دانشگاه کردستان
University of Kurdistan

اینترنت اشیاء

Internet of Things (IoT)

مدرس: سعدون عزیزی

s.azizi@uok.ac.ir

دانشکده مهندسی - گروه کامپیوتر

نیمسال دوم ۹۷-۹۶

اهداف این فصل

❊ در این فصل انتظار می‌رود که دانشجو با مباحث زیر آشنا شود:

- نیازمندی‌های اینترنت اشیاء برای پروتکل‌های شبکه‌بندی
- تأثیر نیازمندی‌ها روی هر یک از لایه‌های پشته پروتکل

الهام گرفتن از پشته پروتکل اینترنت سنتی

- دلیل اصلی پیشرفت اینترنت سنتی پشته پروتکل آن است که مشخصات هر لایه را از لایه بالایی یا پایینی مخفی نگه می‌دارد
- چنین مدلی، اجازه نوآوری در لایه‌های مختلف را به آسانی ممکن می‌سازد
- الهام گرفتن از چنین مدلی برای دنیای اینترنت اشیاء توسط محققان و مهندسان فناوری
- دو رویکرد پیش رو:
  - بکارگیری پشته پروتکل اینترنت سنتی برای IoT
  - نیاز به یک پشته پروتکل جدید
- در اواخر دهه ۱۹۹۰ و اوایل دهه ۲۰۰۰ محققان در زمینه شبکه‌های حسگر بی‌سیم اعلام کردند که پشته پروتکل اینترنت سنتی برای چنین کاربردهایی مناسب نیست!

پشتیبانی از محدودیت دستگاه‌ها

- دستگاه‌های اینترنت اشیاء گستره وسیعی از قابلیت‌ها و مشخصات را دربرمی‌گیرند:
  - توان محاسباتی
  - تحرک
  - اندازه
  - پیچیدگی
  - پراکندگی
  - منابع انرژی
  - استقرار
  - الگوهای ارتباطی
- چنین مشخصاتی مجموعه‌ای از نیامندی‌ها و محدودیت‌ها را روی زیرساخت شبکه (مبتنی بر IP) استفاده شده برای اتصال دستگاه‌ها به یکدیگر تحمیل می‌کند
  - به ویژه محدودیت توان محاسباتی و منابع انرژی

دستگاه‌های ناهمگن در اینترنت اشیاء

- در اینترنت سنتی ماهیت دستگاه‌ها از نوع همگن است؛ یعنی دارای قدرت محاسباتی بالا و منبع انرژی بی‌پایان (اتصال مستقیم به برق یا باترهای قابل شارژ) هستند
  - سرورها، کامپیوترهای رومیزی، لپ‌تاپ‌ها، چاپگرها
- در اینترنت اشیاء چنین ساختار همگنی برقرار نیست؛ از یک طرف دستگاه‌های با توان محاسباتی و منبع انرژی بسیار محدود قرار دارند (مانند حسگرهای فشار) و از طرف دیگر دستگاه‌های با پردازنده‌های قوی و دارای منابع انرژی قابل شارژ قرار دارند (مانند گوشی‌های هوشمند)

دستگاه‌های با منابع محدود (constraint devices)

تعریف
دستگاه‌های کوچک با توان پردازشی، مقدار حافظه و منابع انرژی محدود به عنوان دستگاه‌های با منابع محدود شناخته می‌شوند

- در حالت کلی، یک دستگاه با منابع محدود در یکی یا چندتا از جنبه‌های زیر با محدودیت مواجه است:
  - حداکثر پیچیدگی کد (ROM/Flash)
  - مقدار RAM
  - مقدار محاسباتی که در یک دوره زمانی مشخص قابل انجام است (قدرت محاسباتی)
  - منابع انرژی در دسترس
  - مدیریت رابط کاربری و دسترسی در استقرار (قابلیت تنظیم کردن کلیدهای امنیت، به روز کردن نرم‌افزار و غیره)

