مرجع، خدمات ابری، پروتکل‌ها و استانداردها، چالش‌های یکپارچگی IIoT را حل می‌کند.

با توجه به اینکه همپوشانی IoT صنعتی، صنعت ۴,۰ و IoT بهبود کارایی تولید را در صنایع بدنبال دارد، باید چالش‌های این حوزه‌های نیز مورد توجه قرار گیرند. طبق مدل RAMI 4.0، اجزای فیزیکی و مجازی یک سیستم پیاده‌سازی شده می‌توانند بدون توجه به سلسله مراتب شبکه با یکدیگر مستقیماً ارتباط برقرار کنند؛ این در حالی است که، سیستم نیاز به قابلیت همکاری دارد تا اجزای سیستم بتوانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. به دلیل رشد نمایی فناوری‌های ناهمگون[۵۳]، IIoT با چالش‌های زیادی در قابلیت همکاری، تاخیر، امنیت، حریم خصوصی، مقیاس پذیری و ... روبرو است.

منابع

[1] Mirani, A.A., Velasco-Hernandez, G., Awasthi, A. and Walsh, J., 2022. “Key Challenges and Emerging Technologies in Industrial IoT Architectures: A Review”, Sensors, 22(15), p.5836.

[2] Moldehn, A. Industrie 4.0—Intelligent Production of Tomorrow. Available online: https://dam-mdc.phoenixcontact.com/asset/156443151564/d90d65eff-0734c9a49d76134aa1061e1/Digital_Tranformation_at_Phoenix_Contact.pdf (accessed on 10 September 2023).

[3] Adolphs, P.; Berlik, S.; Dorst, W.; Friedrich, J.; Gericke, C.; Hankel, M.; Heidel, R.; Hoffmeister, M.; Mosch, C.; Pichler, R.; et al. DIN SPEC 91345:2016—Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0); Technical Report ICS 03.100.01; 25.040.01; 35.240.50; Platform Industrie 4.0: Berlin, Germany, 2016.

[4] Mantravadi, S. and Møller, C., 2019. “An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0?”. Procedia manufacturing, 30, pp.588-595.

[5] Lin, S.W.; Miller, B.; Durand, J.; Bleakley, G.; Chigani, A.; Martin, R.; Murphy, B.; Crawford, M. The Industrial Internet Reference Architecture; Technical Report IIC:PUB: G1:V1.07: PB:20150601; Object Management Group: Needham, MA, USA, 2019.

[6] OpenFog Consortium. The OpenFog Consortium Reference Architecture: Executive Summary; Technical Report; OpenFog Consortium: Fremont, CA, USA, 2017.

53- heterogeneous

شبکه‌های خصوصی 5G
گامی به سوی استقرار صنعت نسل چهارم

انقلاب صنعتی چهارم یا صنعت نسل چهارم منجر به افزایش انعطاف پذیری، بهره‌وری و قابلیت اطمینان در فرآیندهای صنعتی می‌شود. تحقق صنعت نسل چهارم مستلزم تبادل زمان واقعی حجم زیادی از داده بین بخش‌های مختلف صنایع است. از این رو، فراهم کردن بستر ارتباطی با قابلیت برآورده‌سازی نیازمندی‌های تاخیر، پهنای باند، امنیت و اطمینان پذیری مورد نیاز، از چالش‌های توسعه صنعت نسل چهارم است. یکی از فناوری‌های امیدبخش در این زمینه فناوری 5G است. این فناوری با پشتیبانی از موارد کاربرد eMBB، uRLLC و mMTC می‌تواند پاسخگوی نیازمندی‌های صنعت نسل چهارم باشد. علاوه بر این برش‌بندی شبکه[1] و همچنین شبکه‌های خصوصی 5G امکان ارائه سرویس به صاحبان صنایع به صورت اختصاصی و شخصی‌سازی شده را فراهم می‌آورند که بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله ضمن مرور ویژگی‌های صنعت نسل چهارم، شبکه‌های خصوصی 5G بررسی و نمونه‌هایی از کاربرد آن‌ها در اکوسیستم صنعتی ارائه شده‌است.

کلیدواژه. انقلاب صنعتی چهارم، 5G، شبکه خصوصی، برش‌بندی شبکه.

