول). روش دوم برای حل این مشکل، تنظیم مجدد الگوریتم در هر چند قاب متوالی است. تنظیم مجدد الگوریتم در هر چند قاب متوالی تا حدودی سرعت پردازش را کمتر می‌کند، اما از لحاظ کیفیت جداسازی تصاویر پس‌زمینه و همچنین افزایش مقاومت نسبت به تغییرات نور محیط، عملکرد بسیار مناسب‌تری نسبت به الگوریتم اصلی و همچنین روش نخست بیان‌شده دارد (ViBe بهبود یافته نوع دوم).

پس از جداسازی قسمت متحرک تصویر برای حذف برخی از قسمت‌های ناخواسته، به تصویر فیلتر اعمال می‌گردد. لرزش دوربین یا تغییرات شدید نور در بعضی قسمت‌های تصویر، لکه‌های ناخواسته‌ای را ایجاد می‌کند. برای حذف این قسمت‌ها و بهبود تصویر از فیلترهای بلور گوسین[2] [26]، فرسایش[3] [27] و انبساط[4] [28] استفاده می‌شود. فیلتر بلور گوسین برخی از قسمت‌های تصویر جسم متحرک را که به‌صورت نوفه نمک و فلفل[5] تشخیص داده شده‌اند، به‌صورت یکنواخت در می‌آورد. البته این کار باعث تضعیف لبه‌ها در تصویر می‌شود؛ اما در صورت عدم استفاده از این فیلتر در هنگام استفاده از فیلترهای بعدی ممکن است به تصویر استخراج‌شده در برخی شرایط آسیب

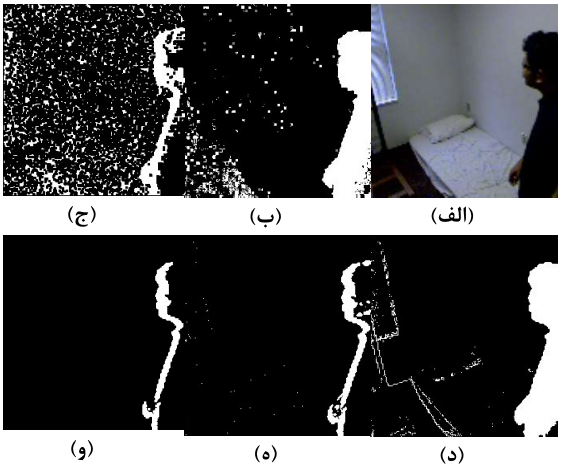
[1] Bilinear Interpolation

[2] Gaussian Filter
[3] Erosion Filter
[4] Dilatation Filter
[5] Salt and Pepper Noise

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

واردشده و باعث حذف بخش‌هایی از آن شود. فیلتر فرسایش لکه‌های کوچک و خطوط باریک را در تصویر از بین می‌برد. فیلتر انبساط نواحی کوچک و نزدیک به هم را در تصویر به یکدیگر متصل می‌کند. در این فیلتر پیکسل‌های زمینه که در مجاورت ناحیه هستند از صفر به یک تبدیل و ناحیه منبسط می‌شود. این فیلتر باعث پرشدن حفره‌ها و درنتیجه هموارترشدن نواحی می‌شود. به‌طور معمول اگر از فیلتر فرسایش و انبساط در کنار یکدیگر استفاده شود کارایی عملکرد حذف نوفه بهبود می‌یابد.

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم ViBe با دیگر روش‌های جداسازی پس‌زمینه، عملکرد دو الگوریتم GMM [22] و تفریق قاب‌ها [29] در جداسازی شخص متحرک از پس‌زمینه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. شکل (۲) عملکرد الگوریتم‌های جداسازی تصاویر پس‌زمینه تفریق قاب‌ها، GMM، ViBe بهبود یافته نوع نخست و دوم و ViBe بهبودیافته نوع دوم با اعمال رشته فیلترها برای تشخیص شخص متحرک روی یک قاب از ویدئو با تغییرات شدت نور نامناسب را نشان می‌دهد.



(شکل-۲): عملکرد الگوریتم‌های تشخیص جسم متحرک. الف) تصویر اصلی. ب) خروجی الگوریتم GMM. ج) خروجی الگوریتم تفاضل قاب‌ها. د) خروجی الگوریتم ViBe بهبودیافته نوع نخست. ه) خروجی الگوریتم ViBe بهبودیافته نوع دوم. و) خروجی الگوریتم ViBe بهبودیافته به همراه اعمال رشته فیلتر روی تصاویر.

(Figure-2): The visual representation of the effectiveness of the moving object algorithms: a) the original image, b) the output of the GMM, c) the output of the Frames Subtraction algorithm, d) the output of the Type I improved ViBe algorithm, e) the output of the Type II improved ViBe algorithm, f) the output of the improved ViBe algorithm with filter series applied to frames.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که دو الگوریتم GMM و تفریق قاب‌ها از سرعت مناسبی بهره‌مند نیستند و همچنین حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات نور محیط نسبت به الگوریتم Vibe، از خود نشان می‌دهند. به همین دلیل از میان الگوریتم‌های موجود به‌دلیل سرعت بسیار بالاتر و همچنین مقاومت بیشتر نسبت به نوفه و تغییر نور محیط از الگوریتم Vibe برای تشخیص جسم متحرک و جداسازی آن از تصویر پس‌زمینه استفاده می‌شود.

۳-۲- استخراج ویژگی‌ها

ویژگی‌هایی که از تصویر شخص متحرک استخراج می‌شوند، ابزار بسیار مناسبی برای تحلیل نوع حرکت هستند. در این مقاله شش ویژگی زاویه بین قطر بزرگ بیضی محاط و محور افقی، نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی محاط، مرکز ثقل، بردار حرکت، تصویر حافظه حرکت و نسبت اندازه تصویر برای تشخیص سقوط با استفاده از تصویر شخص متحرک استخراج می‌شود.

