5. IoT sítě a protokoly

B0B37NSI – Návrh systémů IoT

Stanislav Vítek

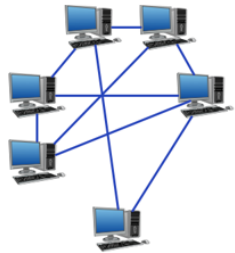
Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení v Praze

Terminologie počítačových sítí

- Síť: skupina počítačů a přidružených zařízení, která jsou propojena komunikačními prostředky.
- Wide Area Network **WAN**: celosvětová síť (internet)
- Metropolitní síť **MAN**: městská síť
- Local Area Network **LAN**: laboratorní/kancelářská síť (Ethernet)
  - **WLAN**: bezdrátová síť LAN (Wi-Fi)
  - **WPAN**: bezdrátová osobní síť (Bluetooth)
  - **WBAN**: bezdrátová síť v oblasti těla

Topologie sítí

Fully Connected Network Topology



Mesh Network Topology

Star Network Topology

Common Bus Topology

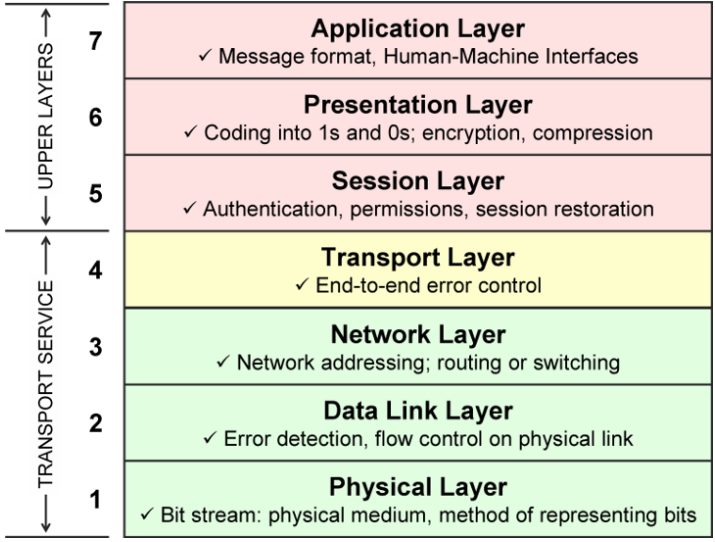
Ring Network Topology

Síťové protokoly

- Protokoly jsou základními stavebními kameny síťové architektury.
- Formální standardy a zásady umožňující komunikaci
- Standardizace: **IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- Příklad: Projekt 802

802.3	Ethernet
802.11	WLAN (WiFi)
802.15.1	WPAN (Bluetooth)
802.15.4	LR-WPAN (Low-rate WPAN, ZigBee)
802.16	WMAN (WiMAX)

OSI (Open System Interconnection)



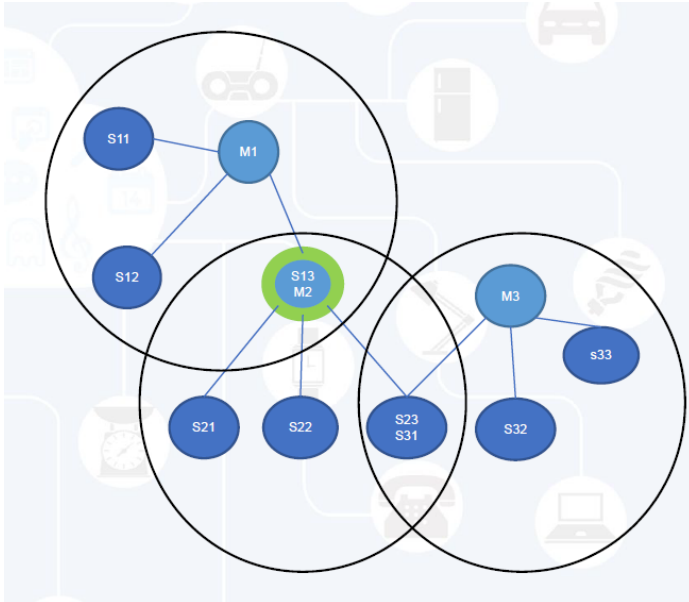
Fyzická a linková vrstva – WiFi

- Využívá 2 frekvenční pásma (802.11 ...): 2,4 GHz a 5 GHz – neomezené použití, jediným omezením je výkon TX
- Mírně odlišné spektrum v různých zemích
- Jádro standardu obsahuje 14 kanálů pro pásmo 2,4
- Šířka pásma pro každý kanál byla původně 20 MHz, nyní je to 40 MHz.
- Přenosová rychlost někde mezi 2Mb/s a několika Gb/s (nejnovější ac)
- Poznámka – neexistuje žádný centralizovaný řadič pro řízení přístupu k PHY, takže často dochází ke kolizím – nutně dochází ke snižování propustnosti sítě při rostoucím počtu zařízení na stejné síti/frekvenci.
- Obvyklá konfigurace je jeden centrální směrovač/přepínač (AP) a připojené klienty.