1- Network slicing

انقلاب صنعتی چهارم (IR4.0[1]) یا صنعت نسل چهارم (I4.0[2])، در سال‌های اخیر با تعاریف متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است. مطابق تعریف ارائه شده توسط GSMA "چهارمین انقلاب صنعتی تغییرات تصاعدی در نحوه زندگی، کار و ارتباط ما با یکدیگر به دلیل به کارگیری سیستم‌های سایبر-فیزیکی، اینترنت اشیا (IoT[3]) و اینترنت سیستم‌ها" (IoS[4]) است [۱]. اگرچه این تعریف بسیار گسترده است، اما نشان‌دهنده تمایز I4.0 از نسل قبلی آن یعنی I3.0 است. I3.0 مبتنی بر به‌کارگیری رایانه و اترنت صنعتی (مانند EtherCAT و PROFINET) به منظور افزایش پیش‌بینی‌پذیری و کاهش تأخیر در فرایندهای خودکار مقیاس بزرگ و کنترل دیجیتال آنها است که منجر به بهبود و افزایش سرعت فرایندها می‌شود. در مقابل I4.0 به دنبال بازنمائی سایبر-فیزیکی از اشیا، فرآیندها و عملیات است تا امکان تصمیم‌گیری زمان‌واقعی مبتنی بر داده را فراهم کند. در I4.0 هدف اصلی جمع آوری هوشمند، انعطاف‌پذیر و هماهنگ داده‌های مختلف و استفاده از روش‌های چابک با هدف بهبود کیفیت محصولات، افزایش ایمنی و کاهش زمان عرضه به بازار، ضایعات و هزینه بوده و در نهایت، بهبود کیفیت تجربه شده مشتریان است [۲]. ویژگی‌های متمایز کننده و مولفه‌های کلیدی معماری I۴.۰ در جدول ۱ آورده شده‌اند. تحقق

1- Fourth Industry Revolution
2- Industry 4.0
3- Internet of Things
4- Internet of Systems

فناوری همراه
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
تابستان و پاییز ۱۴۰۲
شماره‌ی نهم
رصد فناوری

لیلا مجذوبی
دکتری مهندسی برق- مخابرات سیستم از دانشگاه تهران، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

سیستمی با ویژگی‌های مذکور در جدول ۱، مستلزم تبادل زمان‌واقعی حجم زیادی از داده‌ها بین گره‌های حسگر، محرک و پردازشی از یک طرف و مؤلفه‌های توزیع شده سیستم از طرف دیگر است. از این رو، فراهم کردن بستر ارتباطی با قابلیت برآورده‌سازی نیازمندی‌های تأخیر، پهنای باند، امنیت و اطمینان پذیری مورد نیاز، از چالش‌های توسعه I4.0 است. یکی از فناوری‌های امیدبخش برای تحقق I4.0، فناوری 5G است.

به کارگیری 5G در Industry 4.0

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، ارتباطات نقش حیاتی در I4.0 بازی می‌کند. خلاصه نیازمندی‌های ارتباطی کاربردهای صنعتی کلیدی I4.0 در جدول ۲ آورده شده است [۳]. با بلوغ I4.0 و افزایش گسترده به کارگیری حسگرها و محرک‌ها در صنایع مختلف، ارتباطات سیمی امکان برآورده‌سازی نیازمندی‌های I4.0 را نخواهند داشت و انتخابی جز یک راه حل بی‌سیم میسر نخواهد بود. از مزایای فناوری‌های بی‌سیم در ارتباطات صنعتی می‌توان به انعطاف‌پذیری بیشتر برای اتصال ماشین‌ها و دستگاه‌ها، کاهش هزینه‌های نصب و نگهداری، پشتیبانی از تحرک و قرار گرفتن کمتر پرسنل در موقعیت‌های خطرناک اشاره کرد. اگرچه فناوری‌های WiFi و بلوتوث از نظر هزینه پیاده‌سازی به صرفه به نظر می‌رسند، اما فاقد مکانیسم‌های لازم برای فراهم سازی اطمینان‌پذیری، امنیت و عملکرد مورد انتظار در I4.0 هستند. 5G به دلایلی که در زیر آمده است گزینه مناسب‌تری در کاربرد I4.0 است [۳]:

