

اینترنت اشیاء (۱): فناوری‌ها، استانداردها و چالش‌ها

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی
دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن

کد موضوعی: ۳۱۰
شماره مسلسل: ۱۶۹۶۵
فروردین‌ماه ۱۳۹۹

فهرست مطالب

چکیده.....	۱
فصل اول - فناوری‌های اینترنت اشیاء.....	۲
مقدمه.....	۲
۱-۱. معرفی فناوری‌ها.....	۲
۱-۲. شبکه‌های بُرد کوتاه.....	۲
۱-۳. شبکه بُرد بلند.....	۴
فصل دوم - استانداردهای اینترنت اشیاء.....	۱۹
مقدمه.....	۱۹
۲-۱. استاندارد اینترنت اشیاء براساس انجمن جهانی مخابرات.....	۲۰
فصل سوم - چالش‌های توسعه اینترنت اشیاء.....	۲۴
۳-۱. هزینه و قابلیت اطمینان.....	۲۴
۳-۲. اتصال به شبکه.....	۲۵
۳-۳. استانداردها و قابلیت همکاری.....	۲۶
۳-۴. داده‌های شفاف، پلتفرم‌ها و واسطه‌های برنامه‌نویسی کاربرد باز.....	۲۸
۳-۵. طیف رادیویی.....	۲۹
۳-۶. امنیت.....	۳۲
۳-۷. محرمانگی و حفاظت داده.....	۳۲
جمع‌بندی.....	۳۳
پی‌نوشت‌ها.....	۳۵



اینترنت اشیاء (۱): فناوری‌ها، استانداردها و چالش‌ها

چکیده

هدف این گزارش بررسی فناوری‌ها، استانداردها و چالش‌های اینترنت اشیاء است. اینترنت اشیاء یک فناوری رو به رشد با اهمیت فنی، اجتماعی و اقتصادی است. در بسیاری از نقاط جهان، اینترنت اشیاء یک مفهوم نوظهور شامل اکوسیستمی وسیع از خدمات و دستگاه‌های متصل همچون سنسورها، لوازم خانگی هوشمند، خودروها، مؤلفه‌های صنعتی و لوازم پوشیدنی حوزه سلامت است. این فناوری داده‌ها را به‌منظور تطبیق با شرایطی خاص و تغییر حوزه تجارت و دنیایی که ما در آن زندگی می‌کنیم، جمع‌آوری، تبادل و پردازش می‌کند. شبکه اینترنت اشیاء از لایه‌های مختلفی تشکیل شده است که این امر را تحقق‌پذیر می‌سازد. این لایه‌ها شامل لایه سخت‌افزار، لایه شبکه، لایه پشتیبانی خدمات و اپلیکیشن و همچنین لایه اپلیکیشن است. به‌منظور دستیابی به حداکثر پتانسیل شبکه اینترنت اشیاء، باید استاندارد آن، فناوری‌های آن و همچنین چالش‌های آن را شناخت. هر فناوری جدید همواره علی‌رغم ارائه مزایای قابل توجه، چالش‌هایی را نیز به دنبال دارد. از این‌رو، شناخت و درک صحیح فناوری و چالش‌های آن منجر می‌شود تا سیاستگذاران این عرصه تصمیمات درستی را در این رابطه اتخاذ نمایند تا هم مردم بتوانند در جهت رفاه بیشتر از فناوری بهره‌گیرند و هم کسب‌وکارهای جدید ایجاد شود و کسب‌وکارهای موجود نیز رونق گیرند. با استفاده از این فناوری، صنعت می‌تواند هم‌زمان با کاهش هزینه‌های خود بهره‌وری را افزایش دهد و در نهایت جوامع با به‌کارگیری فناوری اینترنت اشیاء می‌توانند در جهت ایجاد شهر هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند، سلامت هوشمند، صنایع هوشمند و موارد مشابه به‌سوی جوامع هوشمند و توسعه پایدار گامی بزرگ بردارند.

فناوری‌های اینترنت اشیاء به دو گروه اصلی دسته‌بندی می‌شوند: فناوری‌های بُرد بلند و بُرد کوتاه. شبکه‌های بُرد کوتاه در محدوده‌های کوچک در حد چند متر پوشش ایجاد می‌کنند و در مقابل فناوری‌های بُرد بلند برای کاربردهایی در محدوده پوشش شهری و کشوری مناسب هستند. برخی از فناوری‌های بُرد بلند مبتنی بر شبکه‌های ارتباطات تلفن همراه هستند و سایر آنها شبکه‌های بُرد بلند کم‌توان نام دارند. یک موضوع مهم در رابطه با اینترنت اشیاء، استانداردسازی آن است. از دیدگاه انجمن جهانی مخابرات چهار لایه سخت‌افزار، شبکه، پشتیبانی خدمات و پشتیبانی اپلیکیشن، اپلیکیشن و همچنین دو قابلیت مدیریتی و امنیتی استاندارد شده‌اند. موضوع مهم دیگر چالش‌های اینترنت اشیاء است

که لازم است تا قانونگذاران و سیاستگذاران این حوزه در نظر بگیرند که عبارتند از: هزینه و قابلیت اطمینان، اتصال به شبکه، استانداردها و قابلیت همکاری، طیف رادیویی، امنیت، داده‌های شفاف، پلتفرم‌ها و واسطه‌های برنامه‌نویسی کاربرد باز که در این گزارش به آنها پرداخته شده است.

فصل اول - فناوری‌های اینترنت اشیاء

مقدمه

پیدایش فناوری‌های مختلف اینترنت اشیاء، فراگیر شدن آنها و ورود آن به کشور، اهمیت بررسی این فناوری را چندین برابر کرده است. اینترنت اشیاء سبب کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری در بخش‌های مختلف (صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل، شهر هوشمند و...) و همچنین افزایش رشد اقتصادی می‌شود. درک درست پیرامون این فناوری می‌تواند به استفاده بهینه و کارآمد از آن در کشور کمک شایانی کند. از این‌رو، این گزارش در ابتدا به استاندارد مؤلفه‌های اینترنت اشیاء از منظر انجمن جهانی مخابرات می‌پردازد. سپس فناوری‌های مهم اینترنت اشیاء که به دو دسته بُرد کوتاه و بُرد بلند تقسیم‌بندی خواهند شد را بیان می‌کند. همچنین به مسائل پیرامون استاندارد اینترنت اشیاء از دیدگاه انجمن جهانی مخابرات پرداخته خواهد شد. در نهایت نیز چالش‌هایی که این فناوری دارد و کشور با آنها مواجه خواهد شد بررسی می‌شوند. این چالش‌ها موارد مربوط به مقررات‌گذاری، طیف فرکانسی مورد نیاز، امنیت و محرمانگی را هدف قرار می‌دهند.

۱-۱. معرفی فناوری‌ها

فناوری‌ها و شبکه‌های ارتباطی اینترنت اشیاء را می‌توان براساس گستره پوشش به دو دسته زیر تقسیم‌بندی کرد:

- شبکه‌های بُرد کوتاه
- شبکه‌های بُرد بلند

شبکه‌های بُرد کوتاه در کاربردهای محلی مانند موارد کاربرد درون خانه یا درون خودرو مناسب هستند و شبکه‌های بُرد بلند نیز مناسب پوشش ناحیه‌ای و حتی منطقه‌ای مانند سطح یک شهر یا استان هستند. در ادامه هر دو شبکه‌های بُرد بلند و بُرد کوتاه از اینترنت اشیاء بررسی خواهد شد.

۱-۲. شبکه‌های بُرد کوتاه

فناوری‌های مختلفی به‌عنوان شبکه‌های مخابراتی بدون سیم بُرد کوتاه وجود دارند. این فناوری‌ها معمولاً باندهای فرکانسی آزاد بدون نیاز به مجوز را به کار می‌گیرند. این فناوری‌ها گستره‌های چند ده سانتیمتر



تا چند ده متر را تحت پوشش قرار می‌دهند و هریک از توپولوژی‌های مختلف شبکه بهره می‌گیرند. این فناوری‌ها برای ایجاد شبکه در خانه، کارخانه، خودرو و مواردی از این دست مناسب هستند. پُرکاربردترین فناوری‌های بُرد کوتاه عبارتند از:

- WiFi
- Bluetooth و BLE^۱
- Zigbee
- Z-Wave
- RFID
- NFC
- ANT+ و ANT

به‌منظور درک بهتر پیرامون فناوری‌های فوق، جدول زیر مشخصات هریک از این شبکه‌های بُرد کوتاه را شرح می‌دهد. در نتیجه، از این جدول می‌توان برای شناخت و مقایسه بهتر این فناوری‌ها با یکدیگر بهره برد.

جدول ۱. مقایسه فناوری‌های بُرد کوتاه

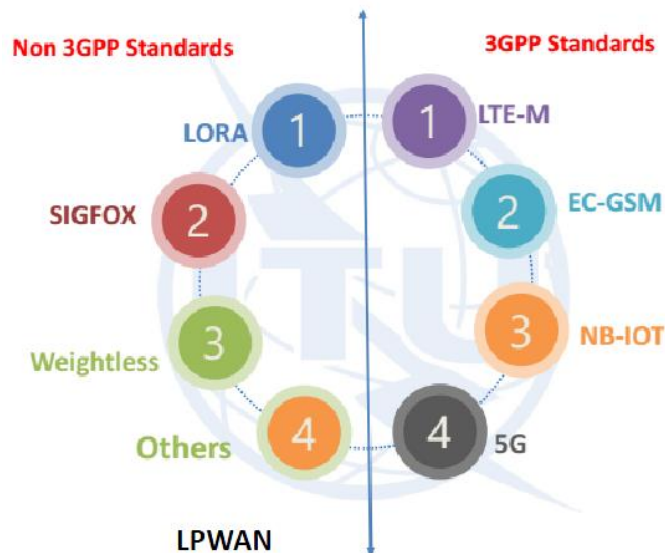
فناوری	باند فرکانسی	توپولوژی	نرخ بیت	گستره تحت پوشش	کاربرد غالب
ANT+	۲/۴ گیگاهرتز	نقطه-به-نقطه، ستاره‌ای، درختی و میش ^۲	۱ مگابیت بر ثانیه	حداکثر تا ۱۰۰ متر	ورزش و تناسب اندام
Bluetooth	۲/۴ گیگاهرتز	ستاره‌ای	۲/۱ مگابیت بر ثانیه	۹ تا ۹۰ متر	تبادل داده، هدست
BLE	۲/۴ گیگاهرتز	ستاره‌ای	۲۶۰ کیلوبیت بر ثانیه	۵ تا ۱۰ متر	سلامتی و تناسب اندام
NFC	۱۳/۵۶ مگاهرتز	نقطه-به-نقطه	۴۰۰ کیلوبیت بر ثانیه	کمتر از ۱۰ سانتیمتر	پرداخت، اشتراک، دسترسی
RFID	۱۳/۵۶ مگاهرتز	نقطه-به-نقطه	۴۰۰ کیلوبیت بر ثانیه	کمتر از ۳ متر	ردیابی، شناسایی
KNX	۸۶۸ مگاهرتز	ستاره‌ای، درختی و میش	۱/۲ کیلوبیت بر ثانیه	۸۰۰ متر	اتوماسیون ساختمان
WiFi	۲/۴، ۳/۶ و ۵ گیگاهرتز	ستاره‌ای	۱۱-۱۰۰ مگابیت بر ثانیه	۴ تا ۲۰ متر	اینترنت، چندرسانه‌ای
ZigBee	۲/۴ گیگاهرتز و ۸۶۸ مگاهرتز	ستاره‌ای، درختی و میش	۲۵۰ کیلوبیت بر ثانیه	۱۰ تا ۱۰۰۰ متر	اتوماسیون ساختمان و خانه هوشمند، نظارت بر سلامت شخصی، کنترل ابزارآلات صنعتی، کنترل امنیت ساختمان
Z-wave	۹۰۸ مگاهرتز	میش	۴۰ کیلوبیت بر ثانیه	۳۰ متر	روشنایی منزل و اتوماسیون
Wireless Hart	۲/۴ گیگاهرتز	ستاره‌ای و میش	۲۵۰ کیلوبیت بر ثانیه	۲۰۰ متر	شبکه‌های حسگر صنعتی

1. Bluetooth Low Energy
2. Mesh

۳-۱. شبکه بُرد بلند

همان‌طور که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است، براساس دیدگاه انجمن جهانی مخابرات شبکه‌های بُرد بلند را می‌توان به دو دسته استانداردهای مبتنی بر 3GPP^۱ و استانداردهای غیر 3GPP یا شبکه‌های بُرد بلند توان پایین^۲ (LPWAN) تقسیم‌بندی کرد. 3GPP انجمنی است که استانداردهای ارتباطات تلفن همراه بین‌المللی را مشخص می‌نماید و استانداردهای اینترنت اشیاء سلولی را مبتنی بر فناوری‌های ارتباطات تلفن همراه بین‌المللی استاندارد می‌نماید. استانداردهای غیر 3GPP یا اصطلاحاً شبکه‌های بُرد بلند توان پایین توسط نهادهای دیگر استاندارد می‌شوند و مبتنی بر استانداردهای شبکه‌های تلفن همراه نیستند. در ادامه هردو دسته تشریح خواهند شد.

شکل ۱. تقسیم‌بندی شبکه‌های بُرد بلند از دیدگاه انجمن جهانی مخابرات



۱-۳-۱. شبکه‌های مبتنی بر استاندارد 3GPP

شبکه‌های مبتنی بر استاندارد 3GPP، شامل فناوری‌های زیر هستند:^[۳]

- LTE-M^۳
- EC-GSM^۴
- اینترنت اشیاء باند باریک (NB-IoT)^۵
- 5G

1. 3rd Generation Partnership Project
 2. Low Power Wide Area Network
 3. Long Term Evolution-machine Type Communication
 4. Enhanced Carrier Global System for Mobile Communications
 5. Narrow-band Internet of Things



البته باید توجه داشت که تمامی موارد فوق به عنوان سرویس های اپراتورهای شبکه سیار هستند و در باندهای فرکانسی دارای مجوز به کار گرفته می شوند و چون از باندهای دارای مجوز توسط اپراتورهای تلفن همراه استفاده می نمایند از این رو، با تداخل مواجه نخواهند شد.

