

Maurizio Murrone 1, Matteo Anedda 1, Mauro Fadda 2, Pietro Ruiu 2, Vlad Popescu 3, Corneliu Zaharia 3,\* and Daniele Giusto 1

1 گروه مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه کالیاری، 09123 کالیاری، ایتالیا؛  
ddgiusto@unica.it (D.G.)؛ matteo.anedda@unica.it (M.A.)؛ m.murrone@ieee.org (M.M.)

2 گروه علوم زیست‌پزشکی، دانشگاه ساساری، 07100 ساساری، ایتالیا؛  
pruiu@uniss.it (P.R.)؛ mfadda1@uniss.it (M.F.)

3 گروه الکترونیک و رایانه، دانشگاه ترانسیلوانیا براشوف، 500068 براشوف، رومانی؛  
vlad.popescu@unitbv.ro

• نویسنده‌ی مسئول corneliuzaharia@unitbv.ro

### چکیده:

شهرهای هوشمند و فناوری 6G حوزه‌هایی هستند که در سال‌های پیش‌رو می‌توانند شیوه زندگی و کار ما را دگرگون کنند. تا زمانی که این تحول به‌طور کامل تحقق یابد، طبق پژوهش‌ها و مطالعات بازار، نیاز به بازنگری جدی در کل بخش ارتباطات بی‌سیم برای شهرهای هوشمند وجود دارد؛ بخشی که باید زیرساخت اینترنت اشیا، عوامل اقتصادی مؤثر بر سرعت پذیرش آن، و راهبردهای لازم برای بهره‌برداری شهری هوشمند را در بر بگیرد. بنابراین، از دیدگاه فنی، مجموعه‌ای از چالش‌های مهم مانند سازگاری و تعامل‌پذیری، حریم خصوصی داده، امنیت، شکاف دیجیتالی و مسائل پیاده‌سازی باید مورد توجه قرار گیرد. به‌ویژه برای تمرکز بر شهرهای هوشمند و تأثیر آینده 6G، بنیان‌هایی که فناوری 5G کنونی—با نقش چندوجهی و محدودیت‌های ذاتی‌اش—در حوزه شهرهای هوشمند بنا کرده است، به عنوان نقطه شروع در نظر گرفته می‌شود. این بررسی در نهایت یک دیدگاه جامع ارائه می‌دهد که تنها به تعریف استاندارد 6G محدود نمی‌شود بلکه طیف گسترده‌ای از کاربردهای بالقوه‌ای را که این استاندارد نوظهور می‌تواند برای شهرهای هوشمند به ارمغان آورد نیز آشکار می‌کند. این مقاله به‌روزرسانی‌ای درباره اکوسیستم شهر هوشمند پیرامون پارادایم جدید 6G ارائه می‌دهد و مجموعه‌ای از فناوری‌های توانمندساز را همراه با توضیح نقش‌ها و شیوه‌های به‌کارگیری آن‌ها گردآوری می‌کند.

کلیدواژه‌ها: شهر هوشمند، هوشمندسازی حمل‌ونقل، 5G، 6G

### 1. مقدمه

ارتباطات بی‌سیم نسل ششم (6G) نسل بعدی ارتباطات پس از نسل پنجم (5G) است. از نظر فناوری، این نسل از پاندهای فرکانسی بالاتر استفاده می‌کند و ظرفیت بیشتر را همراه با تأخیر کمتر فراهم می‌سازد، که امکان یکپارچه‌سازی در یک شبکه واحد با توان عملیاتی و قابلیت اطمینان بالاتر را فراهم می‌کند. این ویژگی‌ها، شبکه‌های 6G را برای پذیرش گسترده اینترنت اشیا (IoT) ایده‌آل می‌سازد، به‌ویژه با توجه به اینکه در مدت کوتاهی انتظار می‌رود تعداد دستگاه‌های متصل به زیرساخت IoT به میلیاردها دستگاه برسد [1]. در حال حاضر، اطلاعات کمی درباره استاندارد جدید بی‌سیم 6G در دسترس است، اما با توجه به پیشرفت سریع سیستم‌های بی‌سیم، ورود ارتباطات 6G اجتناب‌ناپذیر است [2]. گذار به استاندارد جدید 6G، همان‌گونه که در مرجع [3] نیز تأکید شده، به دلیل دامنه فرکانسی گسترده‌تر و نرخ انتقال تقویت‌شده، می‌تواند تغییر بنیادینی ایجاد کند. برخلاف 5G، ارتباطات 6G به توان مصرفی بالا نیاز ندارد.

از نظر امنیت، پردازش داده، تشخیص تهدید و رمزگذاری داده‌ها از جمله چالش‌هایی هستند که شبکه‌های G 6 با استفاده از سامانه‌های امنیتی غیرمتمرکز و مدیریت پویا و محلی ترافیک داده بهبود خواهند بخشید [4] در مرجع [5] کاربردهای نوظهور همراه با فناوری‌های کلیدی توانمندساز تحلیل شده‌اند، و پروژه‌های پژوهشی فعلی به همراه چالش‌های فنی مربوط به شبکه‌های آینده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در پژوهش [5]، کاربردهای نوظهور به همراه فناوری‌های کلیدی توانمندساز بررسی شده‌اند و پروژه‌های تحقیقاتی کنونی و چالش‌های فنی مرتبط با مسیرهای پژوهشی آینده به‌سوی G 6 مورد بحث قرار گرفته‌اند. مرجع [6] یک تصویر جامع از چشم‌انداز G6، نیازمندی‌های فنی و سناریوهای کاربردی ارائه می‌دهد و همچنین برخی از بسترهای آزمایشی موجود و پلتفرم‌های پیشرفته‌ی ارزیابی G 6 را توصیف می‌کند. در مرجع [7]، یکی از نوآوری‌های کلیدی یعنی استفاده از باند تراهرتز (THz) به‌صورت عمیق بررسی شده است؛ این بررسی شامل ویژگی‌های انتشار کانال، روش‌های مدل‌سازی و قابلیت‌های اندازه‌گیری برای کاربردهای ارتباطی G 6 است و توصیه‌هایی برای استفاده کارآمد از آن ارائه می‌دهد. مرجع [8] نقش‌های G 6 را با تمرکز بر پنج حوزه اصلی کاربردهای اینترنت اشیا بررسی می‌کند: مراقبت سلامت، پهپادها، سامانه‌های حمل‌ونقل و رانندگی خودکار، ماهواره، و اینترنت اشیا صنعتی.

در این مقاله، ما به‌صورت عمیق‌تر فناوری‌های کلیدی G 6 را بررسی می‌کنیم و مشخص می‌سازیم که چگونه می‌توان از آن‌ها در کنار یک پارادایم دیگر که در حوزه فناوری‌های نوظهور مطرح شده است بهره برد؛ یعنی شهر هوشمند (SC). شهر هوشمند یک شهر است که در آن شبکه‌های ارتباطی و خدمات سنتی با استفاده از راهکارهای دیجیتال و بلادرنگ کارآمدتر می‌شوند و مزایای فنی، اقتصادی و اجتماعی برای ساکنان و کسب‌وکارها ایجاد می‌کنند. شهرهای هوشمند از فناوری‌های دیجیتال برای استفاده بهتر از منابع بهره می‌برند؛ از جمله شبکه‌های هوشمند حمل‌ونقل، پایش بهتر و تسهیلات مناسب‌تر تأمین آب، مدیریت بهینه پسماند و روش‌های کارآمدتر روشنایی و گرمایش ساختمان‌ها. از سوی دیگر، حکومت شهری تعاملی‌تر و پاسخگوتر می‌شود، فضاهای عمومی ایمن‌تر می‌گردند و نیازهای جمعیت سالمند بهتر تأمین می‌شود.

طبق تحقیقات و مطالعات بازار [2]، نیاز فوری برای بازنگری اساسی کل بخش ارتباطات بی‌سیم در شهرهای هوشمند با محوریت ارتباطات کم‌مصرف وجود دارد. این بازنگری باید شامل زیرساخت اینترنت اشیا، عوامل اقتصادی مؤثر بر نرخ پذیرش آن، و راهبردهایی باشد که عملیات شهرهای هوشمند را امکان‌پذیر می‌سازد. توسعه مفهوم شهر هوشمند به‌شدت به اتصال همه‌جایی وابسته است، زیرا زیرساخت موجود ارتباطی توان همگام شدن با رشد سریع و عملکرد گسترده شهرهای هوشمند را ندارد؛ این موضوع دلیل اصلی نیاز به یک فناوری با نرخ انتقال بالاتر و بهره‌وری انرژی بیشتر مانند ارتباطات G 6 است. در نتیجه، می‌توان با اطمینان گفت که توسعه مفهوم شهر هوشمند به‌طور موازی با توسعه فناوری‌های G 6 رخ خواهد داد [2]

ایده پشت این مقاله، روزآمدسازی اکوسیستم شهری هوشمند بر اساس پارادایم جدید G 6 است؛ بدین معنا که فناوری‌های توانمندساز گردآوری شده و نقش و روش‌های کاربردی آن‌ها تشریح می‌شود. بررسی دقیق ادبیات موجود نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود مطالعات متنوع درباره G6، کمبود پژوهش‌های جامع درباره طیف کاربردهای G 6 در شهرهای هوشمند محسوس است. این مقاله مروری کامل از G 6 و فناوری‌های مرتبط ارائه می‌دهد و چالش‌های ناشی از این پارادایم‌ها و فناوری‌های نوظهور را در زمینه شهرهای هوشمند بررسی می‌کند. ساختار مقاله به این صورت است: بخش 2 به فناوری‌های کلیدی که پایه عملکرد شهرهای هوشمند هستند می‌پردازد. این بخش اجزای حیاتی و عناصر زیرساختی لازم برای تحقق شهر هوشمند را بررسی می‌کند و درکی پایه‌ای برای مباحث بعدی ایجاد می‌نماید. در بخش 3، مقاله تحلیلی فشرده اما مفید از مسیر تکامل نسل‌های مختلف شبکه‌های موبایل تا دوران نوظهور G 6 ارائه می‌کند. این بررسی نه تنها مسیر تاریخی توسعه را دنبال می‌کند، بلکه تغییرات مهم رخ داده در طول زمان را برجسته می‌سازد. بخش 4 به بررسی دقیق پیچیدگی‌های مدیریت منابع در شهرهای هوشمند به‌ویژه در بستر فناوری G 5 اختصاص دارد و چالش‌ها و مسائل موجود در طراحی و پیاده‌سازی شهرهای هوشمند بر پایه G 5 را ارزیابی می‌کند. بخش 5 روایتی کامل از پیدایش و ظهور فناوری G 6 را ارائه می‌دهد و عواملی را که ضرورت توسعه این فناوری نسل بعدی را ایجاد کرده‌اند، شرح می‌دهد. در بخش 6، مقاله به‌طور خلاصه ظرفیت‌های گسترده‌ای را که G 6 برای شهرهای هوشمند فراهم می‌کند بیان می‌کند و توضیح می‌دهد که چگونه ادغام G 6 می‌تواند راهکارهای نوآورانه ایجاد کند و ظرفیت شهرهای هوشمند را افزایش دهد. بخش 7 نمایی کلی از شهرهای هوشمند توانمندسازی شده با G 6 ارائه می‌دهد و با بررسی چندین منبع معتبر، چشم‌انداز جامعی از این موضوع را ترسیم می‌کند.

این بررسی جامع، تصویری کلی از بهبودها و پیشرفت‌های مورد انتظار در شهرهای هوشمند، حاصل از ادغام قابلیت‌های G 6 ارائه می‌دهد. بخش 8 نمونه‌هایی از شهرهای هوشمند را که پیش‌تر در نقاط مختلف جهان پیاده‌سازی شده‌اند معرفی می‌کند. در نهایت، در بخش 9، مقاله دیدگاه‌های به‌دست‌آمده از مباحث پیشین را جمع‌بندی می‌کند. این بخش فهرستی از

چالش‌های موجود، پیامدهای استنباط‌شده، و مجموعه‌ای از نتایج جامع را ارائه می‌دهد که نکات کلیدی این مطالعه گسترده را برجسته می‌کنند. بخش اختصارات در انتهای مقاله، تمامی سرواژه‌ها را به ترتیب ظهور همراه با توضیحاتشان فهرست کرده است تا خواندن متن آسان‌تر شود.

## 2. مروری بر شهرهای هوشمند

این بخش ویژگی‌های اصلی یک شهر هوشمند را به‌طور خلاصه توضیح می‌دهد و بر فناوری‌های توانمندساز (بخش 2.1) و مدیریت منابع درگیر (بخش 2.2) تمرکز دارد. علاوه بر این، چالش‌ها و فرصت‌ها نیز به‌صورت کوتاه بررسی و تحلیل شده‌اند (بخش 2.3).

### 2.1. فناوری‌های توانمندساز

افزایش مداوم قدرت پردازشی، همراه با تثبیت G5 و توسعه G6، عناصر کلیدی نوآوری در شهرهای هوشمند هستند؛ شهرهایی که بر پایه مردم و پایداری طراحی می‌شوند. بلاکچین، رایانش کوانتومی، واقعیت توسعه‌یافته و دوقلوهای دیجیتال بخشی از فناوری‌هایی هستند که می‌توانند الهام‌بخش شهرهای بهتر باشند. عوامل کلیدی شهرهای هوشمند، حوزه‌های نزدیک و مرتبط بسیاری را شامل می‌شوند.

### هوش مصنوعی (AI)

هوش مصنوعی می‌تواند نقش عمده‌ای در توسعه شهرهای هوشمند با بهبود کارایی، پایداری و کیفیت زندگی شهروندان ایفا کند. راهکارهای مبتنی بر AI می‌توانند به کاهش مصرف انرژی، بهینه‌سازی جریان ترافیک و ارتقای امنیت عمومی کمک کنند. برای مثال، الگوریتم‌های AI می‌توانند الگوهای ترافیکی را تحلیل کنند تا ازدحام و آلودگی هوا کاهش یابد، یا مصرف انرژی ساختمان‌ها را کاهش دهند تا ناکارآمدی‌ها شناسایی و هدررفت کاهش یابد. ابتکارهای شهر هوشمند همچنین می‌توانند از چت‌بات‌ها و دستیاران مجازی بهره‌مند شوند تا اطلاعات و خدمات لحظه‌ای مانند مسیرها یا اطلاعات خدمات شهری را در اختیار شهروندان قرار دهند. علاوه بر این، AI می‌تواند داده‌های منابع مختلف مانند شبکه‌های اجتماعی را تحلیل کند تا نیازها و ترجیحات شهروندان درک شود و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده برای کل جامعه صورت گیرد.

داده

تحلیل داده، مدیریت داده، ذخیره‌سازی داده و زیرساخت داده همگی اجزای حیاتی توسعه شهرهای هوشمند هستند. با رشد اینترنت اشیا و افزایش استفاده از فناوری در شهرها، حجم داده‌های تولیدشده بسیار عظیم است و هر روز نیز بیشتر می‌شود. این داده‌ها دیدگاه‌های ارزشمندی درباره عملکرد شهر ارائه می‌دهند، از جمله جریان ترافیک، مصرف انرژی و امنیت عمومی. تحلیل داده به شهرها کمک می‌کند تا این داده‌ها را تفسیر کرده و تصمیم‌های مبتنی بر داده برای بهبود کارایی و پایداری اتخاذ کنند. مدیریت و ذخیره‌سازی مناسب داده حیاتی است، زیرا تضمین می‌کند که داده‌ها امن و در دسترس برای تحلیل هستند. زیرساخت داده قوی نیز لازم است، زیرا پایه‌ای برای تمام فعالیت‌های مرتبط با داده ایجاد می‌کند؛ از جمله شبکه، سخت‌افزار و نرم‌افزار لازم برای ذخیره، پردازش و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها. با وجود زیرساخت داده مناسب، شهرها می‌توانند از مزایای کلان‌داده و تحلیل داده بهره کامل ببرند و آینده‌ای هوشمندتر و پایدارتر بسازند.

### • اتصال (Connectivity)

اتصال، 5G، 6G، تأخیر پایین، Wi-Fi 6 و اینترنت اشیا نقش حیاتی در توسعه شهرهای هوشمند ایفا می‌کنند و پایه‌ای برای آینده‌ای هوشمندتر و یکپارچه‌تر فراهم می‌سازند. اتصال پرسرعت و قابل‌اعتماد برای عملکرد بدون نقص سیستم‌هایی مانند مدیریت ترافیک، مدیریت انرژی و سامانه‌های امنیت عمومی ضروری است. راه‌اندازی 5G و ظهور 6G اتصال سریع‌تر و مطمئن‌تری ارائه می‌دهد که امکان انتقال کارآمد حجم زیاد داده‌های تولیدشده توسط دستگاه‌های IoT را فراهم می‌کند. تأخیر پایین نیز در شهرهای هوشمند اهمیت دارد، زیرا تصمیم‌گیری بلادرنگ و اقدامات واکنشی سریع را ممکن می‌سازد Wi-Fi 6 اتصال سریع‌تر و قابل‌اعتمادتر Wi-Fi فراهم می‌کند و عملکرد روان دستگاه‌های IoT را تضمین می‌کند. نقش کلیدی در

شهرهای هوشمند دارد، زیرا داده‌های لازم برای تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را فراهم می‌کند و اجرای سیستم‌های شهر هوشمند را ممکن می‌سازد.

#### • خدمات دیجیتال

محیط‌های شبیه‌سازی شده، دوقلوهای دیجیتال، متاورس، واقعیت مجازی، رباتیک و بلاکچین همگی فناوری‌هایی هستند که پتانسیل تحول در توسعه شهرهای هوشمند را دارند. محیط‌های شبیه‌سازی شده بستری برای شهرها فراهم می‌کنند تا پیش از پیاده‌سازی فناوری‌ها و سیستم‌های جدید در دنیای واقعی، آن‌ها را آزمایش و تحلیل کنند. دوقلوهای دیجیتال نمایشی مجازی از یک سیستم فیزیکی فراهم می‌کنند و امکان پایش و تحلیل بلادرنگ را می‌دهند. متاورس جهانی مجازی است که در کنار جهان فیزیکی وجود دارد و فرصت‌های جدیدی برای همکاری و نوآوری فراهم می‌کند. واقعیت مجازی و رباتیک امکان‌های جدیدی برای آموزش، شبیه‌سازی و خودکارسازی در شهرهای هوشمند به وجود می‌آورند. بلاکچین بستری امن و غیرمتمرکز برای مدیریت و تبادل داده‌ها فراهم می‌کند و زیربنایی برای توسعه سیستم‌های نوآورانه شهر هوشمند محسوب می‌شود. توسعه و پیاده‌سازی این فناوری‌ها در شهرهای هوشمند حوزه‌ای هیجان‌انگیز و به سرعت در حال پیشرفت است که فرصت‌های بی‌پایانی برای نوآوری و پیشرفت ارائه می‌دهد.

#### • پلتفرم‌های ابری

پلتفرم‌های شهری، رایانش ابری، ذخیره‌سازی ابری، رایانش لبه، ذخیره‌سازی داده ترکیبی، IaaS (زیرساخت به عنوان سرویس) و PaaS (پلتفرم به عنوان سرویس) نقشی حیاتی در توسعه شهرهای هوشمند دارند. پلتفرم‌های شهری بستری یکپارچه برای مدیریت سیستم‌های شهر هوشمند مانند مدیریت ترافیک، مدیریت انرژی و سامانه‌های امنیت عمومی فراهم می‌کنند. رایانش ابری و ذخیره‌سازی ابری راه‌حل‌های مقیاس‌پذیر و انعطاف‌پذیر برای ذخیره‌سازی و پردازش حجم عظیم داده‌های تولیدشده توسط سیستم‌های شهری ارائه می‌کنند. رایانش لبه، پردازش داده را در لبه شبکه ممکن می‌سازد و تأخیر کمتر و زمان پاسخ بهتر ایجاد می‌کند. ذخیره‌سازی ترکیبی داده، مزایای پردازش ابری و لبه را ترکیب می‌کند و راه‌حلی مقیاس‌پذیر و منعطف فراهم می‌سازد. IaaS و PaaS به ترتیب زیرساخت و پلتفرم لازم برای توسعه و استقرار سیستم‌های شهر هوشمند را فراهم می‌کنند. این فناوری‌ها زیربنای توسعه شهرهای هوشمند نوآورانه را تشکیل می‌دهند و به آینده‌ای هوشمندتر و کارآمدتر کمک می‌کنند.

#### • اینترنت اشیا

اینترنت اشیا، ارتباط ماشین به ماشین (M2M)، دستگاه‌های شبکه‌شده و سامانه‌های حسگری عناصر کلیدی در توسعه شهرهای هوشمند هستند. IoT، ستون فقرات اتصال در شهرهای هوشمند است؛ مانند مدیریت ترافیک، انرژی و امنیت. ارتباط M2M تبادل بی‌وقفه داده میان دستگاه‌ها و سیستم‌های مختلف را ممکن می‌سازد و پایه عملکرد کارآمد شهر هوشمند است. دستگاه‌های شبکه‌شده مانند سنسورها و عملگرها داده‌های لازم برای تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را فراهم می‌کنند. حسگری به‌طور خاص نقشی حیاتی در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها دارد و اطلاعات بلادرنگ در مورد معیارهایی مانند جریان ترافیک، مصرف انرژی و شرایط محیطی فراهم می‌کند.

