

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ethernet Powerlink

Učebný text

2023

Igor Béla

Obsah

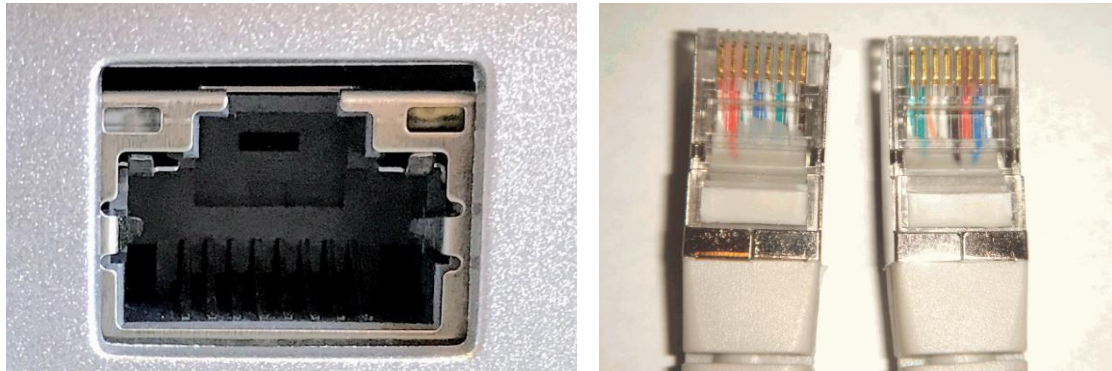
1	Priemyselný Ethernet.....	3
1.1	Vznik a princípy	3
1.2	Podiel jednotlivých priemyselných komunikačných sietí na trhu	7
2	Ethernet Powerlink	9
2.1	Vznik a zastúpenie na trhu	9
2.2	Všeobecné vlastnosti.....	10
2.3	Fyzická a linková vrstva protokolu Ethernet Powerlink podľa referenčného modelu ISO/OSI..	12
2.4	Formát rámca Ethernet Powerlink	16
2.5	Vyššie vrstvy protokolu Ethernet Powerlink podľa referenčného modelu ISO/OSI.....	18
2.6	Ethernet Powerlink a OPC UA	20
3	Porovnanie niektorých vlastností vybraných protokolov priemyselného Ethernetu	21
4	Ethernet Powerlink v praxi	25
5	Záver	27
6	Zdroje.....	28

1 Priemyselný Ethernet

1.1 Vznik a princípy

Pokiaľ chceme hovoriť o komunikačnom protokole Ethernet Powerlink, je vhodné najprv v krátkosti predstaviť klasický Ethernet, z ktorého následne vychádza priemyselný Ethernet, pričom tento musí spĺňať podmienky, ktoré sú vyžadované v priemyselnej komunikácii.

Klasický Ethernet je už dlhodobo využívaným komunikačným štandardom v lokálnych sieťach (LAN – local area networks), ale aj v rozľahlých sieťach (WAN – wide area networks). Každý je oboznámený s klasickým 8P8C (angl. eight position / eight conductor – teda 8 pozíc / 8 vodičov) konektorom, známejším ako RJ45, pomocou ktorého sa fyzicky pripájame na internet, a ktorý je využívaný štandardom Ethernet (Obr.1). Za vznikom Ethernetu stála firma Xerox a samotný Ethernet bol komerčne



Obr.1 Ethernetový port [2] a konektor

predstavený v roku 1980 a v roku 1983 bol štandardizovaný ako štandard IEEE 802.3 [4]. Pôvodná rýchlosť Ethernetu bola približne 3 Mbit/s, pričom v súčasnosti je možné dosiahnuť rýchlosť 400 Gbit/s a vyvíja sa technológia pre prenos údajov cez Ethernet rýchlosťou až 1.6 Tbit/s [2]. Pôvodný Ethernet využíval ako komunikačné médium koaxiálny kábel. V súčasnosti sa využíva buď krútená dvojlinka alebo optické vlákna.

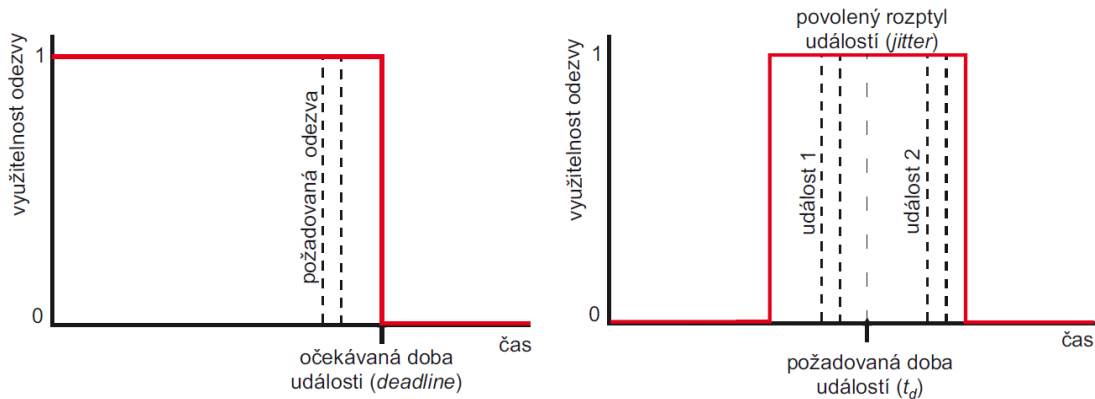
Spojová vrstva klasického Ethernetu využíva náhodnú decentralizovanú metódu založenú na časovom princípe CSMA/DC (angl. Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection). Každý účastník pripojený na sieť má rovnaké právo využiť komunikačné médium (pokiaľ v tej chvíli nevysiela iný účastník). Z toho vyplýva, že pokiaľ chce vysielať stanica zistiť, či nenastala kolízia, musí byť maximálna doba prenosu signálu od vysielačkej stanice menšia ako je doba potrebná k vyslaniu rámca s najmenšou povolenou dĺžkou [5]. Tu nastáva problém s uvedením klasického Ethernetu do priemyslu, pretože jednou z podmienok na priemyselnú komunikáciu je determinizmus (možnosť na základe konkrétneho vstupu určiť výstup, resp. výstup je závislý od vstupu) a s tým spojená práca v reálnom čase. Keďže metóda CSMA/CD nie je deterministická, nie je tým pádom možné efektívne využiť klasický Ethernet v priemysle.

