تشخیص حضور انسان در خانه‌های هوشمند با استفاده از شبکه‌ی بی‌سیم محلی

امیرمحمد بصیرت[1]، نغمه سادات مؤیدیان[2]
[1]دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان، amirm_basirat@ec.iut.ac.ir
[2]استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان، moayedian@iut.ac.ir

چکیده – برای طراحی سیستم تشخیص حضور انسان با استفاده از شبکه‌ی بی‌سیم محلی، از قدرت سیگنال دریافتی نقاط دسترسی موجود در خانه هوشمند و همسایگان آن استفاده‌شده است. در روش پیشنهادی، برای اولین‌بار استفاده از ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه به‌همراه یک روش پنجره متحرک، پیشنهادشده است که می‌تواند تا حد زیادی تأثیرات نوسانات غیرعادی قدرت سیگنال دریافتی نقاط دسترسی را کاهش دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که دقت سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی ما برابر با ۹۵/۵٪ است؛ درحالی‌که می‌تواند با مقدار حساسیت برابر با ۹۷٪ حضور انسان را تشخیص دهد و تنها ۶٪ هشدار اشتباه در مورد حضور انسان بدهد.

کلید واژه- پنجره متحرک، خانه هوشمند، قدرت سیگنال دریافتی، ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه.

۱- مقدمه

از آن‌جاکه همیشه برای انسان مباحث مربوط به امنیت یک محیط، یک موضوع مهم و نگران‌کننده بوده است؛ برای آن راه‌حل‌های مختلفی پیشنهادشده است که از جمله‌ی این راه‌حل‌ها می‌توان به سیستم‌های امنیتی امروزی که مبتنی‌بر انواع دوربین‌ها و حسگرها می‌باشند، اشاره کرد. با این حال از جمله مشکلات این‌دسته از سیستم‌ها این است که اگر برای پوشش تمام نقاط یک محیط مورد استفاده قرار گیرند، ممکن است هزینه‌ی گزافی به‌وجود بیاورند؛ زیرا نیاز به دید مستقیم در یک محیط دارند. از سوی دیگر ممکن است در شب دقت تشخیص دوربین‌ها کاهش پیدا کند و یا حتی استفاده از دوربین‌ها به دلایل امنیتی در بعضی از مکان‌ها جایز نباشد [1].

در دهه‌ی اخیر رشد سریع تعداد دستگاه‌های هوشمند باعث شده است تا در اکثر مکان‌ها شبکه‌ی بی‌سیم محلی[1] در دسترس باشند. بنابراین استفاده از سیستم‌های امنیتی مبتنی‌بر WLAN می‌تواند گزینه‌ی مناسبی باشد تا با حداقل امکانات و هزینه بتوان محیط مورد نظر خود را شخصی‌سازی کرد. در این زمینه کارهای زیادی انجام شده است، به‌گونه‌ای که محققان توانسته‌اند با تجزیه و تحلیل قدرت سیگنال دریافتی[2] و یا اطلاعات وضعیت کانال[3]، سیستم‌های تشخیص حضور انسان گوناگونی را پیشنهاد دهند. از آن‌جاکه امکان دسترسی به مقادیر RSS فرستنده‌های محیط، برای دستگاه‌ها و کارت‌های بی‌سیم وجود دارد، باعث‌شده است تا به محبوبیت روش‌های تشخیص حضور انسان مبتنی‌بر RSS افزوده شود. با این حال از جمله مشکلات روش‌های تشخیص حضور انسان مبتنی‌بر RSS این است که گاهی مقادیر RSS به‌علت پدیده چند مسیری سیگنال‌ها نوسانات غیرعادی از خود نشان می‌دهند که این موضوع می‌تواند در محیط‌های پیچیده به‌مراتب بیشتر دیده شود و عملکرد این دسته از سیستم‌های تشخیص حضور انسان را با چالش جدی مواجه کند [2-4].