#### 2.2. مدیریت منابع

رسیدن به تعداد معینی از مؤلفه‌هایی که یک شهر هوشمند را تعریف می‌کنند، مستلزم استفاده و پردازش حجم زیادی از داده‌ها است. همزیستی فناوری‌های ناهمگون، که با حضور فناوری‌های مختلف دسترسی رادیویی (RATs) مشخص می‌شود، موجب افزایش تقاضا برای محتوای چندرسانه‌ای و تغییرات مداوم شرایط شبکه شده است. در این زمینه، توانایی انتخاب بهترین راهکار شبکه برای تضمین کیفیت خدمات (QoS) بسیار مهم است. منابع محدود اپراتور در شبکه، که در آن چندین فناوری دسترسی هم‌زمان وجود دارند (مانند LTE، LTE-Advanced و IEEE 802.11)، باید به بهترین شکل مدیریت و اشتراک‌گذاری شوند. تعادل بار (Load Balancing) راهکاری برجسته است که ترافیک پراکنده مکانی را میان سلول‌ها زمان‌بندی پویا می‌کند تا از انسداد ترافیک در مناطق پرتراکم جلوگیری کرده و از منابع خالی در مناطق کم‌تراکم بهره‌برداری کند. اخیراً مطالعات زیادی بهره‌گیری از تعادل بار در شبکه‌های ناهمگون را پیشنهاد کرده‌اند. الگوریتم تعادل بار برای پخش چندرسانه‌ای در شبکه‌های ناهمگون، با نام انتخاب شبکه دسترسی چندکاربره تطبیقی بلادرنگ (ARMANS) در منبع [15]

پیشنهاد شده است. اطلاعاتی مانند توپولوژی ترافیک، درخواست‌های سرویس و بلادرنگ انواع ترافیک به‌صورت پویا بهترین شبکه‌کандید را شناسایی می‌کنند. به‌واسطه یک رویکرد جدید مبتنی بر اولویت، ARMANS همچنین قادر است منابع را برای جبران میزان رضایت، با در نظر گرفتن اولویت، سطح خدمات درخواستی و ویژگی‌های دستگاه‌ها و کاربردها، باز تخصیص دهد. نیاز به در نظر گرفتن مصرف انرژی، نویسندگان را بر آن داشت تا الگوریتم تحویل ویدئوی آگاه از انرژی و مبتنی بر دستگاه [16] (E-ARMANS) را توسعه دهند که هم از بار ترافیکی و هم از صرفه‌جویی انرژی بهره می‌برد و در درجه نخست می‌کوشد استانداردهای باکیفیت بالا را برای تحویل محتوای ویدئویی حفظ کند. رویکردهای تطبیقی بلادرنگ توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، زیرا ارائه راحل‌های بهینه برای کاربران رسانه در یک SC حیاتی است. توسعه الگوریتم‌هایی که چندین عامل را به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری در نظر می‌گیرند—مانند شبکه و پروفایل کاربر، کاربردهای مورد نیاز و پروفایل دستگاه مورد استفاده—اهمیت دارد. این پارامترها ورودی رویکرد وزن‌دهی نمایی ضربی (MEW) [17] هستند که انتخاب شبکه دسترسی را مدیریت می‌کند.

برای فراهم کردن تجربه‌ای باکیفیت برای کاربرانی که از خدمات ناهمگون استفاده می‌کنند، به راحلی برای مسئله پیچیده انتخاب رسانه شبکه مناسب برای هر نوع خدمت کاربری نیاز است. در مرجع [18]، نویسندگان سامانه‌ای با عنوان شهرت تفکیک‌شده مبتنی بر نوع ترافیک (TYDER) را پیشنهاد کردند که قادر است فرایند تحویل داده را بر اساس نوع ترافیک تفکیک کند و با در نظر گرفتن شهرت در بستر الزامات نوع ترافیک، عملکرد تحویل را بهبود دهد. چهار دسته ترافیکی (یعنی بازی، وب‌گردی، ویدئو و اینترنت اشیا) برای آزمون‌های مقایسه‌ای در نظر گرفته شدند و نشان داده شد که TYDER از نظر تمامی شاخص‌های اصلی عملکرد، از راحل کلاسیک بهتر عمل می‌کند.

در اینترنت اشیا چندرسانه‌ای (M-IoT)، اشیا چندرسانه‌ای هوشمند و ناهمگون می‌توانند با یکدیگر و با سایر اشیا متصل به اینترنت همکاری کنند تا خدمات و کاربردهای چندرسانه‌ای را که به‌صورت جهانی در دسترس کاربران هستند، ساده‌سازی کنند. امروزه، راحل‌های انجام‌دهنده انتخاب شبکه دسترسی برای دستگاه‌های ناهمگون، شهرت‌های مرتبط با یک شبکه را در یک لحظه مشخص در نظر نمی‌گیرند. در مرجع [19]، معماری ReMIoT مبتنی بر شهرت شبکه برای M-IoT معرفی شده است تا کیفیت توزیع محتوای چندرسانه‌ای بهبود یابد. این راحل شامل سه فاز عملیاتی متمایز است: فاز نخست تشخیص خدمت چندرسانه‌ای، فاز دوم تشخیص شهرت شبکه، و در نهایت انتخاب شبکه M-IoT با ظهور G5، توسعه تکنیک‌های یادگیری ماشین (ML) برای تعیین زیرگروه‌ها به‌منظور هدف‌گذاری انواع خاصی از منابع و محتوا به سوی دسته‌ای محدود از کاربران امکان‌پذیر شده است. در حال حاضر، بار تعیین زیرگروه‌ها صرفاً بر عهده گره فرستنده gNB است. در مرجع [20]، نویسندگان تکنیکی را توسعه دادند تا بار محاسباتی gNB را در ارزیابی مکان و تحرک کاربران کاهش دهند، با هدف نهایی تعیین طرح مدولاسیون و کدگذاری بهینه. (MCS) تکنیک‌های ML می‌توانند به gNB در برپایی پیکربندی شبکه کمک کرده و تعیین MCS و تخصیص منابع به زیرگروه‌ها در فناوری 5G را تسریع کنند.

مطابق با تکنیک‌های زیرگروه‌بندی، تکامل دستگاه‌های کاربری همراه با افزایش استفاده از رسانه‌های اجتماعی، همزیستی محتوای چندرسانه‌ای درخواستی و زنده را ایجاب می‌کند و توسعه یک مدل توزیع ترکیبی پخش/تک‌پخش را ضروری می‌سازد، که در آن مدیریت کارآمد دسترسی بی‌سیم یک مسئله کلیدی است. اهداف دوگانه شامل بهینه‌سازی توازن بار میان شبکه‌های همزیست و فراهم کردن QoS مناسب برای کاربران است.

در مرجع 21 ALLOWGATH یعنی ALLOW + GATH ارائه شده است؛ راحلی که استفاده مشترک از (i) الگوریتم وزن‌دهی لگاریتمی جمعی (ALLOW) که قادر به ترکیب اطلاعاتی مانند بار شبکه، تأخیر بسته، قدرت سیگنال دریافتی، تجهیزات کاربر و بودجه اعتباری کاربر است؛ و (ii) الگوریتم نظریه بازی مشارکتی (GATH) برای بهینه‌سازی ALLOW را فراهم می‌کند.

در میان سناریوهای مختلف کاربردی در SC ها، شبکه‌های هوشمند توجه فزاینده‌ای را هم به جریان برق و هم به جریان اطلاعات مرتبط با مدیریت و کنترل سامانه تأمین برق به خود جلب کرده‌اند. حوزه اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ICT) نباید صرفاً به‌عنوان یک گسترش ساده یا نوسازی تجهیزات سامانه برق تلقی شود، بلکه یک الزام بنیادین برای پشتیبانی از پایش، بهره‌برداری و کنترل شبکه توزیع به‌شمار می‌آید. مشابه سامانه‌های ذکر شده در بالا، پایش و کنترل شبکه هوشمند مستلزم مدیریت جریان گسترده داده بلادرنگ میان تجهیزات تحت کنترل و شبکه توزیع است.

سامانه مدیریت. یک شبکه متراکم از حسگرها، حسگرهای پیشرفته و سامانه‌های اندازه‌گیری، به‌همراه زیرساخت شبکه ارتباطی، ضروری است. در مرجع [22]، دو راهبرد متفاوت برای پایش و کنترل شبکه برق مقایسه شده‌اند: رویکرد مدیریت متمرکز مبتنی بر LTE و رویکرد مدیریت توزیع‌شده مبتنی بر G. 5 این دو نوع سامانه ارتباطی با در نظر گرفتن عملکرد آن‌ها در هنگام مدیریت خطا در یک سناریوی شبکه هوشمند با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

### 2.3 چالش‌ها و فرصت‌ها

تحول دیجیتال که جامعه و اقتصاد را دربر گرفته است، فرایندی پیوسته و در حال تکامل است که در سال‌های اخیر شتاب گرفته است. این فرایند توسط پیشرفت سریع فناوری‌های مختلف، به‌ویژه هوش مصنوعی (AI)، و افزایش دسترسی به اطلاعات دیجیتال هدایت می‌شود. این فرایند شامل به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال برای دگرگون‌سازی ساختارهای اقتصادی و اجتماعی موجود و ایجاد فرصت‌های جدید برای رشد و نوآوری است. یکی از عناصر مهم تحول دیجیتال، استفاده از AI برای خودکارسازی و بهبود فرایندها و خدمات است. AI برای افزایش کارایی خدمات عمومی و بهینه‌سازی ارائه خدمات به کار می‌رود. برای مثال، چت‌بات‌های مبتنی بر AI برای ارائه خدمات مشتری به شهروندان و ساده‌سازی فرایند دسترسی به خدمات استفاده می‌شوند. همچنین می‌تواند برای تحلیل داده‌ها به‌منظور کشف تقلب و شناسایی حوزه‌های بالقوه ریسک به کار رود. الگوریتم‌های مبتنی بر AI می‌توانند خدمات و محصولات شخصی‌سازی‌شده متناسب با نیازهای کاربران ارائه دهند.

کاربرد AI در حوزه راحل‌های شهر هوشمند (SC) نیز در حال گسترش است. AI می‌تواند برای بهینه‌سازی الگوهای ترافیکی، کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود ایمنی عمومی استفاده شود. همچنین می‌توان از AI برای تحلیل داده‌های حاصل از حسگرهای مختلف شهری به‌منظور ایجاد بینش و بهبود تصمیم‌گیری بهره برد. افزون بر این، سامانه‌های مبتنی بر AI می‌توانند برای پایش محیط زیست و شناسایی منابع بالقوه آلودگی به کار روند. با وجود تمام مزایای پروژه‌های مرتبط با SC، چالش‌های متعددی همچنان در زمان استقرار وجود دارند که به‌دلیل الزامات معمول شهری و تفسیرهای متفاوت از مفاهیم استقرار، مشکلات جدی ایجاد می‌کنند.

**1. حمل‌ونقل عمومی:** مزیتی که شهرهای دارای سامانه‌های حمل‌ونقل گسترده به دست می‌آورند، نتیجه کاربردهای متعددی است که تجربه کاربران استفاده‌کننده از سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی را ساده می‌کند. برنامه‌های تلفن همراه امکان مدیریت اطلاعات بلادرنگ را فراهم می‌کنند و در تمامی مواردی که تأخیرها به‌دلیل خرابی‌ها، تصادفات، رویدادهای پیش‌بینی‌نشده یا رویدادهای خاص در SC ها انباشته می‌شوند، راحل‌ها و گزینه‌های عملی را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. نقش بسیار مهمی به حسگرهای IoT نصب‌شده بر زیرساخت فیزیکی موجود نسبت داده می‌شود که با سرمایه‌گذاری حداقلی، منافع بزرگی در مدیریت نگهداری هوشمند روتین ایجاد می‌کنند؛ نگهداری‌ای که به‌موقع برنامه‌ریزی شده و بر پایه بازخورد پیوسته دریافت‌شده از حسگرهای IoT است. سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) و استفاده از تابلوهای دیجیتال، ورودی‌هایی برای کاربردهایی هستند که با ارائه اطلاعات بلادرنگ درباره هرگونه تأخیر یا رویداد پیش‌بینی‌نشده، تجربه کاربر را ساده کرده و به مسافران امکان می‌دهند مسیرهای خود را به‌صورت پویا تغییر دهند. تشدید استفاده از حسگرهای IoT با تکیه بر زیرساخت فیزیکی موجود، مزیتی دوگانه فراهم می‌کند؛ هم برای کاربر نهایی و هم برای نگهداری تأسیسات پایش و کنترل.

**2. کاهش ترافیک:** کاهش ترافیک و SC ها دو موضوع به‌هم‌پیوسته هستند که در برنامه‌ریزی شهری اهمیت فزاینده‌ای یافته‌اند. SC ها با استفاده از فناوری برای بهبود کارایی و کاهش اثرات زیست‌محیطی شناخته می‌شوند، در حالی که کاهش ترافیک فرایند کاهش ازدحام و بهبود ایمنی است. هر دو از عناصر مهم برنامه‌ریزی شهری مدرن به‌شمار می‌آیند و می‌توانند برای ایجاد شهرهایی زیست‌پذیرتر به کار روند. کاربردهایی که ازدحام جاده‌ای را کاهش می‌دهند، به‌ویژه در شهرهایی که حمل‌ونقل عمومی و رانندگی با خودروی شخصی شیوه‌های اصلی جابه‌جایی هستند، ابزارهای مؤثری محسوب می‌شوند. مسیر یاب‌های خودرو نمایی بلادرنگ از وضعیت ترافیک ارائه می‌دهند، رانندگان را از زمان تقریبی رسیدن (ETA) آگاه می‌سازند و امکان باز برنامه‌ریزی مسیر بین مبدأ و مقصد را فراهم می‌کنند. یکی از جدیدترین چالش‌ها به برنامه‌های پارکینگ هوشمند مربوط می‌شود که با هدایت مستقیم رانندگان به فضاهای پارک موجود، زمان جست‌وجو و انتشار آلاینده‌های مضر را به حداقل می‌رسانند.

**3. کیفیت هوا:** شهرهای هوشمند SC ها از حسگرهای کیفیت هوا برای تشخیص سطوح خطرناک آلاینده‌های هوا، مانند دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، اوزون و ذرات معلق استفاده می‌کنند. این حسگرها می‌توانند نوسانات کوچک کیفیت هوا را تشخیص دهند و به مسئولان شهری برای اقدام هشدار دهنده SC ها. همچنین از ابزارهای مدل‌سازی کیفیت هوا برای پیش‌بینی

مشکلات بالقوة کیفیت هوا و تدوین برنامه‌هایی برای مقابله با آن‌ها استفاده می‌کنند. با توجه به مشکل روبه‌رشد آلودگی هوا، امروزه چندین سامانه برای پایش شاخص کیفیت هوا (AQI) در مناطق شهری به کار گرفته می‌شوند. برای مثال، در مرجع [23]، نویسندگان ایستگاه‌های اتوبوس هوشمند را توسعه دادند که دارای سرپناه‌های هوشمند اتوبوس و توسط یک شیء مجازی اجتماعی ایستگاه اتوبوس هوشمند (SBS-SVO) اداره می‌شوند. این SVO دارای حسگرهایی برای پایش کیفیت هوا (دما، رطوبت، فشارسنج و PM10) و یک اسنایپر برای ارزیابی میزان تراکم داخل اتوبوس است. همچنین یک عملگر وجود دارد که صفحه‌نمایشی را که اطلاعات را به مسافران منتظر نشان می‌دهد، کنترل می‌کند.

**4. کاهش پسماند جامد:** کاهش پسماند جامد، ردیابی، پرداخت‌ها و فناوری‌های IoT عناصر مهم سامانه‌های مدرن مدیریت پسماند هستند. این فناوری‌ها می‌توانند به کاهش میزان پسماند تولیدی کمک کرده و آن را به‌صورت بلادرنگ ردیابی کنند تا از دفع صحیح آن اطمینان حاصل شود. پرداخت‌ها نیز عامل کلیدی در مدیریت پسماند جامد هستند، زیرا به کاهش و ردیابی پسماند کمک می‌کنند. در نهایت، فناوری‌های IoT می‌توانند برای پایش و مدیریت کل سامانه مدیریت پسماند به‌صورت بلادرنگ مورد استفاده قرار گیرند. ردیابی پسماند نیز برای مدیریت آن اهمیت دارد، زیرا امکان پایش نحوه دفع پسماند و اطمینان از انجام صحیح آن را فراهم می‌کند. این کار می‌تواند از طریق ردیابی GPS یا برچسب‌های RFID انجام شود که امکان پایش بلادرنگ پسماند را می‌دهند. این امر خطر دفع نادرست را کاهش داده و به شناسایی مناطقی که پسماند بیشتری تولید می‌کنند کمک می‌کند.

SC‌ها با دستگاه‌های هوشمند ناهمگون مشخص می‌شوند که در بستر IoT با تبادل منظم مقادیر اندکی از داده با یکدیگر همکاری می‌کنند. اخیراً جامعه علمی بر استفاده از الگوی IoT برای امکان تبادل محتوای چندرسانه‌ای تمرکز کرده است. در مرجع [24]، الگوریتمی جدید ارائه شده است که بهترین QoS و توازن بار را در بستر شبکه‌های 5G فراهم می‌کند؛ این الگوریتم با نام مجازی‌سازی کاربر خدمات تحرک (MISSION) معرفی شده و با به‌کارگیری رایانش ابری و پخش همگانی، مدیریت بهتر بار شبکه، تعداد تعاملات و مصرف انرژی دستگاه‌های کاربر را ممکن می‌سازد.

یکی دیگر از جنبه‌های تعیین‌کننده SC‌ها به فضاها، سبزه‌های عمومی، تنوع زیستی، حفاظت از مناطق کوهستانی و پایش و کنترل فرسایش سواحل مربوط می‌شود. در مرجع [25]، نویسندگان سامانه‌ای برای پایش تراکم جمعیت ساحلی مبتنی بر اینترنت اشیا اجتماعی (SIoT) ارائه کرده‌اند؛ ساحلی امیدبخش که از سواحل در برابر فرایند فرسایش (عمدتاً ناشی از عوامل طبیعی، شهرنشینی و گردشگری انبوه) محافظت کرده و تعداد زیادی از گردشگران را به‌صورت «هوشمند و سبز» مدیریت می‌کند. SIoT یک الگوی نوین است که یک شبکه اجتماعی میان اشیا (یعنی دستگاه‌ها) تعریف می‌کند که قادرند بر اساس قواعد مشخص، به‌صورت خودمختار با اشیا دیگر رابطه برقرار کنند. در این چارچوب، تمامی دستگاه‌های درگیر در سامانه پایش (مانند دوربین‌ها، حسگرها، چراغ‌های راهنمایی یا تلفن‌های هوشمند) می‌توانند اطلاعات را گردآوری و مبادله کنند. سامانه پیشنهادی که در کالیاری (ایتالیا) اجرا و نصب شده است، وضعیت اشغال یک ساحل را با در نظر گرفتن سطح تراکم جمعیت، داده‌های محیطی (گردآوری‌شده توسط دستگاه‌های نصب‌شده در نقاط خاص شهر) و بازخورد بلادرنگ ارسال‌شده توسط کاربران، به‌واسطه استفاده از یک کاربرد اختصاصی، ارزیابی می‌کند.

کارهای مشابهی به پایش و کنترل تحرک عابران پیاده و وسایل نقلیه پرداخته‌اند. شهرنشینی روزافزون یکی از جنبه‌های کلیدی در حوزه تحرک در مطالعات SC‌ها به‌شمار می‌آید. پدیده مرتبط با جریان جابه‌جایی افراد درون شهر توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. در واقع، پدیده‌های ازدحام جاده‌ای و مناطق بیش‌ازحد شلوغ در حال افزایش هستند. در مرجع [26]، نویسندگان از ابزارهایی برای مرحله پایش، از طریق سامانه‌های شنود Wi-Fi و دوربین‌های ویدئویی، برای طبقه‌بندی وسایل نقلیه، افراد، دوچرخه‌ها و غیره استفاده می‌کنند. پایش بلادرنگ به شهروندان امکان می‌دهد شرایط جاده‌ها را از پیش و با سطح بالایی از قابلیت اطمینان بدانند و محدودیت‌های یک سامانه فناورانه منفرد که پایش نادقیق ارائه می‌دهد را برطرف کنند. هدف، انجام یک فرایند پایش بلادرنگ برای بهبود زندگی شهروندان از طریق ارائه آگاهی پیشرفته از شرایط ترافیکی است. استفاده مشترک از دو فناوری، محدودیت‌های به‌کارگیری تنها یک فناوری را برطرف می‌کند. در ابتدا، هر یک هر فناوری به‌صورت جداگانه اجرا می‌شود و نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از شبکه‌های عصبی (NNs) و با دقت بالا ترکیب می‌شوند.

الگوی شهر هوشمند (SC) نقشی اساسی در پیاده‌سازی راه‌حل‌های پایدار در حوزه تحرک شهری، چه عمومی و چه خصوصی، ایفا می‌کند. الگوی اینترنت اشیا اجتماعی (SIoT) بُعدی رابطه‌محور میان اشیا، مشابه روابط انسانی، اضافه می‌کند. اشیا به‌عنوان موجوداتی هم‌سطح عمل کرده و با هدف ارائه خدمات IoT به کاربران، ضمن حفظ هویت مستقل خود،

از یکدیگر درخواست اطلاعات کرده یا اطلاعات ارائه می‌دهند. رابطه اجتماعی میان اشیا امکان طراحی راحل‌هایی را فراهم می‌کند که تبادل اطلاعات میان گره‌های شبکه را از نظر امنیت در برابر حملات مخرب خارجی به اصطلاح «شبکه اجتماعی اشیا» بهبود می‌بخشند. در این چارچوب، در مرجع [27] یک راحل جدید SIoT برای SC ارائه شده است؛ در این راحل، وسایل نقلیه خصوصی و عمومی به همراه عابران پیاده در گردآوری داده‌های بلادرنگ مشارکت دارند تا سامانه راه‌های شهری بهبود یابد و مسیرها و اطلاعات جدیدی برای سازمان‌دهی بهتر تجربه شهروندان پیشنهاد شود. معماری توسعه‌یافته به هوش مصنوعی مجهز است که داده‌های ترافیکی جمع‌آوری‌شده را پردازش کرده و با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین (ML)، مسیرها و جریان‌های تردد وسایل نقلیه و عابران را به صورت روزانه ارزیابی می‌کند.

اثر ترکیبی پذیرش گسترده ارتباطات سیار، ظهور اخیر شبکه‌های ناحیه گسترده کم مصرف (LPWANs) که توسط IoT ترویج شده‌اند، و تنوع بی‌سابقه کاربردهای شبکه‌ای نسل آینده، فرصت‌های جدیدی برای پیشرفت‌های بیشتر در ارتباطات بی‌سیم فراهم می‌کند. افزایش تقاضا برای کاهش مصرف انرژی، توسعه راحل‌های نوآورانه و فناوری‌های ارتباطی کم مصرف را ممکن ساخته است تا به صورت مشترک در یک سناریوی واقعی در محیط SC به کار گرفته شوند 28-30

استفاده از فناوری‌ها و ارتباطات کم مصرف، به همراه حوزه‌های نوظهوری مانند واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR)، پایش توجه [31] و بهبود ایمنی [32]، تنها بخشی از چالش‌هایی هستند که فناوری‌های نوظهور در ارائه خدمات جدید به شهروندان با آن‌ها مواجه‌اند. در مرجع [33]، نویسندگان یک راحل ارتباطی چندپرسی (e2McH) را پیشنهاد می‌کنند که ارتباطات چندپرسی کم مصرف را بر بستر LPWAN و از طریق فناوری‌های باند باریک انجام می‌دهد. فشار برای ایجاد شبکه‌های کم مصرف‌تر، در شرایطی که نصب سامانه‌های گیرنده امکان‌پذیر نیست، توسعه و آزمایش پیکربندی‌های تک‌پرسی و چندپرسی را ضروری ساخته و صرفه‌جویی بالقوه انرژی تا ۱۵٪ را نشان داده است.

