



Dobromil Nenutil¹

Připravované standardy pro komunikační síť a telematické a multimediální aplikace ve vlaku

Klíčová slova: *Train Communication Network, TCN, vlaková komunikace, IEC 61375, IEC 62580, multimediální aplikace, telematické aplikace, železnice*

Úvod

Aby železnice obstála v konkurenci ostatních druhů dopravy, musí nabídnout nové služby všem subjektům železničního systému – dopravcům, správcům infrastruktury a především cestujícím. Tyto služby zpravidla vyžadují výměnu informací mezi subsystémy vlaku a mezi vlakem a pozemními systémy s takovými požadavky na přenosovou kapacitu komunikačního kanálu, kterou jim stávající palubní komunikační infrastruktura není schopna zajistit. Je tedy třeba vybudovat palubní komunikační síť na základě nové technologie. Vzhledem k tomu, že nasazení každé nové technologie v tak rozsáhlém a složitém systému, jakým je železnice, je dlouhodobou a nákladnou záležitostí, je nutné, aby to byla technologie ověřená, a protože se v železničním prostředí počítá s dlouhou životností zařízení a systémů, aby to byla také technologie dlouhodobě perspektivní. Tato kritéria splňují Ethernet a na něj navazující IP technologie. Standardizace palubní komunikační sítě založené na těchto technologiích právě probíhá a to formou rozšíření stávajícího standardu IEC 61375 - Train Communication Network (TCN).

Systémy, které realizují nyní již běžně požadované služby zaměřené na cestující, posádku či údržbu, sestávají z palubní a obvykle i pozemní části. Je žádoucí, aby komunikace mezi nimi byla standardizována. Proto rozšířený standard bude obsahovat část specifikující rozhraní mezi palubní sítí a pozemní komunikační infrastrukturou s cílem umožnit realizaci transparentní komunikační sítě, jejímiž koncovými zařízeními mohou být zařízení palubních i pozemních systémů.

Jak budovat aplikace, které zajišťují zmíněné nové služby tak, aby byly kompatibilní v různých vozech či jednotkách, které jsou spřahovány do vlaků a tak, aby pozemní aplikace různých dopravců a manažerů infrastruktury mohly definovaným způsobem spolupracovat s aplikacemi v kterémkoliv z vlaků? Odpověď na tyto otázky by měl přinést nový standard IEC 62580. Zde se dostáváme do oblasti informačních technologií, ve které aplikace nejsou orientovány na fyzická zařízení, ale na manipulaci

¹ Dobromil Nenutil Ing., 1950, ČVUT, - Fakulta elektrotechnická v Praze, obor technická kybernetika, UniControls a.s., vedoucí technického rozvoje

s informacemi. To například znamená, že je třeba využít standardy, architektonická řešení a metodologie, které se ve sféře ICT osvědčily.

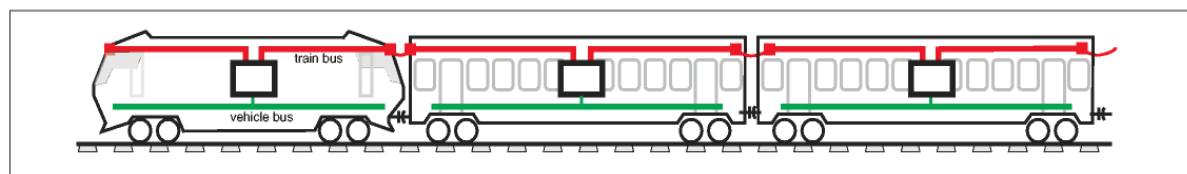
Článek se zabývá zejména standardem pro vlakovou komunikaci. Na popis stávající verze osvětlující základní principy TCN navazuje popis základních vlastností komunikační infrastruktury založené na Ethernetu a IP technologiích odrážející aktuální stav návrhu nové rozšířené verze. Stav prací na standardu IEC 62580 neumožňuje zatím podat o mnoho více než informaci o principech, na nichž budou telematické a multimediální aplikace budovány.

Hovoříme-li nyní o Ethernetu na palubě železničních vozidel, máme na mysli plně duplexní přepínaný Ethernet s přenosovou rychlostí 100 MBit/s dle norem ISO/IEC8802-2/3 a ISO/IEC15802-1. IP technologiemi rozumíme postupy využívající protokoly sady TCP/IP k zajištění přenosu dat různých kategorií (např. technologická data, audio, video). Tato data jsou přenášena jako sekvence paketů. TCP/IP protokoly jsou nezávislé na přenosovém médiu, mohou být použity nad linkovou a fyzickou vrstvou různých protokolů. Tato skutečnost je podstatná pro integraci palubní a pozemní sítě, neboť IP mohou pracovat nad drátovými (Ethernet) i bezdrátovými (GSM, WLAN) datovými spoji.

IP sítě ve vlacích jsou mobilními sítěmi a vzhledem k tomu, že se sestava vlaku může měnit připojením nebo odpojením vozů během provozu, jsou také, co se jejich topologie týče, dynamické. Tyto charakteristiky se promítají do potřeby specifického přístupu k nasazení IP technologií na palubě vlaků. Specifické jsou zejména: stanovení topologie sítě, koncepce adresování, a koncepce zálohování.

Stávající standard vlakové komunikace

Síť TCN má dvouúrovňovou hierarchickou strukturu (Obr. 1). Nižší je tvořena vozidlovou sběrnici (Vehicle Bus) propojující zařízení uvnitř vozu, vyšší úroveň představuje vlaková sběrnice (Train Bus) spojující jednotlivé vozy soupravy. Do sítě TCN náleží dále komunikační uzly propojující obě sběrnice. Tato zařízení umožňují přímou komunikaci mezi zařízeními připojenými k vozovým sběrnici různých vozů. Standard specifikuje komunikační protokoly pro jednotlivé sběrnice, jež jsou nazvány Multifunction Vehicle Bus (MVB) a Wire Train Bus (WTB).