۱-۳-۱-۱. فناوری اینترنت اشیاء باند باریک

فناوری اینترنت اشیاء باند باریک توسط 3GPP در نسخه ۱۳ از استاندارد نسل چهارم تلفن همراه توسعه داده شده است تا امکان اتصال سرویس ها و دستگاه ها را از طریق شبکه های سلولی اپراتورهای تلفن همراه فراهم کند و از طیف فرکانسی دارای مجوز بهره گیرد. این فناوری به طور خاص بر روی پوشش دهی بیشتر، قیمت پایین، عمر بالای باتری و تعداد بالای اتصالات تمرکز دارد. این فناوری اگرچه به نوعی زیرمجموعه ای از استانداردهای فناوری نسل چهارم تلفن همراه به حساب می آید، اما در محدوده باند باریک با پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز تمرکز کرده است. [۴] و [۵]

فناوری اینترنت اشیاء باند باریک نسبت به فناوری LTE-M که پیش تر و برای ارتباطات ماشین - با - ماشین^۱ توسط 3GPP در نسخه ۱۲ از استاندارد نسل چهارم تلفن همراه ارائه شده بود، توان مصرفی پایین تر، هزینه کمتر و ناحیه پوشش وسیع تر را که از ویژگی های مشترک با شبکه های بُرد بلند توان پایین است تمرکز نموده است. در سوی دیگر اما نرخ داده این شبکه نسبت به سایر فناوری های 3GPP بسیار پایین تر است. [۱۴ و ۱۵]

مزیت های شبکه اینترنت اشیاء باند باریک نسبت به شبکه های تلفن همراه که پیش تر توسط 3GPP ارائه شده بودند عبارتند از: [۱۴ و ۱۵]

- شبکه اینترنت اشیاء باند باریک در زمان عملکرد توان مصرفی بسیار کمتری دارد.
- انتظار می رود هزینه اولیه ماژول های شبکه اینترنت اشیاء باند باریک قابل مقایسه با فناوری نسل دوم تلفن همراه باشد. با این حال این فناوری بسیار ساده تر از نسل دوم تلفن همراه است و با افزایش تقاضا، هزینه آن نیز کاهش می یابد.
- فناوری شبکه اینترنت اشیاء باند باریک می تواند عمق نفوذ بیشتری نسبت به LTE-M فراهم کند، البته در مقابل نرخ انتقال داده آن نیز کمتر است.

انجمن 3GPP در سال ۲۰۱۴ و در نسخه ۱۳ خود مبتنی بر استاندارد نسل چهارم تلفن همراه، به منظور پاسخ به نیازهای مربوط به اینترنت اشیاء، گام های اولیه در توسعه استاندارد هر دو سمت شبکه و دستگاه های انتهایی را شروع کرد. کاربردهای متنوع، وضعیت بازار و طیف فرکانسی در دسترس و همچنین ارائه برخی فناوری های رقیب، مشوق های 3GPP برای ورود به این عرصه به شمار می رفت. [۱۴ و ۱۵]

خروجی این فرایند ارائه استانداردهایی از جمله EC-GSM، LTE-M و در نهایت اینترنت اشیاء باند باریک است که در اواسط سال ۲۰۱۷ نهایی و عرضه شد. فناوری LTE-M برای کاربردهایی که

حجم داده بیشتری در آنها ارسال می‌شود، مناسب است. در مقابل فناوری اینترنت اشیاء باند باریک با تمرکز بر کاربردهای شبکه‌های بُرد بلند توان پایین و پایین آوردن توان مصرفی و هزینه‌ها ارائه شده است. پهنای باند و حجم داده ارسالی در فناوری اینترنت اشیاء باند باریک به مراتب کمتر از فناوری LTE-M است، از این رو فناوری اینترنت اشیاء باند باریک برای کاربردهای سنسوری بهینه است. برای نمونه در کاربردهای سنجش آب که نیاز به ناحیه پوشش وسیع و هزینه پایین دارد فناوری اینترنت اشیاء باند باریک نسبت به LTE-M مناسب‌تر خواهد بود. [۱۴ و ۱۵]

با توجه به اینکه شبکه اینترنت اشیاء باند باریک برپایه شبکه سلولی نسل چهارم تلفن همراه و در باندهای مجوزدار شکل گرفته است، از این رو، مدل توسعه آن نیز کاملاً مشابه شبکه‌های ارتباطی تلفن همراه و مبتنی بر اپراتورهاست. بنابراین، امکان راه‌اندازی شبکه‌های خصوصی مبتنی بر این فناوری وجود ندارد و توسعه این شبکه در هر منطقه، نیازمند تصمیم اپراتورهای محلی برای به‌روزرسانی ایستگاه‌های پایه نسل چهارم تلفن همراه است. [۱۴ و ۱۵]

همچنین با توجه به اینکه این پروتکل با تأخیر قابل توجهی نسبت به دو رقیب اصلی خود در حوزه بُرد بلند توان پایین ارائه شده است، در فرایند تجاری‌سازی نیز فاصله زیادی با این دو دارد. [۱۴ و ۱۵]

۲-۳-۱. شبکه بُرد بلند توان پایین

فناوری شبکه‌های بُرد بلند توان پایین یا شبکه‌های (LPWAN) امکان اتصال دستگاه‌ها در محدوده‌ای وسیع، با مصرف توان کم (طول عمر زیاد باتری) را فراهم می‌کنند. شبکه بُرد بلند توان پایین طیف گسترده‌ای از پروتکل‌ها و فناوری‌ها را دربر می‌گیرد که امکان اتصال سنسورها و کنترل‌کننده‌ها را بدون استفاده از شبکه‌های قدیمی همچون WiFi و شبکه‌های تلفن همراه فراهم می‌آورند. شبکه‌های بُرد بلند توان پایین نسبت به اغلب شبکه‌های بدون سیم متداول از نرخ داده کمتری برخوردار هستند؛ اما ویژگی اتصال ارزان و به‌صرفه و همچنین پشتیبانی از تعداد بسیار زیادی تجهیز انتهایی (حسگر و عملگر) یک فرصت عالی برای راهکارهای اینترنت اشیاء به‌وجود آورده است. با استفاده از این شبکه‌ها، سنسورها و دستگاه‌ها می‌توانند اطلاعات را در محدوده چندین کیلومتر ارسال کنند و طول عمر باتری‌های معمول آنها حدود ۱۰ سال خواهد بود. [۴] و [۵]

بسیاری از راهکارهای اینترنت اشیاء به سنسورهایی نیاز دارند تا داده‌ها را در محدوده وسیعی منتشر کنند. کاربردهای آن را می‌توان در مجتمع‌های ساختمانی هوشمند، شهر هوشمند، صنعت هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند و موارد مشابه دید. هنگامی که سنسورهای زیادی در محدوده وسیعی قرار می‌گیرند، برای اتصال آنها به شبکه ارتباطات بدون سیم با بُرد بلند و توان مصرفی پایین نیاز است. [۴] و [۵]

تا اوایل سال ۲۰۱۳ عبارتی به نام LPWAN وجود نداشت، اما نیازمندی و شواهدی که از پتانسیل بسیار بالای فناوری‌های بُرد بلند توان پایین به‌دست آمد، این فناوری را به یکی از جنبه‌های مهم و در حال توسعه بازار اینترنت اشیاء تبدیل کرد. موضوع قابل توجه این است که شبکه‌های بُرد بلند توان



پایین با ایجاد ناحیه پوشش وسیع، با هزینه پایین تر و مصرف توان بهینه، به عنوان مکمل و نه جایگزین شبکه های سلولی و فناوری های بُرد کوتاه به حساب می آیند. [۴] و [۵]

همان طور که اشاره شد، مهم ترین دلایل به وجود آمدن بازارهای جدید مبتنی بر این فناوری عبارتند از: [۴] و [۵]

• **عمق نفوذ بالای امواج:** توانایی امواج در رسیدن به عمق زیر سطح زمین این فناوری را برای کاربردهایی نظیر اتصال تجهیزاتی که در زیر زمین قرار گرفته اند مانند کنتور آب یا سنسورهای پایش لوله های فاضلاب و پایش رطوبت خاک مناسب ساخته است.

• **هزینه پایین:** شبکه های بُرد بلند توان پایین با فروش مودم هایی با قیمت کمتر از ۵ دلار و هزینه اتصال سالیانه کمتر از ۱ دلار (برای برخی کاربردها)، از قابلیت استفاده در اتصال محدوده وسیعی از تجهیزات برخوردار است. در حالی که استفاده از شبکه های سلولی سنتی بسیار گران تر است، اما هزینه شبکه های بُرد بلند توان پایین سال به سال روندی کاهشی دارد.

• **عمر باتری طولانی:** ممکن است استفاده از شبکه های سلولی برای برخی از کاربردهای اینترنت اشیا از نظر هزینه منطقی به نظر برسد، اما به دلیل عدم دسترسی به منبع تغذیه دائمی استفاده از آن غیرممکن است. بی شک ارائه سرویسی که بدون نیاز به تعویض باتری برای چندین سال به درستی فعالیت کند، بازارهای بسیاری را ایجاد می کند که از مهم ترین آنها می توان به کنتورهای گاز و آب اشاره کرد.

در نتیجه، از مزایای شبکه بُرد بلند توان پایین، می توان از یک سو به مصرف بسیار پایین توان ماژول های شبکه و از سوی دیگر به بُرد بلند و پوشش گسترده این شبکه ها اشاره کرد. این شبکه ها در فرکانس های زیر یک گیگاهرتز کار می کنند که این امر نیز به عمق نفوذ آنها کمک زیادی خواهد کرد. [۶]

شاخص های اصلی که شبکه های بُرد بلند توان پایین از آنها برخوردار هستند، عبارتند از: [۶]

- توان مصرفی بسیار پایین
 - راندمان بالای شبکه برای تبادل اطلاعات و داده
 - اتصال تعداد زیادی دستگاه انتهایی به هر گیتوی و در نتیجه پشتیبانی شبکه از تعداد زیادی دستگاه انتهایی و سنسور
 - محدوده پوشش بیشتر
 - امنیت بهتر
 - هزینه کم زیرساخت شبکه
- از مهم ترین فناوری های شبکه های بُرد بلند توان پایین می توان موارد زیر را نام برد:
- سیگفاکس^۱

- LoRaWAN
- RPMA
- Weightless

در ادامه به تشریح این فناوری‌ها خواهیم پرداخت.

۱-۳-۲-۱. فناوری سیگفاکس

فناوری سیگفاکس در سال ۲۰۰۹ توسط یک شرکت فرانسوی با همین نام وارد بازار اینترنت اشیاء شد. این فناوری به سرعت توانست به دلیل بازاریابی خوب خود در اروپا بازار خوبی را کسب نماید. فناوری سیگفاکس به واسطه طراحی خود گزینه خوبی برای کاربردهایی است که در آنها سیستم تنها نیاز دارد تا داده‌های کوچک و نامتناوب را ارسال نماید. از این رو، این فناوری برای کاربردهایی شامل سنسورهای با داده‌های کم بهینه شده است. اگرچه این فناوری دارای معایبی نیز است. ارسال داده‌ها به سنسورها/دستگاه‌ها (قابلیت ارتباطات فروسو) به شدت محدود است و تداخل نیز می‌تواند یک مسئله مهم در این فناوری به شمار آید.^[۳]

فناوری سیگفاکس داده‌های خود را در باندهای فرکانسی بدون نیاز به مجوز و از طریق مدولاسیون فوق باند باریک^۱ UNB انتقال می‌دهد. در نتیجه داده‌ها در محدوده‌ای وسیع با سرعت پایین، اما با مقاومت بالا در برابر تضعیف و نویز ارسال می‌شود. البته پروتکل سیگفاکس یک فناوری اختصاصی است و شبکه آن به طور انحصاری توسط این شرکت و با همکاری شرکای منطقه‌ای آن توسعه می‌یابد.^[۴] و [۵]

در مقابل مصرف انرژی و هزینه بالا در فناوری شبکه‌های تلفن همراه که معمولاً توسط تلفن‌های هوشمند استفاده می‌شوند، فناوری سیگفاکس نوع جدیدی از فناوری شبکه با ویژگی‌هایی از جمله شبکه‌ای ارزان قیمت با توان مصرفی پایین و نرخ داده محدود را ارائه می‌کند. شبکه سیگفاکس برای برقراری تمام ارتباطات خود از باند فرکانسی بدون نیاز به مجوز بهره می‌برد. پروتکل‌های لایه شبکه سیگفاکس نیز محرمانه بوده و تنها در اختیار آن شرکت است.

شکل ۲. معماری شبکه سیگفاکس



1. Ultra Narrow Band



شبکه سیگفاکس به طور انحصاری توسط این شرکت و با همکاری شرکای منطقه‌ای توسعه می‌یابد، از این رو نسبت به مهم‌ترین رقیب خود یعنی شبکه LoRaWAN که از یک استاندارد باز برخوردار است، کشورهای کمتری را تحت پوشش قرار داده است و سرعت رشد پایین‌تری دارد. فناوری سیگفاکس در انتهای سال ۲۰۱۸ در ۴۵ کشور جهان راه‌اندازی شده است.

فناوری سیگفاکس برای مدل تجاری خود یک رویکرد بالا به پایین را اتخاذ کرده است. این شرکت تمام فناوری از بخش دیتاها و سرور ابری تا نرم‌افزار سمت دستگاه‌های انتهایی را به صورت کامل و انحصاری در اختیار خود دارد. تنها بخشی که این فناوری به سایر کمپانی‌ها اجازه مشارکت می‌دهد، فناوری سمت دستگاه‌های انتهایی است. در حال حاضر چندین شرکت^۱ ماژول‌های رادیویی این شرکت را تولید می‌کند.

درواقع راهبرد تجاری سیگفاکس این است که به عنوان یک اپراتور سراسری شبکه اینترنت اشیا عمل کرده و با ارائه شبکه و نرم‌افزار به عنوان خدمت، کسب درآمد کند. فناوری سیگفاکس از طریق همکاری با اپراتورها، شبکه خود را گسترش می‌دهد و به جای فروش سخت‌افزارهای سمت دستگاه انتهایی، از شارژهای دوره‌ای درآمد کسب می‌کند.

اما در این مدل تجاری چالش‌هایی نیز وجود دارد. به عنوان نمونه کسی که می‌خواهد از شبکه سیگفاکس استفاده کند راهی جز مکاتبه مستقیم با خود این شرکت ندارد. علاوه بر این، در یک منطقه تنها یک ارائه‌دهنده شبکه سیگفاکس می‌تواند وجود داشته باشد؛ چراکه این شرکت با اپراتورهای شبکه به صورت انحصاری توافق می‌کند. از این رو جهت توسعه خدمات در تمامی مناطق مورد نظر، لازم است توافق نماینده شبکه سیگفاکس برای ایجاد زیرساخت در آن منطقه جلب شود.

در کنار موارد اشاره شده، مدل ارائه سرویس شبکه سیگفاکس و عدم امکان ارائه خدمات و جمع‌آوری داده‌ها بر بستری غیر از زیرساخت اختصاصی این کمپانی فرانسوی، استفاده از این بستر را برای راهکارهایی که منجر به جمع‌آوری اطلاعات حساس شهروندان می‌شود را با چالش‌هایی مواجه کرده است.