با توجه به اینکه حرکت انسان یک حرکت آنالوگ است و در قوانین فیزیک امکان تغییر ناگهانی پارامترهایی مانند سرعت و شتاب و زاویه شخص با افق وجود ندارد، از جمله بهبودهای دیگری که در این مقاله روی سامانه پیشنهادی صورت گرفته است، استفاده از خطی‌سازی روی پارامترهای استخراج‌شده از شخص در حال حرکت است. این امر باعث حذف خطاهای ناشی از پرش تصویر یا خطاهای کوچک به‌دلیل حرکت بدن شخص و درنتیجه پرش‌های نقطه ثقل بدن فرد است. در ادامه ویژگی‌های بیان شده در سامانه تشخیص سقوط پیشنهادی بررسی می‌شود.

۳-۲-۱- بیضی محاط

پس از جداسازی شخص متحرک از تصویر پس‌زمینه، مکان و موقعیت شخص با استفاده از یک بیضی محاط با مرکزیت مرکز ثقل شخص تعیین می‌شود. مزیت اصلی این فرآیند، شناسایی وضعیت شخص نسبت به محور افقی و قائم است. در زمان تغییر وضعیت راه رفتن، تحلیل دو شاخصه نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی محاط و زاویه بین قطر بزرگ بیضی محاط و محور افقی از اهمیت بالایی برخوردار است [22].

۳-۲-۲- مرکز ثقل

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در سامانه تشخیص سقوط، برای تحلیل حرکت به آن نیاز است، مرکز ثقل شخص در

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

تصویر است. در لحظه سقوط در بیش‌تر مواقع مرکز ثقل شخص به‌صورت ناگهانی در جهت محور عمودی دستگاه مختصات کاهش پیدا می‌کند. با استفاده از مختصات نقاط تشکیل‌دهنده تصویر شخص مرکز ثقل به‌صورت زیر محاسبه می‌شود [30]:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (۱)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \quad (۲)$$

که در این روابط n برابر با تعداد پیکسل‌های تشکیل‌دهنده بدن شخص در تصویر، y_i و x_i مؤلفه‌های عمودی و افقی هر پیکسل شخص هستند.

۳-۳-۲- بردار حرکت

اختلاف مختصات مرکز ثقل در قاب لحظه t و $t+1$ به‌عنوان بردار حرکت در نظر گرفته می‌شود که نشان‌دهندهٔ جهت و مقدار جابه‌جایی مرکز ثقل فرد است [30].

۴-۳-۲- تصویر حافظه حرکت

روند حرکت در قاب‌های متوالی یک رشته ویدئویی را می‌توان همانند یک حافظه در نظر گرفت. مزیت اصلی این تکرار در شناسایی حرکت‌های آنی فرد و به‌ویژه در زمان زمین خوردن است. شدت روشنایی هر پیکسل در MHI تابعی از چگالی حرکت در همان محل است. درواقع در یک تصویر MHI حرکت جدیدتر، روشن‌تر دیده می‌شود. دو تصویر متوالی در لحظات t و $t+1$ را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد [31]:

$$I(x,y,t) = b_t(x,y) + m_t(x,y) + n_t(x,y) \quad (۳)$$
$$I(x,y,t+1) = b_{t+1}(x,y) + m_{t+1}(x,y) + n_{t+1}(x,y)$$

که در این روابط $b_t(x,y)$ پس‌زمینه ثابت و $m_t(x,y)$ اشیا در حال حرکت و $n_t(x,y)$ نویز پس‌زمینه در t امین قاب است. در ادامه برای استخراج اهداف در حال حرکت اختلاف دو قاب متوالی طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [31]:

$$\begin{aligned} D(x,y,t) &= I(x,y,t+1) - I(x,y,t) \\ &= b(x,y,t) + md(x,y,t) + nd(x,y,t) \end{aligned} \quad (۴)$$

که در این روابط $b(x,y,t)$ مناطق دارای هم‌پوشانی در دو قاب متوالی، $md(x,y,t)$ منطقه حرکت و $nd(x,y,t)$ نوفه (که در برخی شرایط قابل صرف‌نظرکردن است) است. با توجه به اینکه $D(x,y,t)$ شامل قسمتی از اشیای متحرک و تغییرات ناخواسته در پس‌زمینه ناشی از نوفه و ماتی است، نتایج نادرست (برای مثال هم‌پوشانی قطعه‌ها، ابهام در حرکت و اعوجاج) به‌دست می‌آید و حرکت با سرعت پایین به‌راحتی قابل تشخیص نیست. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، می‌توان تصویر با سطوح خاکستری $D(x,y,t)$ را مطابق با رابطه (۵) به تصویر باینری $\Psi(x,y,t)$ تبدیل کرد [31]:

$$\Psi(x,y,t) = \begin{cases} 1 & if\ D(x,y,t) > \xi \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۵)$$

که در این رابطه ξ حد آستانه تفاوت شدت برای تشخیص حرکت است. این آستانه باید به‌نحوی انتخاب شود که قسمت متحرک تشخیص داده شود درحالی‌که نوفه منجر به دسته‌بندی اشتباه شیء متحرک نشود. در این مقاله مقدار سطح آستانه ξ برابر ۲۰٪ بیشینه سطح خاکستری در نظر گرفته شده است. درنتیجه MHI ($H_\tau(x,y,t)$) بر اساس تصویر دودویی $\Psi(x,y,t)$، با توجه به رابطه بازگشتی (۶) به‌دست می‌آید:

$$H_\tau(x,y,t) = \begin{cases} \tau & \text{if } \Psi = 1 \\ \max(0, H_\tau(x,y,t-1) - 1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۶)$$

که در آن τ دوره زمانی MHI را مشخص می‌کند. برای کمی‌سازی حرکت شخص، با توجه به حافظه حرکت در قاب‌ها در هر پانصد میلی ثانیه، ضریب C_{motion} به‌صورت رابطه (۷) ثبت می‌شود:

$$C_{motion} = \frac{\sum_{Pixel(x,y) \in blob} H_\tau(x,y,t)}{\#Pixels(x,y) \in blob} \quad (۷)$$

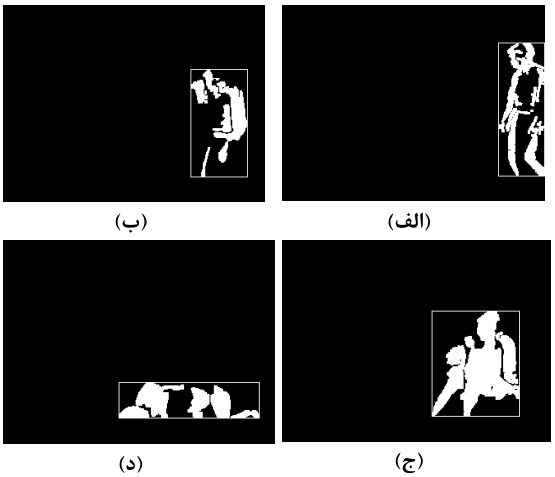
که در این رابطه $blob$ شامل پیکسل‌هایی با شدت روشنایی بزرگتر از صفر در MHI شخص متحرک است.