دسته‌بندی دستگاه‌های با منابع محدود (RFC 7228)

Name	Data size (KB)	Code size (KB)
Class 0	$\ll 10$	$\ll 100$
Class 1	~ 10	~ 100
Class 2	~ 50	~ 250

- دستگاه‌های کلاس ۰ به شدت در حافظه و قدرت پردازشی محدود هستند. چنین دستگاه‌هایی منابع کافی برای اتصال مستقیم به یک شبکه IP را ندارند
- دستگاه‌های کلاس ۱ نسبت به کلاس ۰ از محدودیت کمتری برخوردار هستند به گونه‌ای که قابلیت اتصال مستقیم به یک شبکه IP را دارند؛ اما چنین دستگاه‌هایی برای اجرای بعضی از پروتکل‌های اینترنت مانند OSPF، HTTP و TLS با چالش مواجه هستند
- دستگاه‌های کلاس ۲ در مقایسه با دو کلاس دیگر محدودیت کمتری دارند؛ قابلیت اجرای پشته پروتکل اینترنت سنتی را دارند اما نیازمند طراحی پروتکل‌های سبک و کارامد هستند

محدودیت منبع انرژی

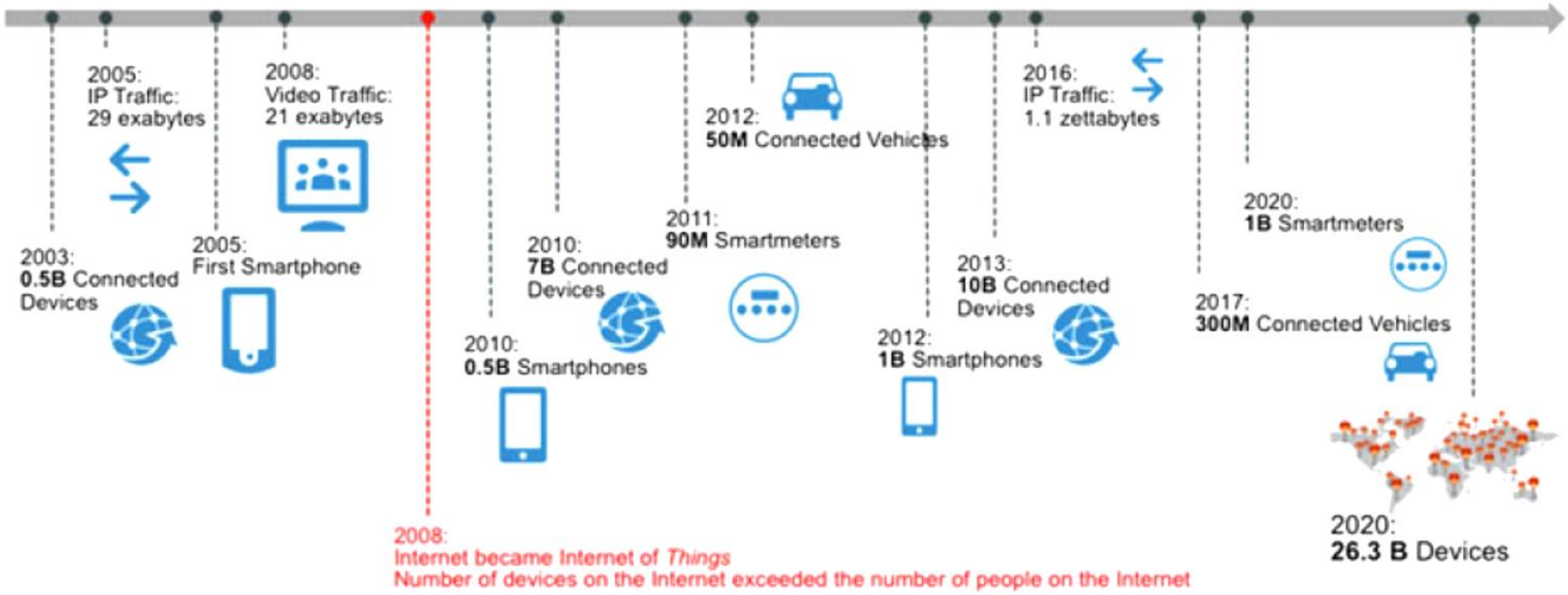
- عواملی که روی محدودیت منبع انرژی دخیل هستند:
  - اندازه دستگاه
  - حالت اصلی استفاده
  - هزینه
  - محیط عملیاتی
- دسته‌بندی دستگاه‌ها بر اساس محدودیت منبع انرژی
  - برداشت انرژی از محیط (energy harvesting)
  - دستگاه‌های دارای باتری (قابل تعویض و قابل شارژ)
  - دستگاه‌های دارای باتری (بدون قابلیت تعویض و قابلیت شارژ)
  - دستگاه‌های بدون محدودیت انرژی (main power)

