

مدیریت دست به دست شدگی سیگنال بین فمتوسل و ماکروسل با روش خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر جغرافیای منطقه

طاهره بحرینی، مونا ضمیری و هادی صدوقی یزدی

در ادامه سیر تغییرات شبکه‌های مخابراتی، پروژه تکامل بلندمدت یا LTE^۲ معرفی شد. از مهم‌ترین عوامل معرفی این نسخه می‌توان به افزایش نرخ انتقال داده، کیفیت خدمات و کاهش تأخیرات شبکه نام برد [۱] و [۲]. در سیستم‌های LTE برپایه ایستگاه‌های پایه اضافی، تحت عنوان فمتوسل (FBS)^۳ برای مواجهه با تقاضا برای سرویس‌های نرخ بالا در مکان‌های سرپوشیده، پیش‌بینی شده است.

فمتوسل یا ایستگاه پایه خانگی^۴، ایستگاه‌های پایه کوچک با توان مصرفی کم، برد کوتاه (در رنج ۱۰ متر) و ارزان‌قیمتی هستند که در منازل، مکان‌های اداری و تجاری طراحی و نصب می‌شوند تا بتوان به این اهداف دست یافت [۳]: افزایش پوشش‌دهی مکان‌هایی که ماکروسل قادر به پوشش آنها نیست، کاهش بار ترافیک از لایه ماکروسل و افزایش ظرفیت شبکه در لایه ماکروسل، پشتیبانی از سرویس‌های با نرخ داده بالا در مکان‌های داخلی که پیش از این ماکروسل‌ها به دلیل اتلاف توان بالا در دیوارها و سقف قادر به برقراری آن نبودند.

در شکل ۱ شبکه مخابرات سلولی ناهمگن شامل فمتوسل‌ها، ماکروسل، BSها و کاربران نمایش داده شده است. مطابق این شکل در یک شبکه ناهمگن^۵، کاربرانی را که در محیط‌های داخلی^۶ قرار دارند می‌توان به لایه فمتوسل تخصیص داد و از دیگر سو با کاهش ترافیک در لایه ماکروسل، موجب افزایش ظرفیت در این لایه شد.

به کارگیری گسترده تعداد BSها با حیات اقتصادی شبکه مخابرات سلولی رابطه تنگاتنگی دارد. افزایش تعداد BSهای مورد استفاده، علاوه بر بالابردن پیچیدگی، هزینه ناشی از پیکربندی شبکه، بهینه‌سازی و مدیریت شبکه را افزایش داده و هزینه گزاف و غیر قابل تحملی را متوجه اپراتور تلفن همراه می‌کند.

مطالعات انجام‌گرفته نشان داده که ۷۰٪ ترافیک‌های مکالمه و داده در شبانه‌روز در محیط‌های داخلی رخ می‌دهد. در حالی که در این محیط‌ها به دلیل اتلاف توان بالایی که دیوارها و سقف به سیگنال ارسالی و دریافتی بین کاربر و ایستگاه پایه ماکروسل (MBS)^۷ اعمال می‌کند، سیگنال در سطح کیفیت پایینی تبادل می‌شود. برپایه FBSها عمدتاً برای رفع این مسأله پیشنهاد شده است اگرچه از طرفی پیچیدگی و هزینه مدیریت شبکه را بالا می‌برد. به منظور حذف هزینه‌ای که اپراتور در این راستا متحمل شده و کاهش پیچیدگی، روش‌هایی پیشنهاد می‌شود که مدیریت فمتوسل را بر عهده FBS قرار می‌دهد [۴] و [۵].

یکی از مسائلی که FBS باید قادر به مدیریت و بهینه‌سازی آن باشد

چکیده: روش‌های موجود در زمینه مدیریت دست به دست شدن سیگنال در شبکه‌های مخابرات سلولی نمی‌توانند به طور هم‌زمان تعداد رخداد‌های غیر ضروری و تأخیر تصمیم را در سطح پایینی نگه دارند. هدف اصلی این مقاله ارائه روش هوشمندی است تا علاوه بر این که به درخواست‌های ضروری اجازه رخ‌دادن می‌دهد، تعداد رخداد‌های غیر ضروری آن را نیز کمینه کند و به این ترتیب موجب بهبود کارایی کلی شبکه شود. به منظور دست‌یابی به چنین هدفی، در روش پیشنهادی از دانش جغرافیایی برگرفته از نقشه‌های ساختمان توأم با روش خوشه‌بندی طیفی در نواحی تحت پوشش فمتوسل استفاده می‌شود. بدین سبب نیاز به توسعه خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر اطلاعات جغرافیایی است. نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی روی داده‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته، بیانگر این است که این روش نسبت به سایر روش‌ها با افزایش احتمال تخصیص کاربر به سلول مناسب، به شکل قابل قبولی قادر به مدیریت پدیده دست به دست شدگی در لایه ناهمگن فمتوسل- ماکروسل است.

کلیدواژه: خوشه‌بندی طیفی، خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر دانش جغرافیا، داده‌های GIS، دست به دست شدن سیگنال، فمتوسل، ماکروسل.

۱- مقدمه

افزایش روزافزون تعداد کاربران و تقاضا برای دسترسی به سرویس‌های چندرسانه‌ای با کیفیت بالا، منجر به طراحی و توسعه سیستم‌های مخابراتی به منظور پاسخ‌گویی به این نیازها شده است. در سال‌های اخیر تعداد مشترکین تلفن همراه در جهان به طور میانگین ۷٪ رشد ثابت داشته و انتظار می‌رود تنها تا سال ۲۰۱۹ میلادی تعداد کل اشتراک‌های تلفن همراه از مرز ۷ میلیارد نفر عبور کرده و بیش از ۵/۶ میلیارد دستگاه گوشی هوشمند در سراسر جهان مورد استفاده قرار گیرد [۱]. از این رو یکی از چالش‌ها موجود، مدیریت کاربران برای دسترسی و استفاده بهینه از پهنای باند خواهد بود.

شبکه‌های مخابرات سلولی از تعداد زیادی ایستگاه پایه (BS)^۱ سرویس‌دهنده تشکیل شده‌اند. هر یک از BSها ناحیه‌ای را که اصطلاحاً سلول نامیده می‌شود تحت پوشش دارند. بسته به بار ترافیک موجود در نواحی مختلف، تراکم BSها متفاوت بوده و برای نواحی پرجمعیت‌تر تعداد BS بیشتری برای پشتیبانی از حجم بالای ترافیک پیش‌بینی شده است.

این مقاله در تاریخ ۹ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۱۱ مهر ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

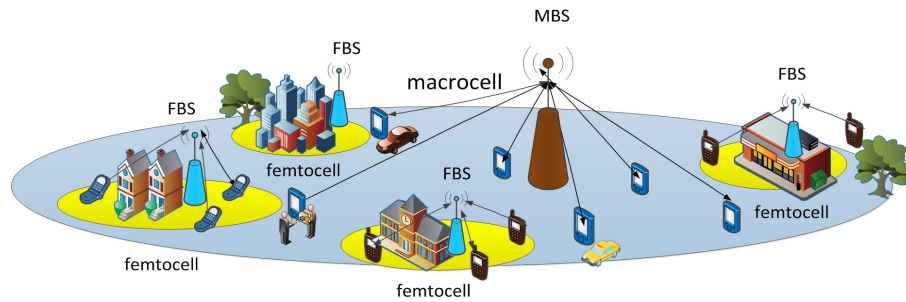
طاهره بحرینی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، (email: bahraini.tahereh@mail.um.ac.ir)

مونا ضمیری، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، (email: mona_zamiri1168@yahoo.com)

هادی صدوقی یزدی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، (email: h-sadoghi@um.ac.ir)

1. Base Station

2. Long Term Evolution
3. Femtocell Base Station
4. Home eNodeB
5. Heterogeneous Network
6. Indoor Region
7. Macrocell Base Station



شکل ۱: تخصیص کاربران indoor به لایه فمتوسل و کاهش بار ترافیک در لایه ماکروسل در شبکه سلولی ناهمگن در LTE.

بهبود HO، مبتنی بر یکپارچه‌سازی بهبودیافته رومینگ سریع^۷ و پروتکلی پروتکلی (CANAs)^۸ به منظور کاهش تأخیر HO ارائه کرده است. بر اساس این روش تعداد بسته‌های داده از دست رفته و تأخیر در HO به حداقل می‌رسد. در این راستا تحقیقات دیگری در [۹] توسط بیلن و همکارانش انجام گرفته است. در این پژوهش یک استراتژی تخمین برای کاهش تأخیر در فرایند HO پیشنهاد شده است. این استراتژی جدید بر مبنای زنجیره مارکوف و مبتنی بر SDN^۹ برای مدیریت HO در شبکه‌های ۵G فوق‌العاده مترامک طراحی شده است. نتایج شبیه‌سازی ارائه شده، صحت ادعای بیلن و همکارانش در کاهش میزان تأخیر و ارتباطات از شبکه خارج شده، نسبت به روش‌های متداول در LTE را تأیید می‌نماید.

شبکه‌های خودگردان (SON)^{۱۰} به عنوان محور بزرگ توسعه نسل آتی شبکه‌های مخابراتی توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. فمتوسل‌ها از جمله این شبکه‌ها هستند و یکی از قابلیت‌های غیر قابل اجتناب این شبکه‌ها، تشخیص خودکار قطع^{۱۱} ارتباط کاربر در فمتوسل یا ماکروسل است که به دلیل ناتوانی شبکه در سرویس‌دهی رخ داده است. مدیریت این فرایند پیش از این بر عهده MBS بوده و با ظهور FBS‌ها سعی شد این وظیفه توسط خود FBS انجام پذیرد. با توجه به محدودیت‌هایی همچون مساحت کوچک ناحیه تحت پوشش آن، و ساختار دولایه‌ای فمتو-ماکرو، [۱۰] به تشخیص وقفه و انجام به موقع HO در فمتوسل‌ها پرداخته است. در این مقاله وانگ و همکارانش یک روش دومرحله‌ای آشکارسازی وقفه، مبتنی بر معماری مشارکتی^{۱۲} را مطرح کرده‌اند. در مرحله نخست با استفاده از فیلترینگ، اطلاعات همبستگی استخراج شده و در مرحله بعد به منظور بهبود دقت آشکارسازی، قانونی برای تشخیص وقفه به صورت مشارکتی و متوالی معرفی می‌شود تا با پردازش‌های مکانی و زمانی آمارگان کاربر به دست آید.

طبیعتاً تریمینال‌های متحرک در شبکه‌های ناهمگن برای بهره‌وری از یک ارتباط بی‌وقفه و تکنولوژی‌های ارائه شده مجبورند در میان شبکه‌های چندگانه موجود HO داشته باشند. فرایند HO می‌تواند به صورت افقی بین شبکه‌هایی با تکنولوژی یکسان و یا عمودی بین شبکه‌هایی با تکنولوژی متفاوت رخ دهد و به این ترتیب اختلالات با TCP و پروتکل‌های سنتی دیگر افزایش می‌یابد. از آنجا که اختلال و وقفه در خدمات به دلیل HO غیر قابل قبول بوده، محققان درصدد حل آن برآمده‌اند. در [۱۱]، سینکی و همکارانش به این موضوع پرداخته‌اند. در این مقاله نسخه توسعه‌یافته

پدیده دست به دست شدن^۱ (HO) سیگنال کاربر متحرک (MU) است. دو مسأله در این رابطه باید در نظر گرفته شود: کمینه‌کردن تعداد مکالمات یا ارتباطات از دست رفته^۲، معادل با بالارفتن کیفیت خدمات در شبکه است و کمینه‌کردن تعداد HOهای غیر ضروری^۳ به معنای کاهش بار ترافیک بر روی MBS است.

هنگامی که MU بین سلول‌ها حرکت می‌کند برای داشتن سرویس بی‌وقفه، HO بین سلول‌ها الزامی است. این فرایند یکی از ویژگی‌های کلیدی شبکه‌های مخابرات سلولی است و باید به نحو احسن توسط اپراتورها کنترل و مدیریت گردد تا رضایت مشترکین حفظ شود. فرایند HO (که در دو حالت نرم و سخت^۴ انجام می‌شود) به تغییر کانال MU به کانالی دیگر گفته می‌شود که اغلب در اثر عبور MU از مرز سلول و یا تغییر کیفیت سیگنال در کانال جاری اتفاق می‌افتد.