Ďalším faktorom, ktorý vplýva na využitie klasického Ethernetu v priemysle je využitie protokolov TCP/IP, ktoré tiež nie sú vhodné na prácu v reálnom čase.

Aby systém mohol pracovať v reálnom čase, musí spĺňať dve požiadavky [6]:

- súčasnosť (synchronizmus) – ide o schopnosť korelované spracovávať dáta z viac než jedného vstupu v rovnakom časovom rozpätí,
- včasnosť – ide o požadovanú dobu odozvy riadiaceho systému vzhľadom k časovým požiadavkám a parametrom riadeného systému.

Princíp týchto požiadaviek je zobrazený na Obr.2, z ktorého vyplýva, že včasnosť je definovaná intervalom, na ktorom musí byť zaistená reakcia na udalosť (ľavý priebeh). Súčasnosť (priebeh vpravo) je vyjadrená ako tolerančné časové pásmo v okolí okamihu realizácie požadovanej odozvy, v ktorom sa majú uskutočniť obe vzájomne súvisiace udalosti. Tieto podmienky taktiež klasický Ethernet



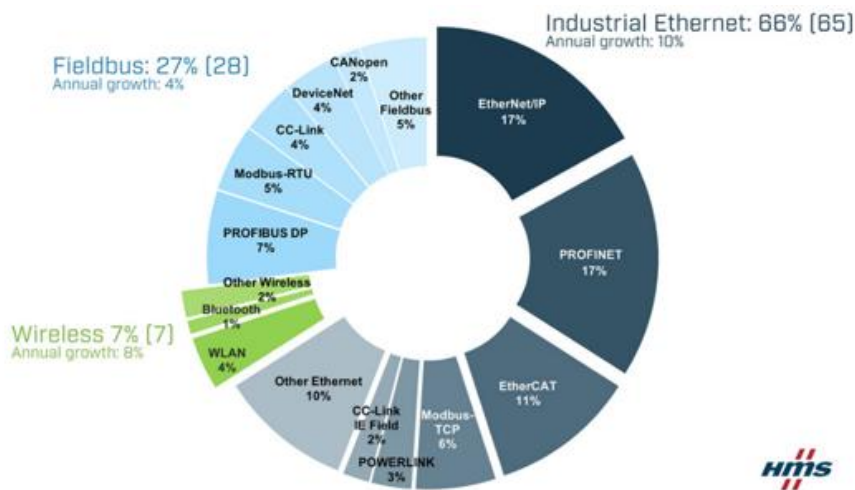
Obr.2 Princíp včasnosti a súčasnosti pre systémy reálneho času [6]

s protokolmi TCP/IP, ktorý využíva metódu CSMA/CD nespĺňa, avšak priemyselný Ethernet je upravený tak, aby bolo možné determinizmus dosiahnuť. Vo všeobecnosti môže ísť o tieto metódy [6]:

- Tvorba bezkolíznych domén prepínaním pri použití switchov.
- Vysokorýchlostný prenos dát (≥ 100 Mb/s).
- Plne duplexný prenos dát.
- Použitie protokolu UDP namiesto TCP
 - Protokol TCP na začiatku komunikácie vytvorí virtuálne spojenie medzi vysielacou a prijímacou stanicou a po ukončení relácie (angl. session) toto spojenie ukončí a teda zaisťuje potvrdzovanie a preposiwanie predávaných správ. Ak správa doručená nebola, pošle sa automaticky znovu. Pri poruche tým pádom dochádza k tomu, že dáta sú prenášané tak dlho, pokiaľ nie je správa správne prijatá.
 - UDP nevytvára ani neukončuje spojenie a nevie ani potvrdzovať správy. Tým pádom pri chybe pri prenose sú dáta prenášané znova v ďalšom cykle. Z hľadiska priemyslu je protokol UDP vhodnejší, lebo je jednoduchší a rýchlejší.
- Použitie komunikácie typu *producent-consumer* alebo *publisher-subscriber*.
- Prioritné sloty v protokole Ethernetu v druhej vrstve komunikačného modelu podľa štandardu IEEE 802.1p.
- Rozdelenie siete na časovo kritické a na časovo nekritické časti.
- Synchronizácia komunikujúcich zariadení prostredníctvom distribuovaných hodín reálneho času.

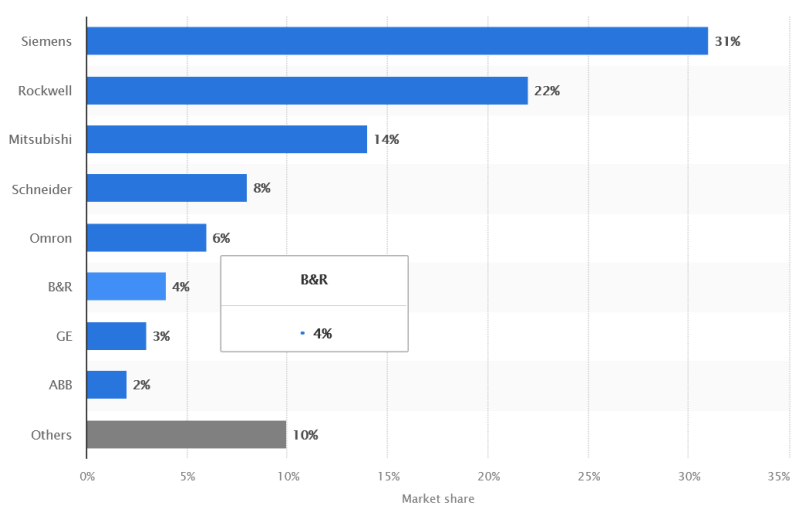
1.2 Podiel jednotlivých priemyselných komunikačných sietí na trhu