۵-۳-۲- نسبت اندازه تصویر

ویژگی دیگری که می‌توان برای بررسی وضعیت شخص در هر لحظه بررسی کرد، نسبت ارتفاع به عرض شخص با توجه به مستطیل محاط شده بر او، در تصویر است [32]. زمانی که فرد ایستاده، ارتفاع مستطیل محاط از عرض آن بیشتر است و زمانی که شخص دراز کشیده عرض مستطیل از طول آن بیشتر می‌شود. شکل (۳) مستطیل محاط را برای شخص در لحظه سقوط در چهار قاب متفاوت نشان می‌دهد.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]



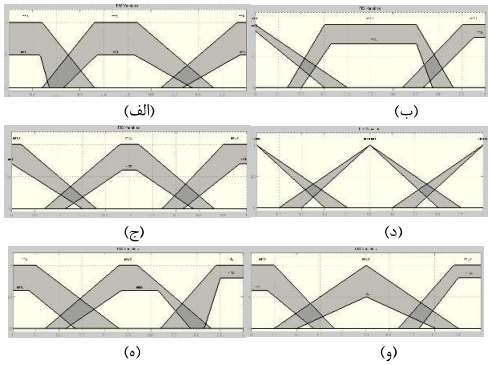
(شکل-۳): (الف)-(د) نمایش مستطیل محاط روی شخص در لحظه سقوط در چهار فریم متفاوت.

(Figure-3):The bounding box on a falling person in four different frames.

۴-۲- دسته‌بندی حرکت با استفاده از منطق فازی و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات

منطق فازی نوعی از منطق چندمقداره برای توصیف درستی نسبی متغیرها است. یک سامانه منطق فازی از تئوری مجموعه‌های فازی و ساختار استنتاجی آن برای نگاشت ورودی‌ها به خروجی‌ها استفاده می‌کند. در این سامانه متغیرهای ورودی و خروجی بر اساس تعلق نسبی فازی در نظر گرفته می‌شوند. مجموعه‌ها و سامانه‌های فازی نوع دوم درحقیقت سامانه‌های فازی نوع نخست را به‌نحوی تعمیم داده‌اند که بتوانند در مواجهه با عدم قطعیت بیشتر، کارایی مناسب‌تری داشته باشند. درواقع، مهم‌ترین ضعف توابع تعلق نوع یک، عدم وجود قطعیت در این توابع است که جنبه فازی‌بودن را کاهش می‌دهد. یک مجموعه فازی نوع دو به تابع تعلق اجازه می‌دهد که خود دارای عدم قطعیت باشد. این تابع تعلق در سامانه منطق فازی نوع دوبازه‌ای به‌صورت یک نمودار دوبعدی نشان داده می‌شود که به‌وسیلهٔ دو منحنی با نام‌های تابع تعلق پایین‌تر[1] و تابع تعلق بالاتر[2] محدود شده است (شکل (۴)). درنتیجه میزان تعلق هر متغیر به یک تابع عضویت نوع دوم نَه یک مقدار معین، بلکه یک مقدار غیرقطعی در یک بازه مشخص است.

پس از استخراج ویژگی‌های "نسبت اندازه تصویر (X_1)"، "بردار حرکت (X_2)"، "مرکز ثقل (X_3)"، "حافظه حرکت (X_4)"، "زاویه بین قطر بزرگ بیضی محاط و محور افقی (X_5)" و "نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی محاط (X_6)"، برای تشخیص سقوط از سامانه منطق فازی نوع دوبازه‌ای استفاده شده است. برای هر متغیر، سه تابع عضویت به نام‌های تغییرات زیاد (High: H)، متوسط (Medium: M) و کم (Low: L) تعریف شده است. شکل (۴) توابع عضویت در نظر گرفته‌شده برای این شش متغیر را نشان می‌دهد. در هنگام انتخاب هر تابع عضویت سعی شده که گروه‌ها با هم هم‌پوشانی داشته باشند و همچنین پارامترها با استفاده از چندین مرتبه آزمایش و درنظرگرفتن ابعاد ثابت تصویر تنظیم شده‌اند؛ سپس، قوانین فازی ارتباط‌دهنده ورودی‌ها (ویژگی‌های استخراج‌شده) به خروجی (تشخیص یا عدم تشخیص سقوط) طراحی می‌شود. نمونه این قوانین در جدول (۱) آورده شده است که در آن برای خروجی، N[3] نشان‌دهندهٔ حالت عادی (عدم سقوط) و P[4] نشان‌دهندهٔ حالت سقوط است. برای کاهش پیچیدگی و حجم محاسبات "غیر فازی‌سازی"[5]، از روش فازی نوع دوم بازه‌ای مندل[6] استفاده شده است [33].



(شکل-۴): توابع عضویت به‌دست‌آمده برای شش متغیر الف) نسبت اندازه تصویر، ب) بردار حرکت، ج) مرکز ثقل، د) حافظه حرکت، ه) زاویه بین قطر بزرگ بیضی محاط و محور افقی، و) نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی محاط.

(Figure-4):The membership functions for six variables: a) Aspect Ratio, b) Motion Vector, c) Center-of-Gravity, d) Motion History, e) The angle between the major axis of the bounding ellipse and the horizontal axis, f) The ratio of major axis to minor axis of the bounding ellipse.

