www.NetSimulate.net

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۴/۱۶

بررسی پروتکل‌ها و استانداردهای اینترنت اشیاء در لایه‌های مختلف

مسعود رفیقی
استادیار مجتمع برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، ایران
پست الکترونیکی: Rafighi@mut.ac.ir

نغمه معتضدی*
کارشناس ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، گرایش امنیت
پژوهشگر موسسه آموزش عالی تعالی قم، ایران
پست الکترونیکی: Nmoatazedi93@gmail.com

چکیده:

اینترنت اشیاء فناوری نوظهوری است که در آن برای هر موجودیت امکان ارسال و دریافت داده از طریق شبکه‌های ارتباطی مختلف فراهم می‌گردد؛ اشیاء به هر چیزی گفته می‌شود که قابلیت جمع‌آوری داده‌ها، کنترل شدن و یا ارتباط از راه دور را داشته باشد. این فناوری تأثیر شگرفی بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر خواهد داشت، لذا لازم است برای ارتباطات بین اشیاء مختلف پروتکل‌ها و فنّاوری‌های مناسبی انتخاب گردد. در این مقاله به بررسی برخی پروتکل‌ها و استانداردهای حاضر اینترنت اشیاء در لایه‌های مختلف کاربرد، کشف خدمات، زیرساخت، پیوند داده و انتقال می‌پردازیم و دسته‌بندی پروتکل‌ها و استانداردها را به‌صورت خلاصه در جدولی همراه با هدف، مزایا و ویژگی‌های هر یک از این پروتکل‌ها و استانداردها ارائه خواهیم کرد.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیاء، پروتکل، استاندارد.

* نویسندهٔ مسئول

۱- مقدمه

مفهومی که ما از اینترنت در ذهن داریم یک شبکه جهانی است که در آن رایانه‌های شخصی، تلفن‌های همراه و غیره و همچنین انسان‌ها در هرجایی توسط این دستگاه‌های متصل به شبکه با هم ارتباط برقرار می‌کنند. حال دنیایی را در نظر بگیرید که در آن اینترنت از مفهوم فعلی خود فراتر رفته و اشیاء اطرافمان را نیز در خود جای می‌دهد؛ در اینجا مفهومی شکل می‌گیرد به نام اینترنت اشیاء، با مراجعه به مجله اینترنت اشیاء IEEE، یک سیستم اینترنت اشیاء شبکه‌ای از شبکه‌هاست که در آن، به‌طورمعمول، تعداد گسترده‌ای از اشیاء/حسگرها/دستگاه‌ها از طریق ارتباطات و زیرساخت اطلاعات برای ارائه خدمات ارزش‌افزوده از طریق پردازش داده‌های هوشمند و مدیریت برای برنامه‌های کاربردی مختلف، متصل هستند [۱].

در کنار مزایای فوق‌العاده‌ی اینترنت اشیاء، این فناوری با چالش‌های مختلف حریم خصوصی و امنیت روبرو است، بنابراین پروتکل‌ها و استانداردهای جدیدی برای حل مسائل

www.NetSimulate.net

پایداری، قابلیت اطمینان، کیفیت خدمات، محرمانه بودن، یکپارچگی و غیره نیاز است [۲]، همچنین کاربردهای در حال پیشرفت اینترنت اشیاء مانند خانه‌ها و شهرهای هوشمند نیز نیازمند این به‌روزرسانی‌ها می‌باشند. به‌منظور دستیابی به این مهم، بررسی و آشنایی با پروتکل‌ها و استانداردهای حاضر این حوزه بسیار مهم است که با استفاده از این بررسی‌ها بتوان پروتکل‌ها و استانداردهای مناسب‌تری ارائه نمود تا چالش‌ها و محدودیت‌های موجود برطرف گردد.

ادامه مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش ۲ به مطالعه پروتکل‌ها و استانداردهای لایه کاربرد، کشف خدمات، زیرساخت شامل مسیریابی و شبکه و لایهٔ فیزیکی، پیوند داده و ارتباطات می‌پردازیم، در بخش ۳ خلاصه‌ای از ویژگی‌های پروتکل‌های ذکرشده را ارائه می‌دهیم و بخش ٤ نیز نتیجه‌گیری است.

۲- پروتکل‌ها و استانداردهای لایه‌های مختلف

در این بخش به ذکر پروتکل‌ها و استانداردهای لایه‌های مختلف کاربرد، کشف خدمات، زیرساخت (مسیریابی، شبکه و لایهٔ فیزیکی) در اینترنت اشیاء و بررسی اجمالی آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۱- پروتکل‌های لایه کاربرد

لایه کاربرد محیطی را ایجاد می‌کند که نرم‌افزارهای کاربردی بتوانند از طریق این محیط با شبکه ارتباط برقرار کنند، با توجه به مقاله‌های موجود [۳-۵] پروتکل‌های این لایه به شرح زیر می‌باشند:

۱- CoAP[1]: پروتکل CoAP برای دستگاه‌های محدود ایجاد شده است؛ این پروتکل تنها در محیط‌هایی مانند محیط‌های با تعداد گره محدود با قابلیت حافظه یا پردازنده کم و شبکه‌هایی مانند شبکه‌های بیسیم شخصی[2] با استفاده انرژی کمتر، مناسب است [۵]. روش‌های پشتیبانی شده در CoAP شامل PUT، POST، GET و DELETE هستند [٦].

۲- MQTT[3]: پروتکل MQTT در سال ۱۹۹۹ توسط شرکت آی‌بی‌ام معرفی و در سال ۲۰۱۳ توسط سازمان بهبود استانداردهای اطلاعات ساختاری[4]، استاندارد شد [۷]؛ که از سه جزء مشترک، ناشر و کارگزار تشکیل شده است [۳]. دو نسخه از MQTT موجود است: ۱- MQTT-SN[5]: برای محیط‌های حسگر بیسیم طراحی شده است که در آن برخلاف MQTT، گره‌های پایانی با استفاده از پروتکل MQTT-SN (بر شبکه بیسیم) به دروازه و پس‌ازآن دروازه با استفاده از پروتکل MQTT به کارساز[6]/کارگزار (بر شبکه سیمی) متصل هستند [۸]. ۲- SMQTT: یک توسعه از MQTT است که از رمزنگاری بر اساس ویژگی[7] استفاده می‌کند و به‌طورکلی شامل چهار مرحله اصلی است: تنظیمات، رمزگذاری، انتشار و رمزگشایی [۷].

۳- XMPP[8]: پروتکل XMPP در سال ۱۹۹۹ برای پیام‌رسانی فوری در زمان واقعی نزدیک[9] توسعه یافته و در یک دهه پیش توسط کارگروه مهندسی اینترنت[10] استاندارد شده است. صرف‌نظر از سیستم‌عامل مورداستفاده، این پروتکل به کاربران اجازه می‌دهد از طریق ارسال پیام فوری در اینترنت با یکدیگر ارتباط برقرار کنند [۳]. به‌تازگی XMPP دوباره توجه زیادی را به‌عنوان یک پروتکل ارتباطی مناسب برای اینترنت اشیاء به دست آورده است [٤].

٤- DDS[11]: پروتکل DDS توسط گروه مدیریت شیء[12] در سال ۲۰۰٤ منتشر شد. معماری DDS دو لایه انتشار-اشتراک داده محور[13] و لایه بازسازی داده‌های محلی[14] را تعریف می‌کند و داده را بین ناشران و مشترکان به‌عنوان موضوع انتقال می‌دهد [۷]؛ پنج موجودیت در لایه انتشار-اشتراک داده محور موجود هستند [۳،۵]: ۱- ناشر، ۲-

1- Constrained Application Protocol (CoAP)
2- Wireless PAN Area Network (WPAN)

3- Message Queue Telemetry Transport (MQTT)
4- Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS)
5- MQTT for Sensor Networks (MQTT-SN)
6- Server
7-Attribute-Based Encryption (ABE)
8- Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)
9- Near Real-Time Instant Messaging
10- Internet Engineering Task Force (IETF)
11- Data Distribution Service (DDS)
12- Object Management Group (OMG)
13- Data-Centric Publish-Subscribe DCPS
14- Data-Local Reconstruction

www.NetSimulate.net

نویسنده داده، ۳- مشترکان، ٤- خواننده داده، ٥- موضوع.