V súčasnosti sú komunikačné protokoly na báze priemyselného Ethernetu najviac rozšírenou voľbou v priemysle, kde nahrádzajú priemyselné zbernice (ako je napríklad Profibus DP), ktoré sa však stále používajú. Využívajú sa aj bezdrôtové komunikačné protokoly (napríklad Bluetooth), ale tieto nemajú na trhu ani 10% podiel. Protokoly na báze priemyselného Ethernetu predstavujú 66% všetkých priemyselných sietí na trhu (k roku 2022, vid' Obr.3). Z toho najpoužívanejšími protokolmi sú EtherNet/IP a Profinet, ktoré majú na trhu podiel zhodne po 17%. Nasleduje sieť EtherCAT, ktorá



Obr.3 Podiely priemyselných komunikačných sietí na trhu podľa HMS Networks pre rok 2022 [9]

predstavuje 11% na trhu. Sieť Ethernet Powerlink, ktorej sa tento učebný text venuje, má v súčasnosti (k roku 2022) na trhu podiel 3%.



Obr.4 Podiel PLC od jednotlivých výrobcov na trhu pre rok 2017 [10]

2 Ethernet Powerlink

2.1 Vznik a zastúpenie na trhu

Ako už bolo spomínané, Ethernet Powerlink je komunikačný štandard vytvorený na báze priemyselného Ethernetu. Prvá verzia štandardu Ethernet Powerlink (ďalej len Powerlink alebo EPL) bola predstavená v roku 2001 firmou Bernecker & Rainer. Následne bola založená organizácia EPSG (Ethernet Powerlink Standardization Group), ktorej účelom bolo zabezpečiť, aby bol Powerlink na trhu lepšie prijatý. Nevyzerá to tak, že sa tento cieľ podarilo dosiahnuť (aspoň nie dlhodobo), keďže v súčasnosti nemá EPL na trhu veľké zastúpenie (už spomínané iba 3%), ako je možné vidieť na *Obr.3*. To by zodpovedalo aj percentuálnemu zastúpeniu PLC od firmy B&R na trhu pre rok 2017 (je nepravdepodobné, že by sa situácia odvtedy výrazne zmenila), kde tieto PLC majú len 4% zastúpenie na trhu (*Obr.4*). Z toho vyplýva, že Powerlink využíva výhradne firma B&R, pričom svoje uplatnenie nachádza napr. v automobilovom priemysle, priemysle spracovania plastov, baliacom priemysle, alebo robotike [3]. Pokiaľ hovoríme o úspešnosti EPL na trhu, tak v [7] je uvedené, že EPL je jeden z najrozšírenejších štandardov priemyselného Ethernetu. Uvádzaný zdroj je z roku 2007, teda je možné, že v dobe publikácie daného článku bol EPL ďaleko rozšírenejší ako je teraz. Túto myšlienku podporuje fakt, že v [1] je uvedené, že EPL bol v dobe jeho vzniku jediným komunikačným protokolom overeným na trhu, založenom na báze Ethernetu, ktorý RT komunikáciu podporoval.

V roku 2003 bola predstavená druhá verzia EPL pod názvom Ethernet Powerlink V2. Tá sa od prvej verzie odlišuje najmä tým, že zahŕňa aj aplikačnú vrstvu. Ide o aplikačné rozhranie, ktoré je založené na komunikačnom protokole CANopen [8].

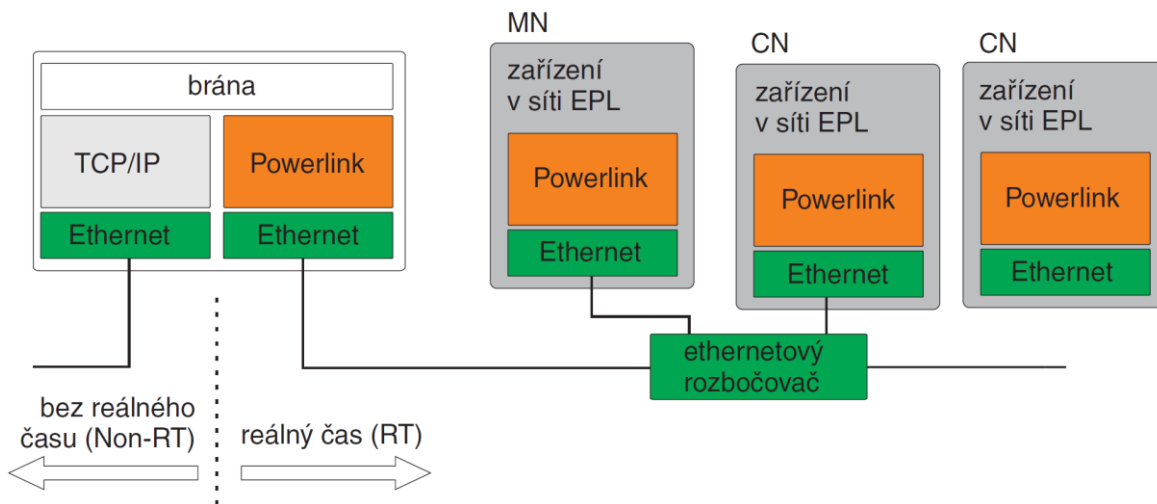
2.2 Všeobecné vlastnosti

Ethernet Powerlink vychádza zo štandardu Ethernet, tzn. nevyužíva žiadny špeciálny hardware, tým pádom je preň možné využiť všetky zariadenia a systémy určené pre Ethernet. Výhodou a základnou vlastnosťou EPL je schopnosť komunikácie v reálnom čase (RT, z angl. real-time), čo je jedna zo zásadných požiadaviek pri riadení procesov. Ako už bolo spomínané, v dobe, v ktorej EPL vznikol, bol jediným na trhu overeným protokolom založeným na Ethernete, ktorý RT komunikáciu podporoval [1]. Pomocou EPL je možné prepojiť Ethernet až na najnižšiu úroveň, tzn. k snímačom a akčným členom. Jednou z výhod EPL je veľmi krátka dĺžka komunikačného cyklu, a to až do 100 μ s, resp. 200 μ s (v [8] sa uvádza 200 μ s, ale [1] a [11] uvádzajú hodnotu 100 μ s). Ethernet Powerlink využíva komunikačný model producent/konzument [8].