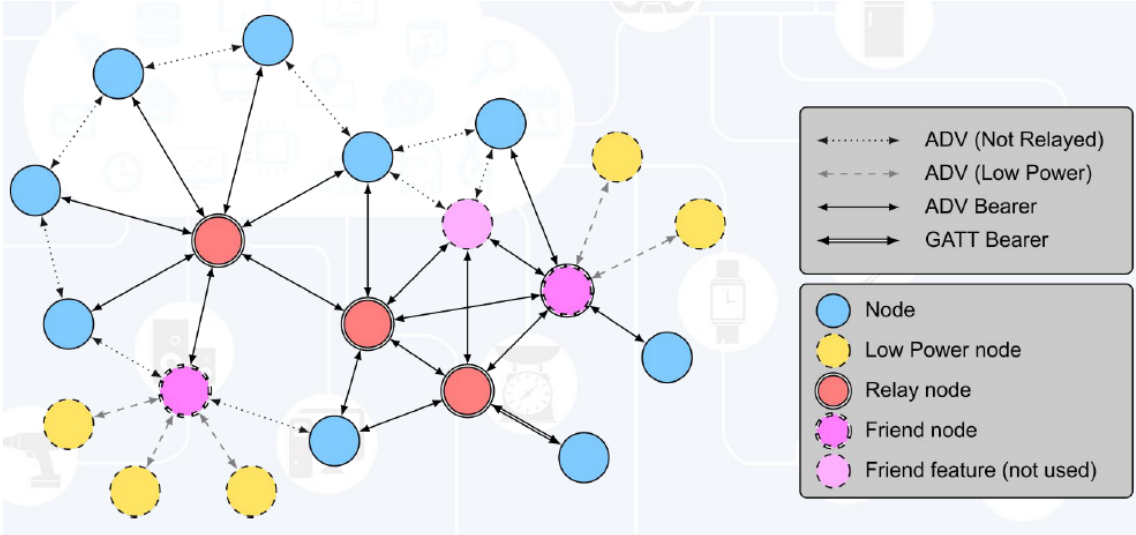
Fyzická a linková vrstva – Bluetooth 1/2

- WPAN / Piconet
- Standard: 7+1 zařízení (slaves + master)
  - Pikosítě se však mohou překrývat a vytvářet rozptýlené sítě
  - Specifikace umožňuje až spojení až 10 pikosítí na ploše o průměru 10m
  - Jedno zařízení musí fungovat jako "Master" pikosítě (a koordinující zařízení) – řídí celou síť
- 2,4 GHz, sdílené s WiFi
- 79 kanálů - automatická změna kanálu (přeskakování frekvence, frequency hopping)
- 1 kanál podporuje rychlost až 1 Mb/s, přibližně 700 kb/s pro uživatele
- Nové čipy jsou schopny přenášet přibližně 2-3Mbps
- Teoreticky až 100 m (Enhanced Data Rate, EDR)
  - Třída 1 – 100mW
  - Třída 2 – 2,5 mW
  - Třída 3 – 1mW
- Každé zařízení má adresu MAC (48 bitů)
- Existují různé "profily" (jako služby), které mají mají vliv na konstrukci Bluetooth stacku, zařízení obvykle neimplementují všechny profily

Fyzická a linková vrstva – Bluetooth 2/2



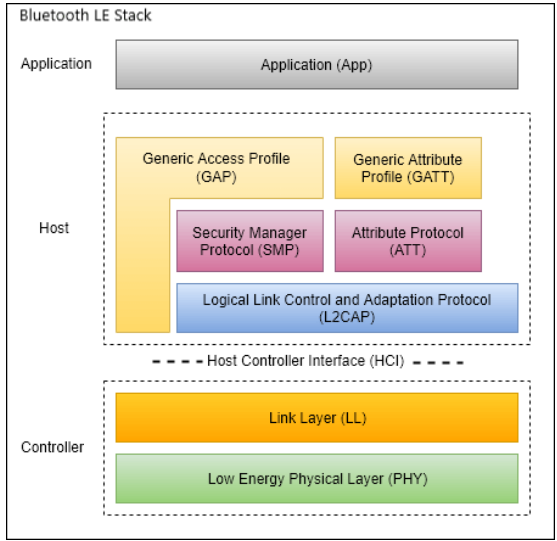
Fyzická a linková vrstva – Bluetooth 5.0



