رایانش مه در اینترنت اشیاء
(هوشمندی در لبه)

تألیف:

امیر رحمانی، پسی لیلجبرگ، اکسل جانچ، جورج سورن پردن

ترجمه:

مهندس عیسی خوشوقت، مهندس ارغوان ابوذرجمهری

انتشارات پندار پارس

عنوان و نام پدیدآور	:	رایانش مه در اینترنت اشیاء (هوشمندی در لبه)/ تالیف [صحیح: ویراستار] امیر رحمانی... [و دیگران] ؛ ترجمه عیسی خوشبخت، ارغوان ابوذرجمهری.
مشخصات نشر	:	تهران : پندار پارس ، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	:	۱۶۶ ص.
شابک	:	978-600-820193-9
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	تالیف [صحیح: ویراستار] امیر رحمانی، پسی لیلجبرگ، اکسل جانچ، جورج سورن‌پردن.
یادداشت	:	عنوان اصلی: , 2018.Fog Computing in the Internet of Things : Intelligence at the Edge
موضوع	:	مدارهای الکترونیکی
موضوع	:	Electronic circuits
موضوع	:	عکس‌پردازی
موضوع	:	Image processing
موضوع	:	ریزپردازنده‌ها
موضوع	:	Microprocessors
موضوع	:	پردازش سیگنال‌ها
موضوع	:	Signal processing
موضوع	:	گفتارپردازی -- آموزش برنامه‌ای
موضوع	:	Speech processing systems -- Programmed instruction
شناسه افزوده	:	رحمانی، امیر، ویراستار
شناسه افزوده	:	Rahmani, Amir M.
شناسه افزوده	:	خوشوقت سوبری، عیسی، ۱۳۶۱ - ، مترجم
شناسه افزوده	:	ابوذرجمهری، ارغوان، ۱۳۵۶-، مترجم
رده بندی کنگره	:	۷۸۶۷TK
رده بندی دیویی	:	۳۸۱۵/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی	:	۷۳۴۵۰۸۳

انتشارات پندارپارس

دفتر فروش: انقلاب، ابتدای کارگرجنوبی، کوی رشتچی، شماره ۱۴، واحد ۱۶ **www.pendarepars.com**

تلفن: ۶۶۵۷۲۳۳۵ - تلفکس: ۶۶۹۲۶۵۷۸همراه: ۰۹۱۲۲۴۵۲۳۴۸ **info@pendarepars.com**

نام کتاب : **رایانش مه در اینترنت اشیاء (هوشمندی در لبه)**

ناشر : **انتشارات پندار پارس**

تالیف : **امیر رحمانی، پسی لیلجبرگ، اکسل جانچ، جورج سورن پردن**

ترجمه : **عیسی خوشوقت، ارغوان ابوذرجمهری**

چاپ نخست : **آذر ۹۹**

شمارگان : **۲۰۰ نسخه**

طرح جلد : **رامین شکرالهی**

چاپ، صحافی : **روز**

قیمت : **۵۴.۰۰۰ تومان** **شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۸۲۰۱-۹۳-۹**

***هرگونه کپی برداری، تکثیر و چاپ کاغذی یا الکترونیکی از این کتاب بدون اجازه ناشر تخلف بوده و پیگرد قانونی دارد ***

پیش‌گفتار

با اعتقاد به نقش انکارناپذیر حسگرها در تعامل با وب ۳ در آینده نزدیک صنایع، پروژه کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را با ارائه الگوهایی کاربردی در زمینه فوریت‌های پزشکی به انجام رساندم. نتایج حاصل از این پروژه و مطالعات پس از آن منجر به این شد که در تابستان سال ۱۳۹۵ و با شروع پارادایم اینترنت اشیاء در کشور، به کمک جمعی از دانش‌پژوهان و اساتید کنجکاو و علاقه‌مند به این زمینه، فعالیت‌های ترویجی، علمی و پژوهشی‌ای را در زمینه فرهنگ‌سازی، چگونگی تولید محصول، پیاده‌سازی و بهره‌گیری از این پلتفرم آغاز کنیم. با کسب تجربه بیشتر و شناخت چالش‌های مدیریتی موجود در زنجیره تأمین صنایع مختلف و همچنین در زمینه مدیریت بحران و حوادث پیش‌بینی نشده که گاه و بیگاه از لحاظ جانی و مالی خسارات و تبعات جبران ناپذیری را در کشور برجای می‌گذارد، به دنبال نسخه‌ای کارا و قابل پیاده‌سازی از پلتفرم اینترنت اشیاء بودیم که بتواند در زمینه پایش، پیش‌بینی، تشخیص و هشدار سریع حوادث و بلایا، به نوبه خود بر یکپارچه‌سازی مدیریت و همچنین چابک‌سازی فرایندهای مدیریت بحران در کشور بیفزاید.

آشنایی با جناب آقای دکتر امیر محمد رحمانی و همکارانشان با مطالعات مجموعه مقالات مرتبط با اینترنت اشیاء و رایانش مه آغاز و برای نخستین بار ملاقات با ایشان در سمیناری تخصصی با محور اینترنت اشیاء و رایانش مه در دانشگاه امیرکبیر صورت گرفت. ایشان عضو هیأت علمی و استادیار علوم کامپیوتری و همچنین لیدر گروه میان‌رشته‌ای Health SciTech در دانشگاه کالیفرنیا، ایروین[1] و همچنین استادیار و مدرس حوزه محاسبات موازی و توزیع شده در گروه فناوری‌های آینده دانشگاه تورکو[2] فنلاند هستند.

در جلسه‌ای که با ایشان پیرامون فعالیت‌های گروهمان و چالش‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در کشور داشتیم، نسخه الکترونیکی کتاب حاضر(به زبان اصلی) را که تجمیعی از فعالیت‌های آکادمیک و تجربی ایشان و همکارانشان در زمینه پیاده‌سازی پایلوت پروژه‌های رایانش مه در خارج از کشور بود در اختیار تیم ما قرار دادند.

بر مبنای تجارب سازمانی چندین ساله تیم و به دنبال آن، مطالعات میدانی تخصصی و طراحی و تولید سامانه‌های پایشی کاربردی در زمینه‌های گوناگون، به این نتیجه رسیدیم که مواردی نظیر؛ مدیریت چابک منابع، کاهش انواع هزینه‌های جانی و مالی در فضای اجتماعی و کسب و کارها و همچنین افزایش سودآوری بنگاه‌های اقتصادی در اقتصاد آغشته به تحریم امروز کشور،

---

[1] University of California, Irvine (UCI)
[2] University of Turku

اولویت‌هایی است که تحقق درصدی از آن به شیوه کاملا نوین و با بهره‌گیری از ابزاری که پایش آنی انواع متغیرها در جغرافیای تعیین شده را به‌صورت همیشه در دسترس و ۷/۲۴ در داشبردهای مدیریتی بومی ارائه می‌دهد امکان‌پذیر خواهد بود. آن ابزار، پلتفرم رایانش مه است.

