

به نام خدا

شبکه موبایل نسل پنجم و فناوری ارتباطات بی سیمی

اثر:

عفیف عسیران

جوزاف مونسرات

پاتریک مارش

مترجم: مهندس قادر میرزاده

انتشارات ارسطو

(چاپ و نشر ایران)

۱۴۰۰

سرشناسه: عسیران، عفیف

Osseiran, Afif

عنوان و نام پدیدآور: شبکه موبایل نسل پنجم و فناوری ارتباطات بی سیمی / اثر عفیف عسیران، جوزاف موسیرات، پاتریک مارش؛ مترجم قادر میرزاده.

مشخصات نشر: ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۰.

مشخصات ظاهری: ۷۳۶ص.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۴۳۲-۶۳۴-۶

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: عنوان اصلی: ۲۰۱۶, 5G Mobile and wireless communications technology

موضوع: ارتباطات بی سیم -- نوآوری

موضوع: Wireless communication systems -- Technological innovations

موضوع: مخابرات -- سیستم های سیار -- استاندارد

موضوع: Mobile communication systems -- Standards

موضوع: مخابرات سیار ماهواره ای

موضوع: Global system for mobile communications

شناسه افزوده: مونسرات، خوسه اف.

شناسه افزوده: Monserrat, Jose F

شناسه افزوده: مارش، پاتریک

شناسه افزوده: Marsch, Patrick

شناسه افزوده: میرزاده، قادر، ۱۳۵۷-، مترجم

رده بندی کنگره: TK۵۱۰۳/۴۸۳

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۸۴۵

شماره کتابشناسی ملی: ۷۵۹۶۶۰۳

وضعیت رکورد: فیبا

نام کتاب: شبکه موبایل نسل پنجم و فناوری ارتباطات بی سیمی
نویسندگان: عفیف عسیران - جوزاف مونسرات - پاتریک مارش

مترجم: قادر میرزاده

ناشر: ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۰

چاپ: مدیران

قیمت: ۱۴۸۰۰۰ تومان

فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان:

<https://chaponashr.ir/ketabresan>

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۴۳۲-۶۳۴-۶

تلفن مرکز پخش: ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵

www.chaponashr.ir



انتشارات ارسطو



این کتاب مروری جامع بر وضعیت فعلی و چشم‌انداز شبکه نسل پنجم است که توسط کارشناسان برجسته تحقیقات 5G تألیف و تاحدامکان تلاش شده است تمام موارد، مباحث و حتی موضوعات احتمالی مرتبط و قابل استفاده در فناوری شبکه نسل پنجم و معماری بالقوه آن را مورد بحث و بررسی قرار دهد. به لحاظ طیف گسترده مسائل مطرح شده در فناوری نسل پنجم، این کتاب می‌تواند یک مرجع اساسی و پایه‌ای برای دانشگاہیان و متخصصان مرتبط با شبکه‌های ارتباطات سیار (تلفن همراه) و بی‌سیم باشد.

- توضیح و شرح مباحث کلیدی اصلی فناوری از قبیل واسطه‌های هوایی 5G، ارتباط دستگاه به-دستگاه، ارتباطات امواج میلی‌متری، MIMO عظیم، چندنقطه‌ای هماهنگ شده، کدگذاری شبکه بی‌سیم، مدیریت تداخل و جابه‌جایی و مباحث و مسائل مربوط به طیف
- بیان خلاصه و چکیده یافته‌های مهم و کلیدی همکاری‌های تحقیقاتی 5G مانند METIS و طرح‌های جانبی مهم، نیازمندی‌ها و الزامات شبکه و معماری‌های سیستم
- بیان اسرار و رموز رابطه بین اینترنت اشیاء، ارتباطات نوع ماشینی و سایبری دستگاه‌های فیزیکی و شرح تأثیر شبکه 5G بر بخش‌هایی مانند حمل و نقل، خودرو، ساختمان و انرژی
- ایجاد انگیزه در خوانندگان و آماده‌سازی آن‌ها در زمینه تأثیر و فرصت‌های 5G.

عفیف عسیران^۱: عفیف عسیران مدیر بخش فناوری ارتباطات رادیویی شرکت اریکسون (CTO)، وی قبلاً پروژه شاخص ۵G اتحادیه اروپا و نیز پروژه METIS را به خوبی مدیریت نموده و مدیر فنی Eureka Celtic project WINNER+ است. ایشان دو کتاب در زمینه IMT-Advanced (معروف به 4G) تدوین کرده و یکی از اعضای ارشد IEEE می باشد.



جوزاف مونسرات^۲: وی استاد بخش ارتباطات دانشگاه Universitat Politècnica de València و عضو ارشد IEEE بوده و در چندین پروژه اروپایی از قبیل METIS-II and NEWCOM, PROSIMOS, WINNER+, METIS مشارکت داشته است.



^۱ Afif Osseiran

^۲ Jose F. Monserrat

پاتریک مارش^۱: او مدیر بخش آزمایشگاه‌های Nokia Bell بوده و هدایت و رهبری بخش تحقیقاتی سیستم‌های بی سیم، مدیر فنی ۵G-PPP مربوط به پروژه METIS-II است. وی همچنین مسئولیت هماهنگی فنی پروژه EASY-C را برعهده داشته و از سردبیران ارتباطات سیار چند نقطه‌ای هماهنگ شده می‌باشد.



^۱ Patrick Marsch

تقدیم به پسر تازه متولد شده ام "S" و پسران دوقلوی خودم بناه های H و N و نیز تقدیم به همسر به خاطر ترغیب و تشویق های بی دریغشان و به یاد عمه ام K.E یک خانم بزرگ و به یادماندنی.

ع . عسیران

تقدیم به پسر پنجمین نسل افتخار آفرین فاندان جوز مسیرات و نیز تقدیم با گرم ترین و عاشقانه ترین احساس به همسر و دختر به خاطر حضور و بودن همیشگی آنها.

ج. منسرات

تقدیم به دو پسر فردسال که وجود آنها مایه انرژی و سرگرمی برای من شده و نیز تقدیم به همسر به خاطر صبر و حمایت شگفت انگیزش.

پ. مارش

فهرست

۱۱	همکاران
۱۴	مقدمه مترجم
۱۷	پیش گفتار
۲۱	تقدیر و تشکر
۲۶	کلمات اختصاری
۴۱	مقدمه
۷۷	مفهوم و موارد استفاده ۵G
۱۳۰	معماری ۵G
۱۷۸	ارتباطات نوع ماشینی
۲۲۹	ارتباطات دستگاه - به - دستگاه (D۲D)
۲۸۰	ارتباطات امواج میلی متری
۳۱۹	فناوری های دسترسی رادیویی ۵G
۴۰۷	سیستم های ورودی چندگانه - خروجی چندگانه (MIMO) عظیم
۴۷۷	انتقال چند نقطه ای هماهنگ در ۵G
۵۲۹	انجام رله و کد گذاری شبکه بی سیم

مدیریت تداخل، مدیریت جابه‌جایی و پیکربندی مجدد پویا ۵۷۴

طیف ۶۳۰

مدل‌های کانال‌های انتشار بی سیمی ۵G ۶۶۷

روش تحلیل شبیه‌سازی ۷۰۴

همکاران

Danish Aziz, Alcatel-Lucent (now Nokia)

Kumar Balachandran, Ericsson

Robert Baldemair, Ericsson

Paolo Baracca, Alcatel-Lucent (now Nokia)

Slimane Ben Slimane, KTH – Royal Institute of Technology

Mats Bengtsson, KTH – Royal Institute of Technology

Carsten Bockelmann, University of Bremen

Mauro Renato Boldi, Telecom Italia

Ömer Bulakci, Huawei

Luis Miguel Campoy, Telefonica

Icaro Leonardo da Silva, Ericsson

Jose Mairton B. da Silva Jr., KTH – Royal Institute of Technology

Elisabeth De Carvalho, Aalborg University

Heinz Droste, Deutsche Telekom

Mikael Fallgren, Ericsson

Roberto Fantini, Telecom Italia

Peter Fertl, BMW

Gabor Fodor, Ericsson

David Gozálvez-Serrano, BMW

Katsuyuki Haneda, Aalto University

Jesper Hemming Sorensen, Aalborg University

Andreas Höglund, Ericsson

Dennis Hui, Ericsson

Tommi Jämsä, was with Anite Telecoms, now Huawei
Andreas Klein, University of Kaiserslautern
Konstantinos Koufos, Aalto University
Katsutoshi Kusume, NTT DOCOMO
Pekka Kyösti, Anite Telecoms
Eeva Lähetkangas, Nokia
Florian Lenkeit, University of Bremen
Zexian Li, Nokia
Ji Lianghai, University of Kaiserslautern
David Martin-Sacristan, Universitat Politècnica de València
Patrick Marsch, Nokia
Michał Maternia, Nokia
Jonas Medbo, Ericsson
Sanchez Moya Jose F. Monserrat, Universitat Politècnica de València
Afif Osseiran, Ericsson
Olav Queseth, Ericsson
Petar Popovski, Aalborg University
Nandana Rajatheva, University of Oulu
Leszek Raschkowski, Fraunhofer Heinrich Hertz Institute
Peter Rost, Nokia
Joachim Sachs, Ericsson
Fernando Sanchez Moya, Nokia
Malte Schellmann, Huawei
Hans Schotten, University of Kaiserslautern
Erik G. Ström, Chalmers University of Technology
Lars Sundström, Ericsson
Ki Won Sung, KTH – Royal Institute of Technology
Satoshi Suyama, NTT DOCOMO

Tommy Svensson, Chalmers University of Technology

Emmanuel Teron, NTT DOCOMO

Lars Thiele, Fraunhofer Heinrich Hertz Institute

Olav Tirkkonen, Aalto University

Antti Tölli, University of Oulu

Hugo Tullberg, Ericsson

Mikko Uusitalo, Nokia

Petra Weitkemper, NTT DOCOMO

Wolfgang Zirwas, Nokia

مقدمه مترجم

کتاب " نسل پنجم شبکه موبایل و ارتباطات بی سیمی " توسط کارشناسان برجسته تحقیقات 5G تألیف و تاحدامکان تلاش شده است تمام موارد، مباحث و حتی موضوعات احتمالی مرتبط و قابل استفاده در فناوری شبکه نسل پنجم و معماری بالقوه آن را مورد بحث و بررسی قرار دهد. به لحاظ طیف گسترده مسائل مطرح شده در فناوری نسل پنجم، این کتاب می تواند یک مرجع اساسی و پایه ای برای دانشگاهیان و متخصصان مرتبط با شبکه های ارتباطات سیار (تلفن همراه) و بی سیمی باشد.

- توضیح و شرح مباحث کلیدی اصلی فناوری از قبیل واسطه های هوایی 5G، ارتباط دستگاه -به- دستگاه، ارتباطات امواج میلی متری، MIMO عظیم، چند نقطه ای هماهنگ شده، کد گذاری شبکه بی سیم، مدیریت تداخل و جابه جایی و مباحث و مسائل مربوط به طیف
- بیان خلاصه و چکیده یافته های مهم و کلیدی همکاری های تحقیقاتی 5G مانند METIS و طرح های جانبی مهم، نیازمندی ها و الزامات شبکه و معماری های سیستم
- بیان اسرار و رموز رابطه بین اینترنت اشیا، ارتباطات نوع ماشینی و سایبری دستگاه های فیزیکی و شرح تأثیر شبکه 5G بر بخش هایی مانند حمل و نقل، خودرو، ساختمان و انرژی

درست است که این کتاب توسط سه تن از برجسته‌ترین متخصصان حوزه ارتباطات بی‌سیم و شبکه‌های نسل چهارم و پنجم موبایل تألیف شده است اما از نکات قوت و تمایز این کتاب آن است که در هریک از چهارده فصل این کتاب نظرات، تجربیات و دانش کارشناسان و متخصصان آن موضوع استفاده شده است و در ابتدای فصل معرفی شده‌اند می‌توان گفت در تألیف این کتاب بیش از یک صد کارشناس مشارکت داشته‌اند. نویسندگان و گردآورندگان این اثر عبارت‌اند از:

عفیف عسیران^۱: عفیف عسیران مدیر بخش فناوری ارتباطات رادیویی شرکت اریکسون (CTO)، وی قبلاً پروژه شاخص ۵G اتحادیه اروپا و نیز پروژه METIS را به‌خوبی مدیریت نموده و مدیر فنی Eureka Celtic project WINNER+ است. ایشان دو کتاب در زمینه IMT-Advanced (معروف به ۴G) تدوین کرده و یکی از اعضای ارشد IEEE می‌باشد.

جوز اف مونسرات^۲: وی استاد بخش ارتباطات دانشگاه Universitat Politècnica de València و عضو ارشد IEEE بوده و در چندین پروژه اروپایی از قبیل METIS-II and NEWCOM, PROSIMOS, WINNER+, METIS مشارکت داشته است.

پاتریک مارش^۳: او مدیر بخش آزمایشگاه‌های Nokia Bell بوده و هدایت و رهبری بخش تحقیقاتی سیستم‌های بی‌سیم، مدیر فنی ۵G-PPP مربوط به پروژه METIS-II است. وی همچنین مسئولیت هماهنگی فنی پروژه EASY-C را برعهده داشته و از سردبیران ارتباطات سیار چندنقطه‌ای هماهنگ شده می‌باشد.

نظر به اینکه فناوری نسل پنجم موبایل به‌تازگی پا به عرصه گذاشته و عبارت‌های فنی و تخصصی آن در بین مطالب دارای معادل‌های فارسی نمی‌باشد با این وجود تمام توان و

^۱ Afif Osseiran

^۲ Jose F. Monserrat

^۳ Patrick Marsch

تلاش خود را در راستای معادل‌سازی در ترجمه این کتاب بکار گرفته و امید است خوانندگان و اهل فن در ارائه پیشنهادها نظرات خود دریغ نمایند.