٥- AMQP[15]: پروتکل AMQP در سال ۲۰۰۳ توسط جان اوهارا[16] در کمپانی JPMorgan Chase مطرح و توسط سازمان بهبود استانداردهای اطلاعات ساختاری استاندارد شده است. AMQP به‌طور گسترده‌ای در بُن‌سازه‌های تجاری استفاده می‌شود [٥]. ارتباطات توسط دو جزء اصلی به کار گرفته می‌شوند [۷]: ۱- تراکنش‌ها (برای مسیریابی پیام‌ها به صف مناسب استفاده می‌شوند)، ۲- صف‌های پیام (پیام‌ها می‌توانند در صف‌های پیام ذخیره و پس‌ازآن به گیرنده‌ها ارسال شوند).

٦- Websockets: پروتکل WebSocket در سال ۲۰۱۱ توسط کارگروه مهندسی اینترنت استاندارد و به‌عنوان بخشی از ابتکار HTML5 به‌منظور تسهیل مجراهای ارتباطی توسعه داده شده است [۳]؛ درواقع یک پروتکل مبتنی بر وب است که بر روی مجرا TCP تک، کار می‌کند و ارتباطات کاملاً دوطرفه فراهم می‌نماید، این پروتکل برای برنامه‌های کاربردی که از مرورگرها استفاده می‌کنند و نیاز به تعامل و ارتباط با میزبان راه دور را دارند، مناسب است [٥].

۲-۲- پروتکل‌های کشف خدمات

کشف خدمات به معنای تشخیص خودکار دستگاه‌ها و خدماتی است که توسط این دستگاه‌ها در شبکه ارائه می‌شوند، با توجه به [۳] پروتکل‌های کشف خدمات به شرح زیر می‌باشند:

۱- mDNS[17]: یک خدمت پایه برای برخی برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء، سیستم نام دامنه است [۳]. mDNS پروتکلی است که از رابط‌های کاربردی برنامه‌نویسی[18] مشابه همانی که در سیستم نام دامنه تک‌پخشی معمولی موجود است استفاده می‌کند، ولی این رابط‌ها متفاوت اجرا می‌شوند؛ هنگامی‌که یک کارخواه[19] mDNS می‌خواهد یک نام را تحلیل کند، یک پرس‌وجوی سیستم نام دامنه را چندپخشی می‌کند و میزبان با رکورد مربوط، با نشانی آی‌پی خود پاسخ می‌دهد [۹].

۲- DNS-SD: DNS-SD[20] یک استاندارد است که با استفاده از رکوردهای منبع سیستم نام دامنه، کارخواه‌های سیستم نام دامنه را قادر به کشف نمونه‌های نام‌گذاری شده از یک سرویس داده‌شده، می‌سازد [۱۰]. با استفاده از این پروتکل، کارخواه‌ها می‌توانند مجموعه‌ای از خدمات موردنظر در یک شبکه خاص را با استفاده از پیام‌های سیستم نام دامنه استاندارد کشف کنند [۳].

۳- وب فیزیکی[21]: چیزی که باعث شد وب فیزیکی به یک واقعیت تبدیل شود بیکن‌ها[22] (رادیوهای کوچک بلوتوثی هستند که طیف سیگنال کوتاهی دارند) هستند [۱۱]. وب فیزیکی محیطی را ایجاد می‌کند که در آن دستگاه هوشمند و یا شیء متصل به بیکن از طریق بلوتوث، شناسه منبع یکپارچه[23] را به گوشی‌های هوشمندی که به آن دستگاه نزدیک‌تر هستند، همه-پخشی می‌کند [۱۲].

٤- UPnP: UPnP[24] یک پروتکل برای کشف خودکار و قابلیت همکاری دستگاه در یک شبکه همتا-به-همتا[25] است [۱۳] که برای تحقق بخشیدن به خدمات مختلف به مشتریان در شبکه‌های کوچک مانند شبکه‌های خانگی، کسب‌وکار کوچک و شبکه ساختمان تجاری پیشنهاد شده است [۱٤]. عملیات پایهٔ یک شبکه UPnP از شش مرحله زیر تشکیل شده است [۱٥]: ۱- نشانی‌دهی، ۲- کشف، ۳- توضیحات، ٤- کنترل، ٥- اطلاع‌رسانی، ٦- ارائه.

٥- HyperCat: مشارکتی از ٤۰ شرکت شامل شرکت آی‌بی‌ام، اینتل و غیره، Hypercat را توسعه دادند که یک اتحاد و استاندارد جهانی است و اینترنت اشیایی مطمئن و سازگار را برای صنعت و شهرها به همراه دارد. Hypercat اجازه می‌دهد تا کارخواه‌های اینترنت اشیاء اطلاعاتی در مورد دستگاه‌های مختلف

15- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)
16- John O'Hara
17- Multicast Domain Name System (mDNS)
18- Application Programming Interface (API)
19- Client

20- DNS Service Discovery (DNS-SD)
21- Physical Web
22- Beacon
23- Uniform Resource Identifier (URI)
24- Universal Plug and Play (UPnP)
25- Peer-to-Peer

www.NetSimulate.net

اینترنت اشیاء در سراسر وب، به دست آورند [۱۶].

۲-۳- پروتکل‌های زیرساخت

بخش زیرساخت خود از ۳ زیر بخش دیگر تشکیل شده است؛ که ما پروتکل‌ها را در بخش‌های مسیریابی، شبکه و لایه فیزیکی بررسی می‌کنیم.

۲-۳-۱- مسیریابی

مسیریابی به معنای انتخاب بهترین مسیر برای انتقال داده به مقصد موردنظر است، با توجه به [۳،۷] پروتکل‌های مسیریابی به شرح زیر می‌باشند:

۱- RPL[۲۶]: RPL یک پروتکل مسیریابی اینترنت است که برای شبکه‌های حسگر بیسیم توسط کارگروه مهندسی اینترنت مشخص شده است. این پروتکل که همچنین به‌عنوان پروتکل لایه شبکه شناخته می‌شود پروتکل مسیریابی بردار فاصله برای شبکه‌های کم قدرت و با اتلاف است که از IPv6 استفاده می‌کند [۶].

۲- CORPL[۲۷]: CORPL یک توسعه از RPL، طراحی‌شده برای شبکه‌های ادراکی[۲۸] است و از نسل توپولوژی DODAG[۲۹]، اما با دو تغییر جدید به RPL، استفاده می‌کند [۷]. CORPL از ساختار پدر موجود در RPL استفاده می‌کند که در آن به حداقل یک پدر پشتیبان‌گیر علاوه بر پدر پیش‌فرض نیاز است، هر گره یک مجموعه ارسال‌کننده دارد و گره انتقال (گام بعدی) به‌صورت فرصت‌طلبانه انتخاب می‌شود [۱۷].

۳- CARP[۳۰]: CARP یک پروتکل مسیریابی توزیع‌شده طراحی‌شده برای ارتباطات زیرِ آب است [۷]. پروتکل‌هایی مانند CARP بازپخش گام بعدی را بر اساس تبادل صحیح بسته‌های کنترل، تعیین می‌کنند؛ هنگامی‌که یک همسایه به‌عنوان بازپخش کننده انتخاب می‌شود، مجرا انتخاب می‌گردد و برای انتقال داده مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱۸].

۲-۳-۲- شبکه

با بررسی [۳،۷] پروتکل‌های لایه شبکه به شرح زیر می‌باشند:

۱- 6LoWPAN[۳۱]: گروه کاری مهندسی اینترنت 6LoWPAN استاندارد 6LoWPAN را در سال ۲۰۰۷ توسعه داده‌اند [۳]. درواقع 6LoWPAN یک پروتکل شبکه است که اجازه اتصال مستقیم به اینترنت را با استفاده از استانداردهای باز می‌دهد [۶]. به‌جای تعریف یک سرآیند واحد مانند 6LoWPAN، IPv4 از سرآیندهای پشته همانند پروتکل IPv6، استفاده می‌کند [۱۹].