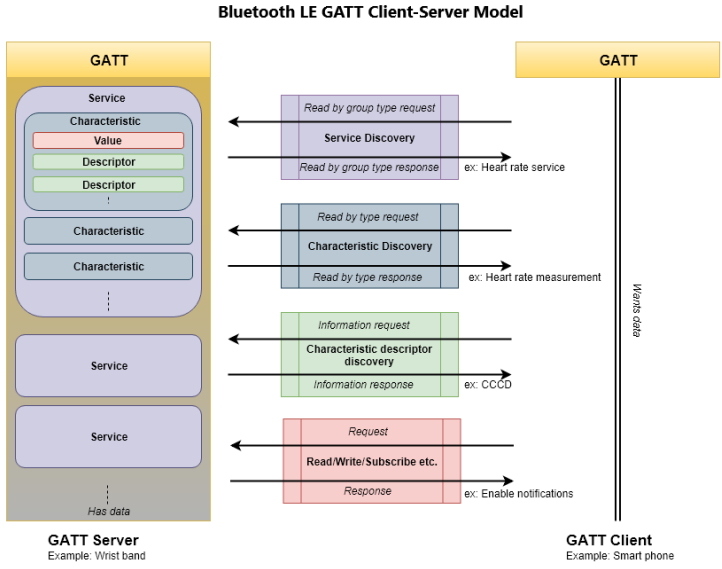
Fyzická a linková vrstva – BLE 1/3

- Zjednodušená implementace ve srovnání s BT (stavový stroj BLE)
- Velmi nízká energetická náročnost, zařízení pracují na baterii po dlouhou dobu.
- Kratší dosah než klasický BT
- Spíše pro sdílení stavu než pro přenos většího množství dat.
- Ale může dosáhnout 1Mbps
- Používá pásmo 2.4 MHz, ale snaží se "vyhnout" 802.11 (WiFi), aby se minimalizovalo rušení mezi WiFi a BLE
- 3 advertising kanály
- Až 37 komunikačních kanálů

Fyzická a linková vrstva – BLE 2/3



Fyzická a linková vrstva – BLE



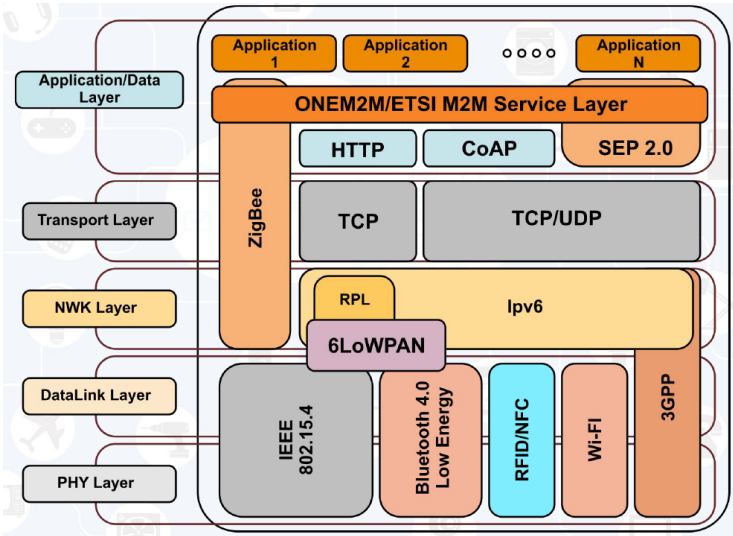
Fyzická a linková vrstva – nelicencovaná RF pásma

- 433 MHz (Evropa)
- 868 MHz (Evropa)
- 915 MHz (Amerika, Asie)
- V těchto kanálech dochází k velkému rušení, protože jsou používány různé druhy modulací (AM, FM) a různé modely kódování.
- Užitečné pro krátký dosah až střední dosah na velmi jednoduchých zařízeních s nízkým příkonem
- Pouze peer-to-peer komunikace
- Žádná infrastruktura
- Žádné normy (specifikace, jako např. LoRaWAN, není norma)

Síťová vrstva – IPv4/IPv6

- IP (1974) 2^8 zařízení v 2^4 sítích (RFC 675)
- IPv4 (1981) 2^{32}
- Není to málo, Antone Pavloviči? No je...
- Adresní prostor lze logicky pokrýt IPv6, ale komplexita implementace je příliš vysoká
  - IPv4/IPv6 předpokládají hvězdicový model spojení, kde centrálním bodem je přepínač/směrovač.
    - Jedná se o spojení M2M (ale singulární, nevyplývá z předpokladů IoT).
    - Nepodporuje mesh
  - Zařízení musí zvládnout směrování k blízkým účastníkům v rámci sítě a lokálně udržovat svůj seznam (ARP)
    - Obrovské (!) paměťové nároky
  - Musí existovat správce pro správu IP adres (obvykle DHCP server).
    - Zařízení musí kontaktovat tohoto správce, aby získala adresu.
- Řešením je 6LoWPan, navržené přímo pro IoT