در اینجا بر خود وظیفه می‌دانم از مدیریت مخابرات منطقه اردبیل آقای دکتر اسمعیل زاده به دلیل حمایت از طرح‌های پژوهشی و تحقیقاتی و نیز آقای مهندس تقوی و آقای مهندس سوداگر تقدیر و تشکر نموده و این کتاب را به ایشان تقدیم می‌کنم.

sg.mirzadeh@gmail.com

پیش گفتار

صنعت ICT^۱ وارد مرحله و دور چهارم بازی شده است که پیروزی و موفقیت همه را در این بازی تضمین می‌نماید. موفقیت‌های ۲G و ۳G در گذشته و تعهد و اعتمادسازی ۴G در دهه اخیر منجر به اتفاق نظر و هدایت اذهان به سمت سیستم‌های نسل پنجم تلفن همراه (۵G) شده است. این موفقیت‌ها نقطه آغازینی برای گذر تلفن ثابت از محیط ثابت به محیط سیار (تلفن همراه) شده و به این ترتیب توانسته است اینترنت را در دستان کاربران نهایی قرار دهد. این نسل یعنی نسل جدید سیستم‌های تلفن همراه (سیار) احساس متفاوتی را در مقیاس جهانی به ارمغان آورده آنجا که انگیزه و اشتیاق در آن بی‌سابقه است. ظهور ۵G و نقشه راه آن کاملاً در مقابل بکارگیری و استفاده از نام ۴G بجای LTE تا زمان انتشار ۱۰ استاندارد ۳GPP از خود مقاومت نشان داده است و حتی باعث تکان در بازار فروش نشده است.

اکنون ما در حال نقاشی روی بوم سفید و خالی آن هستیم تا روزی به‌عنوان یک نماد کوچک در گوشی‌های هوشمند (یا معادل آن‌ها) با نماد ۵G ظاهر گردد. آیا تاریخ و سوابق آن می‌تواند ما را در پیش‌بینی درست این سیستم یاری کند؟ و اینکه چه خواهد شد؟ در واقع کاربرد و کار آیی نسل دوم (۲G) فقط در زمینه صدا بوده، نسل سوم (۳G) علاوه بر صدا در زمینه داده نیز کاربرد دارد و نیز نسل چهارم (۴G) در زمینه‌های صدا، داده و برنامه‌های کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد اما در مورد ۵G چه می‌توان گفت؟

^۱ Information and Communications Technology

امروزه ما شاهد تبدیل سیستم‌های تلفن همراه به یک زیرساخت اساسی اجتماعی، کسب تجربه و دستیابی روزافزون به تجاری در این زمینه و تقویت و تجهیز صنایع به کمک ICT و اینترنت اشیاء (IOT)^۱ به عنوان الگویی نوظهور هستیم. جزئیات تازه‌ای از نقشه راه این فناوری به صورت عمده در این کتاب مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. ۵G - آن‌طور که به نظر می‌رسد - به‌طور کلی دارای سه بعد کلی است.

نخست؛ تا اندازه‌ای سنتی، ما در مقیاسی گسترده و تا حدودی فراتر از توانایی‌های نسخه ۱۰ مربوط به LTE نسل چهارم نیاز داریم طیف در باندهای سلولی سنتی اندکی زیر ۶GHz و بهبود بهره‌وری بسیار چالش برانگیز بوده و کار ساده‌ای نیست تنها راه حل مسئله از طریق رویکردهای جدید در طراحی سیستم از قبیل MIMO همه‌جانبه، ارتباطات امواج میلی‌متری، رله، کدگذاری شبکه، روش‌های پیشرفته در مدیریت تداخل و جابه‌جایی است که نمونه‌ها و مطالعات اولیه بیانگر آن است که بسیاری از این راه‌حل‌ها عملی بوده و قابل پیاده‌سازی است.

دنیای به سمت وسوی استفاده از برنامه‌های رسانه‌ای با قابلیت تعاملی تر شروع به حرکت کرده و با ارائه تجربیات موجود در قالب مجازی‌سازی (VR)، واقعی‌گرایی افزون (AR)، چالش و نوید بزرگی را به ارمغان خواهد آورد. این الزامات باورنکردنی را بر روی سیستم‌های تلفن همراه، تحویل مقدار بالای داده مورد تقاضای کاربر و در نهایت کاربران انتهای می‌توانند خود به تولید محتوا و اطلاعات پردازند. این الزامات و پیش‌نیازها هیچ تأثیری بر واسطه‌های هوایی انتقال نداشته و تجدید ساختار شبکه‌های حمل و نقل و سیستم‌های ابری^۲ برای تشکیل یک توپولوژی پراکنده جهت توسعه و پوشش دادن است تلفن همراه با قدرت ذخیره‌سازی و محاسبه‌گری بالا جهت نیل به لبه سیستم بی‌سیم^۳ تداوم داشته و در حال توسعه است.

^۱ nternet of Things

^۲ cloud systems

^۳ wireless edge

دوم؛ جای هیچ گونه شگفتی نیست که ما تعداد دستگاه‌هایی را به قصد اتصال و ارتباط در مقیاس بزرگ از طریق اینترنت اشیاء به صورت سراسری می‌تواند مورد نیاز باشد. ۵G در این راستا نقش اساسی و سودمندی برای ایجاد و افزایش اطمینان جهت برقراری ارتباط بی‌شمار دستگاه با همه اختلاف در ویژگی‌های آن‌ها را دارد. در واقع طراحی‌های سیستم قبلی، قابلیت‌ها و توانایی‌های مورد نیاز اینترنت اشیاء را برآورده نمی‌کرد اما ۵G فرصتی است تا پاسخگوی این نیازها باشد.

سوم؛ - بسیار هیجان برانگیز - فناوری‌های تلفن همراه باید از اهمیت و جایگاه خاصی برخوردار باشد همان‌طور که بندبند عبارات نشان از اطمینان بالای سیستم است این پی‌ریزی اینترنت لمسی^۱، کنترل فرایند ساخت و تولید، کارایی و کاربرپذیری سیستم‌های حمل و نقل هوشمند با تمام فریبندگی برنامه‌های کاربردی فرعی که برای تحقق این واقعیت‌ها لازم بوده قابل ذکر است که تأخیرهای بسیار اندک ارتباط آنها به انتها^۲ امکان‌پذیر نیست مگر اینکه ما شاهد یک اصلاح و تغییر اساسی در واسطه‌های هوایی و معماری سیستم باشیم. همانند تحویل رسانه‌ها، طراحان مجبور هستند تا محاسبات و ذخیره‌سازی را به سمت کاربران هدایت و نزدیک سازند.

نقطه آغازین تمام رویکردها استانداردسازی دقیق فعالیت‌هایی که منجر به دستور کار توافقی در جلسه نوزدهم WRC برای IMT-۲۰۲۰ قرار گرفته است. این توافق موجب نظم و شکل‌دهی هماهنگ شده جهانی، ایجاد باندهای فرکانسی مشترک، استانداردهای جهانی مشترک، چارچوب مشترک برای الزامات و نیازها، توانایی‌ها و عملکردها گردید. گستردگی ۵G و ابتکارات مطرح شده در آن موجب جذب ایده‌های مختلفی در مورد ماهیت ۵G، دست‌یافتن به درک مشترک از مفهوم ۵G شد. هرچند ۳GPP از قبل بود و

^۱ Tactile Internet

^۲ end-to-end

می توانست نیازها و الزامات ارتباطات نوع ماشینی^۱ و تنوع و تفاوت در بین بخش های مختلف نیازهای اینترنت اشیاء در استانداردهای آینده را برآورده سازد.

در زمان نگارش این کتاب ما از اینکه ۵G به طور کامل مورد استفاده و استقبال عموم قرار بگیرد یا نه، دچار تردید هستیم اما همان طور که به تازگی یکی از مدیران عامل شرکت مشاهده کرده است این است که اینترنت اشیاء کاملاً به مرحله اجرا درآمده است، از این رو زمان مناسبی برای شروع بکار ۵G است.

حال این سؤال مطرح است که آیا آنچه را که تاکنون در زمینه فناوری تلفن همراه شاهد آن نبوده ایم را می توانیم در ۵G ببینیم؟ در این کتاب که توسط جمعی از استادان برجسته سیستم تلفن همراه طراحی و نوشته شده، تلاش شده است تا مسائل مربوط به این فناوری تا ۱۰ سال آینده در نظر گرفته و آن را پوشش دهد.

امیدواریم که همانند ما از خواندن این مطالب لذت ببرید!

Prof. Mischa Dohler
Centre for Telecom Research
Chair Professor, King's College London

Fellow and Distinguished Lecturer, IEEE
R&D Center

Board of Directors, Worldsensing

Editor-in-Chief, ETT and IoT

London, UK

Takehiro Nakamura Head,
VP and Managing Director
۵G Laboratory

NTT DOCOMO INC.

Yokosuka, Japa

^۱ machine-type communications

تقدیر و تشکر

تکیه گاه و نقطه اتکای این کتاب پروژه METIS اتحادیه اروپا است که سرمایه گذاری‌هایی را تحت عنوان برنامه چارچوب هفتم بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ انجام داده است. این سفر و یا دقیق‌تر جرقه نگارش این کتاب، زمانی زده شده که گروه کوچکی از مهندسين Alcatel-Lucent, Huawei Europe, Nokia Corporation and Nokia, Ericsson, Siemens Networks شروع به تأمل و تبادل اطلاعات در مورد آنچه می‌تواند پایه و اساس پروژه 5G با تأثیر جهانی باشد، تشکیل گردید. همکاری‌های این گروه سبب شکل‌گیری عملی شدن پروژه EU که بعدها توسط کمیسیون اتحادیه اروپا نیز پذیرفته شد (تحت عنوان هفتمین برنامه چارچوب) گردید. METIS شامل بیست و پنج شرکت و مؤسسه است که در ذیل از آن‌ها نام خواهیم برد به دلیل حمایت و پشتیبانی‌های خوبی که در تهیه و توسعه محتوای و اتمام این کتاب داشتند شایسته قدردانی می‌باشند شرکت‌هایی همچون:

Ericsson, Aalborg University, Aalto University, Alcatel-Lucent, Anite, BMW Group Research and Technology, Chalmers University of Technology, Deutsche Telekom, NTT DOCOMO, France Telecom-Orange, Fraunhofer-HHI, Huawei Technologies European Research Center, KTH – Royal Institute of Technology, National and Kapodistrian University of Athens, Nokia Corporation, Nokia Siemens Networks, University of Oulu, Poznan University of Technology, RWTH Aachen, Institut Mines- Télécom, Telecom Italia, Telefónica, University of Bremen, University of Kaiserslautern and Universitat Politècnica de València.

لازم به ذکر است نظرات بیان شده بیانگر نظرات نویسندگان بوده و لزوماً بیانگر و یا معرف METIS نمی باشد. کمیسیون اتحادیه اروپا در حمایت و پشتیبانی از این پروژه مصمم بوده و هیچ گونه تردیدی به خود نداشته است. لوئیز رودریگز - روسلو^۱ - اکنون بازنشسته شده است - جزء حامیان و مشوق های تأثیرگذار بودند. در طول عمر METIS، حمایت ها و تشویق های تأثیرگذار توسط افرادی همچون: برنارد بارانی^۲، ماریو کامپولارگو^۳، پرتی ژائیانن^۴ و فیلیپ لوفور^۵ صورت گرفت که در جای خود بسیار مؤثر بود. بارانی و لوفور با حضور و حمایت خود باعث تقویت و اثرگذاری قابل توجهی در ارائه METIS در 5G شدند. پرتی ژائیانن اف مسئول پروژه METIS به خاطر مشاوره بسیار مناسب ایشان در طول پروژه کمال تشکر و قدردانی رادارم. در بالاترین سطح کمیسیون اتحادیه اروپا به خصوص تنها بازار دیجیتال آن، اعضاء این کمیسیون پشتیبانی کم نظیری داشته و در افزایش سطح آگاهی در مورد فناوری های ارتباطات بی سیمی جهان آینده تأثیرگذار بودند. عمده مطالب این کتاب از چندین مقاله ارائه شده به METIS استخراج و یا بر مبنای آنها تهیه شده است.

از تمام همکارانی که ما را در تدوین و نگارش این کتاب یاری، حمایت و پشتیبانی نمودند تشکر و قدردانی می نمایم. نویسندگان این کتاب تعهد و فداکاری زیادی از خود نشان داده و اغلب وقت های آزاد و غیرکاری خود را به تهیه مطالب این کتاب اختصاص داده و جالب است اشاره کنیم که عصرها سرکار می رفتند و حتی آخر هفته های خود را نیز به این امر اختصاص دادند. آن ها ثابت کردند که از روحیه بالایی برخوردار بوده و سرمشق و نمونه بارزی از همکاری بدون وقفه و پیوسته از خود به نمایش گذاشتند. لازم است از تمام کسانی که مرور فصل های مختلف این کتاب را انجام داده و نظرات خود را اعلام کردند

^۱ Luis Rodriguez-Rosello

^۲ Bernard Barani

^۳ Mario Campolargo

^۴ Pertti Jauhainen

^۵ Philippe Lefebvre

قدردانی نماییم. ما به طور خاص مدیون دکتر کومار بالاچندران^۱ هستیم که مطالب چندین بخش از این کتاب را برعهده گرفته و مقدمه فصل و ویرایش‌های قابل توجهی ارائه نمودند. همچنین سپاسگزار آقایان دکتر عیسی آلونسو - زاراته، پروفیسور میشا دوهلر، دکتر کلاوس داپلر، صلاح‌الدین العیوبی، دکتر الفتریوس کارپیدیس، پراسکیلرمارک، استفانو سورنتینو، دکتر راپیات راتاسوک، دکتر استفان والتین، دکتر فرد ووک، دکتر گرهارد ووندر و پروفیسور جنس زندر^۲ هستیم. دکتر عسیران مفتخر است اذعان کند که سخاوت و همکاری دکتر مگنوس فرودی و میکائیل هوک از اریکسون^۳ که منابع مفیدی را برای تهیه این کتاب در اختیار ما قرار دادند. جا دارد از انتشارات دانشگاه کمبریج برای کمک به ما در نهایی کردن این کتاب تشکر نماییم.

و در پایان تشکر ویژه از:

- فصل ۱: از هوگو تالبرگ برای بررسی دقیق متن و ورود در امنیت. از میکائیل فالگرن و کاتسوتوشی کوسومه نیز به خاطر سهم خود در بخش‌های امور اقتصادی تشکر می‌شود.^۴
- فصل ۲: از همکاران در METIS که در سناریوهای ۵G، مفهوم سیستم و موارد قابل استفاده کمک کردند قدردانی می‌گردد.
- فصل ۳: از همکاران در گروه کاری ۶ در METIS و گروه کاری ۵ در iJOIN قدردانی نموده و نیز تشکر ویژه از یواخیم ساچس^۵ برای بررسی دقیق و نظرات مفید ایشان.

^۱ Dr. Kumar Balachandran

^۲ Dr. Jesus Alonso-Zarate, Prof. Mischa Dohler, Dr. Klaus Doppler, Salah-Eddine Elayoubi, Dr. Eleftherios Karipidis, Per Skillernmark, Stefano Sorrentino, Dr. Rapeepat Ratasuk, Dr. Stefan Valentin, Dr. Fred Vook, Dr. Gerhard Wunder and Prof. Jens Zander.