۲- 6TiSCH[۳۲]: 6TiSCH یک مفهوم جهانی جدید را تعریف می‌کند که ماتریس توزیع/استفاده مجرا[۳۳] نام دارد؛ ماتریس توزیع/استفاده از مجرا به‌اصطلاح «سلول» نامیده می‌شود، این سلول دارای ارتفاعی برابر با تعداد فرکانس‌های در دسترس و عرضی است که دوره عملیات برنامه‌ریزی شبکه است [۲۰].

۳- 6Lo[۳۴]: گروه کاری 6Lo از اوت ۲۰۱۳ درحال‌توسعه مجموعه‌ای از استانداردها برای انتقال بسته‌های IPv6 بر پیوندهای مختلف داده است؛ اگرچه 6LowPAN و 6TiSCH که IEEE 802.15.4 و IEEE 802.15.4e را پوشش می‌دهند، توسط گروه‌های کاری مختلفی ارائه شده‌اند، اما مشخص شد که پیوندهای داده بیشتری وجود دارند که باید پوشش داده شوند، به همین ترتیب گروه کاری 6Lo تشکیل شد [۷].

۲-۳-۳- لایهٔ فیزیکی

این لایه با سخت‌افزار گیرنده و فرستنده ارتباط دارد، پروتکل‌های آن با توجه به [۳،۷] به شرح زیر می‌باشند:

۱- LTE-A[۳۵]: LTE-A شامل مجموعه‌ای از پروتکل‌های ارتباطی تلفن همراه است که در لایه فیزیکی، از دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس متعامد[۳۶] استفاده می‌کند که توسط آن پهنای باند مجرا به باندهای کوچک‌تر تقسیم می‌شود که بلوک‌های منابع فیزیکی نام دارند و هر یک می‌توانند به‌طور جداگانه استفاده شوند [۳،۷]. معماری شبکه

26- Routing Protocol for Low power and Lossy Networks (RPL)
27- Cognitive RPL (CORPL)
28- Perceptual
29- Direction-Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG)
30- Common Address Redundancy Protocol (CARP)

31- IPv6 over Low power WPAN (6LoWPAN)
32- IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e (6TiSCH)
33- Channel distribution/usage (CDU)
34- IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes (6Lo)
35- LTE Advanced (LTE-A)
36- Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

www.NetSimulate.net

LTE-A متشکل از ۲ بخش اصلی است [۲۱]: ۱- هسته بسته تکامل‌یافته، ۲- شبکه دسترسی رادیویی زمینی تکامل‌یافته.

۲- IEEE 802.15.4: این پروتکل پایه‌ای برای پروتکل ZigBee است و هر دو بر ارائه خدمات با نرخ داده کم بر دستگاه‌های باقدرت محدود تمرکز می‌کنند و یک پشته پروتکل شبکه کامل برای شبکه حسگر بیسیم می‌سازند [۳]. در سال ۲۰۰۸، IEEE802.15.4e برای گسترش IEEE802.15.4 و پشتیبانی از ارتباطات کم قدرت ساخته شد که برای دستیابی به قابلیت اطمینان بالا، هزینه کم و الزامات ارتباطی اینترنت اشیاء، از هماهنگ‌سازی زمانی استفاده می‌کند [۷].

۳- Z-Wave: Z-Wave به‌عنوان یک پروتکل ارتباطی بیسیم کم قدرت برای شبکه‌های خودکارسازی خانگی، به‌طور گسترده‌ای در برنامه‌های کاربردی کنترل از راه دور در خانه‌های هوشمند و همچنین محیط‌های تجاری، استفاده شده است [۳،۲۲].

۲-٤- پروتکل‌های پیوند داده

پروتکل‌های لایه پیوند داده با توجه به [۷] به شرح زیر می‌باشند:

۱- IEEE 802.11 ah: استانداردهای IEEE 802.11 (همچنین شناخته‌شده به‌عنوان وای فای) استانداردهای بی‌سیمی هستند که بیشتر مورداستفاده قرار گرفته‌اند. استانداردهای وای فای اصلی با توجه به سربار بسته و مصرف انرژی بالایی که دارند، برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء مناسب نیستند؛ ازاین‌رو، گروه کاری IEEE 802.11 گروه کاری دیگری به نام 802.11ah را آغاز کردند که پیش‌نویس پنجم آن در سال ۲۰۱۵ منتشر شد [۷].

۲- بلوتوث کم انرژی[۳۷]: بلوتوث کم انرژی و یا بلوتوث هوشمند یک پروتکل ارتباطی با برد کوتاه و لایه کنترل دسترسی به رسانه[۳۸] و لایهٔ فیزیکی است که به‌طور گسترده‌ای برای شبکه داخل-حامل[۳۹] مورداستفاده قرار می‌گیرد که در سال ۲۰۱۰ در هسته بلوتوث نسخه ٤,۰ گنجانده شده است [۷،۲۳]. این پروتکل معماری فرمانده/فرمانبر را دنبال می‌کند و دو نوع بسته ارائه می‌دهد [۷]: ۱- تبلیغات، ۲- بسته داده.

۳- Zigbee: این استاندارد در سال ۲۰۰٤ تصویب شد که برای طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء ازجمله خانه‌های هوشمند، کنترل از راه دور و سیستم بهداشت و درمان طراحی شده است و از طیف گسترده‌ای از توپولوژی‌های شبکه ازجمله ستاره، همتا-به-همتا و یا خوشه‌ای-درخت پشتیبانی می‌کند [۷]. استانداردهای Zig-Bee دو پروفایل پشته یعنی ZigBee و ZigBee Pro را تعریف می‌نمایند که از شبکه مش کامل پشتیبانی و با برنامه‌های کاربردی مختلف کار می‌کنند و اجازه پیاده‌سازی با حافظه و قدرت پردازش کم را می‌دهند [۷،۲٤].

٤- DASH7: یک پروتکل ارتباطی بیسیم برای شبکه فعال‌شده با RFID[٤٠] است که در صنعت پزشکی و در دسترس جهانی کار می‌کند و برای نیازهای اینترنت اشیاء مناسب است. این پروتکل عمدتاً برای پوشش دوربرد در فضای باز مقیاس‌پذیر، با نرخ داده بالاتر نسبت به ZigBee سنتی طراحی شده است و از دستگاه‌های RFID و شبکه حسگر بیسیم پشتیبانی می‌کند [۷،۲۵]. از معماری فرمانده/فرمانبر پیروی می‌کند و ویژگی‌های لایه کنترل دسترسی به رسانه آن را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد [۷]: پالایش، نشانی‌دهی، قالب بسته.

۵- G.9959 [۷]: یک پروتکل لایه کنترل دسترسی به رسانه از اتحادیه بین‌المللی مخابرات[٤١]، برای ارتباطات بیسیم نیمه-دوطرفه است که برای برنامه‌های کاربردی زمان واقعی که در آن واقعاً زمان مهم است، طراحی شده است. ویژگی‌های لایه کنترل دسترسی به رسانه عبارت‌اند از: شناسه منحصربه‌فرد شبکه که اجازه می‌دهد ۲۳۲ گره به یک شبکه بپیوندند، سازوکارهای اجتناب از تصادم، ارسال مجدد به‌صورت خودکار برای تضمین قابلیت اطمینان و غیره.

37- Bluetooth Low Energy (BLE)
38- Medium Access Control (MAC)
39- In-Vehicle

40- Radio-Frequency Identification (RFID)
41- International Telecommunication Union (ITU)

www.NetSimulate.net

۶- LoRaWAN[42]: یک پروتکل بهینه‌سازی با مصرف قدرت پایین است که برای شبکه‌های بیسیم مقیاس‌پذیر با میلیون‌ها دستگاه طراحی شده است [۷] و دستگاه‌های پایانی را قادر به ارسال و دریافت داده‌ها به‌صورت بیسیم و در قدرتی پایین می‌سازد [۲۶]. LoRaWAN ٤ نهاد شبکه معرفی می‌کند [۲۶،۲۷]: دستگاه‌های پایانی، دروازه‌ها، کارساز شبکه مرکزی، کارساز برنامه کاربردی.