بنابراین به دنبال راه‌حلی برای این حل این مسئله، محققان استفاده از روش‌های تشخیص حضور انسان مبتنی‌بر CSI را پیشنهاد داده‌اند [5-6]. روش‌های مبتنی‌بر CSI به مراتب از پایداری زمانی مناسب‌تری نسبت به روش‌های مبتنی‌بر RSS برخوردار هستند و از سوی دیگر می‌توانند از تنوع فرکانسی کانال استفاده

[1] Wireless Local Area Network (WLAN)

[2] Received Signal Strength (RSS)

[3] Channel State Information (CSI)

کنند و اطلاعات بیشتری را در مورد نحوه‌ی انتشار سیگنال در یک محیط بدست آورند. بنابراین این امر باعث‌شده است تا بتوان به دقت بالاتر و قابل اعتمادتری نسبت به روش‌های تشخیص حضور انسان مبتنی‌بر RSS دستیابی پیدا کرد. با این حال در اکثر دستگاه‌ها و کارت‌های بی‌سیم رایج، امکان دسترسی به CSI وجود ندارد. در [7] تعداد محدودی از کارت‌های بی‌سیم معرفی شده‌اند که روی درایور آن‌ها اصلاحاتی صورت گرفته است تا امکان استخراج CSI را برای کاربران فراهم کنند. بنابراین با توجه به این محدودیت سخت افزاری که در روش‌های مبتنی‌بر CSI وجود دارد؛ امکان استفاده از این روش‌ها را با مشکل جدی مواجه کرده است.

سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی ما، جزء روش‌های تشخیص حضور انسان مبتنی‌بر RSS است که تنها از زیر ساخت‌های موجود در خانه هوشمند و همسایگان آن استفاده می‌کند. از جمله مزایای سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی ما می‌توان به:

- جمع‌آوری داده آموزشی به‌صورت خودکار و بدون نیاز به کاربر،
- به‌روز رسانی داده‌های آموزشی به‌همراه آموزش روی خط(کالیبراسیون خودکار)،
- مقاوم بودن در برابر نوسات غیرعادی مقادیر RSS،
- قابل استفاده در محیط‌های بزرگ و پیچیده و
- توانایی تشخیص حضور انسان در شرایط عدم دید مستقیم

اشاره کرد.

در بخش ۲ به طراحی سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی خود می‌پردازیم، در بخش ۳ عملکرد سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی خود را در یک خانه هوشمند مورد ارزیابی قرار می‌دهیم و در بخش ۴ نتیجه‌گیری می‌کنیم.

۲- طراحی سیستم پیشنهادی

در طراحی سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی، از RSS نقاط دسترسی موجود در خانه‌ی هوشمند مورد نظر و همسایگان آن استفاده‌شده است تا با توجه به تغییرات به‌وجود آمده در مقادیر RSS نقاط دسترسی، بتوان به حضور و یا عدم حضور انسان در داخل خانه هوشمند مورد نظر پی‌برد. شکل ۱ یک نمای کلی از معماری سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی را نشان می‌دهد. در بخش‌های زیر جزئیات اجزای مختلف ارائه داده‌شده است.

۲-۱- جمع‌آوری داده‌های آموزشی

به منظور جمع‌آوری داده آموزشی، پایگاه داده Q در نظر گرفته شده است تا ابتدا سیستم در شرایطی که هیچ شخصی در داخل محیط خانه‌ی هوشمند حضور ندارد، به مدت ۲۰۰ ثانیه و با فرکانس ۱ هرتز شروع به جمع‌آوری داده آموزشی کند تا بعداً بتواند با تجزیه و تحلیل داده‌های دریافتی جدید، حضور و یا عدم حضور انسان در داخل خانه هوشمند مورد نظر را تشخیص دهد.

۲-۲- پیش‌پردازش داده‌ها

از آن‌جاکه سیستم پیشنهادی ما علاوه‌بر استفاده از RSS نقاط دسترسی موجود در خانه‌ی هوشمند، از RSS نقاط دسترسی همسایگان نیز استفاده می‌کند؛ لازم است تا ابتدا مقدار میانگین و واریانس مقادیر RSS مربوط به هر یک از نقاط دسترسی را به‌ترتیب مطابق رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه کرد تا بتوان نقاط دسترسی ضعیف و یا همراه با نوسانات شدید را شناسایی کرد.

$$\mu_i = \frac{1}{200}\sum_{k=1}^{200} RSS_{k,i} \qquad i \in I \tag{1}$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{199}\sum_{k=1}^{200} (RSS_{k,i} - \mu_i)^2 \qquad i \in I \tag{2}$$