کاربردهای چند رسانه‌ای در SC ها تجربه‌های حسی نوآورانه‌ای را برای کاربران فراهم می‌کنند؛ برای مثال، بهره‌برداری از میراث فرهنگی مبتنی بر تصویربرداری [34]. اخیراً، تجربه‌های چندحسی نیز به آن‌ها افزوده شده‌اند؛ یعنی ارائه محتوای چند رسانه‌ای واقع‌گرایانه به کاربران. بدین ترتیب، حس و واقعیت فراگیر کاربر با افزودن چندین اثر حسی به رسانه‌های متعارف از طریق تحریک پنج حس (یعنی چشایی، بینایی، لامسه، بویایی و شنوایی) تقویت می‌شود. برای نمونه، در مراجع [35]، [36] مطالعه‌ای بر خانه‌های هوشمند انجام شده است که قابلیت تعمیم به سایر بسترهای SC را دارد. افزودن بر محتوای صوتی تصویر باکیفیت، اثرات اضافی با بهره‌گیری از دستگاه‌های متعارف (مانند سیستم تهویه هوا، چراغ‌ها و غیره) که به قابلیت‌های هوشمند مناسب مجهز شده‌اند، ارائه شد؛ در مقابل دستگاه‌های اختصاصی که اغلب در کاربردهای دیگر مانند سامانه‌های بازی استفاده می‌شوند [37]. الگوی IoT به‌طور گسترده برای اتصال دستگاه‌های هوشمند از طریق یک معماری مبتنی بر IoT به‌منظور ارائه رسانه‌های چندحسی به کاربران در سناریوی سرگرمی خانگی به کار گرفته شده است. بدیهی است که همزمان‌سازی میان رسانه و دستگاه‌های تعریف‌شده در معماری سامانه، نقش بسیار مهمی از نظر کیفیت تجربه (QoE) ایفا می‌کند.

### 3. تکامل شبکه‌های سیار پیش از G6

قابل توجه است که فناوری‌های بی‌سیم 3G و 4G عمدتاً توسط تقاضا برای خدمات داده‌ای بر بستر اینترنت هدایت می‌شدند. توسعه 5G توسط انواع ترافیکی و خدمات داده‌ای نوظهور، که با الزامات و چالش‌های متفاوتی همراه بودند، و همچنین افزایش پیش‌بینی‌شده ظرفیت تا ۱۰۰۰ برابر در دهه آینده در سمت شبکه، هدایت شد [38]. دسترسی رادیویی، برش‌بندی شبکه و رایانش لبه‌ای سه مفهوم مهم در حوزه مخابرات و شبکه هستند [39]. دسترسی رادیویی به فناوری‌ای اشاره دارد که دستگاه‌های بی‌سیم برای اتصال به شبکه سلولی از آن استفاده می‌کنند. این فناوری می‌تواند شامل 3G، 4G و 5G باشد و سرعت و قابلیت اطمینان انتقال داده بی‌سیم را تعیین می‌کند. برش‌بندی شبکه فرایند تقسیم یک شبکه فیزیکی واحد به چندین شبکه مجازی، که هر یک ویژگی‌ها و الزامات منحصر به فرد خود را دارند. این امر امکان می‌دهد که کاربردها و خدمات مختلف به صورت مستقل بر روی همان زیرساخت فیزیکی عمل کنند که موجب افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری شبکه می‌شود. رایانش لبه‌ای به پردازش و تحلیل داده‌ها در نزدیکی منبع تولید داده اشاره دارد، به جای ارسال آن‌ها به یک مرکز داده متمرکز یا ابر. این کار تأخیر را کاهش داده و سرعت پردازش داده را بهبود می‌بخشد که به‌ویژه برای کاربردهایی که به پردازش بلادرنگ نیاز دارند، مانند خودروهای خودران یا اتوماسیون صنعتی، اهمیت دارد. این سه مفهوم در کنار هم به پیشبرد نوآوری در صنعت مخابرات کمک می‌کنند و امکان توسعه کاربردها و خدمات جدیدی را فراهم می‌سازند که به اتصال‌های شبکه‌ای پرسرعت، کم‌تأخیر و بسیار قابل اعتماد نیاز دارند.



اپراتورهای شبکه می‌کوشند با استقرار سلول‌هایی با اندازه‌های مختلف به‌عنوان اجزای زیرساخت‌های ناهمگون، تقاضای روبه‌رشد ترافیک را برآورده سازند؛ زیرساخت‌هایی که برای عملیاتی‌شدن به هوشمندی بیشتری نیاز دارند. انتظار می‌رود شبکه‌های 5G از چندین فناوری دسترسی رادیویی با پوشش‌های همپوشان پشتیبانی کنند که به‌عنوان بخشی از یک شبکه ناهمگون چندرادیویی واحد مستقر شده‌اند و معماری‌ها و پروتکل‌های سرتاسری شبکه را پشتیبانی می‌کنند که چندین فناوری دسترسی رادیویی را به‌صورت یکپارچه و شفاف برای کاربران نهایی، در قالب یک شبکه دسترسی رادیویی مجازی واحد (RAN) با هم ترکیب می‌کنند [40]. فناوری‌های نوظهوری مانند شبکه‌سازی نرم‌افزارمحور (SDN) و مجازی‌سازی کارکردهای شبکه (NFV) برای اعمال هوشمندی در ارتباطات 5G پیشنهاد شده‌اند [SDN 41]. [در واکنش به محدودیت‌ها و پیچیدگی‌های ذاتی معماری‌های سنتی شبکه پدید آمده است. مفهوم اصلی SDN متمرکزسازی اختیار کنترل تجهیزات شبکه در یک کنترل‌کننده منطقی متمرکز (نرم‌افزاری)، جدا از صفحه داده، است. این جداسازی میان صفحات کنترل و داده از طریق یک رابط برنامه‌نویسی قابل‌دسترس که سوئیچ‌های صفحه داده را به کنترل‌کننده SDN متصل می‌کند، محقق می‌شود. این تفکیک به صفحه کنترل امکان می‌دهد مستقل از صفحه داده تکامل یابد و نوآوری سریع‌تری را تسهیل کند، زیرا نرم‌افزار معمولاً از نظر سرعت نوآوری از سخت‌افزار پیشی می‌گیرد. افزون بر این، مفهوم تمرکز منطقی این پتانسیل را دارد که بهره‌برداری و مدیریت شبکه را با ارائه یک نقطه کانونی واحد برای ارزیابی پیامدهای اقدامات مدیریتی ساده‌سازی کند و حتی بتواند اقداماتی را که ممکن است قیود عملیاتی را نقض کنند، رد نماید. در حال حاضر، OpenFlow، پروتکل تثبیت‌شده SDN، بر یک الگوی ساده تطبیق-اقدام متکی است و انعطاف‌پذیری قابل‌توجهی را، از جمله در مهندسی ترافیک، تعریف جریان و حتی قابلیت‌های کنترل درون‌باند شبکه، فراهم می‌آورد 42

ادغام SDN در شبکه‌های موجود، چالش‌های عملیاتی و پیاده‌سازی ایجاد می‌کند. در این چارچوب، مرجع [43] یک راهبرد نوآورانه—که به‌عنوان یک رویکرد هوشمند شناخته می‌شود—را برای بهبود عملکرد جریان‌های قابل‌اعتماد و زمان‌بحرانی در سامانه‌های IoT مبتنی بر مه و SDN ترکیبی (IHSF) ارائه می‌کند. نتایج آزمون‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که راحل پیشنهادی IHSF از نظر زمان مشاهده‌پذیری شبکه، اختلالات جریان، تأخیر سرتاسری و نسبت تحویل بسته، نسبت به رویکردهای پیشین عملکرد بهتری دارد. برای ارتقای زیرساخت‌های ارتباطی در SC ها، یکپارچه‌سازی دو فناوری نوظهور، یعنی رایانش مه (FC) و SDN، در حال جلب توجه است. این معماری مبتنی بر FC و SDN با هدف برآورده‌سازی نیازهای کاربردهای IoT، بر مدیریت آسان، مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان و تأخیر کم تأکید دارد. در حالی که رویکردهای پیشین ترافیک FC مبتنی بر SDN هنگام محاسبه مسیرها میان دستگاه‌های IoT و سرورهای مه، قیود کیفیت خدمت (QoS) را در نظر می‌گرفتند، قابلیت اطمینان پیوندها را نادیده می‌گرفتند 44

در ابتدا، چندین سازمان) مانند مؤسسه استانداردهای مخابراتی اروپا (ETSI) و پروژه مشارکت نسل سوم (3GPP) برنامه‌هایی را برای شناسایی فناوری‌های کلیدی 5G آغاز کردند [45-47]. دیدگاه مشترک بر این بود که بهره‌وری طیفی بالاتر، تأخیر کمتر، نامتقارن بودن ترافیک، ترافیک نقاط داغ و بهره‌وری انرژی به‌عنوان الزامات اصلی در نظر گرفته شوند [48]. گروه تمرکز IMT-2020 اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU)، که در مه ۲۰۱۵ تأسیس شد [49]، به پیشنهاد بهبودهای فناورانه بالقوه پرداخت و بر پشتیبانی از نرخ‌های داده تا ۲۰ گیگابیت بر ثانیه، توانایی اتصال انبوهی از دستگاه‌ها در یک ناحیه کوچک و کاهش مصرف انرژی تمرکز داشت [50]. با در نظر گرفتن استفاده از طیف، فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز برای پوشش کلان (یعنی شعاعی در حدود ...) مناسب تلقی شدند.

تا حداکثر ۲ کیلومتر). برای فرکانس‌های تا ۳۰ گیگاهرتز، حدود ۲٫۵ گیگاهرتز می‌تواند برای پوشش خرد در دسترس قرار گیرد. فرکانس‌های ۳۰ تا ۹۰ گیگاهرتز (یعنی نور مرئی) برای فرانت‌هاول، بک‌هاول و همچنین استقرارهای محلی (یعنی در شعاعی حدود ۱۰ متر) مناسب در نظر گرفته شدند. در این بازه، حدود ۴۰ گیگاهرتز می‌تواند به ارتباطات انبوه ماشین‌ها اختصاص یابد 51

انطباق‌پذیری انعطاف‌پذیر باید یک الزام اصلی باشد تا امکان ارتباط میان دستگاه‌های خودرویی با تحرک بالا که در فرکانس‌های بالا عمل می‌کنند، فراهم شود. چندحاملی مبتنی بر بانک فیلتر (FBMC) و چندحاملی با فیلتر سراسری (UFMC) به‌عنوان فناوری‌های توانمندساز برای هم‌زیستی خدمات جدید با بهره‌برداری کارآمد از باندهای باریک فرکانسی در نظر گرفته شدند. افزون بر این، دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) و دسترسی چندگانه با کد تنک (SCMA) دو روش امیدبخش دیگر برای بهبود بهره‌وری طیف، به‌ویژه در شبکه‌های متراکم و خدمات چندبخشی، بودند. تکنیک‌های چندورودی-چندخروجی (MIMO) و شکل‌دهی پرتو تقویت شدند تا با بهره‌گیری از هم‌زیستی آنتن‌های فرستنده و گیرنده، ظرفیت پوشش افزایش یافته و تداخل محدود شود [51]. راحل بالقوه دیگر، استفاده از MIMO عظیم بدون سلول (CF)

mMIMO است که شامل همکاری چندین نقطه دسترسی بی‌سیم برای پردازش سیگنال‌های هم‌دوس و خدمت‌رسانی جمعی به کاربران می‌شود. با این حال، دستیابی هم‌زمان به اتصال‌پذیری انبوه و بهره‌وری طیفی (SE) بالا به دلیل محدودیت منابع پایلوت چالش برانگیز است. برای رفع این مسئله، مرجع [52] یک چارچوب جدید برای شبکه‌های اینترنت همه‌چیز خودپایدار از نظر انرژی (ESS IoE) پیشنهاد می‌کند که تشخیص فعالیت کاربر (UAD) و برآورد کانال را از هم تفکیک می‌کند. راحل دیگری نیز در مرجع [53] ارائه شده است؛ یعنی چارچوبی نوین برای شبکه‌های ESS IoE که UAD را از برآورد کانال جدا می‌کند. در این رویکرد، یک آشکارساز UAD مبتنی بر شبکه‌های عصبی کانولوشنی عمیق (CNN) به همراه یک طرح دسترسی اولیه و یک سیاست کنترل توان مقیاس‌پذیر معرفی می‌شود که پیاده‌سازی عملی و مقیاس‌پذیر CF mMIMO را ممکن می‌سازد.

شبکه 5G ناهمگون در نظر گرفته شد و از ماکروسل‌ها به همراه تعداد زیادی گره کم‌مصرف تشکیل می‌شود. در این چارچوب، یک پیشنهاد صنعتی برای بهبود بهره‌وری طیفی ارائه شد که استاندارد LTE یعنی 4G را با فناوری Wi-Fi ترکیب می‌کرد و منجر به تصویب پروژه‌های جدید در 3GPP برای توسعه نسخه‌های جدید (از نسخه ۸ تا ۱۴) و همکاری میان LTE-A و Wi-Fi شد. این LTE جدید در باند بدون مجوز (LTE-U) دارای توپولوژی لایه فیزیکی برای دسترسی به طیف Wi-Fi، به ویژه باند ۵ گیگاهرتز، است. اثر جانبی اصلی، هم‌زیستی در یک باند بسیار شلوغ بود. در مرجع [54]، نویسندگان دو مدل هم‌زیستی را پیشنهاد کردند که با اعمال اصلاحاتی در سایت‌های RAN و هسته شبکه، ویژگی‌های پیشرفته معمول شبکه‌های 5G را امکان‌پذیر می‌سازد. ارتباط دستگاه به دستگاه (D2D)، که به دستگاه‌ها اجازه می‌دهد اتصال‌های دسترسی رادیویی خود را به اشتراک بگذارند، به عنوان راحل بالقوه برای کاهش هزینه ارائه خدمات محلی و پاسخ به افزایش تراکم شبکه‌ها مطرح شد. این تغییر با روندهای در حال تحول بازار مخابرات همسو بود [55]. در واقع، معماری متمرکز شبکه‌های سیار برای پشتیبانی از ترافیک روبه‌رشد به برخی تعدیلات نیاز داشت. از این رو، ترافیک تولیدشده در RAN توسط دروازه‌های سرویس‌دهنده به دروازه‌های شبکه داده بسته منتقل می‌شد و به عنوان دروازه‌ای میان شبکه اپراتور و شبکه‌های IP خارجی عمل می‌کرد. با در نظر گرفتن هسته، ایده این بود که ترافیک بدون پیوندهای غیرضروری هسته مسیریابی شود و ارتباط مستقیم میان دستگاه‌ها امکان‌پذیر گردد. افزایش انعطاف‌پذیری و ظرفیت انطباق به عنوان اولویت‌ها در نظر گرفته شدند و پیش‌بینی شد که شبکه‌های 5G به تعداد فزاینده‌ای از دستگاه‌های ناهمگون با الزامات متفاوت (یعنی IoT خدمت‌رسانی کنند. بر این اساس، 3GPP توسعه راحل‌هایی برای سامانه بسته تکامل‌یافته (EPS) را آغاز کرد تا بک‌هاول و زیرساخت هسته اپراتور دور زده شود و اتصال محلی به خدمات اینترنتی فراهم گردد و از باز مسیریابی ترافیک محلی به هسته شبکه جلوگیری شود 56

سامانه‌های تمام‌دوطرفه (Full-duplex) به عنوان راحل امیدبخش معرفی شدند تا نرخ‌های داده به مراتب بالاتری نسبت به سامانه‌های متعارف نیمه‌دوطرفه فراهم کنند و با دریافت هم‌زمان سیگنال‌های بازخورد از گیرنده در حین ارسال، تأخیر را کاهش دهند [48, 57]. به طور موازی، با توجه به افزایش انتشار جهانی کربن و سطوح نگران‌کننده آلودگی—به ویژه در شهرهای مترکم سراسر جهان—صرفه‌جویی انرژی به عنوان یک مسئله اصلی در سطح جهانی شناخته شد. کنسرسیوم [58] GreenTouch که در سال ۲۰۱۰ به عنوان یک کنسرسیوم پژوهشی جهانی باز تأسیس شد، نتایج نهایی خود را در پژوهش «Green Meter» ارائه کرد.

مطالعه [59]. افزون بر این، انجمن جهانی سیستم‌های سیار (GSMA) هدفی را برای کاهش بیش از ۴۰٪ انتشار CO<sub>2</sub> به ازای هر اتصال تا سال ۲۰۲۰ تعیین کرد. این واقعیت‌های بنیادی به شکل‌گیری مفهوم بهره‌وری انرژی «بیت‌برژول» انجامید که به عنوان مقدار اطلاعاتی تعریف می‌شود که می‌توان به طور قابل اعتماد به ازای هر ژول انرژی مصرف‌شده منتقل کرد؛ این شاخص به یک شاخص کلیدی عملکرد برای شبکه‌های 5G تبدیل شد [57، 60]. در مرجع [61]، بهره‌وری انرژی به عنوان یک پارامتر عملکردی و قید طراحی برای شبکه‌های ارتباطی در نظر گرفته شد؛ نویسندگان مسیرهای پژوهشی جالبی را مطرح کردند و تأکید نمودند که پیش از دستیابی به هدف بلندپروازانه بهبود ۱۰۰۰ برابری بهره‌وری انرژی، چالش‌های فنی، مقرراتی، سیاستی و تجاری بسیاری هنوز باقی مانده است.

با در نظر گرفتن سهم مصرف انرژی کل فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) (یعنی ۲۵٪) [62]، انتظار می‌رفت 5G همچنین فناوری‌های ارتباطی سبز را معرفی کند و نیاز روبه‌رشد به زیرساخت و دستگاه‌ها را مدنظر قرار دهد [63]. برای بهبود ظرفیت، پوشش و بهره‌وری انرژی، فناوری‌های متعددی پیشنهاد شدند؛ از جمله شبکه‌های ناهمگون، شبکه‌های سلولی نرم‌افزارمحور و ارتباطات ماشین‌به‌ماشین [64] (M2M) در مرجع [65]، نویسندگان استفاده از یک شبکه شناختی را برای اجاره طیف‌های اضافی خارج از باندهای سلولی دارای مجوز پیشنهاد کردند؛ به طوری که منبع رادیویی شناختی با پهنای باند

بالقوة گسترده، توان ارسال پایین و قابلیت اطمینان کم مشخص می‌شود. آن‌ها یک مطالعه سازش میان بهره‌وری انرژی و بهره‌وری طیف ارائه دادند تا راهنمایی‌های مستقیمی برای مدیریت OPEX (تجربه اپراتور) شبکه‌های سلولی شناختی فراهم شود و معماری‌ها و سناریوهای کاربردی مختلفی از شبکه‌های سلولی شناختی را پیشنهاد کردند. جدول ۱ ویژگی‌ها و مزایای اصلی معرفی شده توسط G5 را خلاصه می‌کند.

#### جدول ۱. ویژگی‌ها و مزایای G5

مزایای G5	ویژگی‌های G5
پهنای باند دوطرفه گسترده	سریع‌ترین زمان پاسخ
یکپارچه‌سازی ارتباطات رادیویی	ظرفیت بالا
یکپارچه‌سازی آسان با نسل‌های پیشین	اتصال‌پذیری تا ۲۵ مگابیت بر ثانیه
توانایی ارائه اتصال یکنواخت و بدون وقفه پهنای باند گسترده و دوطرفه	پشتیبانی از شبکه‌های مجازی خصوصی

#### ۴. نقش G5 در شهرهای هوشمند

باید توجه داشت که فناوری‌های G5 در شهرهای هوشمند نقش‌های بسیار مهمی در جنبه‌های مختلف ایفا می‌کنند: اینترنت پایه، فناوری پهن‌بند، پخش ویدئو، اینترنت پرسرعت، اتصال به جهان و صنایع عمودی. در مرجع [66]، نویسندگان تأثیرات و پیامدهای G5 بر سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) را از جنبه‌های مختلف مورد بحث قرار داده‌اند. آن‌ها نمای کلی از زمینه فناوری و مزایای اقتصادی G5 ارائه می‌دهند و نشان می‌دهند که چگونه بخش‌های اصلی عمودی در یک شهر هوشمند تحت تأثیر قرار خواهند گرفت، از جمله انرژی، بهداشت و درمان، تولید، سرگرمی، خودرو و حمل‌ونقل عمومی.

فناوری‌های دسترسی رادیویی ستون فقرات سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم مدرن هستند و امکان انتقال داده با سرعت بالا و اتصال قابل‌اعتماد برای دستگاه‌های موبایل را فراهم می‌کنند. با ظهور فناوری G5 و نسل بعدی شبکه‌های سلولی، فناوری‌های دسترسی رادیویی در حال تحول هستند تا سرعت‌های بالاتر، تأخیر کمتر و ظرفیت شبکه افزایش یافته ارائه دهند. یکی از ویژگی‌های کلیدی G5، استفاده از باندهای فرکانسی بالاتر، از جمله طیف موج میلی‌متری (mmWave)، است که می‌تواند سرعت داده به‌مراتب بالاتری نسبت به نسل‌های قبلی فناوری سلولی فراهم کند. با این حال، این فرکانس‌های بالاتر دارای برد کوتاه‌تر بوده و حساسیت بیشتری به تداخل دارند که نیازمند استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند شکل‌دهی پرتو (beamforming) و MIMO عظیم برای اطمینان از اتصال قابل‌اعتماد است. شبکه‌های فوق‌فشرده (UDN) یکی از فناوری‌های کلیدی توانمندساز G5 هستند؛ با این حال، فشرده‌سازی سلول‌های کوچک از چندین فناوری دسترسی رادیویی (RAT) چالش‌هایی را برای عملکرد شبکه ایجاد می‌کند [67]. بنابراین، یک مکانیزم انتخاب RAT کارآمد برای انتخاب بهترین فناوری موجود ضروری است. در مرجع [68]، نویسندگان یک مکانیزم جدید انتخاب فناوری دسترسی رادیویی مبتنی بر زمینه (CRAT) پیشنهاد کرده‌اند که هم زمینه کاربر و هم زمینه شبکه را در نظر می‌گیرد تا RAT مناسب انتخاب شود.