۲-۳-۱. فناوری LoRaWAN

شبکه LoRaWAN یکی از پروتکل‌های اصلی بُرد بلند توان پایین ویژه اینترنت اشیا است. فناوری LoRaWAN یک لایه شبکه استاندارد باز است که توسط LoRa Alliance اداره می‌شود. اگرچه این فناوری کاملاً باز نمی‌باشد زیرا که تراشه لایه فیزیکی تنها از طریق شرکت Semtech پیاده‌سازی می‌شود. اساساً، LoRa یک لایه فیزیکی و تراشه می‌باشد، درحالی‌که LoRaWAN لایه MAC^۲ است و درواقع نرم‌افزاری می‌باشد که بر روی تراشه قرار داده می‌شود تا امکان شبکه‌سازی را فراهم نماید.

۱. شرکت‌های تولیدکننده قطعات الکترونیکی و مخابراتی نظیر STMicroelectronics، Atmel و Texas Instruments
2. Medium Access Control

LoRaWAN پروتکل کامل شبکه‌ای است که بر مبنای مدولاسیون LoRa ارائه شده است. این پروتکل توسط جامعه LoRa Alliance با بیش از ۵۰۰ عضو از سراسر دنیا حمایت و پشتیبانی می‌شود.^[۷]

این فناوری بر پایه طیف گسترده استوار است، از این رو، به جای به کارگیری ارسال باند باریک، در این فناوری، اطلاعات بر روی کانال‌های فرکانسی مختلف گسترده می‌شوند. این فناوری در باندهای کمتر از یک گیگاهرتز کار می‌کند.^[۳]

این فناوری به سیگنال‌ها اجازه می‌دهد تا حتی در سطوح پایین‌تر از نویز نیز منتشر و بازیابی شوند. تجهیزات مبتنی بر LoRaWAN می‌توانند تا سال‌ها فقط با یک باتری کار کنند. شاید مهم‌ترین مشخصه شبکه LoRaWAN که توانسته است در کنار مزیت‌های فنی این پروتکل زمینه رشد سریع آن را فراهم کند، رویکرد غیرانحصاری توسعه این پروتکل بر بستر یک جامعه آزاد و با مشارکت مجموعه‌های مختلف فناوری باشد.^[۸ و ۹]

در حقیقت LoRa (که مخفف Long Range است) یک لایه فیزیکی یا یک مدولاسیون مخابرات بدون سیم است که برای ایجاد لینک ارتباطی بُرد بلند به کار گرفته می‌شود. LoRa مبتنی بر مدولاسیون طیف گسترده چیرپ^۱ می‌باشد که از مشخصات توان کم و بُرد بلند برخوردار است.^[۱۰ و ۱۱]

بسیاری از سیستم‌های پیشین به منظور رسیدن به توان پایین از مدولاسیون^۲ FSK در لایه فیزیکی بهره می‌بردند. اما LoRa علاوه بر فراهم آوردن خاصیت توان پایین مدولاسیون FSK، ناحیه پوشش و نفوذپذیری را نیز به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. چندین دهه چنین مدولاسیونی به دلیل مقاومت در برابر تداخل و ناحیه پوشش وسیع، تنها در کاربردهای نظامی و ارتباطات فضایی استفاده می‌شد. اما LoRa اولین پیاده‌سازی کم‌هزینه و مناسب برای کاربردهای تجاری از چنین سیستمی است که در باندهای بدون نیاز به مجوز کار می‌کند.^[۸ و ۹]

پروتکل LoRaWAN یک پروتکل ارتباطی و یک معماری سیستمی برای شبکه فراهم می‌سازد. پروتکل و معماری شبکه بیشترین تأثیر در تعیین طول عمر باتری گره، ظرفیت شبکه، کیفیت سرویس و امنیت را دارد.^[۶]

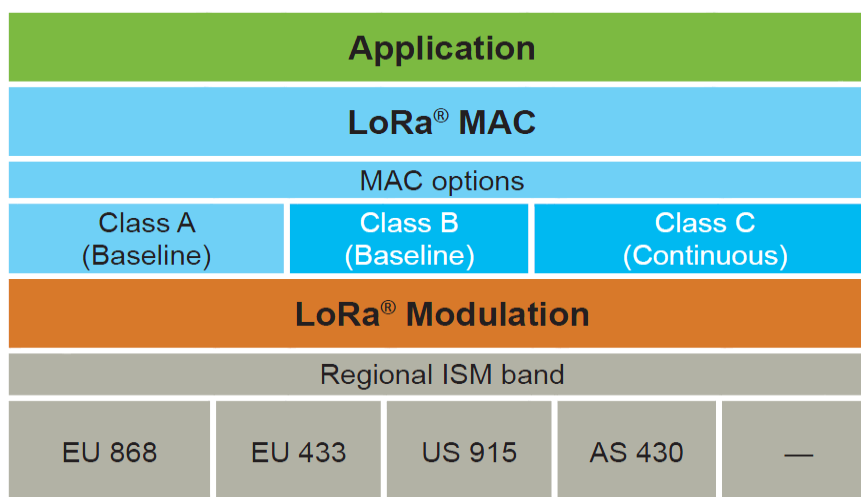
پروتکل LoRaWAN یک پروتکل لایه ۲ (MAC) است که هدف آن ایجاد شبکه‌ای از سنسورهای LoRa با ظرفیت بالا، بُرد بلند و توان کم است. این یک پروتکل باز استاندارد بُرد بلند توان پایین است.^[۶] پروتکل LoRaWAN دوسویه است، به طوری که امکان تحویل پیام را فراهم می‌سازد. این پروتکل از مزایای قابل توجهی از قبیل رمزنگاری انتها - به - انتها برای امنیت و محرمانگی داده، قابلیت ارسال

1. Chirp
2. Frequency Shift Keying



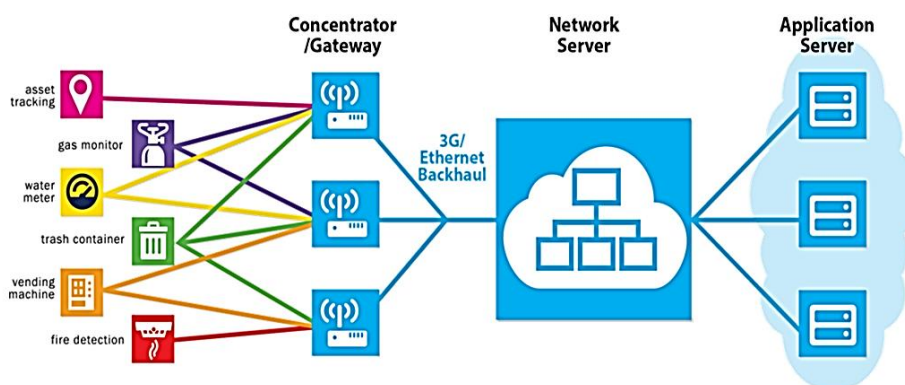
پیام گروهی و کلاس‌های مختلف عملکردی دستگاه برخوردار است.^[۶] شکل زیر جایگاه پروتکل LoRaWAN و مدولاسیون LoRa را شرح می‌دهد.

شکل ۳. معماری لایه‌بندی و جایگاه مدولاسیون LoRa و پروتکل LoRaWAN^[۶ و ۱۲]



شکل زیر معماری شبکه LoRaWAN را شرح می‌دهد که توپولوژی آن به صورت ستاره‌ای است.^[۶] معماری ساختار شبکه LoRaWAN همان‌طور که در شکل نیز نشان داده شده است از دستگاه‌های انتهایی مبتنی بر LoRa (شامل سنسورها و عملگرها) که اصطلاحاً تجهیز انتهایی^۱ نامیده می‌شوند، گیتوی، سرور شبکه و در نهایت اپلیکیشن و نرم‌افزار کاربر تشکیل شده است.^[۸ و ۹]

شکل ۴. معماری شبکه بُرد بلند کم‌توان LoRaWAN^[۶]



چهار بخش اصلی تشکیل‌دهنده ساختار شبکه بُرد بلند کم‌توان LoRaWAN عبارتند از:^[۸]

- **تجهیز انتهایی:** این واحد شامل ماژول LoRa، سنسور، پردازنده و باتری است.
- **گیت‌وی:** این بخش بر روی دکل نصب شده و در پایین‌دستی با ماژول‌های ارتباطی LoRa در ارتباط است و در بالادستی با سرور شبکه از طریق یک لینک بک‌هال^۱ Backhaul تبادل داده می‌نماید.
- **سرور شبکه:** این واحد مدیریت ارتباطات ماژول‌ها را برعهده دارد. این واحد مدیریت می‌کند تا داده‌ای از یک تجهیز انتهایی از طریق گیت‌وی به شبکه ارسال شود یا بالعکس.
- **برنامه کاربرد:** از طریق این برنامه کاربردی موقعیت تجهیزات انتهایی، داده‌های سنسورها و گزارش‌های مربوطه پیرامون وضعیت تجهیزات انتهایی و تمام موارد مربوط به کاربرد و گزارش‌ها و ارزش‌افزوده داده‌ها فراهم می‌شود و در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

توپولوژی شبکه LoRaWAN به‌صورت ستاره‌ای است. دستگاه‌های انتهایی اطلاعات را از طریق شبکه LoRaWAN به گیت‌وی ارسال می‌کنند. سپس گیت‌وی پس از دریافت داده آن را بر روی یک لینک ارتباطی به سمت سرور شبکه ارسال می‌کند. این لینک ارتباطی می‌تواند توسط شبکه اپراتورهای تلفن همراه، لینک مایکروویو، فیبر نوری یا موارد دیگر طراحی شود. سپس اطلاعات توسط سرور شبکه توسط نرم‌افزار کاربرد در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.^[۸ و ۹]

درحقیقت گیت‌وی و سرور شبکه مانند یک واسطه بین نرم‌افزار کاربر و دستگاه‌های انتهایی عمل می‌کنند و امکان رسیدن داده به نرم‌افزار را فراهم می‌کنند. در شبکه LoRaWAN داده‌ها به‌صورت انتها - به - انتها بین دستگاه‌ها و اپلیکیشن کاربر از طریق رمزگذاری AES ارسال می‌شوند. ازاین‌رو امنیت اطلاعات کاربران نیز تضمین می‌شود.^[۸ و ۹]

فناوری LoRaWAN با به‌کارگیری لینک متقارن، امکان ارتباطات دوسویه را فراهم می‌کند؛ این مسئله به‌ویژه در سرویس‌های اینترنت اشیاء که نیاز به ارسال دستورهای کنترلی از سمت سرور به تجهیزات انتهایی را دارند، بسیار با اهمیت است.^[۸ و ۹]

از نظر مدل توسعه، شبکه LoRaWAN در مقابل شبکه سیگفاکس استراتژی کاملاً متفاوتی را اتخاذ کرده و مشارکت در تمام قسمت‌ها باز و امکان‌پذیر است. عضویت در انجمن LoRa Alliance و مشارکت در توسعه و استفاده از استانداردهای این فناوری برای همه امکان‌پذیر است. هر شرکت سخت‌افزاری می‌تواند دستگاه‌های انتهایی و گیت‌وی را مطابق با استانداردهای شبکه LoRaWAN تولید کند.^[۸ و ۹]

ازاین‌رو شبکه LoRaWAN راهبرد توسعه بسیار منعطفی را در پیش گرفته که به توسعه شبکه توسط یک شرکت خاص وابسته نیست. همین امر رشد این پروتکل را سرعت بخشیده است و علی‌رغم

1. Backhaul



شروع دیرتر نسبت به سیگفاکس هم‌اکنون در مناطق بیشتری پوشش رادیویی دارد. شبکه LoRaWAN تا انتهای سال ۲۰۱۸ در ۹۵ کشور وجود داشته است و این روند به شدت در حال افزایش است. همچنین مدل‌های متنوعی نیز از شبکه‌های کاملاً خصوصی و خارج از بستر اینترنت، تا شبکه‌های عمومی با طرح‌های تجاری مختلف، بر بستر این فناوری شکل گرفته است. ازسوی دیگر اکوسیستم باز شبکه LoRaWAN موجب شده است که این فناوری در بخش فنی نیز به سرعت توسعه و در این زمینه نسبت به سایر پروتکل‌ها پیش‌تاز باشد.^[۸ و ۹]

پروژه‌های مختلف و گسترده‌ای پیرامون شبکه بُرد بلند توان پایین مبتنی بر پروتکل LoRaWAN در نقاط مختلف جهان آغاز شده است که کاربردهای مختلفی از قبیل صنایع هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند، شهر هوشمند، سلامت هوشمند، خانه هوشمند، کشاورزی و دامداری هوشمند، کنترل هوشمند، و غیره را در بر می‌گیرد.^[۱۳]

۳-۲-۱. فناوری دسترسی چندگانه فاز تصادفی

فناوری دسترسی چندگانه فاز تصادفی^۱ (RPMA) یک فناوری بُرد بلند توان پایین اختصاصی است که توسط شرکت Ingenu توسعه یافته است. این شرکت در سال ۲۰۰۸ در ایالت سن دیه‌گو کشور آمریکا توسط مهندسين قدیمی شرکت کوالکام تأسیس شد.^[۳]

فناوری دسترسی چندگانه فاز تصادفی، به دلیل معماری خود از ظرفیت فراسو و فروسو بالاتری در مقایسه با مدل‌های دیگر برخوردار است. همچنین این فناوری ادعا می‌کند که نسبت به داپلر، تداخل و خطا در زمان‌بندی قدرتمندتر است. این فناوری در باند فرکانسی ۲/۴ گیگاهرتز کار می‌کند، که به طور کلی برای بلوتوث و WiFi به کار گرفته می‌شود. براساس مطالعات داخلی انجام شده فناوری دسترسی چندگانه فاز تصادفی دارای بودجه لینک بالاتر و در نتیجه دارای محدوده پوشش بهتری خواهد بود.^[۳]

۳-۲-۱. فناوری Weightless

گروه Weightless SIG در سال ۲۰۰۸ با مأموریت استانداردسازی شبکه‌های بُرد بلند توان پایین تأسیس شد. این گروه شامل پنج شرکت^۲ است. فناوری Weightless یک استاندارد باز است که در طیف بدون مجوز زیر یک گیگاهرتز کار می‌کند. سه نسخه از Weightless وجود دارد که اهداف متفاوتی را دنبال می‌کنند. در ادامه این سه نسخه توصیف خواهند شد.^[۳]

• **Weightless-W:** این فناوری از طیف فرکانسی بدون استفاده از باند تلویزیون محلی بهره می‌گیرد و از عمر باتری کمی برخوردار است.