نیازمندی‌های دستگاه‌های با منابع محدود

- مصرف انرژی معضل اصلی برای دستگاه‌های IoT است
  - انتقال داده در مقایسه با انجام پردازش محلی بیش از سه برابر از لحاظ مصرف انرژی هزینه‌برتر است
  - یک استراتژی رایج برای حل این معضل این است که در حالت‌های بیکاری، دستگاه به حالت خواب (sleep) برود
- طراحی پروتکل‌های ارتباطی سبک، انرژی –کارامد و آگاه از پهنای باند

مقیاس‌پذیری گسترده

- بر اساس تخمین صورت گرفته توسط سیسکو، حدود ۹۹.۴٪ اشیاء فیزیکی در جهان، که پتانسیل اتصال به اینترنت را دارند، هنوز متصل نشده‌اند!
- تعداد دستگاه‌های متصل به اینترنت تا سال ۲۰۲۰ از مرز ۲۶ میلیارد عبور خواهد کرد (پیش‌بینی شرکت سیسکو)



مقیاس‌پذیری گسترده

- این مقیاس‌پذیری گسترده از جنبه‌های مختلف نیازمندی‌هایی به پشته پروتکل IoT تحمیل می‌کند:
  - شناسایی و آدرس‌دهی دستگاه‌ها
  - امنیت
  - پروتکل‌های مسیریابی
  - ارسال داده
  - مدیریت

آدرس‌دهی دستگاه

- دستگاه‌های اینترنت اشیاء باید **به صورت فردی قابل آدرس‌دهی** باشند تا بتوان از طریق اینترنت به آنها دسترسی پیدا کرد
- اگر اتصال دستگاه‌های به اینترنت از طریق دروازه اتصال یا پروکسی صورت بگیرد، به آنها **شهروندان کلاس دوم** (second class citizens) گفته می‌شود
- مقیاس‌پذیری گسترده IoT گذر به اینترنت IPv6 را تسریع می‌بخشد

مدیریت اعتبار

- امنیت مدیریت اعتبار (مانند توزیع کلید مشترک و مدیریت گواهی) چالش مهمی به اینترنت امروزی تحمیل می‌کند
- اضافه کردن میلیاردها دستگاه به اینترنت از طریق IoT این مسئله را پیچیده‌تر می‌کند
- مکانیزم‌های دستی که در حال حاضر برای مدیریت اعتبار استفاده می‌شوند به دو دلیل پابرجا نخواهد ماند:
  - تعداد بسیار زیاد دستگاه‌ها
  - محدودیت (یا نبود) رابط‌های کاربری روی دستگاه‌های با منابع محدود
- بنابراین، نیاز به مکانیزم‌های سبک و کاملا خودکار برای مدیریت اعتبار وجود دارد