در LTE و 4G، همانند شبکه‌های سلولی فعلی، فراهم کردن ارتباط یکپارچه برای MU و حفظ ارتباط جاری بدون وقفه، امری الزامی است. این فرایند در LTE با توجه به ناهمگن بودن شبکه و متفاوت بودن منابع موجود در لایه‌های مختلف، اهمیت بیشتری می‌یابد. در این مقاله مدیریت HO بین دو لایه ناهمگن فمتوسل و ماکروسل مد نظر است.

از جمله پارامترهای مؤثر در HO می‌توان به این موارد اشاره کرد [۴] تا [۷]: توان سیگنال دریافتی (RSS) یا به عبارتی وجود شبکه، حرکت کاربر (سرعت)، قیمت مناسب خدمات، نرخ داده و یا پهنای باند مورد نیاز کاربر، بار ترافیک موجود در شبکه و تأخیر اولیه. به طور کلی مدیریت و کنترل HOها در سه فاز انجام می‌شود:

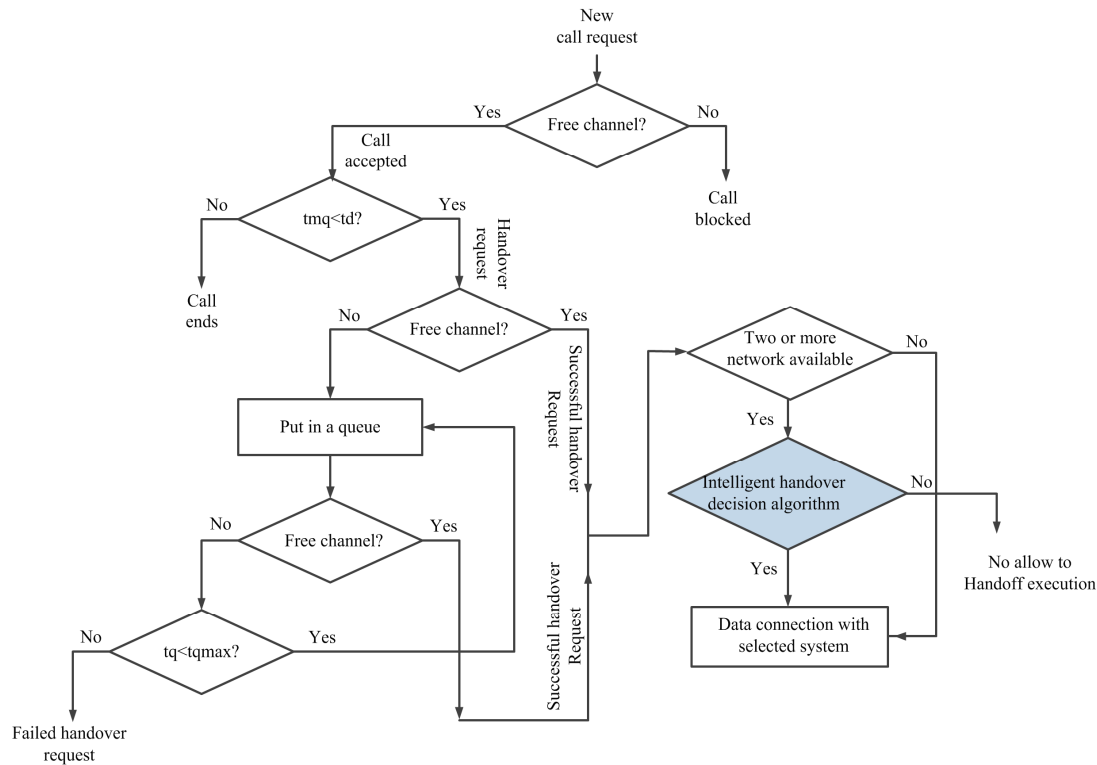
- جمع‌آوری اطلاعات
- تصمیم‌گیری بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده
- اجرای HO

روش‌هایی که برای مدیریت HO بین لایه‌های مختلف شبکه توسط محققین ارائه شده است به طور کلی در چهار دسته جای می‌گیرند [۴]: دسته اول روش‌هایی که بر اساس RSS طراحی می‌شوند، دسته بعد روش‌هایی بر مبنای پهنای باند هستند و دو دسته دیگر بر اساس تابع هزینه و روش‌های ترکیبی می‌باشند.

همان طور که گفته شد یکی از چالش‌های موجود در مدیریت HO، کاهش تأخیر است. از جمله کارهای انجام گرفته در این زمینه می‌توان به [۸] اشاره کرد که در آن ماتونسی و همکارانش مدلی برای کاهش تأخیر HO در شبکه‌های ناهمگن طراحی کرده‌اند. این مقاله الگوریتمی برای

7. Integrating Enhanced Fast Roaming Algorithm
 8. Carrying Authentication for Network Access
 9. Software-Defined Networks
 10. Self-Organizing Networks
 11. Outage
 12. Cooperative Femtocell Outage Detection (COD) Architecture

1. Handoff or Handover
 2. Mobile User
 3. Dropped Calls
 4. Unnecessary Handover
 5. Soft and Hard Handoff
 6. Received Signal Strength



شکل ۲: فرایند برقراری مکالمه و مدیریت دست به دست شدگی سیگنال در شبکه مخابرات سلولی (بلوک آبی‌رنگ مربوط به روش پیشنهادی هوشمند برای مدیریت درخواست HO در شبکه است).

ترافیک‌های مختلف، عملکرد بهتری دارد. در [۱۵] طرحی بر مبنای کرنل در مدیریت HOهای بین فضای باز- بسته برای فمتوسل‌های ۴G پیشنهاد شده است. این روش یادگیری ماشین، مکانیزمی مهارکننده برای کاهش میزان HOهای غیر ضروری بین فمتو- ماکرو است. نتایج کاهش ۶۵٪ میزان HOها را تأیید می‌کند. مشابهاً در [۱۶] سناریوی دست به دست شدگی سیگنال بین دو MBS مورد بررسی قرار گرفته است. نویسندگان در این مقاله روشی بهینه‌سازی بر مبنای کرنل پیشنهاد داده‌اند که با کاهش HOهای غیر ضروری عملکرد کلی شبکه را بهبود داده است.

در ادامه کارهای انجام‌شده، در [۱۷] نویسندگان با استفاده از شبکه‌های عصبی، روشی توسعه‌یافته برای مدیریت خودکار فمتوسل‌ها ارائه داده‌اند که به آنها اجازه یادگیری مکان درخواست HOها را می‌دهد. در این روش، بر مبنای دانش پیشین، تصمیمی مبتنی بر ضرورت بودن یا غیر مجاز بودن درخواست، گرفته می‌شود. در این سیستم خودکار، نواحی با تعداد HOهای مکرر یاد گرفته می‌شود. این نواحی برای رخداد HOهای پینگ‌پنگی مساعدند و به این ترتیب روش پیشنهادشده HOهای مکرر را کاهش می‌دهد. مونوز و همکاران در [۱۸] نیز مشابهاً سیستمی خودکار مبتنی بر دو پارامتر حاشیه HO^۴ (HOM) و زمان TTT^۵ برای کنترل HOهای موجود در شبکه LTE طراحی کرده‌اند. در ادامه، یک کنترلر منطق فازی به صورت وقتی HOMها را برای انجام بهینه HO تنظیم می‌کند.

چگونگی عملکرد شبکه در مدیریت HO در شکل ۲ آورده شده است. مطابق آن وقتی یک MU وارد شبکه می‌شود و یا درخواست مکالمه جدیدی رخ می‌دهد، ایستگاه کنترل و مدیریت شبکه بررسی می‌کند آیا در

TCP با عنوان TCP-چندمسیره پیشنهاد شده تا در صورت تغییر نقطه اتصال، ارتباط به درستی ادامه یابد.

فمتوسل‌ها و پیکوسل‌ها در LTE-A برای افزایش نرخ داده و بهبود پوشش در ساختمان‌ها مستقر شده و برای بهبود بازدهی انرژی و نرخ داده با ماکروسل‌ها هم‌پوشانی دارند. بدین ترتیب HO میان فمتو- ماکرو بسیار مورد اهمیت است. از دیگر سو به دلیل مساحت کوچک سلول فمتو، HO مکرراً رخ خواهد داد. برخی طرح‌ها همچون بحث تعادل بار، اگرچه باعث بهبود عملکرد کلی شبکه شده اما باعث HO مکرر در شبکه می‌شود. مقاله [۱۲] به بررسی این موضوع پرداخته و بعد از معرفی روش‌های انتقال بار موجود، طرحی مبتنی بر بازدهی انرژی برای HO پیشنهاد داده است. از دیگر پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان به [۱۳] اشاره داشت که در آن کلبخوانی و همکارانش روشی وقتی برای مدیریت HOهای پینگ‌پونگی در شبکه‌های ناهمگن فمتوسل، مبتنی بر RSS و نرخ توان سیگنال به توان نویز و تداخل^۱ (SINR) پیشنهاد داده‌اند. در این مقاله ابتدا ایستگاه‌های متحرک با استفاده از روش^۲ RLS مقدار RSS از BS فمتو و ماکرو را پیش‌بینی می‌کنند. سپس با استفاده از آن، مقادیر بعدی SINR محاسبه می‌شود. بر اساس SINR برآوردشده و RSS، فهرستی از BSهای نامزد تعبیه می‌گردد. نهایتاً BS هدف، موردی است که بیشترین توان را تولید کند.

در [۱۴] نویسندگان مکانیزم تصمیم‌گیری فازی هوشمندی را برای HOهای عمودی در شبکه‌های بی‌سیم ناهمگن ارائه داده‌اند به گونه‌ای که کیفیت سرویس‌دهی^۳ (QoS) را حفظ نماید. نتایج شبیه‌سازی بر اساس اساس یک زنجیره مارکوف توسعه‌یافته، نشان می‌دهد که نسبت به روش‌های تصمیم‌گیری HO موجود، الگوریتم پیشنهادی برای

1. Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio
2. Recursive Least Square
3. Quality of Service

4. HO Margin

5. Time to Trigger

بخش ب اشاره شد این روش جدید روش "خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر دانش جغرافیا" نام گرفته است.

بخش‌های ارائه‌شده در این مقاله به ترتیب زیر نوشته شده است: در ادامه انواع HOها در فمتوسل بررسی شده‌اند. در بخش ۲ از مقاله، مسأله مدیریت HOهای بین MBS-FBS بیان شده و سپس ۲ روش پیشنهادی در زیربخش‌های ۱-۲ تا ۴-۲ به تفصیل شرح داده شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی برای SC، GSC و دو روش خوشه‌بندی k-means و FCM در بخش ۳ مقاله تحلیل گردیده و در انتها در بخش ۴ نتیجه‌گیری آورده شده است.

انواع HO در فمتوسل

به طور کلی HOها در اماکن بسته در دو ناحیه رخ می‌دهند، ناحیه مجاز و غیر مجاز (ناحیه خنثی هم وجود دارد که هیچ HOیی در آن رخ نمی‌دهد) که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

HOهای ضروری

کاربر تحت سرویس FBS، در حین مکالمه با قدم‌زدن تصادفی در حال ترک ساختمان است. در این حالت با نزدیک شدن به خروجی ساختمان، سیگنال مرجع قوی‌تر از MBS دریافت نموده و گزارشی مبنی بر این وضعیت به FBS ارسال می‌نماید و FBS نیز اجازه رخداد HO را به MU می‌دهد. بنابراین ادامه سرویس‌دهی به MBS محول می‌شود. این نوع دست به دست شدن سیگنال را HO ضروری و نواحی مربوط را نواحی مجاز می‌نامند.

HOهای غیر ضروری

کاربر در حین مکالمه به دیوارهای شیشه‌ای و پنجره‌ها نزدیک می‌شود. در این حالت دستگاه گیرنده کاربر، سیگنال مرجع قوی‌تری از MBS دریافت نموده، گزارشی مبنی بر این وضعیت به FBS ارسال کرده و FBS به کاربر اجازه می‌دهد به ایستگاه پایه ماکروسل HO نماید.