• **Weightless-N:** این یک پروتکل باند باریک فرکانس بدون مجوز است که عملکردی مشابه با Sigfox دارد، اما دارای پیاده‌سازی لایه ۲ (MAC) بهتری است. این فناوری ادعا می‌کند که تکنیک‌های

1. Random Phase Multiple Access

۲. شرکت‌های Telensa و Sony-europe، M2COMM، ARM، Accenture

دمدولاسیون پیشرفته را به کار می‌گیرد که از این رو، امکان همزیستی با فناوری‌های رادیویی دیگر را بدون نویز اضافی فراهم می‌نماید.

• **Weightless-P**: این استاندارد هردو تکنیک دسترسی چندگانه تقسیم‌بندی زمانی^۱ (TDMA) و دسترسی چندگانه تقسیم‌بندی فرکانسی^۲ (FDMA) را در کانال‌های باند باریک ۱۲/۵ کیلوهرتز به کار می‌گیرد و از کانال‌های بزرگ‌تری از کانال‌های سیگفاکس برخوردار است، اما کوچک‌تر از کانال‌های به کار گرفته شده در LoRa است. این فناوری، همچنین دارای نرخ دیتای تطبیقی است که از ۲۰۰ بیت بر ثانیه تا ۱۰۰ کیلوبیت بر ثانیه تغییر می‌کند. در این فناوری، حساسیت گیرنده نسبتاً بالاست و از هر مدولاسیون‌های قوی‌تری پشتیبانی می‌کند.

۳-۳-۱. مقایسه بین فناوری‌های اینترنت اشیاء باند باریک و LoRaWAN

در حوزه اینترنت اشیاء فاکتورهای بسیاری از جمله هزینه تجهیزات انتهایی، هزینه شبکه، طول عمر باتری، تحرک، نرخ گذردهی،^۳ تأخیر، پوشش و مدل استقرار اهمیت پیدا می‌کنند؛ هیچ فناوری به تنهایی قادر نیست به طور هم‌زمان نسبت به تمامی بخش‌ها پاسخگو باشد. فناوری‌های اینترنت اشیاء باند باریک و LoRaWAN هر کدام دارای ویژگی‌های فنی و تجاری مخصوص به خود هستند که در ادامه به بیان آنها خواهیم پرداخت.^[۱۶]

۱-۳-۳-۱. طیف فرکانسی، کیفیت سرویس و هزینه

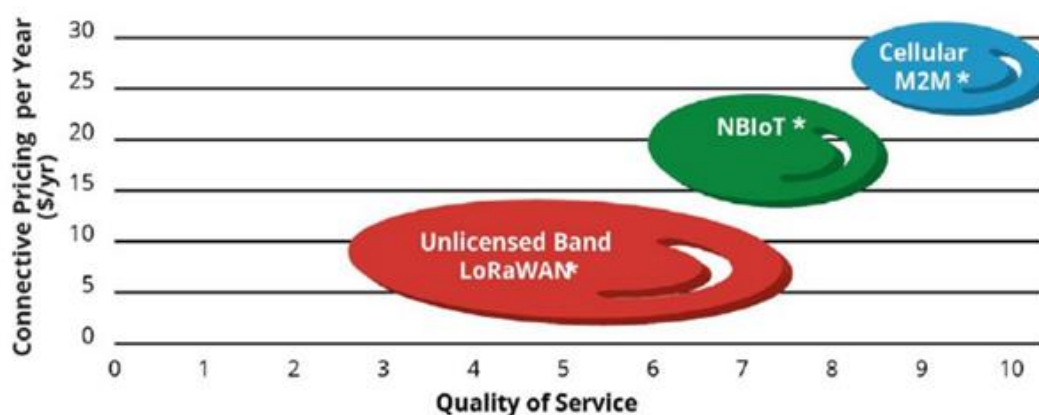
فناوری LoRaWAN طیف فرکانسی بدون مجوز و زیر یک گیگاهرتز را به خدمت می‌گیرد، لذا برای کاربران آن، طیف فرکانسی هزینه‌ای دربر نخواهد داشت، در حالی که شبکه‌های اینترنت اشیاء باند باریک و سلولی از باندهای دارای مجوز زیر یک گیگاهرتز استفاده می‌کنند. دلیل بهره‌گیری از باندهای فرکانسی زیر یک گیگاهرتز، برقراری ارتباطات در فواصل بیشتر و عمق نفوذ بیشتر امواج است.^[۱۶]

فناوری LoRaWAN از یک طیف بدون مجوز رایگان و یک پروتکل آسنکرون استفاده می‌کند، از این رو از نظر طول عمر باتری و هزینه بهینه است. از طرفی فناوری شبکه LoRaWAN نمی‌تواند همانند شبکه سلولی، کیفیت سرویس مشابه ارائه دهد. با وجود اینکه شبکه سلولی و اینترنت اشیاء باند باریک از دیدگاه کیفیت سرویس بهینه هستند، ولی از دیدگاه طول عمر باتری قابل مقایسه با فناوری LoRaWAN نیستند.^[۱۶]

1. Time Division Multiple Access
2. Frequency Division Multiple Access
3. Throughput



شکل ۵. مقایسه فناوری‌های اینترنت اشیا بر حسب کیفیت سرویس و هزینه



۳-۳-۱. طول عمر باتری و تأخیر در ارتباطات فروسو

درخصوص طول عمر باتری دو جنبه مهم قابل بررسی است: [۱۶]

- مصرف جریان تجهیزات (پیک و میانگین)

- نقش پروتکل

پروتکل LoRaWAN یک پروتکل آسنکرون مبتنی بر ALOHA است، بدین معنا که تجهیزات انتهایی تا زمانی که قصد ارسال داده‌ای را نداشته باشند در حالت استراحت می‌روند که مصرف باتری در این حالت ناچیز است. درحالی‌که در پروتکل سنکرون مبتنی بر شبکه سلولی، تجهیزات می‌بایست به‌صورت منظم با شبکه هماهنگ شوند و باید برای اطلاعات مورد نیاز خود به کانال سیگنالینگ گوش فرا دهند که این موضوع مصرف باتری در پی خواهد داشت. به‌عنوان نمونه، به‌طور میانگین تلفن‌های همراه در شبکه سلولی می‌بایست هر ۱/۵ ثانیه با شبکه سنکرون شود حتی زمانی‌که به تبادل اطلاعات نمی‌پردازد و در وضعیت آزاد^۱ قرار دارد. به‌طور مقایسه‌ای، در اینترنت اشیا باند باریک نیز اگرچه هم‌زمانی اغلب کمتر رخ می‌دهد، اما همچنان منظم است که سبب می‌شود انرژی بیشتری از باتری استفاده شود.

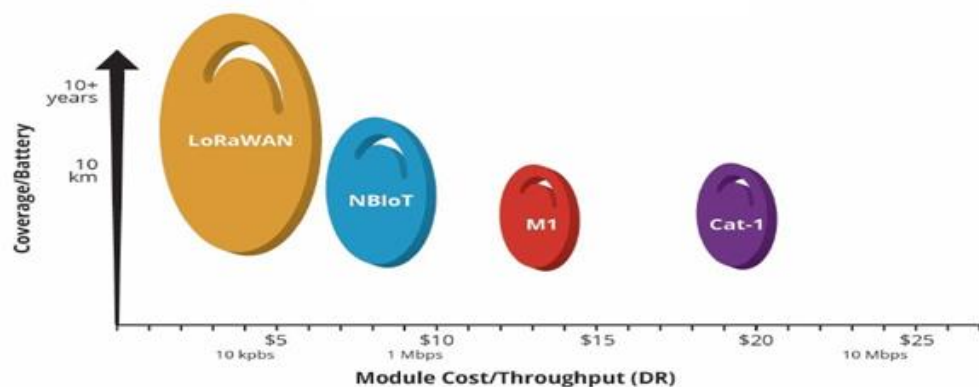
در فناوری نسل چهارم تلفن همراه به‌منظور بهره‌وری بالاتر در ارسال داده‌های با سرعت بالاتر و پهنای باند بیشتر از مدولاسیون چندگانگی تقسیم فرکانسی متعامد^۲ (OFDM) بهره می‌گیرند، اما این مدولاسیون از دیدگاه تجهیزات انتهایی چندان کارآمد نیست. در مدولاسیون چندگانگی تقسیم فرکانسی متعامد که در فناوری اینترنت اشیا باند باریک نیز استفاده می‌شود، یک فرستنده خطی مورد نیاز است

1. Idle

2. Orthogonal Frequency Division Multiplexing

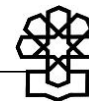
در حالی که فرستنده خطی در مقایسه با مدولاسیون غیرخطی به میزان بیشتر از میانگین جریان نیاز دارد. این میزان جریان بالاتر از میانگین، نیاز به باتری بیشتر و گران‌تری دارد تا از آن پشتیبانی نماید. ویژگی سنکرون یک شبکه سلولی فواید بسیاری در کاربردهایی که نیاز به تأخیر کوتاه در ارتباطات فروسو دارند ایجاد می‌نماید. فناوری اینترنت اشیاء باند باریک همچنین می‌تواند برای کاربردهایی که نیاز به نرخ گذردهی دیتای بالاتری دارند نرخ اطلاعات بالاتری را ارائه نماید. در مقابل فناوری LoRaWAN با پشتیبانی از کلاس B که از پروتکل ALOHA بخش‌بندی شده بهره می‌گیرد می‌تواند تأخیر ارتباطات فروسو را با بیداری تجهیزات در فواصل قابل برنامه‌ریزی به شدت کاهش دهد. برای کاربردهایی با نیازمندی‌هایی همچون ارتباطات بسیار پرتکرار و تأخیر خیلی کوتاه یا حجم اطلاعات بالا، فناوری اینترنت اشیاء باند باریک بهترین انتخاب خواهد بود. اگرچه در کاربردهایی که نیازمند باتری با طول عمر بسیار بالا و بهینه از نظر هزینه است، فناوری LoRaWAN انتخاب بهتری خواهد بود.

شکل ۶. مقایسه پوشش / باتری و هزینه ماژول / نرخ داده در فناوری‌های اینترنت اشیاء



۳-۳-۱. پوشش شبکه

یکی از مزایای فناوری اینترنت اشیاء باند باریک این است که زیرساخت‌های موجود شبکه سلولی به‌منظور سرویس‌دهی از این فناوری، قابل ارتقا هستند، اگرچه این ارتقا محدود به ایستگاه‌های پایه نسل چهارم تلفن همراه است و گران است، زیرا که فناوری اینترنت اشیاء باند باریک بر بستر نسل چهارم تلفن همراه ایجاد می‌شود. البته این استراتژی برای محیط‌های شهری پُرتراکم که پوشش شبکه نسل چهارم تلفن همراه دارند مناسب است، اما برای نواحی روستایی یا غیرشهری که پوشش این شبکه نسل چهارم تلفن همراه وجود ندارد، ایدئال نیست. مشخصات استاندارد اینترنت اشیاء باند باریک در ماه ژوئن سال ۲۰۱۶ منتشر شد و در نیمه اول سال ۲۰۱۷ تجهیزات و مودم‌های آن ساخته شد.



یکی از ویژگی‌های LoRaWAN قابلیت اجرای آن در مدل‌های خصوصی نیز به‌خوبی مدل‌های شبکه عمومی است. درحالی‌که اینترنت اشیاء باند باریک تنها محدود به مدل عمومی مبتنی بر ایستگاه‌های پایه سلولی نسل چهارم تلفن همراه است.^[۱۶]

۴-۳-۱. هزینه تجهیزات و شبکه

از دیدگاه تجهیزات انتهایی، مدولاسیون و پروتکل فناوری LoRaWAN در مقایسه با فناوری اینترنت اشیاء باند باریک ساده‌تر است و با هزینه پایین قابل پیاده‌سازی است. درمقابل، از آنجایی‌که فناوری اینترنت اشیاء باند باریک مبتنی بر زیرساخت نسل چهارم تلفن همراه است، ازاین‌رو، مدولاسیون و پروتکل فناوری اینترنت اشیاء باند باریک پیچیده‌تر است که درنتیجه هزینه این راهکار را افزایش می‌دهد.

۵-۳-۱. برخی نمونه‌های کاربردی

به‌منظور درک بهتر تمایز فناوری‌های LoRaWAN و اینترنت اشیاء باند باریک در ادامه چند نمونه از کاربردهای اینترنت اشیاء بررسی می‌شوند و بیان می‌شود که انتخاب کدام فناوری برای آن کاربرد مناسب‌تر است.

• ساختمان‌های هوشمند

کنترل و نظارت بر دما، رطوبت، امنیت، جریان آب و پریزهای برق با استفاده از نرم‌افزارهایی بر روی تلفن همراه و قابلیت پشتیبانی از هشدارهایی در مواقع بحران است که می‌تواند ساختمان‌های هوشمندی را فراهم کند تا از خسارات و نظارت سنتی جلوگیری نماید و کنترل دقیقی را بر روی تمامی اجزاء ساختمان فراهم آورد. نیازمندی‌های این سنسورها هزینه پایین به‌همراه باتری با طول عمر بالاست. آنها نیاز به ارتباطات مکرر و یا یک کیفیت سرویس ندارند. بنابراین، فناوری LoRaWAN یک انتخاب بهتر برای این بخش است.^[۱۶]

• ردیابی دارایی‌ها در لجستیک

ردیابی دارایی‌ها به‌منظور تعیین موقعیت یا شرایط تجهیزات بسیار مهم است. اینکه بتوان کالا یا خودرو را بر روی نقشه به‌صورت بلادرنگ در یک نرم‌افزار ردیابی کرد نیازمند یک شبکه اینترنت اشیاء است. در این بازار سهم اساسی را هزینه و طول عمر باتری ایفا می‌کند. گیت‌وی‌های با هزینه پایین می‌توانند به‌آسانی به‌منظور ایجاد پوشش مناسب و تجهیزات انتهایی نیز در روی وسایل نقلیه استقرار یابند. شبکه عمومی LoRaWAN در خارج از اماکن و یا وقتی که وسایل به دست مشتری می‌رسد می‌توانند مطرح شوند. درحالی‌که شبکه نسل چهارم تلفن همراه برای اینترنت اشیاء باند باریک ممکن است در تمام موقعیت‌های لجستیک که عمدتاً در مناطق خارج از شهر و روستایی هستند موجود نباشد. از طرفی فناوری LoRaWAN ویژگی‌های فنی منحصربه‌فردی دارد که ارتباطات را در حرکت با سرعت بالا نسبت به سیگنال‌های باند باریک قابل اعتمادتر می‌سازد. ازاین‌رو، به‌دلیل هزینه کم، طول عمر باتری بالا

و قابلیت ارائه یک راهکار اختصاصی به منظور تضمین پوشش شبکه، فناوری LoRaWAN در این بخش یک انتخاب برتر است.^[۱۶]