یکی از مهمترین مولفه‌های کسب موفقیت در پروژه‌های سایبر فیزیکی نسل چهارم صنعت با محور مدیریت بحران، انتخاب معماری صحیح جهت طراحی سامانه و پیاده‌سازی آن است. محتوای این کتاب، در ارتباط با یک معماری سرویس‌گرای افقی چابک با نام "رایانش مه" است که خدمات ذخیره‌سازی، پردازش و کنترل موجود در اَبر را به گره‌های انتهایی IoT یعنی نزدیکترین محلی که داده‌ها در حال تولید هستند گسترش می‌دهد. در این صورت تجزیه و تحلیل بدون وقفه داده‌های دریافتی از اشیاء متصل به شبکه و شروع یک عمل واکنشی پس از آن در تعامل با انواع سرویس‌های مخابراتی و تحت وب و همیشه در دسترس، منجر به مدیریت یکپارچه و لحظه‌ای و در پی آن جلوگیری از وقوع حوادث ناگوار خواهد شد.

معماری معرفی شده در این کتاب می‌تواند برای جامعه علمی کشور و همه پژوهشگران و فناورانی که در زمینه طراحی و تولید سامانه‌هایی پایشی‌ای که مولفه‌هایی همچون؛ توزیع جغرافیایی گسترده، تأخیر زمانی کم در ارسال داده‌ها، پردازش و تحلیل در لحظه و کاهش پهنای باند در آنها به شدت مورد توجه است مفید واقع شود. این سامانه‌ها به راحتی خواهند توانست در پایش، پیش‌بینی، تشخیص وقوع و هشدار سریع حوادث در مواردی چون؛ فوریت‌های پزشکی، زمین لرزه، سیل، گردباد و طوفان، شکست سدهای بتنی و خاکی، تخریب تونل‌ها و پل‌ها، انفجار و ریزش در معادن روباز و زیرزمینی، نت پیش‌بینانه و پیشگیرانه، و مواردی از این دست، کاربردی بوده و ایفای نقش کنند.

در نهایت از خانم مهندس ارغوان ابوذرجمهری و آقای مهندس سعید خانجانی‌نژاد که در بازخوانی چندباره و ترجمه روان کتاب از هیچ کمکی دریغ نکردند نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

امید است این اثر که جزو نخستین کتب چاپی در زمینه رایانش مه در کشور است بتواند دانشی مفید و کاربردی را در طراحی و تولید سامانه‌های پایشی چابک در اختیار پژوهشگران و فناوران فعال در صنایع مختلف کشور قرار دهد.

عیسی خوشوقت

شهریور ۹۹

فهرست

بخش ۱؛ مقدمه‌ای دربارهٔ رایانش مه ۱۱

فصل ۱؛ اصول رایانش مه در اینترنت اشیاء ۱۳

۱.۱ مقدمه ۱۳

۱.۲ پس‌زمینه و انگیزهٔ رایانش مه ۱۴

۱.۳ مبانی رایانش مه ۱۸

۱.۳.۱ ویژگی‌های لایهٔ Fog ۱۸

۱.۳.۲ طراحی و سازماندهی لایهٔ مه ۱۹

۱.۴ سرویس‌های رایانش مه ۲۰

۱.۴.۱ سرویس‌های رایانش ۲۰

۱.۴.۲ سرویس‌های ذخیره‌سازی ۲۱

۱.۴.۳ سرویس‌های ارتباطی ۲۱

۱.۵ خلاصه و سازماندهی کتاب ۲۲

بخش ۲؛ مدیریت در لایهٔ مه ۲۵

فصل ۲؛ چالش تخمین منابع اینترنت اشیاء و مدل‌سازی در مه ۲۷

۲.۱ مقدمه ۲۷

۲.۲ آنچه در این فصل می‌خوانید ۲۹

۲.۳ مقالات مرتبط ۲۹

۲.۴ رایانش مه ۳۰

۲.۵ برآورد منابع مه و چالش‌های پیش روی آن ۳۱

۲.۵.۱ نوع دستگاه ۳۱

۲.۵.۲ پویایی بر روی زمین ۳۳

۲.۵.۳ پویایی در هوا: اینترنت هواپیماهای بدون سرنشین ۳۳

۲.۵.۴ کاربرد قدرت و وضعیت ۳۴

۲.۵.۵ نوع داده ۳۵
۲.۵.۶ امنیت ۳۵
۲.۵.۷ اطمینان و وفاداری مشتری به استفاده از خدمات ۳۶
۲.۶ برآورد پویای منابع بر اساس قابلیت اطمینان مشتری در مه ۳۶
۲.۶.۱ برآورد منابع برای یک مشتری جدید بدون سابقهٔ قبلی ۳۸
۲.۶.۲ برآورد منابع برای یک مشتری بازگشتی ۴۱
۲.۷ نتیجه ۴۲
فصل ۳: کنترل سیستم‌های فوق مقیاس وسیع IOT ۴۳
رایانش مه در حمایت از رفتارهای سلسله مراتبی ظهوریافته ۴۳
۳.۱ مقدمه ۴۳
۳.۲ رایانش مه ۴۵
۳.۲.۱ معماری رایانش مه ۴۵
۳.۲.۲ نقش مه در ULSS ۴۷
۳.۳ رفتارهای ظهوریافتهٔ سلسله‌مراتبی، یک رویکرد تازه برای ULSS ۴۷
۳.۳.۱ معماری HEB ۴۸
۳.۳.۲ HEB، مرحلهٔ بعدی ۴۹
۳.۳.۲.۱ اصول اولیهٔ HEB ۵۰
۳.۴ دو مطالعهٔ موردی از اصول اولیهٔ وسایل نقلیهٔ مستقل ۵۲
۳.۴.۱ روش‌شناسی ۵۲
۳.۴.۲ اصول اولیهٔ خودروهای مستقل ظهوریافته ۵۳
۳.۴.۲.۱ مانور خروجی ۵۳
۳.۴.۲.۲ پیش‌بینی و واکنش به موانع در خارج از محدودهٔ حسگرها ۵۷
۳.۴.۲.۳ تلفیق اصول اولیه برای بیان رفتارهای پیچیده ۵۹
۳.۵ نتیجه‌گیری ۶۰