Prenosový cyklus EPL je rozdelený na dve časti, konkrétne na časť izochrónnu, kde dochádza k prenosu časovo kritických dát v reálnom čase, a časť asynchrónnu, ktorá zahŕňa prenos časovo nekritických dát pomocou protokolu IP. Štandard EPL zavádza mechanizmy synchronizácie prostredníctvom distribuovaných hodín reálneho času (podľa štandardu IEEE 1588) a to za účelom deterministickej synchronizácie izochrónnych prenosov. Powerlink umožňuje vytvoriť sieť s ľubovoľnou topológiou (ako sú kruh, strom, hviezda, atď.), pretože je vytvorený arbiter prenosu a jednotlivým uzlom (resp. staniciam) v sieti sú priradené špecifické časové okná.

Na dosiahnutie determinizmu používa Powerlink modifikovaný spôsob tvorby bezkolíznych domén s použitím rozbočovačov (angl. hub) s opakovaním správ, čo sa môže zdať, že si odporuje s tým, že na dosiahnutie determinizmu pre sieť Ethernet je lepšie využiť namiesto rozbočovačov prepínače (switch).

Dôvod k použitiu rozbočovačov je, že prepínače by do izochrónnej časti cyklu zanášali nežiaduce oneskorenie. Na dosiahnutie determinizmu EPL dôsledne oddeľuje časti siete, ktoré pracujú v reálnom čase, od častí, ktoré prácu v reálnom čase nepodporujú. Tento princíp je zobrazený na Obr.5, kde je vidieť, že v sieti EPL sa nachádzajú dva druhy zariadení – MN (z angl. Managing Node) a CN (angl. Controlled Node). Zariadenie typu MN plní rolu tzv. (už spomínaného) arbitra prenosu, ktorý synchronizuje všetkých ďalších účastníkov komunikácie v reálnom čase a priraďuje im jednotlivé časové okná v prenosovom cykle – teda ide o metódu riadenia prenosu typu master-slave [8].



Obr.5 Základná architektúra siete Ethernet Powerlink [8]

2.3 Fyzická a linková vrstva protokolu Ethernet Powerlink podľa referenčného modelu ISO/OSI

Na základe referenčného modelu ISO/OSI je Ethernet Powerlink charakterizovaný podľa Obr.6.

Prvá a druhá vrstva komunikačného modelu EPL sú zhodné so zodpovedajúcimi vrstvami klasického priemyselného Ethernetu a majú nasledovné vlastnosti [8]:

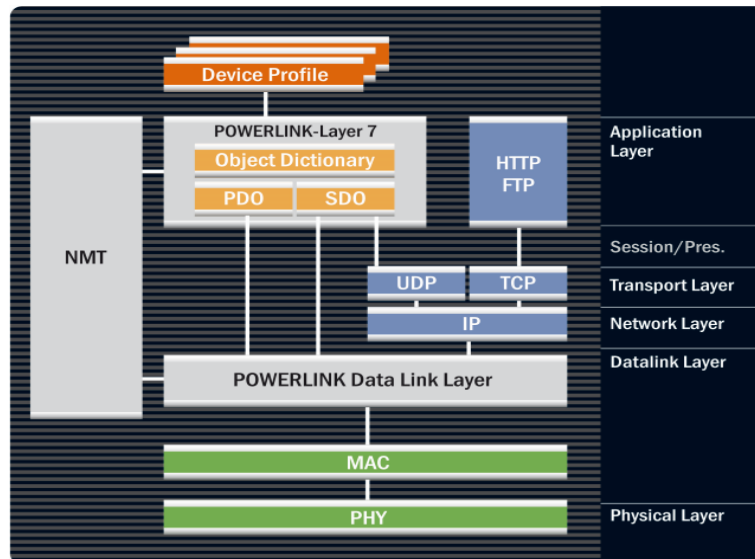
- maximálne 240 uzlov v jednej doméne reálneho času,
- garantovaná deterministická komunikácia (teda prenos dát),
 - v triede 4 podľa IAONA (znamená najvyšší výkon),
 - Doba cyklu do 100 μ s, resp. 200 μ s (jednotlivé zdroje udávajú rôzne údaje),
 - hodnota časovej neistoty (jitter) $\leq 1 \mu$ s,
- priama peer-to-peer komunikácia medzi všetkými uzlami, tzn. všetky dáta, ktoré boli odoslané ľubovoľným uzlom môže ľubovoľný iný uzol okamžite prečítať,
- možnosť pripojiť a odpojiť zariadenia do/zo siete bez nutnosti vypnúť systém (tzv. hot-plugging),
- jednoduché začlenenie do internetu.

Prvá (fyzická) vrstva EPL bola pôvodne 100BASE-TX Fast Ethernet, no od roku 2006 sa využíva aj 1000BASE-TX Gigabit Ethernet.

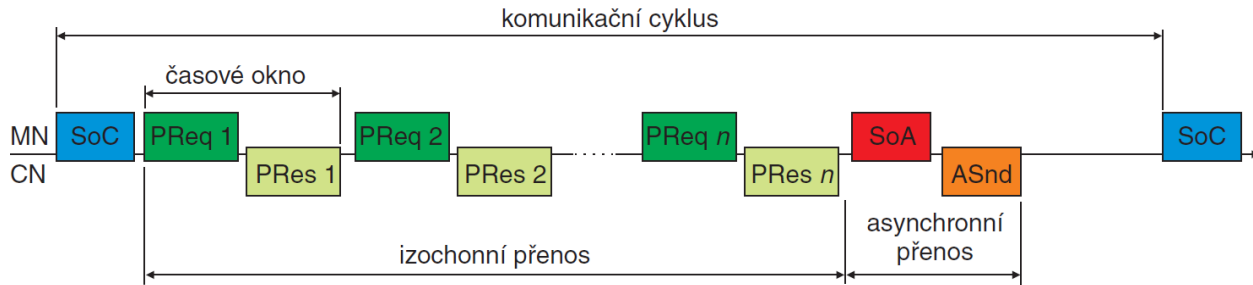
Linková/spojová vrstva v EPL je špecifická tým, že podporuje dva operačné módy – základný mód Ethernet TCP/IP (tzv. mód Ethernet) a mód Powerlink. Mód Ethernet je prednastavený mód každého zariadenia EPL. Umožňuje všetkým zariadeniam spustiť systém zo siete (angl. boot), prijať údaje