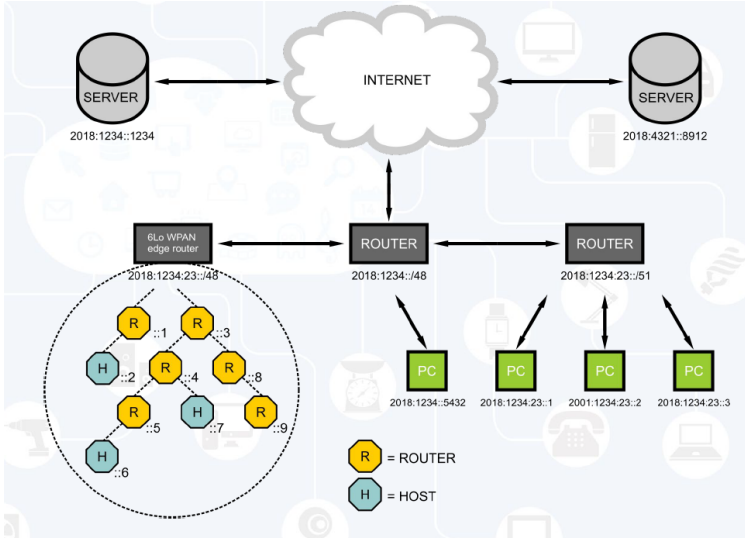
IoT protokoly a standardy



Síťová vrstva pro IoT – 6LoWPAN

- Vrstvy PHY a MAC jsou definovány v normě 802.15.4.
  - Má 3 režimy fyzické vrstvy: 20, 40 a 250 kb/s.
- Je určena pro RF komunikaci v pásmech 800, 900 MHz a 2,4 GHz
- Podporuje 64bitové i 16bitové režimy adresování.
- Podporuje proměnlivou velikost rámce, pokud jde o užitečné zatížení.
  - Základní velikost rámce je 127 bajtů.
  - Porovnejte s IPv6, kde je velikost rámce 1280 bajtů.
- Podporuje unicast a broadcast.
- Podporuje směrování IP a síťování na linkové vrstvě (802.15.5)!
  - Pozor, síť/mesh na linkové vrstvě může mít také mnoho bran do internetu (ne nutně jen jednu, jak je často prezentováno)
- Pro zjišťování sousedních zařízení používá automatickou konfiguraci sítě.
- Podporuje zabezpečení
  - AES 128 bitů (také 64) - obvykle se provádí prostřednictvím specializovaného hardwarového řešení (čipu)
- Primární transportní vrstva je UDP.
- Podporuje až 64000 uzlů v rámci topologie (uzly a směrovače) s 16bitovou adresou

Architektura 6LoWPAN

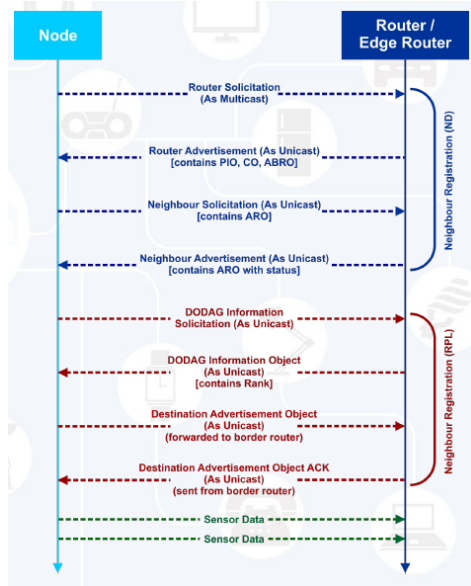


Jak 6LoWPAN funguje?

- Edge router překládá adresy mezi 6LoWPAN a IPv6 (případně IPv4).
- Adresy 6LoWPAN jsou "komprimované" adresy IPv6
  - Funguje na principu plochého adresního prostoru (jedna podsíť).
  - S jedinečnými adresami MAC (64 nebo 16 bitů dlouhými)
- Spuštění sítě 6LoWPAN (while (true) repeat 1-3:)
  1. Commissioning – Založení spojení (linková vrstva) mezi uzly.
  2. Bootstrapping – Konfigurace adres, discovery a registrace.
  3. Route init – Provedení směrovacího algoritmu pro nastavení cest.
- Běžné discovery sítě IPv6 zde nefunguje, protože předpokládá, že zařízení jsou vždy online (což v IoT není pravda).
- Zjišťování sítě (sousedních zařízení) v síti 6LoWPAN využívá 3 principy (RFC6775):
  - NR – registrace uzlů (Network Registration)
  - NC – potvrzení uzlu (Network Confirmation)
  - DAD – detekce duplicitních adres (Duplicate Address Discovery)
  - \+ Podpora infrastruktury okrajových směrovačů

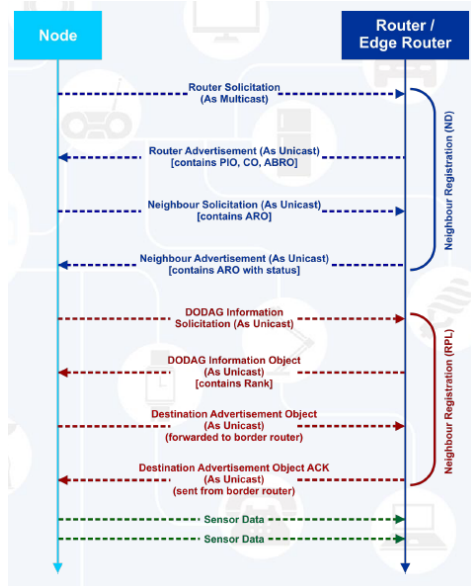
6LoWPAN – automatizované discovery

- Neighbor Discovery (ND):
  - Nový uzel vysílá RS (Router Solicitud) multicast
  - Všechny routery odpovídají RA (Router Advertisement) unicast
  - Uzel vybírá jeden router (zpravidla první RA) a sestavuje globální IPv6 adresu na základě prefixu
  - Uzel posílá ARO (Adress Registration Option) unicast zvolenému routeru
  - Router odpovídá ARO a status
    - Status: OK, duplicate address, cache full
    - Pokud OK, router vloží adresu uzlu do cache
  - Uzel periodicky informuje router o tom, že žije (NUD, Neighbor Unreachability Detection)
  - Řešení duplicitních adres
    - Během procesu registrace požádá router všechny edge routery o ověření, zda požadovaná adresa je unikátní
    - DAD probudí IoT zařízení ze standby režimu