- 5G به گونه‌ای طراحی شده است که قابلیت پشتیبانی از سه دسته اصلی خدمات که عبارتند از eMBB (با نرخ داده در فروسو[5] و در فراسو[6])، mMTC (با چگالی اتصال ۱ گره بر مترمربع) و uRLLC (با تأخیر از مرتبه چند میلی ثانیه و قابلیت اطمینان ٪۹۹.۹۹۹۹) را داراست [۴]. با توجه به جدول ۲، این مشخصات 5G پاسخگوی نیازمندی‌های صنعتی است.
- برخلاف فناوری‌های بی‌سیم صنعتی پیشین مبتنی بر Wi-Fi و بلوتوث، 5G کیفیت سرویس مشخصی را برای کاربردهای صنعتی حیاتی فراهم می‌کند.
- پلتفرم‌های متحرک، مانند وسایل نقلیه هدایت شونده خودکار و

5- Downlink
6- Uplink

جدول ۱. ویژگی‌ها و مولفه‌های کلیدی I4.0 [۲]

ویژگی	مولفه‌های کلیدی
به هم پیوسته[1]: توانایی ادغام اجزای فیزیکی و دیجیتالی همه اشیا متصل، که بیانگر توانایی ماشین‌ها، دستگاه‌ها، حسگرها و سیستم ها برای اتصال و ارتباط است.	• شبکه خصوصی 5G • شبکه عمومی • IoT و IIoT[2] • IoS
شفاف[3]: I۴,۰ شامل حجم عظیمی از داده‌ها است که به‌طور شفاف به اشتراک گذاشته می‌شوند و برای تأثیرگذاری بر تصمیم‌گیری، بهبود فرآیند و زنجیره تأمین، تجربه مشتری و غیره قابل دسترسی هستند.	• امنیت • مدیریت • مصورسازی[4]
افزوده شده[5]: هوش مصنوعی (AI[6])، یادگیری ماشین (ML[7])، رباتیک، شبیه سازی (مانند دوقلوهای دیجیتال[8]) و واقعیت توسعه یافته (XR[9])، که توانایی‌های انسان در تصمیم‌گیری، حل مسائل و اقدام را تقویت می‌کنند، به طور گسترده در I4.0 مورد استفاده است	• ربات‌ها • دوقلوی دیجیتال • AI/ML
غیرمتمرکز[10]: عبارت است از توانایی سیستم‌ها و گره‌های درون سیستم‌ها برای عمل مستقل و هماهنگی با یکدیگر برای تصمیم‌گیری و اقدام	• MEC[11] • همنواسازی[12] لبه • تجزیه و تحلیل لبه

1- Interconnected
2- Industrial IoT
3- Transparent
4- Visualization
5- Augmented
6- Artificial Intelligence
7- Machine Learning
8- Digital Twin
9- Extended Reality
10- Decentralized
11- Multi-Access Edge Computing
12- Orchestration

ربات‌های متحرک، از عناصر کلیدی سیستم‌های مختلف صنعتی در حال ظهور و آینده هستند. از جمله ویژگی‌های 5G پشتیبانی از تحرک مورد نیاز در این کاربردها (تا سرعت کیلومتر بر ساعت) است.

از جمله توانمندی‌های 5G که در حال بررسی و توسعه است، موقعیت‌یابی با دقت در حد ۱۰ سانتی‌متر با تأخیر از مرتبه چند ده میلی ثانیه است. این قابلیت برای بسیاری از کاربردهای صنعتی نوظهور بسیار مهم است.

رایانش لبه[7] توانایی ارتباط بین سیستم‌های سازمانی صنعتی را در محلی‌ترین سطح ممکن با شبکه بی‌سیم (خصوصی یا عمومی) فراهم می‌کند. این موضوع هم تأخیر انتقال انتها به انتها را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد و هم با حفظ داده‌ها در محدوده محل سازمانی حفظ امنیت اطلاعات و حریم خصوصی را فراهم می‌کند.

در کنار ویژگی‌های فوق‌الذکر، برش‌بندی شبکه و همچنین شبکه‌های 5G خصوصی امکان ارائه سرویس به صاحبان صنایع به صورت اختصاصی و شخصی‌سازی شده را فراهم می‌آورند [۵]، که در بخش بعدی معرفی می‌شود.