o konfigurácii a zmeniť základný mód zariadenia na režim reálneho času, pokiaľ je zariadenie pripojené k RT časti. Zariadenia, ktoré pracujú v móde Ethernet, je možné pripojiť do ľubovoľnej siete Ethernet, pričom nezáleží, či táto sieť pracuje v režime RT. Toto zariadenie sa bude potom správať ako ľubovoľné iné zariadenie nepodporujúce prácu v reálnom čase.

Mód Powerlink umožňuje zariadeniu pracovať v reálnom čase. Na to, aby komunikácia mohla v reálnom čase prebiehať, musí byť zabezpečené, aby boli informácie prijímané, vysielané a spracované v špeciálne vymedzenom čase, resp. v špecificky pridelených časových oknách (angl. time slot). To znamená, že EPL zabezpečuje priradenie zodpovedajúcej doby pre prenos pomocou tzv. časového delenia (angl. time slicing). Toto priradovanie časových okien zabezpečujú zariadenia typu MN (Managing Nodes) pre zariadenia typu CN (Controlled Nodes), ako už bolo spomínané.



Obr.6 Referenčný model ISO/OSI pre Ethernet Powerlink [13]



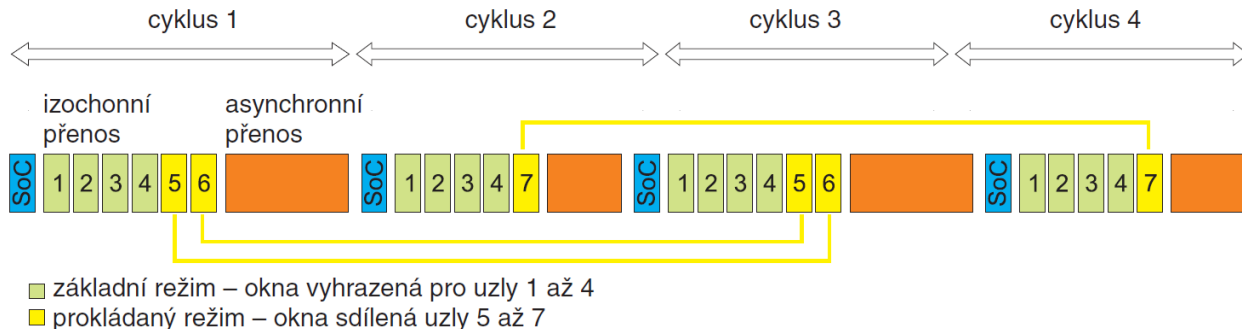
Obr.7 Komunikačný cyklus siete Ethernet Powerlink v móde Powerlink [8]

Samotný komunikačný cyklus siete EPL v móde Powerlink (podľa Obr.7) je rozdelený na dve časti, a to na časť izochrónneho prenosu a časť asynchrónneho prenosu a prebieha nasledovným spôsobom [8]:

- Komunikačný cyklus EPL vždy začína tým, že MN vyšle rámec “Start of Cycle” (SoC), ktorý slúži na synchronizáciu hodín všetkých CN. Tým sa zabezpečí, že CN budú správne prijímať a vysielat’ dáta.
- Nasleduje fáza izochrónneho prenosu, kde dochádza k prenosu časovo kritických dát.
 - Arbiter (teda MN) posielá v tejto fáze žiadosti o prenos dát každému CN a to na základe stanovených určených časových harmonogramov pre jednotlivé CN. Na Obr.7 je táto žiadosť vyjadrená blokmi “PReq” – Poll Request.
 - Zodpovedajúci, resp. vyzvaný, uzol odpovie odoslaním svojich dát, ktoré sa ihneď stanú prístupné všetkým pripojeným zariadeniam (“PRes” – Poll Response).
 - Na konci izochrónnej fázy pošle MN svoje dáta všetkým ostatným zariadeniam na sieti.

- Po izochrónnej fáze nasleduje v každom cykle asynchrónna fáza, kde MN umožní jednotlivým zariadeniam posielat' časovo nekritické údaje, kedy MN spúšťa asynchrónnu fázu vyslaním rámca SoA (Start of Asynchronous). V tejto fáze sa najčastejšie prenášajú údaje ako sú napríklad parametre zariadení alebo diagnostické údaje.

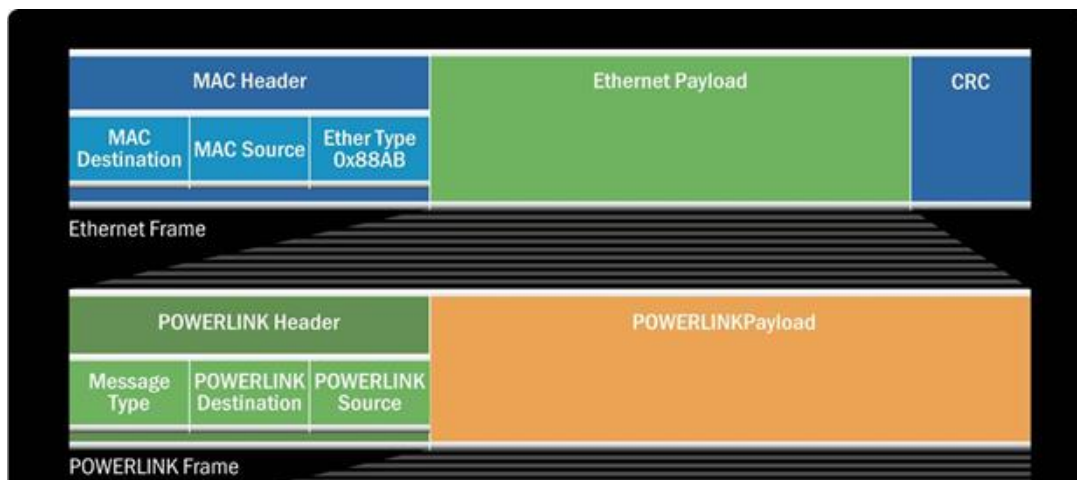
V móde Powerlink je možné využiť tzv. multiplexový režim (angl. multiplexed mode [12]). Princíp tohto režimu spočíva v tom, že pokiaľ existujú dáta, ktoré nie je potrebné prenášať v každom cykle, tak tieto dáta budú prenášané v rámci zdieľaných časových okien, ktoré nie sú vyhradené pre žiaden konkrétny uzol/zariadenie. Tieto zariadenia budú postupne odosielať svoje dáta v rámci zdieľaných časových okien (podľa Obr.8).