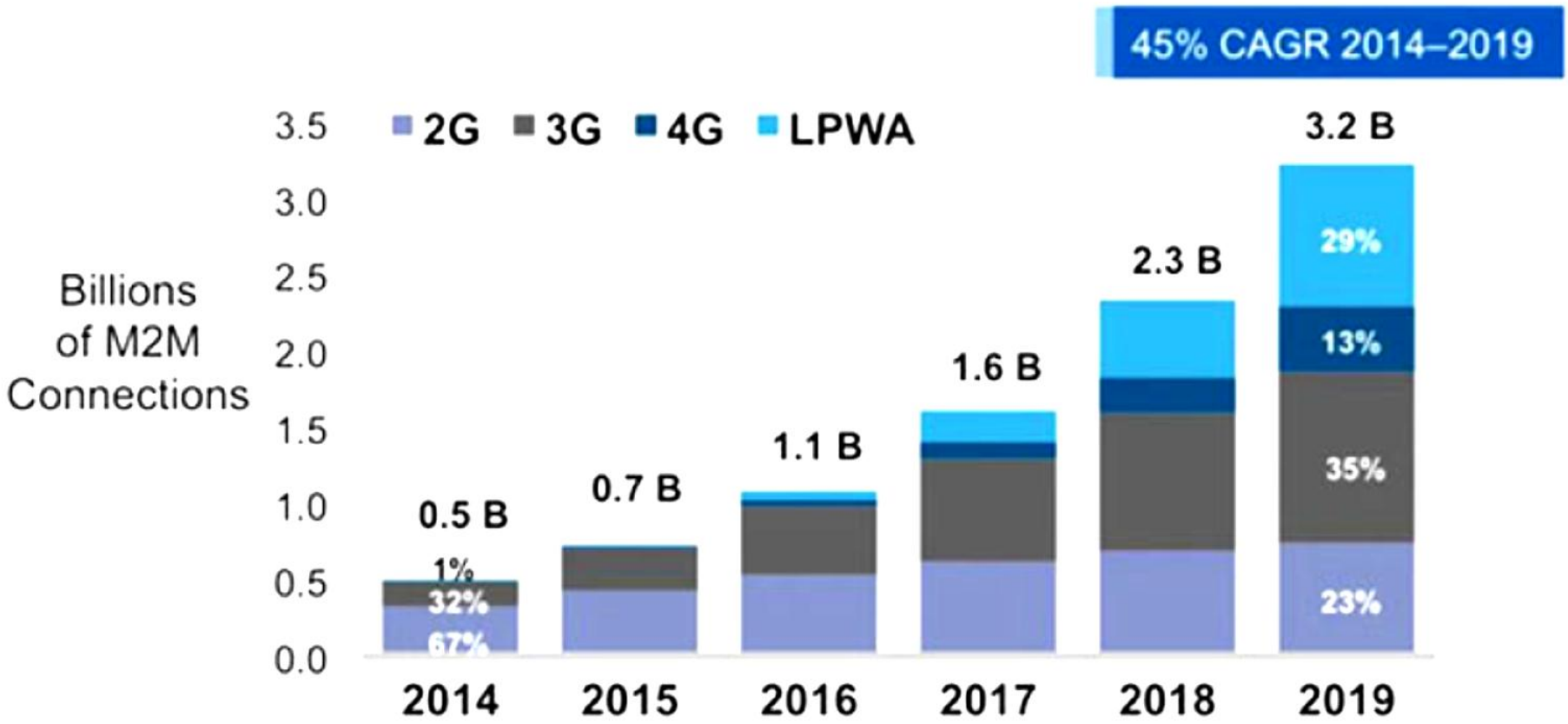
کنترل‌کننده (Control plane)