۷- Weightless [۷]: یک فنّاوری شبکه گسترده بیسیم دیگر برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء است که دارای دو مجموعه استاندارد است: ۱-Weightless-N : برای اولین بار برای پشتیبانی از ارتباطات ماشین-به-ماشین کم‌هزینه و کم قدرت با استفاده از دسترسی چندگانه تقسیم زمانی[43] برای به حداقل رساندن تداخل، در سال ۲۰۱۳ توسعه داده شده است. ۲-Weightless-W : ویژگی‌های مشابه فراهم می‌نماید اما از فرکانس‌های باند تلویزیون استفاده می‌کند و در سال ۲۰۱۵ توسعه داده شده است.

۸- DECT/ULE [۷]: یک استاندارد جهانی اروپا برای تلفن‌های بیسیم است. با توجه به تخصیص مجرای اختصاص داده‌شده خود، DECT از تراکم و تداخل رنج نمی‌برد. DECT/ULE از دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس متعامد، دسترسی چندگانه تقسیم زمانی و تقسیم تسهیم زمان پشتیبانی می‌کند که در پروتکل DECT اصلی پشتیبانی نمی‌شد.

۹- LWM2M[44] [۲۸]: این پروتکل، CoAP با انتقال UDP/ SMS را به کار می‌گیرد. کارخواه LWM2M به‌طورمعمول در یک مرکز داده خصوصی یا عمومی قرار دارد و می‌تواند توسط ارائه‌دهنده خدمات ماشین-به-ماشین، ارائه‌دهنده خدمات برنامه کاربردی و یا ارائه‌دهنده خدمات شبکه میزبانی شود؛ یک کارساز LWM2M هم به‌طورمعمول به‌عنوان یک کتابخانه نرم‌افزار و یا یک تابع ساخته‌شده، با یک ماژول یا دستگاه ادغام می‌شود.

۱۰- SoAP[45] [۲۹]: SoAP یک پروتکل بسیار سبک برای تبادل اطلاعات ساخت‌یافته است که از فناوری XML برای تعریف یک چارچوب پیام کشویی استفاده می‌کند و یک ساختار پیام ارائه می‌دهد که می‌تواند با استفاده از انواع پروتکل‌های اساسی تبادل شود. چارچوب طراحی‌شده باید از هر مدل برنامه‌نویسی خاص مستقل باشد.

۱۱- WirelessHART: یک پروتکل پیوند داده است که در بالای لایه فیزیکی IEEE 802.15.4 عمل می‌کند و دسترسی چندگانه تقسیم زمانی را در لایه کنترل دسترسی به رسانه خود به کار می‌گیرد و در باند رادیویی ۲,٤ گیگاهرتز با استفاده از ۱۵ مجرای مختلف با نرخ داده ۲۵۰ کیلوبیت/ثانیه عمل می‌کند [۷،۳۰]. درواقع یک پروتکل ارتباطی شبکه مش بیسیم است که به‌صورت مرکزی توسط مدیر شبکه کنترل می‌گردد و شبکه آن مبتنی بر معماری متمرکز است [۳۱].

۲-۵- پروتکل‌های لایه انتقال (ارتباطات)

این لایه جریان داده‌ها را در شبکه کنترل می‌کند، پروتکل‌های این لایه به شرح زیر می‌باشند:

۱- ISA 100.11a: در سال ۲۰۰۹، انجمن بین‌المللی خودکارسازی[46] یک استاندارد شبکه مش بیسیم را تأیید کردند که به‌عنوان ISA100.11a شناخته می‌شود. یک شبکه ISA 100.11a، ممکن است از هفت نوع دستگاه تشکیل شده باشد [۳۲،۳۳]: ۱- دروازه، ۲- مدیر سیستم، ۳- مدیر امنیت، ٤- مسیریاب، ٥- مسیریاب ستون اصلی، ٦- دستگاه‌های ورودی/خروجی، ۷- دستگاه‌های قابل‌حمل.

۲- NFC: NFC[47] به‌طور مشترک توسط سونی و فیلیپس در اواخر سال ۲۰۰۲ توسعه داده شد که یک پروتکل ارتباطی نیمه-دوطرفه با برد کوتاه است و ارتباطی آسان و امن بین دستگاه‌های مختلف فراهم می‌کند [۳٤]. این ایده که دستگاه‌های قابل‌حمل می‌توانند با استفاده از یک ارتباط رادیویی توسط یک آنتن تعبیه‌شده برای مسافت‌های کوتاه، با دیگر دستگاه‌ها (قابل‌حمل و یا بی‌حرکت) به‌صورت امن

42- Low Power Wide Area Network (LoRaWAN)
43- Time-Division Multiple Access (TDMA)
44- Lightweight M2M (LWM2M)
45- Simple Object Access Protocol (SoAP)
46- International Society of Automation (ISA)
47- Near-Field Communication (NFC)

www.NetSimulate.net

جدول ۱: پروتکل‌ها و استانداردها در لایه‌های مختلف برای اینترنت اشیاء

کاربرد		CoAP, MQTT, MQTT-SN, XMPP, REST, DDS, HTTP, AMQP, WebSockets
کشف خدمات		mSNS, DNS-SD, PhysicalWeb, HyperCat, UpnP
زیرساخت	مسیریابی	RPL,CORPL, CARP
	شبکه	6LoWPAN, 6TiSCH, 6LO
	فیزیکی/دستگاه	LTE-A, IEEE 802.15.4, Z-Wave
پیوند داده		IEEE 802.15.4e, IEEE 802.11 ah, Z-Wave, BLE, Zigbee, DASH7, G.9959, LTE-A, LoRaWAN, Weightless, DECT/ULE, MQTT, MQTT-SN, CoAP, XMPP, AMOP, DDS, LWM2M, REST, SoAP, Websocket, WirelessHART
ارتباط/انتقال		WirelessHart, ISA 100.11a, IEEE 802.15.4, NFC, ZigBee, EnOcean, WeightLess, NB-IoT, LTE-MTC, LoRaWAN

ارتباط برقرار کنند، منجر به معرفی اســتاندارد NFC شده است [۳۵].

۳- EnOcean [۳۶]: EnOcean یک فناوری ارتباط بیسیم فوق‌العاده کم قدرت است که با برداشت انرژی طراحی شده است. فناوری EnOcean ارتباطات بیسیم قابل‌اعتمادی را با یک پشته پروتکل بسیار ساده، محقق می‌سازد.

٤- NB-IoT[48] [۳۷]: پــس از فعالیت‌هــای اخیــر پروژه مشارکت نسل ســوم[49] در اینترنت اشــیاء همراه[50]، کار بر روی فنّاوری اینترنت اشــیاء باند باریک تأیید شــده است، روند استانداردسازی NB-IoT در ماه ژوئن ۲۰۱٦ به پایان رسید و این فنّاوری به‌طور رسمی در انتشار ۱۳ اُم از LTE گنجانده شد.

۳- بحث و جمع‌بندی

برخی پروتکل‌ها و استانداردهای لایه‌های مختلف برای اینترنت اشیاء که در بخش‌های قبلی ذکر شد، در جدول (۱) خلاصه شده‌اند.

حــال در جــدول (۲) به‌طــور خلاصــه نگاهــی به ویژگی‌هــای پروتکل‌ها و اســتانداردهای ذکرشــده در لایــه کاربــرد، جدول (۳) لایه کشــف خدمــات، جدول (٤) به بررســی پروتکل‌ها و اســتانداردهای زیرساخت (مسیریابی، شبکه و فیزیکی)، جدول (۵) لایه پیوند داده و درنهایت در جدول (٦) به لایه انتقال می‌پردازیم.