با توجه به تعداد متغیرهای ورودی و درنظرگرفتن سه تابع عضویت برای هر متغیر، تعداد قوانین در پایگاه قواعد فازی کامل برابر با ۷۲۹=3^6 است. با توجه به اینکه تعداد

[1] Lower Membership Function (LMF)
[2] Upper Membership Function (UMF)
[3] Negative
[4] Positive
[5] Defuzzification
[6] Mendel

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

قوانین فازی بسیار زیاد خواهد بود، پیچیدگی محاسباتی الگوریتم پیشنهادی برای تشخیص سقوط افزایش می‌یابد و درنتیجه قابلیت روش برای پردازش و اعلام سقوط به‌صورت زمان-حقیقی کاهش می‌یابد. از این‌رو، از الگوریتم MOPSO برای انتخاب توابع عضویتی که نقش مهم‌تری در تصمیم‌گیری دارند و درنتیجه کاهش تعداد قوانین فازی استفاده می‌شود [34]. این الگوریتم یکی از اعضای خانواده مدل‌های محاسباتی الهام گرفته‌شده از روند تکامل است که در سال ۲۰۰۲ توسط کلرک و کندی با ایجاد تغییراتی در الگوریتم اصلی تک‌هدفه بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)[1] برای مسائل چندهدفه توسعه داده شده است [35].

الگوریتم PSO یک روش برای یافتن نقطه بهینه در مسائل غیرخطی است که می‌تواند پارامترهای ناشناخته را با کمینه‌سازی یک تابع هزینه مناسب مشخص کند. این روش، رفتار اجتماعی ذراتی که در یک فضای جستجوی چندبعدی حرکت می‌کنند را شبیه‌سازی می‌کند. درواقع، به این دلیل که این روش یک نوع از روش‌های هوش ازدحامی[2] است، هر یک از پاسخ‌های قابل قبول به‌عنوان یک ذره در نظر گرفته می‌شود. در این الگوریتم، i امین ذره x_i به‌عنوان جواب بالقوه در فضای D بعدی به‌صورت $x_i = [x_i^1, x_i^2, \cdots, x_i^D]$ تعریف می‌شود. هر ذره دارای ویژگی‌های موقعیت و بردار حرکت است. ذرات، موقعیت و سطح برازندگی خود را در هر بار تکرار با توجه به تابع هدف ارزیابی می‌کنند. الگوریتم PSO بر پایه دو رابطه زیر که به محاسبه سرعت و موقعیت هر ذره می‌پردازد، طراحی شده است.

$$v_i(t+1) = w.\, v_i(t) + c_1.\, r_1.\, (p_{best,\, i} - x_i) + c_2.\, r_2.\, (g_{best} - x_i) \quad (۸)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (۹)$$

رابطه (۷) نشان می‌دهد که سرعت جدید هر ذره به‌صورت ترکیب خطی سه مؤلفه قابل بیان است. مؤلفه نخست از ضرب پارامتر اینرسی w در سرعت فعلی به‌دست آمده است. جمله دوم، حاصل‌ضرب شتاب c_1، یک مقدار تصادفی r_1 با توزیع یکنواخت در بازه [0,1] و یک بردار از موقعیت فعلی به سمت بهترین خاطره شخصی آن ذره ($p_{best,\, i}$) است. جمله سوم نیز مشابه جمله دوم است با این تفاوت که جهت بردار به سمت بهترین موقعیت به‌دست‌آمده توسط همه ذرات در جمعیت (g_{best}) است. درواقع، موقعیت بعدی هر ذره در (۸) با توجه به موقعیت فعلی و بردار سرعت به‌دست‌آمده در (۷) محاسبه می شود.

در برخی مسائل پیچیده، بهینه‌سازی فقط یک تابع هدف ممکن است کفایت نکند یا مطلوب نباشد. در این‌گونه مسائل اغلب در بین توابع هدف تقابل وجود دارد و نمی‌توان پاسخی را پیدا کرد که بهترین پاسخ برای همه توابع هدف باشد. در الگوریتم MOPSO یک مفهوم جدید به نام آرشیو[3] ارائه شده است که درواقع محل ذخیره پاسخ‌های نامغلوب[4] است. بیان می‌شود که پاسخ x بر پاسخ y غالب[5] است اگر x در همه توابع هدف بهتر از y باشد؛ اما اگر این برتری فقط در برخی توابع هدف برقرار باشد در این‌صورت این دو پاسخ نسبت به هم غالب نیستند. برخلاف PSO تک‌هدفه، در این‌جا نمی‌توان یک پاسخ یکتا را که بهترین پاسخ نسبت به سایرین است؛ برای مسأله چندهدفه یافت و درواقع باید به دنبال یک مجموعه از جواب‌های مناسب بود؛ درنهایت به‌طورمعمول چندین پاسخ ایجاد می شود که نسبت به هم غالب نیستند و دراصطلاح پاسخ‌های نامغلوب نامیده می‌شوند. مجموعه این پاسخ‌های نامغلوب جبهه بهینه پارتو[6] را تشکیل می‌دهند [36]. در MOPSO هر ذره دارای یک مجموعه از چندین رهبر[7] است که از بین آن‌ها باید یکی را از طریق یک فرآیند مشخص انتخاب کند؛ این مجموعه، بایگانی خارجی[8] نام دارد که همان‌گونه که درقبل نیز بیان شد محل نگهداری ذرات نامغلوب -پاسخ‌های مسأله- است. درواقع مهم‌ترین توسعه الگوریتم MOPSO نسبت به PSO به نحوه تعیین بهترین ذره در جمعیت و همچنین تعیین بهترین خاطره شخصی هر ذره بر می‌گردد. تاکنون نسخه‌های متعددی از MOPSO ارائه شده است؛ در این مقاله به‌دلیل سرعت هم‌گرایی بالا از الگوریتم معرفی شده در [37] برای انتخاب رهبر هر ذره استفاده شده است. گام‌های الگوریتم MOPSO به شرح زیر هستند.

۱) مقداردهی اولیه پارامترها شامل اندازه جمعیت، اندازه آرشیو و بیشینه تکرار. ایجاد جمعیت اولیه در فضای جستجو و ایجاد بایگانی به‌صورت یک مجموعه تهی.
۲) مقداردهی سرعت اولیه (به مقدار صفر)
۳) ارزیابی توابع هدف برای همه ذرات.
۴) تعیین اعضای نامغلوب و ذخیره موقعیت آنها در بایگانی خارجی (بهترین موقعیت سراسری).