Obr. 1: Síť TCN s vlakovou a vozidlovou sběrnici

Z hlediska dostupnosti musí TCN síť splňovat požadavek, že závada jedné její komponenty nezpůsobí nefunkčnost celé sítě. Proto jsou obě sběrnice sítě řešeny jako zálohované, tj. se zdvojeným přenosovým médiem. Dále, protože jsou sběrnice typu master-slave, tj. s centrálním řízením, kde kritickým prvkem jsou master uzel (WTB) a bus administrátor (MVB), je možno na sběrnici WTB určit další uzly sítě jako potenciální master uzly (v případě poruchy master uzlu se síť automaticky rekonfiguruje a pokračuje v činnosti s novým masterem) a na sběrnici MVB další zařízení s funkcí bus administrátoru (zařízení s touto schopností si periodicky předávají řízení sběrnice). Pro splnění požadavku dostupnosti jsou i komunikační uzly obvykle řešeny jako zálohované.

TCN kombinuje přenos dat dvou tříd s odlišnými časovými nároky. Jsou to:

- procesní data (časově kritická data), například data pro řízení pohonů a brzd; jejich délka je omezena, doba jejich doručení je garantována, data jsou přenášena periodicky a nejsou potvrzována; ztratí-li se, jsou přenesena v další periodě; v cílovém uzlu poskytuje TCN aplikacím informaci o stáří dat, tj. jak dlouho nebyla aktualizována, a aplikace si stanoví, kdy už data nemůže pro daný účel (např. pro řízení) použít a bude je tedy považovat za neplatná,
- zprávy, například diagnostické zprávy, informace pro cestující; jejich délka není omezena, doba doručení není garantována a přenos je potvrzován; není-li potvrzení doručeno, je vysílání zprávy opakováno.

„Kombinuje“ značí, že v každé přenosové periodě jsou přenášena jak procesní data, tak i data zpráv, přičemž její větší část je rezervována pro přenos procesních dat.

Komunikační model použitý pro procesní data je označován jako „publisher-subscriber“. Jediná aplikace data zapisuje (publikuje) a libovolný počet aplikací v různých zařízeních sítě si může registrovat u TCN jejich příjem. Aplikacím se jeví zápis procesních dat a jejich čtení jako přístup do sdílené paměti. Ta má „kopii“ v každém zařízení sítě, přičemž přenos zapsaných dat do ostatních kopií zajistí v pozadí TCN a to s periodou, která je konfiguračním parametrem.

Komunikační model pro zprávy je „request-reply“, tj. „požadavek-odpověď“ a „request“ využívaný především pro zaslání zprávy skupině adresátů – tzv. multicast.

WTB – vlaková sběrnice

Protokol WTB zajišťuje řadu funkcí, které jsou specifické pro vlakové soupravy. Náleží k nim zejména tzv. inaugurace (TCN inaugurace), která je spuštěna po aktivaci řídicího systému soupravy (např. otočením klíče v pultu strojvůdce, rozsvícením světel), při změně kompozice soupravy (připojení nebo odpojení vozů) a při změně WTB master uzlu. Výsledkem inaugurace je jednak zcelená WTB sběrnice - uzel postupně detekuje uzly v obou svých směrech, spojují se sekce sběrnice mezi již nalezenými uzly a u koncových uzlů jsou připojeny terminátory řádně zakončující sběrnici, a jednak

rozeslání tzv. topografie, což je datová struktura popisující kompozici vlaku. Topografii rozešle master uzel do všech uzlů WTB sběrnice. Každý uzel tak ví, kolik je v soupravě uzlů, jaká je jejich pozice a orientace. Tím, že zná svoji orientaci, je uzel schopen správně interpretovat „vpravo“, „vlevo“, „vpředu“, „vzadu“ z pohledu vlaku. Například povel strojvedoucího otevřít levé dveře musí být interpretován na úrovni vozidla v závislosti na jeho orientaci, čili orientaci jeho WTB uzlu, jako otevři levé dveře nebo otevři pravé dveře.

Jedním ze základních požadavků na síť TCN, která je sítí s dynamickou topologií, je zajistit, že data nebudou doručena jinému zařízení, než vysílající aplikace zamýšlela. To by mohlo nastat v případě, že aplikace v koncovém zařízení pracuje s již neaktuální topografií. Proto musí být topografie opatřena verzí, která se mění vždy s každou novou inaugurací. Verze je přenášena v záhlaví každé zprávy, která je adresována zařízení připojenému k jinému WTB uzlu. Lokální uzel ji porovná se svojí verzí a liší-li se, nesmí být zpráva přesměrována na WTB sběrnici.

Při spojování vlaků je nutné zajistit, aby v této kritické fázi nedošlo k automatické inauguraci z důvodu prodloužení vlaku. Proto je možné na žádost aplikace provedení inaugurace zamezit.

Přenosové medium WTB sběrnice je kroucený metalický pár, max. délky 860 m (22 vozů), připojeno může být až 32 uzlů, přenosová rychlost je 1 Mbit/s a délka datového rámce nejvýše 132 Byte. Minimální perioda přenosu procesních dat je 25 ms, pro více než 7 uzlů je tato hodnota 100 ms.

MVB – vozidlová sběrnice

Sběrnice MVB spojuje zařízení uvnitř vozu nebo v neseparovatelné skupině vozů (trainset). Přenosové medium je kroucený metalický pár nebo optický vodič délky 200/2000m (metalický/optický vodič), přenosová rychlost je 1.5 Mbit/s a maximální délka datového rámce 32 Byte.

K segmentu metalického média lze připojit až 32 zařízení, segmenty je možné spojit opakovači. Minimální perioda přenosu procesních dat je 1 ms, v praxi však nejkratší požadovaná perioda bývá 8 ms. Pro přenos zpráv nelze počítat s efektivní přenosovou rychlostí větší než 10 Kbyte/s. Tato hodnota neumožňuje realizovat v MVB koncových zařízeních služby, které vyžadují velkou přenosovou kapacitu.