کاربر در ادامه قدم‌زدن تصادفی خود، از پنجره و دیوارهای شیشه‌ای دور شده و دستگاه گیرنده مربوط، سیگنال مرجع قوی‌تری از FBS دریافت می‌نماید. بنابراین گزارشی مبنی بر این مشاهده به MBS ارسال کرده و MBS اجازه هندآور سیگنال کاربر به FBS را می‌دهد. بدین ترتیب کاربر با هر بار نزدیک و یا دور شدن از پنجره و دیوارهای کم‌اتلاف، درخواست HO به ایستگاه پایه‌ای که سیگنال مرجع قوی‌تری در آن نقطه دارد می‌دهد. به چنین HOهای متوالی و غیر ضروری که با فاصله زمانی کوتاهی حداکثر ۵ ثانیه از هم رخ می‌دهند، HOهای پینگ‌پنگی و نواحی مربوط را نواحی غیر مجاز می‌گویند.

۲- روش پیشنهادی

جزئیات عملکرد روش پیشنهادی (بلوک شماره ۱ از شکل ۲) در شکل ۳ آمده است. مطابق آن، داده‌های ورودی شامل درخواست‌های HO، تشکیل یک مجموعه یادگیری^۷ را می‌دهند. اگر سیستم تازه راه‌اندازی شده باشد تا زمانی که تعداد HOها به تعداد Max HO برسد سیستم به تمام HOها اجازه رخدادن می‌دهد و پارامترهای هر HO را به عنوان عضوی از داده‌های یادگیری در بلوک شماره ۱، ذخیره می‌کند. مقدار Max HO برابر با تعداد داده‌های یادگیری مورد نیاز برای شناسایی ناحیه تحت پوشش فمتوسل است.

سلولی که MU در آن قرار دارد، کانال خالی برای برقراری ارتباط وجود دارد. اگر ظرفیت شبکه پر باشد تماس برقرار نمی‌شود^۱ و در صورت وجود کانال خالی مکالمه پذیرفته^۲ می‌شود.

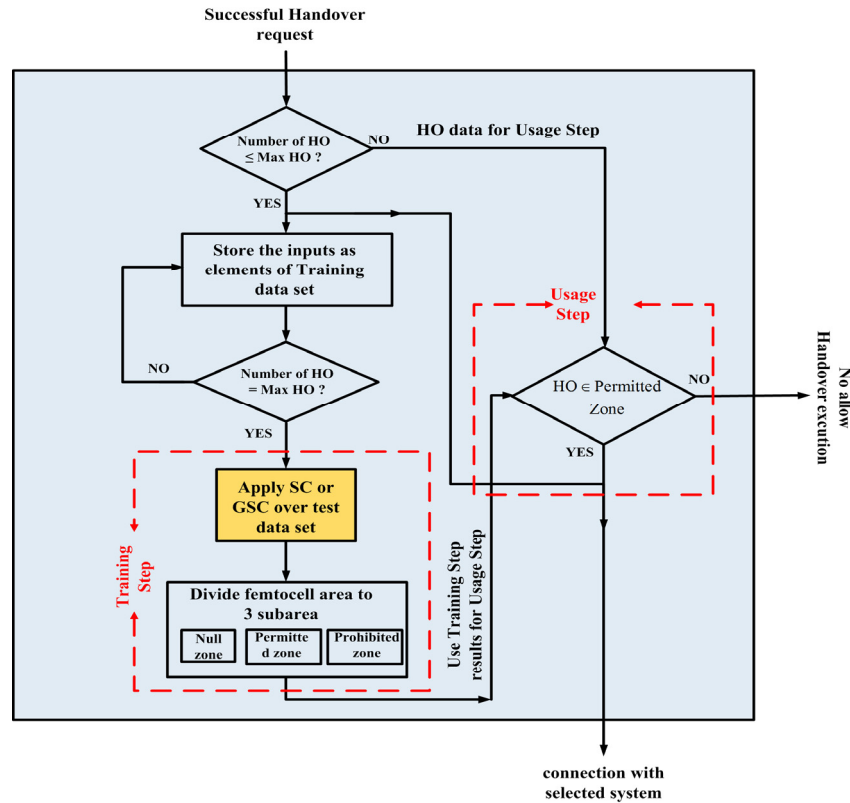
در ادامه، وقتی MU از سلول فعلی به سمت سلول دیگر حرکت کند یا QoS کانال پایین آید، در صورت وجود کانال خالی در سلول مقصد (نزدیک‌ترین سلول مجاور) برای جلوگیری از دست دادن مکالمه، اگر تا مدت زمانی معین این شرایط همچنان پابرجا بود، درخواست HO می‌کند. در صورت وجود کانال خالی یک درخواست HO موفق ارسال خواهد شد. در غیر این صورت این مکالمه تا خالی شدن کانال بعدی در صف قرار می‌گیرد. اگر بعد از سپری شدن مدت زمانی معین، همچنان کانال خالی در شبکه وجود نداشت درخواست HO رد می‌شود^۳ و در غیر این صورت یک درخواست HO موفق ارسال می‌شود^۴. بعد از آن اگر تنها یک شبکه وجود داشته باشد ارتباط کاربر به وسیله شبکه موجود برقرار می‌شود. در صورت وجود ۲ یا تعداد بیشتری شبکه، به بلوک شماره ۱ در شکل ۲ وارد می‌شود. بررسی ضرورت و عدم ضرورت درخواست HO و انتخاب شبکه مناسب برای ادامه مکالمه با روشی هوشمند در بلوک شماره ۱ انجام می‌شود. روش پیشنهادی این مقاله نسبت به فرایند برقراری و مدیریت مکالمه در شبکه، در این بلوک قرار می‌گیرد. این روش با استفاده از داده‌های جغرافیایی مربوط به ناحیه مورد تحلیل، خوشه‌بندی طیفی را هدایت می‌کند که خروجی آن تصمیمی مبنی بر اجازه رخداد یا عدم رخداد HO کاربر بین MBS-FBS است. بعد از آن که در بلوک شماره ۱، ضرورت درخواست HO بررسی شد، اگر خروجی این بلوک، تصمیم مبنی بر ضرورت رخداد HO باشد، ارتباط با شبکه جدید برقرار و در غیر این صورت درخواست رد می‌شود. این روش بر مبنای HOهای رخ داده و با ابزار خوشه‌بندی، ناحیه تحت پوشش فمتوسل را به سه ناحیه مجاز، غیر مجاز و ناحیه خنثی تفکیک می‌کند. بدین ترتیب برای درخواست‌های آتی بر اساس این سه ناحیه تصمیم‌گیری می‌نماید. سه نکته در روش پیشنهادی قابل تأمل است:

الف) استفاده از خوشه‌بندی طیفی^۵ (SC) در مدیریت HOهای بین FBS و MBS: استفاده از SC به عنوان یکی از قدرتمندترین روش‌های خوشه‌بندی که برای انواع گراف‌ها، مسیرهای پیچیده و معماری‌های پیش‌بینی نشده ناحیه تحت پوشش فمتوسل قابل استفاده است. نتایج شبیه‌سازی عملکرد این روش در مقایسه با دو روش k-means و FCM را نشان خواهد داد.

ب) مدیریت HO مبتنی بر دانش جغرافیایی و لایه اطلاعاتی GIS: از جمله نکات قابل توجه می‌توان به این مسأله اشاره کرد که HO با توجه به مکان برپایی ایستگاه پایه، موقعیت کاربر نسبت به آن و موانع موجود در کانال ارتباطی، در برخی نواحی بیشتر از سایر نواحی رخ می‌دهد. در این مقاله از این نکته در بهبود عملکرد روش خوشه‌بندی طیفی بهره‌برداری شده و روش جدید خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر دانش جغرافیا^۶ (GSC) پیشنهاد شده است.

ج) خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر دانش پیشین (GSC): این دانش پیشین از اطلاعات جغرافیایی استنتاج شده است. همان طور که در

1. Call Blocking
2. Call Accepted
3. Failed Handover Request
4. Successful Handover Request
5. Spectral Clustering
6. Geo-Based Spectral Clustering



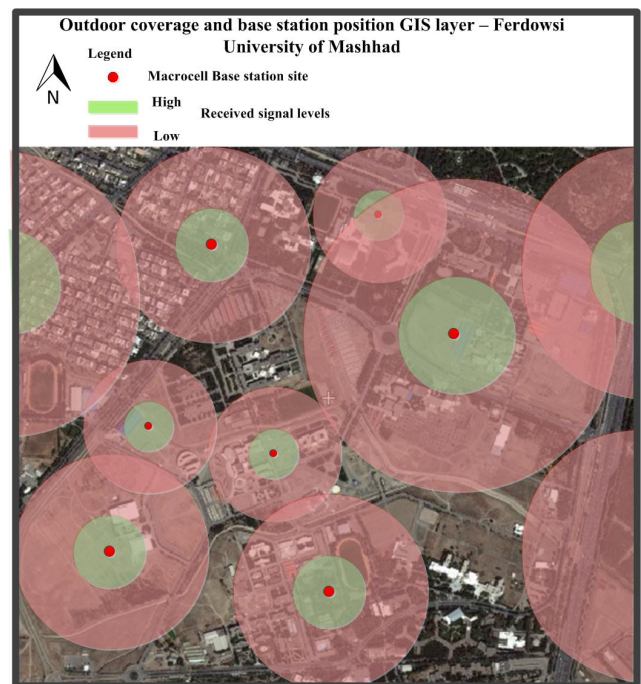
شکل ۳: روش پیشنهادی مربوط به بلوک شماره ۱ نشان داده شده در شکل ۲.

در این مرحله درخواست HO از طرف کاربر متحرک دریافت می‌شود. پارامترهای مربوط به موقعیت کاربر و سایر پارامترهای مورد نیاز الگوریتم، همراه این درخواست به ایستگاه پایه فمتوسل ارسال می‌شود (موقعیت کاربر را با تکنیک‌های موقعیت‌یابی همچون تخمین زاویه ورود AOA^3) و سایر الگوریتم‌ها می‌توان به دست آورد. بر این اساس اگر HO عضو ناحیه مجاز بود به این درخواست پاسخ مثبت داده می‌شود و در غیر این صورت ادامه سرویس‌دهی با ایستگاه فعلی ادامه می‌یابد.

۱-۲ مدیریت دست به دست شدن سیگنال مبتنی بر اطلاعات جغرافیا

در شکل ۴، MBS (مربوط به مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی) نمایش داده شده است. هر یک از این ایستگاه‌ها، ناحیه‌ای را تحت پوشش قرار داده‌اند و در برخی نواحی به علت تراکم بیشتر جمعیت، تعداد ایستگاه‌ها بیشتر است. با توجه به وضعیت قرارگرفتن سازه‌های شهری، وضعیت جغرافیایی، تراکم جمعیت و فاصله از ایستگاه‌ها، توان سیگنال دریافتی از MBS برای کاربران موجود در شبکه در نواحی مختلف متفاوت است. بنابراین با توجه به موقعیتی که کاربر در آن قرار دارد وضعیت سیگنال و کیفیت سرویس دریافتی آن قابل پیش‌بینی است. با توجه به این مباحث در برخی نواحی همواره سیگنال ضعیفی دریافت شده و دستگاه گیرنده درخواست HO به سلول مجاور می‌کند. در برخی نواحی نیز همواره سیگنال در کیفیت بالایی دریافت می‌شود و تعداد درخواست‌ها کمتر است.

در زمینه فمتوسل نیز این مسأله می‌تواند مطرح شود چرا که توان ارسالی FBS در مقابل MBS مقدار ناچیزی بوده، با توجه به معماری ساختمان، در مجاورت دیوارهای کم‌اتلاف، در و پنجره‌ها، کاربر با دریافت



شکل ۴: لایه اطلاعات GIS برای outdoor coverage ایستگاه‌های پایه مخابراتی در منطقه دانشگاه فردوسی مشهد.

بعد از تکمیل مجموعه داده‌های یادگیری، در مرحله یادگیری^۱ در بلوک شماره ۲، روش خوشه‌بندی SC یا GSC بر روی داده‌های ورودی اعمال شده و به شناختی از ناحیه فمتوسل دست می‌یابد. طی این مرحله، ناحیه به سه بخش مجاز، غیر مجاز و ختشی تفکیک می‌شود. نتایج حاصل از این گام برای کنترل درخواست‌های HO آتی در مرحله کاربرد^۲ ارسال می‌شود.