[1] Particle Swarm Optimization
[2] Swarm Intelligence
[3] Archive
[4] Non-dominated Answers
[5] dominant
[6] Pareto Optimal Front
[7] Leader
[8] External Archive

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

۵) تولید آبَرمکعب‌ها[1] در فضای هدفی که تاکنون کشف شده است. تعیین موقعیت هر ذره در سامانه مختصاتی که هر محور آن مربوط به یک تابع هدف است. انتخاب رهبر.

۶) ذخیره "بهترین خاطره شخصی".

۷) به تعداد تکرار مشخص‌شده، عملیات زیر انجام شود.

۱- به‌روزرسانی موقعیت ذرات با توجه به (۷) و (۸).

۲- ممانعت از خروج پاسخ‌ها از فضای جستجو.

۳- ارزیابی توابع هدف برای همه ذرات.

۴- به‌روزرسانی محتوای آرشیو خارجی و موقعیت ذرات در آبَرمکعب‌ها.

۵- اعمال عملیات تزویج.

۶- به‌روزرسانی "بهترین خاطره شخصی".

۷- افزایش شمارنده تعداد تکرار مرحله ۷.

۸) بررسی خاتمه الگوریتم. اگر الگوریتم پایان یافت، خروجی آرشیو به‌عنوان نتیجه نهایی اعلام می‌شود؛ در غیراین‌صورت به گام یک در مرحله هفت می‌رود.

در مسأله انتخاب ویژگی، الگوریتم MOPSO با رشته‌های عددی بین صفر و یک کار می‌کند که هر کدام از این رشته‌ها کل مجموعه متغیرها را نشان می‌دهد. پس از پایان اجرای الگوریتم، هر ویژگی که مقدار عددی متناظر آن در رشته بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد انتخاب می‌شود و اگر کوچک‌تر باشد، حذف می‌شود. در این مسأله، هدف انتخاب توابع تعلق مؤثرتر در تشخیص سقوط است. شش متغیر به‌ترتیبی که در شکل (۴) بیان شده در نظر گرفته شده که به هر یک، سه تابع تعلق نسبت داده شده است. بنابراین هر رشته دارای ۱۸=۶×۳ عضو است که به‌عنوان بردارهای موقعیت ذرات مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه در هر بردار، سه مؤلفه نخست به‌ترتیب تابع تعلق تغییرات کم، متوسط و زیاد را برای متغیر "نسبت اندازه تصویر" نشان می‌دهد. همین ترتیب برای سایر متغیرها نیز در نظر گرفته شده است. برای بهینه‌سازی، از دو تابع هدف "دقت دسته‌بندی" و "تعداد توابع تعلق انتخاب شده" استفاده می‌شود که تابع نخستین باید بیشینه و دومین، بایستی کمینه شود. گفتنی است، عدم قطعیت موجود در توابع تعلق نوع دو و مقاوم‌بودن آنها، سبب می‌شود روش پیشنهادی، الزامی به استفاده از الگوریتم‌های پیچیده‌تر و دقیق‌تر برای انتخاب توابع عضویت نداشته باشد؛ درنهایت برای این مسأله، دوازده تابع تعلق (برای متغیر ششم یک تابع تعلق، برای هر یک از متغیرهای نخست، دوم، چهارم و پنجم، دو تابع تعلق و برای متغیر سوم، سه تابع تعلق) انتخاب شده که نمایش کدگذاری جواب‌ها به‌صورت [1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1] است. این توابع عضویت منجر به تولید ۴۸=۱×۲×۲×۳×۲×۲ قانون فازی شده است. جدول (۱) توابع عضویت انتخاب شده توسط MOPSO و نیز قوانین فازی را نشان می‌دهد. همچنین مشخصات الگوریتم MOPSO به کار گرفته‌شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

[1] hyper-cubes

(جدول-۱): قوانین استنتاج فازی برای تشخیص سقوط بر اساس توابع عضویت انتخاب شده توسط الگوریتم MOPSO.

(Table-1): The fuzzy inference rules for the fall detection based on the MOPSO-selected membership functions.

Rules	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y
1	L	M	L	L	M	H	N
2	L	M	L	L	H	H	N
3	L	M	L	H	M	H	N
4	L	M	L	H	H	H	N
5	L	M	M	L	M	H	P
6	L	M	M	L	H	H	P
7	L	M	M	H	M	H	N
8	L	M	M	H	H	H	N
9	L	M	H	L	M	H	P
10	L	M	H	L	H	H	P
11	L	M	H	H	M	H	P
12	L	M	H	H	H	H	P
13	L	H	L	L	M	H	N
14	L	H	L	L	H	H	N
15	L	H	L	H	M	H	N
16	L	H	L	H	H	H	N
17	L	H	M	L	M	H	P
18	L	H	M	L	H	H	P
19	L	H	M	H	M	H	N
20	L	H	M	H	H	H	N
21	L	H	H	L	M	H	P
22	L	H	H	L	H	H	P
23	L	H	H	H	M	H	P
24	L	H	H	H	H	H	P
25	H	M	L	L	M	H	P
26	H	M	L	L	H	H	P
27	H	M	L	H	M	H	P
28	H	M	L	H	H	H	P
29	H	M	M	L	M	H	P
30	H	M	M	L	H	H	P
31	H	M	M	H	M	H	P
32	H	M	M	H	H	H	P
33	H	M	H	L	M	H	P
34	H	M	H	L	H	H	P
35	H	M	H	H	M	H	P
36	H	M	H	H	H	H	P
37	H	H	L	L	M	H	P
38	H	H	L	L	H	H	P

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

39	H	H	L	H	M	H	P
40	H	H	L	H	H	H	P
41	H	H	M	L	M	H	P
42	H	H	M	L	H	H	P
43	H	H	M	H	M	H	P
44	H	H	M	H	H	H	P
45	H	H	H	L	M	H	P
46	H	H	H	L	H	H	P
47	H	H	H	H	M	H	P
48	H	H	H	H	H	H	P