Obr.8 Multiplexový režim prenosu dát v Powerlinku [8]

2.4 Formát rámca Ethernet Powerlink

Keďže komunikačný protokol Ethernet Powerlink je založený na báze klasického Ethernetu, tak aj rámec EPL bude takmer zhodný s rámcom Ethernetu, pričom rámec EPL je priamo integrovaný v rámci Ethernetu II [13]. Rámec Ethernetu a Powerlinku je zobrazený na Obr.9, kde je vidieť, že pôvodná dátová časť rámca Ethernetu je rozšírená o záhlavie Powerlink (POWERLINK Header). V tomto záhlaví Powerlink definuje typ správy (Message Type), ID adresu cieľového uzla (POWERLINK Destination) a ID adresu zdrojového uzla (POWERLINK Source).



Obr.9 Formát rámca Ethernet Powerlink [13]

Typy správ, ktoré Powerlink definuje sú v Tab.1. Význam väčšiny týchto správ je spomínaný pri opise komunikačného cyklu Powerlink, pričom správa typu AMNI označuje v sieti aktívny MN a správa typu AInv priraduje uzlu interval pre asynchrónny prenos.

ID	Skratka	Názov
01h	SoC	Start of Cycle
03h	PReq	PollRequest
04h	PRes	PollResponse
05h	SoA	Start of Asynchronous
06h	ASnd	Asynchronous Send
07h	AMNI	Active Managing Node Indication
0Dh	AInv	Asynchronous Invite

Adresovanie uzlov v sieti Powerlink je veľmi podobné adresovaniu uzlov v sieti Ethernet, kde každé zariadenie v sieti musí mať priradenú unikátnu adresu. Na adresovanie sa využíva MAC adresa zariadenia, IP adresa a ID uzla (definovaného v záhlavi rámca Powerlink). Ide o 8-bitové identifikačné číslo, ktoré musí byť unikátne vrámci segmentu siete Powerlink. Hodnoty ID sú priradené podľa účelu daného uzla a to na základe Tab.2.

ID	Účel
0	Neplatná adresa
1 – 239	Powerlink CN
240	Powerlink MN (aktívny MN)
241 – 250	Redundantné MN
251	Samoadresovanie (angl. Self-addressing)
252	Fiktívny uzol (angl. Dummy node)
253	Diagnostické zariadenie
254	Smerovač Powerlinku na klasický Ethernet
255	Vysielanie

2.5 Vyššie vrstvy protokolu Ethernet Powerlink podľa referenčného modelu ISO/OSI

Sieťová a transportná vrstva referenčného modelu ISO/OSI pre EPL (v režime Powerlink) je využívaná iba kanálom pre prenos časovo nekritických dát, pričom sa využívajú protokoly TCP/UDP/IP (Obr.6).

Aplikačná vrstva komunikačnej siete EPL je impementovaná pomocou komunikačného protokolu CANopen, ktorý je jedným z niekoľkých typov aplikačných vrstiev používaných nad priemyselnou sieťou a protokolom CAN. Pokiaľ chceme, aby bola v sieti možná komunikácia rôznych typov zariadení od rôznych výrobcov, tak je potrebné, aby komunikačný systém podľa [17] zahŕňal:

- Systém riadenia siete (Network Management)
 - Ide o mechanizmus na kontrolu a monitorovanie konzistencie siete počas spúšťania a chodu systému.
- Objektovú knižnicu a model zariadenia (Object Dictionary, Device Model)
 - Ide o známu metódu na špecifikovanie a pristupovanie k údajom, parametrom a funkciám zariadenia alebo typu zariadení v sieti.
- Signalizáciu chýb
- Dátové objekty procesu (Process Data Object - PDO)
 - Všeobecný mechanizmus, ktorý umožňuje používateľovi špecifikovať údaje, ktoré boli vymieňané medzi rôznymi zariadeniami.
 - Prostredníctvom objektov typu PDO sa v izochrónnej fáze komunikačného cyklu EPL uskutočňuje výmena časovo kritických údajov.

- Dátové objekty služby (Service Data Object - SDO)
 - Mechanizmus na prenos väčšieho množstva údajov, ako sú napríklad konfiguračné údaje – tzn. prostredníctvom objektov SDO sa prenášajú časovo nekritické údaje.
- Profily zariadení (Device Profiles)
 - Štandardizované definície dát, parametrov a funkcií pre jednotlivé typy zarariadení, ako sú napríklad pohony, I/O moduly, snímače, PLC, atď.

Tieto softvérové komponenty aplikačnej vrstvy CANopen sú v štandarde Ethernet Powerlink využité ako otvorené softvérové rozhranie pre automatizačné úlohy. Každé zariadenie v sieti Ethernet Powerlink má špecifikovaný svoj zodpovedajúci model, pričom v objektovej knižnici sa nachádza opis všetkých jeho parametrov, funkcií a údajov.