6LoWPAN – automatizované discovery 2/2

- Network registration (NR):
  - Uzel odešle routeru unicastovou výzvu DODAG (Destination Oriented Directed Acyclic Graph).
  - Router odpoví informačním objektem DODAG (DIO) a pravidelně jej vysílá. DIO obsahuje pořadí routeru (tj. uvádí, jak daleko je router od edge routeru).
  - Pokud uzel získá DIO s lepší hodností, měl by znovu zaregistrovat u jiného "lepšího" routeru jako nový výchozí směrovače.
  - Nakonec uzel odešle Destination Advertising Object (DAO) svému výchozímu routeru, který je následně předán edge routeru.
  - Edge router odpoví DAO ACK.



6LoWPAN – shrnutí

- Síťová vrstva schopná vytvářet samoorganizující mesh sítě (navíc škálovatelné)
- Určena i pro sítě typu hvězda (v tom případě je edge router shodný s routerem)
- Používá malé datové rámce a zjednodušený model adresování
- Schopná detekce duplicitních adres

Fyzické a logické vrstvy pro IoT – X10

- X10 je protokol pro komunikaci mezi elektronickými zařízeními používanými pro domácí automatizaci. K signalizaci a ovládání využívá především vedení elektrického proudu.
- Řídicí jednotky X10 vysílají signály po stávajícím vedení střídavého proudu do přijímacích modulů.
- Technologie X10 přenáší binární data pomocí techniky amplitudové modulace (AM).
- Data jsou zakódována na nosné frekvenci 120 kHz, která je přenášena v sériích během vysílání. relativně tichých přechodů nulou střídavého proudu o frekvenci 50 nebo 60 Hz. proudu. Při každém přechodu nuly se přenáší jeden bit.

Fyzické a logické vrstvy pro IoT – Z-Wave (ITU-T G.9959)

- Bezdrátový komunikační protokol s nízkou spotřebou energie pro sítě domácí automatizace (HAN).
- Protokol pokrývá peer-to-peer komunikaci na vzdálenost přibližně 30 metrů a je určen pro aplikace, které vyžadují přenos drobných dat, jako je ovládání osvětlení, ovládání domácích spotřebičů, inteligentní energetika a HVAC, kontrola přístupu, ovládání nositelné zdravotní péče a detekce požáru. Systém Z-Wave pracuje v pásmech ISM (kolem 900 MHz) a umožňuje přenosovou rychlost 40 kb/s.
- Nejnovější verze podporují také rychlost až 200 kb/s. Její vrstva MAC využívá mechanismus pro zamezení kolizí. Spolehlivý přenos je v tomto protokolu možný pomocí volitelných zpráv ACK.
- V jeho architektuře existují řídicí a podřízené uzly. Řadiče řídí podřízené uzly vysíláním příkazů na příkazů. Pro účely směrování vede řadič tabulku topologie celé sítě. Směrování v tomto protokolu je prováděno metodou zdrojového směrování, při níž řadič předkládá cestu uvnitř paketu.

Fyzické a logické vrstvy pro IoT – HomePlug (IEEE 1901)

- IEEE 1901 je standard pro vysokorychlostní (až 500 Mbit/s na fyzické vrstvě) komunikační zařízení po elektrických vedeních, často nazývaný širokopásmové připojení po elektrických vedeních (BPL). Norma používá přenosové frekvence nižší než 100 MHz.
  - HomePlug 1.0
  - HomePlug AV
  - HomePlug AV2
  - HomePlug Green PHY (Energy efficient)
- Convergence Digital Home (IEEE 1905.1)
  - Umožňuje spolupráci protokolů domácí automatizace pro bezdrátovou komunikaci a komunikaci po elektrickém vedení.

Fyzické a logické vrstvy pro IoT – BACnet (ISO 16484-5)

- BACnet – building automation and control networks.
- BACnet byl navržen tak, aby umožňoval komunikaci systémů automatizace a řízení budov pro aplikace, jako jsou např. řízení vytápění, větrání a klimatizace, řízení osvětlení, řízení přístupu, systémy detekce požáru a další. jejich přidružená zařízení.