(جدول-۲): پارامترهای الگوریتم MOPSO

(Table-2): The MOPSO algorithm parameters

تعداد ذرات	5
نرخ تزویج	0.5
ωضریب اینرسی	کاهش می یابد0.4 به 0.9به صورت خطی از
c2 و c1پارامترهای	1/49
قید جبهه پارتو	پاسخ10
تعداد نسل ها	10

۳- نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، از سه معیار دقت (ACC)[1]، حساسیت (Se)[2] و تخصیص (Sp)[3] استفاده شده است [38]. معیار دقت که بیان‌گر نسبت تعداد اعلام صحیح سقوط و عدم سقوط به کل تعداد اعلام‌ها است به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \qquad (۱۰)$$

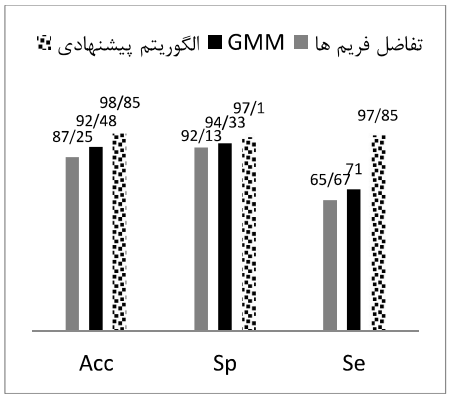
که در این رابطه TP و FP تعداد اعلام صحیح و اشتباه سقوط و TN و FN تعداد اعلام صحیح و اشتباه عدم سقوط است. همچنین پارامترهای حساسیت و اختصاص نیز به‌صورت روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \qquad (۱۱)$$

$$Sp = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \qquad (۱۲)$$

برای ارزیابی سامانه تشخیص سقوط، در این مقاله ابتدا ۱۳۶ ویدئو از حرکت افراد تهیه شده که از این میان در ۹۷ ویدئو فرد سقوط کرده و ۳۹ مورد مربوط به فعالیت روزمره (عدم سقوط) بوده است.

نمودارهای شکل (۵) نتایج به‌دست‌آمده از سامانه پیشنهادی در تشخیص سقوط افراد با استفاده از سه الگوریتم تفریق قاب‌ها، GMM و Vibe بهبودیافته در جداسازی تصاویر پس‌زمینه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که الگوریتم Vibe دارای مقاومت بیشتر نسبت به نوفه و تغییر نور محیط برای تشخیص جسم متحرک و جداسازی آن از تصویر پس‌زمینه نسبت به سایر روش‌ها است.



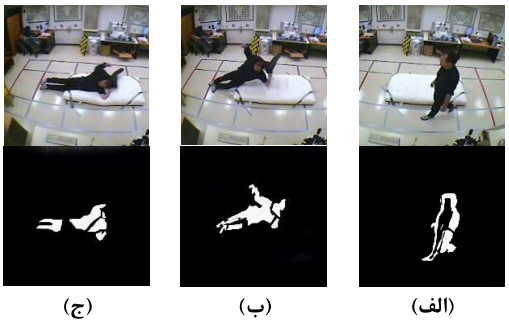
(شکل-۵): درصد تشخیص سه الگوریتم تفریق قاب‌ها، GMM و ViBe بهبود یافته در تشخیص سقوط افراد.

(Figure-5): The performance indices of Frames Subtraction, GMM and Improved ViBe Algorithms for fall detection.

در ادامه، عملکرد روش پیشنهادی این مقاله بر روی پایگاه داده [39] بررسی شده است. این پایگاه داده از ویدئوهای هشت دوربین با زاویه دید وسیع تشکیل شده که با یک توپولوژی فضایی در سقف یک اتاق نصب شده است. پایگاه داده ویدئویی از چندین فعالیت مصنوعی عادی روزانه (شامل راه‌رفتن، نشستن، بلندشدن، ایستادن و ...) و سقوط (از جهات مختلف، در حین نشستن و ...) تشکیل شده که به‌وسیلهٔ دوربین‌ها ضبط شده‌اند. درمجموع ۲۴ سناریو در نظر گرفته شده که توسط هشت دوربین به‌صورت هم‌زمان تصویربرداری شده و ۱۹۲=۸×۲۴ ویدئو را ارائه می‌دهند. اگرچه این پایگاه داده برای کاربردهای چنددوربینه ایجاد شده، اما می‌توان بدون درنظرگرفتن تمایز بین زاویه‌های دید مختلف، آن را به‌صورت پایگاه داده با تک‌دوربین در نظر گرفت. روش پیشنهادی در این مقاله، کل ویدئوها را به‌صورت تک‌دوربین و با عدم تمایز بین زاویه‌های دوربین در نظر گرفته است. شکل (۶) سه نمونه از قاب‌های موجود در ویدئوهای پایگاه داده را نشان می‌دهد. شکل (۶-الف) ازجمله قاب‌های تشخیص صحیح الگوریتم پیشنهادی در عدم سقوط و شکل‌های (۶-ب، ج) از جمله قاب‌های تشخیص سقوط فرد است.

[1] Accuracy
[2] Sensitivity
[3] Specificity

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]



(الف) (ب) (ج)

(شکل-۶): نمونه فریم‌های پایگاه داده و تشخیص در حالت‌های (الف)عدم سقوط، (ب، ج) سقوط

(Figure-6): Samples of the frames of the database and detection in different states. (a) Not-falling, (b,c) Falling.

جدول (۳) نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی را در مقایسه با دیگر روش‌ها، بر حسب معیارهای حساسیت و تخصیص بر روی این پایگاه داده، نشان می‌دهد. با توجه به نوع و تعداد حس‌گرهای به‌کاررفته در روش‌های بیان‌شده در جدول، ممکن است، مقایسه چندان عادلانه نباشد؛ بنابراین نتایج نسبت به روش‌هایی که اطلاعات چندین دوربین یا حس‌گر را با هم ترکیب می‌کنند، متفاوت خواهد بود. با این حال مقایسه با روش‌های موجود نشان‌دهنده عملکرد خوب روش پیشنهادی است؛ همچنین نتایج نشان می‌دهد که نرخ *FN* روش پیشنهادی از نرخ *FP* کمتر است که این امر مورد پسند است؛ زیرا مسأله نادیده‌گرفتن سقوط‌ها نسبت به این‌که زنگ خطر به‌صورت اشتباه فعال شود، دارای اهمیت بیشتری است.