Aktuální platný standard TCN

Standard TCN IEC 61375 vznikl v letech 1989 – 1999. Dlouhá doba standardizačního procesu byla důsledkem toho, že se nejednalo o standardizaci existujícího řešení, ale o návrh zcela nové vlakové komunikace včetně jejího ověření ve vlaku. Aktuální verze jednotlivých částí standardu jsou uvedeny v Tab. 1. Část 1 se liší od své první verze z roku 1999 nevýznamně.

Tab. 1: Stávající standard IEC 61375

Označení	Název
IEC 61375-1 ed2:2007	Electric railway equipment - Train bus - Part 1: Train communication network
IEC 61375-2 ed1:2007	Electric railway equipment - Train bus - Part 2: Train communication network conformance testing

Pro konformní testy WTB a MVB dle IEC 61375-2 neexistuje homologované testovací pracoviště. Takové pracoviště existuje pro homologaci UIC uzlu (viz dále), Tyto homologační testy ověří sice dobře i WTB komunikaci, ale nejsou to testy zacílené na TCN.

Aplikační pohled na vlak, interoperabilita

Topografie, která je výsledkem inaugurační procedury a která je uložena v každém WTB uzlu, poskytuje systémům příslušného vozu/trainsetu „komunikační“ pohled na vlak. Systémy/aplikace se mohou dozvědět, jaké komunikační uzly vlak obsahuje, který z nich je masterem sběrnice a jaká je orientace jednotlivých uzlů vůči němu. Aplikace však nakonec pracují s vozy, musí znát složení vlaku, vůz, ze kterého je vlak aktuálně řízen (vedoucí vůz vlaku) a jaká je orientace vozů vůči tzv. referenčnímu směru vlaku (vesměs směr, kam se dívá strojvedoucí). Dále aplikace často potřebují vědět, jaké vlastnosti mají vozy vlaku (zda má vůz trakci, elektrodynamickou brzdu, zda je jídelním, spacím vozem a desítky dalších vlastností). Všechny tyto informace jim zprostředkuje další vrstva softwaru, která pracuje nad čistě komunikačními vrstvami specifikovanými standardem TCN. Základní komponenta této vrstvy se nazývá UIC Mapping Server. „Mapping“, protože mapuje aplikační pohled na komunikační pohled, „Server“, protože udržuje databázi výše uvedených informací a poskytuje ji aplikacím běžícím v jednotlivých zařízeních vozu/trainsetu a „UIC“, protože její specifikace je obsahem vyhlášky UIC (UIC 556).

Vyhláška UIC 556 dále definuje jednotlivé aplikace ve vozidle - používá pro ně termín Funkce (Trakce, Brzdy, Dveře, Klimatizace, Diagnostika, ...) a také zprávy a procesní data, které si Funkce vyměňují. Vlak se tak jeví jako množina Funkcí, přičemž aplikace/Funkce zasílající data nemusí vědět, které zařízení nebo která zařízení cílovou Funkci provádí a jak je Funkce realizována. Zasílá-li zprávu, adresuje Funkci (např. 10-Dveře) v cílovém voze nebo ve skupině vozů, má-li být zpráva zaslána do více z nich. Chování Funkcí je specifikováno v dalších vyhláškách UIC. Ty hlavní, které navazují na TCN standard, jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2: Vyhlášky UIC navazující na IEC 61375

Označení	Název	Komentář
UIC 556 ed5: 2009	Information transmission in the train (train bus)	Obsahuje zejména: - specifikaci aplikační inaugurace (UIC inaugurace), - specifikaci služeb, které poskytuje UIC uzel aplikacím (přístup do databáze informací o vlaku, management komunikačního systému vlaku), - specifikaci struktury a obsahu telegramů procesních dat na WTB a telegramů zpráv používaných jednotlivými Funkcemi, - specifikaci adresování na aplikační úrovni (Funkční adresace), - specifikaci komponenty PDM (Process Data Marshalling), která přesouvá procesní data mezi jednotlivými sběrnici zařízení UIC gateway, - specifikaci konformních testů. Edice 5 nově obsahuje přílohu L, která specifikuje bezpečnou komunikaci na WTB a bezpečnou inauguraci.
UIC 647 ed1: 2006	Functional model for remote control of traction units	Specifikuje funkční model pro vzdálené řízení trakčních jednotek (vzdálené znamená přes WTB)
UIC 557 ed2: 1998	Diagnostics on passenger rolling stock	Specifikuje obrazovky na displeji strojvedoucího a posádky související s diagnostikou vozidel. Definuje přechody mezi jednotlivými obrazovkami a sekvence telegramů (ty jsou definovány v UIC 556) vyměřovaných mezi displejem a diagnostickou databází.

Aplikace standardu IEC 61375 a navazujících UIC vyhlášek je předpokladem dosažení interoperability vozidel. Standard TCN zajistí interoperabilitu pouze na komunikační úrovni, tj. aplikace ve vozidlech různých výrobců si mohou vyměňovat procesní data a zprávy, jejich obsahu však nerozumí. Obsah zpráv a telegramů procesních dat, jakož i interakce komunikujících aplikací/Funkcí, jsou definovány až vyhláškami UIC. Teprve jejich implementace umožní dosažení interoperability na aplikační úrovni.

UIC uzel, UIC gateway

WTB komunikační uzel, který obsahuje komponentu UIC Mapping Server (UMS), je označován jako UIC uzel. Základní funkcí UMS je vytvoření a udržování databáze informací o vlaku a jejich poskytování aplikacím. Aktuální databáze, identická ve všech uzlech, je výsledkem tzv. UIC inaugurace, procedury bezprostředně navazující na TCN inauguraci. V případech, kdy se mění základní atributy vlaku, např. orientace nebo

vedoucí vozidlo, a nemění se jeho kompozice, je provedena pouze UIC inaugurace. To je například případ přechodu strojvedoucího na jiné stanoviště. Komunikační pohled na vlak zachycený v jeho topografii se nemění, aplikační pohled ano.

Vzhledem k tomu, že funkcionalita UIC uzlu je podstatná pro dosažení interoperability vozidel vyžadují integrátoři systémů jeho homologaci. Většinou je však UIC uzel doplněn rozhraním na vozidlovou sběrnici a je tedy homologováno zařízení označované jako UIC gateway. Homologační testy se však týkají pouze inauguračního algoritmu.