بخش ۳؛ سرویس‌های لایهٔ مه ۶۱

فصل ۴؛ وضعیت کنونی و آیندهٔ محاسبات حافظ حریم خصوصی در رایانش مه ۶۳

۴. ۱ ..... ۶۳

مقدمه ۶۳

۴.۲ زنجیرهٔ بلوکی ۶۴

۴.۲.۱ محدودیت‌های زنجیرهٔ بلوکی برای IoT ۶۵

۴.۲.۲ اینترنت اشیاء، رایانش مه و زنجیرهٔ بلوکی ۶۵

۴.۲.۳ IOTA ۶۶

۴.۲.۴ تله‌متری (دوری‌سنجی) همتا به همتای غیرمتمرکز مستقل ۶۸

۴.۳ محاسبهٔ چندبخشی ۶۹

۴.۳.۱ تجزیه و تحلیل چارچوب‌ها ۷۲

۴.۳.۲ چارچوب قابلیت مجازی ایده‌آل ۷۳

۴.۳.۳ Sharemind ۷۴

۴.۳.۶ SPDZ ۷۴

۴.۳.۵ FairplayMP ۷۵

۴.۳.۶ محاسبهٔ امن API ۷۵

۴.۳.۷ TASTY ۷۶

۴.۳.۸ SEPIA ۷۶

۴.۳.۹ مقایسهٔ بین چارچوب‌های MPC ۷۶

۴.۳.۱۰ مسیرهای تحقیقاتی آینده ۷۸

۴.۴ محاسبهٔ چندبخشی و زنجیرهٔ بلوکی ۷۹

۴.۴.۱ اپلیکیشن‌ها ۸۰

۴.۴.۲ Enigma ۸۰

۴.۴.۳ موارد کاربرد Enigma ۸۱

۴.۴.۴ مسیرهای پژوهشی آتی ۸۲
۴.۵ خلاصه ۸۳
فصل ۵: رایانش خودآگاه مه در محدوده‌های خصوصی و امن ۸۵
۵.۱ مقدمه ۸۵
۵.۲ شبکه‌های رایانش ابری، مه و Mist..... ۸۸
۵.۳ پردازش داده‌های خودآگاه ۹۱
۵.۴ مطالعهٔ موردیI: نظارت بر سلامت ۹۳
۵.۴.۱ نمرهٔ هشدار اولیه ۹۳
۵.۴.۲ بحث و بررسی ۹۶
۵.۵ مطالعهٔ موردی۲: نظارت بر سلامت بیمار و پشتیبانی آموزشی ۹۸
۵.۶ مطالعهٔ موردی۳: خانهٔ هوشمند.....۱۰۲
۵.۶.۱ مشخص‌سازی شئ مطالعهٔ موردی.....۱۰۴
۵.۷ مطالعهٔ موردی۴: نظارت بر هوش، عملیات شناسایی: سیستم‌های سنجش نظامی ۱۰۶
۵.۸ الزامات و معماری برای یک گیتوی هوشمند بر اساس حافظهٔ زمانی سلسله‌مراتبی ۱۱۱
۵.۹ نتیجه‌گیری ۱۱۶
فصل ۶: تجزیه و تحلیل لبه‌ای IOT شهری ۱۱۹
۶.۱ مقدمه ۱۱۹
۶.۲ چالش‌های طراحی ۱۲۱
۶.۳ معماری با کمک لبه ۱۲۳
۶.۳.۱ کسب و فشرده‌سازی اطلاعات ۱۲۴
۶.۳.۲ شبکه‌سازی بی‌سیم آگاه از محتوا.....۱۳۳
۶.۳.۳ دسترسی به اطلاعات ۱۳۷
۶.۴ کارهای مرتبط ۱۴۰

۶.۵ نتیجه‌گیری ۱۴۱

فصل ۷: کنترل به‌عنوان یک سرویس در سیستم‌های انرژی فیزیکی- سایبری بر روی رایانش مه ۱۴۳

۷.۱ شبکهٔ قدرت و مدیریت انرژی ۱۴۳

۷.۱.۱ روش‌های مدیریت انرژی ۱۴۴

۷.۲ سیستم‌های انرژی سایبر فیزیکی ۱۴۵

۷.۳ اینترنت اشیاء و رایانش مه ۱۴۷

۷.۴ کنترل به‌عنوان یک سرویس ۱۵۰

۷.۴.۱ معماری سخت‌افزار ۱۵۱

۷.۴.۲ معماری نرم‌افزار ۱۵۳

۷.۴.۳ معماری ارتباطی ۱۵۵

۷.۴.۴ یکپارچه‌سازی معماری‌ها ۱۵۷

۷.۵ سیستم انرژی فیزیکی سایبری مسکونی ۱۵۸

۷.۵.۱ مدیریت انرژی خانه ۱۵۸

۷.۵.۲ مدیریت انرژی در سطح ریزشبکه ۱۶۳

بخش ۱

مقدمه‌ای دربارهٔ رایانش مه

فصل ۱

اصول رایانش مه در اینترنت اشیاء

۱.۱ مقدمه

اینترنت اشیاء (IoT) یک شبکهٔ خودسازمان‌ده و سازگار است که اشیای دنیای واقعی را به اینترنت متصل نموده تا بتوانند با دیگر اشیای متصل ارتباط برقرار کنند. این امر منجر به تحقق طیف جدیدی از سرویس‌های فراگیر می‌شود [۱]. این تعریف IoT جامع نیست. انواع مختلفی از تعریف‌ها وجود دارند که در جزئیات متفاوت بوده و در مرجع [۱] بررسی می‌شوند. اصطلاح IoT در سال ۱۹۹۹، توسط کوین اشتون از مرکز شناسایی خودکار مؤسسهٔ فناوری ماساچوست انتخاب شد [۲]. بااین‌حال، مفهوم دستگاه‌های متصل به اینترنت برای کنترل از راه دور وضعیت آنها برای نخستین بار در سال ۱۹۸۲ توسط گروهی از دانشجویان دانشگاه کارنگی ملون، هنگامی‌که موفق به اتصال یک دستگاه coke به اینترنت و بررسی از راه دور وضعیت آن شدند، معرفی شد [۳]. پیشرفت علم و فناوری، موجب ساخت دستگاه‌های محاسباتی کوچک‌تر، ارزان‌تر و سریع‌تری شده که قادر به سنجش محیط زیست، برقراری ارتباط و راه‌اندازی از راه دور هستند و این مسئله منجر به افزایش علاقه به استفاده از IoT در حوزه‌های مختلفی از زندگی، مانند شهرهای هوشمند، مراقبت‌های بهداشتی و خانه‌های هوشمند گردیده است. برخی از این اپلیکیشن‌ها در قسمت آخر این کتاب در بخش مطالعهٔ موردی دربارهٔ مزایای رایانش مه در حوزه‌های مربوطه مورد بحث قرار گرفته‌اند.

IoT در حال حاضر در اطراف ما برای اتصال‌هایی نظیر دستگاه‌های پوشیدنی، اتومبیل‌های هوشمند و سیستم‌های خانگی هوشمند به‌کار می‌رود. انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۲۰ بیش از ۵۰ میلیارد دستگاه متصل به اینترنت وجود داشته باشد [۴]. وجود چنین تعداد زیادی از دستگاه‌های متصل به اینترنت نیاز به یک معماری مقیاس‌پذیر داشته تا آنها را بدون هرگونه تخریب کیفیت سرویس‌های مورد نیاز توسط اپلیکیشن‌ها هماهنگ کند. علاوه‌براین، بیشتر دستگاه‌هایی که اینترنت اشیاء را تشکیل می‌دهند، دارای محدودیت منابع هستند؛ منابع، مانند توان محاسباتی، انرژی، پهنای باند و ذخیره‌سازی، کمیاب هستند. این محدودیت‌ها سناریوهای گسترش اپلیکیشن‌ها با استفاده از این دستگاه‌های IoT را محدود می‌کنند. برای مثال، امکان استفاده از حسگر با توان باتری برای اتصال مستقیم به اینترنت و ارسال اطلاعات مربوط به اطراف آن برای مدت زمان طولانی و یا ذخیرهٔ

خواندن‌ها برای یک زمان طولانی در حافظهٔ محلی را غیرممکن می‌سازد. این محدودیت‌ها یک چالش طراحی را ارائه می‌دهند که معماری IoT را به طرق مختلف شکل می‌دهد. برخی از این چالش‌های IoT و تلاش‌های مربوطه در هر حوزه در مرجع [۵] خلاصه شده‌اند. بسیاری از این چالش‌ها را می‌توان با گسترش توابع رایانش ابری نزدیک‌تر به دستگاه‌های IoT کاهش داد. رایانش مه (۶)، که همچنین به‌عنوان رایانش لبه‌ای شناخته می‌شود، یک لایهٔ میانی است که لایهٔ ابری را گسترش می‌دهد.