Fyzické a logické vrstvy pro IoT – ModBus, FieldBus, IE

- Otevřený datový komunikační protokol široce používaný pro připojení průmyslových elektronických zařízení.
- otevřená struktura, flexibilní, široce známý
- Dodáván mnoha softwary SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)
- 2 režimy sériového přenosu:
  - ASCII
  - RTU (binární)
- Komunikační rozhraní
  - RS-232/485
  - Ethernet (TCP/IP)
- Další protokoly pro průmyslovou automatizaci:
  - FieldBus (IEC 61158).
  - Průmyslový Ethernet (robustní Ethernet)

RFID – ISO/IEC 18000

- ISO/IEC 18000 je mezinárodní norma, která popisuje řadu různých technologií RFID, z nichž každá využívá vlastní frekvenční rozsah
  - 18000-1: obecné vlastnosti a popis technologie
  - 18000-2: méně než 135 kHz
  - 18000-3: HF 13,56 MHz
  - 18000-4: 2,42 GHz
  - 18000-6: UHF 860-960 MHz
  - 18000-7: 433 MHz
- NFC je odnož vysokofrekvenční (HF) RFID, která pracuje na frekvenci 13,56 MHz. NFC je navrženo jako bezpečná forma výměny dat a zařízení NFC může být jak čtečkou NFC, tak značkou NFC. Tato jedinečná vlastnost umožňuje zařízením NFC komunikovat mezi sebou.

IEEE 802.15.4 LR-WPAN (ZigBee)

- Technologie ZigBee je jednodušší (a levnější) než Bluetooth.
- Hlavním cílem LR-WPAN, jako je ZigBee, je snadná instalace, spolehlivý přenos dat, provoz na krátkou vzdálenost, extrémně nízké náklady a možnost připojení k síti přiměřená životnost baterií při zachování jednoduchého a flexibilního protokolu.
- Přibližná rychlost přenosu dat je dostatečně vysoká (maximálně 250 kbit/s) pro náročnější aplikace jako jsou interaktivní hračky, ale je také škálovatelná až na úroveň pro potřeby senzorů a automatizace (20 kbit/s nebo méně).
- Sítě LR-WPAN se mohou účastnit dva různé typy zařízení:
  - Plně funkční zařízení (**FFD**, Full-function devices) mohou pracovat ve třech režimech: jako koordinátor osobní sítě (PAN), koordinátor nebo zařízení.
  - Zařízení s omezenou funkcí (**RFD**, Reduced-function devices) jsou určena pro aplikace, které jsou extrémně jednoduché.
  - Zařízení **FFD** může komunikovat se zařízeními **RFD** nebo jinými zařízeními **FFD**.
  - Zařízení **RFD** může komunikovat pouze se zařízením **FFD**.

Topologie

- Dvě nebo více zařízení komunikujících na stejném fyzickém kanálu tvoří síť WPAN. Síť WPAN musí obsahovat alespoň jedno FFD, které funguje jako koordinátor PAN.
- Koordinátor PAN zahajuje, ukončuje nebo směruje komunikaci v síti. Koordinátor PAN je primární řídicí jednotkou sítě PAN.
- Síť WPAN může fungovat v jedné ze dvou topologií:
  - hvězdicová
    - Po první aktivaci FFD může vytvořit vlastní síť a stát se koordinátorem PAN.
    - Koordinátor PAN může ostatním zařízením povolit připojit ke své síti.
  - peer-to-peer
    - V síti peer-to-peer je každé FFD je schopen komunikovat s jakoukoli s jiným FFD v rámci své rádiové sféry vlivu. Jedno FFD bude nominováno jako koordinátor PAN.
    - Síť typu peer-to-peer může být ad hoc, samoorganizující se a samoopravující se, a může kombinovat zařízení pomocí síťové topologie mesh.

Parametry ZigBee

Topologie	Ad-hoc (centrální PAN koordinátor)
RF pásmo	2,4 MHz
RF kanály	16 kanálů s rozestupy 5 MHz
Spreading	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum, 32 chips/4bity)
Chip rate	2 Mchip/s
Modulace	Offset QPSK
Přístup	CSMA/CA

CSMA/CA

- Pokaždé, když chce zařízení přenést datové rámce nebo příkazy MAC, musí počkat po náhodnou dobu. Pokud se zjistí, že kanál je nečinný, po uplynutí této doby zařízení přenese svá data. Pokud je zjištěno, že kanál je obsazený, zařízení vyčká náhodnou dobu, než se znovu pokusí získat přístup ke kanálu.
- Potvrzovací rámce se posílají bez použití mechanismu CSMA-CA.