نتیجه‌گیری

در این مقاله برخی پروتکل‌ها و اســتانداردهای رایج در زمینه اینترنت اشــیاء در لایه‌هــای مختلفی ازجمله کاربرد، کشــف خدمات، زیرساخت متشــکل از مسیریابی و شبکه و لایهٔ فیزیکی، لایه پیونــد داده و درنهایت لایه ارتباطات را معرفی کرده و به بررسی اجمالی آن‌ها پرداختیم، در جدولی دســته‌بندی از این پروتکل‌ها و اســتانداردها ارائه دادیم و پس‌ازآن برخی ویژگی‌های هرکدام مانند هدف، مزایا، معماری و غیره را به‌صورت جداگانه بررســی نمودیم، پروتکل‌های ذکرشده در حال حاضر در کاربردهای مختلف اینترنت اشیاء مورداستفاده قرار می‌گیرند. با توجه به هدف توسعه هرکدام از ایــن پروتکل‌ها و با توجه به نیازهای محیط‌های مختلف، به‌منظور رفــع احتیاجات آن محیط باید پروتکل مناســبی انتخاب گردد. مسئله‌ای که واضح است این است که با توجه به توسعه و روند پیشرفتی که اینترنت اشیاء در پیش گرفته اســت و با توجه به این مسئله که اطلاعات متفاوتی توسط اشیاء هوشمند جمع‌آوری می‌شود که کاربران نگرانی زیادی در مورد خطر افشا و یا سوءاستفاده از این اطلاعات دارند، نیاز به پروتکل‌های جدیدتری که خلأهای موجود را پر کند بیشتر حس می‌شود و این الزام پژوهشگران را در این زمینه مشغول خواهد کرد.

48- NarrowBand IoT (NB-IoT)
49- 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
50- CIoT

www.NetSimulate.net

جدول ۲: خلاصه ویژگی پروتکل‌های لایه کاربرد

نام	UDP یا TCP	هدف	امنیت	معماری	پشتیبانی از کیفیت خدمات	مزایا	معایب
CoAP	UDP	در اصل برای انتقال وب با گره‌ها و شبکه‌های محدودشده در اینترنت اشیاء توسعه‌یافته است [۶]	DTLS	انتشار/اشتراک درخواست / پاسخ کارخواه/ کارساز	✓	مناسب برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء، پشتیبانی از الزامات ماشین-به-ماشین در محیط‌های محدود، پشتیبانی از تک/ چندپخشی، تبادل پیام ناهمگام، سربار سرآیند کم، دارای پروکسی ساده، قابلیت ذخیره، پشتیبانی از شناسه منبع یکپارچه، قابلیت اطمینان، ساده، مصرف کم پردازنده و حافظه، کاهش سربار ارتباطی، انعطاف‌پذیری [۳،۵،۶]	تحویل بد بسته، سربار بالا، ناتوانی برای استفاده در نوع داده‌های پیچیده [۵]
MQTT	TCP	برای ارائه اتصال تعبیه‌شده بین برنامه‌های کاربردی و میان‌افزار در یک طرف و شبکه‌ها و ارتباطات در طرف دیگر [۷]	TLS/SSL	انتشار / اشتراک کارخواه/ کارساز	✓	انعطاف‌پذیری انتقال و سادگی اجرا، مناسب برای دستگاه‌های با منابع محدود، پروتکل پیام‌رسانی برای ارتباطات اینترنت اشیاء و ماشین-به-ماشین، ارائه مسیریابی برای دستگاه‌های کوچک و ارزان، سربار کم، نیاز به پهنای باند و پردازش کم، طول عمر باتری بیشتر، اطمینان از تحویل بسته، به حداقل رساندن ترافیک شبکه، تأخیر پایین [۳-۵]	مناسب تنها برای محیط‌های محدود مانند محیط‌هایی با توان کم، قابلیت محاسبه و حافظه و پهنای باند محدود [۵]
XMPP	TCP	طراحی‌شده برای تبادل پیام [۴]	TLS/SSL	انتشار / اشتراک درخواست/ پاسخ	✓	سازگاری با دیگر پروتکل‌ها، امن، غیرمتمرکز، زمان تأخیر کم، قابلیت اطمینان، بسیار کارآمد از طریق اینترنت، مقیاس‌پذیری بالا [۳،۴،۵،۷]	نامناسب برای برنامه‌های کاربردی جدید، غیرعملی برای ارتباطات ماشین-به-ماشین، افزایش مصرف انرژی، تعداد سرآیند بالا، سربار اضافی، مصرف پهنای باند و پردازنده بالا [۳،۴،۵،۷]
DDS	UDP	برای ارتباطات ماشین-به-ماشین [۵]	–	انتشار / اشتراک بدون کارگزار	✓	قابلیت اعتماد بالا، مناسب برای ارتباطات ماشین-به-ماشین و اینترنت اشیاء، امنیت بالا [۷]	–
AMQP	TCP	طراحی‌شده برای پشتیبانی مؤثر از برنامه‌های پیام‌رسانی و الگوهای ارتباطی	TLS/SSL	انتشار/اشتراک	✓	ارتباطات قابل‌اعتماد از طریق تضمین تحویل پیام، ارسال حجم پیام بالا در ثانیه، مقیاس‌پذیری بالا، قابلیت همکاری در میان دستگاه‌های مختلف، امنیت بالا، سازگاری [۳-۵]	در پهنای باند کم موفق نیست، نامناسب برای محیط‌های محدود و برنامه‌های کاربردی زمان واقعی [۴،۵]
Websockets	TCP	امنیت را شبیه به مدل امنیتی استفاده‌شده در مرورگرهای وب فراهم می‌کند [۵]	TLS/SSL	کارخواه/ کارساز	–	تسهیل مجراهای ارتباطی، پشتیبانی از ارتباطات کامل دوطرفه ناهم‌زمان، مناسب برای برنامه‌های کاربردی که از مرورگر استفاده می‌کنند [۴]	نامناسب برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء و دستگاه‌های با منابع محدود [۴]

www.NetSimulate.net

جدول ۳: خلاصه ویژگی پروتکل‌های کشف خدمات

نام	نوع	هدف	مزایا
mDNS	پروتکل	مانند یک سرویس است که می‌تواند وظیفه تک‌پخشی کارساز سیستم نام دامنه را انجام دهد [۳]	انعطاف‌پذیر، قادر به اجرا بدون زیرساخت، عدم نیاز به پیکربندی دستی دوباره برای مدیریت دستگاه‌ها، قادر به ادامه کار در صورت شکست زیرساخت، عدم نیاز به هیچ زیرساخت اضافی علاوه بر کارسازهای سیستم نام دامنه فعلی، استفاده مجدد و توسعه پروتکل‌های اینترنتی فعلی، انتخاب مناسب برای دستگاه‌های مبتنی بر اینترنت، عدم وجود میزبان مرکزی مسئول عملکرد کل سیستم [۳،۹،۳۸]
DNS-SD	استاندارد	یک استاندارد است که کارخواه‌های سیستم نام دامنه را قادر به کشف نمونه‌های نام‌گذاری شده از یک سرویس داده‌شده با استفاده رکوردهای منبع سیستم نام دامنه می‌سازد [۱۰]	اتصال ماشین‌ها بدون اداره و یا پیکربندی خارجی [۳]
Physical Web	استاندارد	فعال‌سازی تعامل بین گوشی‌های هوشمند و شیء بدون داشتن برنامه‌های همراه نصب‌شده در گوشی هوشمند [۱۲]	ردیابی کاربران، بسیار کارآمد درنتیجه مناسب‌ترین راه‌حل برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء، منبع باز [۱۱]
UPnP	پروتکل	اتصال لوازم‌خانگی یکپارچه از طریق یک معماری یکنواخت و تضمین اتصالات شبکه یکپارچه بین دستگاه‌ها برای انتقال قابل‌اعتماد داده در میان آن دستگاه‌ها [۱۴]	قابل‌اجرا در هر محیط اینترنت، قابل‌گسترش، ساخته‌شده بر پروتکل‌ها یا فناوری‌های شناخته‌شده، مستقل از سیستم‌عامل و زبان برنامه‌نویسی و یا رسانه فیزیکی، قادر به پیکربندی خودکار تنظیمات اتصال، ارائه قابلیت‌هایش به بقیه موجودیت‌ها در شبکه بدون دخالت کاربر [۴،۱۴]
HyperCat	استاندارد	قادر به ساختن ماشین‌ها و حسگرها با راحتی بیشتر و کشف داده‌ها و منابع در سراسر اینترنت، با حداقل مداخله نیروی انسانی	سازگاری بالا، ردیابی سریع، در دسترس قرار دادن اطلاعات، جستجوی نوع داده خاص در سراسر اینترنت، قادر ساختن کاربران به پیدا کردن سریع‌تر و راحت‌تر داده‌های مرتبط با نیازشان

مراجع

[1] Dr. Bhuvaneswari V., Dr. Porkodi R., "The Internet of Things (IoT) Applications and Communication Enabling Technology Standards: An Overview", IEEE International Conference on Intelligence Computing Applications (ICICA), pp. 324-329, 2014.