^۳ Dr. Magnus Frodigh and Mikael Höök of Ericsson

^۴ Hugo Tullberg Mikael Fallgren Katsutoshi Kusume

^۵ Joachim Sachs

- فصل ۴: از اریک استروم^۱ برای کمک و مشارکت در قابلیت اطمینان / اهداف تأخیر
- فصل ۵: از بایونگجین چو، ریکو جوننتی و میکوآ. اوزیتالو برای کمک‌هایشان در مبحث عملیات D2D چند اپراتور^۲
- فصل ۶: از یوهان آکسناس^۳ برای کمک‌هایشان در زمینه جابه‌جایی و یافتن پرتو.
- فصل ۷: از فرانک شایچ، هائولین، ژائو ژائو، آناس بنجبور، کلوین آو، یجیان چن، نینگ هه، ژاککو ویهریشلی، نونو پراتاس، سدومیر استفانوویچ، پتار پوپوسکی، یالی جی، آرمین دکورسی، میخائیل ایوانف، فردریک برونستروم و الکساندر گرال آما^۴.
- فصل ۸: از پائولو باراکا و لارس، اس. ساندستروم برای بررسی کامل فصل توسط ایشان.^۵
- فصل ۹: از آنتی تولی، ترو ایها لینن، مارتین کوراس و میکائیل استرناد برای مشارکت و همکاری همچنین از دنیس هوی برای بررسی دقیق و نظرات گران‌بهای وی.^۶
- فصل ۱۰: از هنینگ تامسن برای کمک در ارتباط بای سیم چند جریانی و سامین کیم و تمیستو کلیس چارالامبوس به‌خاطر مشارکت‌های ایشان مربوط به رله بافر^۷

^۱ Erik Ström

^۲ Byungjin Cho, Riku Jäntti Mikko A. Uusitalo

^۳ Johan Axnäs

^۴ Frank Schaich, Hao Lin, Zhao Zhao, Anass Benjebbour, Kelvin Au, Yejian Chen, Ning He, Jaakko Vihriälä, Nuno Pratas, Cedomir Stefanovic, Petar Popovski, Yalei Ji, Armin Dekorsy, Mikhail Ivanov, Fredrik Brännström, Alexandre Graell i Amat.

^۵ Paolo Baracca and Lars S. Sundström

^۶ Antti Tölli, Tero Ihalainen, Martin Kurras · Mikael Sternad Dennis Hui

^۷ Henning Thomsen Sumin Kim Themistoklis Charalambous

- فصل ۱۱: از پاتریک آگیاپونگ، دانیل کالابویگ، آرمین دکورسکی، یوزف آیشینگر، پیتر فرتل، اسماعیل گوونس، پتری لوندن، ژه رن، پاوله سروکا، ساوومیر استاچاک، یوتائو سوئی، ونکاتاسوبرامانیا و نکاتکومار، عثمان یلماز و چان ژو^۱
- فصل ۱۲: از همکاران خود سرگروه کاری ۵ در METIS.
- فصل ۱۳: از دیوید مارتین - ساکرستان^۲ برای بررسی کامل مدل‌سازی کانال این فصل همچنین از همه افرادی که در METIS مشارکت داشتند.
- فصل ۱۴: از همکاران METIS که در شبیه‌سازی فعالیت می‌کنند.

عفیف عسیران استکهلم سوئد

جوزاف مونسرات والنسیا، اسپانیا

پاتریک مارش وروتسلاو، لاستان

^۱ Patrick Agyapong, Daniel Calabuig, Armin Dekorsky, Josef Eichinger, Peter Fertl, Ismail Guvenc, Petteri Lundén, Zhe Ren, Paweł Sroka, Sławomir Stańczak, Yutao Sui, Venkatkumar Venkatasubramanian, Osman N. C. Yilmaz and Chan Zhou.

^۲ David Martín-Sacristán

کلمات اختصاری

Acronym	Definition
۳GPP	Third Generation Partnership Project
۴G	Fourth Generation
۵G	Fifth Generation
۵G-PPP	۵G Public Private Partnership
ABS	Almost Blank Subframe
ACK	Acknowledged Message
A/D	Analogue-to-Digital
ADC	Analogue-to-Digital Converter
ADWICS	Advanced Wireless Communications Study Committee
AEI	Availability Estimation and Indication
AF	Amplify-and-Forward
AI	Availability Indicator
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AN	Access Node
AoA	Angle of Arrival
AoD	Angle of Departure
AP	Access Point
API	Application Programming Interface

AR	Availability request
ARQ	Automatic Repeat Request
ASA	Azimuth Spread of Arrival
A-SAN	Assistant Serving Access Node
ASD	Azimuth Spread of Departure
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BB	Baseband
BER	Bit Error Rate
BF	Beamforming
BH	Backhaul
BLER	Block Error Rate
BP	Break Point
BS	Base Station
BW	Bandwidth
CA	Carrier Aggregation
CapEx	Capital Expenditure
CB	Coordinated Beamforming
CC	Channel Component
CDD	Cyclic Delay Diversity
CDF	Cumulative Distribution Function
CDMA	Code Division Multiple Access
CDPD	Cellular Digital Packet Data
CDR	Coordinated Direct and Relay Transmission
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CH	Cluster Head
Cloud-RAN	Cloud Radio Access Network
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor

cmW	centimeter Wave
CN	Core Network
CNE	Core Network Element
CoMP	Coordinated Multi-Point
CP	Cyclic Prefix
CPE	Common Phase Error
C-Plane	Control Plane
CPRI	Common Public Radio Interface
CPS	Cyber-Physical Systems
C-RAN	Centralized Radio Access Network
CRS	Common Reference Signal
CS	Coordinated Scheduler
CSI	Channel State Information
CSIT	Channel State Information at Transmitter
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CS-MUD	Compressed Sensing Based Multi-User Detection
CTS	Clear to Send
CU	Central Unit
CWIC	CodeWord level Interference Cancellation
D2D	Device-to-Device
DAC	Digital to Analog Conversion
dB	Decibel
DBSCAN	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise
DCS	Dynamic Channel Selection
DEC	Decoder
Demod.	Demodulation
DER	Distributed Energy Resources

DET	Detection
DF	Decode-and-Forward
DFS	Dynamic Frequency Selection
DFT	Discrete Fourier Transform
DFTS-OFDM	Discrete Fourier Transform Spread OFDM
DID	Device-Infrastructure-Device
Div	Diversity
DL	Downlink
DMRS	Demodulation Reference Signal
DoA	Direction of Arrival
DoD	Direction of Departure
DoF	Degrees of Freedom
DPB	Dynamic Point Blanking
DPS	Dynamic Point Selection
DR	Decode-and-Reencode
D-RAN	Distributed Radio Access Network
DRX	Discontinuous reception
DyRAN	Dynamic Radio Access Network
E2E	End-to-End
EC	European Commission
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGF	Enhanced Gaussian Function
eICIC	enhanced Inter Cell Interference Cancellation
EM	Eigenmode
EMF	Electromagnetic Field
eNB	enhanced NodeB
ENOB	Effective Number of Bits
EPA	Extended Pedestrian A

EPC	Evolved Packet Core
E-PDCCH	Enhanced PDCCH
ESA	Elevation Spread of Arrival
ESD	Elevation Spread of Departure
ESE	Elementary Signal Estimator
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
ETU	Extended Typical Urban
EVA	Extended Vehicular A
EVM	Error Vector Magnitude
FBC	First bounce cluster
FBCP	Fixed BF and CSI-Based Precoding
FBMC	Filter-Bank Multi-Carrier
FCC	Federal Communications Commission
FD	Full duplex
FDD	Frequency Division Duplexing
FDM	Frequency Division Multiplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FinFET	Fin-Shaped Field Effect Transistor
FoM	Figure-of-Merit
FPV	Seventh Framework Programme
FRN	Fixed Relay Node
FWR	Four-Way Relaying
GaAs	Gallium Arsenide
GaN	Gallium Nitride
GHz	Giga Hertz
GLDB	Geolocation Database

GoB	Grid of Beams
GP	Guard Period
GPRS	General Packet Radio Service
GSCM	Geometry-Based Stochastic Channel Model
GSM	Global System for Mobile communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HBF	Hybrid Beamforming
HD	Half Duplex
HetNet	Heterogeneous networks
HO	Handover
HPBW	Half Power Beam Width
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSM	Horizontal Spectrum Manager
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTC	Human-Type Communication
i.i.d. or iid	independently and identically distributed
I _{VI}	Indoor to Indoor
IA	Interference Alignment
IBC	Interfering Broadcast Channel
IC	Interference Cancellation
ICI	Inter-Cell Interference
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
ICT	Information and Communications Technologies
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform

IDMA	Interleave Division Multiple Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMF-A	Interference Management Framework from Artist4G
IMT	International Mobile Telecommunications
IMT-۲۰۰۰	International Mobile Telecommunications ۲۰۰۰
IMT-A	International Mobile Telecommunications-Advanced
InH	Indoor Hotspot
InP	Indium Phosphide
IoT	Internet of Things
IR	Impulse Response
IRC	Interference Rejection Combining
IS	Interference Suppression
ISA	International Society for Automation
ISD	Inter-Site Distance
IT	Information Technology
ITS	Intelligent Transport Systems
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R ITU	International Telecommunications Union – Radiocommunication Sector
ITU-T ITU	International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector
JSDM ITU	Joint Spatial Division Multiplexing
JT ITU	Joint Transmission
KPI ITU	Key Performance Indicator
LA ITU	Link Adaptation
LAA ITU	Licensed-Assisted Access

LBC ITU	Last-Bounce Cluster
LBS ITU	Last-Bounce Scatterer
LDPC ITU	Low Density Parity Check
LO ITU	Local Oscillator
LOS ITU	Line of Sight
LR-WPAN ITU	Low-Rate Wireless Personal Area Networks
LaS ITU	Large Scale
LS ITU	Least Square
LSA ITU	Licensed Shared Access
LSCP ITU	Lean System Control Plane
LSP	Large Scale Parameters
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution-Advanced
LTE-U	Long Term Evolution-Unlicensed
M2M	Machine to Machine
MAC	Medium Access Control
MAP	Maximum A Posteriori
MBB	Mobile Broadband
MCS	Modulation and Coding Scheme
MET	Multiuser Eigenmode Transmission
METIS	Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty
(۲۰۲۰)	Information Society
MF	Matched Filter
MH	Multi-Hop
xxvi	Acronyms
MHz	Mega Hertz

MIIT	Ministry of Industry and Information Technology
MIMO	Multiple Input Multiple Output
ML	Maximum Likelihood
MME	Mobility Management Entity
MMSE	Minimum Mean Square Error
mMTC	massive Machine-Type Communication
mmW	millimeter Wave
MN	Moving Networks
MNO	Mobile Network Operator
MODS	Multi-Operator D2D Server
MOST	Ministry of Science and Technology
MPA	Message Passing Algorithm
MPC	Multipath Components
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MRC	Maximal Ratio Combining
MRN	Moving Relay Node
MRT	Maximum Ratio Transmission
MoS	Mode Selection
MS	Mobile Station
MTC	Machine-Type Communication
MU	Multi User
MU	MIMO Multi User MIMO
MUI	Multi User Interference
MUICIA	Multi User Inter Cell Interference Alignment
MU-MIMO	Multi User MIMO
MU-SCMA	Multi User SCMA
MUX	MultipleXing
NA	Network Assistance n.a. not applicable

NAIC	Network Assisted Interference Cancellation
NA-TDMA	North American TDMA
NDRC	National Development and Reform Commission
NE	Network Element
NF	Network Function
NFV	Network Function Virtualization
NFVI	Network Function Virtualization Infrastructure
NGMN	Next Generation Mobile Networks
NLOS	Non-Line of Sight
NMSE	Normalized Mean Square Error
NMT	Nordic Mobile Telephone
NN	Nomadic Nodes
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
NRA	National Regulatory Authorities
NSPS	National Security and Public Safety
O۲I	Outdoor-to-Indoor
O۲O	Outdoor-to-Outdoor
Ofcom	Office of communications
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OL	Open Loop
OLOS	Obstructed Line of Sight
OLPC	Open Loop Path Loss Compensating
OMD	OFDM Modulation/Demodulation
OP	CoMP OPportunistic CoMP
OPEX	Operational Expenditures
OPI	Overall Performance Indicator

OQAM	Offset QAM
ORI	Open Radio Equipment Interface
P2P	Peer to Peer
PAPC	Per Antenna Power Constraint
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PAS	Power Angular Spectrum
PC	Power Control
PCC	Phantom Cell Concept
PDC	Personal Digital Cellular
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCCP	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PER	Packet Error Rate
P-GW	Packet data network Gateway
PHY	PHYSical layer
PiC	Pilot Contamination
PLC	Programmable Logic Controller
PLL	Phase Locked Loop
PMU	Phasor Measurement Unit
PN	Phase Noise
PNL	Power Normalization Loss
PPC	Pilot Power Control
PPDR	Public Protection and Disaster Relief
PRACH	Physical Random Access Channel
PRB	Physical Resource Block
ProSe	Proximity Service
P/S	Parallel to Serial
P-SAN	Principal Serving Access Node

PSD	Power Spectral Density
PSM	Power Saving Mode
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RA	Random Access
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Resource Block
Rel	Release
ReA	Resource Allocation
RF	Radio Frequency
RLC	Radio Link Control
RLS	Recursive Least Squares
RMT	Random Matrix Theory
RN	Relay Node
RNE	Radio Network Element
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RS	Relay Station
RSRP	Reference Signal Received Power
RTL	Reliable Transmission Link
RTS	Request to Send
RTT	Round Trip Time
Rx	Receiver

SA	Service and System Aspects
SBC	Single Bounce Cluster
SC	Single Carrier
SCM	Spatial Channel Model
SCMA	Sparse Code Multiple Access
SCME	Spatial Channel Model Extended
SDF	Spatial Degrees of Freedom
SDN	Software Defined Networking
SE	Switching Element
SFBC	Space Frequency Block Coding
S-GW	Serving Gateway
SIC	Successive Interference Cancellation
SiGe	Silicon Germanium
SIMO	Single Input Multiple Output
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SIR	Signal to Interference Ratio
SLIC	Symbol Level Interference Cancellation
SLNR	Signal to Leakage Interference plus Noise Ratio
SM	Spatial Multiplexing
SMEs	Small and Medium-sized Enterprises
SMS	Short Message Service
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SoA	State of the Art
SOCP	Second Order Cone Programming
S/P	Serial to Parallel
SS	Small Scale
SU-MIMO	Single User MIMO
SUS	Semi-orthogonal User Selection

SvC	Serving Cluster
SVD	Singular Value Decomposition
TACS	Total Access Communications System
TAU	Tracking Area Update
TCP	Transmission Control Protocol
TD-CDMA	Time Division CDMA
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TeC	Technology Component
TTI	Transmission Time Interval
TV	Television
TVWS	TV White Space
TWR	Two-Way Relaying
Tx	Transmitter
UDN	Ultra-Dense Network
UE	User Equipment
UFMC	Universal Filtered Multi-Carrier
UF-OFDM	Universal Filtered OFDM
UL	Uplink
ULA	Uniform Linear Array
UM	Utility Maximizing
UMa	Urban Macro
UMi	Urban Micro
uMTC	ultra-reliable Machine-Type Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UPA	Uniform Planar Array
U-Plane	User Plane

UTD	Uniform Theory of Diffraction
V2D	Vehicle-to-Device
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2P	Vehicle-to-Pedestrian
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Anything
VCO	Voltage Controlled Oscillator
VM	Virtual Machine
VNF	Virtual Network Function
VPL	Vehicular Penetration Loss
VU	Vehicular User
w/	with
w/o	without
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WEW	Wireless-Emulated Wired
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WMMSE	Weighted MMSE
WNC	Wireless Network Coding
WRC	World Radio Conference
WS	Workshop
WSR	Weighted Sum Rate
WUS	Without User Selection
xMBB	extreme Mobile BroadBand
XO	Crystal Oscillator
XPR	Cross-Polarization Ratio
ZF	Zero Forcing

مقدمه

پیشینه تاریخی

بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات^۱ (ICT) در قرن بیست و یکم از ادغام دو بخش عمده صنعت که مربوط به قرن گذشته است یعنی صنعت ارتباطات و صنعت محاسباتی ظهور کرد. این کتاب باهدف بیان روند حرکت ارتباطات سیار (تلفن همراه) به سمت نسل پنجم شبکه تلفن سیار تهیه و طراحی شده است.