Protokoly vyšších vrstev vs. IoT

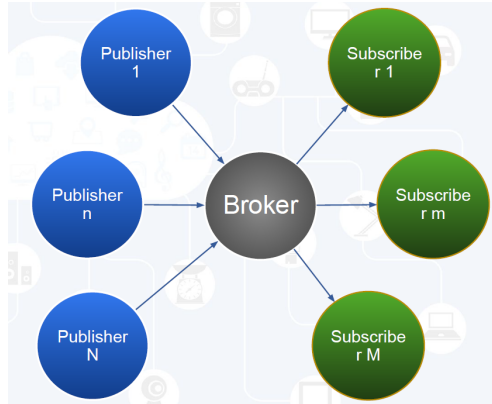
- Použití HTTP protokolu je pro IoT problematické
- Omezené možnosti IoT prostředí (zejména konektivita)
  - HTTP hlavička reprezentuje nejméně 71B
- Problémy s firewally
- Skrytý zdroj zprávy příchozí z NAT sítí
  - v IoT sítích ale potřebujeme vědět, kdo data posílá
- Dokumenty založenné na XML jsou příliš objemné

MQTT (Message Queue Telemetry Transport Protocol)

- Protokol aplikační vrstvy
  - ve skutečnosti úroveň ISO/OSI 5-7: aplikační, prezentační a relační vrstva
- Je jednoduchý a lehký
- Navržen pro zařízení s omezenou šířkou pásma, nespolehlivou konektivitou a sítě s vysokou latencí
- Používá model Public-subscribe
- Zajišťuje spolehlivost
- Poskytuje některé mechanismy pro zajištění doručení
- Je určen pro sítě TCP/IP (používá TCP)
- Pro sítě bez TCP existuje implementace MQTT-SN

Architektura MQTT

- Vydavatelé a odběratelé vystupují vůči zprostředkovateli jako klienti.
- Zprostředkovatel je mimo firewally
- Zprostředkovatel je centrálním bodem a je kritickou součástí sítě
- Vydavatelé, zprostředkovatel a odběratelé bývají oddělená zařízení a/nebo software
- Vydavatel může současně působit jako odběratel.



MQTT broker

- Broker je vlastně server pro obě části (vydavatele a odběratele).
- Zajišťuje QoS
- Může uchovávat zprávy (data)
- Vydavatel rozhoduje o tom, zda si broker zprávu ponechá.
- V tomto případě každý odběratel při odběru automaticky obdrží nejnovější hodnotu, takže Broker udržuje jakýsi "stav".
- Předává obsah zájemcům z řad odběratelů (obsah pochází od vydavatelů)

MQTT data

- MQTT je textový protokol a je datově agnostický.
- Zprávy (obsah) jsou uspořádány do témat ve formě stromové struktury (jako je adresářová cesta)
  - Oddělovačem je / (lomítko)
- Odběratel se může přihlásit k odběru konkrétního tématu nebo může použít zástupný vzor pro odběr různých témat:
  - `#` znamená celou větev
  - `+` znamená jednoúrovňové
- Příklad
  - Vydavatel vydává např: `CVUT/FEL/209/Sensor/Temperature`
  - Odběratel se přihlásí k odběru: `CVUT/FEL/+/Senzor/#`
  - Odběratel pak bude upozorněn vždy, když zařízení odešle informaci o jakémkoli měření (tj. teploty, ale také vlhkosti a znečištění vzduchu) provedeném `/Senzor/` někde v budově CVUT/FEL (může to být místnost, ale také třeba chodba)

MQTT QoS

- Neuznaná služba
  - Doručeno každému odběrateli maximálně jednou
- Uznávaná služba
  - Zajišťuje doručení zprávy alespoň jednou.
  - Broker očekává potvrzení, jinak zprávu znovu odešle
- Zajištěná služba
  - Dvoustupňové doručení
  - Zajišťuje, že zpráva je každému účastníkovi doručena přesně jednou

Vlastnosti MQTT

- Příznak čisté relace (volitelný) - trvanlivá připojení:
  - Pokud je true, Broker odstraní všechny klientské odběry při odpojení klienta.
  - Pokud je false, spojení zůstane nečinné a všechny zprávy se shromažďují (QoS v závislosti na typu připojení) a doručeny, jakmile je připojení obnoveno.
- Klient může brokerovi nařídit, aby ho nechal odeslat konkrétní téma (nebo témata), když se objeví neočekávané spojení.
  - Zjištění selhání/havárie: vhodné např. pro kritické a bezpečnostní systémy
- Bezpečnost
  - Slabá – uživatelská jména a hesla zasílána v prostém textu
  - Lze využít zabezpečený kanál (SSL/TLS)

Formát MQTT zprávy

- 2B hlavička

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	Message Type				DUP flag	QoS level		RETAIN
byte 2	Remaining Length							

Mnemonic	Enumeration	Description
Reserved	0	Reserved
CONNECT	1	Client request to connect to Server
CONNACK	2	Connect Acknowledgment
PUBLISH	3	Publish message
PUBACK	4	Publish Acknowledgment
PUBREC	5	Publish Received (assured delivery part 1)
PUBREL	6	Publish Release (assured delivery part 2)
PUBCOMP	7	Publish Complete (assured delivery part 3)
SUBSCRIBE	8	Client Subscribe request
SUBACK	9	Subscribe Acknowledgment
UNSUBSCRIBE	10	Client Unsubscribe request
UNSUBACK	11	Unsubscribe Acknowledgment
PINGREQ	12	PING Request
PINGRESP	13	PING Response
DISCONNECT	14	Client is Disconnecting
Reserved	15	Reserved