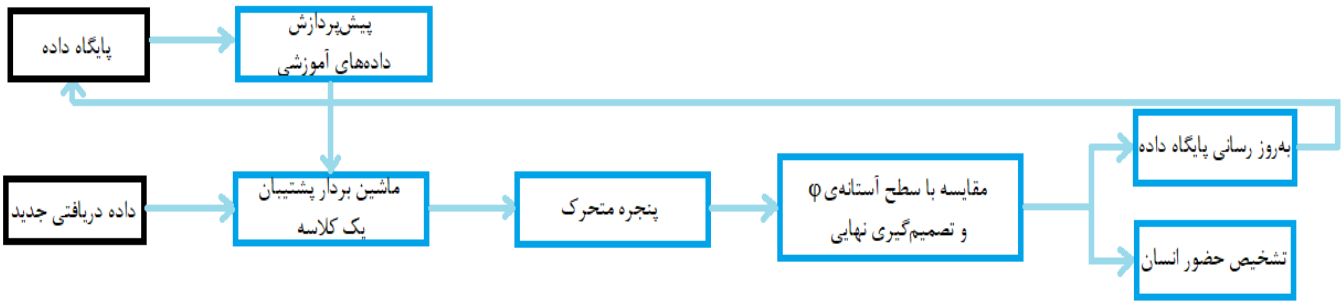
که $RSS_{k,i}$ قدرت سیگنال دریافتی(برحسب dBm) نقطه دسترسی iام برای داده‌ی kام، μ_i و σ_i^2 به‌ترتیب مربوط به مقدار میانگین و واریانس نقطه دسترسی iام و I مجموعه‌ای از کل نقاط دسترسی مورد استفاده می‌باشد. حال اگر برای نقطه دسترسی iام، مقدار μ_i از سطح‌آستانه ρ کم‌تر باشد و یا مقدار σ_i^2 از سطح‌آستانه η بیشتر باشد؛ استفاده از نقطه دسترسی iام متوقف می‌شود.

از سوی دیگر از آن‌جاکه راه‌رفتن همسایگان در خانه‌های خود باعث تغییراتی در مقادیر RSS نقطه دسترسی مربوط به آن‌ها می‌شود؛ در نظر گرفته‌شده است تا مقدار میانگین مقادیر RSS هر یک از نقاط دسترسی برای نیمه‌ی اول و نیمه‌ی دوم داده‌های پایگاه داده Q، به‌ترتیب مطابق رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه شود. لازم به ذکر است که داده‌ها به‌ترتیب زمان جمع‌آوری، مرتب شده‌اند.

$$m_{1,i} = \frac{1}{100}\sum_{k=1}^{100} RSS_{k,i} \qquad i \in I \tag{3}$$

$$m_{2,i} = \frac{1}{100}\sum_{k=101}^{200} RSS_{k,i} \qquad i \in I \tag{4}$$

که $m_{1,i}$ و $m_{2,i}$ به‌ترتیب مربوط به مقدار میانگین نقطه دسترسی iام، برای نیمه‌ی اول و نیمه‌ی دوم داده‌های آموزشی موجود در پایگاه داده Q است. حال اگر مقدار قدر مطلق تفاضل $m_{1,i}$ از $m_{2,i}$ بیشتر از سطح‌آستانه δ بود؛ استفاده از نقطه دسترسی iام متوقف می‌شود.



شکل ۱: نمای کلی از معماری سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی

از سوی دیگر از آن‌جاکه مقدار میانگین و واریانس مقادیر RSS هر یک از نقاط دسترسی باهم متفاوت است؛ لازم است تا به منظور بهبود عملکرد سیستم، استانداردسازی روی مقادیر داده‌ها صورت گیرد. بنابراین به منظور استانداردسازی روی مقادیر داده‌ها، مطابق رابطه (۵) استفاده از روش نمره استاندارد z_1 پیشنهادشده است.

$$Z_{k,i} = \frac{RSS_{k,i} - \mu_i}{\sigma_i} \qquad i \in I \tag{5}$$

که $Z_{k,i}$ مربوط به مقدار استانداردسازی‌شده‌ی $RSS_{k,i}$ می‌باشد.