این فناوری‌ها امکان تحکیم و تقویت ارائه خدمات، توزیع محتوای متنی، ارتباطات و محاسبات در یک محیط توزیع شده مجتمع را جهت برقراری ارتباط و اتصال بین پردازش، ذخیره‌سازی، دانش و هوش را فراهم می‌آورد. این ادغام و درهم آمیختگی به‌منظور کم‌رنگ کردن و یا بهتر است بگوییم محو کردن و از بین بردن تقابل و برخورد محاسبات و ذخیره‌سازی در زیرساخت‌های ارتباطی، توزیع کنترل فرایندها از طریق اینترنت و توابع ارتباطی به محیط‌های ابر^۲ متمرکز می‌باشند.

^۱ Information and Communications Technology
^۲ cloud



شکل ۱.۱ چهار مرحله انقلاب صنعتی.

تحول صنعت و فناوری: از موتورهای بخار تا اینترنت

فناوری اطلاعات و ارتباطات ثمره و حاصل ادغام و ترکیب ارتباطات (مخابرات) راه دور و اینترنت به صورت طبیعی است و اداره و فرمان هدایت مسیر حرکت این فناوری برعهده خدمات ارتباطی و اینترنتی است.

جامعه بشری در حال گذر از فاز یک انقلاب و تحول فناوری که با بلوغ بخش فناوری اطلاعات و توسعه ارتباطات الکترونیکی مدرن که از دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ آغاز شده است و تاکنون نیز ادامه دارد و به ترتیب با توسعه نیمه‌هادی‌ها^۱ و مدارهای مجتمع^۲ و نیز استفاده گسترده از دستگاه‌های ارتباطی به سمت تلفن همراه و تأثیرات فوق‌العاده اقتصادی، فرهنگی و فناوری برای جامعه شده و سبب تغییرات بیشتر و عمیق شبکه و ارتباط در نحوه تأمین و توزیع خدمات ارتباطی و اطلاعاتی می‌گردد.

مرز بعدی در بلوغ بخش ICT ایجاد یک چارچوب غیرقابل تشخیص برای ارائه خدمات در انواع فرایندها و سناریوها، تغییرات زیاد دامنه تقاضا را دارد از جمله بارگذاری اطلاعات و فایل‌های رسانه‌ای در / از اینترنت شامل اینترنت اشیاء و یا اینترنت تمام چیزها^۳ به رویه

^۱ semiconductors

^۲ integrated circuit

^۳ Internet of every thing

اتصال و ارائه امنیت و تحرک و سیار بودن به عنوان ویژگی و پارامتر قابل تنظیم و کنترل برای هر سناریوی ارتباطی عمل می کند که برخی از آن به عنوان مرحله و گام چهارم تحول و انقلاب صنعتی نام می برند. چهار مرحله انقلاب و تحول صنعتی در شکل ۱.۱ نشان داده شده است.

در اولین مرحله از تحول صنعتی (تقریباً ۱۸۴۰-۱۷۶۰) در انگلیس با ارائه و معرفی دستگاه‌های بافندگی و موتور بخار آغاز شد در نتیجه کشاورزی و اقتصاد وابسته با آن با به کارگیری ماشین آلات دچار تحول صنعتی سریع گردید.

مرحله دوم تحول صنعتی (تقریباً ۱۹۱۴-۱۸۴۰) با ارائه فرایند فولاد Bessemer و کارخانه تولید برق به اوج خود رسید. با تولید انبوه برق و ایجاد خط‌های تولید صنعتی بخصوص ایجاد کارخانه‌های خودروسازی (نمونه بارز آن کارخانه خودرو فورد) به اوج خود رسید.

مرحله سوم انقلاب صنعتی (تقریباً از دهه ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۰) اتفاق افتاد. ضمن ارج نهادن به فناوری اطلاعات و الکترونیک و تأثیر غیرقابل چشم‌پوشی آن در این تحول از سوی دیگر با ارائه کنترل کننده‌های منطقی قابل برنامه‌ریزی (PLCs)^۱ امکان ایجاد خودکارسازی در روند تولید و خط تولید و افزایش بهره‌وری را فراهم کرد.

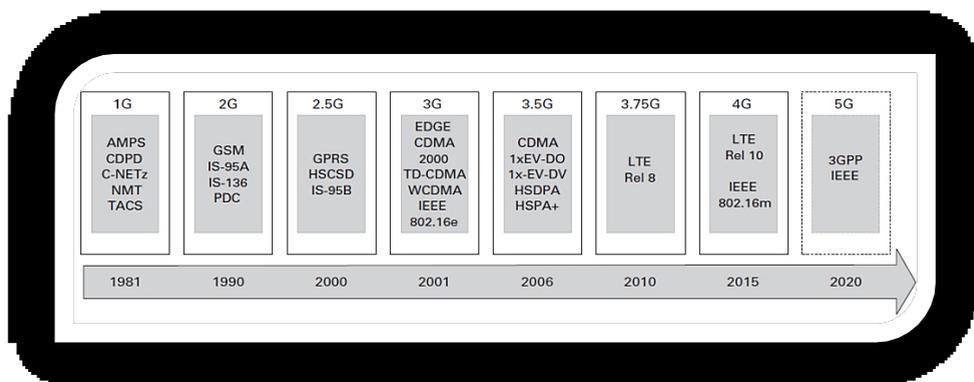
مرحله چهارم تحول صنعتی در مقایسه با مراحل دیگر از جهت سرعت پیشرفت و تحول، به دلیل بهره‌مندی از ارتباطات بی‌سیم در برقراری ارتباط بین تجهیزات، ماشین‌آلات و اشیاء خودکارسازی صنعتی جهش بزرگی را ایجاد نمود.

پیش‌بینی می‌شود نسل پنجم ارتباطات سیار (۵G) در راستای این تحول و سرعت بخشیدن به آن بتواند با تسلط بر این فناوری و به کارگیری ارتباط بین اشیاء از طریق ارتباط بی‌سیم دنیای جدیدی را برای بشر رقم زند.

^۱ Programmable Logic Controllers

به طور خاص نسل پنجم ارتباطات (۵G) دارای ویژگی های زیر است:

- استاندارد برای پیوستگی اتصال بین افراد و اشیاء،
- اتصال ماشینی گسترده و مهم،
- باندهای طیفی جدید و سازمان های نظارتی،
- جابه جایی و امنیت به عنوان عملکردهای شبکه،
- یکپارچه سازی توزیع محتوا از طریق اینترنت،
- پردازش و ذخیره سازی در لبه شبکه، و
- تعریف نرم افزاری شبکه سازی و مجازی سازی عملیات شبکه،



شکل ۱.۲ تکامل استانداردهای سلولی.

نسل های ارتباطات سیار: از 1G تا 4G

شکل ۱.۲ در یک نگاه گذرا از نظر ترتیب پیدایش نسل های سیستم رادیویی سلولی را از زمان شکل گیری نسل اول در دهه ۱۹۷۰ (اولین نسل 1G) تا دهه ۲۰۲۰ (پنجمین نسل، 5G) را نمایش می دهد. همان طور که در شکل نشان داده شده است گام های اصلی تکامل سیستم های سیار (تلفن همراه) سلولی آورده شده است که در ادامه به آن ها می پردازیم.

اولین سیستم‌های ارتباطی سیار تجاری آنالوگ در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ - اگرچه بانفوذ کم - به وجود آمدند. سال ۱۹۸۱ پیدایش اولین نسل تلفن‌های همراه تجاری و به دنبال آن اولین استانداردهای مربوط به شبکه تلفن سیار سلولی تحت عنوان استاندارد (NMT)^۱ در کشورهای شمال اروپا و C-Netz ; آلمان، پرتغال و آفریقای جنوبی و سیستم ارتباطات دسترسی کامل (TACS)^۲ در انگلستان و سیستم پیشرفته تلفن همراه (AMPS)^۳ در قاره آمریکا شکل گرفت. قابل ذکر است که استانداردهای ۱G از استاندارد آنالوگ؛ معمولاً سیگنال‌هایی با فرکانس رادیویی مدوله شده با یک کانال سیگنالینگ دیجیتال استفاده می‌کرد. کنفرانس اروپایی دولت‌های پستی و مخابراتی (CEPT)^۴ در سال ۱۹۸۲ تصمیم به توسعه یک سیستم ارتباطی تلفن همراه ۲G پان اروپایی^۵ گرفت. این نقطه شروع سیستم جهانی ارتباطات سیار (GSM)^۶ بود استاندارد ۲G غالباً از سال ۱۹۹۱ در سطح بین‌المللی به کار گرفته شد.

۲G با استفاده از انتقال دیجیتال و فن آوری سوئیچینگ مشخص شد. ارتباطات دیجیتال باعث بهبود قابل توجه کیفیت صدا شد و ظرفیت شبکه و در قالب خدمات تکمیلی و برنامه‌های پیشرفته مانند سرویس پیام کوتاه (SMS) برای ذخیره‌سازی و ارسال اطلاعات متنی رشد یافت. هدف اصلی و اولیه شبکه GSM یا همان شبکه نسل دوم ارتباطات سیار، ایجاد یک شبکه تلفنی صوتی دیجیتالی مشترک بر پایه انتقال صدا با امکان بهره‌مندی از رومینگ در سراسر اروپا بود. شبکه GSM برخلاف شبکه نسل اول که فقط بر پایه FDMA^۷ طراحی شده است بر اساس ترکیب دو روش تقسیم زمانی چندگانه^۱ / (TDMA) فرکانس دسترسی چندگانه (FDMA) کار می‌کند^[۳].

^۱ Nordic Mobile Telephone

^۲ Total Access Communications System

^۳ Advanced Mobile Phone System

^۴ European Conference of Postal and Telecommunications Administrations

^۵ pan-European

^۶ Global System for Mobile communications

^۷ Frequency Division Multiple Access

هم‌زمان با GSM و به موازات آن، سایر سیستم‌های دیجیتالی ۲G در سراسر جهان با یکدیگر در حال رقابت بوده و برای خود استانداردهایی وضع نمودند از دیگر استانداردهای اصلی سیستم ۲G می‌توان به این نمونه‌ها اشاره کرد: (۱) TIA / EIA-۱۳۶ (۲) استاندارد TDMA NA-TDMA آمریکای شمالی نیز معروف است، (۳) استاندارد TIA/EIA IS-۹۵A، TDMA (NA-TDMA) معروف به استاندارد (CDMAOne) [۴] ، (۳) Personal Digital Cellular (PDC) که منحصراً در کشور ژاپن استفاده می‌شود، شبکه نسل دوم GSM با ارائه سرویس‌های داده‌ای packet-switched تکامل یافته و به نسل ۲.۵G معروف گردید. در واقع استانداردهای اصلی که ۲.۵G از آن پیروی می‌کند به ترتیب زیر می‌باشد:

خدمات رادیویی بسته‌های عمومی (GPRS) و TIA / EIA-۹۵۱ ، به ترتیب توسعه و تعمیم GSM و TIA / EIA IS-۹۵A بودند.

به‌زودی GSM توانست با طی مراحل تکامل و پیشرفت به GSM نوع ارتقاء یافته نرخ داده برای تکامل جهانی (EDGE) دست یابد و بسته داده‌ای وابسته به مؤلفه‌های خدمات رادیویی بسته عمومی ارتقاء یافته (EGPRS) که به‌طور عمده با افزودن طرح‌های کد گذاری و مدولاسیون‌های مرتبه بالاتر باعث ارتقاء شبکه GSM گردید. GSM/EDGE اکنون نیز در حال تکامل و پیشرفت بوده و با استفاده از استاندارد ۳GPP با پهنای باند گسترده و تراکم و تجمع حامل‌هایی در محیط یا واسطه‌های انتقال است.

اندکی پس از عملیاتی شدن شبکه GSM مجریان صنعت مخابرات به فکر توسعه آن برآمده و درصدد ارتقاء و تحول آن تحت عنوان نسل بعدی شبکه ارتباطات سیار (بی‌سیم) شدند و هم‌زمان و به موازات آن اتحادیه بین‌المللی ارتباطات راه دور اروپا (ITU-R) الزامات لازم را برای سیستم‌هایی که واجد شرایط طبقه‌بندی ارتباطات سیار بین‌المللی ۲۰۰۰ (IMT-۲۰۰۰) بود را ایجاد کرد.