(جدول-۳): مقایسه روش پیشنهادی و چندین روش در مقالات بر حسب معیارهای حساسیت و تخصیص

(Table-3): Comparison of the proposed approach with some related methods based on the Sp and *Se* measures

روش	نوع حسگر	*Se* (%)	*Sp* (%)
Auvinet et al. [16]	چند دوربین	80.6	**100**
Rougier et al. [17]	چند دوربین	95.4	95.8
Hung et al. [11]	چند دوربین	95.8	**100**
Ma et al. [10]	دوربین+حسگر عمق	**99.93**	91.97
Yun et al. [12]	تک دوربین	98.55	95.84
روش پیشنهادی	تک دوربین	99.01	97.46

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، سامانه‌ای برای تشخیص سقوط افراد بر مبنای تحلیل پویای تصاویر ویدئویی و استفاده از استنتاج فازی نوع دو و الگوریتم MOPSO در دسته‌بندی حرکات و تصمیم‌گیری ارائه شد. راه‌کارهایی برای بهبود عملکرد سامانه پیشنهادی و نیز افزایش سرعت پردازش تصاویر و دقت در تشخیص سقوط ارائه شد. همانطور که مشاهده شد استفاده از خطی‌سازی روی پارامترهای استخراج‌شده و آرایه‌ای از فیلترها روی تصویر به کاهش خطای تصمیم‌گیری منجر شد. همچنین با تغییر در پارامترهای تنظیمات اولیه الگوریتم ViBe و تنظیم مجدد الگوریتم در هر چند قاب متوالی، تشخیص اجسام متحرک با سرعت و مقاومت بیشتر نسبت به نوفه و تغییر نور محیط انجام گرفت. این امر استفاده از این سامانه پیشنهادی را در سامانه‌های کوچک با قدرت پردازشی کم نیز امکان‌پذیر می‌کند.

۵- مراجع 5- References

[1] Y. S. Delahoz and M. A. Labrador, "Survey on fall detection and fall prevention using wearable and external sensors," Sensors, vol. 14, pp. 19806-19842, 2014.

[2] S. Kulkarni and M. Basu, "A review on wearable tri-axial accelerometer based fall detectors," J. Biomed. Eng. Technol, vol. 1, pp. 36-39, 2013.

[3] K. Yang, C. R. Ahn, M. C. Vuran, and S. S. Aria, "Semi-supervised near-miss fall detection for ironworkers with a wearable inertial measurement unit," Automation in Construction, vol. 68, pp. 194, 2016.

[4] P. Pierleoni, A. Belli, L. Palma, M. Pellegrini, L. Pernini, and S. Valenti, "A high reliability wearable device for elderly fall detection," *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, pp. 4544-4553, 2015.

[5] H. Al-Nashash, S. Khan, S. Naqvi, R. Zaheen, A. Al-Ali, and A. Al Nabulsi, "IoT based multi-sensor patient fall detection system," Healthcare Technology Letters, 2019.

[6] N. Lapierre, N. Neubauer, A. Miguel-Cruz, A.R. Rincon, L. Liu, and J. Rousseau, "The state of knowledge on technologies and their use for fall detection: A scoping review," *International journal of medical informatics,* vol.111, pp. 58-71, 2018.

[7] H. Rimminen, J. Lindström, M. Linnavuo, and R. Sepponen, "Detection of falls among the elderly by a floor sensor using the electric near field," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, pp. 1475-1476, 2010.

[8] Y. Zigel, D. Litvak, and I. Gannot, "A method for automatic fall detection of elderly people using floor vibrations and sound—Proof of concept on human mimicking doll falls," *IEEE Transactions*

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

signal processing and pattern recognition, ed: Springer, 2006, pp. 858-863.

[19] M. Yu, S. M. Naqvi, A. Rhuma, and J. Chambers, "Fall detection in a smart room by using a fuzzy one class support vector machine and imperfect training data," in Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference on, 2011, pp. 1833-1836.

[20] M. Yu, S. M. Naqvi, A. Rhuma, and J. Chambers, "One class boundary method classifiers for application in a video-based fall detection system," IET computer vision, vol. 6, pp. 90-100, 2012.

[21] J.-L. Chua, Y. C. Chang, and W. K. Lim, "A simple vision-based fall detection technique for indoor video surveillance," Signal, Image and Video Processing, vol .9 ,pp. 623-633, 2015.

[22] K. Rezaee and J. Haddadnia, "Design of fall detection system: a dynamic pattern approach with fuzzy logic and motion estimation," Information Systems & Telecommunication, pp. 181, 2014.

[23] J. M. Mendel and R. B. John, "Type-2 fuzzy sets made simple," IEEE Transactions on fuzzy systems, vol. 10, pp. 117-127, 2002.

[24] AForge.NET computer vision, artificial intelligence, robotics. Available: http://www.aforgenet.com/.

[25] O. Barnich and M. Van Droogenbroeck, "ViBe: A universal background subtraction algorithm for video sequences," *IEEE Transactions on Image processing*, vol. 20, pp. 1709-1724, 2011.

[26] K. Ito, "Gaussian filter for nonlinear filtering problems," in Decision and Control, 2000. Proceedings of the 39th IEEE Conference on, 2000, pp. 1218-1223.

[27] C.-C. Han and K.-C. Fan, "A greedy and branch and bound searching algorithm for finding the optimal morphological erosion filter on binary images," IEEE Signal Processing Letters, vol. 1, pp. 41-44, 1994.

[28] E. R. Dougherty, "An Introduction to Morphological Image Processing (Tutorial Texts in Optical Engineering," DC O'Shea, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, USA, 1992.

[29] B. Patel and N. Patel, "Motion detection based on multi frame video under surveillance *on Biomedical Engineering*, vol. 56, pp. 2858-2867, 2009.

[9] M. Mubashir, L. Shao, and L. Seed, "A survey on fall detection: Principles and approaches," Neurocomputing, vol. 100, pp. 144-152, 2013.