۲-۳- تشخیص داده‌های غیرعادی

از آن‌جاکه داده‌های آموزشی موجود در پایگاه داده Q تنها مربوط به دسته‌ی عدم حضور انسان می‌باشند؛ استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه[۴] جهت تشخیص حضور انسان پیشنهادشده است؛ زیرا ماشین پشتیبان یک کلاسه می‌تواند تنها با داشتن اطلاعات یک دسته از داده‌ها آموزشی، مدل را آموزش دهد و سپس با دسته‌بندی داده‌های دریافتی جدید در دو دسته‌ی مختلف، به حضور و یا عدم حضور انسان در داخل خانه هوشمند مورد نظر پی‌ببرد [8]. با این حال از آن‌جاکه مقادیر RSS نقاط دسترسی تحت تأثیر پدیده چند مسیری سیگنال‌ها می‌باشند، ممکن است گاهی اوقات نوسانات غیرعادی از خود نشان دهند و باعث شوند تا سیستم تشخیص حضور انسان، به اشتباه حضور انسان در داخل خانه هوشمند را تشخیص دهد. بنابراین به منظور کاهش هشدارهای اشتباه و همچنین افزایش حساسیت[۵](نرخ یادآوری[۶]) سیستم در تشخیص حضور انسان، استفاده از روش پنجره متحرک پیشنهادشده است.

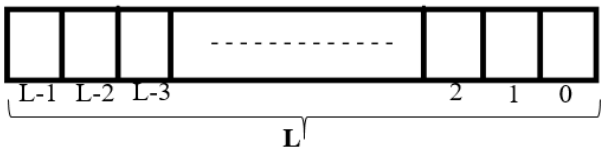
۲-۴- روش پنجره متحرک

در روش پنجره متحرک پیشنهادی، یک پنجره که از L بلوک مختلف مطابق شکل ۲ تشکیل‌شده است، در نظر گرفته‌شده است. این بلوک‌ها به‌ترتیب از راست به چپ، از شماره‌ی صفر تا L-1 شماره‌گذاری شده‌اند. مقدار اختصاص یافته به بلوک kام، نتیجه‌ی پیشبینی انجام‌شده‌ای است که ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه در kامین مرحله‌ی قبل روی داده‌ی دریافتی آن زمان انجام داده است. بنابراین متناسب با پیشبینی که هر بار ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه در مورد حضور و یا عدم حضور انسان در داخل خانه هوشمند انجام می‌دهد، به‌ترتیب مقدار ۱ و یا ۰ درون بلوک شماره‌ی صفرم قرار می‌گیرد. سپس با هر بار پیشبینی جدید انجام‌شده، مقادیر درون کل بلوک‌ها یک واحد به سمت چپ شیفت داده می‌شود تا بلوک شماره‌ی صفرم مجدداً برای پذیرش نتیجه‌ی پیشبینی جدید ماشین پشتیبان یک کلاسه، خالی از مقدار باشد.

بنابراین از آن‌جاکه معمولاً یک شخص بیشتر از چند ثانیه در داخل یک خانه هوشمند حضور پیدا می‌کند، استفاده از نتایج پیشبینی‌های قبلی انجام‌شده در روش پنجره متحرک پیشنهادی، می‌تواند تا حد زیادی عملکرد سیستم تشخیص حضور انسان را بهبود ببخشد.

۲-۵- تصمیم‌گیری نهایی

به‌منظور تصمیم‌گیری نهایی در مورد حضور و یا عدم حضور انسان در داخل خانه هوشمند مورد نظر، لازم است برای سیستم یک سطح‌آستانه‌ای مانند φ تعریف شود($\varphi \leq L$) تا درصورتی‌که مجموع مقادیر درون بلوک‌های پنجره متحرک از φ کم‌تر بود؛ سیستم تصمیم به عدم حضور انسان بگیرد و از این‌رو باعث کاهش هشدارهای اشتباه شود. رابطه (۶) نحوه‌ی تصمیم‌گیری سیستم در مورد حضور و یا عدم حضور انسان را بر اساس سطح‌آستانه‌ی φ نشان می‌دهد.



شکل۲: روش پنجره متحرک پیشنهادی با L بلوک مختلف

[۴] One-Class Support Vector Machine (OC-SVM)

[۵] Sensitivity

[۶] Recall

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^{L-1} X_k \geqslant \varphi \quad \Longrightarrow \quad \text{حضور انسان} \\ \sum_{k=0}^{L-1} X_k < \varphi \quad \Longrightarrow \quad \text{عدم حضور انسان} \end{cases} \tag{6}$$

که X_k مربوط به مقدار اختصاص یافته به kامین بلوک پنجره متحرک می‌باشد.