^۱ Time Division Multiple Access

در ژانویه ۱۹۹۸، CDMA دو نوع دسترسی چندگانه تقسیم کد باند گسترده (WCDMA)^۱ و تقسیم زمانی CDMA یا (TD-CDMA) توسط مؤسسه استاندارد ارتباطات از راه دور اروپا (ETSI) به عنوان یک سیستم جهانی ارتباط از راه دور تلفن همراه (UMTS) تصویب شد. UMTS اصلی ترین سیستم ارتباطی ۳G تلفن همراه که یکی از اولین سیستم های تلفن همراه واجد شرایط ۲۰۰۰-IMT بود. برای تأمین نیازهای IMT-۲۰۰۰ در بخش واسطه های انتقال شش نوع واسطه رادیویی ارائه شد که شامل سه فناوری مبتنی بر CDMA، نسخه ای از GSM / EDGE معروف به UWC-۱۳۶۲ و دو فناوری مبتنی بر OFDMA بود [۵]. در چارچوب پروژه مشارکت نسل سوم (۳GPP)^۲ که مشخصات جدیدی به شبکه قبلی افزوده و تحت عنوان شبکه تکامل یافته نسل سوم یا بهتر است بگوییم شبکه ۳.۵G به وجود آمد که در شکل ۱.۲ شرح داده شده است. برای این تکامل، دو رویکرد شبکه دسترسی رادیویی^۳ (RAN) و بخش هسته شبکه پیشنهاد شد.

اولین RAN بر اساس مراحل تکامل ۲۰۰۰ CDMA با دربرداشتن ۳GPP^۲ که خود نیز شامل ۱xEV-DO و ۱xEV-DV بود شکل گرفت. دومین RAN شامل دسترسی سریع بسته (HSPA)^۴ بود در واقع HSPA با افزودن HSDPA به نسخه پنجم ۳GPP و HSUPA به نسخه ششم ۳GPP به وجود آمد. هر دو نرخ های بیت داده بسته مسیر دریافت^۵ را به ۱۴.۶ مگابیت بر ثانیه افزایش و نیز نرخ های بیت داده بسته مسیر ارسال^۶ را به ۵.۷۶ مگابیت بر ثانیه رسانده و برای دست یافتن به نرخ بیت های بالاتر به سرعت تکامل یافته و برای این منظور روش MIMO ارائه گردید.

^۱ Wideband Code Division Multiple Access

^۲ ۳rd Generation Partnership Project

^۳ Radio Access Network

^۴ High Speed Packet Access

^۵ downlink

^۶ Uplink

همان طور که اشاره شد HSP بر اساس WCDMA پایه گذاری و کاملاً سازگار با WCDMA بود. از زمان شکل گیری CDMA 1xEV-DO در سال ۲۰۰۳، HSPA و CDMA 1xEV-D در سال ۲۰۰۶ شروع به ارائه خدمات کرد. فلسفه تمام استانداردهای ۳GPP ضمن تلاش برای ارتقاء و افزودن ویژگی های جدید، حفظ و پشتیبانی نسخه های قبلی است. نمونه بارز این موضوع تحول و ارتقاء HSPA به HSPA+ است که ضمن اجتماع حامل ها برای دستیابی به بالاترین نرخ بیت از نسخه های موجود در بازار نیز پشتیبانی می کند.

دومین مرحله از تحول و تکامل UMTS به نام تجاری نسل چهارم یا 4G ارائه گردید تکامل بلندمدت (LTE)^۱ نیز نامیده شد از یک واسطه هوایی دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد (OFDMA)^۲ با برخورداری از معماری جدید و هسته جدید شبکه (CN) بنام معماری سیستم تکامل یافته/است بسته تکامل یافته (SAE/EPC)^۳ استفاده می کند. LTE با UMTS و سیستم های قبلی و نیز سیستم های مورد انتظار از قبیل سیستم UMTS با طیف فرکانسی بالا که در سال ۲۰۰۷ توسط کنفرانس جهانی رادیو (WRC)^۴ در نظر گرفته شد، سازگار نبود. همچنین این استانداردها با مؤلفه حامل های فرکانسی طراحی شده که قابلیت انعطاف پذیری در تنظیم و پشتیبانی حامل ها از فرکانس ۱.۴ مگاهرتز تا ۲۰ مگاهرتز شد.

طراحی استاندارد LTE به گونه ای بود که بتواند پیشرفت چشمگیری در ایجاد و افزایش ظرفیت شبکه را ضمن گذر یا دوری از عمل گرایی سوئیچ - مداری و کاهش عمده ای در هزینه ها نسبت به نسل های قبلی داشته باشد. اولین LTE در اواخر سال ۲۰۰۷ با ترکیبی از خصوصیات و ویژگی های ۳GPP تحت عنوان LTE نسخه ۸ ایجاد گردید. بالاترین نرخ داده تقریباً ۳۲۶ مگابیت بر ثانیه، افزایش بهره وری طیفی به طور قابل توجه، کم کردن زمان

^۱ Long Term Evolution

^۲ Orthogonal Frequency Division Multiple Access

^۳ System Architecture Evolution/Evolved Packet Core

^۴ World Radio Conference

تأخیر (کمتر از ۲۰ms) در مقایسه با سیستم‌های قبلی از دستاوردهای آن بود. ضمناً ITUR به صورت هم‌زمان در حال توسعه الزامات IMT پیشرفته برای جایگزین کردن ۲۰۰۰-IMT و به طور اسمی تعریفی برای نسل چهارم بود نسخه هشتم LTE پاسخگوی نیازهای IMT پیشرفته نبود از این رو این سیستم در ابتدا پیش‌نیاز و پیش‌درآمد فناوری نسل چهارم محسوب گردید اگرچه این استراتژی بعدها تغییر یافت و در نظر عموم مردم، LTE رواج پیدا کرد و به این ترتیب LTE به عنوان نسل چهارم فناوری ارتباطات سیار پذیرفته و نسخه دهم آن تحت استاندارد ۸۰۲.۱۶m IEEE تعیین گردید. (توسعه یافته WiMAX) از نظر فنی اولین واسطه‌های هوایی تولیدشده برای اجرای نیازهای IMT پیشرفته بود WiMAX علی‌رغم اینکه از فناوری ۴G تأییدشده برخوردار بود اما در این زمینه با دشواری‌های بسیاری مواجه بود تا اینکه به لطف و مدد LTE مقبولیت پیدا کرد و پا در جای پای آن گذاشت.

به این ترتیب با اضافه شدن چند ویژگی و قابلیت فنی در نسخه هشتم LTE مانند MIMO مرتبه بالا و تجمع حامل‌هایی که ظرفیت و توان انتشار را افزایش داده و نسخه ده LTE نمایان شد. تجمع حامل‌ها به بیش از ۱۰۰ MHz مربوط به کل پهنای باند تا بیشترین نرخ بیت تا سقف ۳ Gbps در مسیر دریافتی و ۱.۵ Gbps در مسیر ارسالی. پیکربندی و ترکیب‌بندی‌های مرتبه بالاتر MIMO تا ۸*۸ در مسیر دریافتی و ۴*۴ در مسیر ارسالی نیز در بهبود عملکرد نقش دارند.

استانداردسازی ۳GPP برای LTE (یعنی نسخه ۱۱ تا نسخه ۱۲) همچنان ادامه دارد و در این راستا نسخه ۱۳ ارائه شده و پیدایش نسخه‌های بعدی دور از انتظار نیست. نسخه ۱۱ مربوط به LTE پالوده برخی از قابلیت‌های نسخه ۱۰ است از جمله این قابلیت‌ها می‌توان به افزایش تجمع حامل‌ها، توانمندسازی رله‌ای و حذف تداخل فرکانسی اشاره کرد. نسخه دوازدهم LTE که در مارس ۲۰۱۵ منعقد شد چندین ویژگی برای بهبود پشتیبانی از شبکه‌های ناهمگن حتی مرتبه‌های بالاتر MIMO و تجمع حامل‌های بین FDD و TDD را فراهم نمود

وباندهای فرکانسی جدیدی اضافه گردید و استفاده از ارسال و دریافت چند نقطه‌ای هماهنگ^۱ (CoMP) تعریف شد. نسخه دوازدهم LTE که در مارس ۲۰۱۵ منعقد شد، چندین ویژگی را برای بهبود پشتیبانی از شبکه‌های ناهمگن، حتی MIMO مرتبه بالاتر، و تجمع بین حامل‌های تقسیم فرکانسی دوطرفه^۲ (FDD) و حامل‌های تقسیم زمانی دوطرفه^۳ (TDD) اضافه کرده است. چندین ویژگی برای بارگیری مجدد شبکه‌های اصلی و هسته نیز تعریف شده است.

افزون بر آن چندین ویژگی دیگر برای بارگیری بک هال و تعریف هسته شبکه علاوه بر این در نسخه‌های ۱۲ و ۱۳ مربوط به LTE راه‌حل‌های جدیدی تحت عنوان LTE M و باند باریک اینترنت اشیا (NB-IoT)^۴ به منظور پشتیبانی ارتباط نوع ماشینی همه‌جانبه^۵ (MTC) مانند حسگرها و محرک‌ها ارائه گردید این راه‌حل‌ها افزایش گسترده پوشش، افزایش طول عمر باطری و کاهش هزینه را در برمی‌گرفت. در نسخه ۱۳ همچنین اهداف نرخ داده پهنای باند مورد استفاده حامل‌های تجمع شده به بیش از ۳۲ حامل توسعه یافت.

بازار جهانی شبکه تلفن سیار (همراه) سلولی حدود ۷.۴۹ میلیارد است (بر اساس آمار در میانه سال ۲۰۱۵) که توسط خانواده شبکه‌های GSM/EDGE از قبیل EGPRS جهت قابلیت اتصال داده‌ای که به صورت عمده توسط شبکه دسترسی رادیویی استفاده می‌گردد سهم GSM از این بازار مشترک جهانی حدود ۵۷٪ یعنی حدود ۴.۲۶ میلیارد مشترک است که بیشترین مشترک را به خود اختصاص داده اما در حال حاضر در حال زوال و از دست دادن مشترکین خود است. از طرف دیگر مشترکین شبکه ۳G که شامل HSPA است از سال ۲۰۱۰ رو به افزایش بوده و به ۱.۹۴ میلیارد مشترک رسیده است که ۲۶٪ از سهم بازار جهانی را به خود اختصاص داده است. پروژه گزارش جابه‌جایی اریکسون نشان

^۱ coordinated multipoint transmission and reception

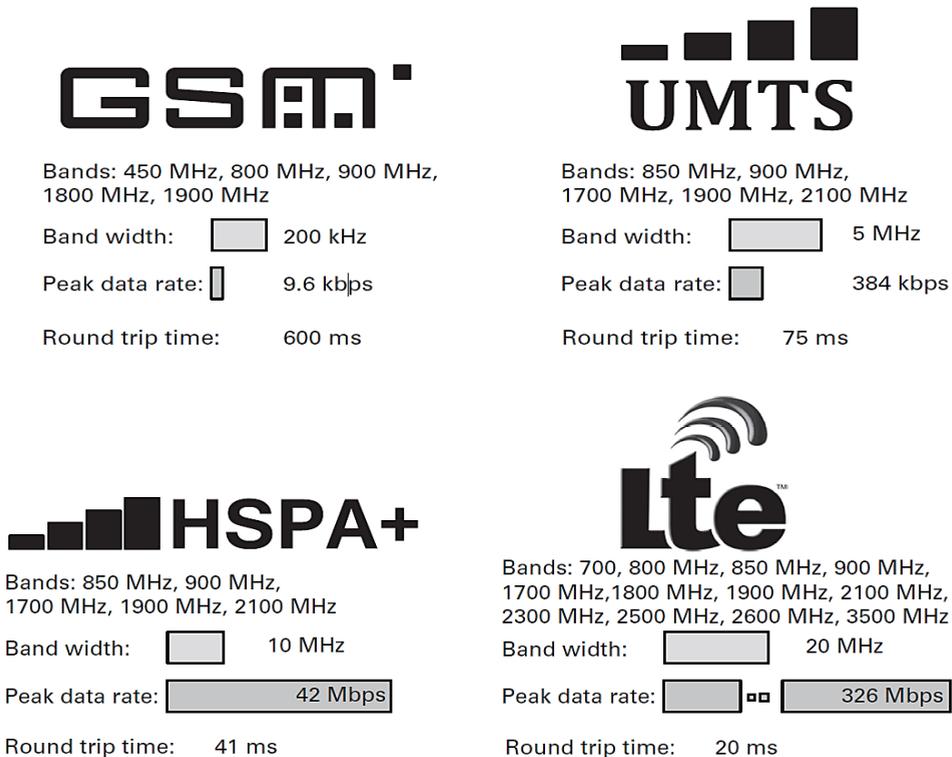
^۲ Frequency Division Duplexing

^۳ Time Division Duplexing

^۴ Narrow-Band IoT

^۵ massive Machine Type Communication

می‌دهد که تعداد مشترکین WCDMA/HSPA تا سال ۲۰۲۰ رو به افزایش خواهد بود و پس از آن نقطه به بعد کاهش خواهد یافت. عمده استاندارد ۴G، LTE، تعداد مشترکین را ۹۱۰ میلیون (۱۲٪ کل بازار) را به خود اختصاص داده و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۱ به ۴.۱ میلیارد برسد. از این رو فناوری ۴G به بزرگ‌ترین فناوری تلفن همراه تبدیل خواهد شد. شکل ۱.۳ مشخصات اصلی استانداردهای ۳GPP موجود در بازار را نشان می‌دهد که تمایل فناوری به استفاده گسترده از طیف، پهنای باند بالاتر، بازده طیفی بالاتر و تأخیر کمتر را جزء اولویت‌ها و برنامه‌های خود قرار داده است.



شکل ۱.۳ مشخصات اصلی استانداردهای ۳GPP/ETSI.

۱.۱.۳ از پهنای باند موبایل تا نهایت آن^۱

خدمات نهایت پهنای باند موبایل، این امکان را برای شبکه نسل پنجم مهیا می سازد تا در ادامه کار با بیشترین تقاضا، با بیشترین نرخ داده و با بیشترین ترافیک مورد تقاضای عموم در سال ۲۰۲۰ و استقبال گسترده از شبکه ۵G ترافیک بالایی را در ترافیک ویدئویی و تمایل فوق العاده به استفاده مشترکین از فضای مجازی، شبکه ۵G را مجبور به استفاده از نرخ داده بالا در حد چند Gbps خواهد کرد. پیش زمینه و لازمه شبکه ۵G امکان استفاده شبکه های بی سیم از تمام ظرفیت نرخ داده و قابل تطبیق با شبکه فیبر نوری است.