[2] Kraijak Surapon, Tuwanut Panwit, "A survey on IoT architectures, protocols, Applications, security, privacy, real-world implementation and future trends", IEEE 11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015), pp. 1-6, 2015.

[3] Al-Fuqaha Ala, Guizani Mohsen, Mohammadi Mehdi, Aledhari Mohammed, Ayyash Moussa, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 17, Issue: 4, pp. 2347-2376, 2015.

[4] Karagiannis Vasileios, Chatzimisios Periklis, Vazquez-Gallego Francisco, Alonso-Zarate Jesus, "A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things", Journal of Transaction on IoT and Cloud Computing, 2015.

[5] Bani Yassein Muneer, Shatnawi Mohammed Q., Al-zoubi Dua', "Application Layer Protocols for the Internet of Things: A survey", IEEE International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS), pp. 1-4, 2016.

[6] Abdul Rahman Reem, Shah Babar, "Security analysis of IoT protocols: A focus in CoAP", IEEE 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC), pp. 1-7, 2016.

[7] Salman Tara, Networking Protocols and Standards for Internet of Things, Wiley Online Library, 2017.

[8] Govindan Kannan, Azad Amar Prakash, "End-to-end Service Assurance in loT MQTT-SN", 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp. 290-296, 2015.

[9] Proto Francesco Saverio, Pisa Claudio, "The OLSR mDNS Extension for Service Discovery", 6th IEEE Annual Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks Workshops, pp. 1-3, 2009.

[10] Stolikj Milosh, Verhoeven Richard, Cuijpers Pieter J. L., Lukkien Johan J., "Proxy support for service discovery using mDNS/DNS-SD in low power networks", Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks , pp. 1-6, 2014.

[11 Dr. Rajpoot Subhadra, Kumar Sachin, Dr. Singh Preeti, "Implementing the Physical Web Using Bluetooth Low Energy Based Beacons and a Mobile App", IEEE International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH), pp. 327-329, 2016.

[12] Kibria Muhammad Golam, Chong Ilyoung, "Knowledge based Open IoT Service Provisioning through Cooperation between Physical Web and WoO", IEEE Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks, pp. 395-400, 2015.

[13] Eidsvik Arne Ketil, Karlsen Randi, Blair Gordon, Grace Paul, "Interfacing remote transaction services using UPnP", Elsevier Journal of Computer and System Sciences, Vol. 74, Issue 2,

www.NetSimulate.net

جدول ۴: خلاصه ویژگی پروتکل‌های زیرساخت

لایه	نام	نوع	هدف	مزایا
مسیریابی	RPL	پروتکل	برای پشتیبانی از حداقل نیازهای مسیریابی از طریق ایجاد یک توپولوژی قوی بر روی پیوندهای پر اتلاف ایجاد شده است [۳] توسط گروه کاری IETF ROLL برای پاسخگویی به نیازهای خاص و محدودیت‌های شبکه حسگر بیسیم طراحی شده است [۳۹]	مناسب برای شبکه‌های پر اتلاف و کم قدرت، محرمانگی و یکپارچگی پیام، بهبود کارایی، اطمینان از تحویل بسته‌ها به ترتیبی که فرستاده شده‌اند، پشتیبانی از انواع پروتکل‌های پیوند داده، پشتیبانی از ترافیک رو به پایین و رو به بالا، پاسخگویی به محدودیت‌های شبکه بیسیم [۳،۶،۷،۳۹]
	CORPL	پروتکل	حفظ رویکرد گراف جهت‌دار غیرمدور۱ مبتنی بر RPL و در همان زمان معرفی تغییرات جدید [۷]	بهبود توان و قابلیت اطمینان پایان به پایان شبکه، بهره‌برداری از ویژگی‌های ذاتی شبکه بیسیم، پشتیبانی از هشدار حساس به تأخیر، انتقال بهینه، حداکثر توان عملیاتی [۱۶]
	CARP	پروتکل	طراحی‌شده برای ارتباطات زیرِ آب [۷]	بسته‌های بسیار سبک‌وزن، پویایی مجرا، جلوگیری از ارسال مجدد غیرضروری بسته‌های دریافت شده، استفاده از مزایای کنترل قدرت مودم [۷،۱۷]
شبکه	6LoWPAN	پروتکل	مشخصات خدمات نگاشت موردنیاز توسط IPv6 بر WPAN کم انرژی برای حفظ شبکه IPv6 است [۳]	فشرده‌سازی سرآیند برای کاهش سربار انتقال و تکه‌تکه شدن برای برآوردن احتیاج حداکثر واحد انتقال IPv6، انعطاف‌پذیری برای اجرا بر چندین بُن‌سازهٔ ارتباطات، پهنای باند کم، پشتیبانی از توپولوژی مش و ستاره، کم‌هزینه، پشتیبانی از نشانی‌ها با طول‌های مختلف، به‌طور مؤثری سرآیند طولانی IPv6 را در بسته‌های کوچک IEEE802.15.4 بسته‌بندی می‌کند که نمی‌تواند از ۱۲۸ بایت تجاوز کند [۳،۶،۷]
	6TiSCH	پروتکل	گروه کاری 6TiSCH در کارگروه مهندسی اینترنت درحال‌توسعه استانداردهایی هستند تا این شرایطی را فراهم آوردند که IPv6 از طریق حالت TSCH2 از طریق پیوندهای داده IEEE 802.15.4e منتقل شود [۷]	مقیاس‌پذیری، بهینه‌سازی با استفاده از سازوکارهای برنامه‌ریزی، نظارت از راه دور، مدیریت برش‌های زمانی و منابع دستگاه، حداقل مصرف انرژی، استفاده از پروتکل EAP و TLS برای محافظت از ارتباطات دستگاه [۲۰،۴۰]
	6LO	استاندارد	تعریف مشخصات برای اجرای IPv6 بر فناوری‌های متعدد لایه دو	بهبود کشف همسایه، کاهش چندپخشی، ارتباطات قابل‌اعتماد، بهینه‌سازی استفاده از پهنای باند شبکه
فیزیکی	LTE-A	استاندارد	متناسب کردن ارتباطات ماشین-به-ماشین و برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء در شبکه‌های تلفن همراه [۳]	مناسب برای ارتباطات نوع ماشین و زیرساخت‌های اینترنت اشیاء، هزینه پایین، مقیاس‌پذیر، تضمین کیفیت خدمات [۳،۷،۲۱]
	IEEE 802.15.4	استاندارد	یک پروتکل ارتباطی برای اتصال دستگاه به‌صورت بیسیم از طریق ارتباطات رادیویی در یک شبکه شخصی تعریف می‌کند [۴۲]	مصرف انرژی کم، نرخ داده کم، کم‌هزینه، توان پیام بالا، عملکرد در بُن‌سازه‌های مختلف، ارائه ارتباطات مطمئن، اداره تعداد زیاد گره، امنیت، رمزنگاری AES، احراز هویت، اداره هر دو لایه کنترل دسترسی به رسانه و فیزیکی، محرمانگی و صحت داده، کنترل دسترسی [۳،۷]
	Z-Wave	پروتکل	یک پروتکل لایه کنترل دسترسی به رسانه کم قدرت طراحی‌شده برای خودکارسازی خانه است و برای ارتباطات اینترنت اشیاء به‌خصوص برای خانه‌های هوشمند و دامنه‌های تجاری کوچک [۷]	به حداقل رساندن هزینه، ساده، فشرده، پیاده‌سازی راحت، قابلیت اطمینان بالا، پیچیدگی پایین سیستم، مصرف انرژی کم [۲۲،۴۱]