در روش پنجره متحرک پیشنهادی با فرض ثابت بودن L، با افزایش φ می‌توان میزان هشدارهای اشتباه را کاهش داد؛ اما با این حال افزایش مقدار φ ممکن است باعث کاهش حساسیت سیستم پیشنهادی در تشخیص حضور انسان شود. از سوی دیگر با فرض ثابت بودن φ، افزایش مقدار L باعث افزایش هشدارهای اشتباه می‌شود. بنابراین لازم است تا پارامترهای L و φ به‌گونه‌ای تنظیم کرد تا با حداقل مقدار L، دقت سیستم تشخیص حضور انسان را افزایش داد.

۲-۶- به‌روز رسانی پایگاه داده و آموزش روی خط

به‌منظور بهبود عملکرد سیستم تشخیص حضور انسان، پیشنهادشده است تا پایگاه داده Q را متناسب با تغییرات ایجاد شده در مقادیر RSS نقاط دسترسی، مرتباً به‌روز رسانی کرد. سپس بعد از هر بار به‌روز رسانی، مجدداً پیش‌پردازش‌های لازم روی داده‌های پایگاه داده Q را انجام داد و ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه را روی خط آموزش داد.

برای به‌روز رسانی پایگاه داده Q از روش پنجره متحرک پیشنهادی کمک گرفته‌شده است؛ به این‌صورت‌که اگر تصمیم نهایی سیستم تشخیص حضور انسان مبنی‌بر عدم حضور انسان بود، داده مربوط به بلوک L-1ام به عنوان داده‌ای که با احتمال بیشتری مربوط به عدم حضور انسان است، برای به‌روز رسانی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هر بار که سیستم تشخیص حضور انسان، عدم حضور انسان در داخل محیط خانه‌ی هوشمند را تصمیم‌گیری می‌کند؛ می‌توان پایگاه داده Q را با اضافه‌کردن داده مربوط به بلوک L-1ام و همچنین با حذف قدیمی‌ترین داده‌ی موجود در پایگاه داده Q(به منظور جلوگیری از افزایش مدت زمان آموزش) به‌روز رسانی کرد.

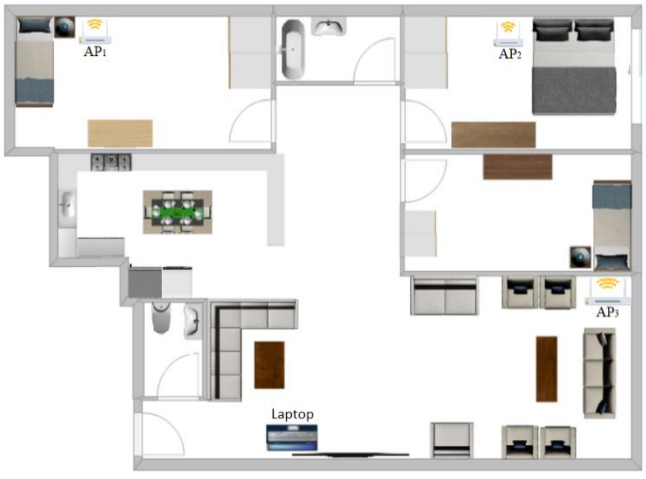
از سوی دیگر از آن‌جاکه بعد از هر بار به‌روز رسانی پایگاه داده Q، لازم است تا مجدداً پیش‌پردازش روی داده‌های پایگاه داده انجام شود؛ باعث‌شده است تا به‌صورت خودکار بتوان نقاط دسترسی مناسب را که منجر به افزایش دقت سیستم تشخیص حضور انسان می‌شوند، شناسایی کرد و از این‌رو از وجود نقاط دسترسی همسایگان برای مدت زمان طولانی سؤ استفاده کرد.