لایهٔ رایانش مه، سرویس‌های رایانش، شبکه و ذخیره‌سازی را به گره‌های انتهایی IoT نزدیک‌تر می‌کند. در مقایسه با رایانش مه، این لایهٔ رایانش، به‌شدت توزیع شده است و سرویس‌های اضافی را برای دستگاه‌های پایانی واقع در لایهٔ ادراک، تحمیل می‌کند [۷]. این لایهٔ ارتباطی به‌طور متفاوت، اما با تغییرات مشابه یا کوچکی در هدف مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال، محاسبات لبه‌ای [۸،۹]، میکرو ابر [۱۰]، یا تکه ابر[1]، برخی از اصطلاحات مرتبط هستند. صرف‌نظر از نام، مفهوم معرفی یک لایهٔ محاسباتی میانی در IoT، با مجموعه‌ای از چالش‌های مشابه برانگیخته می‌شود. علاوه بر این، مجموعه سرویس‌های احتمالی که می‌توانند به‌طور بالقوه در لایهٔ رایانش مه گنجانده شوند، گسترده‌اند. برخی از این سرویس‌ها یک نسخهٔ مقیاس‌پذیر از سرویس‌های ارائه‌شده توسط رایانش‌های ابری هستند، درحالی‌که بیشتر این سرویس‌ها اخیراً در پاسخ به چالش‌های IoT ظاهر گردیده‌اند. این فصل اصول اولیهٔ الزامات IoT که منافع رایانش مه را ایجاد می‌کنند، دنبال نموده و برخی ویژگی‌ها، سازمان‌ها و عملکردهای این لایه را مورد بحث قرار می‌دهد. فصل‌های بعدی این مفاهیم را به‌صورت دقیق‌تر توضیح داده و سناریوهای اجرایی خاصی را ارائه داده و مواردی از رایانش مه را مورد استفاده قرار می‌دهند. برای نشان دادن سازماندهی کلی این کتاب، به‌صورت خلاصه محتویات هر فصل را در انتهای این فصل مقدماتی مورد بحث قرار خواهیم داد.

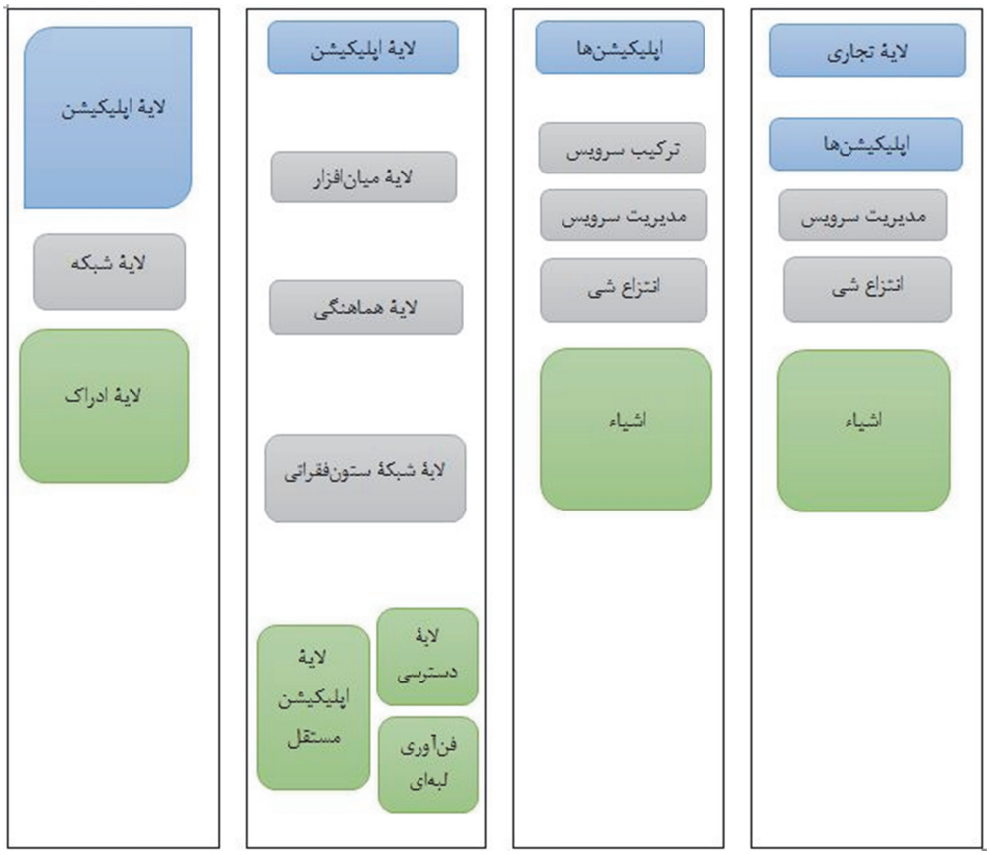
۱.۲ پس‌زمینه و انگیزهٔ رایانش مه

معماری IoT یک حوزهٔ تحقیقاتی فعال است. معماری نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین موفقیت یک سیستم دارد. به‌همین‌ترتیب، تلاش‌های زیادی اعم از پروژه‌های عمومی تا انجمن‌های صنعتی استاندارد و مؤسسات علمی وجود دارند که معماری IoT مؤثر را تنظیم می‌کنند. برخی از این تلاش‌ها در [۱۲] ارائه شده است. بیشتر پیشنهادهای معماری عمومی بوده و IoT را بدون در نظر گرفتن دامنهٔ کاربرد یا پیاده‌سازی خاص، مدل‌سازی می‌کنند. مهم‌ترین پروژهٔ قابل‌توجه (IoT-A) Internet-of-Things Architecture تعمیمی از مدل دامنهٔ IoT را فراهم نموده که به‌عنوان پایه‌ای

1. Cloudlet

برای معماری مرجع کاربرد دارد. در نمای عملکردی این مدل، IoT-A شناسایی اجزای یک سیستم IoT، برای مثال ارتباط، امنیت، مدیریت، و سرویس‌های IoT را به‌عنوان عناصر اصلی شناسایی می‌کند. یک دیدگاه مفهومی تعمیم‌یافتهٔ دیگر از سیستم‌های IoT در [۵] ارائه شده که Al-Fugha و همکارانش IoT را به‌عنوان ترکیبی از شناسایی، ادراک، ارتباط، محاسبات، سرویس‌ها و معناشناسی مورد بحث قرار می‌دهند. این طبقه‌بندی‌های مدولار IoT بر قابلیت هر واحد مبتنی هستند. برخی از این واحدها را می‌توان در یک دستگاه قرار داد. بااین‌حال، سیستم IoT با استفاده از تعریف به‌طور طبیعی یک سیستم توزیع‌شده است. ازاین‌رو، اجزای شناسایی‌شده در بالا از لحاظ جغرافیایی توزیع شده هستند، درحالی‌که مؤلفهٔ ارتباط آن مسئول اتصال آنهاست. در ساده‌ترین شکل، دو گروه می‌توانند شکل بگیرند: گروه اول از شناسایی و ادراک تشکیل شده است، درحالی‌که دومی میزبان محاسبات، سرویس‌ها و معناشناسی است (تفکیک مشابهی نیز می‌تواند در مدل IoT-A به‌دست آید). محققان در تلاش برای یافتن بهترین سطح طبقه‌بندی عملکردی و تفکیک فیزیکی، راه‌حل‌های مختلفی را مطرح نموده‌اند.