انتخاب یک مدل ریاضی مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تکنیک ترتیب اولویت بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) توسعه یافت و مکانیزم CRAT پیشنهادی در یک محیط شبیه‌سازی پیاده‌سازی و اعتبارسنجی شد. مکانیزم CRAT در مقایسه با روش متعارف در زمینه تعداد هندوور، تأخیر متوسط شبکه، توان عملیاتی و نسبت تحویل بسته در محیط‌های شهر هوشمند، مانند مراکز خرید و مناطق شهری، عملکرد بهتری دارد. ویژگی‌های موج G5 شامل انعطاف‌پذیری بیشتر، پشتیبانی از دسترسی چندگانه، توانایی هم‌زیستی با موج‌های مختلف، تأخیر کم و سازگاری با MIMO عظیم و ارتباطات mmWave است. در حالی که چندگانه‌سازی تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) فناوری غالب در بسیاری از استانداردهای موجود بوده و هنوز هم برای ارتباطات پهن‌بند در RAN 5G مورد علاقه است، در مرجع [69]، نویسندگان مزایا و معایب OFDM برای سناریوهای RAN 5G را بررسی کرده‌اند، از جمله بهبود ویژگی‌های موج، مانند نشت خارج از باند و نسبت توان اوج به متوسط، و همچنین روش‌هایی برای کاهش افزونگی زمان و فرکانس OFDM، مانند پیشوندهای چرخه‌ای و سیگنال‌های پایلوت.

توسعه جوامع هوشمند به شدت به ارتباط از طریق IoT وابسته است. برای رشد سریع IoT، شبکه‌های بی‌سیم قابل اعتماد ضروری هستند. یکی از راه‌حل‌ها برای این چالش، استفاده از [15] RAN یا [70] Cloud RAN (CRAN) در سیستم سلولی در حال تکامل 5G است که فناوری رایانش ابری را در شبکه دسترسی رادیویی ادغام می‌کند. قابلیت مقیاس‌پذیری، انعطاف‌پذیری و عملکرد بالاتری فراهم می‌کند و امکان اتصال تعداد زیادی از دستگاه‌های IoT که برای شهرهای هوشمند حیاتی هستند، فراهم می‌آورد. تمرکز این پژوهش بر کاهش تأخیر در ارتباط IoT با پرداختن به مشکل تعادل بار (LB) در CRAN است. مطالعه هشت الگوریتم عملی تعادل بار در محیط CRAN را با استفاده از ویژگی‌های ترافیک شبکه سلولی واقعی ارائه شده توسط Nokia Research بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم ساده و سبک مبتنی بر صف تقریباً به اندازه الگوریتم پیچیده‌تر مبتنی بر زمان انتظار مؤثر است. این پژوهش پیامدهای مهمی برای شبکه‌های 5G و توانایی آن‌ها برای خدمت به عنوان ستون فقرات ارتباط IoT در جوامع هوشمند، و همچنین برای دیگر سیستم‌های توزیع شده دارد.

جنبه مهم دیگر RAT های 5G، مفهوم برش شبکه است که به ارائه‌دهندگان خدمات اجازه می‌دهد شبکه‌های مجازی سفارشی برای انواع مختلف برنامه‌ها و خدمات ایجاد کنند [71]. به عنوان مثال، یک برش شبکه می‌تواند به طور خاص برای خودروهای خودران ایجاد شود، با اتصالات کم‌تأخیر و قابلیت اطمینان بالا، در حالی که برش دیگر می‌تواند برای پخش ویدئو بهینه شود، با سرعت داده بالا و تخصیص پهنای باند زیاد. به طور کلی، انتظار می‌رود RAT های 5G طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و خدمات جدید را امکان‌پذیر کنند، از واقعیت افزوده و مجازی گرفته تا IoT و شهرهای هوشمند. با ادامه توسعه و گسترش فناوری، استفاده‌های نوآورانه‌تر از ارتباطات بی‌سیم در سال‌های آینده قابل انتظار است.

ایده پشت برش شبکه این است که یک شبکه فیزیکی واحد به چند شبکه مجازی تقسیم شود، که هر کدام مجموعه منحصر به فردی از ویژگی‌ها و قابلیت‌ها دارند. این کار استفاده مؤثرتر از منابع شبکه و همچنین کنترل و مدیریت بهتر ترافیک شبکه را امکان‌پذیر می‌کند. در زمینه IoT، برش شبکه می‌تواند به طور خودکار منابع شبکه را بر اساس نیازهای خاص هر دستگاه یا برنامه تخصیص دهد. این امر به‌ویژه در شهرهای هوشمند اهمیت دارد، جایی که انتظار می‌رود دستگاه‌های IoT نقش مهمی در زمینه‌هایی مانند مدیریت ترافیک، ایمنی عمومی و پایش محیط زیست ایفا کنند. یک سامانه خودکار برش شبکه قادر خواهد بود منابع شبکه را به طور پویا به دستگاه‌های IoT بر اساس نیازهای فردی آن‌ها تخصیص دهد، بدون نیاز به مداخله دستی از سوی مدیران شبکه [72]. این امر استفاده مؤثرتر از منابع شبکه و پشتیبانی بهتر از طیف وسیع‌تری از دستگاه‌ها و برنامه‌های IoT را ممکن می‌سازد. در مرجع [73]، نویسندگان به بهینه‌سازی اجزای شهرهای هوشمند برای برش شبکه 5G اشاره کرده و همچنین توسعه معماری شبکه‌ای را پیشنهاد می‌کنند که قادر باشد منابع شبکه را به طور پویا بر اساس نیازهای خاص برنامه‌ها و خدمات مختلف SC تخصیص دهد. این بدان معناست که الزامات متفاوت هر برنامه یا خدمت، مانند تأخیر، پهنای باند و قابلیت اطمینان، در نظر گرفته شود و شبکه بتواند منابع را بر این اساس تخصیص دهد. یکی از نمونه‌های این کاربرد، استقرار سیستم‌های مدیریت ترافیک هوشمند بهینه‌شده برای برش شبکه 5G است که قادر خواهند بود به طور پویا تخصیص منابع شبکه بر اساس شرایط ترافیک انجام می‌شود تا اطمینان حاصل شود که اطلاعات حیاتی به سرعت و به طور مؤثر منتقل می‌شوند.

رایانش لبه‌ای شامل پردازش داده‌ها و انجام دیگر وظایف محاسباتی نزدیک‌تر به منبع داده است، به جای ارسال همه داده‌ها به یک مرکز داده مرکزی یا ابر. این کار می‌تواند با استفاده از دستگاه‌های لبه‌ای انجام شود که در نزدیکی لبه شبکه قرار دارند و قادر به پردازش داده‌ها به صورت بلادرنگ هستند. وقتی رایانش لبه‌ای و 5G با هم ترکیب شوند، می‌توانند پلتفرمی قدرتمند برای ایجاد کاربردها و خدمات جدید فراهم کنند که پیش‌تر امکان‌پذیر نبود. برای مثال، تحلیل ویدئوی بلادرنگ می‌تواند در لبه شبکه با استفاده از دستگاه‌های لبه‌ای انجام شود و داده‌های پردازش شده از طریق شبکه‌های 5G منتقل شوند. این امر طیف گسترده‌ای از کاربردها را ممکن می‌سازد، مانند پایش سلامت از راه دور و نظارت تصویری. مثال دیگر، استفاده از 5G و رایانش لبه‌ای برای خودروهای خودران است. با پردازش داده‌های حسگر و اطلاعات دیگر در لبه شبکه، خودروهای خودران می‌توانند تصمیم‌گیری بلادرنگ داشته باشند و ایمنی و کارایی را افزایش دهند.

وجود یک ابر در سیستم IoT یک شهر هوشمند می‌تواند منجر به مصرف بالای انرژی و تأخیر شبکه شود. برای رفع این مشکل، رایانش لبه‌ای که بر چارچوب رایانش ابری مبتنی است، به عنوان راه‌حلی مطرح شده که محاسبات، ذخیره‌سازی و منابع شبکه را به منبع داده نزدیک می‌کند. با این حال، استفاده بهینه از انرژی در حین حفظ محدودیت‌های تأخیر، هنگام اجرای وظایف تولیدشده توسط سیستم‌های IoT، یک مسئله حیاتی در رایانش لبه‌ای است. در مرجع [74]، رویکرد بهینه‌سازی چندمعیاره برای تخصیص منابع با رایانش لبه‌ای توزیع شده در SC های مبتنی بر IoT مورد بررسی قرار گرفته است. یک

معماری شبکه سه لایه برای SC های مبتنی بر IoT پیشنهاد شده و طرحی مبتنی بر مزایده برای تخصیص منابع لایه‌ای ارائه شده تا محاسبات منابع برای وظایف حساس به تأخیر به‌طور مؤثر انجام شود.

رایانش لایه‌ای چندین مزیت در SC ها و IoT ارائه می‌دهد [75]، از جمله:

- **کاهش تأخیر:** رایانش لایه‌ای محاسبات و ذخیره‌سازی داده را به لایه شبکه نزدیک می‌کند که تأخیر را کاهش داده و پردازش بلادرنگ داده‌ها را ممکن می‌سازد؛ این امر برای کاربردهایی که نیاز به پردازش بلادرنگ دارند، مانند مدیریت ترافیک، نظارت ویدیویی و سیستم‌های پاسخ اضطراری، اهمیت دارد.
- **بهبود امنیت:** با پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها به‌صورت محلی، ریسک نفوذ داده‌ها و تهدیدهای امنیتی دیگر کاهش می‌یابد.
- **افزایش مقیاس‌پذیری:** با توزیع منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی در چندین دستگاه لایه‌ای، استفاده مؤثرتر از منابع و بهبود عملکرد کلی سیستم‌های IoT و خدمات SC امکان‌پذیر می‌شود.
- **کاهش هزینه‌ها:** با کاهش نیاز به انتقال و ذخیره‌سازی داده، هزینه‌ها کاهش می‌یابند؛ این امر به‌ویژه برای سازمان‌هایی که در مناطق دورافتاده یا کم‌توسعه فعالیت می‌کنند و اتصال اینترنت محدود یا پرهزینه دارند، مفید است.
- **افزایش قابلیت اطمینان:** رایانش لایه‌ای قابلیت عملکرد سیستم‌های IoT و خدمات SC را حتی در صورت بروز اختلال یا خرابی شبکه بهبود می‌بخشد؛ این موضوع برای کاربردهایی مانند ایمنی عمومی و پاسخ اضطراری حیاتی است.

فناوری مجازی‌سازی پیشنهاد شده در مرجع [76] نیازمند توسعه امنیت و فناوری برای پشتیبانی از دیدگاه یکپارچه از دستگاه‌ها و فناوری‌های رادیویی ناهمگون و قابل برش، مانند 5G، Wi-Fi، LTE، امنیت سیستم با پیاده‌سازی احراز هویت مقاوم برای گره‌های محاسباتی، پایش و برچسب‌گذاری جغرافیایی بهبود می‌یابد، در حالی که اتصال بی‌سیم از طریق رویکرد نوآورانه چندکنترل‌کننده RAN برای مدیریت و کنترل منابع رادیویی ناهمگون گسترش می‌یابد.

## 5. G6 استاندارد نوظهور

شبکه‌های سلولی 5G روش ارتباط و اتصال مردم را متحول کرده است. با سرعت‌های فوق‌العاده بالا، تأخیر کم و قابلیت‌های اتصال انبوه، 5G فرصت‌های جدیدی برای کسب‌وکارها، صنایع و مصرف‌کنندگان فراهم کرده است.

با این حال، با ادامه پیشرفت فناوری، پژوهشگران و متخصصان صنعت هم‌اکنون به نسل بعدی شبکه‌های سلولی یعنی 6G نگاه می‌کنند. چندین دلیل می‌تواند توسعه یک نسل جدید فناوری بی‌سیم را توجیه کند. اولاً، هنگامی که روند 5G به پایان برسد، تمام صنایع علاقه‌مند به کسب‌وکار مخابراتی به یک محصول نوآورانه جدید نیاز خواهند داشت؛ آن‌ها بر روش‌های جدید برای ارائه خدمات جدید یا بهبود خدمات قدیمی تمرکز خواهند کرد. در جلسه کمیته آینده‌نگری [77] IEEE، در چارچوب هیئت مشاوره صنعتی (IAB)، تکامل سیستم‌های بی‌سیم با تمرکز بر 5G مورد بحث قرار گرفت؛ پیش‌نویس نسل ششم به‌عنوان تکامل مهم 5G مطرح شد، به دلیل توانایی آن در خودتجمعی شبکه‌های مختلف و پاسخگویی به درخواست‌های منابع به‌صورت پویا. روند شبکه‌های موبایل 5G نسبت به شبکه‌های قبلی هدف اصلی خود را تغییر داده است؛ هدف اصلی از امکان اتصال بی‌سیم کاربران به اینترنت به امکان اتصال بی‌وقفه تعداد زیادی از کاربران و دستگاه‌ها به شهرهای هوشمند (IoT) تا سال ۲۰۲۰ و پس از آن تغییر یافته است [78]. در کنفرانس جهانی ارتباطات رادیویی 2015 (WRC)، هدف اصلی افزودن طیف اضافی برای ارتباطات موبایل زیر ۶ گیگاهرتز بود. با این حال، رشد عظیم ترافیک موبایل جهانی نمی‌تواند با افزودن یک باند طیفی اضافی زیر ۶ گیگاهرتز برآورده شود، همان‌طور که در WRC 2015 مطرح شد. بنابراین، در WRC 2019 تصمیم گرفته شد که برای دستیابی به نرخ داده‌های چند گیگابیت بر ثانیه، باندهای فرکانسی بالای ۶ گیگاهرتز نیاز خواهد بود. اگرچه 6G هنوز در مراحل ابتدایی توسعه است، انتظار می‌رود سرعت‌های بالاتر، تأخیر کمتر و قابلیت‌های پیشرفته‌تر نسبت به 5G ارائه دهد. برخی از حوزه‌های کلیدی پژوهش 6G شامل موارد زیر است:

- **فرکانس‌های THz:** انتظار می‌رود 6G از باندهای فرکانسی بالاتر از 5G، از جمله فرکانس‌های تراهرتز، استفاده کند که پتانسیل ارائه نرخ داده‌های سریع‌تر و تأخیر کمتر را دارند.

- **هوش مصنوعی:** انتظار می‌رود 6G هوش مصنوعی را به‌طور عمیق‌تری در طراحی خود ادغام کند و مدیریت شبکه هوشمندتر و طیف وسیع‌تری از برنامه‌ها و خدمات جدید را ممکن سازد.
- **رایانش کوانتومی:** انتظار می‌رود 6G از قدرت رایانش کوانتومی برای ارائه قابلیت‌های جدید، مانند ارتباطات امن و حسگرهای پیشرفته، بهره‌برداری کند.
- **واقعیت افزوده و مجازی AR و VR:** انتظار می‌رود 6G تجربه‌های AR و VR یکپارچه‌تر و فراگیرتری فراهم کند و برنامه‌های جدیدی در حوزه‌هایی مانند بازی، آموزش و بهداشت ایجاد نماید.

اگرچه 6G هنوز چندین سال با تحقق فاصله دارد، پایه‌های این نسل بعدی شبکه‌های سلولی هم‌اکنون در حال شکل‌گیری است. با ادامه پیشرفت پژوهشگران و متخصصان صنعت، انتظار می‌رود 6G فرصت‌های هیجان‌انگیز بیشتری برای نوآوری و رشد در سال‌های آینده ارائه دهد. شبکه 5G هدف دارد یک پلتفرم مشترک برای تمام فناوری‌های دسترسی رادیویی (GSM)، Wi-Fi، LTE، و غیره (ایجاد کند). در جدول ۲، مقایسه‌ای بین فناوری‌های 5G و 6G با در نظر گرفتن تفاوت‌های اصلی فناوری و کاربرد ارائه شده است.

## جدول ۲. مقایسه فناوری‌های 5G و 6G

6G	5G
اتصال فوق‌سریع (THz)	باند زیر ۶ گیگاهرتز شلوغ
تجربه واقعیت گسترده فراگیر (XR) و ارتباط هولوگرافیک با وضوح	ظرفیت محدود برای نوع جدید ارتباطات بالا
MIMO عظیم بدون سلول	ارتباطات سلولی
اتصال فراگیر	زیرساخت
ارتباط کوانتومی و بلاکچین	مشکلات امنیتی
قابلیت اطمینان بالا و تأخیر بسیار کم	تأخیر کم
یادگیری عمیق به عنوان راحل بهبود	الگوریتم‌های موجود برای مدل‌سازی اطلاعات کانال

باید توجه داشت که 6G پیشنهاد می‌دهد 5G را با شبکه‌های ماهواره‌ای یعنی مخابرات و ناوبری (GPS) یکپارچه کند تا به سرعت‌های اتصال تا ۱۱ گیگاهرتز بر ثانیه دست یابد. آنتن‌های نانو برای توسعه اینترنت اشیاء استفاده خواهند شد. پوشش جهانی و اتصال اینترنت پرسرعت اهداف اصلی فناوری 6G هستند. علاوه بر این، شبکه‌های 6G برنامه‌ریزی را در خود شبکه جای می‌دهند، به این معنا که شبکه از نحوه استفاده از خود، نیاز واقعی کاربران در لحظه خاص و نیازهای احتمالی در زمان بعدی آگاه می‌شود؛ و قادر خواهد بود با بازپیکربندی منابع خود و درخواست از ذینفعان برای ارائه منابع اضافی، برنامه‌ریزی تکامل خود را انجام دهد و دلایل و برنامه‌های تجاری قانع‌کننده ایجاد کند. روندهای محرک 6G در مرجع [79] خلاصه شده‌اند:

- **همگرایی ارتباطات، محاسبات، کنترل، مکان‌یابی و حسگرها CLS3:** محاسبات، کنترل، مکان‌یابی و حسگرها علاوه بر ارتباطات بی‌سیم فعلی.
- **سطوح و محیط‌های بازتابنده هوشمند:** با استفاده از سطوح بازتابنده هوشمند که به عنوان دیوارها، جاده‌ها، درها و ساختمان‌ها عمل می‌کنند، کمک به حفظ خط دید و دریافت سیگنال با کیفیت و حداقل تلفات.
- **دسترس‌پذیری گسترده داده‌های کوچک:** انتقال از داده‌های بزرگ متمرکز به داده‌های کوچک توزیع‌شده گسترده.
- **دسترس‌پذیری بیشتر منابع (یعنی بیت، طیف و قابلیت اطمینان):** طیف فرکانسی بالاتر (THz) با دسترسی به ۱ ترا بیت بر ثانیه.
- **شبکه‌های خودپایدار:** استفاده از هوش مصنوعی برای تسهیل شبکه‌های بی‌سیم هوشمند و خودپایدار.
- **اتصال فراگیر شامل هوا، زمین و دریا:** یکپارچه‌سازی حالت فضا-هوا-زمین-دریا برای تسهیل ارتباطات بی‌سیم در وسایل پرنده، XR، رابط مغز-کامپیوتر (BCI) و غیره.

## 6G برای شهرهای هوشمند جدید

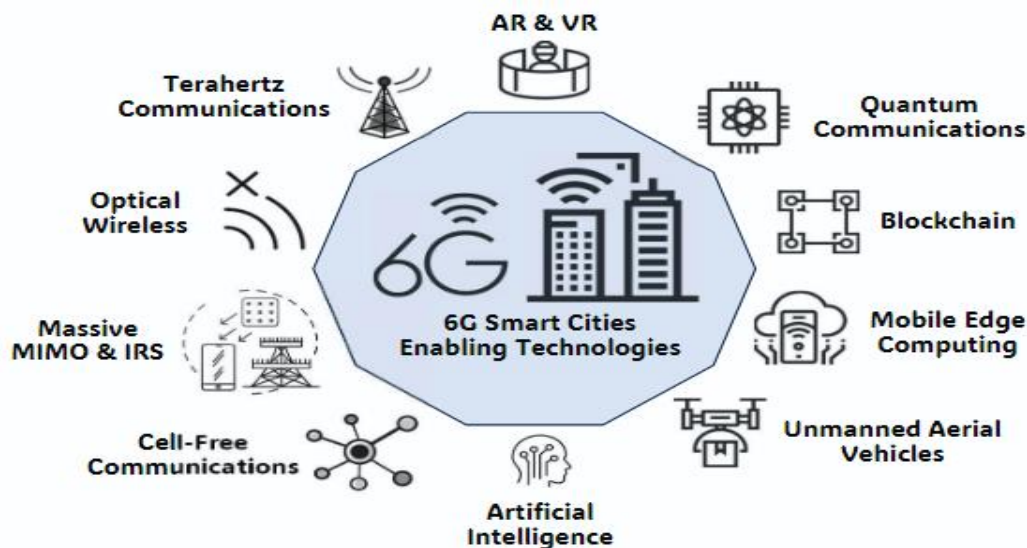
با ادامه رشد تقاضا برای راحل‌های فناورانه پیشرفته در شهرهای هوشمند، بحث‌های بسیاری درباره توانایی شبکه‌های G 6 برای فراهم کردن زیرساخت مورد نیاز این شهرهای آینده وجود دارد. در حالی که شبکه‌های G 5 گام‌های مهمی در بهبود اتصال و پشتیبانی از IoT برداشته‌اند، انتظار می‌رود شبکه‌های G 6 سرعت‌های بالاتر، تأخیر کمتر و ظرفیت بیشتری ارائه دهند و آن‌ها را برای پشتیبانی از سیستم‌ها و دستگاه‌های پیچیده در شهرهای هوشمند ایده‌آل کند.