7- Edge computing

شبکه‌های خصوصی 5G

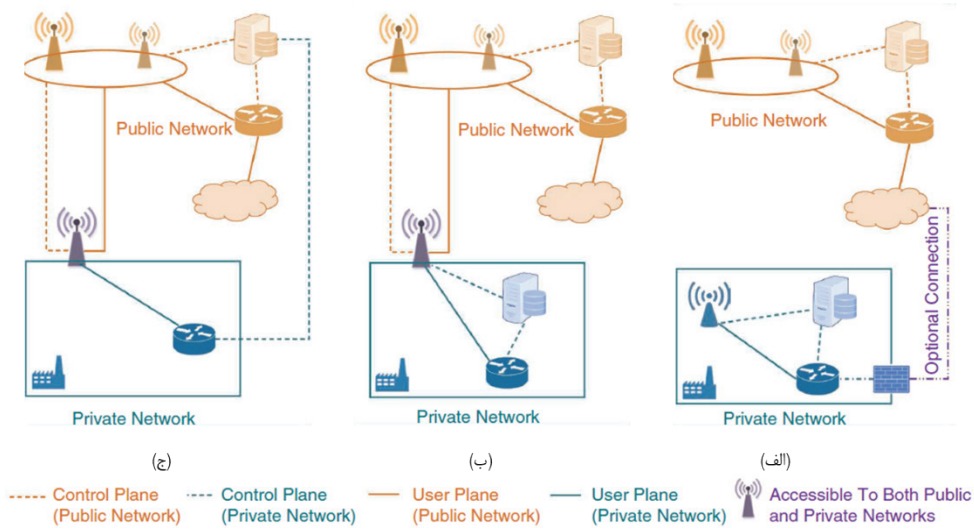
در کاربردهای صنعتی، یک گزینه استقرار که مورد توجه بسیاری از صاحبان صنایع قرار دارد «شبکه های خصوصی» سیار است که در اسناد 3GPP شبکه‌های غیر عمومی[8] خوانده می‌شود [۵]. این شبکه‌ها عبارتند از شبکه‌هایی که برای استفاده انحصاری شرکت خاص بوده و همه دستگاه‌های فعال بخشی از یک جامعه بسته هستند. مطابق پیش‌بینی‌های GSMA Intelligence بین ۲۵ تا ۴۰ درصد از شرکت‌های کوچک/متوسط بین سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۵ از طریق شبکه‌های سیار خصوصی خدمات رسانی خواهند شد [۶]. بر مبنای پیش‌بینی ABI Research درآمد ناشی از شبکه‌های خصوصی سیار از ۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۳ به ۹۶ میلیارد دلار در سال ۲۰۳۰

8- Non-public networks

جدول ۲. نیازمندی‌های ارتباطی کاربردهای صنعتی کلیدی در صنعت نسل چهارم [۳]

کاربرد	قابلیت اطمینان	زمان تاخیر	نرخ داده	مقیاس‌پذیری (تعداد گره)
مانیتورینگ	≥99.9%	50-100 ms	0.1-0.5 Mbps	100-1000
کنترل ایمنی	≥99.999%	5-10 ms	0.5-1Mbps	10-20
کنترل حلقه بسته	≥99.999%	2-10 ms	1-5 Mbps	100-150
کنترل حرکت	≥99.9999%	0.5-2 ms	1-5Mbps	10-50
نیروی کار متحرک	≥99.999%	5-10 ms	10-50Mbps	50-100
واقعیت افزوده	≥99.99%	5-10 ms	500-1000Mbps	10-20
نگهداری[1] از راه دور	≥99.99%	20-50 ms	1-2 Mbps	500-1000
عملیات از راه دور	≥99.999%	2-10 ms	100-200 Mbps	1-5

1- Maintenance



شکل ۱. معماری‌های مختلف شبکه خصوصی 5G: (الف) استقرار مستقل، (ب) استقرار RAN مشترک عمومی-خصوصی، (ج) استقرار RAN و صفحه کنترل اشتراکی [۳]

خواهد رسید [۷]. از جمله ویژگی‌های شبکه‌های خصوصی که در 4.0I مورد توجه هستند عبارت است از [۳]:

پوشش اختصاصی: شبکه‌های خصوصی پوشش انحصاری را در یک مرکز یا مکان ارائه می‌دهند. این امر به ویژه برای سایت‌های صنعتی که اغلب در مناطق دورافتاده قراردارند که شبکه‌های عمومی وجود نداشته و یا پوشش‌دهی آن مناسب نیست، حائز اهمیت است. این پوشش اختصاصی برای دستیابی به دسترسی بسیار بالا برای عملیات صنعتی بسیار مهم است.