یک راه ساده برای ایجاد یک دستگاه IoT قابل‌مشاهده از طریق اینترنت این است که آن را با دسترسی به یک سرور Cloud فراهم کنیم، به‌طوری‌که بتواند داده‌ها را بارگیری و اعلان‌ها یا دستورات را دریافت کند. در چنین تنظیماتی، سرویس‌گیرنده خواندن اطلاعات از محیط را مدیریت نموده و بیشتر توابع باقی‌مانده در Cloud اجرا می‌شوند. این روش سرویس‌گیرنده–سرور سنتی سازماندهی اجزای مختلف IoT هنوز هم توسط بسیاری از فروشندگان پیاده می‌شود. همچنین تغییرات زیادی در این معماری وجود دارد تا مؤلفه‌های منطقی خاصی از سیستم را به سه یا پنج لایه جدا سازد [۵] (شکل ۱.۱). این تفکیک نگرانی‌ها عمدتاً بر اساس قابلیت عملکرد ماژول است. در معماری سه لایه، حسگرها در ادراک پایینی ظاهر می‌شوند. لایه شبکه‌ای که در بالای لایه ادراک واقع شده است، حسگرها را به بالاترین لایهٔ اپلیکیشن وصل می‌کند. قابلیت عملکرد هر لایه در این روش متمایز است. حسگرها و محرک‌ها در لایهٔ ادراک داده‌هایی را جمع‌آوری می‌کنند که از طریق شبکه منتقل می‌شوند تا درنهایت به منطق برنامه دسترسی پیدا کنند. شکل ۱–۱ انواع مختلف تفکیک منطقی عناصر IoT را نشان می‌دهد.

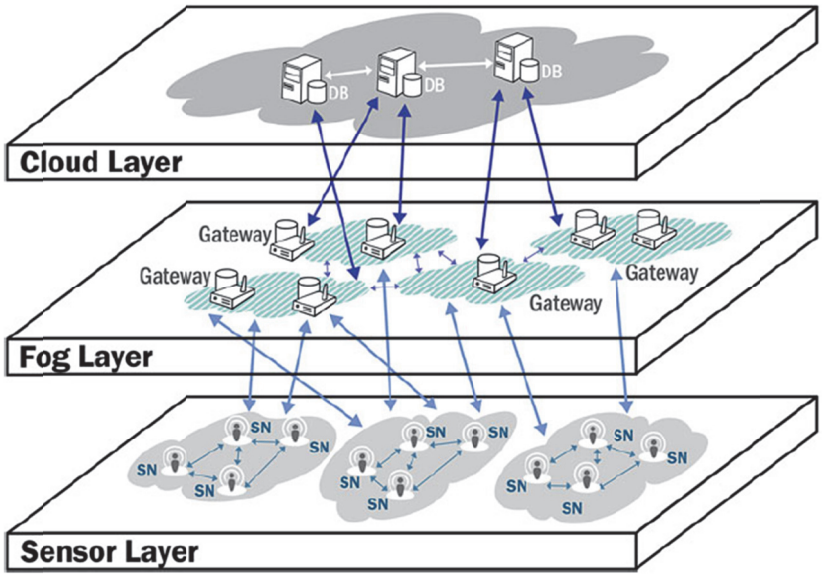


شکل ۱.۱طرح‌های پیشنهادی معماری IoT (سه‌لایه و پنج‌لایه)

سایر گزینه‌های این طرح پیشنهادی معماری، لایه‌ها را به پنج دسته تقسیم می‌کنند. برخی از این تغییرات، میان‌افزار و انتزاع شئ را به‌عنوان لایه‌های جداگانه در نظر می‌گیرند. این لایه‌های اضافی به ارائهٔ سرویس‌های یکپارچه‌سازی و بسته‌بندی به ترتیب دستگاه‌ها در لایهٔ ادراک کمک می‌کنند. اگرچه، اجرای این لایه‌ها از اجزای به‌طور منطقی جداشده سبب مدولار بودن و سهولت اجرا می‌گردد، اما تمی‌تواند الزامات لایهٔ ادراک، مانند ارتباطات و تحرک کم‌تأخیر را به بهترین شیوه پشتیبانی نماید.

لایهٔ ادراک یا لایهٔ حسگر–نشان‌داده‌شده در شکل۱.۲ می‌تواند از میلیون‌ها دستگاه تشکیل شده باشد. اکثریت این دستگاه‌ها بسیار کوچک و دارای توان باتری هستند و حافظهٔ کوچک و قدرت پردازش محدودی دارند. چنین محدودیت‌هایی از منابع، روش‌های طراحی جدیدی را برای انطباق آنها مطرح

می‌سازد. علاوه‌براین، پروتکل‌های ارتباطی بی‌سیم مختلف به‌طور گسترده‌ای برای شبکه‌سازی‌هایی نظیر Wi-Fi، بلوتوث با انرژی پایین[1] (BLE)، NFC، ZigBee، RFID و 6LoWPAN مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه‌براین تغییرات پروتکل‌های شبکهٔ ذکرشده در بالا، تفاوت‌هایی در پروتکل‌های لایهٔ اپلیکیشن و حتی در میان دستگاه‌هایی که از یک پروتکل شبکهٔ زیربنایی مشابه استفاده می‌کنند، به‌وجود می‌آورد. به‌عنوان مثال، CoAP، MQTT و XMPP ازجمله مواردی هستند که اغلب استفاده می‌شوند. علاوه‌براین، چندین فرمت داده‌ای وجود دارند که توسط این پروتکل‌ها استفاده می‌شوند که دارای دامنهٔ نرم‌افزاری ویژه‌ای هستند. محدودیت منابع ذکرشده در بالا، ناهمگونی پروتکل‌ها، پلتفرم‌ها و فرمت‌های داده، طراحی سازه‌های مؤثرتر و سازگارتر با IoT را ایجاب می‌کند.



شکل۱.۲ بررسی IoT مبتنی بر مه در سطوح بالا

فرایند طراحی یک معماری عینی برای یک سیستم، بستگی به ویژگی‌های برنامه خاص دارد. بااین‌حال، بر اساس چالش‌های عمومی IoT و الزامات مذکور، ممکن است یک طراحی معماری عمومی معقول را داشته باشیم. به‌دنبال جداسازی منطقی اجزای عملکردی که به سه یا پنج لایه منجر شد، می‌توانیم اجزای منطقی را به لایه‌های محاسبات فیزیکی ارجاع دهیم. همان‌طور که قبلاً ذکر شد،

1. Bluetooth Low Energy

در یک رویکرد سرویس‌گیرنده–سرور، بیشتر اجزاء (نشان‌داده‌شده در شکل ۱.۱) در سرورِ واقع در ابر اجرا می‌شوند. متأسفانه این رویکرد به تمام موارد مورد بحث در بالا نمی‌پردازد. این مسئله جستجو برای یک سلسله محاسبات جایگزین را آغاز کرد که به‌خوبی برای IoT کار می‌کند. رایانش مه به‌عنوان یک لایهٔ میانی بین لایهٔ ادراک و لایه ابر معرفی می‌شود که باعث انعطاف‌پذیری بیشتر برای انتخاب نحوهٔ استقرار اجزای معماری سیستم IoT می‌شود. شکل ۱.۲ نشان می‌دهد که چگونه رایانش مه بین لایهٔ ادراک یا حسگرها و لایهٔ ابر قرار می‌گیرد. در بخش‌های زیر، این لایه با ارائهٔ جزئیات بیشتر درمورد سازمان داخلی و سرویس‌های ارائه‌شده مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱.۳ مبانی رایانش مه

معرفی IoT میلیاردها دستگاه را به فضای اینترنت خواهد آورد و بیشتر این دستگاه‌ها ازنظرِ منابع محدود هستند. برای غلبه بر چالش‌های این دستگاه‌ها و برآورده کردن الزامات دامنهٔ کاربردی آنها، تقاضا برای یک لایهٔ محاسبات میانی بدیهی به‌نظر می‌رسد. مفهوم رایانش مه آخرین نسل در خط جداسازی فیزیکی واحدهای کاربردی است. این یک لایهٔ محاسباتی نزدیک‌تر به لایهٔ ادراک است؛ جایی که حسگرها و محرک‌ها در آن جای دارند و سرویس‌های محاسبات، شبکه‌سازی و ذخیره‌سازی را فراهم می‌کنند. برای تطابق با این سرویس‌ها و مورد توجه قرار دادن الزامات سیستم‌های IoT، لایهٔ Fog ویژگی‌های مورد بحث در زیر را ارائه می‌دهد.