۳- نتایج شبیه‌سازی

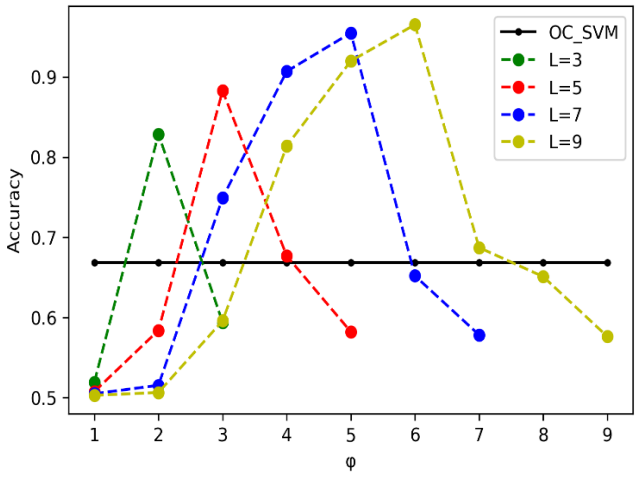
عملکرد سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی، در یک خانه هوشمند سه خوابه با مساحت ۱۳۵ متر مربع که در شکل ۳ نشان داده‌شده است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. به‌منظور پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج عملکرد سیستم پیشنهادی، از یک لب‌تاپ مدل ASUS N552VW، ۳ نقطه دسترسی در داخل محیط خانه هوشمند و ۶ نقطه دسترسی در خارج محیط از خانه هوشمند(نقاط دسترسی همسایه‌ها) استفاده‌شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم افزار jupyter notebook انجام‌شده است.

در شبیه‌سازی‌های انجام شده، از ۲۰۰ داده‌ی آموزشی که تنها مربوط به عدم حضور انسان می‌باشند و از ۷۰۰۰ داده‌ی آزمایشی که به‌طور مساوی مربوط به حضور انسان و عدم حضور انسان در داخل محیط خانه هوشمند مورد نظر می‌باشند، استفاده‌شده است. به‌منظور ارزیابی عملکرد سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی روی مجموعه داده‌های آزمایشی جمع‌آوری‌شده، هر یک از پارامترهای سیستم به‌صورت ρ = -۸۰، η = ۱۱، δ = ۲، L = ۷ و φ = ۵ تنظیم‌شده‌اند و از روش ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه (با هسته‌ی rbf، گامای ۰/۰۱ و پارامتر تنظیم ۰/۰۱) استفاده‌شده است.

در شکل ۴ دقت سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی روی مقادیر مختلفی از پارامترهای L و φ، مورد ارزیابی قرار گرفته است. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، روش پنجره متحرک پیشنهادی با پارامترهای L = ۷ و φ = ۵، به‌خوبی توانسته است عملکرد سیستم تشخیص حضور انسان را نسبت‌به زمانی‌که از روش پنجره متحرک استفاده نمی‌شود، بهبود ببخشد. لازم به ذکر است که منحنی مشکی رنگ، دقت سیستم پیشنهادی را در حالت عدم استفاده از روش پنجره متحرک، نشان می‌دهد.



شکل ۳: چیدمان وسایل و دستگاه‌ها در خانه هوشمند مورد نظر



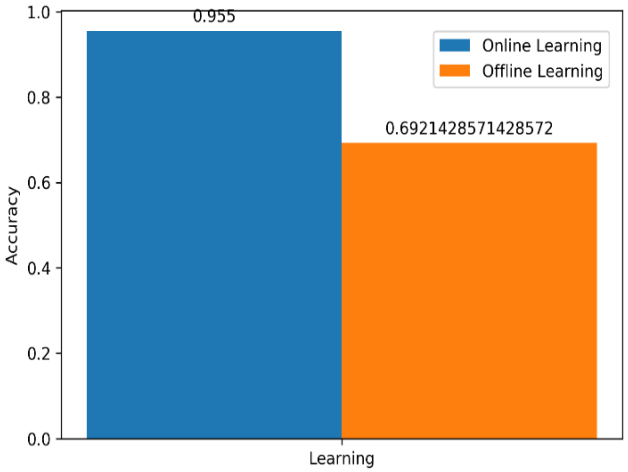
شکل ۴: ارزیابی دقت روش پنجره متحرک پیشنهادی به ازای مقادیر مختلفی از پارامترهای L و φ

در شکل ۵ دقت سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی برای دو حالت آموزش روی خط و آموزش خارج از خط باهم مقایسه شده است. همان‌طورکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با آموزش روی خط(همراه با به‌روز رسانی پایگاه داده Q) می‌توان دقت را تا حدود ۲۶٪ بهبود بخشید.