با کمک شبکه‌های G6، شهرهای هوشمند جدید می‌توانند از طیف وسیعی از فناوری‌های پیشرفته بهره‌مند شوند، از جمله خودروهای خودران، شبکه‌های هوشمند برق و بهداشت از راه دور. علاوه بر این، شبکه‌های G 6 می‌توانند برنامه‌های نوآورانه‌ای مانند واقعیت افزوده، واقعیت مجازی و تجربه‌های بازی فراگیر را پشتیبانی کنند و فرصت‌های جدیدی برای کسب‌وکارها و ساکنان این شهرها ایجاد کنند.

با این حال، توسعه شبکه‌های G 6 هنوز در مراحل ابتدایی است و ممکن است چندین سال طول بکشد تا به‌طور گسترده در دسترس قرار گیرند. در همین حین، پژوهشگران و متخصصان صنعت به بررسی مزایا و کاربردهای احتمالی شبکه‌های G 6 در توسعه شهرهای هوشمند جدید ادامه می‌دهند. نمونه‌های نماینده کاربردها در زمینه شهرهای هوشمند به شرح زیر شناسایی شده‌اند 80

- **حمل‌ونقل و لجستیک هوشمند:** انتظار می‌رود در سال ۲۰۳۰ و پس از آن، خودروها و پهپادهای خودران حرکت ایمن، کارآمد و دوستدار محیط‌زیست افراد را تسهیل کنند.
- **رباتیک متصل و سیستم‌های خودران:** وسایل نقلیه خودران که محیط اطراف خود را با ترکیب حسگرهای مختلف مانند LiDAR، رادار، GPS و سونار درک می‌کنند.
- **اتصال فراگیر جهانی:** برنامه‌های دریایی و رودخانه‌ای نیاز به پوشش شبکه هم برای سطح آب و هم برای عمق‌های زیر آن دارند تا اکوسیستم‌ها را پایش و مدیریت کنند، به‌ویژه در شهرهایی با رودخانه یا بندر که دسترسی به منابع دشوار است.
- **هوش گسترده:** حضور فزاینده تجهیزات متصل، مانند ربات‌ها، خودروهای هوشمند یا پهپادها، برنامه‌های جدیدی را به وجود خواهد آورد که نیازمند روش‌های جدید یا به‌روزرسانی فناوری‌های هوش مصنوعی با مصرف محاسباتی بالا هستند مانند بینایی ماشین، مکان‌یابی و نقشه‌برداری همزمان (SLAM)، تشخیص چهره و صدا، پردازش زبان طبیعی و کنترل حرکت

فناوری‌های توانمندساز که برای توسعه این برنامه‌های جدید مفید هستند، در جدول ۳ خلاصه شده و در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.



- **ارتباطات ترابری:** طبق توصیه ها [82]، بازه ۲۷۵ گیگاهرتز-۳ ترابرتز به ارتباطات سلولی اختصاص داده خواهد شد و به باند mmWave (۳۰-۳۰۰ گیگاهرتز) اضافه می شود، که احتمالاً ظرفیت کل باند را بیش از ۱۱ برابر افزایش می دهد. مسئله حیاتی رابط های ترابری احتمالاً منجر به استفاده از آنتن های بسیار جهت دار خواهد شد.
- **هوش مصنوعی (AI):** هوش مصنوعی می تواند تأخیر پردازش در ارتباطات را کاهش دهد و الگوریتم های زمان بر مانند هانداور یا انتخاب شبکه را بهبود بخشد 83
- **یادگیری ماشین (ML):** این تکنیک ها می توانند راحل هایی برای مدیریت منابع و چالش های مدیریت تحرک در شبکه های بی سیم G6 ارائه دهند، مشابه سایر چالش های فنی مانند تخصیص منابع، واگذاری وظایف و مدیریت هانداور 84
- **MIMO عظیم و سطوح بازتابنده هوشمند [85]: IRS (IRSs)** یک فناوری سخت افزاری جدید (همچنین به عنوان متاسطح شناخته می شود) است که ارتباطات سبز و انرژی کارآمد را فراهم می کند؛ این سیستم شامل واحدهای دیود بازتابنده متعدد است که سیگنال های الکترومغناطیسی تابیده شده را با تغییر فاز قابل تنظیم بازتاب می دهند.
- **بلاکچین:** این فناوری ساختار شبکه توزیع شده را با مکانیزم اجماع و رمزنگاری پیشرفته ترکیب می کند و با حذف نقاط شکست منفرد، امنیت را افزایش می دهد. ضعف های اصلی در G5 شامل توان عملیاتی (۱۰ تا ۱۰۰۰ تراکنش در ثانیه) و سطح تعامل بین پلتفرم های مختلف است. الگوریتم های اجماع جدید همراه با معماری ها و تکنیک های اشتراک گذاری نوآورانه این محدودیت ها را در شبکه های G6 کاهش خواهند داد.
- **ارتباطات کوانتومی:** پارادایم نو ظهور رایانش کوانتومی [86] به عنوان یکی از توانمندسازهای اصلی G6 محسوب می شود و امنیت آن را با استفاده از کلید کوانتومی مبتنی بر اصل عدم تکثیر کوانتومی و اصل عدم قطعیت بهبود می بخشد. داده ها در حالت کوانتومی با استفاده از فوتون ها یا ذرات کوانتومی رمزگذاری می شوند و بدون دستکاری نمی توان به آن ها دسترسی یافت یا آن ها را تکثیر کرد.

علاوه بر این، ارتباطات کوانتومی با توجه به اصل تراکم ذاتی در کیوبیت ها، توان عملیاتی را بهبود می بخشد.

- **ارتباطات بدون سلول:** ارتباطات سلولی و ارتوگونال سنتی به سمت ارتباطات بدون سلول و غیرارتوگونال منتقل خواهند شد. کاربران قادر خواهند بود به طور خودکار از یک شبکه به شبکه دیگر منتقل شوند و بهترین شبکه موجود را انتخاب کنند، که مشکلات مربوط به شکست ها و تأخیر های هانداور، از دست رفتن داده ها و اثر پینگ پنگ رایج در شبکه های سلولی را حل می کند.
- **پهپادها:** پهپادها دارای ایستگاه های پایه همراه هستند تا اتصال سلولی ارائه دهند؛ آن ها ویژگی های خاصی مانند استقرار آسان، لینک های دید مستقیم قوی و درجات آزادی با تحرک کنترل شده دارند. پهپادها در مواقع اضطراری (مثلاً بلایای طبیعی) ارزشمند هستند.
- **محاسبات لبه موبایل (MEC):** به دلیل کاربردهای گسترده ابر توزیع شده، محاسبات لبه پیشرفته موبایل (MEEC) بخش حیاتی فناوری G6 شده است [87]؛ این فناوری چالش های سناریو های مبتنی بر ابر را برطرف می کند، جایی که انتقال داده ها از دستگاه های پایانی و سرور های لبه به ابر موجب تأخیر زیاد، ریسک های امنیتی و مصرف پهنای باند بالا می شود.
- **مخابرات نوری بی سیم:** این فناوری در چندین کاربرد، مانند ارتباط خودرو با همه (V2X) و ارتباطات نوری زیرآبی، استفاده گسترده خواهد شد و نرخ های داده بسیار بالا و تأخیر کم ارائه می دهد [88] LiDAR. فناوری امیدوارکننده ای برای نقش برداری سه بعدی با وضوح بسیار بالا در ارتباطات G6 است. همچنین، فناوری های microLED و تکنیک های مالتی پلکس فضایی تا سال ۲۰۲۶ بالغ و مقرون به صرفه خواهند بود 81
- **ارتباطات نوری فضای آزاد (FSO):** امکان لینک های داده فوق سریع را فراهم می کند که در طیف وسیعی از کاربردهای G6، مانند شبکه های ناهمگون با اتصال گسترده و یک هاول بی سیم برای سیستم های سلولی، قابل استفاده هستند 89
- **واقعیت افزوده و واقعیت مجازی AR و VR:** انتظار می رود G6 تجربه های AR و VR یکپارچه و فراگیرتری را فراهم کند و برنامه های جدیدی در زمینه هایی مانند ارتباطات وسایل نقلیه و امنیت شهرهای هوشمند ایجاد نماید.



- **جمع‌آوری انرژی:** رشد گسترده دستگاه‌ها و ترافیک داده، تقاضای انرژی زیادی برای G6 ایجاد کرده است؛ جمع‌آوری انرژی فناوری امیدوارکننده‌ای برای کاهش تضاد بین نیازهای بالای انرژی و ظرفیت محدود باتری است 91, 90
- **ماهواره‌های کم‌ارتفاع:** با توسعه سریع فناوری‌های ارتباطات ماهواره‌ای، نیازهای G6 می‌توانند با ترکیب شبکه‌های سلولی فضایی و زمینی برآورده شوند [92]. صورت‌های ماهواره‌ای کم‌ارتفاع نقش حیاتی در اتصال فضا-زمین ایفا می‌کنند و خدمات پهن‌بند کامل برای کاربران زمینی تضمین می‌کنند.

## ۷. شهرهای هوشمند مجهز به G6

یکی از مفاهیم کلیدی شهرهای هوشمند مجهز به G6، ادغام فناوری‌های پیشرفته ارتباطی، به‌ویژه شبکه‌های G6، در توسعه و مدیریت شهرهای هوشمند است. یک شهر هوشمند از فناوری‌های دیجیتال و راحل‌های مبتنی بر داده برای بهبود کیفیت زندگی ساکنان، افزایش بهره‌وری زیرساخت‌ها و ترویج توسعه پایدار استفاده می‌کند. علاوه بر این، شبکه‌های G6 می‌توانند توسعه زیرساخت‌های هوشمند، مانند حسگرها و دستگاه‌های متصل، را تسهیل کرده و امکان پایش و مدیریت بهتر منابع شهری را فراهم کنند. این شامل مدیریت هوشمند زباله، بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی، و برنامه‌ریزی شهری هوشمند مبتنی بر تحلیل داده است.

علاوه بر این، انتظار می‌رود شهرهای هوشمند مجهز به G6 با فراهم کردن دسترسی بهتر به خدمات، مانند مراقبت‌های بهداشتی از راه دور، آموزش آنلاین و پلتفرم‌های حکمرانی دیجیتال، شمول و کیفیت زندگی شهروندان را افزایش دهند.

در این بخش، راحل‌های شهر هوشمند مجهز به G6 که در ادبیات ارائه شده‌اند، به‌طور خلاصه توصیف شده و بر اساس فناوری‌های اساسی توانمندساز (خلاصه‌شده در جدول ۳) و کاربردها، گروه‌بندی شده‌اند. جدول ۴ در پایان بخش، متناظر بودن آن‌ها را خلاصه می‌کند.

بین فناوری‌های توانمندساز برای شهرهای هوشمند در G6 و مطالعات موجود در ادبیات که کاربرد آن‌ها را توصیف می‌کنند.

## جدول ۳. فناوری‌های توانمندساز G6 برای شهرهای هوشمند

توضیح کوتاه	فناوری
امواج THz به فرکانس‌های 0.1–10 THz و طول موج‌های متناظر 0.03–3 میلی‌متر اشاره ارتباطات دارند	تراهرتز (THz)
استفاده از AI برای خودکارسازی، امکان تبدیل از رادیوی شناختی به رادیوی هوشمند و بهبود انتقال داده‌های زمان واقعی	هوش مصنوعی (AI)
فناوری MIMO حجیم 5G در G6 به‌همگرا خواهد شد که MIMO حجیم 2.0 نامیده می‌شود	MIMO حجیم (M-MIMO)
فناوری مناسب برای مدیریت داده‌های عظیم در سیستم‌های ارتباطی آینده با بهبود حریم خصوصی و امنیت، مقیاس‌پذیری، تعامل‌پذیری و قابلیت اطمینان	بلاکچین (BC)
پارادایم نوظهور محاسبات کوانتومی که امنیت را با استفاده از کلید کوانتومی مبتنی بر اصل عدم ارتباطات کپی‌برداری و اصل عدم قطعیت افزایش می‌دهد	کوانتومی (QC)
کاربران قادر خواهند بود به‌طور خودکار از یک شبکه به شبکه دیگر منتقل شوند و بهترین شبکه ارتباطات را انتخاب کنند، حل مشکلات مربوط به شکست‌های هانداور و تأخیرها	بدون سلول (CFC)
ایستگاه‌های پایه روی پهپادها برای ارائه اتصال سلولی با ویژگی‌هایی مانند استقرار آسان، لینک‌های دید مستقیم قوی و درجات آزادی با تحرک کنترل‌شده	پهپادها (UAVs)
قادر به حل چالش‌هایی که در آن انتقال داده‌ها از دستگاه‌های پایانی یا سرورهای لبه به ابر باعث محاسبات تأخیر زیاد و ریسک‌های امنیتی می‌شود	لبه موبایل (MEC)

## توضیح کوتاه

## فناوری

ارتباطات نوری بی‌سیم  
(OW)  
واقعیت افزوده/مجازی  
(AR/VR)

این فناوری‌ها نرخ داده بسیار بالا و تأخیر کم ارائه می‌دهند

این فناوری‌ها برنامه‌ها و خدمات فراگیر جدیدی را امکان‌پذیر می‌کنند

## ۷. ارتباطات ترارتر

در مرجع [93]، نویسندگان تأکید می‌کنند که G6 به بهینه‌سازی مبتنی بر AI نیاز دارد. رویکردهای سنتی بر دانش پیشین و تحلیل آماری مبتنی هستند، اما به دلیل گذشت زمان از تحلیل تا تصمیم‌گیری، ناکارآمد هستند [94]. پروتکل‌ها و مکانیزم‌های شبکه G6 مجهز به AI با الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق ارائه شده‌اند تا چندین مشکل شبکه‌ای را حل کنند.

مفهوم شهرهای هوشمند آینده و نقش فناوری شبکه G6 در توسعه آن‌ها در مرجع [95] مورد بحث قرار گرفته است و نیاز به شهرهای مترکم و محور AI، اتصال عظیم دستگاه‌ها و ترافیک داده‌ها برجسته شده است. شبکه G6 به عنوان راحل این شهرهای آینده دیده می‌شود و با استفاده از امواج ترارتر پهنای باند بالا و تأخیر کم ارائه می‌دهد. با این حال، محدوده کوتاه و تضعیف اتمسفری امواج ترارتر، چالش‌هایی برای شبکه G6 ایجاد می‌کند. مطالعه معماری شبکه زمینی مفهومی به نام **Nested Bee Hive** را پیشنهاد داد که برای پاسخ به نیازهای شهرهای هوشمند آینده طراحی شده است. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی مختلف عملکرد این معماری را ارزیابی کرده و پویایی ارتباطات در محیط G6 را تعیین کردند.

## جدول ۴. فناوری‌های توانمندساز G6 برای شهرهای هوشمند در ادبیات

مرجع [96] پیشنهاد می‌دهد محدودیت‌های آنتن‌های ترارتر فعلی و IRS را با در نظر گرفتن تنها مدولاسیون تک‌حامل با مفیاس آرایه کوچک و استفاده از MIMO فوق عظیم برطرف کرد. لینک‌های THz با تلفات بالای اتصال مواجه هستند. در مرجع [97]، نویسندگان

روش پیشنهادی [98] برای بهینه‌سازی دینامیک مسیر انتقال، استفاده از سطوح هوشمند قابل پیکربندی (RIS) است که با جاسازی عناصر فعال در متاسطح‌های غیرفعال ساخته می‌شوند. این متاسطح‌ها دارای قابلیت‌های قابل تنظیم مانند مدولاسیون دامنه در سطح پیکسل و پوشش فازی گسترده برای هدایت پرتو هستند. مزایای RIS شامل پیاده‌سازی آسان، مقرون به صرفه بودن، تقویت قدرت سیگنال، بهبود امنیت لایه فیزیکی، و افزایش دقت موقعیت‌یابی است. این فناوری‌ها برای شبکه‌های زمینی و هوایی خودروها بسیار مناسب هستند و در تبادل حجم عظیمی از اطلاعات با پهنای باند وسیع، قابلیت اطمینان بالا و تأخیر کم، به ویژه در محیط‌های mmWave و THz، اهمیت حیاتی دارند.

## هوش مصنوعی (AI) در G6

تبدیل رادیوهای شناختی به رادیوهای هوشمند در بستر G6 با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته AI امکان‌پذیر است. این الگوریتم‌ها می‌توانند ارتباطات رادیویی را به صورت دینامیک و با توجه به شرایط محیط رادیویی تنظیم کنند.

کاربردهای اصلی AI در شهرهای هوشمند و ارتباطات G6 شامل موارد زیر است:

1. تشخیص مدولاسیون: برای دمدولاسیون و رمزگشایی سیگنال‌ها، شناسایی تداخل و نظارت طیف. شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) و بازگشتی (RNN) برای تشخیص مدولاسیون در کانال‌های نویزی و ریلی ارائه شده‌اند [99]. همچنین، رویکرد یادگیری فدرال مبتنی بر CNN برای حفظ حریم خصوصی سیگنال‌ها معرفی شده است [100].
2. طبقه‌بندی ترافیک شبکه: برای تضمین QoS، کنترل قیمت، مدیریت منابع و امنیت برنامه‌های SC. برای مثال، Tree-RNN برای طبقه‌بندی 12 کلاس مختلف ترافیک شبکه ارائه شده است [101] و شبکه هیبریدی-CNN RNN برای طبقه‌بندی ترافیک IoT و خدمات معرفی شده است [102].

3. **برآورد کانال:** تخمین ویژگی‌های کانال برای بازیابی اطلاعات ارسالی. استفاده از DL و DNN برای برآورد کانال و تشخیص سمبل در سیستم‌های OFDM، بدون نیاز به برآورد مستقیم ویژگی‌های کانال، پیشنهاد شده است 93,103

### کاربرد در حمل‌ونقل و خودروهای خودران

گسترش IoT، محاسبات لبه و AI موبایل امکان بهره‌برداری از داده‌های جمع‌آوری شده توسط خودروهای متصل و خودران (CAV) را برای مدیریت شهری فراهم می‌کند. برای مثال، یک چارچوب سلسله‌مراتبی هوشمند برای نگهداری زیرساخت‌های جاده‌ای با استفاده از G6 و تکنیک‌های یادگیری عمیق معرفی شده است [104]. این چارچوب به تحلیل و بهینه‌سازی اطلاعات جمع‌آوری شده از خودروهای خودران و حسگرهای محیطی کمک می‌کند تا مسیرهای ترافیکی، تعمیرات و نگهداری جاده‌ها بهینه شوند.

چارچوب ارائه‌شده در [104, 105] با استفاده از روش‌های آموزش AI در لبه شبکه (Mobile Edge AI Training)، نیازهای سختگیرانه برای آموزش برنامه‌های ML کارآمد در خودروهای خودران متصل (CAVs) را برآورده می‌کند و به‌طور مؤثر از گسترش پیش‌بینی‌شده CAVها در شبکه‌های جاده‌ای آینده بهره‌برداری می‌کند.

### یادگیری فدرال (Federated Learning) و هوش فراگیر در G6

با شیوع جهانی COVID-19، استفاده از جلسات مجازی و ویدئوهای زنده در حوزه‌های مختلف از جمله بهداشت، کسب‌وکار و آموزش افزایش یافت. یادگیری فدرال (FL) به عنوان یک روش آموزش برای دستیابی به هوش فراگیر در سیستم‌های ارتباطی G6 مطرح است، اما اجرای آن در سیستم‌های لبه‌ای G6 با چالش‌های زیر مواجه است:

1. مصرف بالای انرژی در طول آموزش غیرمتمرکز.
2. محدودیت‌های دستگاه‌های موبایل با منابع محدود و باتری.
3. تجمع محاسبات سنگین و هزینه‌های ارتباطی ناشی از بهروزرسانی‌های محلی در چندین دور جهانی، که موجب گلوگاه انرژی می‌شود. راهکار [105] FedRelay یک چارچوب چندجریانی یادگیری رله‌ای است که بهروزرسانی‌های محلی را رله به رله انجام می‌دهد و پروتکل انتخاب رله غیرمتمرکز را معرفی می‌کند تا از تنوع شبکه‌های ارتباطی تعاونی بهره‌مند شود.

### کاربرد CNN و MIMO

- چارچوب برآورد کانال مبتنی بر CNN برای سیستم‌های Massive MIMO پیشنهاد شده است [106] که از کانولوشن یک‌بعدی برای پردازش داده‌های ورودی استفاده می‌کند.
- سیستم شبکه بی‌سیم MIMO مبتنی بر IoT و بهینه‌شده برای G6 [107] برای بهبود نرخ خطای بیت (BER) و ظرفیت طراحی شده است.

### راهکارهای مبتنی بر بلاکچین

ارتباطات سنتی UAVها برای مواجهه با ویژگی‌های دینامیک و تحرک بالا کافی نیست. برای رفع این مشکل:

- [108] بررسی جامعی از معماری، نیازمندی‌ها و موارد کاربرد UAVها در بستر G6 ارائه می‌دهد و یک راهکار امنیتی مبتنی بر بلاکچین معرفی می‌کند.
- بلاکچین در SCها امکان ارائه خدمات بهینه و امن، کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی داده، و افزایش اعتماد عمومی و شفافیت را فراهم می‌کند. این فناوری در بخش مالی و بانکی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا امکان نظارت و تأیید فرآیندهای سیاست‌گذاری را برای افراد فراهم می‌کند.
- با استفاده از بلاکچین و AI در بستر G6 [109–111] می‌توان امنیت، حریم خصوصی و مدیریت منابع در شبکه‌های لبه‌ای و آینده‌نگر را تقویت کرد و از مدل‌های متمرکز سنتی به مدل‌های غیرمتمرکز مقاوم و پایدار انتقال یافت.

در مجموع، ترکیب یادگیری فدرال، AI لایه‌ای، MIMO پیشرفته و بلاکچین، چارچوبی امن و مقیاس‌پذیر برای مدیریت داده‌ها و آموزش هوشمند در شهرهای هوشمند مبتنی بر 6G فراهم می‌کند.