ظرفیت انحصاری: تمام ظرفیت شبکه خصوصی در اختیار صاحب صنعتی است که شبکه به آن اختصاص دارد و مشابه شبکه‌های عمومی لازم نیست کاربران برای در اختیار گرفتن ظرفیت با یکدیگر رقابت کنند.

کنترل داخلی: یک شبکه خصوصی امکان کنترل کامل را به مالک خود ارائه می‌دهد، چیزی که در شبکه‌های عمومی امکان پذیر نیست. مالکان این شبکه‌ها می‌توانند سیاست‌های امنیتی خود را برای مجوز دادن به کاربران، اولویت‌بندی ترافیک و مهمتر از همه، اطمینان از عدم خروج داده‌های حساس اجرا کنند.

خدمات سفارشی: یک شبکه خصوصی را می‌توان بر اساس الزامات برنامه‌های صنعتی خاص سفارشی کرد. چنین سفارشی‌سازی در یک شبکه عمومی امکان پذیر نیست. علاوه بر این، یک شبکه خصوصی 5G را می‌توان به‌طور مؤثر بین چندین برنامه صنعتی به اشتراک گذاشت.

علاوه بر شبکه خصوصی، برش‌بندی شبکه نیز قابلیتی است که در 5G معرفی شده و می‌تواند در صنایع مورد استفاده قرار گیرد. برش‌بندی شبکه به مشتریان اجازه می‌دهد تا منابع شبکه را برای استفاده انحصاری خود در اختیار داشته باشند و طیف وسیعی از ویژگی‌های عملکردی که برای نیازهایشان بهینه است را ارائه دهند. این ویژگی از طریق پیکربندی زیرساخت فیزیکی شبکه محقق می‌شود و یک شبکه "مجازی" ارائه می‌دهد که همان قابلیت‌هایی را فراهم می‌کند که گویی مشتری یا برنامه کاربردی شبکه سفارشی خود را دارد [۶].

در این مقاله تمرکز اصلی بر روی راه‌اندازی شبکه های خصوصی 5G است. از جمله نکات حائز اهمیت در پیاده‌سازی این شبکه‌ها، معماری و تعامل آن‌ها با شبکه‌های عمومی، چگونگی تخصیص طیف فرکانسی به آن‌ها، و همچنین استانداردسازی در این حوزه است. در ادامه به این موضوعات پرداخته می‌شود.

معماری شبکه خصوصی 5G

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، سه معماری برای شبکه‌های خصوصی 5G معرفی شده است [۳]:

استقرار مستقل: در این گزینه که در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است، یک شبکه خصوصی تمامی اجزا شبکه (رادیو و هسته) را دارا بوده و کاملاً از شبکه عمومی جدا است. تمام جریان‌های داده و عملکردهای شبکه (صفحه کاربر[9] و صفحه کنترل[10]) در داخل محوطه سایت صنعتی (به عنوان مثال، یک انبار یا یک کارخانه) انجام می‌شود. در صورت نیاز، امکان اتصال به شبکه عمومی از طریق فایروال وجود دارد.

استقرار RAN مشترک عمومی-خصوصی: در این گزینه که در شکل ۱ (ب) آورده شده است، شبکه خصوصی و عمومی دارای RAN مشترک و در عین حال توابع شبکه مجزا هستند. صفحه داده شبکه خصوصی به سایت صنعتی محدود می شود. شبکه خصوصی شناسه مختص خود را داشته و از طریق توافقنامه اشتراک RAN با همتای عمومی تعامل می کند.

استقرار RAN و صفحه کنترل اشتراکی: در این گزینه که در شکل ۱ (ج) نشان داده شده است، شبکه‌های عمومی و خصوصی

9- User Plane
10- Control Plane

بخشی از RAN را به اشـــتراک می‌گذارند. علاوه بر این، توابع شبکه صفحه کنترل در شـــبکه عمومی مدیریت شده و صفحه داده شبکه خصوصی در محوطه ســـایت صنعتی اســـت. این گزینـــه از طریق تکنیک‌های برش‌بندی شبکه محقق می‌شـــود. شبکه خصوصی و نسخه عمومی دارای شناسه‌های برش جداگانه هستند. کاربران شبکه خصوصی در واقع مشترکین شبکه عمومی هستند.