• کنترل برق

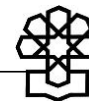
در بازار کنتورهای برق، شرکت‌ها معمولاً به نرخ بالای اطلاعات، ارتباطات مکرر و تأخیر کم نیاز دارند. از آنجاکه کنتورهای برق به منبع انرژی دسترسی دارند، از این‌رو نیاز به توان خیلی کم و باتری با طول عمر بالا ندارند. از طرفی به نظارت پیوسته شبکه توزیع نیاز دارند، بنابراین آنها می‌توانند تصمیمات فوری براساس بار مصرفی، قطعی و دیگر وقفه‌ها داشته باشند. کنتورهای برق می‌توانند با کلاس C شبکه LoRaWAN به منظور داشتن تأخیر کم، اجرایی شوند، اما به خاطر نرخ داده مطلوب بالاتر و ارتباطات مکرر، فناوری اینترنت اشیا باند باریک بهترین گزینه برای این‌گونه کاربردهاست. از آنجاکه کنتورهای برق بیشتر در نواحی پُرجمعیت قرار دارند از این‌رو، برای اپراتورهای شبکه تلفن همراه آسان است تا بتواند پوشش فناوری اینترنت اشیا باند باریک را فراهم کند یا این پوشش را تضمین نماید.^[۱۶]

• اتوماسیون تولید

کنترل و نظارت به موقع ماشین‌آلات و دستگاه‌های کارخانه می‌تواند هزینه‌های بخش نگهداری خط تولید را کاهش داده و همچنین با کنترل از راه دور می‌توان بهره‌وری را افزایش داد. انواع متفاوت سنسورها یا نیازمندی‌ها در اتوماسیون کارخانه‌ها وجود دارد. برخی از آنها به ارتباطات مکرر و یک کیفیت سرویس تضمین شده نیاز دارند که برای این موارد کاربرد فناوری اینترنت اشیا باند باریک بهتر از LoRaWAN است. برخی موارد کاربرد دیگر به سنسورهای با هزینه پایین با باتری با طول عمر بالا به منظور ردیابی تجهیزات، مانیتور موقعیت‌ها و شرایط نیاز دارند که در این خصوص فناوری LoRaWAN مناسب است. به دلیل تنوع زیاد نیازمندی‌ها برای این بخش هردو فناوری اینترنت اشیا باند باریک و LoRaWAN می‌توانند استفاده شوند.^[۱۶]

• کشاورزی

در بخش کشاورزی، سنسورهای با هزینه خیلی پایین و با طول عمر باتری زیاد مطلوب هستند. استفاده از سنسورهای دما، رطوبت هوا، فشار هوا، رطوبت خاک و pH خاک می‌تواند به میزان قابل توجهی امور کشاورزی مانند آبیاری را بهبود بخشد و مصرف آب را برای یکی از بزرگ‌ترین بازارهای جهانی مصرف آب کاهش دهد. سنسورها نیاز دارند تا اطلاعاتشان را در بازه‌های زمانی نسبتاً کوتاه به شبکه ارسال نمایند. نرم‌افزار براساس داده‌های سنسورها و همچنین داده‌های هواشناسی می‌تواند تصمیم بهینه را برای زمان آبیاری بگیرد. فناوری LoRaWAN برای این نیازمندی‌ها مطلوب است. به علاوه، بسیاری از مزارع تحت پوشش شبکه اپراتورهای شبکه موبایل یا نسل چهارم تلفن همراه نیستند، از این‌رو فناوری اینترنت اشیا باند باریک یک انتخاب قابل اعتماد نیست.^[۱۶]

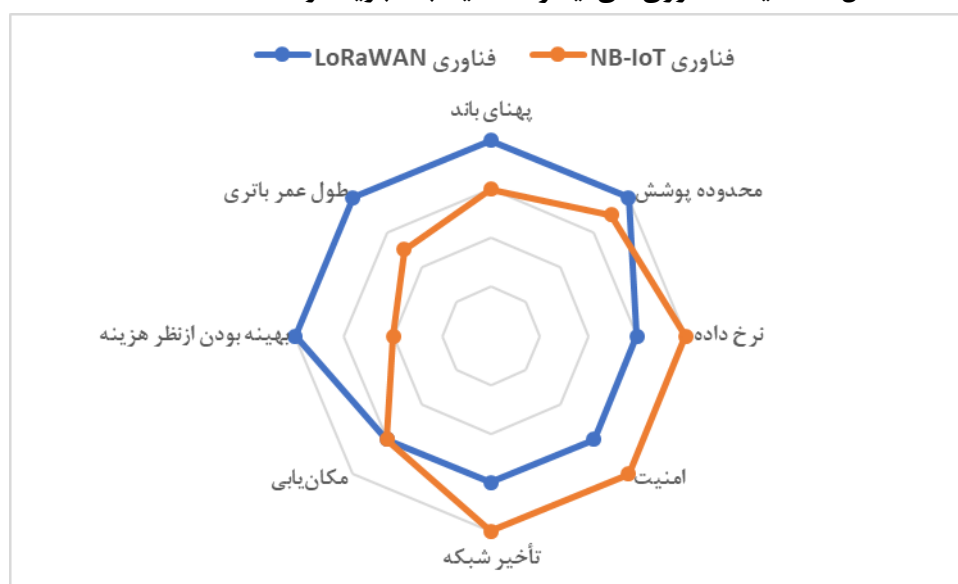


• دستگاه پایانه فروش بانکی

دستگاه‌های پایانه فروش بانکی نیازمند کیفیت سرویس هستند، زیرا آنها به ارتباطات پیوسته نیاز دارند. معمولاً این سیستم‌ها دارای انرژی برق هستند، بنابراین تمرکز روی طول عمر باتری چندان مهم نیست. از طرفی تمایل زیادی برای کاهش تأخیر وجود دارد، زیرا تأخیر زیاد می‌تواند تعداد معاملات و تراکنش‌های آنها را محدود سازد. از این رو، به دلیل ارتباطات مکرر و تضمین کیفیت سرویس مناسب، فناوری اینترنت اشیا باند باریک بهترین پیشنهاد برای این کاربرد است.^[۱۶]

شکل زیر مقایسه فناوری‌های اینترنت اشیا باند باریک و LoRaWAN را نشان می‌دهد.^[۱۷]

شکل ۷. مقایسه فناوری‌های اینترنت اشیا باند باریک و LoRaWAN^[۱۷]



همان‌طور که پیش‌تر بحث شد و در شکل نیز مشخص است، فناوری اینترنت اشیا باند باریک از نظر نرخ گذردهی، امنیت، تأخیر شبکه برتری دارد و در مقابل فناوری LoRaWAN در مواردی از جمله کارآمدی از نظر هزینه، طول عمر باتری و ایجاد پوشش دارای برتری است.

فصل دوم – استانداردهای اینترنت اشیا

مقدمه

با ظهور اینترنت اشیا و به‌کارگیری آن در حوزه‌های مختلف همچون شهر هوشمند، خانه هوشمند، کشاورزی هوشمند، صنایع هوشمند، خودروهای متصل به شبکه و....، نهادهای قانونگذاری شبکه، مخابرات، سخت‌افزار و امنیت جهت تعیین سیاست‌ها و قانون‌های مورد نیاز در این حوزه وارد شدند.

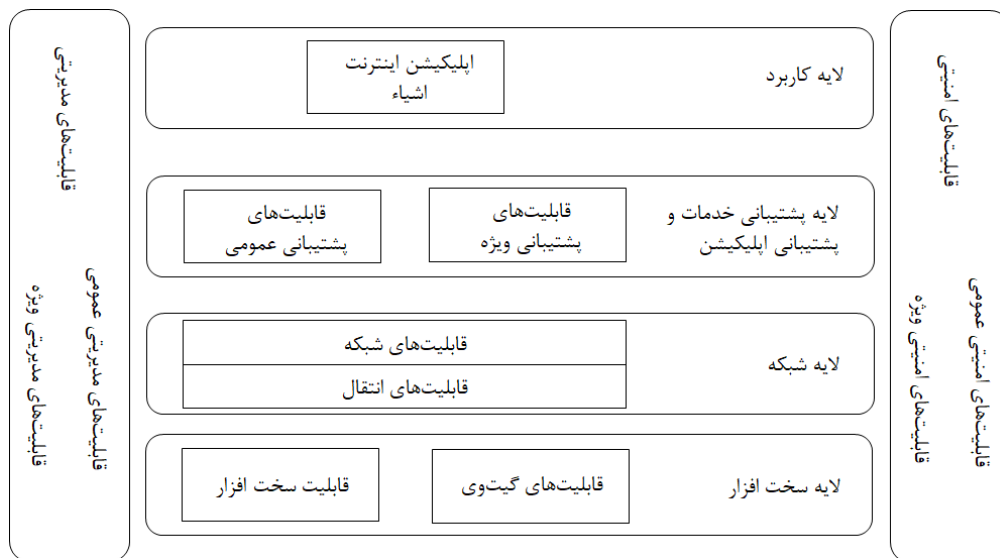
۲-۱. استاندارد اینترنت اشیاء براساس انجمن جهانی مخابرات

سازمان جهانی فناوری و ارتباطات در حوزه مخابرات ثابت و موبایل دارای سه مجموعه ITU-T^۱، ITU-R، D، ITU-T است. مجموعه ITU-T، بخش استانداردسازی این سازمان است که در این بخش گروهی با نام IoT-GSI^۲ به منظور اطلاع‌رسانی و توسعه استانداردهای شبکه اینترنت اشیاء تشکیل شده است.^[۱] این گروه با سایر نهادها و سازمان‌ها به منظور هماهنگ شدن با رویکردهای مختلف جهانی در معماری اینترنت اشیاء همکاری می‌کند.

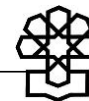
یکی از اسنادی که در سال ۲۰۱۲ توسط ITU-T ارائه شده، ITU-T Y.2060 است که در بخشی از آن به معرفی مدل مرجع اینترنت اشیاء می‌پردازد.^[۲] این مدل در شکل ۸ نمایش داده شده است و به این موضوع تأکید می‌کند که شبکه اینترنت اشیاء از چهار لایه اصلی به شرح ذیل تشکیل شده است:

- لایه اپلیکیشن^۳
- لایه پشتیبانی خدمات و پشتیبانی اپلیکیشن^۴
- لایه شبکه^۵
- لایه سخت‌افزار^۶

شکل ۸. مدل مرجع شبکه اینترنت اشیاء براساس استاندارد انجمن جهانی مخابرات^[۲]



1. International Telecommunication Union
2. Internet of Things Global Standards Initiative
3. Application Layer
4. Service Support and Application Support Layer
5. Network Layer
6. Device Layer



همان طور که در دیاگرام بلوکی شکل ۸ نیز مشاهده می شود، شبکه اینترنت اشیاء از ۶ بخش اساسی تشکیل شده است که در ادامه هر بخش به تفکیک بیان خواهد شد:

۲-۱-۱. لایه اپلیکیشن

لایه اپلیکیشن، اپلیکیشن های اینترنت اشیاء را دربرمی گیرد. این اپلیکیشن ها می توانند شامل برنامه موبایلی یا یک نرم افزار تحت وب باشند که عملیاتی مانند ردیابی افراد و ناوگان و کالا یا وضعیت سنسورها را مشخص نماید.

۲-۱-۲. لایه پشتیبانی خدمات و پشتیبانی اپلیکیشن

همان طور که در شکل ۸ نیز مشاهده می شود، این لایه از دو نوع قابلیت زیر تشکیل شده است:^[۲]

- **قابلیت های پشتیبانی عمومی:** قابلیت های متداولی هستند که می توانند توسط اپلیکیشن های مختلف اینترنت اشیاء، ازجمله پردازش و ذخیره سازی داده مورد استفاده قرار بگیرند. این قابلیت ها ممکن است توسط قابلیت های پشتیبانی ویژه فراخوانی شوند.

- **قابلیت های پشتیبانی ویژه:** قابلیت های خاصی هستند که نیازمندی های اپلیکیشن های متنوع را فراهم می کنند. درحقیقت ممکن است به منظور متمایز کردن اپلیکیشن های اینترنت اشیاء برای وظایف مختلف پشتیبانی، شامل دسته بندی های جزئی و گوناگون این قابلیت ها استفاده شوند.

۲-۱-۳. لایه شبکه

لایه شبکه شامل دو نوع قابلیت زیر است:^[۲]

- **قابلیت های شبکه:** فراهم آوردن عملکردهای کنترلی مربوط به اتصال به شبکه از قبیل عملکردهای کنترلی انتقال و دسترسی به منابع، مدیریت حرکت،^۱ احراز هویت،^۲ مجوز^۳ و اکانتینگ^۴ (AAA).
- **قابلیت های انتقال:** تمرکز بر تأمین اتصال برای انتقال اطلاعات و داده های خاص خدمات و اپلیکیشن های اینترنت اشیاء و همچنین انتقال اطلاعات کنترلی و مدیریتی مرتبط با اینترنت اشیاء.

۲-۱-۴. لایه سخت افزار

قابلیت های لایه سخت افزار را می توان به طور منطقی به دو نوع دسته بندی کرد:^[۲]

- **قابلیت های دستگاه:** قابلیت های دستگاه موارد زیر را شامل می شود، اما به آنها محدود نمی شود:

-
1. Mobility Management
 2. Authentication
 3. Authorization
 4. Accounting

○ تعامل مستقیم با شبکه ارتباطی: دستگاه‌ها می‌توانند اطلاعات را جمع‌آوری و به‌طور مستقیم و بدون استفاده از گیت‌وی در شبکه ارتباطی بارگذاری کنند. همچنین می‌توانند به‌طور مستقیم اطلاعات و دستورات^۱ را از شبکه ارتباطی دریافت کنند.

○ تعامل غیرمستقیم با شبکه ارتباطی: در این حالت دستگاه‌ها می‌توانند اطلاعات را جمع‌آوری و به‌طور غیرمستقیم و با استفاده از گیت‌وی در شبکه ارتباطی بارگذاری کنند. از سوی دیگر دریافت اطلاعات و دستورات از شبکه ارتباطی نیز به‌طور غیرمستقیم خواهد بود.

○ شبکه اقتضایی:^۲ در برخی از سناریوها که نیاز به توسعه سریع و افزایش مقیاس وجود دارد، دستگاه‌ها می‌توانند با یکدیگر شبکه‌های اقتضایی ایجاد کنند.

○ مکانیسم‌های خواب رفتن^۳ و بیدار شدن^۴ (وضعیت ذخیره‌سازی انرژی): دستگاه‌ها ممکن است از مکانیسم‌های خواب رفتن و بیدار شدن به‌منظور ذخیره‌سازی انرژی استفاده کنند.

○ نکته قابل توجه این است که در یک دستگاه وجود هر دو ویژگی تعامل مستقیم با شبکه ارتباطی و تعامل غیرمستقیم با شبکه ارتباطی الزامی نیست.