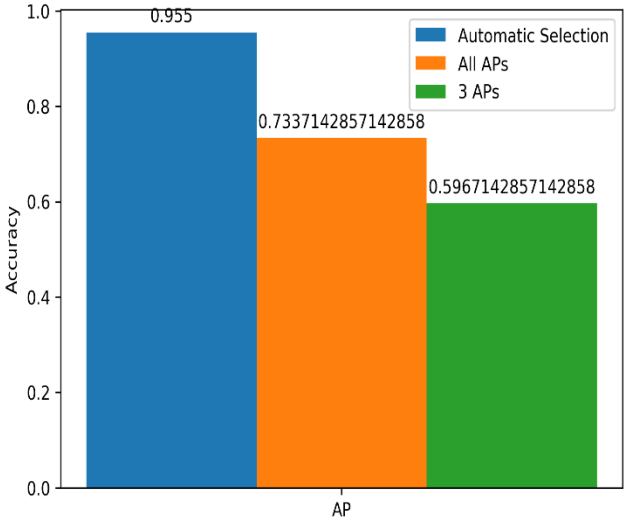
در شکل ۶ دقت سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی برای سه حالت مختلف استفاده خودکار از نقاط دسترسی مناسب(با هربار به‌روز رسانی پایگاه داده Q)، استفاده از کل نقاط دسترسی(بدون در نظر گرفتن نقاط دسترسی مناسب) و استفاده از ۳ نقطه دسترسی موجود در خانه هوشمند باهم مقایسه‌شده است. همان‌طورکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود، با انتخاب خودکار نقاط دسترسی مناسب می‌توان دقت را به‌ترتیب تا حدود ۲۲٪ و ۳۶٪ نسبت‌به زمانی‌که از کل نقاط دسترسی و ۳ نقطه دسترسی موجود در خانه هوشمند استفاده‌شده است، بهبود بخشید.

در شکل ۷ ماتریس درهم‌ریختگی نرمال‌سازی‌شده با برچسب‌های واقعی داده‌ها برای سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی نشان داده‌شده است. همان‌طورکه در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی، مقدار حساسیت سیستم در تشخیص حضور انسان برابر با ۹۷٪ است؛ درحالی‌که مقدار هشدار اشتباه در مورد حضور انسان تنها برابر با ۶٪ است.

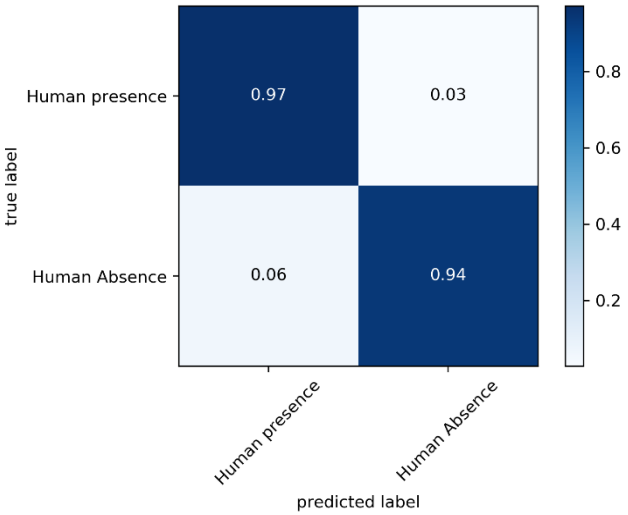
در شکل ۸ منحنی مشخصه عملکرد سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی نشان داده‌شده است. منحنی مشخصه عملکرد سیستم، مصالحه‌ی بین حساسیت سیستم در تشخیص حضور انسان و نرخ هشدار اشتباه را نشان می‌دهد. مساحت زیر منحنی، متوسط حساسیت سیستم در تشخیص حضور انسان را به ازای نرخ هشدارهای اشتباه بین صفر و یک، برابر با ۹۵٪ نشان می‌دهد.