مقایسه‌ای از ویژگی‌های هر یک از این سه معماری در جدول ۳ آورده شده است.

طیف فرکانسی در شبکه خصوصی 5G

طیف مورد نیاز در شبکه خصوصی 5G را می‌توان به سه روش تأمین نمود:

اســـتفاده از طیف مجوزدار[11]: مشابه شـــبکه‌های عمومی، شبکه‌های خصوصی نیز می‌توانند در طیف مجوزدار مستقر شوند. عملکرد در طیف مجوزدار، اطمینان عملکرد بیشتر با خطر تداخل کم را فراهم می‌کند. در استقرار به این شیوه، اپراتورها می‌توانند بخشی از طیف مجوزدار خود را به شبکه خصوصی در یک منطقه جغرافیایی خاص، مانند یک سایت صنعتی، اختصاص دهند. همچنین این امکان وجود دارد که نهادهای نظارتی منطقه‌ای طیفی را برای شبکه صنعتی اختصاص دهند.

اســـتفاده از طیف بدون مجوز[12]: گزینه دیگر برای استقرار شـــبکه‌های خصوصی 5G، طیف بدون مجوز است، به عنوان مثال، در باند ۲.۴ گیگاهرتز، باند ۵ گیگاهرتـــز و باند ۶ گیگاهرتز که اخیراً افتتاح شده است. این باندهای طیف توسط Wi-Fi، بلوتوث، Zigbee و فناوری‌های مختلف دیگر نیز مورد استفاده بوده و ذاتاً برای استفاده مشترک باز هستند. لازم به ذکر است که به کارگیری طیف بدون مجوز

11- Licensed

12- Unlicensed

جدول ۳. مقایسه معماری‌های مختلف شبکه خصوصی 5G [۸]

معماری ویژگی	استقرار مستقل	استقرار RAN مشترک عمومی- خصوصی	استقرار RAN و صفحه کنترل اشتراکی
اختصاصی‌سازی کیفیت سرویس	اختصاصی‌سازی کامل	اختصاصی‌سازی کامل	اختصاصی‌سازی جزئی
استقلال از شبکه عمومی	کاملا مستقل	استقلال زیاد	معمولا قطعی در شبکه عمومی سرویس را تحت تاثیر قرار می‌دهد
امنیت	بالا	بالا	وابسته به امینت شبکه عمومی
کنترل صاحب صنعت بر شبکه	کنترل کامل	کنترل کامل	کنترل محدود
ایزولاسیون	کاملا جدا از هم	اشتراک RAN	اشتراک RAN و صفحه کنترلی
هزینه استقرار برای صاحب صنعت	بسیار زیاد	زیاد	نسبتا کم

در شبکه‌های سلولی نسل چهارم مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

استفاده از طیف مجوزدار اشتراکی: گزینه سوم برای استقرار 5G خصوصی، طیف دارای مجوز مشترک است. نمونه‌های طیف دارای مجوز مشترک شامل باند ۳.۵ گیگاهرتز (CBRS[13]) در ایالات متحده، باند ۳.۷-۳.۸ گیگاهرتز در آلمان و باند ۳.۸-۴.۲ گیگاهرتز در بریتانیا است. برخلاف طیف بدون مجوز، روش‌های دسترسی هماهنگ و پویا برای طیف مشترک در حال توسعه هستند که می‌توانند تضمینی برای عملکرد بدون تداخل مشابه باندهای مجوزدار ارائه دهند.

استانداردگذاری

به طور سنتی، جوامع صنعتی و مخابرات بی‌سیم به صورت مستقل و جدا از هم فعالیت می‌کرده‌اند. این جدایی و شکاف مانع بزرگی برای توسعه و پذیرش گسترده فناوری‌های بی‌سیم صنعتی بوده است. در سال ۲۰۱۷، انجمن تولیدات الکتریکی و الکترونیکی آلمان، کارگروه 5G را راه اندازی کرد که اکنون به 5GACIA[14] گسترش یافته است.