1. Training Step
2. Usage Step

3. Angle of Arrival

$$\begin{aligned} A \cap B &= \emptyset \\ A \cup B &= V \end{aligned} \quad (۴)$$

به عبارتی هیچ اشتراکی نداشته و اجتماع آنها مجموعه تمام رئوس باشد. برای بردار رئوس V ، بردار شاخص f به صورت (۵) به دست می‌آید

$$f = [f_1, f_2, \dots, f_N]^T$$

$$f_i = \begin{cases} \sqrt{\frac{\text{vol}(B)}{\text{vol}(A)}} & \text{if } v_i \in A \\ -\sqrt{\frac{\text{vol}(A)}{\text{vol}(B)}} & \text{if } v_i \in B \end{cases} \quad (۵)$$

که در این رابطه $\text{vol}(A)$ یا تراکم خوشه A ، درجه تمام رأس‌های درون خوشه A است و به صورت $\text{vol}(A) = \sum_{i \in A} d_i$ تعریف می‌شود و d_i درجه رأس i ام از خوشه A است. برای یک گراف شباهت، برش نرمال $Ncut$ ، در افراز دوبرخی را می‌توان به صورت (۶) بیان کرد

$$Ncut(A, B) = \frac{\text{cut}(A, B)}{\text{vol}(A)} + \frac{\text{cut}(A, B)}{\text{vol}(B)} \quad (۶)$$

$$\text{cut}(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v)$$

به عبارتی برای تقسیم داده‌ها به دو خوشه A و B ، یال‌هایی بین دو خوشه برای برش انتخاب می‌شوند که کمترین وزن را داشته باشند. در حالت کلی در روش SC، افراز k بخشی گراف مد نظر است که می‌تواند به صورت (۷) بیان شود [۲۰]

$$Ncut(A_1, \dots, A_k) = \sum_{i=1}^k \frac{\text{cut}(A_i, \bar{A}_i)}{\text{vol}(A_i)} \quad (۷)$$

که \bar{A} متمم A است. در اینجا کمینه‌کردن تعداد افرازا مد نظر است. با این استدلال مسئله بهینه‌سازی کمینه‌کردن $Ncut$ را می‌توان به صورت (۸) مطابق [۲۰] باز نویسی کرد

$$\min_f Ncut(A, B) = \frac{f^T Lf}{f^T Df} \quad (۸)$$

s.t. $(Df)^T \mathbf{1} = 0$.

رابطه (۸) مسئله بهینه‌سازی NP-hard^۱ بوده و به صورت چندجمله‌ای قابل حل نیست. یک راه حل تقریبی برای آن با ساده‌کردن محدودیت گسسته‌کردن بر روی f ، اگر f بتواند مقادیر حقیقی اتخاذ کند به دست می‌آید. آن گاه (۸) مطابق با خارج قسمت ریلی مسئله مقدار ویژه به $Lf = \nu Df$ تعمیم یافته که $f \in R^N$ و مقدار ویژه تعمیم یافته متناظر با بردار ویژه f از ماتریس لاپلاسیان L است. قید $(Df)^T \mathbf{1} = 0$ به صورت خودکار در مسئله ویژه تعمیم یافته، برقرار می‌شود. در نتیجه، راه حل ریلکس شده برش نرمال، بردار فیدلر می‌باشد. در جدول ۱ مراحل اعمال SC بر روی داده‌ها در ۳ گام آورده شده است.

در شکل‌های ۵ تا ۷، الگوریتم SC با چند مثال ساده به منظور مقایسه عملکرد این روش با سایر خوشه‌بندها آورده شده است. نتایج آورده شده در این شکل‌ها بیانگر آن است که این SC قادر به جداکردن خوشه‌های غیر خطی به طور صحیح می‌باشد ولی روش‌های کلاسیک k-means و FCM در تفکیک این داده‌ها عملکرد ضعیفی دارند.

سیگنال مرجع قوی از طرف MBS درخواست HO می‌نماید. بنابراین ایده استفاده و به کارگیری دانش جغرافیایی و موقعیت کاربر در مدیریت HO مفید و راهبردی است چرا که HOهای پینگ‌پنگی عمدتاً در یک سری نواحی مشخص درون ساختمان رخ می‌دهند. بر این مبنا نتایج به دست آمده در ادامه نشان می‌دهد که عملکرد خوشه‌بند با به کارگیری دانش پیشین جغرافیایی بهبود یافته است.

۲-۲ مبانی تئوری روش خوشه‌بندی طیفی

خوشه‌بندی از مهم‌ترین ابزارهای شناسایی الگو و دسته‌بندی اطلاعات در علوم مختلف است. روش‌های مختلفی در این زمینه وجود دارد که هر یک سعی دارند داده‌ها را به بهترین نحو ممکن دسته‌بندی کنند. هنگامی که ساختار داده‌ها، غیر خطی و نامحدب باشد، روش‌های خوشه‌بندی کلاسیک همچون FCM و k-means قادر به جداسازی صحیح داده‌ها نمی‌باشند و در این مورد می‌توان از روش SC استفاده کرد. این روش خوشه‌بندی داده‌ها را از دید افراز گراف بررسی می‌کند و با مدل‌کردن میزان شباهت داده‌ها و استفاده از بردارهای ویژه ماتریس لاپلاسیان سعی دارد تا با الگوریتم‌های مختلف، گراف را افراز کند.

در حالت کلی اگر $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ، $x_i \in R^d$ مجموعه داده‌های d بعدی باشد، شباهت دو نمونه x_i و x_j را می‌توان توسط یک سنجه یا معیار شباهت $w_{i,j} \geq 0$ تعیین کرد. از دید گراف‌ها اگر این سنجه شباهت، متقارن باشد آن گاه گراف بدون جهت است. یک نوع نمایش داده، استفاده از گراف شباهت است که به صورت $G(V, E)$ نشان داده می‌شود. رئوس V بیان‌کننده نقاط داده‌ها است و یال‌های بین دو رأس v_i و $v_j \in E$ توسط e_{ij} بیان می‌شود [۱۹].

در خوشه‌بندی با استفاده از گراف شباهت، هدف یافتن افرازی برای گراف $G(V, E)$ است به طوری که وزن یال‌ها در هر خوشه زیاد (شباهت درون گروهی) و در عین حال وزن یال‌های بین خوشه‌های مختلف، کم (شباهت بین گروهی) باشد. در روش SC از گراف کاملاً متصل استفاده می‌شود، یعنی همه نمونه‌ها به هم متصل هستند و هر یال بر اساس میزان شباهت رئوس متناظرش وزنی دارد.

یکی از سنجه‌های شباهت مورد استفاده در روش SC، تابع شباهت گوسی است که بین دو نمونه x_i و x_j به صورت (۱) تعریف می‌شود

$$w(x_i, x_j) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right), & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (۱)$$

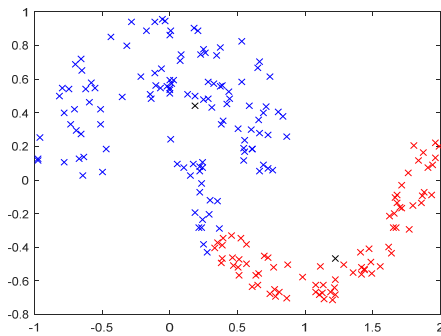
درجه رأس v_i ، مجموع همه وزن‌های رئوس مجاورش است که به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\text{deg}_i = D(i, i) = \sum_{j=1}^N w_{ij} \quad (۲)$$

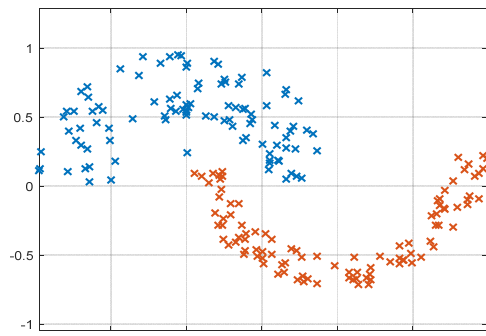
برای همه رئوس، ماتریسی به عنوان ماتریس درجات D تعریف می‌شود که ماتریسی قطری است و شامل درجات رئوس $\text{deg}_1, \text{deg}_2, \dots, \text{deg}_N$ به عنوان عناصر قطری می‌شود. علاوه بر این، ماتریس لاپلاسیان گراف L به صورت (۳) تعریف می‌شود

$$L = D - W \quad (۳)$$

که W ماتریس وزن‌ها است. یکی از مسائلی اصلی در تئوری گراف، گراف دوبرخی است که هدف ارائه‌ی آن، جداکردن گراف $G(V, E)$ به دو مجموعه جدا از هم A و B بر پایه معیار برش است. در این حالت، دو مجموعه به دست آمده A و B باید شرایط (۴) را داشته باشند



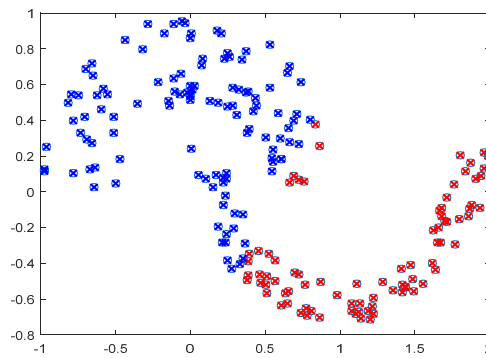
شکل ۷: نتیجه خوشه‌بند k-means در جداسازی دو کلاس غیر خطی.



شکل ۵: نتیجه SC در جداسازی دو کلاس غیر خطی.

جدول ۱: الگوریتم خوشه‌بندی طیفی.

ورودی	مجموعه داده یادگیری $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \in R^d$
خروجی	خوشه‌بندی X به k خوشه
گام ۱	به دست آوردن ماتریس شباهت $W \in R^{N \times N}$ طبق (۱) و ماتریس درجات طبق (۲)
گام ۲	محاسبه K کوچک‌ترین بردار ویژه ماتریس لاپلاسیان $L = D - W, L = D^{-\frac{1}{r}}(D - W)D^{-\frac{1}{r}}$ که توسط ماتریس $Q = [q_1, q_2, \dots, q_k]$ بیان می‌شود
گام ۳	اعمال خوشه‌بندی k-means بر روی هر سطر Q خوشه از ورودی X



شکل ۶: نتیجه حاصل از FCM در جداسازی دو کلاس غیر خطی.

۳-۲ خوشه‌بندی طیفی با دانش پیشین (GSC)

مطابق آنچه در بخش ۲-۲ توضیح داده شد، روش SC ماتریس W را برای داده‌های ورودی، مطابق (۱) محاسبه می‌کند. در این مقاله، روش خوشه‌بندی طیفی با دانش پیشین GSC پیشنهاد داده شده است. روش پیشنهادی GSC دانش پیشین را برای هر نمونه‌ی x_i به صورت ضریب $u(i)$ در ماتریس وزن‌ها (W) به صورتی که در رابطه‌ی (۹) در زیر آورده شده وارد می‌کند:

$$W_p(x_i, x_j) = u(i) \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^r}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

که ماتریس W_p ماتریس وزن در روش پیشنهادی و σ پهنای گوسی است که میزان شباهت بین داده‌ها را تنظیم می‌کند. ضریب $u(i)$ برای هر نمونه را می‌توان طبق (۱۰) محاسبه کرد

$$u(i) = \begin{cases} 0.1 & \text{if } \|x_i - p(i)\| > \text{threshold} \\ 0.9 & \text{if } \|x_i - p(i)\| < \text{threshold} \end{cases} \quad (10)$$

که $p(i)$ بیان‌کننده مکان‌هایی از ساختمان است که احتمال رخداد HOهای پینگ‌پنگی و توان دریافتی از ماکروسل در آنها بالاست. این نقاط با استفاده از اطلاعات برگرفته از دو لایه GIS زیر به دست می‌آیند:

- الف) لایه اطلاعات مربوط به احتمال رخداد HOهای پینگ‌پنگی
- ب) لایه مربوط به RSS از MBS

ضریب $u(i)$ با توجه به موقعیت نقاط در این دو لایه مقداری می‌شود. در بخش ۲-۴ نحوه به دست آوردن این دو لایه برای نواحی تحت پوشش فمتوسل توضیح داده شده و در بخش نتایج برای سناریوهای مختلف به دست آمده است. ماتریس درجات D به صورت زیر تغییر می‌کند

$$D_p(i, i) = \sum_{j=1}^n W_p(x_i, x_j) \quad (11)$$

ماتریس لاپلاسیان در روش پیشنهادی GSC به صورت (۱۲) تعریف می‌شود

$$L_p = D_p - W_p \quad (12)$$

که با توجه به (۹) ماتریس W_p به صورت زیر به دست می‌آید

$$W_p = \begin{bmatrix} u_1 w_{11} & u_1 w_{12} & \dots & u_1 w_{1n} \\ u_2 w_{21} & u_2 w_{22} & \dots & u_2 w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_n w_{n1} & u_n w_{n2} & \dots & u_n w_{nn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

رابطه (۱۳) بر حسب W تعریف شده در (۱) و u به صورت (۱۴) قابل بازنویسی است

$$W_p = \text{diag}(u) * W \quad (14)$$

اگر تعریف کنیم $\text{diag}(u) = U'$ آن گاه داریم

$$W_p = U' * W \quad (15)$$

بنابراین درایه‌های ماتریس درجات D_p برابر می‌شود با

$$D_p(i, i) = \sum_{j=1}^n w_p(i, j) = \sum_{j=1}^n u(i) w(i, j) = u(i) * \sum_{j=1}^n w(i, j) \quad (16)$$

و ماتریس D_p بر حسب D به صورت زیر است

$$D_p = \text{diag}(u) * D = U' * D \quad (17)$$

مسئله بهینه‌سازی در این حالت به صورت (۱۸) حل می‌گردد

۲-۴ کاربرد روش GSC در مدیریت HO

همان طور که در بخش ۲-۳ گفته شد به منظور بهبود نتایج روش SC، ضریب $u(i)$ به عنوان اطلاعات پیشین در روش GSC ظاهر می‌شود. رویکرد پیشنهادی در این بحث استفاده از دو لایه GIS برای استخراج دانش پیشین و مقداردهی ضریب $u(i)$ است. به عبارتی دیگر، $u(i)$ بر اساس اطلاعات به دست آمده از این دو نقشه مقداردهی و در روابط اعمال می‌گردد. نحوه اعمال این دانش جغرافیایی به عنوان دانش پیشین بر روش GSC برای مدیریت HO در این بخش، بیان می‌شود.