UIC gateway rozšiřuje funkce UIC uzlu o přenos dat mezi vozidlovou a vlakovou sběrnici. V případě zpráv pracuje gateway jako „router“, to znamená, že pakety zpráv jsou směrovány k cíli komunikační sítíovou vrstvou řídící se údaji ve směrovací tabulce. V případě procesních dat je situace daleko složitější, neboť protokol TCN specifikuje přenos procesních dat pouze v rámci téže sběrnice. To znamená, že přesun mezi sběrnici musí zajistit specializovaná aplikace, například dle seznamů exportovaných a importovaných proměnných vytvořených konfiguračním nástrojem. Ke složitosti přispívá i skutečnost, že uzel exportuje na WTB různá data a to v závislosti na svém operačním módu (vedoucí vozidlo – vydává povely, nevedoucí s trakcí, nevedoucí bez trakce). Z pohledu procesních dat je tedy UIC gateway zařízením typu „aplikační gateway“.

Připravovaný rozšířený standard vlakové komunikace

V roce 2004 zahájila v rámci IEC Technické komise 9 (TC9) činnost skupina TAHG – TCN Ad-Hoc Group s cílem vypracovat návrh dalšího rozvoje TCN. Svoji práci ukončila koncem roku 2005 vydáním zprávy, ve které navrhla rozšíření stávajícího standardu o vlakovou komunikaci na Ethernet sběrnici a o další vozidlové sběrnice. Za kandidáty byly označeny protokoly CAN, LON, FIP, Profinet a dva japonské firemní protokoly založené na Ethernetu. Dále TC9 navrhla začlenit vyhlášky UIC zajišťující interoperabilitu aplikací do TCN. Závěry TAHG byly přijaty a pro jejich realizaci byla ustavena pracovní skupina WG43 (Working Group 43), která zahájila činnost v březnu 2006. Její práce na nové verzi standardu by měly být dle původního plánu ukončeny v roce 2012. Nyní je však již zřejmé, že tento plán dodržen nebude.

Další akcí TC9 související s rozvojem TCN bylo ustavení skupiny MMAHG – Multimedia Ad-Hoc Group a to sloučením TAHG a MMTF (Multimedia Task Force). Jejím úkolem bylo definovat obsah budoucího standardu týkajícího se interoperability multimediálních služeb ve vlaku (*multimediálními službami se zde rozumí všechny služby, které se přímo nepodílejí na řízení vlaku*). Ve vztahu k TCN měla tato skupina definovat požadavky multimediálních služeb na TCN. Rozhodnutím TC9 z listopadu 2007 byla MMAHG včleněna do WG43. Standard specifikující multimediální služby (služby pro cestující, posádku, strojvedoucího a údržbu a služby kamerového systému), který měl být vypracován WG43 dostal označení IEC 62580. Dalším rozhodnutím TC9 o rok později jí byl však tento úkol odňat a byl přidělen pracovní skupině WG46 Onboard multimedia systems for railways, která byla z WG43 vydělena.

Tab. 3 uvádí seznam standardů nové sady IEC 61375 Railway equipment - Train communication network (TCN) a jejich aktuální stav. Dokument ve stavu FDIS (Final Draft International Standard) lze považovat za dokument, který se již nebude měnit, čili je možno jej implementovat. Stav CD1 a CD2 (Committee Draft) jsou prvním resp. druhým návrhem. Stupněm mezi CD a FDIS je CDV (Committee Draft for Voting).

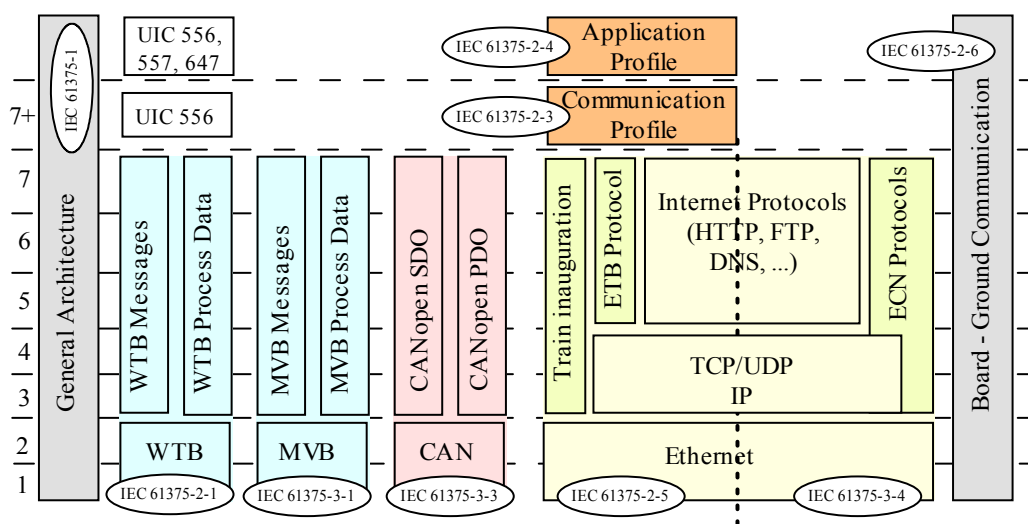
Tab. 3: Připravovaný rozšířený standard IEC 61375

Označení	Název části	Komentář
IEC 61375-1	Part 1: General Architecture	Stav: FDIS
IEC 61375-2-1	Part 2-1: Wire Train Bus (WTB)	Stav: FDIS Z UIC 556 přenesena specifikace PDM (Process Data Marshaling), Nově specifikován způsob alokace poruchy WTB linky (WTB Line Fault Location Detection)
IEC 61375-2-2	Part 2-2: WTB Conformance Testing	Stav: FDIS přenos příslušné části ze stávajícího IEC 61375-2
IEC 61375-2-3	Part 2-3: Communication Profile	Stav: připravován CD Bude specifikovat zejména: <ul style="list-style-type: none"> - aplikační protokol pro přenos procesních dat a zpráv na ETB - protokol TRDP (Train Real-Time Data Protocol), - komunikační model (publisher-subscriber, ...), - bezpečný přenos dat – jeho aplikace je volitelná, - inauguraci vlaku (odpovídá UIC inauguraci), - vlastnosti vozidel a vlaku, - databáze informací o vlaku, - schéma funkční adresace. Zčásti specifikuje to, co UIC 556 specifikuje pro WTB.
IEC 61375-2-4	Part 2-4: Application Profile	Stav: připravován CD Bude specifikovat zejména: <ul style="list-style-type: none"> - externí rozhraní Funkcí, - Funkční adresace, - chování Funkcí. Zčásti specifikuje to, co UIC 556, UIC 647 a UIC 557 specifikují pro TCN s WTB.