کاربردهای مختلف بلاکچین، ارتباطات کوانتومی و پهپادها در شهرهای هوشمند مبتنی بر 6G به شرح زیر است:

---

#### 7.4. ارتباطات کوانتومی (Quantum Communication, QC)

با افزایش سریع نیاز به ارتباطات فوق‌قابل اعتماد، سریع، کم‌مصرف و امن، QC به عنوان یک فناوری کلیدی در 6G مطرح شده است:

- توزیع کلید کوانتومی (QKD) امکان تبادل امن کلید بین دستگاه‌ها و رمزگذاری داده‌ها برای افزایش امنیت اطلاعات.
- ترکیب با CNN: استفاده از QKD برای تولید کلید و رمزگذاری داده‌ها با شبکه‌های عصبی کانولوشنی، لایه‌ای اضافی برای امنیت داده‌ها فراهم می‌کند 116
- کاربردهای پیشرفته: شامل سوئیچینگ نوری کوانتومی، تبدیل THz به نور، متریال‌های پیشرفته برای محیط‌های برنامه‌پذیر رادیو-نوری و هوش مصنوعی 117
- مثال‌های کاربردی: ارتباطات فوق‌عظیم برای فضاها، متصل، تلپورت هولوگرافیک، اینترنت لمسی، تعامل مغز-کامپیوتر و اشکال نوین ارتباطات.

مزیت اصلی QC در افزایش امنیت و کاهش پیچیدگی محاسباتی در شبکه‌های آینده 6G است.

---

#### 7.5. پهپادها و راهکارهای مبتنی بر UAV

استفاده از پهپادها به ویژه در زمینه شبکه‌های پروازی ad hoc و ارتباطات 5G و فراتر از آن رو به افزایش است:

- بهینه‌سازی مکان UAV-BS: با استفاده از یادگیری تقویتی پیشرفته (ACDQL) برای تعیین موقعیت پویا پهپادهای حامل ایستگاه‌های پایه، حتی در حضور کاربران متحرک 118
- انعطاف‌پذیری در موقعیت‌یابی: برخلاف مدل‌های پیشین که موقعیت کاربران روی زمین ثابت فرض می‌شد، این روش با تغییر مکان کاربران سازگار است.
- هدف تابع پاداش: حفظ کیفیت سرویس، کاهش تأخیر و بهبود پوشش شبکه برای کاربران متحرک.

---

#### 7.6. بلاکچین برای IoT صنعتی و شهرهای هوشمند

- بلاکچین اعتماد را در بستر توزیع‌شده بدون نیاز به نهادهای واسطه فراهم می‌کند 112
  - کاربردها شامل IIoT: Industry 5.0، مدیریت منابع طیف، حریم خصوصی و امنیت، و بهبود قابلیت همکاری و قابلیت اعتماد سیستم‌ها 113
  - نیاز به معماری غیرمتمرکز مبتنی بر بلاکچین در شبکه‌های 6G ایجاد شده است تا با نیازهای برنامه‌های داده‌محور IIoT همسو شود.
-

این فناوری‌ها در کنار هم، چارچوبی امن، قابل اعتماد و هوشمند برای شهرهای هوشمند آینده ایجاد می‌کنند که شامل ارتباطات گسترده، خدمات فوق‌دقیق، و مدیریت بهینه منابع می‌شود.

کیفیت خدمات و عملکرد شبکه شود، به‌ویژه زمانی که تعداد دستگاه‌های متصل و حجم داده‌ها بسیار زیاد است.

---

## 7.5. راهکارهای پهنای و UAV-BS

- **UAV-BS و مدیریت داده‌ها:** پهپادهای حامل ایستگاه‌های پایه (UAV-BS) در محدوده منطقه مورد نظر مستقر شده و هدفشان حداکثر کردن مجموع نرخ داده کاربران است.
- **فریم‌ورک CioDT:** در مواقع اضطراری، پیام‌های حیاتی بین سیستم‌های شبکه هوشمند و منابع برق منتقل می‌شود و اتصال شبکه‌ای پایدار حفظ می‌شود [119]. این شامل مکان‌یابی واقع‌گرایانه، انتقال پیام مبتنی بر MQTT و تخصیص شبکه Slice ویژه با تأخیر 1.19 ثانیه و احتمال تحویل 0.99 است.
- **پروتکل‌های مسیریابی UAV:** الگوریتم CHNN برای پروتکل OLSR بهینه ارائه شده است تا شکست مسیرها کاهش یافته و عملکرد مسیریابی در شبکه‌های پروازی (FANET) ad hoc بهبود یابد [120]. این الگوریتم باعث افزایش نرخ تحویل بسته‌ها، کاهش سربار کنترلی، افزایش توان عملیاتی و کاهش تأخیر end-to-end می‌شود.
- **DHT و شبکه‌های کاربرمحور:** پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر جدول هش توزیع‌شده (DHT) و طراحی شبکه‌های کاربرمحور (UCN) با استفاده از فناوری دفتر کل توزیع‌شده (DLT) امکان ارائه خدمات شخصی‌سازی‌شده، کنترل خودمختار داده‌ها و حفظ حریم خصوصی را فراهم می‌کنند 133-135

---

## 7.6. راهکارهای خودرویی و موبایلی

- **Mobile Edge Computing (MEC):** برای کاهش تأخیر و ریسک‌های امنیتی ناشی از ارسال داده‌ها به کلود، MEC داده‌ها را نزدیک به منبع پردازش می‌کند.
- **مزایا در شهرهای هوشمند:** کاهش تأخیر، بهبود ظرفیت ذخیره‌سازی و پردازش در دستگاه‌های با توان پردازشی کم، و پشتیبانی از سیستم‌های هوشمند متعدد 123
- **چالش‌ها:** ناسازگاری فناوری‌های مختلف و تعداد بالای دستگاه‌های متصل می‌تواند باعث کاهش کیفیت شبکه شود؛ مدیریت بهینه منابع و هماهنگی بین تکنولوژی‌ها ضروری است.

---

در کل، پهپادها، MEC و شبکه‌های کاربرمحور با DHT/DLT ستون‌های اصلی زیرساخت G6 برای شهرهای هوشمند هستند و امکان ارائه خدمات سریع، امن، و شخصی‌سازی‌شده را فراهم می‌کنند.

اینترنت و داده‌های تولیدشده توسط کاربران می‌توانند در شناسایی رخدادهای غیرعادی مفید باشند، حتی اگر سرعت شبکه تحت تأثیر باشد.

---

## روند دیجیتالی‌سازی و نقش G6 در شهرهای هوشمند

- **دیجیتالی‌سازی ساختمان‌ها و شهرهای هوشمند:** با پیشرفت فناوری و حرکت به سمت G6، دیجیتالی‌سازی ساختمان‌ها و SC ها اثرگذاری بیشتری پیدا کرده است 124

- **مدیریت انرژی و بهره‌وری:** برای ادغام اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها، مفهوم **نخیره‌سازی و مدیریت انرژی** ضروری است. ساختمان‌ها تقریباً 35٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف نهایی انرژی را به خود اختصاص می‌دهند و توجه سیاست‌گذاران به بهره‌وری انرژی افزایش یافته است.

#### • مزایای G:6

- ارتباط فوق‌سریع و پردازش لحظه‌ای حجم عظیمی از داده‌ها
- بهبود سیستم‌های بهداشت و درمان، حمل‌ونقل، لجستیک و امنیت
- مدیریت میلیاردها دستگاه متصل در مقیاس ماکرو تا نانو
- پشتیبانی از پردازش و تحلیل داده‌های پیچیده برای شهرهای هوشمند، هوشمند و حساس 136

### چالش‌های G 6 در شبکه‌های ارتباطی

- **ساختار میکروسلول و فرکانس‌های بالا:** استفاده از فرکانس‌های بالاتر از شبکه‌های G 5 موجود، چالش‌های جدی ایجاد می‌کند؛ مانند:
  - تغییرات سرعت خودروها
  - تضعیف سیگنال ناشی از باران
  - قطبش مجدد (depolarization)
- **سیستم‌های اضطراری: eCall** اجرای G 6 برای مدیریت اضطراری خودروها، به ویژه در شرایط بارانی و حوادث جاده‌ای، چالش‌برانگیز است 125

### کاربردهای G 6 در حمل‌ونقل و شبکه‌های خودرو محور

- **V2I و شبیه‌سازی دیجیتال جاده‌ها:** ارتباط خودرو به زیرساخت (V2I) برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و کنترل محیط پیچیده جاده‌ها با استفاده از **Digital Twins** و شبکه‌های حسگر چندگانه 126
- **شبکه C-LNet:** ترکیب داده‌های LiDAR و دوربین با ساختار **دو رمزگذاری یک رمزگشا** برای یکپارچه‌سازی داده‌های ناهمگن و ادغام ویژگی‌های چندمقیاسی برای همکاری خودروها.
- **ادغام فناوری‌ها در SCs:** استفاده از G5، IoT، حمل‌ونقل، انرژی، ارتباطات ماهواره‌ای، بینایی ماشین، امنیت سایبری و تحلیل داده‌ها برای مدیریت و پیش‌بینی عملکرد، کنترل منابع و بهبود تجربه انسانی 127
- **JCAS و حسگری مشترک:** ترکیب ارتباط و حسگری بی‌سیم در فرکانس‌های میلی‌متری برای شبکه‌های رادیویی با قابلیت درک محیط و مانیتورینگ دقیق فعالیت‌ها، از جمله تشخیص و طبقه‌بندی خودروها در شبیه‌سازی 128

به طور خلاصه، G 6 قابلیت ارائه شبکه‌های سریع، قابل اعتماد و هوشمند برای شهرهای آینده را دارد که می‌تواند حمل‌ونقل، مدیریت انرژی و تجربه انسانی را به سطح بالاتری ارتقا دهد.

اینترنت و داده‌های تولیدشده توسط کاربران می‌توانند در شناسایی رخدادهای غیرعادی مفید باشند، حتی اگر سرعت شبکه تحت تأثیر باشد.

## روند دیجیتالی‌سازی و نقش G 6 در شهرهای هوشمند

- **دیجیتالی‌سازی ساختمان‌ها و شهرهای هوشمند:** با پیشرفت فناوری و حرکت به سمت G6، دیجیتالی‌سازی ساختمان‌ها و SC ها اثرگذاری بیشتری پیدا کرده است 124
- **مدیریت انرژی و بهره‌وری:** برای ادغام اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها، مفهوم **ذخیره‌سازی و مدیریت انرژی** ضروری است. ساختمان‌ها تقریباً 35٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف نهایی انرژی را به خود اختصاص می‌دهند و توجه سیاست‌گذاران به بهره‌وری انرژی افزایش یافته است.
- **مزایای G:6**
  - ارتباط فوق‌سریع و پردازش لحظه‌ای حجم عظیمی از داده‌ها
  - بهبود سیستم‌های بهداشت و درمان، حمل‌ونقل، لجستیک و امنیت
  - مدیریت میلیاردها دستگاه متصل در مقیاس ماکرو تا نانو
  - پشتیبانی از پردازش و تحلیل داده‌های پیچیده برای شهرهای هوشمند، هوشمند و حساس 136

---

## چالش‌های G 6 در شبکه‌های ارتباطی

- **ساختار میکروسلول و فرکانس‌های بالا:** استفاده از فرکانس‌های بالاتر از شبکه‌های G 5 موجود، چالش‌های جدی ایجاد می‌کند؛ مانند:
  - تغییرات سرعت خودروها
  - تضعیف سیگنال ناشی از باران
  - قطبش مجدد (depolarization)
- **سیستم‌های اضطراری: eCall** اجرای G 6 برای مدیریت اضطراری خودروها، به ویژه در شرایط بارانی و حوادث جاده‌ای، چالش‌برانگیز است 125

---

## کاربردهای G 6 در حمل‌ونقل و شبکه‌های خودرو محور

- **V2I و شبیه‌سازی دیجیتال جاده‌ها:** ارتباط خودرو به زیرساخت (V2I) برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و کنترل محیط پیچیده جاده‌ها با استفاده از **Digital Twins** و شبکه‌های حسگر چندگانه 126
- **شبکه C-LNet:** ترکیب داده‌های LiDAR و دوربین با ساختار دو رمزگذار یک رمزگشا برای یکپارچه‌سازی داده‌های ناهمگن و ادغام ویژگی‌های چندمقیاسی برای همکاری خودروها.
- **ادغام فناوری‌ها در SCs:** استفاده از G5، IoT، حمل‌ونقل، انرژی، ارتباطات ماهواره‌ای، بینایی ماشین، امنیت سایبری و تحلیل داده‌ها برای مدیریت و پیش‌بینی عملکرد، کنترل منابع و بهبود تجربه انسانی 127
- **ICAS و حسگری مشترک:** ترکیب ارتباط و حسگری بی‌سیم در فرکانس‌های میلی‌متری برای شبکه‌های رادیویی با قابلیت درک محیط و مانیتورینگ دقیق فعالیت‌ها، از جمله تشخیص و طبقه‌بندی خودروها در شبیه‌سازی 128

---

به طور خلاصه، G 6 قابلیت ارائه شبکه‌های سریع، قابل اعتماد و هوشمند برای شهرهای آینده را دارد که می‌تواند حمل‌ونقل، مدیریت انرژی و تجربه انسانی را به سطح بالاتری ارتقا دهد.

این پیشرفت‌ها امکان ارائه خدمات جدیدی را فراهم می‌کنند، از جمله شناسایی مسیر حرکت کاربران جاده‌ای.

---

## محاسبات هوایی (Aerial Computing)

- محدودیت‌های سیستم‌های محاسباتی موجود: بسیاری از برنامه‌ها و سناریوهای کاربردی در محاسبات ابری و محاسبات لبه‌ای یا در دسترس نیستند یا به‌صورت جزئی پیاده‌سازی شده‌اند.
- مفهوم محاسبات هوایی: ترکیب شبکه‌های دسترسی رادیویی هوایی و محاسبات لبه‌ای برای ارائه معماری جامع محاسباتی 129
- اجزای محاسبات هوایی:
  - محاسبات کم ارتفاع (LAC)
  - محاسبات بلند ارتفاع (HAC)
  - پلتفرم‌های محاسبات ماهواره‌ای
  - سیستم‌های محاسبات سنتی
- مزایا: خدمات محاسباتی جهانی، بهبود حرکت و مقیاس‌پذیری، افزایش در دسترس بودن و قابلیت همزمانی.
- فناوری‌های کلیدی: شارژ انرژی، محاسبات لبه‌ای، نرم‌افزار شبکه، طیف‌های فرکانسی، تکنیک‌های چنددسترسی، هوش مصنوعی و داده‌های بزرگ.
- کاربردها: شهرهای هوشمند، خودروهای هوشمند، کارخانه‌های هوشمند و شبکه‌های برق هوشمند.

---

### خدمات اضطراری و مدیریت آتش

- نیاز به ارتباطات قابل اعتماد و کم‌تاخیر: برای هدایت آتش‌نشانان با استفاده از حسگرها و ربات‌های توزیع‌شده.
- معماری پیشنهادی: EMDC
  - 1. پیش‌بینی و طبقه‌بندی وقوع آتش با داده‌های حسگر
  - 2. تأیید آتش با مدل CNN
  - 3. اطلاع‌رسانی به ساکنان و پخش ویدئوی 360 درجه به ایستگاه آتش‌نشانی

---

### واقعیت افزوده و واقعیت مجازی (AR/VR)

- کاربرد در وسایل نقلیه و شهرهای هوشمند:
  - ارتباطات محلی V2V و جهانی V2X برای رانندگی ایمن و کارآمد
  - شناسایی پیشگیرانه خطرات خارج از دید راننده
- مثال عملی:
  - خودروها در حال حرکت، عابر پیاده‌ای ناگهان عبور می‌کند
  - تصویر توسط دوربین خودرو اول شناسایی و به خودرو پشت سر ارسال می‌شود
  - هشدار تصویری و تصویر عابر در AR روی شیشه نمایش داده می‌شود 132
- نیازمندی‌ها: اطمینان بالا، دسترسی دائمی، تأخیر کم و نرخ داده بالا که توسط 6G قابل تضمین است

---

### پیاده‌سازی واقعی شهرهای هوشمند

- وضعیت جهانی: بیش از 140 شهر هوشمند در جهان، در حال افزایش سریع 137
- نمونه لندن:
  - برنامه Connect London
  - توسعه شبکه پیشرفته 5G و پوشش کامل فیبر نوری 138



## ○ نصب حسگرها روی چراغ‌های خیابانی برای نظارت و خدمات هوشمند

شهر لندن با سرمایه‌گذاری‌های گسترده در هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT) و فناوری‌های نوظهور G6، حسگرها و نقاط شارژ خودروهای برقی را تجهیز کرده است که انتظار می‌رود این راهکارهای نوآورانه بیش از پیش پیشرفت کنند.

بارسلونا نمونه دیگری از شهر هوشمند است که شبکه گسترده‌ای از چراغ‌های LED مجهز به حسگر دارد. این حسگرها جریان ترافیک، کیفیت هوا، حرکت عابران و سطح صدا را نظارت می‌کنند و قابلیت کم‌نور کردن یا خاموش کردن چراغ‌ها را دارند. همچنین، سطل‌های زباله هوشمند مجهز به سیستم‌های مکده زباله معرفی شده‌اند که زباله را به زیر زمین منتقل می‌کنند، بوی نامطبوع را کاهش داده و تعداد سفرهای کامیون‌های جمع‌آوری زباله را کم می‌کنند.

اسلو نمونه‌ای دیگر از پیاده‌سازی حسگر هوشمند است. برنامه روشنایی هوشمند خیابانی اسلو کل شهر را پوشش می‌دهد و هدف آن بهبود بهره‌وری شبکه روشنایی است. این سیستم به‌صورت یکپارچه از طریق اپلیکیشن‌های اینترنتی قابل دسترسی است و امکان مدیریت و نظارت بر سطح روشنایی و تنظیم شدت نور بر اساس تغییرات فصلی و نیازهای خاص را فراهم می‌کند. با استفاده از ۲۰,۰۰۰ چراغ هوشمند، مصرف انرژی در کل شهر تقریباً ۷۰٪ کاهش یافته است [139]

سنگاپور با آغاز برنامه Smart Nation در سال ۲۰۱۴، مجموعه‌ای گسترده از فناوری‌های هوشمند را معرفی کرده است. فناوری پرداخت بدون تماس برای تسهیل حرکت و فرآیندهای پرداخت حدود ۷/۵ میلیون نفر از کاربران حمل‌ونقل عمومی به کار گرفته شده است. همچنین، برای پاسخ به چالش‌های جمعیت سالمند، سیستم سلامت دیجیتال راه‌اندازی شد که شامل مشاوره‌های ویدیویی و دستگاه‌های پوشیدنی IoT برای پایش بیماران است [139]

سئول به‌عنوان پیشرفته‌ترین شهر در استفاده از داده‌های بزرگ شناخته می‌شود. این شهر با جمع‌آوری و تحلیل الگوهای شهری مانند جریان ترافیک، سرعت و کیفیت هوا از طریق حسگرها و دوربین‌های مدار بسته، پایه‌ای مستحکم برای توسعه زیرساخت‌ها و خدمات هوشمند ایجاد کرده است. توجه ویژه‌ای به نیازهای جمعیت سالمند شده است؛ برای مثال، سنسورهای محیطی به‌منظور تشخیص فعالیت‌های غیرعادی یا شرایط نامعمول دما، رطوبت یا نور، و در صورت بروز مشکل، اطلاع‌رسانی فوری به کارکنان مربوط و خدمات اضطراری انجام می‌شود. همچنین، سئول در حال بررسی استفاده از پلتفرم داده‌های خود برای ایجاد سیستم‌های هوش مصنوعی جهت شناسایی الگوهای احتمالی جرم است [140] و از فناوری G 5 برای بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل بهره می‌برد [139]

نیویورک نمونه دیگری از به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته در شهرهای هوشمند است. صدها حسگر هوشمند و فناوری مختلف در محله‌های شهر در قالب برنامه آزمایشی شهر هوشمند در سال ۲۰۲۰ نصب شد [141]. این برنامه داده‌ها را جمع‌آوری می‌کند تا مدیریت خدمات مانند جمع‌آوری زباله به‌صورت مؤثرتر انجام شود. همچنین، کیوسک‌های تلفن قدیمی با هاب‌های هوشمند مجهز به فناوری بدون تماس، قابلیت Wi-Fi و ایستگاه‌های شارژ آنلاین جایگزین شدند [140]

---

## چالش‌ها و نتیجه‌گیری

شهرهای هوشمند و فناوری G 6 تحول قابل توجهی در سبک زندگی و کار در آینده نزدیک ایجاد خواهند کرد، اما ترکیب این فناوری‌ها با چالش‌هایی همراه است:

- **تعاملی بودن سیستم‌ها (Interoperability):** شهرهای هوشمند به طیف گسترده‌ای از دستگاه‌ها و سیستم‌های متصل وابسته هستند و اطمینان از ارتباط صحیح بین آن‌ها یک چالش مهم است.
- **حریم خصوصی و امنیت داده‌ها:** حجم عظیمی از داده‌ها، بسیاری حساس، در شهرهای هوشمند تولید می‌شود و حفاظت از آن‌ها حیاتی است.
- برای حفظ اعتماد عمومی، ضروری است که داده‌ها به‌صورت امن ذخیره و پردازش شوند. با توجه به شکاف دیجیتال، فناوری‌های شهر هوشمند (SC) هزینه‌بر هستند و برای همه در دسترس نیستند، که منجر به ایجاد فاصله

دیجیتال بین کسانی که توانایی پرداخت دارند و کسانی که ندارند می‌شود. علاوه بر این، پیاده‌سازی فناوری SC نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجهی در زیرساخت‌ها و منابع است که برای برخی شهرها می‌تواند چالش‌برانگیز باشد.