- پروتکل‌های اینترنت اشیاء به صورت توزیع شده و از طریق ردوبدل کردن پیام بین گره‌های نظیر پیاده‌سازی می‌شوند
- این پروتکل‌ها بر اساس یکی از دو مدل زیر کار می‌کنند:
  - سلسه‌مراتبی (مدل مشتری-سرویس‌دهنده)
  - مسطح (نظیر به نظیر)
- رفتار توابع کنترل‌کننده همراه با نحو و معنای پیام‌های ردوبدل شده مشخصات خاص پروتکل‌های کنترل‌کننده را تعریف می‌کند
- با افزایش تعداد گره‌های شرکت‌کننده در یک پروتکل، چالش‌هایی مربوط به منابع داخل هر گره (ذخیره‌سازی و پردازش) را به همراه خواهد داشت.

طیف بی‌سیم

- اشیاء برای اتصال به اینترنت در بیشتر اوقات از روش **بی‌سیم** استفاده می‌کنند
- طیف بی‌سیم یک منبع محدود است
- فرکانس‌های رادیویی دارای مجوز هم گران قیمت هستند و هم کمیاب
- با اتصال میلیاردها شیء به اینترنت، رقابت برای اموج هوایی شدیدتر خواهد شد
- بیشتر سیستم‌های IoT در فرکانس‌های بدون مجوز (ISM) کار می‌کنند
- برای فرکانس‌های دارای مجوز (مانند GSM)، پدیده **بحران طیف** مطرح است
- دو دلیل برای وجود پدیده بحران طیف:
  - رشد چشمگیر تعداد نقاط انتهایی
  - رشد چشمگیر ترافیک به ازای هر نقطه انتهایی