با توجه به شکل ۸ برای هر ناحیه، لایه‌های اطلاعاتی GIS مختلفی وجود دارد. هر یک از این لایه‌ها به منظور ویژه‌ای تهیه شده، نقشه‌های مربوط استخراج و در علوم مختلف استفاده می‌شوند (به عنوان نمونه نقشه‌های مربوط به اطلاعات راه‌ها و جاده‌ها، مراکز و جنگل‌ها، انشعابات آب و غیره). در بحث مدیریت HO در شبکه مخابرات سلولی نیز می‌توان از لایه‌های اطلاعاتی GIS استفاده کرد.

برای مدیریت HO در یک ناحیه جغرافیایی می‌توان برای آن ناحیه نقشه‌های GIS مربوط به (۱) RSS از MBS و (۲) احتمال رخداد HOهای پینگ‌پنگی را تهیه کرد. از آنجا که در این مقاله هدف بررسی HO در فمتوسل بوده، بنابراین ناحیه داخل ساختمان مد نظر است. مطابق آنچه در شکل ۸ می‌بینید این دو نقشه برای دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی تهیه و در شکل ۹ با جزئیات بیشتر نمایش داده شده است. نتایج با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی توسط نویسندگان مقاله تهیه شده‌اند.

در شکل ۸ و ۹ نقشه اولیه از google earth گرفته شده و برای آن دو لایه اطلاعاتی GIS مطابق توضیحات الف و ب به دست آمده است:

الف) لایه اطلاعاتی RSS از MBS برای ساختمان دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی؛ این نقشه سطح توان دریافتی از MBS را برای هر نقطه از ساختمان نشان می‌دهد. برای به دست آوردن این نقشه مقدار توان دریافتی در هر موقعیت را می‌توان با استفاده از رابطه زیر نیز به دست آورد

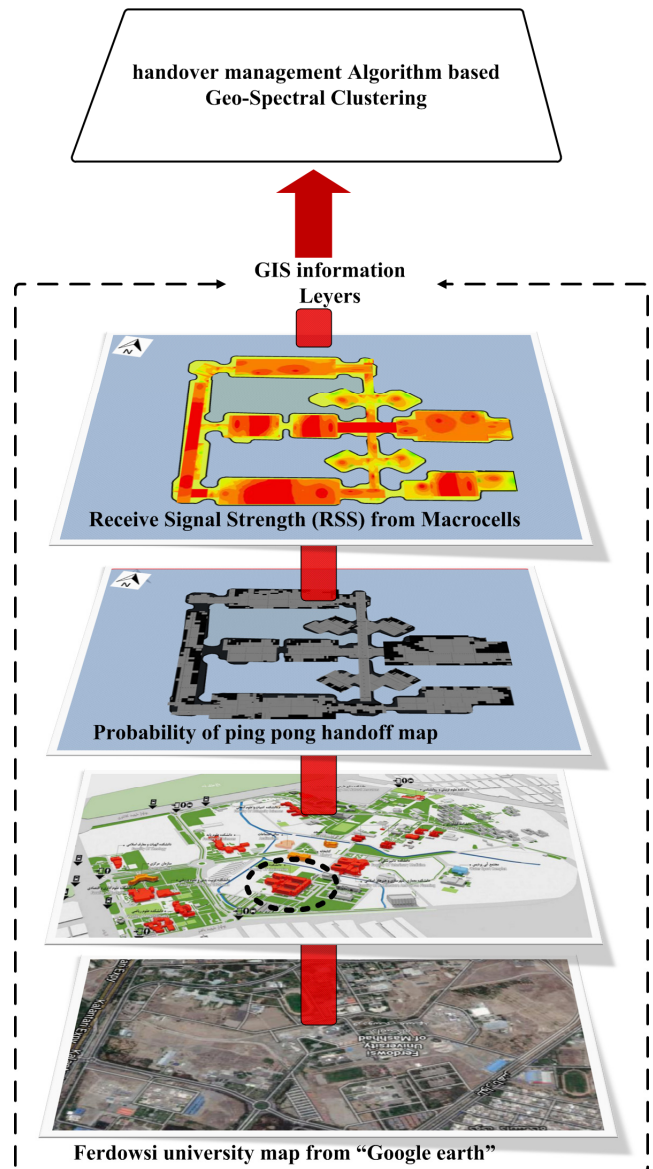
$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (19)$$

که P_r توان دریافتی از ایستگاه پایه (FBS یا MBS) بر حسب وات، P_t توان ارسالی ایستگاه پایه بر حسب وات، G_t بهره آنتن فرستنده، G_r بهره آنتن گیرنده، λ طول موج سیگنال ارسالی بر حسب متر و d فاصله فرستنده و گیرنده بر حسب متر است. از آنجا که در اغلب مواقع اندازه‌گیری‌ها بر اساس dBm است می‌توان (۱۹) را به صورت زیر بر اساس dBm بازنویسی کرد

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + 10 \log_{10} G_t + 10 \log_{10} G_r + 20 \log_{10} \lambda^2 - 20 \log_{10} (4\pi) - 20 \log_{10} (d) \quad (20)$$

پارامترهای مربوط به (۲۰) برای FBS، MBS و MU در جدول ۲ آورده شده است. به جای استفاده از (۲۰) برای به دست آوردن RSS در هر نقطه می‌توان از نرم‌افزار نسخه اندروید Network Cell info Lite استفاده کرد. بدین ترتیب با اندازه‌گیری‌های میدانی با استفاده از این نرم‌افزار RSS در نقاط مختلف اندازه‌گیری شده و نقشه GIS متناظر با این مقادیر به دست آمده در شکل ۸ و ۹ (a) ترسیم شده‌اند.

ب) لایه اطلاعاتی احتمال رخداد HOهای پینگ‌پنگی: این لایه اطلاعاتی به معماری ساختمانی که FBS در آن برپا شده، وابسته است و برای به دست آوردن این اطلاعات باید نقشه ساختمان در دسترس باشد.

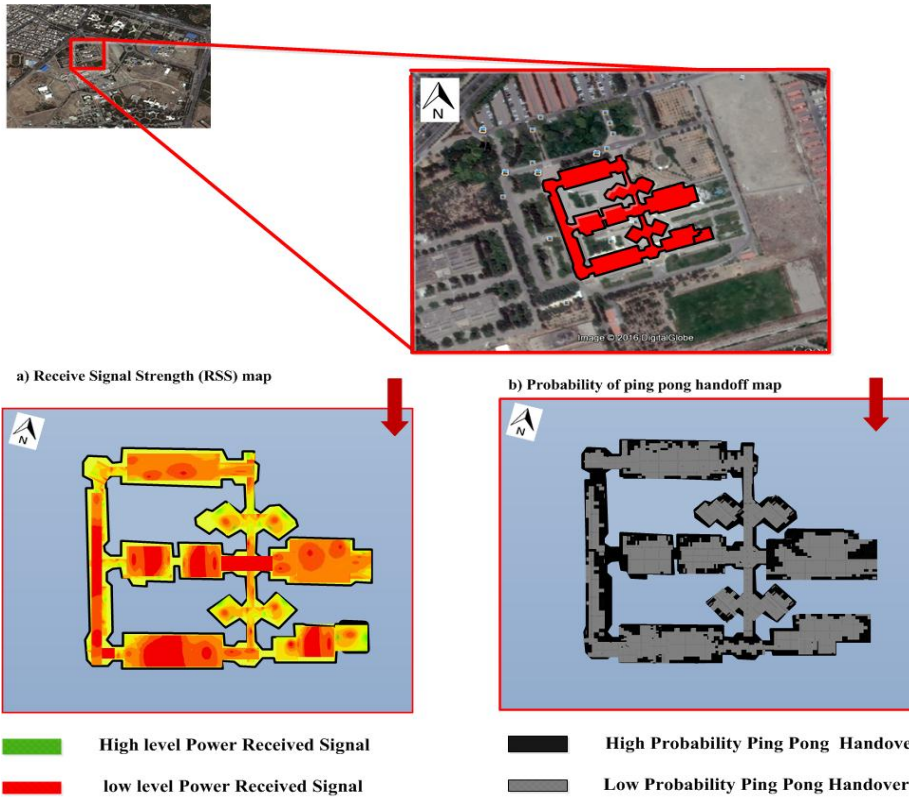


شکل ۸: دو لایه اطلاعاتی، (۱) لایه اطلاعاتی RSS برای MBS (از بالا اولین لایه) و (۲) احتمال رخداد HOهای پینگ‌پنگی (از بالا دومین لایه) به عنوان مبنایی برای استخراج $u(i)$ برای هدایت GSC در مدیریت HOهای بین FBS و MBS.

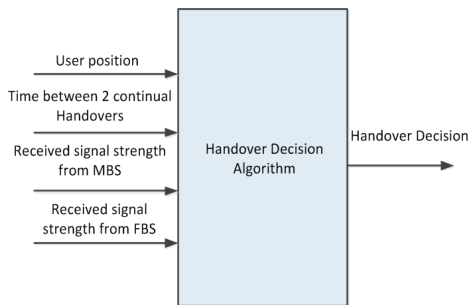
$$\begin{aligned} \min_f \frac{f^T Lf}{f^T Df} &= \min_f \frac{f^T (D_p - W_p) f}{f^T D_p f} = \\ &= \frac{f^T (U^T D - U^T W) f}{f^T U^T D f} \\ \min_f \frac{f^T U^T D f}{f^T U^T D f} - \frac{f^T U^T W f}{f^T U^T D f} &= \max_f \frac{f^T U^T W f}{f^T U^T D f} \\ \text{if } r(f) = \frac{f^T U^T W f}{f^T U^T D f} &\Rightarrow \frac{\partial r(f)}{\partial f} = \cdot \\ \frac{2 U^T W f (f^T U^T D f) - 2 (f^T U^T W f) U^T D f}{(f^T U^T D f)^2} &= \cdot \\ 2 U^T W f - 2 r(f) U^T D f &= \cdot \Rightarrow U^T W f = r(f) U^T D f \\ U^T W f &= \lambda U^T D f \end{aligned} \quad (18)$$

که دستگاه ویژه تممیم‌یافته حاصل می‌شود. بدین ترتیب مسأله بهینه‌سازی ارائه‌شده در دستگاه جدید حل می‌گردد. در بخش ۲-۴ نحوه استخراج دانش پیشین $u(i)$ با استفاده از اطلاعات جغرافیا مطرح شده است.

GIS layers for Engineering Department Ferdowsi University of Mashhad



شکل ۹: (a) سطح RSS دریافتی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد از MBS های موجود در منطقه و (b) احتمال رخداد handoff های ping pongی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی.



شکل ۱۰: پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی.