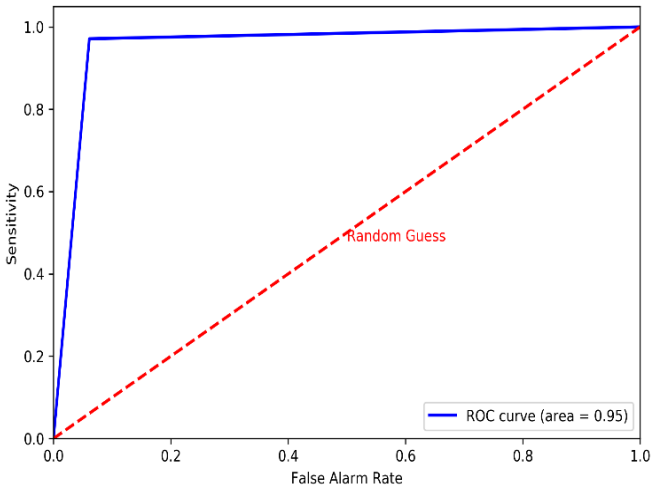
شکل ۵: ارزیابی دقت سیستم پیشنهادی برای دو حالت مختلف یادگیری خارج از خط(بدون کالیبراسیون) و یادگیری روی خط(کالیبراسیون خودکار)



شکل ۶: ارزیابی دقت سیستم پیشنهادی برای سه حالت مختلف استفاده خودکار از نقاط دسترسی مناسب، استفاده از کل نقاط دسترسی و استفاده از ۳ نقطه دسترسی موجود در خانه هوشمند



شکل ۷: ماتریس درهم‌ریختگی نرمال‌سازی‌شده با برچسب‌های واقعی داده‌ها



شکل ۸: منحنی مشخصه عملکرد سیستم پیشنهادی

۴- نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که ماشین بردار پشتیبان یک کلاسه به کمک روش پنجره متحرک به‌خوبی توانسته است نوسانات غیرعادی در مقادیر RSS نقاط دسترسی را شناسایی کند و دقت سیستم تشخیص حضور انسان را بهبود ببخشد. همچنین نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده روی مجموعه داده‌های آزمایشی نشان می‌دهد که مقدار حساسیت سیستم پیشنهادی در تشخیص حضور انسان برابر با ۹۷٪ است؛ درحالی‌که سیستم تنها ۶٪ هشدار اشتباه در مورد حضور انسان در داخل خانه هوشمند می‌دهد. از سوی دیگر سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی، این قابلیت را دارد که به‌صورت خودکار نقاط دسترسی مناسب را با هر بار به‌روز رسانی پایگاه داده، روی خط انتخاب کند و از این‌رو از نقاط دسترسی همسایگان نیز استفاده کند.

دقت ۹۵/۵٪ سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی ما نشان می‌دهد که در مقیاس بزرگ برای مدت زمانی طولانی سیستم پیشنهادی ما به خوبی عمل می‌کند. از سوی دیگر سیستم تشخیص حضور انسان پیشنهادی ما می‌تواند از نظر تجاری نیز نظر کاربران را به خود جلب کند تا با کمترین امکانات و هزینه خانه هوشمند مورد نظر خود را شخصی‌سازی کنند.

مراجع

[1] Li, Fangmin, et al. "A robust and device-free system for the recognition and classification of elderly activities." *Sensors* 16.12 (2016): 2043.

[2] Wang, Haijing, Fangfang Zhang, and Wenli Zhang. "Human Detection through RSSI Processing with Packet Dropout in Wireless Sensor Network." *Journal of Sensors* 2020 (2020).

[3] Jin, Yue, et al. "A whole-home level intrusion detection system using WiFi-enabled IoT." *2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*. IEEE, 2018.

[4] Jin, Yue, et al. "An adaptive and robust device-free intrusion detection using ubiquitous wifi signals." *2018 IEEE 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP)*. IEEE, 2018.

[5] Yang, Xu, et al. "A Device-free Intelligent Alarm System Based on the Channel State Information." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (2020).

[6] Yang, Jianfei, et al. "Device-free occupant activity sensing using WiFi-enabled IoT devices for smart homes." *IEEE Internet of Things Journal* 5.5 (2018): 3991-4002.

[7] Gringoli, Francesco, et al. "Free Your CSI: A Channel State Information Extraction Platform For Modern Wi-Fi Chipsets." *Proceedings of the 13th International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization*. 2019.

[8] Schölkopf, Bernhard, et al. "Support vector method for novelty detection." *Advances in neural information processing systems*. 2000.