رشد ارتباط ماشین با ماشین

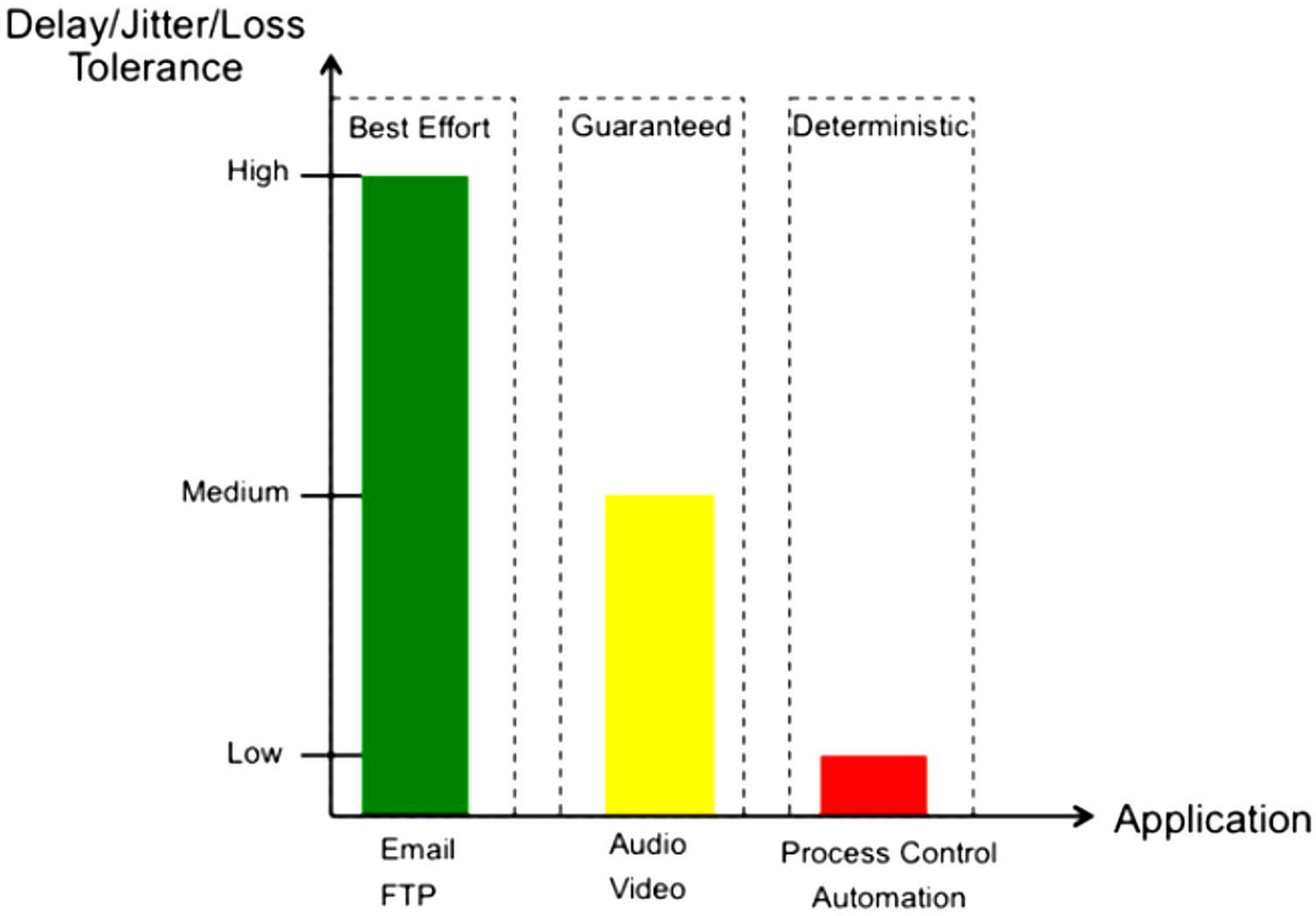


In 2014, 4G accounts for 1% and LPWA accounts for 0.2% of global mobile M2M connections.