لازمه استفاده از اینترنت لمسی^۲ داشتن شبکه ای با کمینه تأخیر در شبکه بوده و این پیش نیاز به همراه نرخ بالای داده کاربر نیازمند جایگاهی هم تراز و یا حتی بزرگ تر از میزان تقاضای قابل پشتیبانی توسط سیستم است.

۱.۱.۴ IOT: وابستگی آن به ۵G

طی چند سال اخیر عبارات و اصطلاح هایی مانند CPS^۳، M2M^۴ برای توصیف منطقه کانون اصلی و کلیدی بخش اینترنت اشیاء استفاده شده است. این اصطلاحات هر کدام با تأکید خاصی استفاده می شوند:

۱. اینترنت اشیاء که به عنوان "اینترنت همه چیز" نیز نامیده می شود، بر جنبه ای از آن تأکید دارد و آن اینترنتی است که در آن همه اشیا (به عنوان مثال انسان و ماشین) به صورت منحصر به فرد قابل آدرس دهی هستند و از طریق سیم یا بی سیم از طریق شبکه می توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند [۱۳].

^۱ From mobile broadband (MBB) to extreme MBB

^۲ Tactile Internet

^۳ Cyber-Physical-Systems

^۴ Machine-to-Machine

۲. CPS به یکپارچه سازی محاسبات و فرایندهای فیزیکی (به عنوان مثال حسگرها، افراد و محیط های فیزیکی) از طریق یک شبکه ارتباطی اشاره دارد. به طور خاص، فرایندهای فیزیکی را می توان مشاهده، نظارت، کنترل و در حوزه دیجیتال خود کار نمود. (برای مثال cyber) محاسبات و ارتباطات تعبیه شده دو شاخصه اصلی و جزء جدانشدنی فنی هستند که CPSها را فعال می کنند نمونه بارز CPSها یک شبکه برق مدرن است. [۱۴]

۳. از M2M برای بیان روشی جهت ارتباط بین ماشین ها با یکدیگر نام برده می شود.

سال هاست پردازنده های دیجیتالی در تمامی سطوح سیستم های صنعتی جای گرفته است. با این حال قابلیت های ارتباطی و اتصالی جدیدی که در فناوری های 4G و 5G ارائه شده است تا ارتباط و اتصال بسیاری از این پردازنده های توزیع شده را به راحتی امکان پذیر سازد. ضمن آنکه امکان نظارت و کنترل دیجیتالی را از یک سطح محلی به یک سطح سیستمی جهانی گسترده و وسیع مهیا می سازد علاوه بر این هنگامی که اشیاء از طریق اینترنت و ذخیره سازی های کامپیوتری توزیع شده در یک شبکه به صورت بی سیمی ارتباط برقرار می کنند اینجاست که تمایز بین IOT و CPS کم رنگ تر می گردد. از این رو، ارتباطات تلفن همراه و بی سیم از عوامل اصلی برای اینترنت اشیا هستند. 5G به طور خاص اینترنت اشیا را برای به کارگیری موارد جدیدی با قابلیت اطمینان بالا و تأخیر کم و نیز بخش هایی از اقتصاد که به دلیل نیاز به ارتباطات سیار وجود نداشتند را به وجود آورده است.

۱.۲. از ICT تا اقتصاد کلان

برخلاف نسل های قبلی شبکه های سلولی تلفن همراه و ارتباطات سیار یکی از اهداف 5G پیش بینی میزان ترافیک مورد تقاضای تلفن های همراه و به طور کلی نیازهای ارتباطی بوده که جهت رفع آن ها طراحی شده است بیشتر بخش های اقتصاد از جمله بخش هایی که تحت تأثیر صنایع هستند، در برخی از این بخش ها مانند مصرف کننده ها، مسائل مالی و

رسانه‌ها با توسعه و ارتقای ارتباطات بی سیمی از آغاز قرن معاصر، آن‌ها نیز رشد یافته‌اند. انتظار می‌رود در سال‌های پیشرو استقبال و توجه خاصی نسبت به شبکه‌های بی سیمی تا رسیدن به نقطه اوج آن یعنی ۵G که شرایطی را ایجاد خواهد کرد تا اتصال بی سیم از یک حالت ویژگی جالب به یک ضرورت تبدیل گشته و در پی آن افزایش تعداد محصولات را در بخش‌های بی سیمی شاهد باشیم ضرورت دارد شبکه‌های بی سیمی با توجه به پتانسیل و قابلیت آن در ایجاد دانشی بر پایه ساختمان داده و دانشی بر پایه اطلاعات مفید و قابل استفاده شکل گیرد و پیامد آن جامعه‌ای هوشمند در سطوح مختلف بر اساس اطلاعات درجه بالا خواهد شد. کمترین حد مورد انتظار، تولید داده از دستگاه‌های متصل شده جهت ارائه خدمات با کمترین هزینه و بیشترین حد قابل تصور برای آن، کمک به جامعه بشری در تسریع و شتاب در دستیابی به درجه‌ای از کارآمدی و فعالیت‌های تولیدی که بشر در طول ۲۲۵ سال از انقلاب صنعتی مدرن تا کنون به خود ندیده است، می‌باشد. بهبود اتصال باند پهن بی سیمی با انبوهی از مزایای ثانوی اقتصادی و بهبود سطح کیفی زندگی مردم به روش‌هایی که تا حالا به آن‌ها اشاره نشده است را شاهد باشیم اینکه این بخش‌های اقتصادی کجا هستند سؤال است که باید ارتباطات بی سیم به آن پاسخ دهد که در زیر به برخی از آن‌ها مختصر اشاره می‌گردد:

- **کشاورزی:** حسگرها و محرک‌ها در زراعت و دامداری به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند به‌عنوان مثال به منظور برقراری ارتباط برای اندازه‌گیری کیفیت خاک، میزان بارندگی، دما و باد، نظارت بر چگونگی رشد محصولات و حرکت دام و طیور.
- **خودرو:** ارتباطات بی سیم برای گروه بسیاری از برنامه‌های کاربردی مرتبط با حمل و نقل هوشمند از جمله رانندگی خودکار، ایجاد ارتباط بین وسایل نقلیه با یکدیگر و بازسازیها برای تبادل اطلاعات، سنجش و ایجاد ایمنی بیشتر به منظور کاهش تصادفات و برخوردها و کنترل بیشتر ترافیک و عبور و مرور

وسایل نقلیه در خیابان‌ها و بزرگراه‌ها و نیز برنامه‌های تجاری مانند تبادل رسانه‌ها با وسایل نقلیه.

- **ساخت و ساز / ساختمان:** در ساختمان‌ها، حسگرها، محرک‌ها و آنتن‌های یکپارچه و دستگاه‌های نظارت برای بهره‌وری انرژی، تأمین امنیت، نظارت و دیده‌بانی، ردیابی اشیاء قیمتی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- **انرژی / تأسیسات:** شبکه هوشمند بر تمام قسمت‌های زنجیره ارزشمند از جمله اکتشاف، تولید و عمل‌آوری محصول، تجارت، نظارت، کنترل بار، درصد خطای قابل‌اغماض و مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد. سیستم‌های آینده که شامل مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان انرژی، لوازم‌خانگی به هم متصل شده و شاید هم کنترل‌شده توسط سازندگان و شرکت‌ها، افزایش تعداد خودروهای برقی می‌شوند، فرصت‌ها و چالش‌هایی را برای شرکت‌های برق ایجاد می‌کنند.
- **امور مالی (از جمله بانکداری):** فعالیت‌های مالی مانند تجارت، بانکداری و خرید، بیشتر تراکنش‌های آن‌ها از طریق لینک‌های ارتباطی بی‌سیم انجام می‌شود و در نتیجه امنیت، کشف و تجزیه و تحلیل جعل از اجزای بسیار مهم معاملات مالی است که به دلیل استفاده از شبکه ارتباط بی‌سیم افزایش یافته است.
- **بهداشت و درمان:** ارتباطات بی‌سیم می‌تواند راه‌حل‌های مفید گوناگونی از مسائل پیش‌پاافتاده تا پیچیده و بغرنج مانند نظارت و کنترل تمرینات و حرکات ورزشی، ارزیابی مداوم مصرف‌کنندگان داروی خاص، هشدارهای پزشکی و نظارت بر ارائه خدمات بهداشتی، برقراری ارتباط بیمارستان‌ها از طریق ارتباط بی‌سیم برای کنترل مراحل درمان بیماران از راه دور، خدمات بهداشتی از راه دور، جراحی از راه دور و غیره را عرضه می‌دارد.
- **ساخت و تولید:** موضوعات، کارها و فرایندهای کنترلی مهندسی مختلفی وجود دارد که می‌توان با به‌کارگیری ۵G با دقت، اطمینان بیشتر، حساسیت بالا و با تأخیر

بسیار پائین و کنترل و تنظیم دستگاه‌های کارخانه از نکات قابل تأمل است درحالی که می‌توان اتصالات گسترده ماشینی از طریق شبکه ارتباط بی سیمی انجام داد. ارتباطات بی سیمی در ساخت ربات‌ها، عملکرد مستقل ماشین‌آلات، RFIDها و ارتباطات بی سیمی کم‌مصرف برای مدیریت دارایی‌ها و غیره نقش بسزایی دارد.

- **رسانه:** ویدئو عامل اصلی مصرف پهنای باند است انتظار می‌رود این موضوع را 5G با تجربه کاربری بسیار خوبی برای مشاهده قالب‌های 3D و 4K در مقیاس وسیع فراهم سازد. امروزه تجربه کاربران برای دسترسی و لذت بردن از محتوای غنی مانند فیلم با وضوح و کیفیت بالا در شبکه‌های تلفن ثابت و بی سیمی برد کوتاه با محدودیت‌هایی روبرو است درحالی که دسترسی به موسیقی با کیفیت بالا در مکان‌های پر ازدحام که ممکن است کاربران را در استفاده هم‌زمان از یک منبع واحد را تحت فشار قرار دهد واقعیت مجازی (VR)^۱ و واقعیت افزوده (AR)^۲ از موارد جدید استفاده هستند. انتظار می‌رود تلفن همراه در مناطق عشایری (متحرک) نیز مورد استقبال خوب قرار گیرد.

- **امنیت عمومی:** پلیس، آتش‌نشانی، امداد و نجات، آمبولانس، فوریت‌های پزشکی و خدماتی که تحت پوشش این دسته هستند باید از درجه اطمینان بالایی برخوردار بوده و تنها شبکه‌های 4G و دسترسی رادیویی 5G به موضوع پرداخته و مؤلفه‌ای از ابزارهای موجود برای قانون‌اجرای و فوریتی برای استفاده تحت عناوین SDN و NFV در عملکردهای امنیت عمومی مانند مبارزه با آتش‌سوزی، کمک به آسیب‌دیدگان زلزله و بلایای طبیعی و سونامی با مدیریتی کارآمد اتصال خدمات محلی بین داوطلبین و آسیب‌دیدگان از خطرات نقش مستقیم داشته و این شبکه همچنین می‌تواند از امداد و نجات با در اختیار داشتن موقعیت مکانی پشتیبانی و ارائه خدمات نماید.

^۱ Virtual Reality

^۲ Augmented Reality

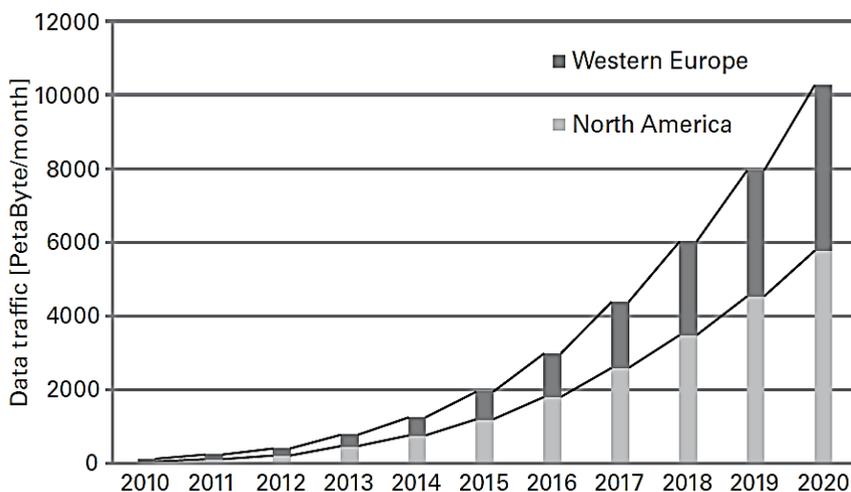
- **خرده‌فروشی و مصرف‌کننده:** ارتباطات بی‌سیم در حال ایفای نقش مهمی در زمینه‌های خرده‌فروشی، گردشگری و سفر، اوقات فراغت و مهمانداری است
- حمل‌ونقل بخصوص در حوزه تدارکات ارتباطات بی‌سیم در حال ایفای نقش مهم خود در این زمینه بوده و حتی در آینده این نقش با ظهور ۵G بیشتر هم خواهد شد. ۵G در حقیقت زیرساخت‌های ارتباطات بی‌سیمی را در بخش‌های عملیاتی مانند راه‌آهن، حمل‌ونقل عمومی و حمل‌ونقل کالا از طریق زمینی و دریایی را ارتقاء داده و بهبود می‌بخشد.
- **صنایع فرعی:** صنعت هوافضا، صنایع دفاعی، صنایع مربوط منابع اساسی (علوم پایه)، صنایع شیمی، صنایع کالا و خدمات پشتیبانی به‌طور فزاینده‌ای از ارتباطات بی‌سیم در سال‌های آینده بهره خواهد برد.