IEC 61375-2-5	Part 2-5: Ethernet Train Backbone (ETB)	Stav: CDV
IEC 61375-2-6	Part 2-6: Train to Ground Communication	Stav: připravován CD Hlavním vstupem pro tuto část jsou výstupy ze subprojektu ICOM (Intelligent Communication) evropského projektu InteGRail.
IEC 61375-3-1	Part 3-1: Multifunction Vehicle Bus (MVB)	Stav: FDIS přenos příslušné části ze stávajícího IEC 61375-1
IEC 61375-3-2	Part 3-2: MVB Conformance Testing	Stav: FDIS přenos příslušné části ze stávajícího IEC 61375-2
IEC 61375-3-3	Part 3-3: CANopen Consist Network (CCN)	Stav: FDIS
IEC 61375-3-4	Part 3-4: Ethernet Consist Network (ECN)	Stav: CDV

Obr. 2 znázorňuje vztah jednotlivých částí standardu ke komunikačním protokolům standardu a ke standardnímu sedmivrstvému referenčnímu komunikačnímu modelu ISO-OSI (Open System Interconnection). Komunikační profil lze chápat jako rozšíření aplikační vrstvy (vrstva 7), nad kterým je dále umístěn aplikační profil. Obrázek dále prozrazuje, že:

- nebudou standardizovány všechny kandidátské protokoly pro vozidlovou úroveň TCN,
- nedošlo k začlenění vyhlášek UIC (UIC změnila své původně kladné stanovisko); standard TCN tedy pokryje plně pouze systémy s vlakovou sběrnicí Ethernet (ETB),
- Komunikační a aplikační profily se vztahují stejně jako zde zmíněné UIC vyhlášky ke komunikaci na vlakové sběrnicí. Na této sběrnicí se rozhoduje o interoperabilitě.



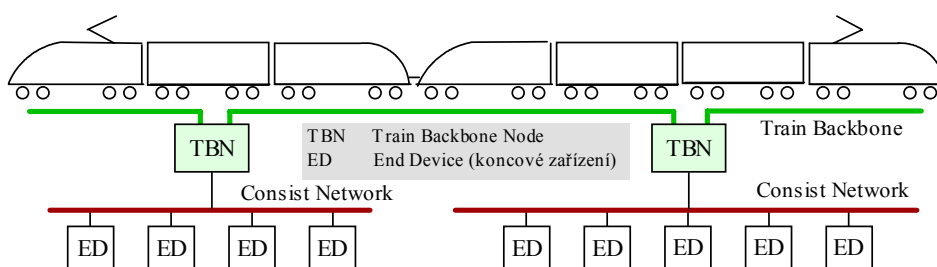
Obr. 2: Struktura rozšířeného standardu IEC 61375

Architektura TCN, nové pojmy

Síť TCN zůstává hierarchickou sítí dvou úrovní (Obr. 3). Pro označení sítí jednotlivých úrovní byly zavedeny nové obecnější pojmy. Vyšší úroveň TCN tvoří vlaková páteřní síť - Train Backbone (TB), k síti nižší úrovně se připojují koncová zařízení, tj. zařízení, která jsou primárně zdrojem a cílem přenášených dat. Síť nižší úrovně je nazvána Consist Network, neboť propojuje zařízení v pevné sestavě vozů označované jako consist. V dalším textu budeme používat pro consist termín jednotka. Limitním případem jednotky je jediný vůz. Termín consist je ekvivalentní termínu trainset, který je používán v původním standardu. Consist síť, může jich být v jednotce i více, je připojena k Train Backbone jedním komunikačním uzlem Train Backbone Node (TBN), který může být zálohován.

Dvouúrovňová architektura sítě TCN přináší obecně tyto podstatné výhody:

- Consist síť je na rozdíl od Train Backbone statická, předem nakonfigurovaná, komunikační síť. TB je dynamická síť, která mění svoji topologii, kdykoliv dojde ke změně kompozice vlaku. Během rekonfigurace TB je přenos aplikačních dat na této síti přerušen, což však nemá vliv na komunikaci v Consist síti.
- Není-li jedna z Consist sítí v provozu (např. napájení je vypnuto), není tím ovlivněna komunikace mezi ostatními Consist sítěmi vlaku.
- Train Backbone není zatěžována přenosem všech dat, která si vyměňují jednotlivá koncová zařízení ve vlaku. Pouze data adresovaná zařízením v jiných Consist sítích jsou transportována přes TB.



Obr. 3 Síť TCN dle rozšířeného standardu

Síť TCN bude možné nyní realizovat komunikačními technologiemi dvou tříd: třídou sběrnicových (bus) technologií a třídou přepínaných (switched) technologií, přičemž technologie obou tříd mohou být kombinovány.

Třída sběrnicových technologií je charakterizována tím, že síťová nebo koncová zařízení jsou připojena k jednomu přenosovému médium, přičemž celá sběrnice tvoří jeden segment sítě a tedy jednu kolizní a „broadcast“ doménu. Do této třídy náleží komunikace WTB, MVB a CAN. V sítích WTB a MVB je provoz řízen jedním z uzlů, v síti CAN je v jejích uzlech implementován algoritmus řídicí přístup na linku.