www.NetSimulate.net

جدول ۵: خلاصه ویژگی پروتکل‌های پیوند داده

نام	نوع	هدف	مزایا
IEEE 802.11 ah	استاندارد	طراحی‌شده با سربار کمتر برای نیازهای اینترنت اشیاء [۷]	کم انرژی، سربار کمتر برای اینترنت اشیاء، افزایش گره‌های تحت پوشش نقطه دسترسی، اندازهٔ کاهش‌یافته سرآیند لایه کنترل دسترسی به رسانه و فیزیکی، استفاده از یک حالت ذخیره انرژی، مصرف توان کم، مصرف حداقل قدرت [۷،۴۷،۴۸]
BLE	پروتکل	گسترش برنامه کاربردی بلوتوث برای استفاده در دستگاه‌های باقدرت محدود مانند حسگرهای بیسیم و کنترل‌های بیسیم [۴۶]	انرژی بسیار پایین، زمان تأخیر پایین، انتقال سریع، کاهش تداخل، کنترل جریان، شناسایی خطا، تقسیم‌بندی، تشخیص بسته‌های تکراری، ارسال مجدد، ارائه خدمات امنیتی و مدیریتی، افزایش پهنای باند مجرا، تسهیل ارتباطات آی‌پی [۷،۲۳،۴۶]
Zigbee	پروتکل	برای دستگاه‌هایی با طول عمر باتری طولانی در بیسیم و برنامه‌های کاربردی نظارت	نبود هزینه اضافی دستیابی محاسبه و ارتباط، امن، مقیاس‌پذیر، تشخیص نشانی‌های تکراری، ارتباطات قابل‌اعتماد [۳۰،۴۳]
DASH7	پروتکل	پروتکل ارتباطی بیسیم نسل جدیدی برای RFID [۴۵]	کم‌هزینه، پشتیبانی از رمزگذاری و نشانی‌دهی IPv6، ارائه چند مجرا برای کاهش تصادم، استفاده از CSMA/CA برای جلوگیری از تنزل عملکرد و افزایش مصرف انرژی، کم‌هزینه، پشتیبانی از ارتباطات ماشین-به-ماشین، قدرت سیگنال و توانایی نفوذ، گزینه مناسب برای برنامه‌های کاربردی شبکه حسگر بیسیم، عملکرد بالا، زمان تأخیر کم، سازگاری بالا، نرخ داده پایین، مصرف انرژی کم [۷،۲۵،۴۵]
G.9959	پروتکل	برای ارتباطات بیسیم نیمه-دوطرفه است که برای برنامه‌های کاربردی زمان واقعی که در آن زمان واقعاً مهم است [۷]	پهنای باند و هزینه کم، ارتباطات قابل‌اعتماد، صرفه‌جویی در قدرت، دسترسی مجرای منحصربه‌فرد، اعتبارسنجی بسته، تصدیق، انتقال مجدد [۷]
LoRaWAN	پروتکل	برای بهینه‌سازی LPWAN برای طول عمر باتری، هزینه، ظرفیت و محدوده پیشنهاد شده است [۲۷]	نرخ داده پایین، مسافت طولانی، کم قدرت، هزینه پایین، امنیت، ارتباط دو جهتِ، مناسب برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء، آزاد از مکان، برداشت انرژی پایین، احراز هویت، تعادل سرعت [۷،۴۴]
Weightless	استاندارد	فنّاوری شبکه منطقه گسترده بیسیم دیگر برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء [۷]	امن، رمزگذاری، استفاده حداقل انرژی
DECT/ULE	استاندارد	برای تلفن‌های بیسیم [۷]	فوق‌العاده کم انرژی، کم قدرت، کم‌هزینه [۷]
LWM2M	پروتکل	فراهم آوردن یک رابط ارتباطی امن و جمع‌وجور و سبک همراه با مدل داده کارآمد که با هم مدیریت دستگاه و توانمندسازی خدمات برای دستگاه‌های ماشین-به-ماشین را ممکن می‌سازد [۲۸]	مناسب برای اتصال دستگاه محدود، مدیریت آسان، امن، سبک، مدل داده کارآمد [۲۸]
SoAP	پروتکل	برای تبادل اطلاعات ساخت‌یافته در محیط غیرمتمرکز، توزیع‌شده [۲۹]	استفاده از یک مدل داده و یک مدل پردازش، ساده، سازگار، مدل برنامه‌نویسی واحد، مدل امنیتی واحد [۲۹]
WirelessHART	پروتکل	اولین فناوری بیسیم باز استاندارد برای صنعت پردازش [۳۰]	مقابله با تصادم، امکان حذف ارتباط بر روی مجرای اشغال‌شده، رمزنگاری AES ۱۲۸ بیتی، بررسی یکپارچگی پیام، کاهش زمان محاسبات، بهبود استحکام مسیریابی شبکه، امن، قابل‌اعتماد، کم‌هزینه، ارتباطات هماهنگ شده [۷،۳۰]

www.NetSimulate.net

جدول ۶: خلاصه ویژگی پروتکل‌های لایه انتقال

نام	نوع	هدف	مزایا
ISA 100.11a	استاندارد	برای خودکارسازی صنعتی	تضمین تأخیر ارتباطی، قابلیت اطمینان، امنیت، نظارت غیر حساس، هشدار دهی، نظارت کنترل، جلوگیری از تصادم، ترافیک قابل پیش‌بینی و منظم، مصرف انرژی پایین [۳۲،۳۳]
NFC	پروتکل	برای ارتباطات بدون تماس [۳۴]	استفاده از طرح‌های مدولاسیون مختلف با عمق مدولاسیون مختلف، ذخیره‌سازی اطلاعات حساس در محیطی امن، یک فعال‌کننده برای محاسبات فراگیر ۳، امضا و رمزنگاری، یکپارچگی، قابلیت اطمینان، محرمانگی، کاهش هزینه [۳۴،۵۰]
EnOcean	فنّاوری	برای خودکار ساختمان و خانه‌های هوشمند	فوق‌العاده کم قدرت، بسیار کارآمد ازلحاظ انرژی، انعطاف‌پذیر، هزینه راه‌اندازی و نگهداری پایین، پیام‌های کوتاه، کاهش احتمال تصادم پیام، صرفه‌جویی در انرژی [۳۶]
NB-IoT	استاندارد	می‌تواند به‌راحتی به شبکه‌های موجود ادغام شود و درنتیجه تجهیزات کاربر را با پیچیدگی حدود ۱۰ برابر کمتر از Cat1 فراهم کند [۵۲]	پشتیبانی از اتصال بالا و اتصال پایین، صرفه‌جویی در هزینه، استفاده مجدد فرکانس، ساده‌سازی بخش رادیویی در دستگاه‌های کاربر نهایی [۴۹،۵۱،۵۲]

pp. 158-169, 2008.

[14] Kim Hwantae, Lee Suk Kyu, Kim Hyunsoon, Kim Hwangnam, "Implementing home energy management system with UPnP and mobile applications", Elsevier Journal of Computer Communications, Vol. 36, Issue 1, pp. 51-62, 2012.

[15] Borja R., Pinta J.R. de la, Álvarez A., Maestre J.M., "Integration of service robots in the smart home by means of UPnP: A surveillance robot case study", Elsevier Journal of Robotics and Autonomous Systems, Vol. 61, Issue 2, pp. 153-160, 2013.

[16] Aijaz Adnan, Su Hongjia, Aghvami Abdol-Hamid, "CORPL: A Routing Protocol for Cognitive Radio Enabled AMI Networks", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 6, Issue: 1, pp. 477-485, 2015.

[17] Basagni Stefano, Petrioli Chiara, Petroccia Roberto, Spaccini Daniele, "CARP: A Channel-aware routing protocol for underwater acoustic wireless networks", Elsevier Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 34, pp. 92-104, 2015.

[18] Available Online at: http://www.hypercat.io/

[19] Chalappuram Amitha, P R Sreesh, George Juney M, "Development of 6LoWPAN in Embedded Wireless System", Elsevier Journal of Procedia Technology, Vol. 25, pp. 513-519, 2016.

[20] Dujovne Diego, Watteyne Thomas, Vilajosana Xavier, Thubert Pascal, "6TISCH: Deterministic IP-enabled industrial Internet (of Things)", IEEE Communications Magazine, Vol. 52, Issue: 12, pp. 36-41, 2014.