۱.۳ علت وجود ۵G: حجم بالای داده، ۲۵ میلیارد دستگاه متصل و الزامات گسترده

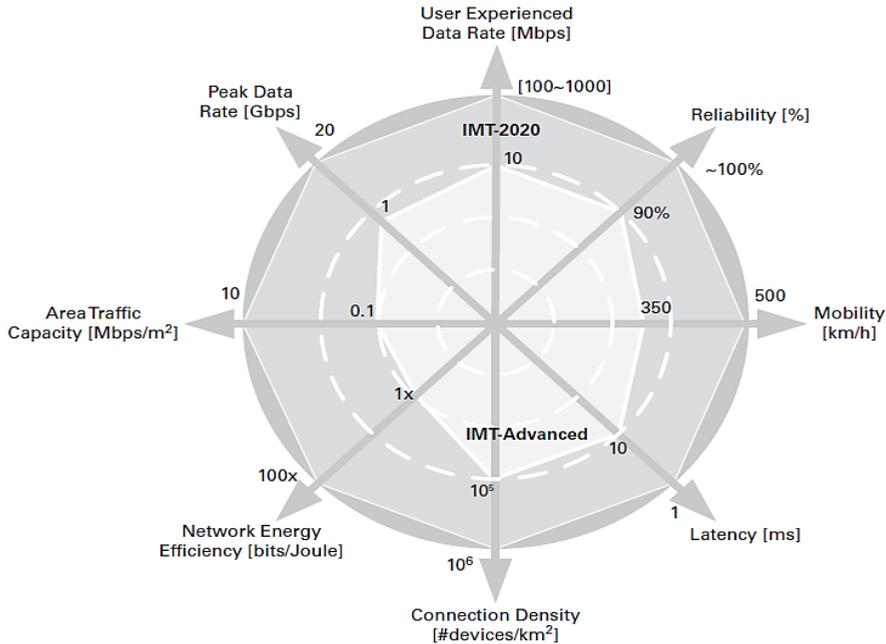
ضرورت اتصال بی‌سیمی در جامعه در ابتدا به دلیل استقبال زیاد عموم از خدمات چندرسانه‌ای تلفن همراه به وجود آمد و منجر به افزایش تصاعدی در تقاضای حجم و ترافیک بی‌سیمی تلفن همراه گردید. پیش‌بینی می‌شد که ترافیک تلفن همراه برای اولین بار در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ هزار برابر گردد که بعدها این پیش‌بینی به رقم ۲۵۰ برابر تغییر یافت. توجه به این نکته بسیار حائز اهمیت است که در ارتباطات جوامع بسیار پیشرفته از جمله اروپای غربی و آمریکای شمالی ترافیک سیستم‌های سیار و تلفن همراه افزایش یافته و ضریب نفوذ آن به عدد ۸۴ درصد خواهد رسید. این موضوع در شکل ۱.۴ نشان داده شده است.

افزون بر این برنامه‌های کاربردی نوع ماشینی صرف نظر از ماهیت انسان‌دوستانه آن، از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و ارتباطاتی که تاکنون (عجالتاً) بر صحنه تلفن همراه غلبه

کرده و در واقع پیش بینی می شد تعداد ماشین های ارتباطی با روند روبه جلو به عدد ۵۰ میلیارد تا سال ۲۰۲۰ رسیده که این پیش بینی با در نظر گرفتن ملاحظات اخیر به عدد ۲۵ میلیارد اتصال دستگاہ تغییر خواهد یافت.



شکل ۱.۴ حجم ترافیک داده ها برای اروپای غربی و آمریکای شمالی (حق چاپ ۲۰۱۵ اریکسون).



شکل ۱.۵ نمودار عنکبوتی برای IMT-۲۰۲۰ (یعنی ۵G و IMT-A)

انتظار می‌رود ارتباطات بی‌سیم نوع ماشینی و نوع انسانی آن بر چند بخش اقتصاد و صنایع وابسته به آن که می‌تواند ویژگی‌های ارتباطی مربوط به الزامات و مقررات مختلفی را به ارتباطات سیار و تلفن همراه تحمیل نموده و سیستم‌های ارتباطی از لحاظ هزینه، پیچیدگی، اتلاف انرژی، میزان داده، جابه‌جایی، تأخیر و قابلیت اطمینان برای مثال اینترنت به اصطلاح اینترنت لمسی نیاز به تأخیر در کمتر از ۱ms خواهد داشت [۱۸]. نمودار عنکبوتی نشان‌دهنده شده در شکل ۱.۵ بهترین راه برای نشان‌دادن طیف گسترده و گسترش الزامات ۵G در مقایسه با نسل‌های قبلی سلولی مانند IMT-پیشرفته است. در نمودار، مهم‌ترین الزامات اصلی که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود در نظر گرفته شده است [۱۹].

- اوج نرخ داده [Gbs]: بیشینه میزان داده قابل دسترسی کاربر/دستگاه

- میزان داده قابل باتجربه توسط کاربر Mbps یا Gbps : میزان داده قابل دسترسی کاربر/دستگاه در سرتاسر منطقه تحت پوشش
 - تأخیر رادیویی [ms] : زمان موردنیاز (روی لایه MAC واسطه رادیویی) برای اینکه یک بسته داده از مبدأ به مقصد ارسال گردد. توجه داشته باشید که این به تأخیر یک طرفه بستگی دارد.
 - تحرک (جابه جایی km/h): بیشینه سرعت وسیله نقلیه که در آن امکان پشتیبانی با QOS نامی وجود داشته باشد.
 - تراکم اتصال [تعداد دستگاه / کیلومتر مربع]: تعداد کل دستگاه‌های متصل در هر منطقه.
 - بهره‌وری انرژی [بیت / ژول]: در سمت شبکه؛ بیت‌های ارسال / دریافت شده به / از کاربران، به ازای هر واحد انرژی مصرفی RAN؛ در سمت دستگاه؛ بیت در هر واحد انرژی مصرف شده توسط ماژول ارتباطی.
 - قابلیت اطمینان [%]: درصد انتقال موفقیت آمیز در یک دوره زمانی خاص
 - ظرفیت ترافیک منطقه [Mbps / m²] : کل توان ترافیکی ارائه شده به ازای (بر) منطقه جغرافیایی.
- علاوه بر الزامات ذکر شده در بالا، امنیت پیش شرط هر سیستم بی سیمی موفق آینده است.

۱.۳.۱ امنیت

امنیت یکی از موارد و موضوعات ارزشمند و بحث‌برانگیز چهار نسل گذشته سیستم‌های بی سیم بوده همچنین یک الزام ضروری برای نسل‌های جدید فناوری خواهد بود. این یک وجه تمایز برای شناسایی شبکه‌هایی است که در گذشته با آسیب‌پذیری‌های امنیتی روبرو بوده و باگذشت زمان مورد بازبینی و ترمیم قرار گرفته‌اند. با کاهش هزینه‌های محاسباتی، سیستم‌ها مستعد پذیرش توافق بر سر سیستم‌های جدیدتر با قابلیت سازگاری به‌منظور بهبود

امنیت انتها - به - انتها را بدون ایجاد خطر برای نیازهای رهگیری با مجوز رسمی از مقامات قانونی، پهنای باند تلفن همراه را به طور فزاینده‌ای برای دسترسی به اینترنت بکار خواهند بست و خدمات ابری و آسیب‌پذیر در برابر حملات و هزینه خسارت ناشی از آن و غیره را در نظر خواهند گرفت.

حملات رد یا عدم پذیرش خدمات افزایش خواهد یافت [۲۰] وقتی رله در شبکه بکار رفته یا شبکه در حال استفاده از توپولوژی‌های مش هستند باید اعتماد بین شبکه و رله را به دست آورند از حملات انسان در میانه راه جلوگیری نماید. [۲۱] و نیز به سمت دستگاهی که از طریق آن به منظور محافظت بهتر از سیستم در برابر سرقت هویتی به عنوان نمونه با ذخیره هویت کاربر دسترسی به شبکه را پیش برد.

شبکه‌های ۵G مقدار زیادی داده اینترنت اشیا را انتقال می‌دهند. در اینجا، هر پیام جداگانه ممکن است خیلی حساس نباشد، اما حساسیت دانش ممکن است از طریق داده - یا - اطلاعات استخراج شود از این رو همجوشی اطلاعات، دسترسی غیرمجاز به داده‌ای حتی به ظاهر بی‌اهمیت را میسر می‌سازد. زمانی که یک دستگاه درگیر عملیات انجام رمزنگاری، اعتبارسنجی اطلاعات و احراز هویت با کنترل اطلاعات ورودی است این موضوع یعنی امنیت، اهمیت چند برابری پیدا می‌کند

بنابراین باید به شدت و به دقت از ورود غیرقانونی به اینترنت خانگی توسط دیگران ممانعت نمود برای ارائه خدمات با درجه اطمینان بسیار بالا، تضمین یکپارچگی و اصالت اطلاعات انتقال یافته بسیار لازم است پیام‌های نادرست مربوط به ترمز اضطراری و چراغ راهنمایی از قبل باید به سرنشینان وسایل نقلیه ارائه گردد تا در مواقع لازم نسبت به رد آن‌ها اقدام و واکنش مناسبی از خود نشان دهند. در برنامه‌های کاربردی صنعتی فرایندهای فیزیکی تحت کنترل بوده و اطلاعات انتقال یافته ممکن است شامل اطلاعات حساسی در مورد روند و گردش کاری باشند که نیاز مبرم به محافظت در مقابل شنود و یا دست کاری و تغییر داشته

باشند از این رو برای تضمین صحت و سلامتی پیام‌ها باید توابع و عملیات امنیتی مناسبی بکار برد.

از آن جایی که شبکه ۵G از انواع جدید گره‌های دسترسی تشکیل یافته و می‌تواند انواع خدمات جدید را پشتیبانی کند چالش‌های امنیتی مضاعفی ایجاد خواهد شد برای برنامه‌های کاربردی، به‌عنوان مثال بانکداری، راه‌حل‌های موجود و فعلی آنها - به - انتها و همه‌جانبه نیز در ۵G قابل استفاده خواهد بود. برای برنامه‌های دیگر، به‌عنوان مثال IoT، راه‌حل‌های جدیدی لازم است.

تحقیقات امنیتی خود یک مقوله و حوزه فعالیت مستقل بوده و جوانب امنیتی فراتر از مبحث این کتاب است. در این کتاب بیشتر مباحث پیشرفت فناوری‌های ارتباطات ۵G مطرح است

۱.۴ پژوهش‌های جهانی

تعداد پروژه‌های تحقیقاتی و فعالیت‌ها در زمینه ۵G در سراسر جهان اندک و انگشت‌شمار بوده در سال ۲۰۱۱ اروپا توانست در این زمینه پیش بیفتد و پس از آن در زمانی کوتاه کشورهای چین، کره و ژاپن با درپیش گرفتن رویه آن‌ها از فعالیت‌ها و برنامه‌های زمان‌بندی خود رونمایی و استفاده از آن را اعلام کردند.

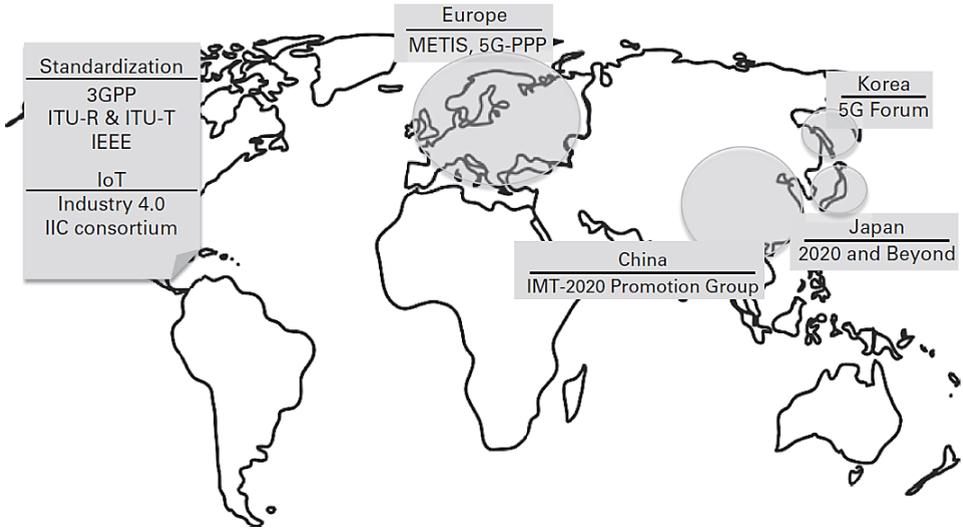
۱.۴.۱ METIS و ۵G-PPP

METIS اولین پروژه جامع دسترسی ۵G توسط اتحادیه اروپا در سرتاسر جهان اجرا و تأثیر زیادی در توسعه ۵G داشته است. مقدمات این پروژه در آوریل ۲۰۱۱ فراهم و شروع رسمی آن در ۱ نوامبر ۲۰۱۲ صورت گرفت و در نهایت در ۳۰ آوریل ۲۰۱۵ نهایی گردید.

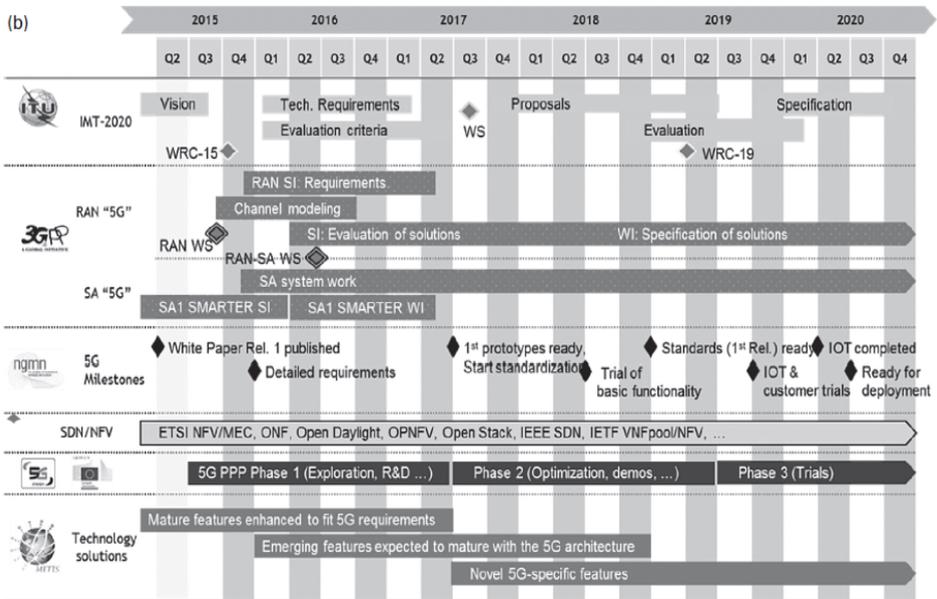
پروژه METIS خود را به عنوان پروژه مرجع جهانی ۵G معرفی کرده است تعیین طرح‌های کلیدی ۵G، موارد آزمایشی و KPI ها که اکنون به طور معمول در ادبیات تجاری و دانشگاهی به آن‌ها مراجعه می‌شود. دستاوردهای اصلی پروژه شامل شناسایی و ایجاد ساختار برای ۵G از اجزای اصلی فناوری ۵G بود این نتایج که اروپا از آن هنوز هم پیروی می‌کند یک موقعیت و روزنه روشن در پیشبرد ۵G است.