Třída přepínaných technologií se vyznačuje tím, že každé síťové nebo koncové zařízení je připojeno k přepínači (switch), který data přijatá na svých portech vysílá na porty, přes které jsou dostupná adresovaná koncová zařízení. Síť založené na této technologii mají možnost omezit kolizní a „broadcast“ domény. Do této třídy náleží komunikace ETB (Ethernet Train Backbone) a ECN (Ethernet Consist Network), o které je, vedle komunikace CAN standard rozšiřován.

Jak bude síť TCN v konkrétním vlaku realizována záleží zcela na uživateli. Může například použít síť WTB/MVB pro systémy řízení vlaku a oddělenou síť ETB/ECN pro kamerový systém, informační systém pro cestující, pokročilou diagnostiku apod. Nebo může mít třeba další ETB/ECN síť určenou pouze pro kamerový systém, nebo použít ETB/ECN jako jedinou síť a přenášet jí všechna data. Standard uvažuje s použitím až 4 sítí ETB v jednom vlaku.

Ethernet Train Backbone (ETB)

Síť Train Backbone obou technologií musí zajistit komunikaci na zdvojeném přenosovém mediu a také to, že uzly TBN bez napětí nebo v poruše nepřerušují linku. To znamená, že uzly WTB i ETB sítě ovládají kontakty relé, které v těchto případech zajistí jejich přemostění.

Kromě vlastního přenosu dat je úkolem ETB, stejně, jako tomu bylo u WTB, provedení TCN inaugurace, jejímž výsledkem je datová struktura zvaná topografie. V případě ETB je konstruována tak, že kromě topologie uzlů obsahuje i topologii Consist sítí. Údaje topografie slouží mimo jiné ke konstrukci směrovacích tabulek a tabulky překladu adres

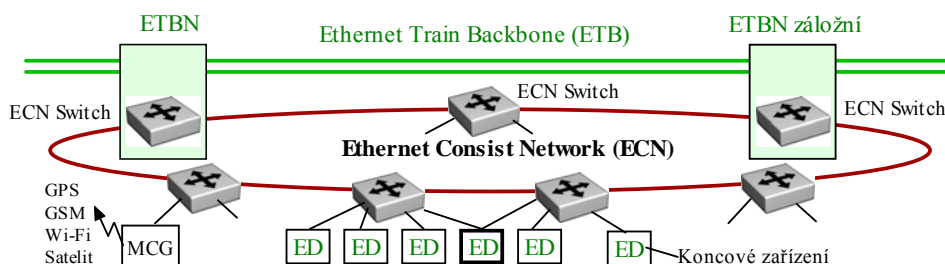
(viz dále). Protokol specifikovaný v části 2-5 standardu, který využívá procedura inaugurační, se nazývá TTDP (Train Topology Discovery Protocol).

Řešení zálohování uzlů ETBN se liší od případu zálohování WTB uzlů tím, že není vyžadován dedikovaný kanál mezi zařízeními redundantního páru. Ta tak mohou být bez problému umístěna například v protilehlých čelních vozech jednotky. Algoritmus řízení redundance uzlů ETBN nesouvisí s interoperabilitou a proto není předmětem standardizace.

Vzhledem k tomu, že provoz na ETB není centrálně řízen, odpadá, ve srovnání s WTB, nutnost řešit problém zálohování mastera sběrnice.

Ethernet Consist Network (ECN)

Stávající verze standardu IEC 61375 specifikuje jako Consist síť pouze MVB, jeho připravovaná verze přidává komunikaci CAN/CANopen a ECN (Ethernet Consist Network). Síť TCN musí umožňovat vzájemnou komunikaci koncových zařízení připojených ke Consist sítím různých typů.



Obr. 4 Consist síť kruhové topologie

Jak ukazuje Obr. 4, jsou v síti ECN koncová zařízení připojena přes přepínače (switch). Každé koncové zařízení je připojeno na samostatný segment sítě, to znamená, že kolize v přístupu zařízení k médiu nenastávají. Komunikace je plně duplexní. Koncová zařízení mohou být zálohována tak, že jsou připojena samostatnými linkami ke dvěma přepínačům.

Je navrženo použití tří typů topologií – lineární, kruhové a žebříčkové. V síti s lineární topologií má porucha přepínače, pokud tento prvek není zálohovaný, nebo přerušení jednoho segmentu sítě za následek ztrátu celé sítě.

V kruhové síti znázorněné na Obr. 4 tvoří komunikační linky mezi jejími jednotlivými uzly uzavřený kruh. Aby nedošlo k vytvoření smyčky, je jeden segment „logicky“ otevřen. Je-li linka mezi dvěma uzly přerušena, algoritmus řízení redundance otevře kruh právě v přerušném segmentu a původně otevřený segment začlení zpět do sítě. Kruhové sítě jsou tolerantní vůči jedné poruše, jak vůči přerušení spojení, tak i poruše uzlu.

Neexistuje žádný standardizovaný algoritmus řízení redundance, který by splňoval požadavek standardu na dobu zotavení, která je 50 ms. Dostupná jsou firemní patentem chráněná řešení. Algoritmus řízení redundance však není předmětem standardizace, neboť nerozhoduje o interoperabilitě.

Žebříčková síť je používána téměř výlučně japonskými výrobci, evropští dávají přednost kruhové topologii. Jak ukázal výpočet, není rozdíl ve spolehlivosti sítí těchto dvou topologií ve prospěch žebříčkové sítě významný.

Část 3-4 standardu specifikuje požadavky na komunikační rozhraní, které musí splňovat zařízení připojená k ECN. Těmi jsou jednak koncová zařízení a jednak přepínače (consist switch). Komunikačním rozhraním zde rozumíme vrstvy 1 (fyzická vrstva) až 7 (aplikační vrstva) sestavy protokolů.

Jedním z koncových zařízení je komunikační terminál zajišťující datové spojení vlaku s pozemními systémy. Je označován jako Mobile Communication Gateway (MCG) a jeho funkční specifikace je předmětem části 2-6 standardu.