جدول ۲: پارامترهای ایستگاه فمتوسل، ماکروسل و گیرنده کاربر.

Macrocell Tx power	۳۳ dBm
Macrocell Antenna Gain	۱۸ dBi
Macrocell Antenna Height	۳۰ m
Femtocell TX power	۱۰ dBm
Femtocell Antenna Gain	۰ dBi
Femtocell Antenna Height	۲ m
User TX power	۲۳ dBm
User Antenna Height	۱٫۵ m
User Antenna Gain	۵-۶ dBi

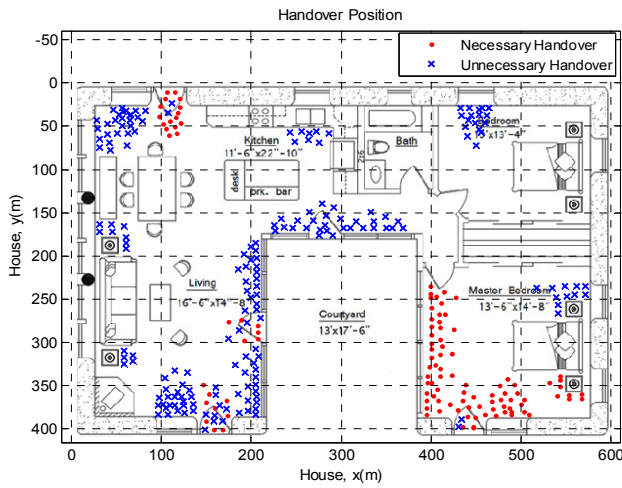
۳- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار Matlab نسخه R۲۰۰۹a به دست آمده و نقشه‌های ساختمانی با AutoCAD ۲۰۱۴ رسم شده‌اند. مطابق شکل ۱۰ در مرحله یادگیری تعدادی داده یادگیری وارد خوشه‌بند شده و برای تفکیک نواحی استفاده می‌شود. در اینجا هر یک از داده‌های یادگیری برداری با ۶ مؤلفه (یا بعد d) به صورت زیر است:

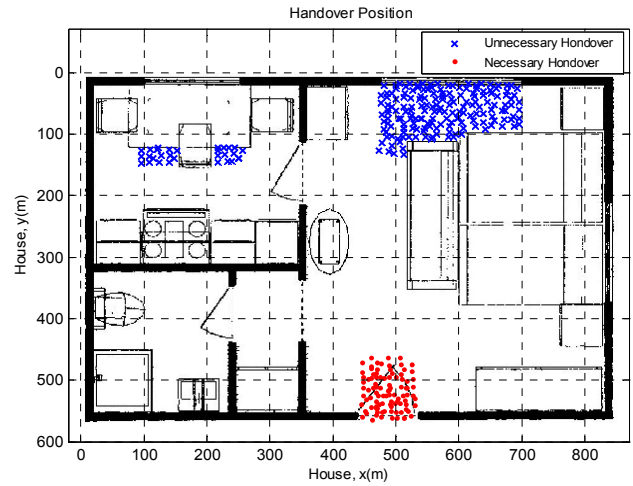
- موقعیت گیرنده متحرک در فمتوسل (طول، عرض و ارتفاع).
 - RSS از MBS در نقطه‌ای که کاربر درخواست HO می‌نماید.
 - RSS از FBS در نقطه‌ای که کاربر درخواست HO می‌نماید.
 - مدت زمان بین دو درخواست متوالی HO از FBS به MBS و یا برعکس.
- بردار داده‌های یادگیری x_i ها در کنار هم ماتریس داده‌های X را به صورت زیر تشکیل می‌دهند

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T, \quad x_i \in R^d \quad (21)$$

در ناحیه مجاور پنجره‌ها و دیوارهای شیشه‌ای به دلیل اتلاف توان کمتر با احتمال بیشتری HO های پینگ‌پنگی اتفاق می‌افتد و در نواحی داخلی این احتمال کمتر است. بر این اساس احتمال رخداد در موقعیت‌های مختلف محاسبه و نواحی به دو ناحیه سیاه (نواحی با احتمال ۰٫۹ رخداد HO) و خاکستری (نواحی با احتمال ۰٫۱ رخداد HO) تقسیم شده‌اند. مطابق شکل ۹ (b) می‌توان گفت اگر کاربر در نواحی سیاه قرار گیرد به احتمال زیاد دچار HO های پینگ‌پنگی می‌شود و بنا بر نقشه (a)، توان قوی‌ای از MBS دریافت کرده است. بر این مبنا SC در جهت تصمیم‌گیری صحیح هدایت شده و خوشه‌بند GSC شکل می‌گیرد. در این روش ضریب $u(i)$ برای HO های اتفاق افتاده در این بخش‌ها مقدار بزرگی خواهد داشت. نواحی داخلی بر مبنای شکل ۹، a و b دارای احتمال پایینی در HO پینگ‌پنگی و RSS دریافتی کوچک‌تری از MBS است. بر اساس مقادیر برگرفته از این دو لایه $u(i)$ ، با عدد کوچکی مقادیردهی می‌شود. بدین ترتیب GSC منجر به تقسیم‌بندی هوشمندانه نواحی و تفکیک صحیح HO های ضروری از غیر ضروری می‌شود.



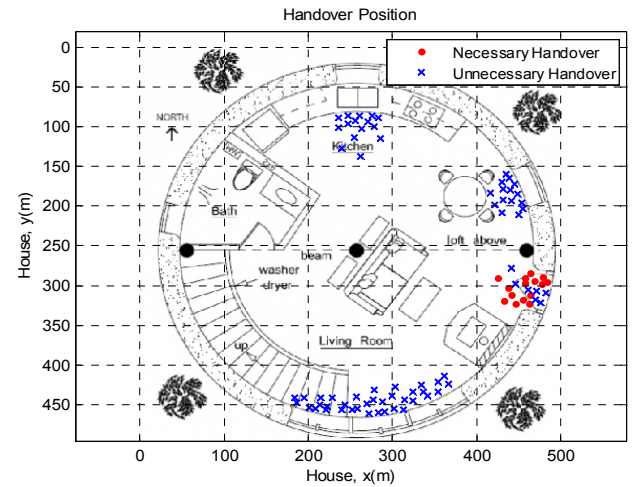
شکل ۱۳: روش SC برای سناریوی سوم.



شکل ۱۱: روش SC برای سناریوی اول.

جدول ۳: HPI_{drop} (درصد) در ارزیابی عملکرد روش‌های GSC، SC، FCM و k-MEANS.

ک-میان	مقدار HPI_{drop} (%)			تعداد نمونه‌ها	نام مجموعه داده
	FCM	SC	GSC		
۱۲,۹۳	۱۲,۲۴	۰	۰	۱۵۰	سناریوی ۱
۹,۵۲	۸,۵۷	۰	۰	۲۱۰	
۹	۸,۳۳	۰	۰	۳۰۰	
۶,۸۱	۷,۹۵	۷,۹۵	۱,۱۳	۱۵۰	سناریوی ۲
۶,۴۶	۷,۴۶	۳,۴۸	۱,۹	۲۱۰	
۵,۳۳	۵,۳۳	۲	۱,۶۶	۳۰۰	
۱۶,۶۶	۱۸	۱۰,۶۶	۱۰	۱۵۰	سناریوی ۳
۷,۳۳	۶,۶۶	۴,۳۳	۴,۳۳	۲۱۰	
۴,۶۷	۴,۷۶	۲,۳۸	۱,۹۰	۳۰۰	



شکل ۱۲: روش SC برای سناریوی دوم.

شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ نشان می‌دهند روش SC بسته به معماری و مجموعه داده‌های هر سناریو، در شناسایی نقاط مجاز و غیر مجاز متفاوت عمل می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده برای سناریوی اول و دوم در شکل ۱۱ و ۱۲ می‌توان گفت با پذیرفتن درصدی خطا، خوشه‌بند قادر به شناسایی نواحی و تفکیک دو ناحیه مجاز و غیر مجاز است. اما با توجه به نتیجه حاصل از سناریوی سوم که در شکل ۱۳ نمایش داده شده باید گفت در ساختمان‌هایی با معماری و چیدمان وسایل پیچیده‌تر، عملکرد روش SC افت می‌کند. برای رفع این ضعف روش پیشنهادی GSC در بخش ۳-۲ از دانش پیشین جغرافیایی بهره برده است.

۳-۲ روش GSC

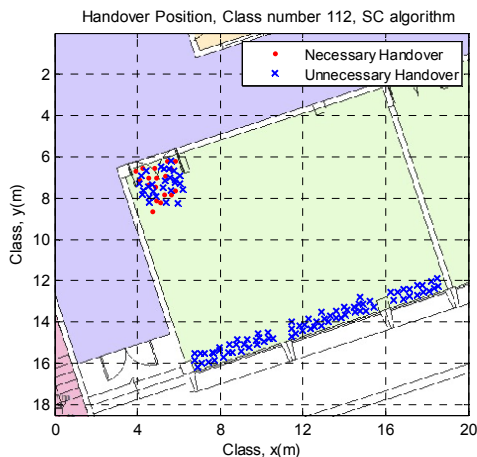
در این بخش به منظور بهبود عملکرد روش SC، روش GSC که تعمیم‌یافته آن می‌باشد پیشنهاد شده است. این روش در تشخیص نواحی مجاز و غیر مجاز از دو نقشه اطلاعاتی الف) نقشه احتمال HOهای پینگ‌پنگی و ب) نقشه RSS از MBS استفاده می‌کند. بنابراین برای هر یک از سه سناریوی مطرح‌شده در بخش ۳-۱، مشابه شکل ۸ و ۹ (که برای دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شده) دو لایه اطلاعات GIS (۱) توان دریافتی از ماکروسول و (۲) احتمال رخداد HOهای پینگ‌پنگی به دست می‌آید. مطابق این دو لایه ضریب $u(i)$ برای هر سناریو مقداردهی و روش GSC بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد. نتایج مربوط به روش GSC در شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ آورده شده است. با مقایسه نتایج به دست آمده در شکل‌های ۱۱ و ۱۴ برای سناریوی اول،

که n تعداد داده‌های یادگیری است که مطابق جدول ۳ در شبیه‌سازی با مقادیر مختلف برای سناریوهای مختلف (۱۵۰، ۲۱۰ و ۳۰۰) در نظر گرفته شده است.

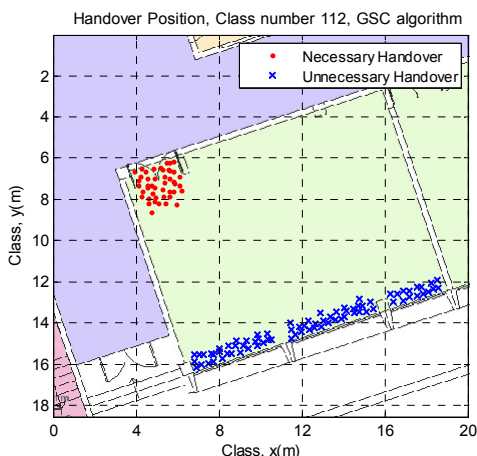
۳-۱ روش SC

به دلیل وابستگی HOهای درون فمتوسل به معماری ساختمان، عملکرد روش برای سه معماری متفاوت (ساختمان مسکونی یا اداری) با چیدمان منحصر به فرد وسایل، در نظر گرفته شده و نتایج شبیه‌سازی به دست آمده است. در نهایت در یک سناریوی واقعی، عملکرد روش برای ساختمان دانشکده مهندسی بررسی شده است. روش SC شبیه‌سازی شده و نتایج مربوط به سناریوی اول تا سوم به ترتیب در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ آمده است. شکل ۱۱ نتیجه SC برای معماری ساده از ساختمان مسکونی با دو پنجره و یک در ورودی را نشان می‌دهد. همان‌طور که پیش از این گفته شد ناحیه مجاور در ورودی ساختمان جزء نواحی مجاز برای اتفاقی افتادن HO است و روش مورد استفاده نباید مانع رخ دادن HO در این نواحی شود. مطابق شکل ۱۱ روش SC در تشخیص ناحیه مجاز این سناریو بدون خطا عمل کرده است. مطابق شکل‌های ۱۲ و ۱۳ می‌توان گفت با پیچیده‌تر شدن معماری ساختمان، کارایی روش SC در تفکیک نواحی کاهش یافته و در تفکیک نواحی با خطا همراه است.