۱.۳.۱ ویژگی‌های لایهٔ Fog

به‌عنوان یک لایهٔ محاسباتی میانی، ویژگی‌های لایهٔ Fog در مقایسه با لایه‌های ادراک و ابر مورد بحث قرار می‌گیرند. در مقایسه با لایهٔ ابر، لایهٔ مه به لایهٔ ادراک نزدیک‌تر است و این مجاورت مزایایی را فراهم می‌آورد که لایه را قابل‌تشخیص می‌کند. یکی از مزایای فوری درمورد ابر، ویژگی خودآگاهی از موقعیت است. چنین آگاهی‌هایی ناشی از توزیع جغرافیایی در مقیاس وسیع دستگاه‌هایی است که لایهٔ مه را تشکیل می‌دهند [۶]. همان‌طور که در شکل ۱.۲ نشان داده شده، هر گیت‌وی در لایهٔ Fog یک زیرمجموعه از گره‌ها را در لایهٔ ادراک یا حسگر مدیریت می‌کند. این زیرمجموعه از دستگاه‌های دارای منابع محدود، نزدیک به یکدیگر قرار دارند و گیت‌وی مدیریت می‌تواند به‌راحتی مکان هر دستگاه را تعیین کند. آگاهی‌مکانی لایهٔ مه می‌تواند برای پرداختن به الزامات متعدد عملکردی و غیرعملکردی برنامه‌های کاربردی IOT مانند تحرک و امنیت مورد استفاده قرار گیرد. یکی دیگر از ویژگی‌های مرتبط نزدیک با لایهٔ مه، توزیع گستردهٔ آن در مقایسه با لایهٔ متمرکز ابر است. تمرکز در این زمینه نسبی است؛ لایهٔ Cloud هنگامی‌که از جانب مشتری دیده شود، متمرکز است. بااین‌حال، ازنظرِ سازمان، سرورها در ابر، ازلحاظِ جغرافیایی توزیع شده‌اند، اما

نه به اندازه قابل انتظار در لایهٔ مه. به‌عنوان مثال، ارائه‌دهندگان سرویس ابری نظیر آمازون، دارای چندین مرکز داده‌ای در مناطق مختلف هستند. حالت توزیع جغرافیایی در لایهٔ مه به دلیل کوچک بودن فاصلهٔ جدایی گیت‌وی و استقرار وسیع آن متفاوت است.

مزایای ترکیبی آگاهی‌مکانی و توزیع جغرافیایی در مقیاس وسیع، از الزامات تحرک دستگاه‌ها یا «اشیا» در لایهٔ ادراک حمایت می‌کند. یک مرور کلی از سرویس‌های موجود برای فراهم نمودن تحرک در بخش‌های زیر مورد بحث قرار می‌گیرد و کاربردهای عملی آن در فصل‌های بعدی ارائه می‌شوند. علاوه‌براین، مجاورت نزدیک لایهٔ مه به گره‌ها، حالت تعامل در زمان واقعی با حسگرها و محرک‌ها در لایهٔ ادراک را فراهم می‌آورد. توزیع جغرافیایی لایهٔ مه و متعاقب آن تأخیر کم ارتباطی ازجمله ویژگی‌های مهم لایهٔ مه است. برخی از حوزه‌های کاربرد IoT، مانند مراقبت‌های بهداشتی یا خودکارسازی، به میزان بالایی به این ویژگی وابسته هستند. به‌عنوان مثال، یک مطالعهٔ موردی از استخراج ویژگی ECG مبتنی بر لبه در [۱۸] ارائه شده است.

در حالت کلی، IoT تحت تسلط شبکه‌های بی‌سیم است. پروتکل‌های بی‌سیم متعددی وجود دارند که عمدتاً برای عملیات با توان کم و پوشش یا پهنای باند پایین طراحی شده‌اند. برای مثال، 6LoWPAN، BLE، پروتکل NarrowBand IoT Protocol (NB-IoT)، LoRa و Sigfox برخی از این پروتکل‌ها هستند. بیشتر این پروتکل‌ها گره‌های حسگر را به لایهٔ Fog وصل می‌کنند تا بتوانند به اینترنت دسترسی یابند. این پروتکل‌ها معمولاً با یکدیگر ناسازگار هستند. برای مقابله با این مسئله، لایهٔ مه یک لایهٔ تفسیرپذیر را به عنوان یک مزیت اضافی در میان این پروتکل‌های ناهمگن ارائه می‌دهد. چندین طرح پیشنهادی میان‌افزار وجود دارند که از این لایه به‌عنوان ابزاری برای ترجمه یا تطبیق پروتکل‌های شبکه یا اپلیکیشن متفاوت استفاده می‌کنند [۲۳]. گیت‌وی‌ها در لایهٔ Fog همچنین می‌توانند تجزیه و تحلیل‌های سبک را در لبه شبکه انجام دهند تا بازخوردها، دستورها و اطلاع‌رسانی‌ها به کاربران نهایی و همچنین گره‌های حسگر را در زمان واقعی ارائه دهند. علاوه‌براین، سازماندهی داخلی مه، خود می‌تواند به یک روش متحد یا سلسله‌مراتبی و بر اساس عملکرد یا مکان دستگاه‌های متصل‌شده تنظیم گردد.

۱.۳.۲ طراحی و سازماندهی لایهٔ مه

بر اساس ویژگی‌های لایهٔ مه (ارائه‌شده در بخش قبلی) و مجموعه سرویس‌های ممکن مشخص‌شده در بخش بعد، ، لایهٔ مه می‌تواند به‌منظور پرداختن به الزامات به‌طور مؤثری سازماندهی شود. این بخش به اندازهٔ کافی برای ساختن یک لایهٔ میانی قابل‌استفاده، جامع و دقیق نیست، اما به‌جای آن اطلاعاتی مقدماتی را ارائه می‌دهد که در فصل‌های بعد با جزئیات بیشتر به آن پرداخته خواهد شد. برای شروع، یک گیت‌وی شبکه یا یک hotspot که به مشتریان در مجاورت خود سرویس می‌دهد را