• قابلیت‌های گیت‌وی:^۵ قابلیت‌های گیت‌وی شامل موارد زیر است:

○ پشتیبانی از واسط‌های^۶ متعدد: در لایه سخت‌افزار، گیت‌وی از دستگاه‌هایی که از طریق یکی از فناوری‌های سیمی و یا بدون سیم^۷ متصل می‌شوند، پشتیبانی می‌کند. در لایه شبکه، ممکن است گیت‌وی از طریق فناوری‌های گوناگونی چون شبکه تلفن ثابت،^۸ نسل دوم، سوم و چهارم شبکه‌های تلفن همراه و اینترنت ارتباط برقرار کند.

○ تبدیل پروتکل: دو حالت در قابلیت‌های گیت‌وی وجود دارد که مورد نیاز است. یکی برای ارتباطات پایین‌دستی و دیگری ارتباطات بالادستی. در ارتباطات پایین‌دستی، گیت‌وی با تجهیزات انتهایی مانند سنسورها ارتباط برقرار می‌کند، اما در ارتباطات بالادستی گیت‌وی با سرور شبکه یا پلتفرم در ارتباط است. از آنجاکه پروتکل ارتباطی در هریک از این موارد معمولاً متفاوت است، از این‌رو، گیت‌وی باید تبدیل پروتکل را نیز انجام دهد.

1. Commands

2. Ad-hoc Networking

3. Sleeping

4. Waking-up

5. Gateway

6. Interfaces

۷. فناوری‌های بدون سیم از قبیل CAN Bus, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi و

8. PSTN



۵-۱-۲. قابلیت‌های مدیریتی

در روشی مشابه با شبکه‌های ارتباطی سنتی، قابلیت‌های مدیریت اینترنت اشیاء کلاس‌های سنتی خطا،^۱ پیکربندی،^۲ اکانتینگ،^۳ عملکرد^۴ و امنیت^۵ (یا FCAPS) به عبارت دیگر به صورت جامع مدیریت خطا، مدیریت پیکربندی، مدیریت اکانتینگ، مدیریت عملکرد و مدیریت امنیت را پوشش می‌دهد.^[۲]

قابلیت‌های اساسی مدیریت عمومی در اینترنت اشیاء عبارتند از:^[۲]

- مدیریت دستگاه از قبیل فعالسازی، غیرفعالسازی، عیب‌یابی،^۶ به‌روزرسانی کد سخت‌افزاری یا نرم‌افزار و مدیریت وضعیت کاری^۷ دستگاه از راه دور،
- مدیریت توپولوژی شبکه محلی،
- مدیریت ترافیک و ازدحام چون تشخیص شرایط سرریز^۸ شبکه و پیاده‌سازی و رزرو منابع برای جریان داده‌های حساس و در زمان حیاتی.

۶-۱-۲. قابلیت‌های امنیتی

در رابطه با قابلیت‌های امنیتی باید خاطرنشان کرد که دو نوع قابلیت امنیتی وجود دارد: قابلیت‌های امنیتی عمومی و قابلیت‌های امنیتی ویژه. قابلیت‌های امنیتی عمومی مستقل از اپلیکیشن هستند و عبارتند از:^[۲]

- **در لایه اپلیکیشن:** مجوز، احراز هویت، محافظت یکپارچه و محرمانه از داده اپلیکیشن، محافظت از حریم خصوصی، بررسی امنیتی و آنتی‌ویروس.
 - **در لایه شبکه:** مجوز، احراز هویت، محرمانگی داده‌های کاربردی و داده‌های سیگنالینگ، محافظت از یکپارچگی سیگنالینگ.
 - **در لایه سخت‌افزار:** احراز هویت، مجوز، اعتبارسنجی یکپارچه دستگاه، کنترل دسترسی، حفاظت از یکپارچگی و محرمانگی داده‌ها.
- قابلیت‌های امنیتی ویژه نیز به الزامات خاص اپلیکیشن مانند الزامات امنیتی پرداخت موبایلی وابسته است.

-
1. Fault
 2. Configuration
 3. Accounting
 4. Performance
 5. Security
 6. Diagnostics
 7. Working Status
 8. Overflow

فصل سوم - چالش‌های توسعه اینترنت اشیا

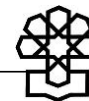
اینترنت اشیا به یک شبکه گسترده متصل‌کننده اشیاء فیزیکی نامیده می‌شود که این اشیاء می‌توانند پدیده‌های فیزیکی از محیط پیرامون خود را حس کنند و همچنین می‌توانند با یکدیگر یا با دستگاه‌ها و کامپیوترهای دیگر ارتباط برقرار کنند. داده از این دستگاه‌ها می‌تواند جمع‌آوری شود و مورد آنالیز و بررسی قرار گیرد که سبب کشف نگرش‌ها و اقدامات پیشنهاداتی خواهد شد که منجر به صرفه‌جویی در هزینه، افزایش بهره‌وری یا بهبود محصولات و سرویس‌ها خواهد شد. اینترنت اشیا به سرعت در حال رشد می‌باشد، به طوری که ۲۵ میلیارد شیء متصل به شبکه در سراسر جهان در سال ۲۰۲۰ تخمین زده می‌شود و ارزش افزوده اینترنت اشیا نیز در سال ۲۰۲۰ برابر با ۱/۹ تریلیون دلار برآورد شده است. از این رو، اینترنت اشیا می‌تواند به عنوان یک موضوع کلیدی در استراتژی دستیابی مجامع به هوشمند شدن، توسعه پایدار و رشد اقتصادی کمک شایانی نماید.^[۱۸]

البته اینترنت اشیا چالش‌های مهمی را به جامعه تحمیل می‌کند. به منظور انتخاب‌های گسترده برای مصرف‌کنندگان و ایجاد رقابت و نوآوری، لازم است تا استانداردهای باز و قابلیت همکاری تقویت شود. طیف رادیویی کافی باید برای کاربردهای آتی تخصیص یابد. به منظور به کارگیری تعداد بسیار زیادی دستگاه، به موضوع امنیت باید توجه ویژه‌ای شود. لازم است تا تعادلی از یک سو بین حقوق شهروندان برای حفظ داده شخصی به طور خصوصی و حفاظت شده و موافقت نمودن استفاده آن در زمینه‌های دیگر و از سوی دیگر مزایای قابل توجهی که آنالیز داده می‌تواند برای سازمان‌ها و جامعه به ارمغان آورد، ایجاد شود.^[۱۸] در این بخش چالش‌های مختلف اینترنت اشیا بررسی خواهد شد.

۳-۱. هزینه و قابلیت اطمینان

برای اینکه اینترنت اشیا به یک فناوری کاملاً فراگیر تبدیل شود، لازم است تا هزینه سنسورها و سیستم‌های ارتباطی به حدی برسند که بخش بسیار کوچکی از کل هزینه اشیا که بدان‌ها متصل هستند را تشکیل دهند. در سیستم‌های مقیاس بزرگ اینترنت اشیا که ممکن است شامل هزاران سنسور و دستگاه باشد ایجاد هزینه پایین و سطوح اطمینان‌پذیری بالا به صورت هم‌زمان امری بسیار مهم محسوب می‌شود.^[۱۹]

در شبکه‌های اینترنت اشیا، دستگاه‌های مبتنی بر باتری باید مصرف انرژی را به حداقل برسانند، که این امر سبب تحقیق و توسعه در رابطه با فناوری‌ها، پروتکل‌ها و الگوریتم‌های کم‌توان شده است.^[۲۰] و فناوری‌های جدیدی در این حوزه با مصرف توان بسیار پایین نیز مطرح شده‌اند که نمونه بارز آن شبکه‌های بُرد بلند توان پایین است.



به دلیل وجود بازارهای نابالغ و پراکنده برای بسیاری از سرویس‌های اینترنت اشیاء، که هزینه‌های عملیاتی و همچنین توسعه را افزایش می‌دهد، یک بررسی دولت کره پیرامون اینترنت اشیاء نشان داد که کاربردهای محدود از پروژه‌های پایلوت دولت الکترونیک و معرفی آهسته خدمات اینترنت اشیاء کسب‌وکارهای کوچک و متوسط^۱ می‌تواند راهکار خوبی برای مقابله با این مشکل باشد.^[۱۹] برای تشویق کسب‌وکارهای جدید برای توسعه و استفاده کاربرد اینترنت اشیاء، بسیاری از دولت‌ها (شامل کره، چین، هند و انگلستان) از گسترش مراکز رشد و مراکز نوآوری کسب‌وکارهای اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌کنند، که شامل پلتفرم‌ها و بسترهای تست برای شرکت‌های نوپا و شرکت‌های کوچک و متوسط در زمینه اینترنت اشیاء است. در این صورت ورود به بازار افزایش می‌یابد و در نتیجه منجر به افزایش رقابت و کاهش هزینه خواهد شد.^[۲۱]

۳-۲. اتصال به شبکه

اتصال یک مؤلفه کلیدی برای پشتیبانی از فناوری‌های نوآورانه مانند اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، واقعیت افزوده، کلان داده و رایانش ابری محسوب می‌شود. داده‌ها از طریق سنسورها در تمامی راهکارهای اینترنت اشیاء جمع‌آوری می‌شود، سپس نیاز دارند تا پردازش شوند. در برخی رویدادها لازم است تا این اطلاعات به یک واحد مرکزی مخابره شوند و هم‌زمان آنالیز شوند، به‌منظور اینکه فرمانی برگردانده شود.^[۲۲]

برای طراحان سیستم‌های اینترنت اشیاء، یک انتخاب بین عملکرد متمرکز مبتنی بر ابر^۲ و کاربردهای توزیع شده وجود دارد. در کاربردهای توزیع شده بعضی از داده‌ها بر روی سنسور یا نزدیک به سنسور ذخیره و پردازش می‌شوند. اما در سیستم‌های متمرکز تعداد کمی از رایانه‌های قدرتمند می‌توانند تعداد بسیار زیادی از دستگاه‌های ارزان قیمت را مدیریت نمایند، اگرچه این دستگاه‌ها باید از یک واسطه اتصال به شبکه برخوردار باشند که بتوانند به اینترنت یا شبکه‌های تلفن همراه متصل شوند تا داده‌های خود را به این رایانه‌ها یا سرورهای شبکه ارسال نمایند.^[۱۹]

پیکربندی متمرکز از مزایای متعددی برخوردار است، به‌ویژه هنگامی که میزان زیادی از داده‌های سنسورها برای پردازش جمع شوند. ازسوی دیگر، در یک سیستم توزیع شده، دستگاه‌ها می‌توانند به تلفن‌های همراه هوشمند یا دستگاه‌های محاسباتی دیگر که در نزدیکی آنها قرار دارند بر روی یک پروتکل رادیویی محلی مانند بلوتوث^۳ داده ارسال کنند، به‌طوری که داده را ابتدا پردازش می‌کند و سپس در یک شبکه جهانی به اشتراک می‌گذارد. این امر سبب افزایش پاسخگویی سیستم به یک کاربر محلی می‌شود و

1. Small and Medium-sized Enterprise (SME)
2. Cloud-based
3. Bluetooth

می‌تواند حفاظت بیشتری از حریم خصوصی داده‌های شخصی ارائه نماید، به‌طوری که به‌ویژه برای اطلاعات حساس از قبیل داده سلامت این راهکار به‌شدت ارزشمند خواهد بود.^[۱۹]

توسعه شبکه‌های سلولی نسل پنجم ارتباطی که به‌تازگی شروع شده است، مزایای بسیاری را برای کاربردهای مختلف اینترنت اشیاء فراهم می‌آورد. این فناوری در مقایسه با نسل‌های قبلی، پیشرفت‌های قابل توجهی را در ارتباطات بدون سیم به‌وجود آورده است و رادیوهای هوشمند و اشتراک‌گذاری طیفی با ۱۰۰۰ برابر بازدهی طیفی بالاتر را به‌کار می‌گیرد. این فناوری از رله‌های مشارکتی و سلول‌های کوچک پشتیبانی می‌نماید و همچنین امکان آن را فراهم می‌کند تا سنسورهای کم‌توان بتوانند ارتباطات بیشتری را برقرار کنند درحالی‌که امکان تداخل بین دستگاه‌های ارتباطی را کاهش می‌دهد. این فناوری همچنین شامل ویژگی‌های مشخصی برای پشتیبانی از سیستم‌های اینترنت اشیاء و دستگاه - به - دستگاه است.^[۱۹] در شرکتی مانند اپراتور کنتور هوشمند که هزاران یا میلیون‌ها تجهیزات دستگاه - به - دستگاه یا اینترنت اشیاء را از طریق شبکه‌های تلفن همراه مدیریت می‌کند، الزامات بسیار مختلفی را نسبت به یک مشترک تلفن همراه معمولی دارد. آنها نیازمند اطلاعات جامع پیرامون وضعیت شبکه هستند، برای تعیین اینکه آیا یک دستگاه قابلیت ارتباطی ندارد یا اتصال آن به شبکه معیوب است یا خیر. آنها به‌جای یک اشتراک برای هر دستگاه، یک اشتراک واحد برای کل سیستم نیاز دارند تا بتوانند مواردی مانند شارژ و قبض دستگاه‌های خود در استفاده از شبکه را به‌صورت متمرکز مدیریت نمایند. در بسیاری از موارد نیز، طول عمر باتری دستگاه به‌مراتب بسیار بیشتر از یک تلفن همراه، مثلاً چندین سال خواهد بود.^[۱۹] تجهیزات دستگاه - به - دستگاه می‌توانند به‌طور مستقیم به دستگاه‌های دیگر متصل شوند، اما غالباً گیت‌وی‌هایی برای اتصال دستگاه‌های اینترنت اشیاء وجود دارد، به‌طوری که آنها خدمات ارزش‌افزوده‌ای از قبیل تبدیل پروتکل، فیلترینگ و ذخیره‌سازی را ارائه می‌دهند.^[۱۹]

۳-۳. استانداردها و قابلیت همکاری

تا به امروز، استانداردهای فنی اینترنت اشیاء مبتنی بر تنوعی از کاربردها و ذی‌نفعان مختلف تکامل یافته است، که از اهداف و الزامات مختلفی برخوردار هستند. استانداردسازی فنی در سطح گسترده می‌تواند هم موانع برای ورود بازار اینترنت اشیاء را کاهش دهد و هم اقتصاد مربوط به مقیاس‌پذیری را افزایش دهد، به‌طوری که مورد دوم به تأمین‌کنندگان برای رقابت بین‌المللی کمک می‌کند.^[۱۹]

بسیاری از کاربران، به‌عنوان نمونه در بخش سلامت، تجربه زیادی در نهادهای استانداردسازی ارتباطات ندارند. از این‌رو، استانداردها باید با دقت طراحی شوند تا آنها نوآوری در بازار تازه شکل گرفته اینترنت اشیاء را محدود نکند. اگرچه، استانداردسازی جزئی یا دیر هنگام می‌تواند به‌دلیل مشکلات هماهنگی صنعت و گزینه‌های فناوری جزیره‌ای، نوآوری را پیچیده کند.^[۲۳]