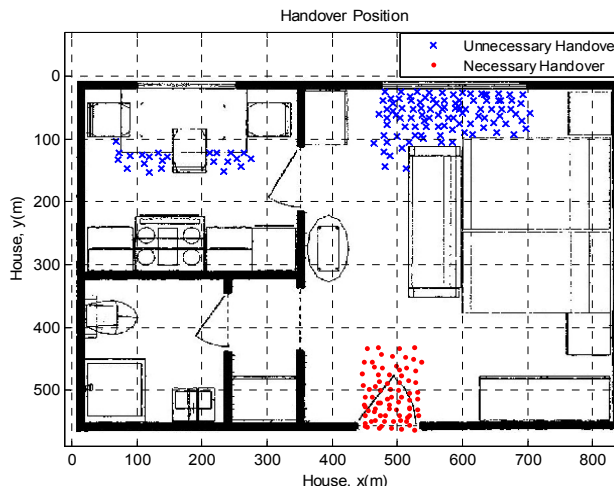
در همه نتایج به دست آمده، علامت ضریب مربوط به نواحی غیر مجاز و علامت دایره نواحی مجاز رخداد HO است. همان‌طور که نتایج در



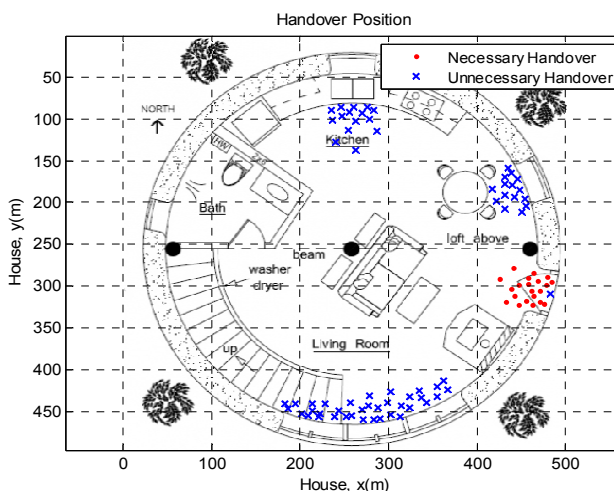
شکل ۱۷: روش SC در کلاس ۱۱۲ از دانشکده مهندسی.



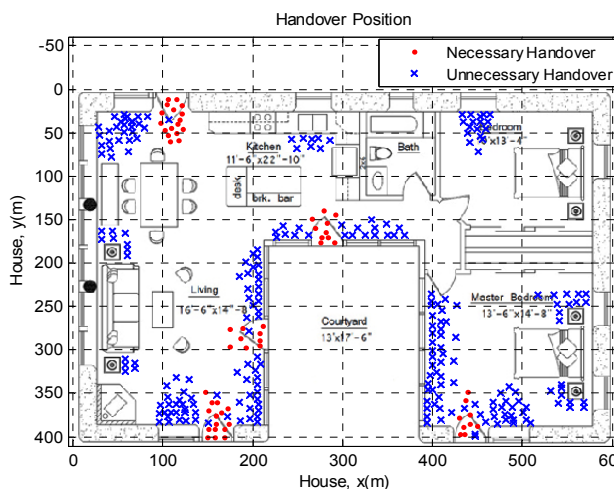
شکل ۱۸: روش GSC در کلاس ۱۱۲ دانشکده مهندسی.



شکل ۱۴: روش GSC در سناریوی اول.



شکل ۱۵: روش GSC در سناریوی دوم.



شکل ۱۶: روش GSC در سناریوی سوم.

۳-۳ مقایسه عملکرد دو روش SC و GSC برای سناریوی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

در این بخش عملکرد دو روش پیشنهادی SC و GSC برای HOهای اتفاق افتاده در ناحیه فمتوسلی که در کلاس ۱۱۲ از دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد قرار دارد بررسی شده است. همان طور که در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ دیده می‌شود FBS در کلاس ۱۱۲ به مساحت $5 \times 6 \text{ m}^2$ قرار داشته و عملکرد دو روش SC و GSC در تشخیص HOهای ضروری و غیر ضروری با هم مقایسه شده‌اند. نواحی مجاور در ساختمان جزء نواحی مجاز HO و اطراف پنجره و سایر نواحی غیر مجاز است. انتظار می‌رود داده‌ها در نواحی مجاز همگی با علامت ضربدر از سایر نواحی تفکیک شوند.

بر مبنای نتایج به دست آمده در شکل ۱۷ و ۱۸، روش GSC نسبت به SC با خطای کمتری HOهای ضروری را از غیر ضروری تفکیک کرده است. خطای کمتر یعنی به بیشترین تعداد HOهای ضروری اجازه وقوع دهد و این به معنای کمترین تعداد مکالمات از دست رفته است. از طرفی دیگر باید از بیشترین تعداد رخداد HOهای غیر ضروری ممانعت کند که موجب کاهش بار ترافیک بر روی MBSی که فمتوسل در آن واقع است می‌شود. بر اساس شکل ۱۷، روش SC مانع وقوع ۲۶ مورد از HOهای ضروری شده که در ناحیه جلوی درب کلاس با ضربدرهای آبی نمایش داده شده‌اند و این در حالی است که مطابق شکل ۱۸ روش GSC به تمام HOهای ضروری اجازه رخ دادن داده است.

دیده می‌شود که با به کارگیری این دو لایه، خطا کاهش یافته و عملکرد GSC نسبت به SC در تفکیک نواحی، بهبود یافته است. با مقایسه نتایج مربوط به سناریوهای ۲ و ۳ در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ به ترتیب با شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نیز دیده می‌شود که خطای تفکیک نواحی کاهش یافته است. بنابراین این سه سناریو، روش GSC نسبت به روش SC در موارد مشابه با خطای کمتری به HOهای مجاز اجازه وقوع داده و از انجام HOهای غیر مجاز ممانعت می‌کند.

FBS-MBS مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور با معیار HPI_{drop} عملکرد این دو روش با روش‌های k -means و FCM مقایسه و در جدول ۳ نتایج حاصل آورده شده است. معیار HPI_{drop} مطابق [۱۸] و [۲۱] به صورت زیر تعریف می‌شود

$$HPI_{drop} = \frac{N_{Hdrop}}{N_{Total}} \quad (22)$$

در (۲۲) N_{Hdrop} تعداد HOهای ناموفق و N_{Total} تعداد کل HOها است. بنابراین روشی که HPI_{drop} کمتری داشته باشد یعنی تعداد کمتری از HOهای ضروری را رد کرده و عملکرد مناسب‌تری دارد. در جدول ۳ برای سه سناریو مطرح‌شده نتایج برای چهار روش SC، GSC، FCM و k -means آمده است. برای هر یک از سناریوها با سه مجموعه داده با ۶ ویژگی و تعداد ۱۵۰، ۲۱۰ و ۳۰۰، نتایج به دست آمده است. باید در نظر داشت تعداد داده‌ها در سناریوهای مختلف به دلیل تفاوت در معماری‌ها و لزوم تعداد کافی داده برای پوشش کامل نواحی مجاز و غیر مجاز فمتوسل، متفاوت بوده و در نتیجه نهایی بی‌تأثیر است.

مطابق با نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ برای سناریوی اول نتایج عملکرد چهار روش SC، GSC، FCM، k -means در شکل ۲۰ الف تا د نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود روش FCM و k -means در تفکیک نواحی مجاز و غیر مجاز برای رخدادهای HO به خوبی عمل نکرده و بر مبنای نتایج جدول ۳ بر اساس معیار HPI_{drop} ، به ترتیب با ۹۵٪ و ۸۵٪ خطا همراه هستند. این در حالی است که روش SC و GSC خطایی در تفکیک نواحی برای این سناریو ندارند. با توجه به مقادیر خطای به دست آمده در سه سناریو می‌توان گفت روش GSC عملکرد بهتری نسبت به سه روش دیگر دارد. عملکرد روش SC نیز تا حدودی به سناریو وابسته است اما در حالت کلی دو روش FCM و k -means نسبت به دو روش پیشنهادی خطای قابل توجهی دارند.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این مقاله مدیریت HO سیگنال در شبکه‌های ناهمگن به کمک دو خوشه‌بند پیشنهاد شد. برای سپردن مدیریت درخواست‌های HO سیگنال کاربر متحرک، در لایه فمتوسل- ماکروسل به ایستگاه پایه فمتوسل به صورت مستقل از ایستگاه پایه ماکروسل، لازم است روشی هوشمند و خودکار ارائه شود تا علاوه بر این که هزینه مربوط به برپایی فمتوسل‌ها از دوش اپراتورها برداشته شود، پیچیدگی مدیریت شبکه و بار ترافیک داده روی ایستگاه پایه ماکروسل نیز کاهش یابد.

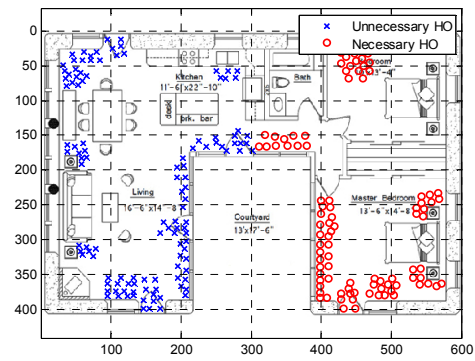
روش‌های مختلفی توسط محققین برای این مسأله ارائه شده که هر یک از آنها از دیدگاه خاصی موضوع را بررسی کرده‌اند. یک راه حل، استفاده از ابزار خوشه‌بندی است. در این راستا در این مقاله روش هوشمند و جدیدی پیشنهاد شد که با استفاده از روش خوشه‌بندی طیفی و روش خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر اطلاعات جغرافیایی، به طور خودکار این پدیده را کنترل کرد. روش پیشنهادشده از سه نظر بررسی شد:

الف) استفاده از خوشه‌بندی طیفی در مدیریت دست به دست شدگی‌های بین فمتوسل و ماکروسل.

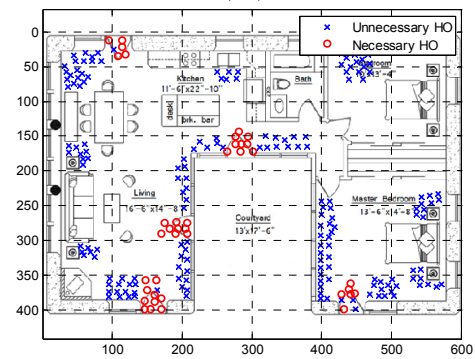
ب) استفاده از دانش جغرافیایی و لایه‌های GIS به عنوان دانش پیشین.

ج) هدایت خوشه‌بندی طیفی با استفاده از دانش پیشین بند ب.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته نشان داد که روش پیشنهادی اول با کمک خوشه‌بند طیفی نسبت به روش‌های k -means و



(الف)



(ب)

شکل ۱۹: نتایج شبیه‌سازی روش GSC برای ابعاد مختلف فضای ویژگی، (الف) نمونه‌های یادگیری شامل ۳ ویژگی طول، عرض و ارتفاع موقعیت کاربر و (ب) نمونه‌های یادگیری شامل ۳ ویژگی مذکور، به علاوه RSS از MBS، RSS از FBS و تأخیر بین دو HO متوالی.