[21] Haddad Zaher Jabr, Taha Sanaa, Saroit Imane Aly, "Anonymous authentication and location privacy preserving schemes for LTE-A networks", Elsevier Egyptian Informatics Journal, 2017.

[22] Yassein Muneer Bani, Mardini Wail, Khalil Ashwaq, "Smart Homes Automation using Z-wave Protocol", IEEE International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS), pp. 1-6, 2016.

[23] Gentili M., Sannino R., Petracca M., "BlueVoice: Voice communications over Bluetooth Low Energy in the Internet of Things scenario", Elsevier Journal of Computer Communications, Vol. 89–90, pp. 51-59, 2016.

[24] Kim Seong Hoon, Chong Poh Kit, Kim Taehong, "Performance Study of Routing Protocols in ZigBee Wireless Mesh Networks", Springer Wireless Personal Communications, pp. 1-25, 2017.

[25] Lee Hwakyung, Chung Sang-Hwa, Lee Yun-Sung, Ha Yoobin, "Performance Comparison of DASH7 and ISO/IEC 18000-7 for Fast Tag Collection with an Enhanced CSMA/CA Protocol", IEEE 10th International Conference on High Performance Computing and Communications & 2013 IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing , pp. 769-776, 2013.

[26] Neumann Pierre, Montavont Julien, Noël Thomas, "Indoor Deployment of Low-Power Wide Area Networks (LPWAN): a LoRaWAN case study", IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 1-8, 2016.

[27] Naoui Sarra, Elhdhili Mohamed Elhoucine, Azouz Saidane Leila, "Enhancing the security of the IoT LoraWAN architecture", IEEE International Conference on Performance Evaluation and Modeling in Wired and Wireless Networks (PEMWN), pp. 1-7, 2016.

[28] Rao Suhas, Chendanda Devaiah, Deshpande Chetan, Lakkundi Vishwas, "Implementing LWM2M in Constrained IoT Devices", IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe), pp. 52-57, 2015.

[29] Waleed Ghossoon M., Ahmad R. Badlishah, "Security Protection using Simple Object Access Protocol (SOAP) Messages Techniques", IEEE International Conference on Electronic Design, pp. 1-6, 2008.

www.NetSimulate.net

simulation tool for WirelessHART networks", Elsevier Journal of IFAC Proceedings Volumes, Vol. 42, Issue 3, pp. 234-237, 2009.
[44] Wixted Andrew J, Kinnaird Peter, Larijani Hadi, Tait Alan, Ahmadnia Ali, Strachan Niall, "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for Wireless Sensor Networks", IEEE Sensors, pp. 1-3, 2016.
[45] Cetinkaya Oktay, Akan Ozgur B., "A DASH7-based Power Metering System", 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp. 406-411, 2015.
[46] Joh Hangki, Yang Inhwan, Ryoo Intae, "The internet of everything based on energy efficient P2P transmission technology with Bluetooth low energy", Springer Peer-to-Peer Networking and Applications, Vol. 9, Issue 3, pp. 520-528, 2016.
[47] Yoon Sung-Guk, Seo Jeong-O, Bahk Saewoong, "Regrouping algorithm to alleviate the hidden node problem in 802.11ah networks", Elsevier Journal of Computer Networks, Vol. 105, pp. 22-32, 2016.
[48] Casas Raúl A., Papaparaskeva Vakis, Mao Xuehong, Kumar Rishi, Kaul Piyush, Hijaz Samer, "An IEEE 802.11ah Programmable Modem", IEEE 16th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), pp. 1-6, 2015.
[49] Ratasuk Rapeepat, Vejlgaard Benny, Mangalvedhe Nitin, Ghosh Amitava, "NB-IoT System for M2M Communication", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1-5, 2016.
[50] Zheng X. Y., Shen J., "Research on Life Cycle Monitoring of Long Distance Diversion Tunnel Based on NFC Context-Awareness", Springer Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 33, Issue 4, pp. 947-958, 2015.
[51] Wang Yuqing, Wu Zhanji, "A Coexistence Analysis Method to Apply ACLR and ACS between NB-IoT and LTE for Standalone Case", IEEE Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), pp. 375-379, 2016.
[52] Petrov Vitaly, Samuylov Andrey, Begishev Vyacheslav, Moltchanov Dmitri, Andreev Sergey, Samouylov Konstantin, Koucheryavy Yevgeni, "Vehicle-Based Relay Assistance for Opportunistic Crowdsensing over Narrowband IoT (NB-IoT)", IEEE Internet of Things Journal, pp. 1-1, 2017.
[30] Ferrari P., Flammini A., Rizzi M., Sisinni E., "Improving simulation of wireless networked control systems based on WirelessHART", Elsevier Journal of Computer Standards & Interfaces, Vol. 35, Issue 6, pp. 605-615, 2013.
[31] Dang Kui, Shen Ji-Zhong, Dong Li-Da, Xia Yong-Xiang, "A Graph Route-Based Superframe Scheduling Scheme in WirelessHART Mesh Networks for High Robustness", Springer Wireless Personal Communications, Vol. 71, Issue 4, pp. 2431-2444, 2013.
[32] Guilherme Bertelli, Anderson Santos, J´ulio C´esar, "Performance Evaluation of ISA100.11a Wireless Feedback Control", Elsevier IFAC-PapersOnLine, Vol. 49, Issue 30, pp. 290-295, 2016.
[33] Rezha Fadillah Purnama, Saputra Oka Danil, Shin Soo Young, "Extending CAN bus with ISA100.11a wireless network", Elsevier Journal of Computer Standards & Interfaces, Vol. 42, pp. 32-41, 2015.
[34] Coskun Vedat, Ozdenizci Busra, Ok Kerem, "A Survey on Near Field Communication (NFC) Technology", Springer Wireless Personal Communications, Vol. 71, Issue 3, pp. 2259-2294, 2013.
[35] Prauzek Michal, Konecny Jaromir, Venclikova Marketa, Baranek Vojtech, "NFC Interface for Standalone Data Acquisition Device", Elsevier IFAC-PapersOnLine, Vol. 49, Issue 25, pp. 437-441, 2016.
[36] Li Xiaohui, Chen Guang, Zhao Bing, Liang Xiaobing, "A Kind of Intelligent Lighting Control System Using the EnOcean Network", IEEE International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS). pp. 1-5, 2014.
[37] Petrov Vitaly, Samuylov Andrey, Begishev Vyacheslav, Moltchanov Dmitri, Andreev Sergey, Samouylov Konstantin, Koucheryavy Yevgeni, "Vehicle-Based Relay Assistance for Opportunistic Crowdsensing over Narrowband IoT (NB-IoT)", IEEE Internet of Things Journal, Issue: 99 , pp. 1-1, 2017.
[38] Jara Antonio J., Martinez-Julia Pedro, Skarmeta Antonio, "Light-weight multicast DNS and DNS-SD (lmDNS-SD): IPv6-based resource and service discovery for the Web of Things", IEEE Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pp. 731-738, 2012.
[39] Lorente Guillermo Gastón, Lemmens Bart, Carlier Matthias, Braeken An, Steenhaut Kris, "BMRF: Bidirectional Multicast RPL Forwarding", Elsevier Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 54, pp. 69-84, 2017.
[40] Thubert Pascal, Palattella Maria Rita, Engel Thomas, "6TiSCH Centralized Scheduling: when SDN Meet IoT", IEEE Conference on Standards for Communications and Networking, pp. 42-47, 2015.
[41] Yuan Cheng-wen, Wang Hai-rui, He Jun-ying, "Remote Monitoring System based on MC9S12NE64 and Z-WAVE technology", IEEE International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, pp. 1-4, 2010.
[42] Tennina Stefano, Gaddour Olfa, Koubâa Anis, Royo Fernando, Alves Mário, Abid Mohamed, "Z-Monitor: A protocol analyzer for IEEE 802.15.4-based low-power wireless networks", Elsevier Journal of Computer Networks, Vol. 95, pp. 77-96, 2016.
[43] Depari A., Ferrari P., Flammini A., Sisinni E., "Introducing a