2.6 Ethernet Powerlink a OPC UA

S nástupom Industry 4.0 a tomu zodpovedajúcich požiadaviek na priemysel (ako sú napr. interoperabilita, virtualizácia, decentralizácia,...) je v súčasnosti žiadúce, až potrebné, aby komunikačné protokoly podporovali možnosť komunikácie pomocou OPC UA. A to z toho dôvodu, že OPC UA, resp. myšlienka OPC UA, spĺňa požiadavku Industry 4.0 na interoperabilitu. Samotné OPC UA je najnovšia generácia technológií od OPC Foundation pre bezpečný, spoľahlivý a nezávislý prenos nespracovaných údajov a predbežne spracovaných informácií od senzorov a polí až po riadiaci systém a do systémov plánovania výroby. Komunikácia je nezávislá na operačnom systéme, na ktorom aplikácia beží.

Keďže ide o moderný štandard, ktorý má zabezpečiť komunikáciu medzi ľubovoľnými zariadeniami, tak aj protokol Ethernet Powerlink podporuje OPC UA. Podľa slov riaditeľa OPC Foundation sa “perfektne dopĺňajú” [20].

3 Porovnanie niektorých vlastností vybraných protokolov priemyselného Ethernetu

Keďže na trhu je v súčasnosti viacero komunikačných protokolov priemyselného Ethernetu, je vhodné porovnať ich vlastnosti a parametre. V [16] je uvedené porovnanie protokolov Profinet RT/IRT, Powerlink, EtherNet/IP, EtherCAT a SERCOS III. Na Obr.10 je uvedené porovnanie týchto protokolov vzhľadom na kompatibilitu s už existujúcimi protokolmi aplikačnej vrstvy. Je teda vidieť, že každý z uvedených protokolov má implementovanú určitú aplikačnú vrstvu (ako bolo spomínané, Powerlink má aplikačnú vrstvu implementovanú cez CANopen).

Criteria	PROFINET RT IRT	POWER- LINK	EtherNet/ IP	EtherCAT	SERCOS III
Downward compatibility	PROFIBUS	CANopen	DeviceNet	CANopen	SERCOS II
	+	+	+	+	+

Obr.10 Porovnanie komunikačných protokolov IE vzhľadom na kompatibilitu s už existujúcimi protokolmi aplikačnej vrstvy

Ďalšie zaujímavé porovnanie je porovnanie protokolov vzhľadom k možným topológiám. Toto porovnanie je zobrazené na Obr.11, kde je možné vidieť, že okrem EtherCATu a SERCOS III môžu byť zariadenia v sieti zapojené na základe ľubovoľnej topológie.

Criteria	PROFINET RT IRT	POWER- LINK	EtherNet/ IP	EtherCAT	SERCOS III
Tree topology	+	+	+	o	o
Star topology	+	+	+	o	o
Ring topology	+	+	+	+	+
Daisy-chain topology	+	+	+	+	+

Obr.11 Možné topológie jednotlivých protokolov

Možnosť hot-pluggingu, teda možnosť ľubovoľne pripojiť/odpojiť zariadenie do/zo siete bez potreby vypnutia celého systému. Túto vlastnosť majú protokoly Profinet RT/IRT, Powerlink a EtherNet/IP. EtherCAT a SERCOS III umožňujú hot plugging len s istými obmedzeniami.

Criteria	PROFINET RT IRT	POWER- LINK	EtherNet/ IP	EtherCAT	SERCOS III
Hot plugging	+	+	+	○	○

Obr.12 Jednotlivé komunikačné protokoly na základe možnosti hot-pluggingu

Schopnosť gigabitového prenosu je tiež jedna z vlastností, na ktorú je možné prihliadať. Z uvádzaných komunikačných protokolov je gigabitového prenosu schopný Profinet RT, Powerlink a EtherNet/IP.

Criteria	PROFINET RT IRT	POWER- LINK	EtherNet/ IP	EtherCAT	SERCOS III
Gigabit readiness	+	-	+	-	○

Obr.13 Porovnanie protokolov IE v závislosti od možnosti gigabitového prenosu

V [19] je uvedené porovnanie vlastností jednotlivých protokolov priemyselného Ethernetu pri práci v reálnom čase, pričom pri tomto porovnávaní bolo riadených 100 osí súčasne. Porovnávanými veličinami boli dĺžka komunikačného cyklu, resp. čas odozvy, a veľkosť časovej neistoty (jitter). Hodnoty týchto parametrov sú zaznamenané na Obr.14. Na základe týchto parametrov bol najhorším EtherNet/IP. Ethernet Powerlink dosiahol čas komunikačného cyklu <1 ms, čo je zhodné s dĺžkou komunikačného cyklu pre Profinet IRT. Rovnako majú aj zhodnú veľkosť jitter-u. Avšak Profinet IRT je najdrahší z hľadiska hardvéru, tým pádom je možné povedať, že Powerlink je výhodnejší. Najvhodnejším riešením na základe dĺžky komunikačného cyklu a jitteru je však EtherCAT, ktorý je aj hardvérovo najlacnejší.

ORGANIZATION	RESPONSE TIME (for 100 axes)	JITTER	DATA RATE
Ethernet/IP CIPSync ODVA	1ms	<1ms	100Mbit/s
Ethernet Powerlink EPSG	<1ms	<1ms	100Mbit/s
PROFINET-IRT PNO	<1ms	<1ms	100Mbit/s
SERCOS-III IGS	<0.5ms	<0.1ms	100Mbit/s
EtherCAT ETG	0.1ms	<0.1ms	100Mbit/s