- چالش‌های فناوری G6 حوزه‌های مختلفی را شامل می‌شوند، از جمله مشکلات فنی، دسترسی به طیف فرکانسی، هزینه‌ها، امنیت و مقررات. در واقع، G6 نیازمند زیرساخت‌ها و فناوری‌های جدیدی است که توسعه و استقرار آن‌ها ممکن است دشوار باشد. همچنین، G6 نیازمند دسترسی گسترده به طیف فرکانسی است که در برخی مناطق ممکن است محدود باشد؛ توسعه و استقرار G6 هزینه‌بر خواهد بود و ممکن است نگرانی‌هایی در مورد هزینه دسترسی به خدمات G6 وجود داشته باشد. همانند هر فناوری جدید، مسائل امنیتی نیز باید حل شوند تا ایمنی و حریم خصوصی کاربران تضمین شود. علاوه بر این، توسعه و استقرار G6 نیازمند همکاری بین دولت‌ها و صنایع خصوصی است و ممکن است موانع قانونی نیز وجود داشته باشد. دستیابی به پوشش جهانی با G6 نیازمند همکاری و هماهنگی بین‌المللی است. تخصیص فرکانس و استانداردهای شبکه باید به‌صورت جهانی توافق و پیاده‌سازی شوند که با توجه به منافع متضاد کشورهای مختلف و ارائه‌دهندگان شبکه می‌تواند چالش‌برانگیز باشد. یکی از چالش‌های اصلی پوشش جهانی G6 نیاز به ارتقای زیرساخت‌هاست. شبکه‌های G6 به تعداد بیشتری ایستگاه پایه و ترنسپور نسبت به شبکه‌های G5 کنونی نیاز دارند تا پوشش مناسبی ارائه دهند که نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجهی از سوی ارائه‌دهندگان شبکه و دولت‌هاست. چالش دیگر پوشش جهانی G6، تخصیص باندهای فرکانسی است. شبکه‌های G6 احتمالاً از باندهای فرکانسی بالاتر از شبکه‌های G5 استفاده خواهند کرد، اما این فرکانس‌ها طول موج کوتاه‌تری دارند و در نتیجه نسبت به موانعی مانند ساختمان‌ها و درختان حساس‌ترند. این موضوع ممکن است نیازمند سرمایه‌گذاری اضافی در زیرساخت‌ها برای اطمینان از نفوذ سیگنال‌های G6 و ارائه پوشش مناسب باشد.
- شهرهای هوشمند به شدت به فناوری‌های پیشرفته مخابراتی وابسته هستند تا توسعه راهکارهای نوآورانه در خدمات عمومی، حمل‌ونقل، مدیریت انرژی و دیگر کاربردها را پشتیبانی کنند. در این راستا، شبکه‌های G6 نقش مهمی در توانمندسازی نسل بعدی شهرهای هوشمند خواهند داشت، از جمله ارائه سرعت انتقال داده بالاتر، تأخیر کمتر و افزایش اتصال. برخی کاربردهای بالقوه G6 در شهرهای هوشمند شامل بهبود جابه‌جایی، خدمات بهداشتی از راه دور، مدیریت هوشمند انرژی و ایمنی عمومی است.
- شبکه‌های G6 می‌توانند انتقال داده در زمان واقعی را پشتیبانی کنند و به سیستم‌های پیشرفته کمک راننده و وسایل نقلیه خودران امکان ارتباط بی‌وقفه با یکدیگر و زیرساخت‌های شهر هوشمند را بدهند. علاوه بر این، شبکه‌های G6 می‌توانند خدمات بهداشتی از راه دور، از جمله تله‌مدیسن، پایش بیماران از راه دور و مشاوره‌های مجازی را تسهیل کنند. یکی از حوزه‌های مهم، مدیریت هوشمند انرژی است که شبکه‌های G6 می‌توانند با پایش و کنترل مصرف انرژی در زمان واقعی، ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی، به شبکه‌های هوشمند انرژی کمک کنند. در نهایت، ایمنی عمومی در شهرهای هوشمند می‌تواند با به‌کارگیری شبکه‌های G6 برای پشتیبانی از سیستم‌های نظارتی پیشرفته، خدمات پاسخ اضطراری و مدیریت بحران بهبود یابد، با ارائه کانال‌های ارتباطی سریع و مطمئن.
- به‌طور کلی، شبکه‌های G6 پتانسیل تحول در عملکرد شهرها را دارند و با ارائه اتصال سریع‌تر، قابل اعتمادتر و کارآمدتر، از طیف وسیعی از کاربردهای شهر هوشمند پشتیبانی می‌کنند. این بررسی علمی تمام چالش‌ها و موضوعات مذکور را مورد بحث قرار داده و مروری گسترده بر کارهای منتشرشده علمی در هر حوزه ارائه می‌دهد. تمرکز خاص بر مقالاتی بوده که شهرهای هوشمند را در زمینه G6 بررسی کرده‌اند و بر مبنای استاندارد موجود G5 و محدودیت‌های ذاتی آن ساخته شده است. این بررسی فراتر از تعریف استاندارد G6 رفته و به کاربردهای بالقوه‌ای پرداخته که این استاندارد نوظهور می‌تواند در حوزه شهرهای هوشمند ارائه دهد.
- تأمین مالی: این تحقیق به‌صورت جزئی توسط برنامه «PNRR-Partenariato Esteso—RETURN علم چندخطره برای جوامع مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی—PE00000005» وزارت آموزش و شایستگی ایتالیا (M.I.U.R.) حمایت مالی شده است.
- تعارض منافع: نویسندگان هیچگونه تعارض منافع اعلام نکرده‌اند.

• اختصارات

نسل ششم — 6G

نسل پنجم — 5G

اینترنت اشیا — IoT

شهر هوشمند — SC

هوش مصنوعی — AI

زیرساخت به‌عنوان سرویس — IaaS

پلتفرم به عنوان سرویس — PaaS  
 ماشین به ماشین — M2M  
 فناوری دسترسی رادیویی — RAT  
 تکامل بلندمدت — LTE  
 کیفیت سرویس — QoS  
 انتخاب شبکه چندکاربره بلادرنگ تطبیقی — ARMANS  
 با آگاهی انرژی — E-ARMANS  
 اعتبار مبتنی بر نوع ترافیک شبکه — TYDER  
 اینترنت اشیا مبتنی بر چندرسانه‌ای — M-IoT  
 یادگیری ماشین — ML  
 طرح مدولاسیون و کد نویسی — MCS  
 وزن دهی لگاریتمی افزایشی — ALOW  
 نظریه بازی — GATH  
 اتحادیه بین‌المللی مخابرات — ITU  
 سامانه‌های حمل و نقل هوشمند — ITS  
 زمان تقریبی رسیدن — ETA  
 شاخص کیفیت هوا — AQI  
 ایستگاه هوشمند اتوبوس-شیء مجازی اجتماعی — SBS-SVO  
 مجازی‌سازی کاربر خدمات حمل و نقل — MISSION  
 اینترنت اشیا اجتماعی — SIoT  
 شبکه‌های وسیع کم‌مصرف — LPWANs  
 واقعیت افزوده — AR  
 واقعیت مجازی — VR  
 راهکار ارتباط چند-هپی — e2McH  
 کیفیت تجربه — QoE  
 شبکه دسترسی رادیویی — RAN  
 شبکه‌سازی تعریف‌شده نرم‌افزاری — SDN  
 مجازی‌سازی عملکرد شبکه — NFV  
 مخابرات سیار بین‌المللی — IMT  
 چند-حامل مبتنی بر فیلتر بانک — FBMC  
 چند-حامل با فیلتر یونیورسال — UFMC  
 دسترسی چندگانه غیر متعامد — NOMA  
 دسترسی چندگانه کد پراکنده — SCMA  
 چندورودی-چندخروجی — MIMO  
 عظیم بدون سلول — CF-mMIMO  
 خودپایداری انرژی — ESS  
 شناسایی فعالیت کاربر — UAD  
 دستگاه به دستگاه — D2D  
 سیستم بسته تکامل‌یافته — EPS  
 انجمن ویژه موبایل — GSMA  
 فناوری اطلاعات و ارتباطات — ICT  
 تجربه اپراتور — OPEX  
 شبکه فوق متر اکم — UDN  
 فناوری دسترسی رادیویی آگاه به زمینه — CRAT  
 فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی — AHP  
 تکنیک اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راحل ایده‌آل — TOPOSIS  
 مدولاسیون تقسیم فرکانس متعامد — OFDM

شبکه دسترسی رادیویی ابری — CRAN  
تعادل بار — LB  
هیئت مشورتی صنعت — IAB  
کنفرانس جهانی مخابرات رادیویی — WRC  
کنترل، مکان‌یابی و حسگری — 3CLS  
رابط مغز-کامپیوتر — BCI  
آشکارسازی و فاصله‌یابی با نور — LiDAR  
مکان‌یابی و نقشه‌برداری همزمان — SLAM  
هواپیمای بدون سرنشین — UAV  
ایستگاه پایه — BS  
محاسبات لبه موبایل — MEC  
محاسبات لبه با قابلیت تحرک افزایش‌یافته — MEEC  
خودرو به همه چیز — V2X  
ارتباط نوری فضای آزاد — FSO  
بلاکچین — BC  
ارتباط کوانتومی — QC  
ارتباط بدون سلول — CFC  
ارتباط نوری — OW  
یادگیری عمیق — DL  
سطح بازتابنده هوشمند — IRS  
سطح بازتابنده قابل پیکربندی — RIS  
موج میلی‌متری — mmWave  
شبکه‌های عصبی کانولوشنی — CNNs  
شبکه‌های عصبی بازگشتی — RNNs  
شبکه عصبی عمیق — DNN  
خودرو متصل و خودران — CAV  
فناوری بلاکچین — BCT  
توزیع کلید کوانتومی — QKD  
یادگیری عمیق بازیگر-منتقد — ACDQL  
یادگیری تقویتی — RL  
اینترنت مصرف‌کننده اشیا با پهنای — CIoT  
شبکه عصبی هافیلد پیوسته — CHNN  
پروتکل بهینه وضعیت لینک — OLSR  
شبکه‌های پروازی خودگردان — FANETs  
خودرو به زیرساخت — V2I  
دوقلوی دیجیتال — DT  
شبکه خودرو — VN  
محاسبات کم‌ارتفاع — LAC  
محاسبات بلندارتفاع — HAC  
مرکز داده لبه‌ای کوچک — EMDC  
خودرو به خودرو — V2V

- Akhtar, M.W.; Hassan, S.A.; Ghaffar, R.; Jung, H.; Garg, S.; Hossain, M.S. The shift to 6G communications: Vision and requirements. *Hum. Cent. Comput. Inf. Sci.* 2020, **10**, 53. [CrossRef]
- Kamruzzaman, M.M. Key Technologies, Applications and Trends of Internet of Things for Energy-Efficient 6G Wireless Communication in Smart Cities. *Energies* 2022, **15**, 5608. [CrossRef]
- Zhao, Y.; Zhai, W.; Zhao, J.; Zhang, T.; Sun, S.; Niyato, D.; Lam, K.Y. A Comprehensive Survey of 6G Wireless Communications. *arXiv* 2021, arXiv:2101.03889. [CrossRef]
- Abdel Hakeem, S.; Hussein, H.; Kim, H. Security Requirements and Challenges of 6G Technologies and Applications. *Sensors* 2022, **22**, 1969. [CrossRef]
- Alwis, C.D.; Kalla, A.; Pham, Q.V.; Kumar, P.; Dev, K.; Hwang, W.J.; Liyanage, M. Survey on 6G Frontiers: Trends, Applications, Requirements, Technologies and Future Research. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 2021, **2**, 836–886. [CrossRef]
- Wang, C.X.; You, X.; Gao, X.; Zhu, X.; Li, Z.; Zhang, C.; Wang, H.; Huang, Y.; Chen, Y.; Haas, H.; et al. On the Road to 6G: Visions, Requirements, Key Technologies, and Testbeds. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2023, **25**, 905–974. [CrossRef]
- Serghiou, D.; Khalily, M.; Brown, T.W.C.; Tafazolli, R. Terahertz Channel Propagation Phenomena, Measurement Techniques and Modeling for 6G Wireless Communication Applications: A Survey, Open Challenges and Future Research Directions. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2022, **24**, 1957–1996. [CrossRef]
- Nguyen, D.C.; Ding, M.; Pathirana, P.N.; Seneviratne, A.; Li, J.; Niyato, D.; Dobre, O.; Poor, H.V. 6G Internet of Things: A Comprehensive Survey. *IEEE Internet Things J.* 2022, **9**, 359–383. [CrossRef]
- Simonov, M.; Caragnano, G.; Mossucca, L.; Ruiiu, P.; Terzo, O. Big Data Application: Analyzing Real-Time Electric Meter Data; Chapman and Hall/CRC: Boca Raton, FL, USA, 2013; pp. 449–481. [CrossRef]
- Terzo, O.; Ruiiu, P.; Bucci, E.; Xhafa, F. Data as a Service (DaaS) for Sharing and Processing of Large Data Collections in the Cloud. In *Proceedings of the 2013 Seventh International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*, Taichung, Taiwan, 3–5 July 2013; pp. 475–480. [CrossRef]
- Ruiiu, P.; Scionti, A.; Nider, J.; Rapoport, M. Workload Management for Power Efficiency in Heterogeneous Data Centers. In *Proceedings of the 2016 10th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS)*, Fukuoka, Japan, 6–8 July 2016; pp. 23–30. [CrossRef]

- Goga, K.; Terzo, O.; Ruiiu, P.; Xhafa, F. Simulation, Modeling, and Performance Evaluation Tools for Cloud Applications. In *Proceedings of the 2014 Eighth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, Birmingham, UK, 2–4 July 2014; pp. 226–232. [CrossRef]
- Goga, K.; Parodi, A.; Ruiiu, P.; Terzo, O. Performance analysis of WRF simulations in a public cloud and HPC environment. In *Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, Proceedings of the 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS-2017)*, Torino, Italy, 28–30 June 2017; Barolli, L., Terzo, O., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 384–396. [CrossRef]
- Ruiiu, P.; Caragnano, G.; Graglia, L. Automatic Dynamic Allocation of Cloud Storage for Scientific Applications. In *Proceedings of the 2015 Ninth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*, Santa Catarina, Brazil, 8–10 July 2015; pp. 209–216. [CrossRef]
- Anedda, M.; Muntean, G.M.; Murroni, M. Adaptive real-time multi-user access network selection algorithm for load-balancing over heterogeneous wireless networks. In *Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Nara, Japan, 1–3 June 2016; pp. 1–4. [CrossRef]
- Anedda, M.; Murroni, M.; Muntean, G.M. E-ARMANS: Energy-aware device-oriented video delivery in heterogeneous wireless networks. In *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Cagliari, Italy, 7–9 June 2017; pp. 1–6. [CrossRef]
- Desogus, C.; Anedda, M.; Murroni, M. Real-time load optimization for multimedia delivery content over heterogeneous wireless network using a MEW approach. In *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Cagliari, Italy, 7–9 June 2017; pp. 1–4. [CrossRef]
- Desogus, C.; Anedda, M.; Murroni, M.; Muntean, G.M. A Traffic Type-Based Differentiated Reputation Algorithm for Radio Resource Allocation During Multi-Service Content Delivery in 5G Heterogeneous Scenarios. *IEEE Access* 2019, **7**, 27720–27735. [CrossRef]
- Desogus, C.; Anedda, M.; Murroni, M.; Giusto, D.D.; Muntean, G.M. ReMIoT: Reputation-based Network Selection in Multimedia IoT. In *Proceedings of the 2019 IEEE Broadcast Symposium (BTS)*, Hartford, CT, USA, 1–3 October 2019; pp. 1–6. [CrossRef]
- Anedda, M.; Fadda, M.; Giusto, D.; Murroni, M. Using user's position to improve video multicast subgrouping in 5G NR. In *Proceedings of the 2021 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Chengdu, China, 4–6 August 2021; pp. 1–5. [CrossRef]
- Desogus, C.; Anedda, M.; Fadda, M.; Murroni, M. Additive Logarithmic Weighting for Balancing Video Delivery Over Heterogeneous Networks. *IEEE Trans. Broadcast.* 2021, **67**, 131–144. [CrossRef]

- Garau, M.; Anedda, M.; Desogus, C.; Ghiani, E.; Murrone, M.; Celli, G. A 5G cellular technology for distributed monitoring and control in smart grid. In *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Cagliari, Italy, 7–9 June 2017; pp. 1–6. [CrossRef]
- Fadda, M.; Anedda, M.; Girau, R.; Pau, G.; Giusto, D.D. A Social Internet of Things Smart City Solution for Traffic and Pollution Monitoring in Cagliari. *IEEE Internet Things J.* 2022, **2**, 1093. [CrossRef]
- Anedda, M.; Giusto, D.D. Urban Mobility Services based on User Virtualization and Social IoT. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Paris, France, 27–29 October 2020; pp. 1–4. [CrossRef]
- Girau, R.; Anedda, M.; Fadda, M.; Farina, M.; Floris, A.; Sole, M.; Giusto, D. Coastal Monitoring System Based on Social Internet of Things Platform. *IEEE Internet Things J.* 2020, **7**, 1260–1272. [CrossRef]
- Bertolusso, M.; Spanu, M.; Anedda, M.; Fadda, M.; Giusto, D.D. Vehicular and Pedestrian Traffic Monitoring System in Smart City Scenarios. In *Proceedings of the 2021 IEEE 7th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, New Orleans, LA, USA, 14 June–31 July 2021; pp. 60–64. [CrossRef]
- Anedda, M.; Fadda, M.; Girau, R.; Pau, G.; Giusto, D. A social smart city for public and private mobility: a real case study. *Comput. Netw.* 2022, **2022**, 109464. [CrossRef]
- Pilosu, L.; Mossucca, L.; Scionti, A.; Giordanengo, G.; Renga, F.; Ruiiu, P.; Terzo, O.; Ciccica, S.; Vecchi, G. Low power computing and communication system for critical environments. In *Advances on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, 3PGCIC 2016, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*; Xhafa, F., Barolli, L., Amato, F., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2017; Volume 1, pp. 221–232. [CrossRef]
- Scionti, A.; Terzo, O.; Ruiiu, P.; Giordanengo, G.; Ciccica, S.; Urlini, G.; Nider, J.; Rapoport, M.; Petrie, C.; Chamberlain, R.; et al. The Green Computing Continuum: The OPERA Perspective. In *Hardware Accelerators in Data Centers*; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 57–86. [CrossRef]
- Ruiiu, P.; Fiandrino, C.; Giaccone, P.; Bianco, A.; Kliazovich, D.; Bouvry, P. On the Energy-Proportionality of Data Center Networks. *IEEE Trans. Sustain. Comput.* 2017, **2**, 197–210. [CrossRef]
- Cadoni, M.; Lagorio, A.; Grosso, E. Incremental models based on features persistence for object recognition. *Pattern Recognit. Lett.* 2019, **122**, 38–44. [CrossRef]
- Cadoni, M.; Lagorio, A.; Grosso, E. Augmenting SIFT with 3D Joint Differential Invariants for multimodal, hybrid face recognition. In *Proceedings of the 2013 IEEE Sixth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS)*, Arlington, VA, USA, 29 September–2 October 2013; pp. 1–6. [CrossRef]

- Anedda, M.; Desogus, C.; Murroni, M.; Giusto, D.D.; Muntean, G.M. An Energy-efficient Solution for Multi-Hop Communications in Low Power Wide Area Networks. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Valencia, Spain, 6–8 June 2018; pp. 1–5. [CrossRef]
- Cadoni, M.; Lagorio, A.; Khellat-Kihel, L.; Grosso, E. On the correlation between human fixations, handcrafted and CNN features. *Neural Comput. Appl.* 2021, **33**, 11905–11922. [CrossRef]
- Jalal, L.; Anedda, M.; Popescu, V.; Murroni, M. QoE Assessment for IoT-Based Multi Sensorial Media Broadcasting. *IEEE Trans. Broadcast.* 2018, **64**, 552–560. [CrossRef]
- Jalal, L.; Anedda, M.; Popescu, V.; Murroni, M. QoE Assessment for Broadcasting Multi Sensorial Media in Smart Home Scenario. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Valencia, Spain, 6–8 June 2018; pp. 1–5. [CrossRef]
- Jalal, L.; Anedda, M.; Popescu, V.; Murroni, M. Internet of Things for Enabling Multi Sensorial TV in Smart Home. In *Proceedings of the 2018 IEEE Broadcast Symposium (BTS)*, Arlington, VA, USA, 9–11 October 2018; pp. 1–5. [CrossRef]
- Li, Q.C.; Niu, H.; Papathanassiou, A.T.; Wu, G. 5G Network Capacity: Key Elements and Technologies. *IEEE Veh. Technol. Mag.* 2014, **9**, 71–78. [CrossRef]
- Yang, C.; Liang, P.; Fu, L.; Cui, G.; Huang, F.; Teng, F.; Bangash, Y.A. Using 5G in Smart Cities: A Systematic Mapping Study. *Intell. Syst. Appl.* 2022, **3**, 200065. [CrossRef]
- Bangerter, B.; Talwar, S.; Arefi, R.; Stewart, K. Networks and devices for the 5G era. *IEEE Commun. Mag.* 2014, **52**, 90–96. [CrossRef]
- Demestichas, P.; Georgakopoulos, A.; Karvounas, D.; Tsagkaris, K.; Stavroulaki, V.; Lu, J.; Xiong, C.; Yao, J. 5G on the Horizon: Key Challenges for the Radio-Access Network. *IEEE Veh. Technol. Mag.* 2013, **8**, 47–53. [CrossRef]
- Hohlfeld, O.; Kempf, J.; Reisslein, M.; Schmid, S.; Shah, N. Guest Editorial Scalability Issues and Solutions for Software Defined Networks. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2018, **36**, 2595–2602. [CrossRef]
- Ibrar, M.; Wang, L.; Muntean, G.M.; Chen, J.; Shah, N.; Akbar, A. IHSF: An Intelligent Solution for Improved Performance of Reliable and Time-Sensitive Flows in Hybrid SDN-Based FC IoT Systems. *IEEE Internet Things J.* 2021, **8**, 3130–3142. [CrossRef]
- Ibrar, M.; Wang, L.; Shah, N.; Rottenstreich, O.; Muntean, G.M.; Akbar, A. Reliability-Aware Flow Distribution Algorithm in SDN-Enabled Fog Computing for Smart Cities. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2023, **72**, 573–588. [CrossRef]



- Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der Angewandten Forschung e.v., 5GNOW (5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for Asynchronous Signaling). Available online: <https://www.5gnow.eu/> (accessed on 20 July 2023).
- Droste, H.; Zimmermann, G.; Stamatelatos, M.; Lindqvist, N.; Bulakci, O.; Eichinger, J.; Venkatasubramanian, V.; Dotsch, U.; Tullberg, H. The METIS 5G Architecture: A Summary of METIS Work on 5G Architectures. In *Proceedings of the 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Glasgow, UK, 11–14 May 2015; pp. 1–5. [CrossRef]
- Osseiran, A.; Boccardi, F.; Braun, V.; Kusume, K.; Marsch, P.; Maternia, M.; Queseth, O.; Schellmann, M.; Schotten, H.; Taoka, H.; et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project. *IEEE Commun. Mag.* 2014, **52**, 26–35. [CrossRef]
- Hossain, E.; Hasan, M. 5G cellular: Key enabling technologies and research challenges. *IEEE Instrum. Meas. Mag.* 2015, **18**, 11–21. [CrossRef]
- ITU. IMT for 2020 and beyond. Draft New Recommendation ITU-R M.IMT.VISION. June 2015. Available online: <http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx> (accessed on 20 July 2023).
- Telecom experts plot a path to 5G. *IEEE Spectr.* 2015, **52**, 14–15. [CrossRef]
- Soldani, D.; Manzalini, A. Horizon 2020 and Beyond: On the 5G Operating System for a True Digital Society. *IEEE Veh. Technol. Mag.* 2015, **10**, 32–42. [CrossRef]
- Chen, S.; Zhang, J.; Jin, Y.; Ai, B. Wireless powered IoE for 6G: Massive access meets scalable cell-free massive MIMO. *China Commun.* 2020, **17**, 92–109. [CrossRef]
- He, H.; Yu, X.; Zhang, J.; Song, S.; Letaief, K.B. Cell-free massive MIMO for 6G wireless communication networks. *J. Commun. Inf. Netw.* 2021, **6**, 321–335. [CrossRef]
- Al-Dulaimi, A.; Al-Rubaye, S.; Ni, Q.; Sousa, E. 5G Communications Race: Pursuit of More Capacity Triggers LTE in Unlicensed Band. *IEEE Veh. Technol. Mag.* 2015, **10**, 43–51. [CrossRef]
- Tehrani, M.N.; Uysal, M.; Yanikomeroglu, H. Device-to-device communication in 5G cellular networks: Challenges, solutions, and future directions. *IEEE Commun. Mag.* 2014, **52**, 86–92. [CrossRef]
- Giust, F.; Cominardi, L.; Bernardos, C.J. Distributed mobility management for future 5G networks: Overview and analysis of existing approaches. *IEEE Commun. Mag.* 2015, **53**, 142–149. [CrossRef]
- Andrews, J.G.; Buzzi, S.; Choi, W.; Hanly, S.V.; Lozano, A.; Soong, A.C.K.; Zhang, J.C. What Will 5G Be? *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2014, **32**, 1065–1082. [CrossRef]

- The Greentouch Project. Available online: <https://www.greentouch.org> (accessed on 20 July 2023).
- Greentouch Foundation. Reducing the Net Energy Consumption in Communications Networks by up to 98 by 2020. 2015. Available online: [https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2015/06/GreenTouch\\_Green\\_Meter\\_Final\\_Results\\_18\\_June\\_2015.pdf](https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2015/06/GreenTouch_Green_Meter_Final_Results_18_June_2015.pdf) (accessed on 20 July 2023).
- NGMN Alliance 5G White Paper. 2015. Available online: [https://ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf) (accessed on 20 July 2023).
- Buzzi, S.; I, C.L.; Klein, T.E.; Poor, H.V.; Yang, C.; Zappone, A. A Survey of Energy-Efficient Techniques for 5G Networks and Challenges Ahead. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2016, **34**, 697–709. [CrossRef]
- Smart 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age. 2008. Available online: <https://www.compromisorse.com/upload/estudios/000/36/smart2020.pdf> (accessed on 20 July 2023).
- I, C.L.; Rowell, C.; Han, S.; Xu, Z.; Li, G.; Pan, Z. Toward green and soft: A 5G perspective. *IEEE Commun. Mag.* 2014, **52**, 66–73. [CrossRef]
- Chin, W.H.; Fan, Z.; Haines, R. Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks. *IEEE Wirel. Commun.* 2014, **21**, 106–112. [CrossRef]
- Hong, X.; Wang, J.; Wang, C.X.; Shi, J. Cognitive radio in 5G: A perspective on energy-spectral efficiency trade-off. *IEEE Commun. Mag.* 2014, **52**, 46–53. [CrossRef]
- Gohar, A.; Nencioni, G. The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system. *Sustainability* 2021, **13**, 5188. [CrossRef]
- Han, H.; Zhao, J.; Zhai, W.; Xiong, Z.; Lu, W. Smart city enabled by 5G/6G networks: An intelligent hybrid random access scheme. *arXiv* 2021, arXiv:2101.06421.
- Habbal, A.; Goudar, S.I.; Hassan, S. A Context-aware Radio Access Technology selection mechanism in 5G mobile network for smart city applications. *J. Netw. Comput. Appl.* 2019, **135**, 97–107. [CrossRef]
- Ankaralı, Z.E.; Peköz, B.; Arslan, H. Enhanced OFDM for 5G RAN. *ZTE Commun.* 2020, **15**, 11–20.
- Tsai, C.; Moh, M. Load balancing in 5G cloud radio access networks supporting IoT communications for smart communities. In *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, Bilbao, Spain, 18–20 December 2017; pp. 259–264.

- Wijethilaka, S.; Liyanage, M. Survey on network slicing for Internet of Things realization in 5G networks. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 2021, **23**, 957–994. [CrossRef]
- Zhou, F.; Yu, P.; Feng, L.; Qiu, X.; Wang, Z.; Meng, L.; Kadoch, M.; Gong, L.; Yao, X. Automatic network slicing for IoT in smart city. *IEEE Wirel. Commun.* 2020, **27**, 108–115. [CrossRef]
- Rusti, B.; Stefanescu, H.; Iordache, M.; Ghenta, J.; Brezeanu, C.; Patachia, C. Deploying Smart City components for 5G network slicing. In *Proceedings of the 2019 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, Valencia, Spain, 18–21 June 2019; pp. 149–154.
- Mahmood, O.A.; Abdellah, A.R.; Muthanna, A.; Koucheryavy, A. Distributed Edge Computing for Resource Allocation in Smart Cities Based on the IoT. *Information* 2022, **13**, 328. [CrossRef]
- Dave, R.; Seliya, N.; Siddiqui, N. The benefits of edge computing in healthcare, Smart Cities, and IoT. *arXiv* 2021, arXiv:2112.01250.
- Paolino, M.; Carrozzo, G.; Betzler, A.; Colman-Meixner, C.; Khalili, H.; Siddiqui, S.; Sechkova, T.; Simeonidou, D. Compute and network virtualization at the edge for 5G smart cities neutral host infrastructures. In *Proceedings of the 2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, Dresden, Germany, 30 September–2 October 2019; pp. 560–565.
- IEE Future Directions Committee Meeting. Available online: <https://www.ieee.org/content/dam/ieee-org/ieee/web/org/about/futuredirections/future-directions-newsletter-august-2022.pdf> (accessed on 20 July 2023).
- ITU towards IMT for 2020 and beyond. ITU IMT-2020. Available online: [www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx](http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx) (accessed on 20 July 2023).
- Imoize, A.L.; Adedeji, O.; Tandiya, N.; Shetty, S. 6G enabled smart infrastructure for sustainable society: Opportunities, challenges, and research roadmap. *Sensors* 2021, **21**, 1709. [CrossRef]
- Jiang, W.; Han, B.; Habibi, M.A.; Schotten, H.D. The road towards 6G: A comprehensive survey. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 2021, **2**, 334–366. [CrossRef]
- Chowdhury, M.Z.; Shahjalal, M.; Ahmed, S.; Jang, Y.M. 6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 2020, **1**, 957–975. [CrossRef]
- ITU. ITU-Recommendation SM.2352-0. Technology Trends of Active Services in the Frequency Range 275–3000 GHz. July 2022. Available online: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2352-1-2022-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2352-1-2022-PDF-E.pdf) (accessed on 20 July 2023).

- Yang, P.; Xiao, Y.; Xiao, M.; Li, S. 6G wireless communications: Vision and potential techniques. *IEEE Netw.* 2019, **33**, 70–75. [CrossRef]
- Noman, H.M.F.; Hanafi, E.; Noordin, K.A.; Dimyati, K.; Hindia, M.N.; Abdrabou, A.; Qamar, F. Machine Learning Empowered Emerging Wireless Networks in 6G: Recent Advancements, Challenges & Future Trends. *IEEE Access* 2023, **11**, 83017–83051.
- Basar, E.; Di Renzo, M.; De Rosny, J.; Debbah, M.; Alouini, M.S.; Zhang, R. Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces. *IEEE Access* 2019, **7**, 116753–116773. [CrossRef]
- Mukherjee, M. Quantum Computing—An Emerging Computing Paradigm. In *Emerging Computing: From Devices to Systems*; Springer: Singapore, 2023; pp. 145–167.
- Zhang, Y. Mobile edge computing for beyond 5G/6G. In *Mobile Edge Computing*; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 37–45.
- Padmal, M.; Marasinghe, D.; Isuru, V.; Jayaweera, N.; Ali, S.; Rajatheva, N. Elevated LiDAR based Sensing for 6G-3D Maps with cm Level Accuracy. In *Proceedings of the 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference, VTC2022-Spring*, Glasgow, Ireland, 3–6 June 2022; pp. 1–5.
- Jeon, H.B.; Kim, S.M.; Moon, H.J.; Kwon, D.H.; Lee, J.W.; Chung, J.M.; Han, S.K.; Chae, C.B.; Alouini, M.S. Free-space optical communications for 6G wireless networks: Challenges, opportunities, and prototype validation. *IEEE Commun. Mag.* 2023, **61**, 116–121. [CrossRef]
- Lu, W.; Si, P.; Huang, G.; Han, H.; Qian, L.; Zhao, N.; Gong, Y. SWIPT cooperative spectrum sharing for 6G-enabled cognitive IoT network. *IEEE Internet Things J.* 2020, **8**, 15070–15080. [CrossRef]
- Mao, B.; Kawamoto, Y.; Kato, N. AI-based joint optimization of QoS and security for 6G energy harvesting Internet of Things. *IEEE Internet Things J.* 2020, **7**, 7032–7042. [CrossRef]
- Xiao, Z.; Yang, J.; Mao, T.; Xu, C.; Zhang, R.; Han, Z.; Xia, X.G. LEO satellite access network (LEO-SAN) towards 6G: Challenges and approaches. *IEEE Wirel. Commun.* 2022, **5**, 2991–2994. [CrossRef]
- Ismail, L.; Buyya, R. Artificial Intelligence Applications and Self-Learning 6G Networks for Smart Cities Digital Ecosystems: Taxonomy, Challenges, and Future Directions. *Sensors* 2022, **22**, 5750. [CrossRef]
- Letaief, K.B.; Chen, W.; Shi, Y.; Zhang, J.; Zhang, Y.J.A. The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks. *IEEE Commun. Mag.* 2019, **57**, 84–90. [CrossRef]
- Farooq, M.S.; Nadir, R.M.; Rustam, F.; Hur, S.; Park, Y.; Ashraf, I. Nested Bee Hive: A Conceptual Multilayer Architecture for 6G in Futuristic Sustainable Smart Cities. *Sensors* 2022, **22**, 5950. [CrossRef]

- Chen, Z.; Ning, B.; Han, C.; Tian, Z.; Li, S. Intelligent Reflecting Surface Assisted Terahertz Communications Toward 6G. *IEEE Wirel. Commun.* 2021, **28**, 110–117. [CrossRef]
- Yang, F.; Pitchappa, P.; Wang, N. Terahertz reconfigurable intelligent surfaces (RISs) for 6G communication links. *Micromachines* 2022, **13**, 285. [CrossRef] [PubMed]
- Zhu, Y.; Mao, B.; Kato, N. Intelligent Reflecting Surface in 6G Vehicular Communications: A Survey. *IEEE Open J. Veh. Technol.* 2022, **3**, 266–277. [CrossRef]
- Yang, C.; He, Z.; Peng, Y.; Wang, Y.; Yang, J. Deep Learning Aided Method for Automatic Modulation Recognition. *IEEE Access* 2019, **7**, 109063–109068. [CrossRef]
- Shi, J.; Qi, L.; Li, K.; Lin, Y. Signal Modulation Recognition Method Based on Differential Privacy Federated Learning. *Wirel. Commun. Mob. Comput.* 2021, 2021, 2537546. [CrossRef]
- Ren, X.; Gu, H.; Wei, W. Tree-RNN: Tree structural recurrent neural network for network traffic classification. *Expert Syst. Appl.* 2021, **167**, 114363. [CrossRef]
- Lopez-Martin, M.; Carro, B.; Sanchez-Esguevillas, A.; Lloret, J. Network Traffic Classifier With Convolutional and Recurrent Neural Networks for Internet of Things. *IEEE Access* 2017, **5**, 18042–18050. [CrossRef]
- Ye, H.; Li, G.Y.; Juang, B.H. Power of Deep Learning for Channel Estimation and Signal Detection in OFDM Systems. *IEEE Wirel. Commun. Lett.* 2018, **7**, 114–117. [CrossRef]
- Hijji, M.; Iqbal, R.; Pandey, A.K.; Doctor, F.; Karyotis, C.; Rajeh, W.; Alshehri, A.; Aradah, F. 6G Connected Vehicle Framework to Support Intelligent Road Maintenance Using Deep Learning Data Fusion. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2023, **24**, 7726–7735. [CrossRef]
- Li, P.; Zhong, Y.; Zhang, C.; Wu, Y.; Yu, R. FedRelay: Federated Relay Learning for 6G Mobile Edge Intelligence. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2023, **72**, 5125–5138. [CrossRef]
- Gao, J.; Hu, M.; Zhong, C.; Li, G.Y.; Zhang, Z. An Attention-Aided Deep Learning Framework for Massive MIMO Channel Estimation. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2022, **21**, 1823–1835. [CrossRef]
- Kamruzzaman, M.; Hossin, A.; Alruwaili, O.; Alanazi, S.; Alruwaili, M.; Alshammari, N.; Alaerjan, A.; Zaman, R. IoT-Oriented 6G Wireless Network System for Smart Cities. *Comput. Intell. Neurosci.* 2022, 2022, 4436. [CrossRef] [PubMed]
- Aggarwal, S.; Kumar, N.; Tanwar, S. Blockchain-envisioned UAV communication using 6G networks: Open issues, use cases, and future directions. *IEEE Internet Things J.* 2020, **8**, 5416–5441. [CrossRef]

- Tekale, S.; Rajagopal, R.; Bhoopathy, V. 6G: Transformation of Smart Cities With Blockchain and AI. In *Challenges and Risks Involved in Deploying 6G and NextGen Networks*; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2022; pp. 220–228.
- Samanta, S.; Sarkar, A.; Bulo, Y. Secure 6G Communication in Smart City Using Blockchain. In *Proceedings of the Emerging Technologies in Data Mining and Information Security*, Singapore, 4–10 May 2023; Dutta, P., Chakrabarti, S., Bhattacharya, A., Dutta, S., Piuri, V., Eds.; pp. 487–496. [CrossRef]
- Bhat, S.A.; Sofi, I.B.; Chi, C.Y. Edge computing and its convergence with blockchain in 5G and beyond: Security, challenges, and opportunities. *IEEE Access* 2020, **8**, 205340–205373. [CrossRef]
- Pajooh, H.H.; Demidenko, S.; Aslam, S.; Harris, M. Blockchain and 6G-Enabled IoT. *Inventions* 2022, **7**, 109. [CrossRef]
- Jahid, A.; Alsharif, M.H.; Hall, T.J. The convergence of Blockchain, IoT and 6G: Potential, opportunities, challenges and research roadmap. *J. Netw. Comput. Appl.* 2023, **217**, 103677. [CrossRef]
- Ali, M.Z.; Abohmra, A.; Usman, M.; Zahid, A.; Heidari, H.; Imran, M.A.; Abbasi, Q.H. Quantum for 6G communication: A perspective. *IET Quantum Commun.* 2023, **10**, 12391. [CrossRef]
- Muheidat, F.; Dajani, K.; Tawalbeh, L.A. Security Concerns for 5G/6G Mobile Network Technology and Quantum Communication. *Procedia Comput. Sci.* 2022, **203**, 32–40. [CrossRef]
- Mohammed, N.J. Quantum cryptography in Convolution neural network approach in Smart cities. *J. Surv. Fish. Sci.* 2023, **10**, 2043–2056.
- Manzalini, A. Quantum communications in future networks and services. *Quantum Rep.* 2020, **2**, 221–232. [CrossRef]
- Parvaresh, N.; Kantarci, B. A Continuous Actor–Critic Deep Q-Learning-Enabled Deployment of UAV Base Stations: Toward 6G Small Cells in the Skies of Smart Cities. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 2023, **4**, 700–712. [CrossRef]
- Mukherjee, A.; De, D.; Dey, N.; Crespo, R.G.; Herrera-Viedma, E. DisastDrone: A Disaster Aware Consumer Internet of Drone Things System in Ultra-Low Latent 6G Network. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2023, **69**, 38–48. [CrossRef]
- Wei, X.; Yang, H.; Huang, W. Low-delay Routing Scheme for UAV Communications in Smart Cities. *IEEE Internet Things J.* 2023, **32**, 67131. [CrossRef]

- Lucic, M.C.; Bouhamed, O.; Ghazzai, H.; Khanfor, A.; Massoud, Y. Leveraging UAVs to Enable Dynamic and Smart Aerial Infrastructure for ITS and Smart Cities: An Overview. *Drones* 2023, **7**, 79. [CrossRef]
- Saini, H.K.; Jain, K.L. A New Way of Improving Network by Smart IoE with UAV. In *Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Computational Intelligence, Communication Technology and Networking (CICTN)*, Berlin, Germany, 4–8 May 2023; pp. 485–489.
- Alawadhi, A.; Almogahed, A.; Azrag, E. Towards Edge Computing for 6G Internet of Everything: Challenges and Opportunities. In *Proceedings of the 2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)*, Jeddah, Saudi Arabia, 23–25 January 2023; pp. 1–6. [CrossRef]
- Konhäuser, W. Digitalization in Buildings and Smart Cities on the Way to 6G. *Wirel. Pers. Commun.* 2021, **121**, 1289–1302. [CrossRef]
- Fong, B.; Kim, H.; Fong, A.C.M.; Hong, G.Y.; Tsang, K.F. Reliability Optimization in the Design and Implementation of 6G Vehicle-to-Infrastructure Systems for Emergency Management in a Smart City Environment. *IEEE Commun. Mag.* 2023, **61**, 148–153. [CrossRef]
- Cheng, C.; Lv, H.; Lv, Z. Sensing fusion in vehicular network digital twins for 6G smart city. *Int. J. Future Evol. Technol.* 2022, **3**, 342–358. [CrossRef]
- Kulkarni, R.; Kulkarni, S. How 6G has an influence on smart cities: An overview. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2021, **10**, 832–838.
- Häger, S.; Haferkamp, M.; Wietfeld, C. Beam-based 6G Networked Sensing Architecture for Scalable Road Traffic Monitoring. In *Proceedings of the 2023 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, Vancouver, BC, Canada, 15–18 June 2023; pp. 1–8. [CrossRef]
- Pham, Q.V.; Ruby, R.; Fang, F.; Nguyen, D.C.; Yang, Z.; Le, M.; Ding, Z.; Hwang, W.J. Aerial computing: A new computing paradigm, applications, and challenges. *IEEE Internet Things J.* 2022, **9**, 8339–8363. [CrossRef]
- Gudepu, V.; Pappu, B.; Javvadi, T.; Bassoli, R.; Fitzek, F.H.; Valcarenghi, L.; Devi, D.V.N.; Kondepu, K. Edge Computing in Micro Data Centers for Firefighting in Residential Areas of Future Smart Cities. In *Proceedings of the 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)*, Male, Maldives, 16–18 November 2022; pp. 1–6. [CrossRef]
- Guevara, L.; Auat Cheein, F. The Role of 5G Technologies: Challenges in Smart Cities and Intelligent Transportation Systems. *Sustainability* 2020, **12**, 6469. [CrossRef]

- Rameau, F.; Ha, H.; Joo, K.; Choi, J.; Park, K.; Kweon, I.S. A Real-Time Augmented Reality System to See-Through Cars. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 2016, **22**, 2395–2404. [CrossRef]
- Tahir, A.; Abid, S.A.; Shah, N. Logical clusters in a DHT-Paradigm for scalable routing in MANETs. *Comput. Netw.* 2017, **128**, 142–153. [CrossRef]
- Yan, X.; An, X.; Ye, W.; Zhao, M.; Wu, J. A Blockchain-based Subscriber Data Management Scheme for 6G Mobile Communication System. In *Proceedings of the 2021 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Madrid, Spain, 19–23 June 2021; pp. 1–6. [CrossRef]
- Yan, X.; An, X.; Ye, W.; Zhao, M.; Xi, Y.; Wu, J. User-Centric Network Architecture Design for 6G Mobile Communication Systems. In *Proceedings of the 2023 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit)*, London, UK, 23–28 January 2023; pp. 305–310. [CrossRef]
- Chhabra, S.; Aiden, M.K.; Sabharwal, S.M.; Al-Asadi, M. 5G and 6G Technologies for Smart City. In *Enabling Technologies for Effective Planning and Management in Sustainable Smart Cities*; Springer: Cham, Switzerland, 2023; pp. 335–365.
- Top 10 Leading Global Smart Cities. Available online: <https://mobile-magazine.com/articles/top-10-leading-global-smart-cities> (accessed on 20 July 2023).
- What Is a Smart City? Technology and Examples. Available online: <https://www.cemexventures.com/what-is-a-smart-city-technology-and-examples/> (accessed on 20 July 2023).
- 4 Commonly-Used Smart City Technologies. Available online: <https://earth.org/smart-city-technologies/> (accessed on 20 July 2023).
- Seoul: A City Based on Data. Available online: <https://earth.org/top-7-smart-cities-in-the-world/> (accessed on 20 July 2023).
- 7 Smart City Solutions Implemented by New York during COVID-19. Available online: <https://www.smartupcities.com/7-smart-city-solutions-implemented-by-new-york-during-covid-19/> (accessed on 20 July 2023).

سلب مسئولیت/یادداشت ناشر: اظهارات، نظرات و داده‌های موجود در تمامی نشریات تنها متعلق به نویسنده(ها) و مشارکت‌کننده(ها) است و نه MDPI و/یا ویراستار(ها) MDPI. و/یا ویراستار(ها) مسئولیتی در قبال هرگونه آسیب به افراد یا اموال ناشی از ایده‌ها، روش‌ها، دستورالعمل‌ها یا محصولات مطرح‌شده در محتوا ندارند.