در نظر بگیرید. نقش چنین گیت‌وی، این است که بسته‌های شبکه را به زیرساخت‌های عقبی که به اینترنت متصل است، انتقال دهد. در یک محیط بزرگ‌تر، می‌توان چندین نقطهٔ دسترسی را ایجاد کرد تا کاربران را با اتصالی بی‌نظیر در سراسر منطقهٔ مورد نظر مجهز نمود. با در نظر گرفتن وضعیت دستگاه‌هایی که به لایهٔ Fog متصل می‌شوند، این لایه را می‌توان به‌صورت یک شبکه از گیت‌وی‌ها که یک منطقهٔ بزرگ‌تر را تحت پوشش قرار می‌دهند، مجسم نمود. علاوه بر ساده‌سازی عبور بسته‌های شبکه، این گیت‌وی‌های هوشمند شبکه‌شده می‌توانند داده‌ها را پردازش نموده و یا در صورت لزوم، آن را ذخیره نمایند [۱۸]. شکل۱.۲ لایهٔ مه را نشان می‌دهد که در آن گیت‌وی‌های هوشمند توزیع‌شده، با Cloud، با لایهٔ حسگر و همچنین با خودشان ارتباط برقرار می‌کنند. در گیت-وی‌های لایهٔ مه، رابط شبکه یک مؤلفهٔ حیاتی برای فعال‌سازی پشتیبانی از پروتکل‌های مختلف شبکهٔ بی‌سیم نشان‌داده شده در بخش ۱.۳.۱ است.

۱.۴ سرویس‌های رایانش مه

ویژگی‌های لایهٔ رایانش مه در بخش ۱.۳.۱ ذکر شده است. گفتیم که این خصوصیات را می‌توان برای ارائهٔ سرویس‌هایی که به لایهٔ ادراک کمک می‌کنند، استفاده نمود، به‌طوری‌که نیازهای کلی سیستم برآورده شوند. این لایه از مزیت مجاورت خود به لایهٔ حسگر استفاده نموده و سرویس‌هایی را ارائه می‌دهد که توزیع لایه‌های ابر هستند و همچنین سرویس‌های منحصربه‌فردی را ارائه می‌دهد که فقط در این لایه امکان‌پذیر هستند. این بخش یک مرور کلی از یک زیرمجموعه از سرویس‌های ممکن در لایهٔ مه و مزایای مربوط به آن که IoT را فعال می‌کنند، ارائه می‌دهد. این سرویس‌ها به رایانش، ذخیره‌سازی و شبکه سازماندهی می‌شوند.

۱.۴.۱ سرویس‌های رایانش

محدودیت‌های توان رایانش دستگاه‌ها در لایهٔ ادراک منجر به رویکردهای پردازش از راه دور شده است. پردازش در لایهٔ مه نه‌تنها بوسیلهٔ محدودیت توان پردازش در گره‌های حسگر، بلکه همچنین توسط مکان مورد نظر رایانش نیز تحریک می‌شود تا الزامات سیستم را بهتر برآورده و کارآمدی انرژی را حفظ کند. پردازش قبلی ابر- محور می‌تواند به‌منظور پردازش محلی و پاسخ فوری به سمت لایهٔ مه پایین آورده شود [۲۴،۲۵]. در این راستا، می‌توان چندین محدودیت را در به‌اشتراک‌گذاری محاسبات بار در میان لایه‌های مختلف در سیستم مبتنی بر IoT ایجاد نمود و نیازهای پردازش ممکن است بر اساس کار واقعی متغیر باشد. به‌عنوان مثال، با در نظر گرفتن یک سیستم که پردازش داده‌ها را برای یادگیری یک الگوی خاص اجرا می‌کند، حجم کار را می‌توان به‌گونه‌ای توزیع نمود که الگوهای محلی بتوانند در لایهٔ Fog شناسایی شوند، درحالی‌که الگوهای عمومی فقط در Cloud

قابل‌دسترسی هستند. این اشتراک‌گذاری بار به‌طور مفصل در فصل‌های آینده مورد بحث قرار می‌گیرند. علاوه بر مدیریت داده‌ها، رویدادها را می‌توان در لایهٔ Fog مدیریت کرد. نزدیکی این لایه آن را به یک نامزد ایده‌ال برای رسیدگی به رویدادها تبدیل نموده تا در زمان واقعی واکنش نشان دهد و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش دهد. علاوه‌براین، میان‌افزارهای زیادی وجود دارند که در لایهٔ مه نفوذ کرده تا دستگاه‌های فیزیکی را از طریق انتزاع، مدیریت مبتنی بر عامل و ماشین‌های مجازی مدیریت کنند. بخش‌های زیر یک مرور کلی مقدماتی از این سرویس‌های رایانش را فراهم نموده که می‌تواند در لایهٔ مه تحقق یابد.

۱.۴.۲ سرویس‌های ذخیره‌سازی

مقدار زیادی از داده‌ها می‌توانند توسط گره‌های حسگر تولید شوند و میلیاردها نمونه از این دستگاه‌های حسگر در اطراف وجود دارند. ذخیره‌سازی موجود در دستگاه‌ها در لایهٔ ادراک اغلب برای ذخیرهٔ حتی داده‌های یک‌روزه، باتوجه‌به میزان تولید داده‌ها کافی نیست. همان‌طور که پیش‌تر مورد بحث قرار گرفت، فرستادن تمام داده‌ها مستقیماً به لایه ابر، به‌ویژه هنگامی‌که داده‌ها نامربوط یا زائد هستند، ضروری نیست. رویکرد معقول در چنین مواردی می‌تواند چنین باشد که داده‌ها را فیلتر و به‌طور موقت در لایهٔ مه میانجی ذخیره نمود [۲۶، ۲۷]. در ترکیب با سرویس رایانش، داده‌های ذخیره‌شده را می‌توان برای انتقالی کارآمد یا برای یادگیری رفتار سیستم، فیلتر، تجزیه و تحلیل و فشرده‌سازی نمود. در مواردی که ممکن است ارتباطات قوی نباشند، سرویس‌های ذخیره‌سازی با حفظ رفتار مناسب سیستم برای گره‌های مشتری، به افزایش قابلیت اطمینان سیستم کمک می‌کنند. سرکار و همکاران [۲۸] چنین ویژگی‌هایی از لایهٔ مه را در ارزیابی خود از رایانش مه برای IoT ارائه می‌دهند.