MQTT vs HTTP

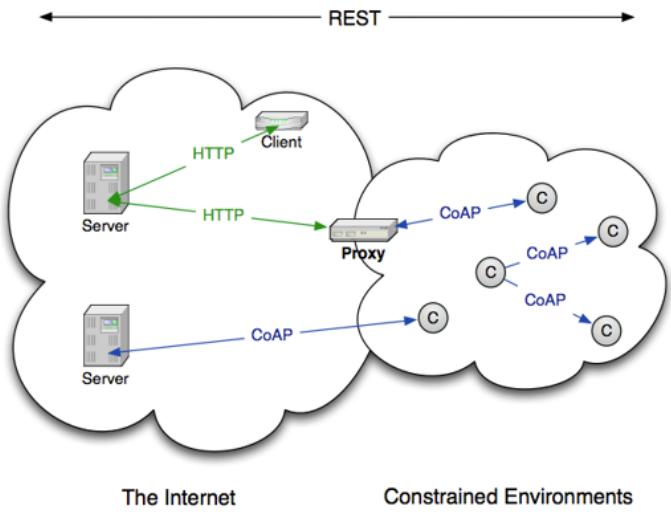
	MQTT	HTTP
Design Orientation	Data Centric	Document Centric
Pattern	Publish / Subscribe	Request / Response
Complexity	Simple	More Complex
Message Size	Small, with a compact binary 2-byte header	Larger, partly because status detail is text based
Service Levels	Three quality of service settings	All messages get same level of service
Extra Libraries	Libraries for C (30 kB) and for JAVA (100 kB)	Depends on the application (JSON, XML). Not small
Data Distribution	Supports 1 to 0, 1 to 1, and 1 to n	1 to 1 only

MQTT je vynikající... ale potřebuje TCP :-(

CoAP (Constrained Application Protocol) 1/2

- Protokol založený na modelu REST
  - Manipuluje se zdroji pomocí stejných metod jako HTTP: GET, PUT, POST a DELETE.
- Využívá UDP transportní protokol
  - Režie protokolu TCP je příliš vysoká a jeho řízení toku není vhodné pro krátkodobé transakce.
  - UDP má nižší režii a podporuje vícesměrové vysílání, ale datagramy
    - se mohou ztratit
    - mohou být duplikovány
    - mohou dorazit v nesprávném pořadí
- Čtyři typy zpráv:
  - S potvrzením (confirmable)– vyžaduje ACK
  - Bez potvrzení (non-confirmable) – není třeba ACK
  - Potvrzení (acknowledgement) – potvrzuje zprávu
  - Reset – indikuje, že byla přijata zpráva, ale chybí kontext pro zpracování
  - Prázdná – pouze hlavička o velikosti 4B
- CoAP umožňuje asynchronní komunikaci
  - např. když CoAP server obdrží požadavek, který nemůže okamžitě vyřídit, nejprve potvrdí přijetí zprávy a off-line odešle zpět odpověď.

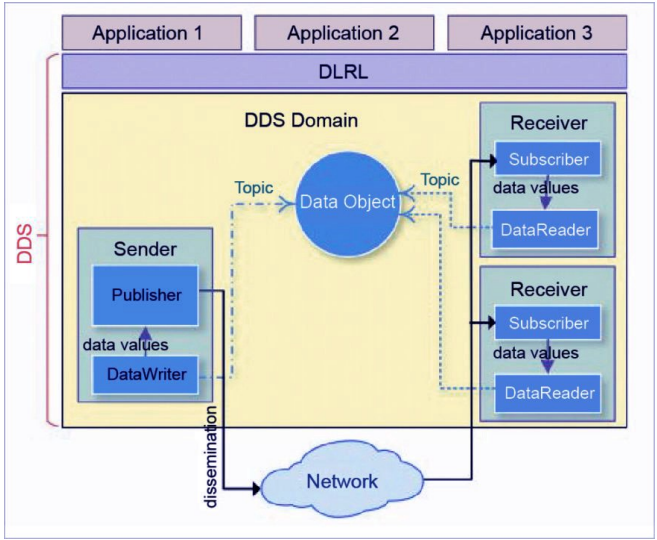
CoAP (Constrained Application Protocol) 2/2



DDS (Data Distribution Service) 1/2

- Data Distribution Service (DDS) pracuje na principu publish-subscribe pro M2M v reálném čase.
- Na rozdíl od jiných publish-subscribe aplikačních protokolů, jako je MQTT, DDS spoléhá na architekturu bez zprostředkovatele a využívá multicasting, který přináší vynikající kvalitu služeb (QoS) a vysokou spolehlivost svých aplikací.
- Architektura publish-subscribe bez zprostředkovatele dobře vyhovuje omezením reálného času pro komunikaci IoT a M2M.
- DDS podporuje 23 politik QoS, pomocí kterých může vývojář řešit různá kritéria komunikace, jako je bezpečnost, naléhavost, priorita, trvanlivost, spolehlivost.

DDS (Data Distribution Service) 2/2



AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)

- Na rodíl od MQTT vytváří fronty zpráv, kde zpráva čeká, dokud ji odběratel nepřečte