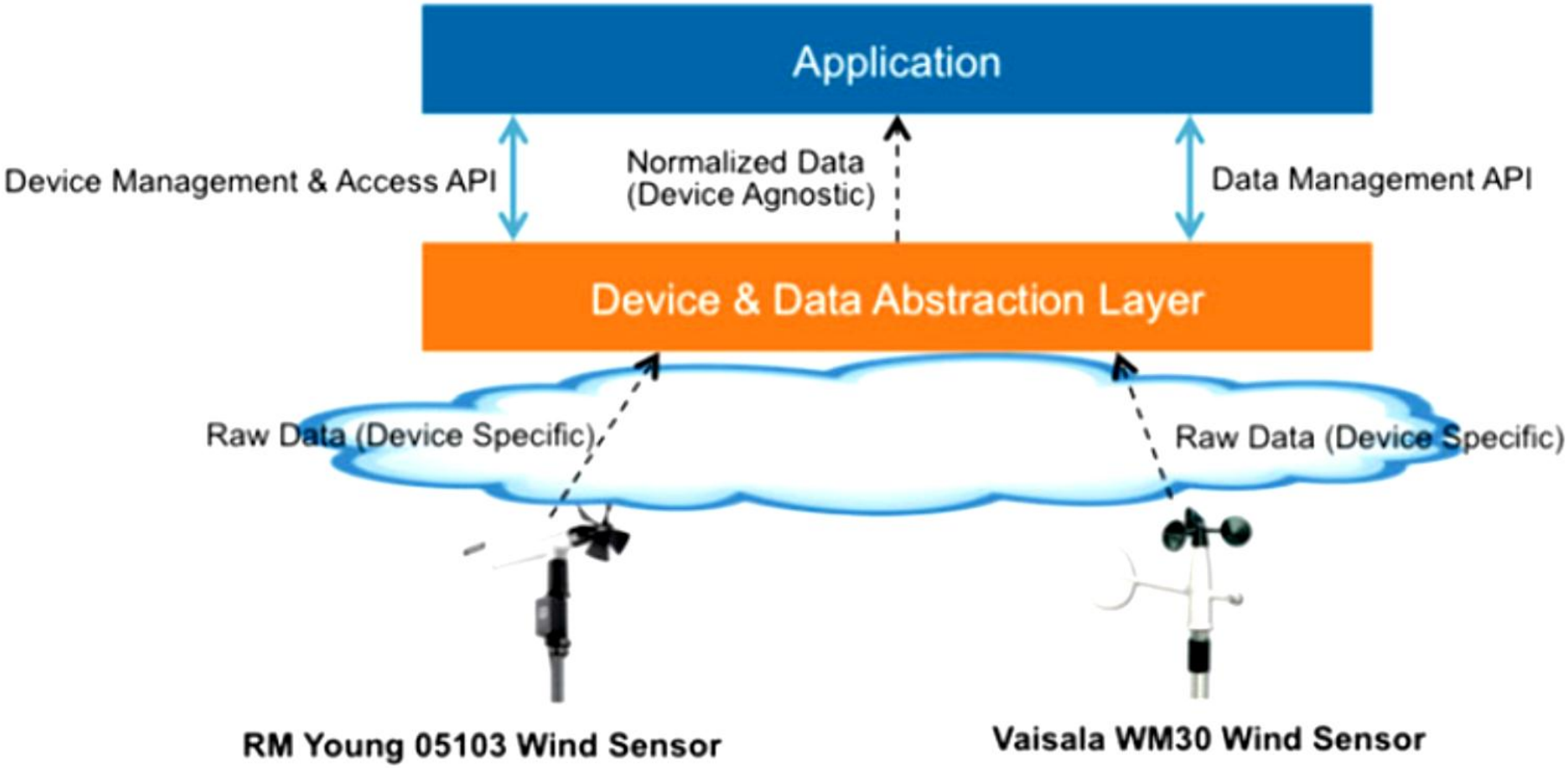
زمان پاسخ بلادرنگ

- در بیشتر کاربردهای IoT، زمانی که طول می‌کشد تا هر بسته مسیر بین مبدأ و مقصدش را پیمایش کند باید مشخص باشد (قطعیت زمانی)
- یک سیستم IoT زمانی به درستی کار می‌کند که بتواند قطعیت زمانی برای نقاط انتهایی را تضمین کند
- تصور کنید که چه اتفاقی می‌افتد اگر یک شبکه بسته کنترلی داخل موتور یک جت را با تأخیر بالا تحویل اتاق فرمان بدهد؟
- اگر تأخیر و جیتر (jitter) ارتباطی یک شبکه در بدترین حالت قابل تصمیم‌گیری و قابل پیش‌بینی باشد، به آن **شبکه قطعی** می‌گویند

ترافیک بهترین تلاش، تضمین شده، قطعی



قابلیت همکاری برنامه

- پیچیدگی توسعه، استقرار و مدیریت برنامه‌های IoT یک چالش کلیدی برای صنعت است
- طبیعت بسته راه‌حل‌های IoT موجود، نه تنهای پیاده‌سازی اولیه را گران تمام می‌کند بلکه نگه‌داری و تکامل آن را در طول زمان دشوار و پرهزینه خواهد کرد
- درک دیدگاه کامل IoT دشوار خواهد بود مگر آنکه رابطهای برنامه‌نویسی کاربردی (APIs) که عملکردهای دستگاه‌ها و اشیاء هوشمند را کنترل می‌کند از استانداردهای مشترکی پیروی کنند به گونه‌ای که قابلیت همکاری را تضمین کند
- با در دسترس بودن استاندارد APIها، امکان معرفی انتزاع برای عملیات زیربه وجود خواهد آمد:
  - مدیریت دستگاه (راه‌اندازی، احراز هویت، به روزرسانی نرم‌افزار/میان‌افزار)
  - مدیریت داده (خواندن، نوشتن، اشتراک)
  - مدیریت برنامه کاربردی (شروع، توقف، اشکال‌زدایی، ارتقاء)

انتزاع و APIهای استاندارد