۱.۴.۳ سرویس‌های ارتباطی

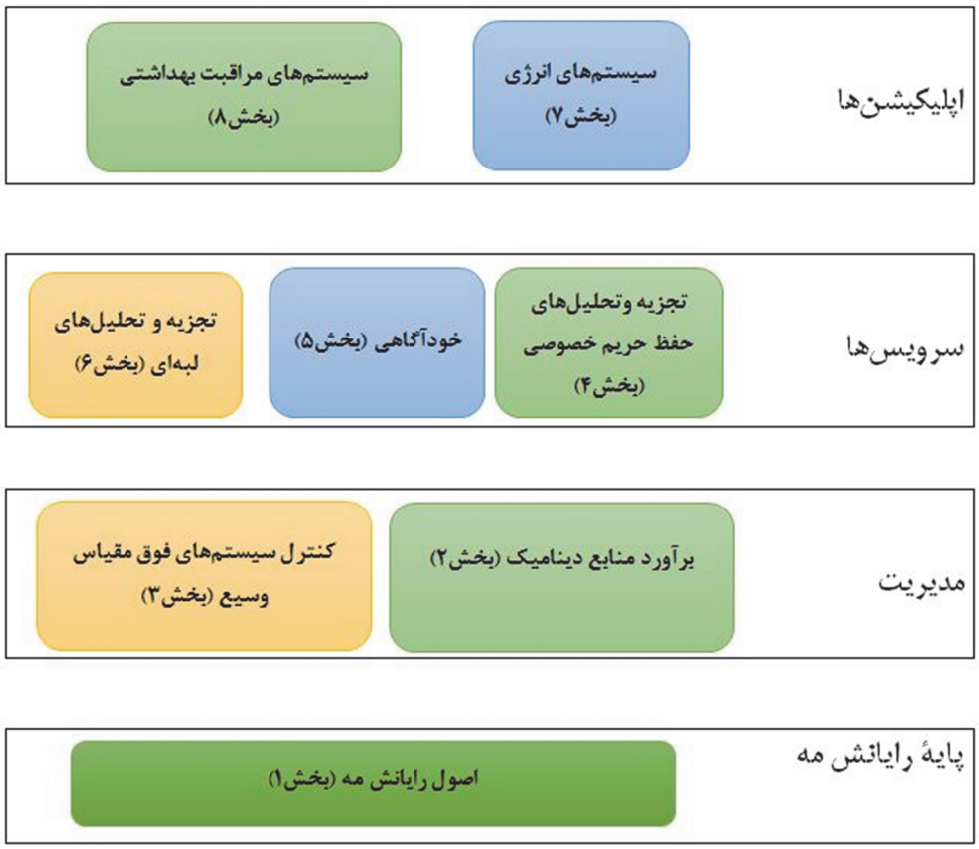
ارتباطات در IoT تحت تسلط گره‌های بی‌سیم است. باتوجه‌به محدودیت منابع در لایهٔ ادراک، این پروتکل‌های بی‌سیم برای عملیاتی با توان پایین، انتقال باند باریک و یا طیف وسیعی از پوشش بهینه‌سازی می‌شوند. در حال حاضر، لیستی طولانی از پروتکل‌های جایگزین در بازار موجود است [۲۹]. لایهٔ مه برای سازماندهی این تعداد زیاد از پروتکل‌های بی‌سیم و متحد کردن ارتباط آنها با لایهٔ Cloud در یک مکان استراتژیک قرار دارد. این امر به مدیریت زیرشبکه‌های حسگرها و محرک‌ها کمک نموده که درنتیجه امنیت را فراهم می‌نماید و پیام‌ها را در میان دستگاه‌ها جابه‌جا می‌کند و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد. علاوه‌براین، این لایه می‌تواند قابلیت همکاری پروتکل‌های

مختلف را با فهرست کردن و تفسیر فرمت نمایش ارائه دهد. علاوه‌براین، لایهٔ Fog قابلیت مشاهدهٔ دستگاه‌هایی که مبتنی بر غیر IP هستند را فراهم نموده تا از طریق اینترنت قابل‌دسترسی باشند [۲۶].

۱.۵ خلاصه و سازماندهی کتاب

این فصل یک معرفی مختصر از رایانش مه در IoT را ارائه داد و دلایل محرک برای طراحی سیستم‌های IoT تقویت‌شده با محاسبات مه را به‌عنوان یک لایهٔ محاسباتی میانی پوشش داد. علاوه‌براین، یک معرفی سطح بالا از ساختار داخلی و سازماندهی این لایه مورد بحث قرار گرفت. به‌عنوان یک محرک در ارتباط با تقاضای رایانش مه، ما واحدهای عملکردی یک سیستم IoT و توزیع این واحدها از طریق لایه‌های محاسبات فیزیکی را نشان دادیم. بااین‌حال، در انجام چنین کاری، نیازهای سیستم IoT، مانند تحرک و محدودیت منابع لایهٔ ادراک، نیاز به یک لایهٔ مجاور را ایجاب می‌نماید. این لایه که به دلیل نزدیکی آن نسبت به ابر، به‌عنوان Fog (مه) معرفی شد، ارتباط، ذخیره‌سازی و پردازش را برای حسگرها و محرک‌ها فراهم می‌سازد. برای رسیدن به این عملکردها و مقیاس، لایهٔ مه دارای سازماندهی مدولار و ازلحاظِ جغرافیایی توزیع شده است. این سرویس‌های ارائه‌شده از طریق رایانش مه، به سه ردهٔ اصلی به‌صورت عملکردهای محاسباتی، ذخیره‌سازی و شبکه، که از گره‌های حسگر پشتیبانی می‌کنند، طبقه‌بندی می‌شوند.

ماهیت ناهمگونی پروتکل‌های شبکهٔ بی‌سیم، سیستم عامل‌ها و معماری در لایهٔ ادراک IoT، ساخت یک سیستم یکپارچه و قابل‌اعتماد را دشوار می‌سازد. لایهٔ Fog سرویس‌هایی را فراهم می‌کند که می‌تواند برای مخفی کردن چنین ناهمگونی و ایجاد کانال دسترسی یکنواخت به لایهٔ ادراک برای کاربران از طریق اینترنت مورد استفاده قرار گیرد. این مفاهیم به‌خوبی با پیاده‌سازی عملی و ارزیابی جنبه‌های خاصی از عملکرد آن‌ها در فصل‌های آتی مورد بررسی قرار می‌گیرند.



شکل۱.۳ سازماندهی فصل‌ها

این کتاب به هشت فصل تقسیم شده است تا بتواند اطلاعات جامعی را دربارهٔ رایانش مه در زمینهٔ IoT به خوانندگان ارائه دهد. فصل ۱ یک مرور اولیه از رایانش مه، ویژگی‌های آن و مجموعه سرویس‌های احتمالی است که می‌توانند در این لایه برای پاسخ‌گویی به نیازهای سیستم IoT مطرح گردند. در اصل، این فصل، یک زمینهٔ کلی را فراهم می‌کند که به‌عنوان پایه‌ای برای درک فصل‌های بعدی عمل می‌کند. شکل ۱.۳ سازماندهی کتاب را به‌طور کلی نشان می‌دهد. این فصل یک پایهٔ مفهومی گسترده‌تر، اما کم‌عمق‌تر را فراهم می‌کند که با دو فصل آتی به جزئیات ساختار داخلی محاسبات مه یا تمرکز بر مدیریت می‌پردازد. فصل ۲ و ۳ اطلاعاتی درمورد مقیاس‌پذیری IoT مبتنی بر مه و برآورد منابع لایهٔ مه برای میلیاردها دستگاه اضافی متصل به اینترنت فراهم می‌کند. بخش سوم کتاب حاوی سه فصل است که به بحث درمورد برخی از سرویس‌های حیاتی مورد نیاز در لایهٔ ادراک می‌پردازد. فصل ۴، ۵ و ۶ بر امنیت و حفظ حریم خصوصی IoT که از طریق لایهٔ مه، یادگیری

و خودآگاهی سیستم‌های IoT که از طریق رایانش مه و تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها در یک اپلیکیشن شهری هوشمند به‌دست می‌آید، تمرکز می‌کند.

آخرین بخش کتاب دارای دو فصل است که درمورد سناریوهای کاربردی خاص سیستم‌های IoT و مزایای رایانش مه در این حوزه‌ها بحث می‌کنند. پیاده‌سازی سیستم کنترل شبکهٔ الکتریکی و سیستم مراقبت بهداشتی دو حوزهٔ کاربردی هستند که با استفاده از سناریوهای کاربردی واقعی، به‌ترتیب در فصل‌های ۷ و ۸ توصیف می‌شوند.

بخش ۲

مدیریت در لایهٔ مه