در تلاش برای مواجهه با این مسائل، ITU-T یک ابتکار جهانی در رابطه با استانداردهای اینترنت اشیاء (IoT-GSI) با هدف «ترویج یک رویکرد یکپارچه در ITU-T برای توسعه استانداردهای فنی و توصیه‌نامه‌ها که اینترنت اشیاء را در مقیاس جهانی امکان‌پذیر می‌سازد» و «فعالیت کردن به‌عنوان یک چتر برای توسعه و گسترش استانداردهای اینترنت اشیاء در سراسر جهان» ایجاد کرده است.^[۱۹]

البته سایر نهادهای استانداردسازی بین‌المللی نیز در حال فعالیت بر روی اینترنت اشیاء هستند. مؤسسه مهندسين برق و الكترونیک^۲ موضوعات مرتبط با اینترنت اشیاء را در محدوده استانداردهای ارتباطی خود مورد ملاحظه قرار داده‌اند، به‌ویژه 802.11 (Wi-Fi)، 802.15 (WPAN)^۳ و 802.3 (اترنت) و 1901.2 (شبکه‌های مبتنی بر خطوط برق)، همچنین کاربردهای مرتبط با بخش‌های شبکه هوشمند برق، انرژی، صنعت، کشاورزی و معدن را نیز در نظر گرفته است. نهاد پیشرو در استانداردسازی ارتباطات اینترنت، کارگروه مهندسی اینترنت^۴ (IETF)، مسائل مربوط به اینترنت اشیاء را در استانداردهای جدید خود از قبیل گروه‌های کاری: IPv6 (نسخه ششم پروتکل اینترنت)، 6LoWPAN^۵، پروتکل مسیریابی شبکه RPL^۶، پروتکل شبکه ارسال گروهی MPL^۷ و پروتکل کاربرد CoAP^۸ در نظر گرفته است. انجمن سیستم جهانی برای ارتباطات تلفن همراه^۹ نیز با اعضای خود برای استانداردسازی ارتباطات دستگاه - به - دستگاه همکاری سازنده‌ای دارد.^[۱۹]

همچنین چارچوب‌های استاندارد مختص کاربرد اینترنت اشیاء مانند معماری مرجع شبکه هوشمند برق M/490 وجود دارد که قابل استفاده مجدد در سایر حوزه‌های اینترنت اشیاء نیز است. این به دنبال یک دستورالعمل ویژه از کمیسیون اروپا برای سازمان‌های استانداردسازی اروپا، به‌ویژه ETSI، CEN و CENELEC ایجاد شد. این نهادهای استانداردسازی قادر به ایجاد استانداردهایی هستند که می‌توانند به دستورالعمل‌ها و مقررات اتحادیه اوپا ارجاع داده شوند، نمونه‌ای از مکانیسمی که ایجاد و استفاده این استانداردهای فنی ویژه می‌تواند توسط آن سیاستگذاران تشویق شود.^[۱۹]

مورد دیگر این است که دولت‌ها با استفاده از سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه، از توسعه استانداردها و پیاده‌سازی محصولات آنها پشتیبانی نمایند و دولت استفاده از چنین محصولاتی را در اولویت برنامه‌های سرمایه‌گذاری خود قرار دهد. عدم اعمال چنین مشوق‌هایی، می‌تواند در بعضی مواقع به نفع شرکت‌های

-
1. Global Standards Initiative on Internet of Things
 2. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 3. Wireless Personal Area Networks
 4. Internet Engineering Task Force
 5. IPv6 over Low Power WPAN
 6. Routing Over Low power and Lossy Networks
 7. Multicast Protocol for Low Power and Lossy Networks
 8. Constrained Application Protocol
 9. Global System for Mobile Communications Association (GSMA)

بزرگ باشد که سعی می‌کنند تا استانداردهای اختصاصی خود را به‌عنوان موانع برای ورود رقبا به بازار ایجاد نمایند.^[۱۹]

استانداردها در بازارسازی برای فناوری‌های نوین بسیار دارای اهمیت هستند. اگر تجهیزات از تولیدکننده‌های مختلف استانداردهای یکسانی را به‌کار نگیرند، قابلیت همکاری بسیار دشوار خواهد بود، زیرا که نیازمند گیت‌وی‌های^۱ اضافی برای ترجمه از یک استاندارد به دیگری خواهد بود. کمیسیون اروپا بر روی نیاز برای توسعه استانداردهای فنی برای پشتیبانی از اینترنت اشیاء تأکید ویژه‌ای نموده است.^[۱۸]

۳-۴. داده‌های شفاف، پلتفرم‌ها و واسط‌های برنامه‌نویسی کاربرد باز

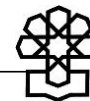
یک مکانیسم برای تشویق هرچه بیشتر تجزیه و تحلیل و ادغام داده‌های اینترنت اشیاء برای افراد و سازمان‌ها این است که اطلاعات را تحت مجوز غیرانحصاری و منبع باز به اشتراک بگذارند. این امر سبب می‌شود تا بدون نیاز به صرف زمان جستجوی داده و مذاکرات مجوز، داده‌ها، پلتفرم‌ها و واسط‌های برنامه‌نویسی کاربرد^۲ (API) در دسترس کاربردهای جدید باشند.^[۱۹]

یک مثال برنامه داده شفاف آمستردام است، به‌طوری که ۴۳۸ مجموعه داده پیرامون شهر را فهرست کرده است.^[۲۴] آمستردام همچنین یکی از هشت شهر شرکت‌کننده در پروژه توسعه^۳ CitySDK^[۲۵] است، پروژه‌ای که به برنامه‌نویسان اجازه می‌دهد تا نرم‌افزارهایی بنویسند که بتواند به داده‌ها و خدمات سرویس‌های مشترک اینترنت اشیاء از طریق واسط‌های برنامه‌نویسی کاربرد باز دسترسی پیدا کند، تا بتوانند خدمات جدیدی از قبیل سرویس‌هایی برای بهبود حمل‌ونقل، کمک به ارائه گزارش به شورای شهر و راهنمایی گردشگران پیرامون مکان‌های مورد علاقه ایجاد نمایند.^[۱۹]

به‌عنوان بخشی از ابتکار عملی که آمستردام دنبال می‌کند، تعدادی آزمایشگاه اینترنت اشیاء در جامعه مستقر شده است تا نوآوری‌های شهر هوشمند را مورد آزمایش قرار دهند، ایده‌های موفق را شناسایی و سپس در سطح شهر پیاده‌سازی نمایند.^[۱۹]

نمونه دیگر استفاده از رویکردهای منبع باز در برنامه جامع اینترنت اشیاء دولت کره است. براساس این برنامه جامع، دولت با بخش خصوصی مشارکت خواهد کرد تا یک پلتفرم اینترنت اشیاء باز را توسعه دهد و تمام وزارتخانه‌ها تشویق خواهند شد تا با کسب‌وکارها در سراسر کشور مشارکت نمایند. این امر سبب تشویق یک اکوسیستم باز اینترنت اشیاء می‌شود، به‌طوری که هدف آن بهبود قابلیت همکاری، کاهش هزینه‌ها از طریق اقتصاد مقیاس‌پذیری و ایجاد پاسخ‌های انعطاف‌پذیر به تغییرات زیست‌محیطی است. یک بستر آزمایشی برای شرکت‌های کوچک و متوسط، هزینه‌های توسعه و زمان ورود به بازار را

1. Gateways
2. Application Programming Interfaces
3. City Service Development Kit



کاهش خواهد داد و از مشارکت بین کسب و کارها در حوزه‌های مختلف پشتیبانی می‌نماید. اکوسیستم با استفاده از ابزارهایی شامل سخت‌افزار (نقشه‌های مداری و مشخصات مورد نیاز برای توسعه سخت‌افزار) و نرم‌افزار منبع باز و آزمایشگاه‌های نوآوری، از استارت‌آپ‌ها پشتیبانی خواهد کرد تا بتوانند با سرعت بالایی ایده‌ها را به کسب و کار تبدیل کنند.^[۱۹]

۵-۳. طیف رادیویی

رشد قابل انتظار در تعداد دستگاه‌های بدون سیم نیازمند طیف رادیویی بیشتری خواهد بود. بسته به کاربرد، برخی فناوری‌ها طیف دارای مجوز را به کار می‌گیرند و موارد دیگر باند فرکانسی آزاد را در اینترنت اشیا به کار می‌گیرند. به منظور بهره‌مندی از مزایای اقتصاد مقیاس‌پذیری در تولید تجهیزات، طیف تخصیص یافته باید همگون باشد، نه تنها در یک کشور، بلکه در جهان.^[۱۸]

ITU-R RA-15، قطعنامه ۶۶ بر روی «مطالعات مرتبط با سیستم‌های بدون سیم و کاربردها برای توسعه اینترنت اشیا» را در سال ۲۰۱۵ تصویب نمود. قطعنامه ۶۶ مدیریت مطالعات بر روی جنبه‌های فنی و عملیاتی از سیستم‌ها و شبکه‌های رادیویی برای اینترنت اشیا در همکاری با سازمان‌های توسعه‌دهنده استانداردهای ITU-T و استانداردهای مرتبط را مقرر می‌کند.^[۲۶]

آیتم ۸-۱-۹ در دستور جلسه کنفرانس WRC-19 اینترنت اشیا و ارتباطات از نوع دستگاه را خطاب قرار می‌دهد. قطعنامه ۹۵۸ در کنفرانس WRC-15 مدیریت فوری در آماده‌سازی WRC-19 پیرامون موارد زیر را تصویب نموده است:^[۲۶]

- جنبه‌های فنی و عملیاتی از شبکه‌ها و سیستم‌های رادیویی،
 - طیف مورد نیاز، شامل هماهنگ‌سازی ممکن در به کارگیری طیف برای پشتیبانی از پیاده‌سازی زیرساخت‌های ارتباطات از نوع دستگاه پهن‌بند و باند باریک، به منظور توسعه توصیه‌نامه‌ها، گزارش‌ها به عنوان اخذ اقدامات مناسب درون بخش ITU-R.
 - تکه‌تکه کردن طیف، چالش‌هایی را برای معرفی اکوسیستم مؤثر و بهینه از نظر هزینه برای اینترنت اشیا در کشورها ایجاد می‌کند. طیف در دسترس سیستم‌های رادیویی برای ارتباطات پهن‌بند و باند باریک اینترنت اشیا به دو صورت است:^[۲۶]
 - باندهای فرکانسی ارتباطات سیار بین‌المللی^۱
 - باند آزاد بدون نیاز به مجوز
- اکثر اتصالات به شبکه و موارد کاربرد اینترنت اشیا دارای الزامات اینترنت اشیا بُرد بلند کم‌توان و به صورت باند باریک شامل موارد زیر هستند:^[۲۶]

1. Inter National Mobile Telecommun: Cation (IMT).

- دستگاه‌های ارزان برای ارائه راهکارهای بهینه از نظر هزینه برای میلیاردها اتصالات اینترنت اشیاء

- پوشش وسیع‌تر

- مصرف توان پایین

به‌منظور پیشرفت مؤثر جنبه‌های مختلف زندگی ما، تبدیل شدن به ملت‌های هوشمند امری ضروری به‌شمار می‌رود. هماهنگ‌سازی پتانسیل دستیابی سریع توسعه کشورهای هوشمند را به‌وجود می‌آورد. کاربرد هماهنگ‌سازی طیف ارتباطات سیار بین‌المللی مشخص شده پیش از این برای توسعه اینترنت اشیاء دارای چندین مزیت خواهد بود: [۲۶]

- سیستم‌های ارتباطات سیار بین‌المللی به‌طور گسترده در سراسر جهان توسعه یافته‌اند.

- فناوری‌های جدید مبتنی بر ارتباطات سیار بین‌المللی در ژوئن سال ۲۰۱۶ استانداردسازی و سپس تجاری‌سازی شدند، (در مشخصات نسخه ۱۳ از استانداردهای 3GPP) تا الزامات اینترنت اشیاء باند باریک را فراهم نماید، ازجمله: [۲۶]

○ اینترنت اشیاء باند باریک: این یک فناوری رادیویی جدید است که به فناوری نسل چهارم تلفن همراه افزوده می‌شود، برای بازار اشیاء با نرخ داده کم بهینه شده است.

○ LTE-eMTC: این فناوری ارتقاهایی را برای فناوری نسل چهارم تلفن همراه به‌منظور ارتباطات نوع دستگاه فراهم می‌کند و در نسخه ۱۲ از استاندارد نسل چهارم تلفن همراه تعیین شده است.

ITU-R WD در گزارش «تنظیمات ارتباطات سیار بین‌المللی» از باند ۷۰۰ مگاهرتز، به‌منظور هماهنگ‌سازی طیف مورد استفاده برای اینترنت اشیاء در باند ۷۰۰ مگاهرتز، دو بخش ۳ مگاهرتزی (بین باندهای APT700 و CEPT800) برای فناوری اینترنت اشیاء باند باریک در نظر گرفته است. [۲۶]

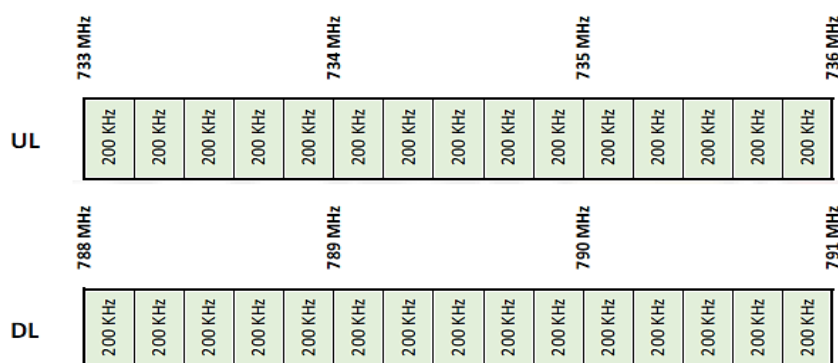
تنظیمات ممکن از دو بخش ۳ مگاهرتزی طیف درون باند ۷۰۰ مگاهرتز همان‌طور که در شکل زیر نیز نشان داده شده، به‌صورت زیر است: [۲۶]

- اینترنت اشیاء باند باریک: با پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز

- LTE-M: با پهنای باند ۱/۴ مگاهرتز

- چندین بلوک ۲۰۰ کیلوهرتز می‌تواند برای ساختن بلوک‌های ۱/۴ مگاهرتزی جمع‌شود.