Třídy dat v ETB/ECN a jejich přenos

Síť WTB/MVB pracuje s daty tříd „Procesní data“ a „Data zpráv“. Síť ETB/ECN umožňuje navíc přenos následujících tříd dat:

- “Stream“ data – kontinuální tok dat pro audio a video, např. pro kamerový systém, zábavní video, provozní video (kamerová zpětná zrcátka), vlakový rozhlas,
- “Best effort“ data – rozsáhlé soubory, například přenos obsahu diagnostické databáze na pozemní server, nahrávání dat pro informační systém pro cestující, nahrávání nových verzí softwaru.

Síťová zařízení musí podporovat tzv. prioritizaci. To znamená, že pakety jednotlivých tříd dat mohou být opatřeny prioritními příznaky a přepínač musí pakety zpracovávat dle jejich nastavení. Priorita je přidělena takto (od nejvyšší): Procesní data, Stream data, Data zpráv a Best-effort data. Označení „Best-effort“ čili „nejlepší snaha“ je odvozen od toho, že síť se snaží tato neprioritní data přenést co neefektivněji.

Pro přenos procesních dat a zpráv se uvažovalo s použitím některých protokolů standardizovaných v oblasti řízení průmyslových procesů. Nakonec bylo rozhodnuto o návrhu nového protokolu, který zohledňuje zvláštnosti prostředí vlakových souprav a staví na dobrých zkušenostech s protokoly pro síť WTB/MVB. Tento protokol nazvaný TRDP (Train Real-time Data Protocol) bude specifikován v části 2-3 standardu.

Je třeba zdůraznit, že protokol TRDP je povinný pro ETB, nikoliv pro ECN. Integrátor komunikační infrastruktury ve vlaku nemusí tedy nutně použít pro ECN protokol TRDP. Například v případě, kdy vlak tvoří vždy pouze jedna jednotka a integrátor má k dispozici

koncová zařízení s implementací některého z protokolů z oblasti průmyslových systémů (Siemens – Profinet, Alstom – CIP/Ethernet IP). Chce-li však jednotky spojovat je výhodné používat i v síti ECN protokol TRDP, neboť v tomto případě bude ETBN (gateway) typu “router”. V opačném případě bude muset realizovat značně složitější aplikační gateway se softwarem, který vzájemně konvertuje protokoly ETB a ECN. Možné řešení je i to, že integrátor implementuje protokol TRDP pouze v zařízeních, která komunikují se zařízeními v dalších jednotkách. Příkladem jsou centrální řídicí jednotka vozidla nebo displej strojvedoucího.

Standardizované protokoly pro přenos audio a video dat a Best-effort dat mají svůj původ mimo oblast řídicích systémů pro průmysl a dopravu a proto se nepředpokládá, že bude problém se na nich dohodnout.

Adresace v síti ETB/ECN

Zařízení jsou v TCN síti ETB/ECN stejně jako v jiných sítích používajících sadu protokolů TCP/IP adresována adresou na síťové vrstvě – IP adresou. IP adresy jsou pak dále mapovány na fyzické adresy interfaceových karet připojujících jednotlivá zařízení k síti – MAC adresy.

TCN síť ETB/ECN je síť sestávající z podsítě ETB a jedné nebo více podsítí ECN, které jsou s ETB spojeny směrovačem ETBN. Návrh vhodné koncepce adresace musí brát v úvahu její dynamický charakter. Zařízení připojená k ECN mají na této síti pevnou IP adresu. Pevné přiřazení IP adres umožňuje mimo jiné výrobu identických, tj. totožně nakonfigurovaných jednotek. IP adresy mohou být nastavovány přímo na zařízeních nebo přidělovány DHCP serverem umístěným obvykle v uzlu ETBN. Server je nakonfigurován tak, že danému zařízení přidělí vždy tutéž IP adresu, což je podmínkou k dosažení „plug-and-play“ chování. Zařízením na podsíti ETB, tj. uzlům ETBN, není přidělována pevná IP adresa. Jejich adresy jsou konstruovány tak, že obsahují sekvenční číslo příslušného uzlu ETBN, které je výsledkem inauguračního procesu. Tím je zajištěna nutná unikátnost IP adres ETBN uzlů na této podsíti v celém vlaku.

Vzhledem k tomu, že IP adresy koncových zařízení jsou unikátní pouze v rámci Consist sítě, do které je zařízení připojeno, může ve vlaku existovat více zařízení se stejnou IP adresou. Nelze proto pevně přidělenou IP adresu zařízení přímo použít ve zprávách zasílaných do jiných jednotek vlaku. Řešením je zavedení adresního prostoru vlakové úrovně. IP adresy koncových zařízení jsou v tomto prostoru konstruovány ze statické IP adresy zařízení a z pořadí jednotky v rámci vlaku. IP adresy zdrojového a cílového zařízení jsou tedy ve zprávách přenášených na ETB vždy z adresního prostoru vlakové úrovně. Jejich překlad na IP adresu úrovně jednotky a opačně zajišťují uzly ETBN dle překladové tabulky aktualizované při inauguraci.



Aplikační pohled na vlak, funkční adresace

Obdobně jako v případě sítě WTB/MVB jsou i pro síť ETB/ECN specifikovány nad čistě komunikačními vrstvami vrstvy prezentující vlak jako množinu Funkcí/aplikací, které si přes síť ETB vyměňují telegramy procesních dat a zprávy, jejichž obsah je přesně specifikován. Specifikace těchto vrstev je předmětem komunikačního a aplikačního profilu (Obr. 2 a Tab. 3). Funkce jsou adresovány tzv. funkční adresou. Ta je v síti WTB/MVB dvojicí {cílový vůz, cílová funkce}. V síti ETB/ECN je funkční adresa definována jako URI (Universal Resource Identifier dle RFC3986), což je identifikátor standardně používaný k jednoznačné identifikaci objektů ve světě internetu. Jeho základní notace je: *schema://user@host*, kde řetězec "user" identifikuje komunikující Funkci a "host" umístění této Funkce. O definitivním tvaru formátu URI ještě není rozhodnuto. Jeden z návrhů URI pro adresaci uvnitř vlaku je následující:

ipt://instance.function@device.car.consist.train, kde *ipt* je jméno adresního schématu.