ماموریت 5GACIA

گردآوری کل اکوسیستم و اطمینان از لحاظ شدن الزامات حوزه صنعتی در استانداردسازی و مقررات فناوری 5G است. از سوی دیگر، 3GPP اقدامات مختلفی را در نسخه ۱۶ که بر کاربرد شبکه‌های خصوصی 5G در سیستم‌های صنعتی متمرکز است انجام داده است. 3GPP همچنین در حال کار بر روی گزینه‌هائی مانند پشتیبانی از TSN[15]، هماهنگ‌سازی زمان، بهینه‌سازی لایه‌های دوم/سوم، و QoS[16] پیشرفته است که می‌توانند منجر به توسعه 5G در حوزه صنعتی شوند.

نمونه‌هایی از پیاده‌سازی شبکه‌های خصوصی

در ادامه نمونه‌هایی از پیاده‌سازی شبکه خصوصی 5G ارائه می‌گردد [۶]:

شرکت Ford Motor و Vodafone Business در حال نصب یک شبکه تلفن همراه خصوصی 5G در یک سایت جدید تولید خودروهای الکتریکی در بریتانیا هستند تا سرعت تولید باتری‌های الکتریکی را افزایش دهند. هدف کاهش تاخیر در تولید، افزایش پهنای باند، بهبود امنیت و قابلیت اطمینان و افزایش بهره وری است.

Huawei، China Mobile و Haier استقرار رایانش لبه، 5G و بینایی ماشین را در محیط تولید Haier تکمیل کرده‌اند. با استفاده از این راه‌حل، یخچال فریزرهای فولاد ضد زنگ به صورت بصری در زمان واقعی بررسی می‌شوند تا عیوب تولید را بررسی کنند. رایانش لبه به منظور میزبانی برنامه‌های بینایی ماشین در محل تولید مستقر شده است.

Vodafone Business و Lufthansa Technik یک شبکه خصوصی 5G مستقل در پایگاه ۸۵۰۰ متر مربعی Lufthansa در فرودگاه هامبورگ مستقر کرده‌اند. این بدان معناست که Lufthansa Technik اکنون می‌تواند آزادانه شبکه را بر اساس نیازهای خود پیکربندی کند. همچنین تکنسین‌ها می‌توانند از فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده با وضوح بالا برای کار دقیق‌تر روی بدنه هواپیما استفاده کنند. همچنین به عنوان بخشی از شبکه خصوصی، داده‌های حساس کاملاً ایمن هستند.

نتیجه‌گیری

با توجه به گسترش I4.0 و فرصت‌های بسیار زیادی که برای اپراتورهای شبکه موبایل در این حوزه وجود دارد در این مقاله به نیازمندی‌های ارتباطی I4.0 و توانائی‌های فناوری 5G در پاسخگوئی به آن‌ها پرداخته شد. در این راستا شبکه‌های خصوصی 5G به عنوان گزینه‌ای که امکان ارائه سرویس به صاحبان صنایع به صورت اختصاصی و شخصی‌سازی شده را فراهم می‌آورد معرفی گردید. معماری این شبکه‌ها، تخصیص طیف فرکانسی به آن‌ها و همچنین استانداردگذاری این حوزه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نمونه‌هایی از به کارگیری فناوری 5G در صنایع ارائه گردید.

منابع:

[1] GSMA, “Recognizing the potential of Industry 4.0 in Asia Pacific,” Jan. 2021.
[2] GSMA, “Industry 4.0 (I4.0) Brownfield Evolution Framework,” Apr. 2023.
[3] A. Aijaz, “Private 5G: The future of industrial wireless,” IEEE Industrial Electronics Magazine. Vol. 14, no.4, pp. 136-145, Dec. 2020.
[4] ITU-R, “Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020,”Nov. 2017.
[5] 3GPP, “System architecture for the 5G System (5GS),” TS 23.501 v. 17.5.0, July 2022.
[6] GSMA, “5G IoT Private & Dedicated Networks for Industry 4.0,” Oct. 2020
[7] https://www.abiresearch.com/press/private-cellular-networks-will-reach-a-value-of-almost-us100-billion-by-2030-but-important-lessons-need-to-be-learned/#:~:text=As%20recently%20published%20forecasts%20by,almost%2050%25%20of%20these%20revenues.
[8] J. Ordonez-Lucena, J. F. Chavarria, L. M. Contreras, A, Pastor, “The use of 5G Non-Public Networks to support Industry 4.0 scenarios,”in IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), Oct. 2019.

13- Citizens Broadband Radio Service
14- 5G Alliance for Connected Industries and Automation
15- Time Sensitive Network
16- Quality of Service

HAMRAH-E-AVAL