شکل ۹. استفاده از دو بخش ۳ مگاهرتزی درون باند ۷۰۰ مگاهرتز [۲۶]





سند TD 494 از ITU-T SG20 بر روی پتانسیل به کارگیری فناوری‌های جدید مبتنی بر ارتباطات سیار بین‌المللی برای الزامات اینترنت اشیاء مبتنی بر ارتباطات تلفن همراه سلولی (اینترنت اشیاء باند باریک، LTE-M و EC-GSM) تأکید دارد، به دلیل مسائل زیر:^[۲۶]

- قابلیت سازگاری با نسل‌های قبلی با شبکه‌های سلولی که به طور گسترده پیاده‌سازی شده‌اند.
- مصنوعیت بیشتر نسبت به تداخل از طریق فعالیت در باندهای فرکانسی دارای مجوز.
- تا حدود ۲۰ دسی بل بهبود در پوشش در مقایسه با فناوری‌های موجود، که نواحی پوشش گسترده‌تر و نفوذ درون ساختمان بیشتر با هزینه قابل تحقق را وعده می‌دهد.
- طول عمر باتری بیشتر برای چندین سال، بیش از ۱۰ سال بسته به وضعیت‌های ارسال و سناریوهای عملکردی.

- ویژگی‌ها، اندازه‌گیری‌ها و مکانیسم‌های امنیتی ارتقایافته.

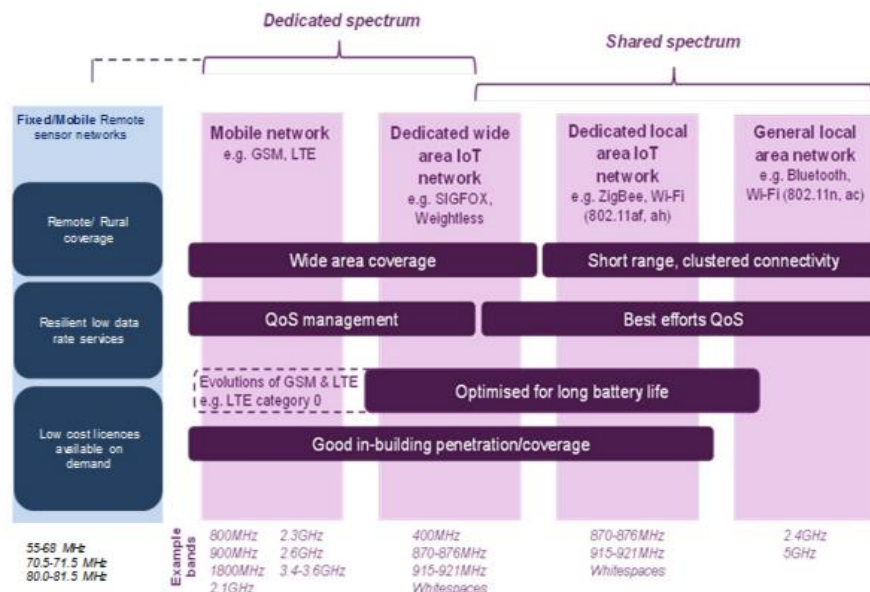
- انجمن جهانی مخابرات موارد قابل ملاحظه‌ای را پیرامون طیف اینترنت اشیاء بیان می‌دارد:^[۲۶]
- بازار اینترنت اشیاء به سرعت در حال رشد است و نقش قابل توجهی را در تحول دیجیتال و توسعه اقتصادی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه ایفا خواهد کرد.

- چندین سیستم و منابع طیفی می‌توانند برای توسعه اکوسیستم اینترنت اشیاء به کار گرفته شوند.
- اکثریت اتصالات اینترنت اشیاء به صورت بُرد بلند کم‌توان با باند باریک خواهند بود.
- هماهنگ‌سازی یک فاکتور کلیدی برای کشورهای در حال توسعه برای ارائه راهکارهای اینترنت اشیاء مقرون به صرفه محسوب می‌شود، به‌ویژه برای اینترنت اشیاء باند باریک این امر مورد نیاز است.
- هماهنگ‌سازی کاربرد مشخص شده قبلی طیف ارتباطات سیار بین‌المللی برای توسعه سیستم‌های مبتنی بر ارتباطات سیار بین‌المللی برای اتصالات اینترنت اشیاء بُرد بلند کم‌توان باند باریک بهینه‌سازی شده است (به‌عنوان نمونه، کار کردن با باند ۲۰۰ کیلوهرتز در اینترنت اشیاء باند باریک و ۱/۴ مگاهرتز در LTE-M).

- نیازمندی‌های اینترنت اشیاء پهن‌بند می‌تواند از طریق سیستم‌های ارتباطات رادیویی پهن‌بند آتی و موجود مدیریت شود.

محدوده فرکانسی مشخص شده برای اینترنت اشیاء توسط نهاد رگولاتوری انگلستان (Ofcom) در شکل ۱۰ شرح داده شده است.^[۲۷]

شکل ۱۰. محدوده فرکانسی مشخص شده برای اینترنت اشیاء توسط نهاد رگولاتوری انگلستان [۲۷]



۳-۶. امنیت

اینترنت اشیاء خطرات امنیتی مختلفی را برای هردو مصرف‌کننده‌ها و کسب‌وکارها فراهم می‌کند. بزهکار سایبری می‌تواند یک دسترسی غیرمجاز به تجهیزات را ایجاد نماید یا اینکه به شبکه‌های بدون سیم محلی به‌منظور دستیابی به داده حساس نفوذ نماید. آنها همچنین می‌توانند به سرورهایی که میزان زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده وجود دارد حمله سایبری نمایند. [۱۸]

۳-۷. محرمانگی و حفاظت داده

تجهیزات مشتریان اینترنت اشیاء اغلب داده شخصی و خصوصی مانند اطلاعات مکانی کاربر، رفتارهای روزانه یا شرایط سلامت آنها را جمع‌آوری می‌کنند. این داده ممکن است به سرور مرکزی ارسال شود، یا با تجهیزات دیگر به اشتراک گذاشته شود یا در اختیار شخص ثالثی قرار گیرد، بدون اینکه فرصتی برای کاربر وجود داشته باشد تا آن داده را بازبینی نماید. از این‌رو، وجود موافقتنامه پیرامون داده مورد نیاز است نه فقط برای جمع‌آوری داده، بلکه همچنین برای آنالیز یا اشتراک‌گذاری آن به شخص ثالث. به‌عنوان نمونه، قانون حفاظت از داده^۱ GDPR به‌منظور حفاظت از حقوق داده‌های افراد تکلیف‌هایی را هم برای کنترل‌کننده و هم برای پردازشگر تعیین نموده است. [۱۸]

1. General Data Protection Regulation



امروزه فناوری اینترنت اشیا با کاربردهای فراوانی که در حوزه‌های مختلف شهر هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند، کشاورزی هوشمند، صنایع هوشمند، کنتورهای هوشمند، سلامت هوشمند و بسیاری از حوزه‌های دیگر ارائه می‌کند، در سراسر جهان به‌شدت در حال فراگیر شدن است. در کشور ما نیز، این فناوری در حال ورود به حوزه‌های مختلف است. از این‌رو، شناخت فناوری‌های اینترنت اشیا و همچنین آگاهی پیرامون استانداردهای آن کمک می‌کند تا سیاست‌های درستی در ورود این فناوری‌ها به کشور اتخاذ شود که منجر به پیشرفت کشور، افزایش تولید ناخالص ملی و کاهش هزینه شود. فناوری اینترنت اشیا با نظارت از راه دور بسیاری از پدیده‌های فیزیکی توسط دستگاه‌ها دارای این هدف است که بهره‌وری را افزایش دهد و هزینه‌ها را به‌شدت کاهش دهد.

بر اساس تقسیم‌بندی انجمن جهانی مخابرات فناوری‌های اینترنت اشیا به دو دسته فناوری‌های بُرد بلند و بُرد کوتاه تفکیک می‌شوند. فناوری‌های بُرد کوتاه از موارد کاربردی در محدوده پوشش کوچک از قبیل خانه هوشمند و سلامت هوشمند برخوردار هستند. اما در مقابل، فناوری‌های بُرد بلند برای کاربردهای صنعتی و با گستره شهر و کشور کاربرد دارند. فناوری‌های بُرد بلند نیز به دو دسته فناوری‌های بُرد بلند توان پایین و فناوری‌های مبتنی بر شبکه ارتباطات تلفن همراه طبقه‌بندی می‌شوند. در حال حاضر، فناوری‌های بُرد بلند توان پایین از یک‌سو و فناوری‌های اینترنت اشیا باند باریک و LTE-M که هر دو مبتنی بر نسل چهارم ارتباطات سیار هستند، فناوری‌های غالب اینترنت اشیا به‌شمار می‌روند.

انجمن جهانی مخابرات استانداردهایی را برای بخش‌های مختلف اینترنت اشیا در نظر گرفته است. بر اساس استاندارد انجمن جهانی مخابرات، فناوری اینترنت اشیا از چهار لایه با عناوین لایه سخت‌افزار، لایه شبکه، لایه پشتیبانی خدمات و پشتیبانی اپلیکیشن و لایه اپلیکیشن تشکیل می‌شود. همچنین قابلیت‌های مدیریتی و امنیتی برای هر چهار لایه نیز در استاندارد مشخص شده است.

از یک‌سو پیش‌بینی شده است در سال ۲۰۲۰ حدود ۲۵ میلیارد شیء متصل به شبکه در سراسر جهان وجود داشته باشد و از سوی دیگر ارزش افزوده اینترنت اشیا در سال ۲۰۲۰ نیز برابر با ۱/۹ تریلیون دلار تخمین زده شده است. در نتیجه، فناوری اینترنت اشیا یک موضوع مهم در دستیابی به جوامع هوشمند، توسعه پایدار و رشد اقتصادی و افزایش بهره‌وری در حوزه‌های مختلف از کشاورزی تا شهر هوشمند محسوب می‌شود.

به جهت ارائه انتخاب‌های گسترده برای مصرف‌کنندگان و ایجاد رقابت‌پذیری و نوآوری میان تولیدکنندگان، لازم است تا استانداردهای باز و قابلیت همکاری تقویت شود. همچنین لازم است تا طیف رادیویی کافی برای کاربردهای آتی اینترنت اشیا توسط رگولاتوری تخصیص یابد. علاوه بر این، لازم است تا تدابیر گسترده‌ای در جهت ایجاد امنیت در فناوری اینترنت اشیا در نظر گرفته شود. در ضمن،

نیاز است تا تعادلی از یک سو بین حقوق شهروندان برای حفظ داده شخصی و حریم خصوصی که هرگونه استفاده از داده‌های آنها را منوط به موافقت آنها می‌کند و از سوی دیگر مزایای قابل توجهی که آنالیز داده‌ها می‌تواند برای سازمان‌ها و جامعه فراهم آورد، ایجاد شود. بنابراین، در بخش سوم این گزارش چالش‌های توسعه اینترنت اشياء مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند که عناوین آنها عبارتند از:

- هزینه و قابلیت اطمینان

- اتصال به شبکه

- استانداردها و قابلیت همکاری

- داده‌های شفاف، پلتفرم‌ها و واسطه‌های برنامه‌نویسی کاربرد باز

- طیف رادیویی

- امنیت

- محرمانگی و حفاظت از داده



- [1] Terms of Reference, Internet of Things Global Standards Initiative (IoT-GSI)
- [2] Recommendation ITU-T Y.2060, Overview of the Internet of things, Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks, Frameworks and functional architecture models, 2012.
- [3] “Low Power Wide Area Networks: An Overview,” U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017.
- [4] www.link-labs.com/blog/low-power-wide-area-network-lpwa
- [5] www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/lpwan
- [6] “LoRaWAN, What is it?” A technical overview of LoRa and LoRaWAN, Technical Marketing Workgroup, LoRa Alliance, Nov. 2015
- [7] www.postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora
- [8] [www.atlantseembedded.com/A Brief History Of LoRaWAN Episode-1](http://www.atlantseembedded.com/A%20Brief%20History%20Of%20LoRaWAN%20Episode-1)
- [9] [www.link-labs.com/Sigfox Vs LoRa](http://www.link-labs.com/Sigfox%20Vs%20LoRa)
- [10] Datasheet of Semtech SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver
- [11] Wireless & RF Selector Guide, Semtech, Ultimate Long-Range, Low-Power Solutions, www.semtech.com/wireless-rf
- [12] “LoRaWAN 1.1 Specification” LoRa Alliance Technical Committee, LoRa Alliance, Oct. 2017
- [13] “2017 End of Year Report,” Wide Area Networks for IoT, LoRa Alliance
- [14] [www.link-labs.com/Overview of Narrowband IoT](http://www.link-labs.com/Overview%20of%20Narrowband%20IoT)
- [15] [www.gsma.com/Narrow Band Internet of Things NB-IoT](http://www.gsma.com/Narrow%20Band%20Internet%20of%20Things%20NB-IoT)
- [16] “LoRaWAN vs NB-IoT,” LoRa Alliance, 2017
- [17] “LoRaWAN and NB-IoT: Competitors or Complementary?”, ABI research, 2019.
- [18] Ron Davies, “The Internet of Things, Opportunities and challenges,” EPRS (European Parliamentary Research Service), May 2015
- [19] GSR discussion paper, Regulation and the Internet of Things, ITU, 25 June 2015
- [20] Ovidiu Vermesan and Peter Friess (eds.), Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment, Aalborg: River Publishers, 2014, p.45.
- [21] Republic of Korea Ministry of Science, ICT and Future Planning, Master Plan for Building the Internet of Things (IoT) that leads the hyper-connected, digital revolution, 8 May 2014.
- [22] “Supporting the expanding role of wireless innovation in UK industry,” Ofcom, February 2019.
- [23] G. Tasse, Standardization in technology-based markets. Research Policy 29(4)-29(5), 2000, pp.587-602.
- [24] <http://www.amsterdamopendata.nl/home>
- [25] <http://www.citysdk.eu/about-the-project/>
- [26] Abdulhadi AbouAlmal, “Spectrum Challenges & Opportunities for Internet of Things & Smart City Development,” ITU Workshop on Spectrum Management for Internet of Things Deployment, Geneva, 22 November 2016.
- [27] <https://www.ofcom.org.uk/manage-your-licence/radiocommunication-licences/internet-of-things>



مرکز پژوهش‌ها
مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۱۶۹۶۵

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: اینترنت اشیا (۱): فناوری‌ها، استانداردها و چالش‌ها

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه ارتباطات و فناوری اطلاعات)

تهیه و تدوین: محسن بنار

مدیر مطالعه: پریسا علیزاده

ناظران علمی: حسین افشین، علی اصغر اژدري

ویراستار تخصصی: _____

ویراستار ادبی: _____

واژه‌های کلیدی:

۱. استاندارد انجمن جهانی مخابرات

۲. اینترنت اشیا

۳. اینترنت اشیا باند باریک

۴. فناوری بُرد بلند توان پایین



تاریخ انتشار: ۱۳۹۸/۱/۲۶