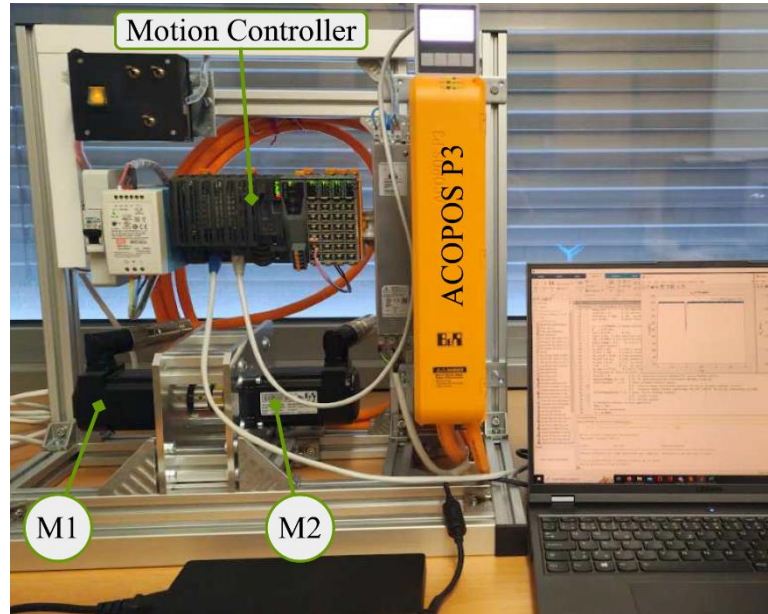
Real-time comparison of the various real-time methods
(Source: IEBmedia)

Obr.14 Porovnanie správania sa protokolov v reálnom čase

4 Ethernet Powerlink v praxi

Na ústave Automobilovej mechatroniky FEI STU v Bratislave sa nachádzajú tri pracoviská s pohonmi od firmy B&R, ktoré na komunikáciu využívajú spomínaný Ethernet Powerlink. Jednotlivé pracoviská pozostávajú z dvoch pohonov so synchronnými motormi s permanentnými magnetmi, frekvenčného meniča ACOPOS P3 a programovateľného logického automatu (PLC). Tieto pracoviská v súčasnosti slúžia na overovanie vlastností regulačných obvodov rýchlosti alebo polohy.

Pri komunikácii s týmto systémom je na sieti EPL možné dosiahnuť najkratšiu dobu komunikačného cyklu 400 μ s. Tým pádom je možné pri riadení pohonov implementovať regulátor s periódou vzorkovania $T_s = 400 \mu$ s. Na porovnanie – obdobné pracovisko s pohonmi od firmy Siemens, ktoré na komunikáciu využíva komunikačný štandard Profinet, má minimálnu dĺžku komunikačného cyklu 1 ms, čo je 2.5-krát viac,



Obr.15 Pracovisko s pohonmi od firmy B&R

ako v prípade pracoviska od firmy B&R. To znamená, že by v praxi malo byť možné navrhnúť kvalitnejšie riadenie pohonov komunikujúcich pomocou EPL.

5 Záver

Komunikačný štandard Ethernet Powerlink je jedným z komunikačných protokolov priemyselného Ethernetu. Je priamo založený na báze štandardného Ethernetu, tým pádom nevyžaduje žiadny špeciálny hardvér. Ethernet Powerlink využíva existujúce štandardy pre sieť Ethernet a je možné pre tento protokol využiť všetky zariadenia vytvorené pre Ethernet. Dosahuje dobré vlastnosti reálneho času, pričom dĺžka komunikačného cyklu dosahuje hodnoty až do 200 μs (niektoré zdroje uvádzajú 100 μs) s časovou neistotou menšou ako 1 μs , pričom na zariadení využívajúcom protokol Ethernet Powerlink, s ktorým som mal skúsenosti, bola minimálna dĺžka komunikačného cyklu 400 μs . V aplikačnej vrstve Ethernet Powerlink využíva štandardný protokol CANopen. Používateľ má tým pádom k dispozícii už vytvorené profily automatizačných komponentov. Tento komunikačný štandard nemá na trhu veľké zastúpenie a využíva ho najmä firma B&R, ktorá stojí aj za jeho vznikom.

6 Zdroje

- [1] LÜDER, B. – LORENZ, K. (ed.): *IAONA Handbook – Industrial Ethernet*. IAONA e. V., Magdeburg , 3rd edition, July 2005, ISBN 3-00-016934-2, angl. verzia.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- [3] MAŠLÁNI, M.: *ETHERNET Powerlink – časovo deterministické prepojenie.*, AT&P journal, 2005
- [4] ZEZULKA, F. – HYNČICA, O.: *Průmyslový Ethernet I: Historický úvod*. Automa, 1/2007
- [5] ZEZULKA, F. – HYNČICA, O.: *Průmyslový Ethernet II: Referenční model ISO/OSI*. Automa, 3/2007
- [6] ZEZULKA, F. – HYNČICA, O.: *Průmyslový Ethernet IV: Principy průmyslového Ethernetu*, 10/2007
- [7] ZEZULKA, F. – HYNČICA, O.: *Průmyslový Ethernet VII: Přehled současných standardů*. Automa, 2/2008
- [8] ZEZULKA, F. – HYNČICA, O.: *Průmyslový Ethernet VIII: Ethernet Powerlink, Profinet*. Automa, 5/2008
- [9] <https://iebmedia.com/news/tech-updates/2022-industrial-network-market-shares-according-to-hms-networks/>
- [10] <https://www.statista.com/statistics/897201/global-plc-market-share-by-manufacturer/>

- [11] https://www.ethernet-powerlink.org/fileadmin/user_upload/Dokumente/Downloads/POWERLINK_FACTS/PLF_2_08_eng.pdf
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_Powerlink
- [13] <https://openpowerlink.sourceforge.net/web/>
- [14] <https://www.posterus.sk/?p=16967>
- [15] HERZOG-BOTZENHART, D.: *Ethernet POWERLINK (DRAFT)*. June 16th, 2011
- [16] Lachello, L. – Wratil, P. – Meindl, A. – Schönegger, S. – Karunakaran, B.S. – Song, H. – Potier, S.: *INDUSTRIAL ETHERNET FACTS, 3rd edition*. Marec 2016
- [17] Pfeiffer, A.: *CANopen on real-time Ethernet*. 2005
- [18] <https://www.ethernet-powerlink.org/10>
- [19] *5 Real-Time, Ethernet-Based Fieldbuses Compared*. Kingstar, 2015/2016
- [20] <https://opcfoundation.org/news/press-releases/opc-foundation-publishes-opc-ua-specification-powerlink/>