مشارکت عمومی غیردولتی ۵G (۵G-PPP) با موفقیت جانشین چارچوب برنامه هفتم شد صنعت ICT اروپا و کمیسیون اروپا (EC) یک توافق تجاری در دسامبر ۲۰۱۳ برای تشکیل زیرساخت ۵G برای مشارکت عمومی غیردولتی ۵G (۵G-PPP) امضاء کردند این توافق بطور عمده یک برنامه تحقیقاتی با بودجه ۱.۴ میلیارد یورو برای بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۰ که هر دو طرف توافق یعنی EC و صنعت ICT به طور مساوی در آن سهم بودند (یعنی هر کدام ۷۰۰ میلیون یورو از بودجه ۵G-PPP). تولیدکنندگان صنعت اپراتورهای مخابراتی، ارائه‌دهندگان خدمات، بنگاه‌های کوچک و متوسط (SME) و محققان را گرد هم آورده است.

METIS-II، در ژوئیه ۲۰۱۵ در چارچوب ۵G-PPP بنا بر مقدار پیشرفت و حرکت METIS آغاز شد METIS به دنبال توسعه شبکه دسترسی رادیویی ۵G طراحی و با جزئیاتی که مناسب‌ترین گزینه برای حمایت و شروع استانداردسازی ۵G لازم و مصلحت باشد را با ۳GPP نسخه ۱۴ فراهم می‌آورد. METIS-II نیازمندی‌های مختلف فنی برای یکپارچه‌سازی، کارآمدی و استفاده از ۵G را فراهم خواهد کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۱.۶ (الف) فعالیت‌های جهانی و استانداردسازی 5G، (ب) برنامه زمانی.

فناوری‌ها و اجزاء تکامل و توسعه یافته فعلی آن و نیز ادغام این فناوری‌ها، فناوری جدیدی همچون LTE-A. به منظور دستیابی به این هدف METIS-II ضمن تأکید مؤکد بر همکاری و تبادل نظر با دیگر PPP‌های ۵G و پروژه‌های جهانی و مهیا ساختن شرایط تبادل نظر بر روی طرح‌های ۵G و الزامات، فنون و نکات کلیدی ۵G، وضع طیف و ارزیابی کار آیی و عملکرد RAN با PPP‌های ۵G شکل یافت.

هدف اصلی برنامه ۵G-PPP حصول اطمینان از پیشتازی اروپا در مناطق خاص برخوردار از قدرت و نفوذ بیشتر، پتانسیل ایجاد بازارهای جدید مانند شهرک‌های هوشمند، سلامت الکترونیکی، حمل و نقل هوشمند، آموزش، تفریحات و سرگرمی‌ها و رسانه‌ها بود. هدف نهایی ۵G-PPP ایجاد و ارائه خدمات و شبکه‌های نسل پنجم و اولین پروژه تحت چتر حمایتی آن در جولای ۲۰۱۵ آغاز گردید.

۱.۴.۲ چین: گروه ترویج ۵G

در فوریه ۲۰۱۳ کشور چین به عنوان گروه ترویج ۵G توانست ۲۰۲۰-IMT را با مأموریت سه وزارتخانه یعنی وزارت صنعت و فناوری اطلاعات، وزارت علوم و فناوری و کمیته اصلاحات و توسعه ملی چین تأسیس نماید. هدف اصلی این گروه ترویج و توسعه فناوری‌های ۵G در کشور چین و تسهیل همکاری با سازمان‌ها و شرکت‌های خارجی است. لازم به ذکر است که دولت حامی مالی و پشتیبان اصلی فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه دسترسی‌های بی‌سیم ۵G و نیز فعالیت‌هایی تحت پوشش ۵G-۸۶۳ MOST است.

۱.۴.۳ کره: همایش ۵G

در مه ۲۰۱۳ همایش ۵G همچنین برنامه همکاری‌های غیردولتی عمومی (PPP) تشکیل گردید از اهداف این مجمع با عضویت شرکت‌های ETRI, SK Telecom, KT, LG-

Samsung و Ericsson تهیه و ارائه استراتژی ملی برای ۵G و طرح استراتژی برای نوآوری در این فناوری بود. این مجمع به منظور حصول اطمینان از رویکرد تجاری (بازار) به برخی زیرمجموعه‌های نسبتاً تکامل یافته فناوری ۵G برای بازی‌های المپیک زمستانی ۲۰۱۸ در پیونگ‌یانگ تشکیل یافت.

۱.۴.۴ ژاپن ۲۰۲۰ ARIB: و فراتر از HOC

گروه ۲۰۲۰ ARIB و Beyond Ad Hoc برای مطالعه در مورد چشم‌انداز سیستم‌های پیشرفته سیار زمینی در سال ۲۰۲۰ و پس از آن در سال ۲۰۱۳ در کشور ژاپن به‌عنوان یک کمیته فرعی از کمیته مطالعات ارتباطات پیشرفته بی‌سیم (ADWICS)^۱ در سپتامبر ۲۰۱۳ تأسیس گردید لازم به ذکر است که ADWICS توسط ARIB در سال ۲۰۰۶ تأسیس شده بود. از اهداف این گروه می‌توان به مطالعه مفاهیم سیستم، کارکرد و توزیع معماری ارتباطات سیار در ۲۰۲۰ و پس از آن بوده و تبادل مقالات آزاد و مشارکت ITU و سایر اعضا وابسته به ۵G مورد انتظار است. گروه ۲۰۲۰ ARIB و Beyond Ad Hoc در سال ۲۰۱۴ اولین مقاله آزاد خود را با عنوان سیستم‌های ارتباطات سیار برای سال ۲۰۲۰ و بعد از آن را به‌منظور شرح چشم‌انداز آینده ۵G منتشر کرد.

۱.۴.۵ سایر اقدامات ۵G

این این‌گونه کارها و فعالیت‌ها در مقایسه با فعالیت‌هایی که پیش‌تر به آن‌ها پرداخته می‌شود به لحاظ مقیاس و نفوذ ناچیز بوده و از سازمان‌هایی نظیر ۴G، ۵G، Americas، مرکز نوآوری در دانشگاه سورری و تحقیقات بی‌سیم دانشگاه نیویورک می‌توان نام برد.

^۱ Advanced Wireless Communications Study Committee

۱.۴.۶ فعالیت‌های اینترنت اشیا (IOT)

تعداد زیادی ابتکارها و نوآوری‌های جهانی در حوزه اینترنت اشیا وجود دارد که جنبه‌های مختلف را کنترل می‌کنند. ائتلاف شرکت‌های صنعتی اینترنت^۱ (IIC) [۳۰] و ۴.۰ Industrie [۳۱] دو سازمان مهم وابسته به 5G. IIC در مارس ۲۰۱۴ برای گرد هم آوری سازمان‌ها و فناوری‌های لازم برای شتاب بخشیدن به اینترنت صنعتی تشکیل گردید.

اهداف اصلی IIC:

- ایجاد موارد استفاده جدید از صنعت و بسترهای آزمایشی برای کاربردهای دنیای واقعی.
- تأثیر بر روند استانداردهای توسعه جهانی برای اینترنت و سیستم‌های صنعتی.

۴.۰ Industrie ابتکار عمل آلمان است که در سال ۲۰۱۳ به منظور حفظ فضای رقابت تولید صنعتی آلمان و برای حفظ پیشتازی در بازار جهانی آن ایجاد شده است. هدف از یکپارچه‌سازی و ادغام اینترنت اشیا و خدمات تولیدی - به ویژه - ایجاد شبکه‌هایی بود که بتواند کل فرایندهای تولید را در خود داشته باشد، در نتیجه کارخانه‌ها به یک محیط هوشمند تبدیل می‌شوند [۳۱].

۱.۵ استانداردهای سازی

در ادامه فعالیت‌های استانداردهای سازی 5G در ITU، 3GPP و IEEE به طور خلاصه شرح داده می‌شود:

^۱ IndustrialInternet Consortium

ITU-R ۱.۵.۱

در سال ۲۰۱۲ بخش رادیویی مربوط به ITU^۱ یعنی (ITU-R) به رهبری گروه کاری ۵D برنامه‌ای جهت توسعه IMT برای سال ۲۰۲۰ و بعد از آن را آغاز نمود. هدف این گروه کاری توسعه الزامات مربوط به واسطه‌های هوایی ارتباطات سیار ۵G با برنامه کاری مدون، جدول زمان‌بندی، روند تحویل به "IMT-۲۰۲۰" را توسعه و بسط داد. قابل توجه اینکه در حال حاضر ۵D WP از "IMT-۲۰۲۰" به‌عنوان مرجع اصطلاحات موقت ۵G استفاده می‌کند. طبق برنامه زمانی، "مشخصات IMT-۲۰۲۰" باید تا سال ۲۰۲۰ آماده شود از سپتامبر ۲۰۱۵، سه گزارش به‌صورت زیر تکمیل شده است:

- روند فناوری‌های آتی سیستم‌های IMT زمینی [۳۲]: این گزارش اطلاعاتی در مورد روند فناوری سیستم‌های IMT زمینی با توجه به بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۰ و بعد از آن را ارائه می‌دهد. فناوری‌های توصیف شده در این گزارش مجموعه‌ای از فعال‌کننده‌های فناوری که ممکن است در آینده مورد استفاده قرار بگیرد را شامل می‌گردد.

- چشم‌انداز توصیه شده IMT بعد از سال ۲۰۲۰ [۱۹]: این گزارش به چشم‌انداز بلندمدت در خصوص تکامل IMT در آینده و برای سال ۲۰۲۰ و بعد از آن را در قالب یک چارچوب و اهداف کلی را فراهم نموده و مورد بحث قرار می‌دهد.
- امکان‌سنجی و تسهیل IMT بالای ۶ گیگاهرتز [۳۳]: این گزارش اطلاعاتی را در مورد مطالعه امکان فنی IMT در باندهای بالای ۶ گیگاهرتز فراهم می‌کند.

اینها گزارش‌هایی برای WRC ۲۰۱۵ بودند که نقش مهمی داشتند جایی که تقریباً ۴۰۰ مگاهرتز اضافی برای طیف IMT اختصاص داده شده است، برای جزئیات بیشتر به فصل ۱۲ مراجعه کنید.

^۱ ITU's Radio communication Sector

۳GPP ۱.۵.۲

۳GPP بر مهلت زمانی استاندارد ۵G صحه گذاشته و تأکید کرده است که باید روند آن تا سال ۲۰۲۰ باید تکمیل شود [۳۴]. ۵G RAN مطالعه موارد و رئوس اصلی و کلیدی الزامات دسترسی رادیویی ۵G را در دسامبر ۲۰۱۵ آغاز نمود. دسترسی رادیویی جدید ۵G در گروه‌های کاری ۳GPP در مارس ۲۰۱۶ مورد مطالعه قرار گرفت البته پیش‌تر از ۳GPP در LTE [۳۵][۱۰][۹] و GSM [۳۷][۳۶] مطرح شده بود نیازمندی‌های ارتباطات نوع ماشینی همه‌جانبه^۱ از قبیل پوشش گسترش یافته، توان پائین و هزینه کم دستگاه‌ها مواردی بود که به آن‌ها اشاره شده بود و در این راستا عناوینی چون LTE-M یعنی MTC در LTE و NB-IOT، در GSM برای آن عنوان پوشش گسترش یافته GSM برای IOT که EC-GSM-IoT نام‌گذاری گردید.

IEEE ۱.۵.۳

سازمان اولیه و اصلی در مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک (IEEE)، کمیته استانداردهای IEEE ۸۰۲ می‌باشد که با شبکه‌های محلی و شهری سروکار داشت از میان این موارد برجسته و مشهور می‌توان به این پروژه‌ها اشاره کرد: IEEE ۸۰۲.۱۵ در زمینه شبکه‌های محلی بی‌سیم خصوصی (WPAN) و IEEE ۸۰۲.۱۱ طبقه‌بندی شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN). فناوری‌های IEEE ۸۰۲.۱۱ در ابتدا برای کار در محدوده باند فرکانسی ۲.۴ گیگاهرتز طراحی شده بود که بعدها IEEE ۸۰۲.۱۱، استاندارد گیگابیت را در اصلاحیه‌های IEEE ۸۰۲.۱۱ac (در فرکانس‌های بالاتر یعنی باند ۵ گیگاهرتز) و IEEE ۸۰۲.۱۱ad (در باند موج میلی‌متری ۶۰ گیگاهرتز) استاندارد گیگابیتی را ایجاد کرد. این سیستم‌ها از سال ۲۰۱۳ تاکنون به صورت تجاری در دسترس بوده و در حدود سال ۲۰۱۹ توسط سیستم‌های

^۱ massive machine-type communications

پشتیبانی از عملکرد چند گیگابیتی در باندهای کمتر از ۶ گیگاهرتز (به عنوان مثال IEEE 802.11ax) و باندهای mmW (به عنوان مثال IEEE 802.11ay) دنبال می شوند.

این احتمال وجود دارد که IEEE یکی از مؤلفه های فناوری توان بالای خود را برای IMT-2020 پیشنهاد دهد. IEEE 802.11p اصلاح برنامه های کاربردی و وسایل نقلیه را هدف قرار می دهد و پس از 2017 شاهد ارتباط گسترده V2V خواهیم بود. IEEE همچنین در IoT فعال است، با اصلاحیه IEEE 802.11ah از عملکرد Wi-Fi بازه های گسترده زیرباند های فرکانس گیگاهرتزی را پشتیبانی می کند. استاندارد IEEE 802.15.4 منجر به مشخص شدن شبکه های بی سیمی منطقه خصوصی با نرخ پایین^۱ (LR-WPAN) شده است که بیشتر برای اتصال مش های خاص توسط Zigbee Alliance مشخص می شوند و همچنین برای عملیات هماهنگ و همزمان جامعه بین الملل خود کارسازی (ISA)^۲ انجمن خود کارسازی (ISA) با مشخصات ISA 100.11a استفاده می شوند انتظار می رود که سیستم 5G از واسطه ها مانند واسطه های هوایی و شبکه های 5G مشخص شده توسط IEEE با توجه به آدرس دهی دقیق، مدیریت هویت، تحرک، امنیت و خدمات مشخص بکار می روند.

۱.۶ هدف این کتاب

بلوک های اصلی سازنده 5G از قبیل دسترسی رادیویی، RAT های ثابت و پیشین (به عنوان مثال LTE)، هسته شبکه^۳، ابر^۴، تجزیه و تحلیل داده ها و امنیت در شکل 1.7 نشان داده شده است.

^۱ Low-Rate Wireless Personal Area Networks

^۲ International Society for Automation

^۳ Core Network

^۴ Cloud