۳-۴ تأثیر تعداد ویژگی‌ها بر عملکرد دو روش SC و GSC

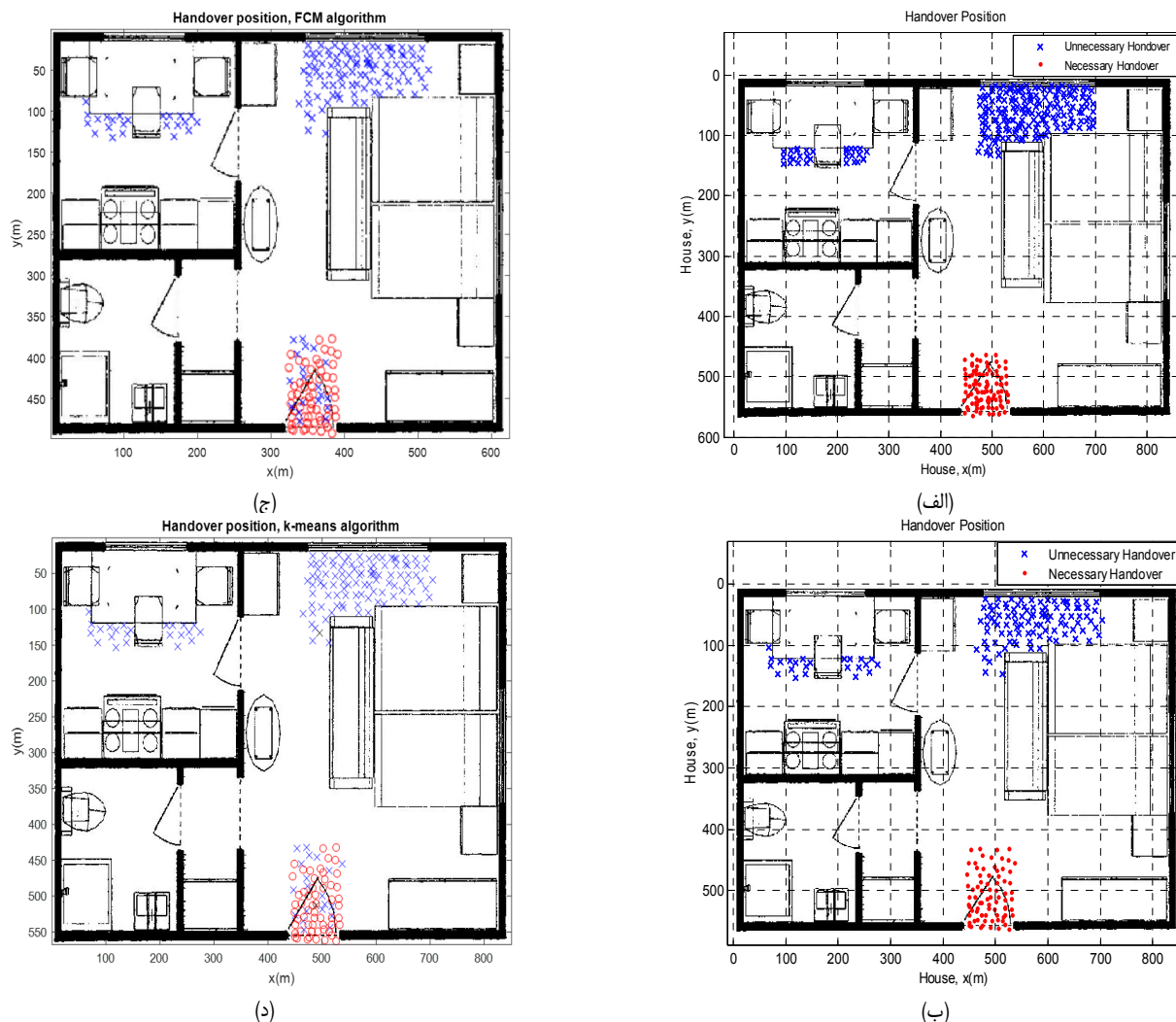
ابعاد فضای ویژگی بر عملکرد روش‌های خوشه‌بندی مؤثر است. برای بررسی این تأثیر بر روی روش GSC نتایج شبیه‌سازی مطابق شکل ۱۹ به دست آمده است. به عبارتی در اینجا ضرورت استفاده از سه ویژگی RSS از MBS، RSS از FBS و تأخیر بین دو HO متوالی، در کنار موقعیت کاربر مورد بحث قرار گرفته است. در شکل ۱۹ نتایج برای روش GSC در دو حالت بررسی شده است: (الف) نمونه‌های یادگیری با ۳ ویژگی طول، عرض و ارتفاع موقعیت کاربر و (ب) نمونه‌های یادگیری با ۳ ویژگی مذکور به علاوه RSS از MBS، RSS از FBS و تأخیر بین دو HO متوالی.

در شکل ۱۹- الف دیده می‌شود که روش GSC با ۳ ویژگی ذکرشده در مورد (الف) عملکرد ضعیفی در تفکیک HOهای ضروری از غیر ضروری داشته و داده‌های ورودی را به دو دسته کلی بر حسب موقعیت آنها تقسیم‌بندی می‌کند.

مطابق ۱۹- ب با ۶ ویژگی، عملکرد روش GSC به طور چشم‌گیری بهبود می‌یابد و از کل HOهای ضروری که با دایره نمایش داده شده، تنها ۵ مورد خطا رخ داده است (۵ علامت ضربدر نواحی مجاز). این نتایج نشان می‌دهد که فضای ویژگی در نظر گرفته شده با ۶ بعد، فضای مناسبی است. نتایج برای روش SC نیز به همین ترتیب قابل تحلیل است.

۳-۵ ارزیابی دو روش پیشنهادی

در این بخش عملکرد روش SC و GSC در مدیریت HOهای بین



شکل ۲۰: مقایسه عملکرد چهار روش (الف) k-means، (ب) FCM، (ج) SC و (د) GSC در تفکیک HOهای مجاز از غیر مجاز برای سناریوی اول.

- [4] X. Yan, Y. A. Sekercioglu, and S. Narayanan, "A survey of vertical handover design algorithm in fourth generation heterogeneous wireless networks," *Computer Networks*, vol. 54, no. 11, pp. 1848-1863, Aug. 2010.
- [5] S. Lee, K. Sriram, K. Kim, J. Lee, Y. H. Kim, and N. Gollmie, "Vertical handoff decision algorithm for providing optimized performance in heterogeneous wireless network," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 2, pp. 865-881, Feb. 2008.
- [6] D. Wong, *Handoff Algorithms Using Pattern Recognition*, Ph.D Thesis, Stanford University, 1998.
- [7] D. Xenakis, N. Passas, L. Merakos, and C. Verikoukis, "Mobility management for femtocells in LTE-advanced: key aspects and survey of handover decision algorithms," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 64-91, 1st Quarter 2014.
- [8] T. E. Mathonsi and O. P. Kogeda, "Handoff delay reduction model for heterogeneous wireless networks," in *Proc. IST-Africa Week Conf.*, 7 pp., Durban, , South Africa, 11-13 May 2016.
- [9] T. Bilen, B. Canberk, and K. R. Chowdhury, "Handover management in software-defined ultra-dense 5G networks," *IEEE Network*, vol. 31, no. 4, pp. 49-55, Jul./Aug. 2017.
- [10] W. Wang, Q. Liao, and Q. Zhang, "COD: a cooperative cell outage detection architecture for self-organizing femtocell networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 13, no. 11, pp. 6007-6014, Nov. 2014.
- [11] H. Sinky, B. Hamdaoui, and M. Guizani, "Proactive multipath TCP for seamless handoff in heterogeneous wireless access networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 15, no. 7, pp. 4754-4764, Jul. 2016.
- [12] Y. Li, B. Cao, and C. Wang, "Handover schemes in heterogeneous LTE networks: challenges and opportunities," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 2, pp. 112-117, Apr. 2016.
- [13] H. Kalbkhani, S. Yousefi, and M. G. Shayesteh, "Adaptive handover algorithm in heterogeneous femtocellular networks based on received signal strength and signal-to-interference-plus-noise ratio

FCM عملکرد بهتری در تفکیک نواحی مجاز و غیر مجاز دارد. در ادامه برای کاهش خطای روش خوشه‌بند طیفی، نسخه بهبودیافته آن یعنی خوشه‌بند طیفی مبتنی بر دانش جغرافیا پیشنهاد شد.

این روش با استخراج دو نقشه GIS در ناحیه تحت پوشش فمتوسل: (۱) توان دریافتی از ماکروسل و (۲) احتمال رخداد دست به دست شدگی‌های پینگ‌گنگی، روش پیشنهادی اول را هدایت کرد. به نظر می‌رسد تهیه چنین نقشه‌هایی به عنوان اطلاعات جانبی در هدایت این خوشه‌بند در سایر کاربرها نیز مؤثر باشد. بر مبنای نتایج شبیه‌سازی، دو روش مذکور به میزان قابل قبولی خطای روش‌های FCM و k-means را کاهش داد. سناریوی کلاس ۱۱۲ دانشکده مهندسی به عنوان یک سناریوی واقعی، نتایج به دست آمده را تأیید می‌کند.

مراجع

- [1] ۳ بر مبنای G/UMTS.ع. طهماسبی و ج. طاهری، "بررسی روند تکامل شبکه‌های ۳، سیزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، GPP استانداردهای دانشگاه تربیت مدرس، ۸ صص، تهران، شهریور ۱۳۸۹.
- [2] 3GPP TR 23.234 v7.1.0, Universal Mobile Telecommunications system (UMTS); 3GPP System to WLAN Interworking; interworking; System Description (Release 7), Mar. 2008, <http://www.3gpp.org/DynaReport/23234.htm>
- [3] J. Zhang and G. D. L. Roche, *Femtocells Technologies and Deployment*, A John Wiley and Sons, Ltd, Publication, United Kingdom, 2010.

طاهره بحرینی در سال ۱۳۹۰ مدرک کارشناسی مهندسی برق و مخابرات خود را از دانشگاه خلیج فارس بوشهر و در سال ۱۳۹۲ کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش مخابرات- سیستم خود را از دانشگاه صنعتی شیراز دریافت نمود. از ۱۳۹۴ به دوره دکترای مهندسی برق و مخابرات- سیستم در دانشگاه فردوسی در مشهد وارد گردید. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند سیستم‌های مخابرات سلولی نسل ۵، شبکه‌های رادیوشناختی، دست به دست شدگی سیگنال، سیگنال‌های باند وسیع، طراحی مفهومی سیستم‌های رادار و جنگال، پردازش سیگنال، پردازش تصاویر فراطیفی، شناسایی آماری الگو، و یادگیری ماشین می‌باشد.

مونا ضمیری در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر- نرم افزار خود را از دانشگاه خيام و در سال ۱۳۹۶ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- هوش مصنوعی خود را از دانشگاه فردوسی در مشهد دریافت نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده شامل موضوعاتی مانند یادگیری ماشین، خوشه‌بندی، سیستم‌های توصیه‌گر و تحلیل داده‌های برچسب گذاری شده جغرافیایی می‌باشد.

هادی صدوقی یزدی هم‌اکنون استاد گروه مهندسی کامپیوتر در دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. ایشان در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق را به ترتیب در سال ۱۳۷۵ و ۱۳۸۴ از دانشگاه تربیت مدرس دریافت نمود. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شناسایی آماری الگو، یادگیری ماشین، بینایی ماشین، پردازش سیگنال.

- prediction," *IET Communications*, vol. 8, no. 17, pp. 3061-3071, Nov. 2014.
- [14] V. Kantubukta, S. Maheshwari, S. Mahapatra, and C. S. Kumar, "Energy and quality of service aware fuzzy-technique for order preference by similarity to ideal solution based vertical handover decision algorithm for heterogeneous wireless networks," *IET Networks*, vol. 2, no. 3, pp. 103-114, Sep. 2013.
- [15] N. Sinclair, D. Harle, I. A. Glover, and R. C. Atkinson, "A kernel methods approach to reducing handover occurrences within LTE," in *Proc. 18th European Wireless Conf.*, 8 pp., Poznan, Poland, 18-20 Apr. 2012.
- [16] Z. Sanip, D. Harle, R. Atkinson, and N. Sinclair, "KernelSOM handover optimisation: outdoor performance evaluations," in *Proc. Int. Conf. on Computer, Communications, and Control Technology. I4CT'15*, pp. 459-463, Kuching, Malaysia, 21-23 Apr. 2015.
- [17] N. Sinclair, D. Harle, I. A. Glover, J. Irvine, and R. C. Atkinson, "An advanced SOM algorithm applied to handover management within LTE," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 5, pp. 1883-1894, Jun. 2013.
- [18] P. Munoz, R. Barco, and I. de la Bandera, "On the potential of handover parameter optimization for self-organizing networks," *Vehicular Technology, IEEE Trans. on*, vol. 62, no. 5, pp. 1895-1905, Jun. 2013.
- [19] U. von Luxburg, "A tutorial on spectral clustering," *Statistics and Computing*, vol. 17, no. 4, pp. 395-416, Dec. 2007.
- [20] S. Bao, C. Guo, and S. Chai, "A note on spectral clustering method based on normalized cut criterion," in *Proc. Chinese Conf. on Pattern Recognition*, 5 pp., 4-6 Nov. 2009.
- [21] T. Jansen, I. Balan, J. Turk, I. Moerman, and T. K. Kurner, "Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks," in *Proc. 72nd IEEE Veh. Technol. Conf.*, 5 pp., Sept. 2010.