[10] X. Ma, H. Wang, B. Xue, M. Zhou, B. Ji, and Y. Li, "Depth-based human fall detection via shape features and improved extreme learning machine," *IEEE J. Biomedical and Health Informatics,* vol. 18, pp. 1915-1922, 2014.

[11] D. H. Hung and H. Saito, "Fall detection with two cameras based on occupied area," in Proc. of 18th Japan-Korea Joint Workshop on Frontier in Computer Vision, 2012, pp. 33-39.

[12] Y. Yun and I. Y. H. Gu, "Human fall detection in videos via boosting and fusing statistical features of appearance, shape and motion dynamics on Riemannian manifolds with applications to assisted living," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 148, pp. 111-122, 2016.

[13] N. Lu, Y. Wu, L. Feng, and J. Song, "Deep learning for fall detection: Three-dimensional CNN combined with LSTM on video kinematic data," *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol. 23, no. 1, pp. 314-323, 2018.

[14] A. Shojaei-Hashemi, P. Nasiopoulos, J.J. Little, and M.T. Pourazad, "Video-based human fall detection in smart homes using deep learning," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 1-5, 2018.

[15] R. T. Collins, A. J. Lipton, T. Kanade, H. Fujiyoshi, D. Duggins, Y. Tsin, et al., "A system for video surveillance and monitoring," VSAM final report, pp. 1-68, 2000.

[16] E. Auvinet, F. Multon, A. Saint-Arnaud, J. Rousseau, and J. Meunier, "Fall detection with multiple cameras: An occlusion-resistant method based on 3-d silhouette vertical distribution," *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, vol. 15, pp. 290-300, 2011.

[17] C. Rougier, J. Meunier, A. St-Arnaud, and J. Rousseau, "Robust video surveillance for fall detection based on human shape deformation," *IEEE Transactions on circuits and systems for video Technology*, vol. 21, pp. 611-622, 2011.

[18] T. Zhang, J. Wang, L. Xu, and P. Liu, "Fall detection by wearable sensor and one–class SVM algorithm," in Intelligent computing in

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

system," *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS),* vol. 12, pp. 100, 2012.

[30] G. Diraco, A. Leone, and P. Siciliano, "An active vision system for fall detection and posture recognition in elderly healthcare," in Proceedings of the conference on design, automation and test in Europe, 2010, pp. 1536-1541.

[31] M. A. R. Ahad, Motion history images for action recognition and understanding: Springer Science & Business Media, 2012.

[32] G. Debard, P. Karsmakers, M. Deschodt ,E. Vlaeyen, J. Van den Bergh, E. Dejaeger, et al., "Camera based fall detection using multiple features validated with real life video," *in Workshop Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Environments*, 2011, pp. 441-450.

[33] C. Wagner and H. Hagras, "Toward general type-2 fuzzy logic systems based on zSlices," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 18, pp. 637-660, 2010.

[۳۴] خدادای الناز ، حسینی راحیل، مزینانی مهدی،" ارائه مدل‌های محاسبات نرم مبتنی بر فازی، تکاملی و هوش جمعی در تحلیل تصاویر ماموگرافی جهت تشخیص تومورهای سینه"، فصل نامه پردازش علائم و داده ها، دوره ۱۶، شماره ۲، صفحات ۱۶۵-۱۴۷، ۱۳۹۸.

[34] Khodadadi E, Hosseini R, Mazinani M. Soft Computing Methods based on Fuzzy, “Evolutionary and Swarm Intelligence for Analysis of Digital Mammography Images for Diagnosis of Breast Tumors”, *Journal and Data Processing*, vol. 16, no.2, pp. 147-165, 2016.

[35] M. Clerc and J. Kennedy, "The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space," *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, pp. 58-73, 2002.

[36] V. Pareto, Cours d'économie politique vol. 1: Librairie Droz, 1964.

[37] C. Coello Coello and M. Lechuga, "MOPSO: a proposal for multiple objective particle swarm optimization," in Proc., Evolutionary Computation, 2002. CEC'02. Proceedings of the 2002 Congress on, pp. 1051-1056.

[38] H. Qian, Y. Mao, W. Xiang, and Z. Wang, "Home environment fall detection system based on a cascaded multi-SVM classifier," in Control, Automation, Robotics and Vision, 2008. ICARCV 2008, 10th International Conference on, 2008, pp. 1567-1572.

[39] E. Auvinet, C. Rougier, J. Meunier, A. St-Arnaud, and J. Rousseau, "Multiple cameras fall dataset," DIRO-Université de Montréal, Tech. Rep ,vol. 1350, 2010.

آذر محمودزاده مدرک کارشناسی را از دانشگاه شیراز در رشته مهندسی برق-مخابرات، کارشناسی ارشد و دکترا را در رشته مهندسی برق-مخابرات به‌ترتیب از دانشگاه‌های شاهد و یزد اخذ کرد. ایشان در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است. زمینه‌های پژوهشی اصلی مورد علاقه نامبرده پردازش تصویر، شبکه عصبی و بازشناسی آماری الگو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

mahmoodzadeh@iaushiraz.ac.ir

حامد آگاهی مدرک کارشناسی را از دانشگاه شیراز در رشته مهندسی برق-قدرت، کارشناسی ارشد و دکترا را در رشته مهندسی برق-کنترل به‌ترتیب از دانشگاه‌های امیرکبیر و تهران اخذ کرد. ایشان در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است. زمینه‌های پژوهشی اصلی مورد علاقه نامبرده پردازش تصویر، شبکه عصبی و بازشناسی آماری الگو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

agahi@iaushiraz.ac.ir

مهسا واقفی مدرک کارشناسی را از دانشگاه شریعتی در رشته مهندسی برق-الکترنیک، کارشناسی ارشد و دکترا را در رشته مهندسی پزشکی-بیوالکترنیک به‌ترتیب از دانشگاه شاهد و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران اخذ کرد. ایشان در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است. زمینه‌های پژوهشی اصلی مورد علاقه نامبرده پردازش سیگنال، شبکه عصبی و بازشناسی آماری الگو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

vaghefi@iaushiraz.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-12-27]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.47]