Pro ilustraci uveďme příklad:

ipt://diag@vcu.car02.cst01.ITrain – adresátem je funkce diagnostiky v řídicí jednotce (*vcu*) vozu 2 jednotky 1 vlaku (ITrain značí local Train).

Aby bylo možno adresovat funkce v nově připojené jednotce, aniž by bylo nutné znát její vnitřní strukturu, musí aplikační adresa umožnit adresovat funkce bez znalosti jejich přesného umístění. Čili namísto konkrétního zařízení adresovat například skupinu zařízení daného typu ve voze nebo všechna zařízení daného vozu. Předpokládá se, že konverzi funkční adresy na IP adresu bude obvykle provádět uzel ETBN.

Uzel ETBN obdobně jako UIC uzel sítě WTB také zajišťuje vytvoření a aktualizaci databáze informací o vlaku (Train Network Directory), která je výsledkem UIC inaugurace, a přístup k ní. Čili realizuje funkcionalitu komponenty, která je v UIC uzlu označována jako UIC Mapping Server.

Je představa, že aplikační profil bude specifikovat funkcionalitu „Functional Open Coupling“ (FOC), která umožní spojení dvou nebo více jednotek různých výrobců, které se znají pouze částečně. Každá jednotka musí zveřejnit popis svého funkčního modelu a načíst si popisy funkčního modelu ostatních jednotek vlaku. Nebude nutné prokazovat vzájemnou funkční kompatibilitu jednotek. Homologuje se FOC funkce jednotky, to znamená, že tato jednotka bude kompatibilní se všemi jednotkami s homologovanou FOC funkcí.

Výhody použití sítě ETB/ECN pro systémy řízení vlaku

Uvedme některé výhody, které přináší použití sítě ETB/ECN oproti síti WTB/MVB pro systémy řízení vlaku a diagnostiky, tj. systémy, které pracují zejména s procesními daty a zprávami.

- Dataset procesních dat (PD) může mít velikost až 1550 byte. Pro WTB a MVB byly tyto hodnoty 128 resp. 32 byte.
- Každý ETBN uzel může vysílat na ETB řadu datasetů PD, každý délky až 1550 byte; WTB uzel mohl vysílat na WTB pouze jeden dataset maximální délky 128 byte. Reprezentoval-li tento uzel celý trainset, pak tento dataset obsahoval informaci týkající se všech jeho vozů. Chybělo například místo pro přenos doplňkových diagnostických informací.
- Každý dataset PD obsahuje verzi topografie, tj. je možné určit, zda vysílající strana pracovala s aktuální topografií. V síti WTB/MVB byla verze topografie přenášena pouze v záhlaví zpráv. Absence této informace pro PD znamenala složité ošetření přechodových stavů souvisejících s inaugurací. Bylo nutné vkládat časové prodlevy získané odhadem.
- Zálohující se zařízení jsou zdrojem týchž procesních dat. Komunikační systém zajistí, že jsou distribuovány pouze datasety PD z právě aktivního zařízení. Realizace redundance se tak pro aplikace podstatně zjednoduší.
- Pro zprávovou komunikaci je podporován navíc model „request-reply-confirm“, tj. aplikace, která odeslala odpověď, dostane zprávu o jejím doručení, a řada komunikačních vzorů. Aplikace může například požadovat odpovědi na zprávu zaslou skupině. V síti WTB/MVB si v tomto případě aplikace sama musela zjistit, zda zpráva byla jednotlivým členům skupiny doručena.
- Je podporováno zasílání zpráv do zálohujících se aplikací. Ty mohou vytvářet skupiny adresovatelné skupinovou adresou.
- Velikost jednotky (consist, trainset) není omezena na 6 vozů.
- Je-li použit pro síť ECN standardní protokol TRDP, je uzel ETBN komunikační bránou typu „router“, tj. pakety PD i zpráv jsou manipulovány pouze komunikačním systémem bez účasti jakékoliv aplikace. Realizace celého systému pro konkrétní vlak je tak jednodušší.

Komunikace vlaku s pozemním systémem

Pro spojení s pozemními sítěmi je vlak případně jeho každá jednotka vybavena komunikačním terminálem (Mobile Communication Gateway – MCG), který zajišťuje



veškeré datové přenosy mezi vlakem a pozemním systémem s výjimkou přenosů pro potřeby zabezpečovací techniky. MCG poskytuje na jedné straně rozhraní k bezdrátovým sítím (např. GPRS v GSM-R, GPRS v GSM-P, Wi-Fi, UMTS) a na druhé straně rozhraní do TCN sítě vlaku (Obr. 4). Součástí komunikačního terminálu je obvykle jednotka GPS.

Některé aplikace mohou běžet přímo na komunikačním terminálu, aplikace běžící na jiných zařízeních vlaku zbavuje MCG nutnosti zabývat se složitým problémem přenosu dat.

Vzhledem k tomu, že ETB/ECN síť je privátní sítí nemohou být pakety této sítě směrovány mimo ni. Proto musí MCG zajistit překlad IP adres mezi TCN sítí a externí sítí.

Standard předpokládá, že MCG je elementem komunikační sítě zajišťující transparentní datovou komunikaci. Ta musí mimo jiné umožnit použití protokolů pro zajištění bezpečnosti přenosu a nastavení kvalitativních parametrů přenosu tzv. QoS (Quality of Service). Pojmem QoS se označují metody, které se snaží zajistit požadované chování sítě - například vyhrazením určitých přenosových kapacit, zavedením priorit a podobně.

Adresace koncových zařízení transparentní sítě musí být nezávislá na použité přenosové síti. K adresaci Funkcí/aplikací ve vlaku budou používat aplikace pozemního systému identifikátor URI (Uniform Resource Identifier), který je rozšířením URI používaného jako symbolická funkční adresa pro komunikaci v ETB/ECN síti na palubě vlaku. Kompletní identifikátor URI má dle aktuálního návrhu tvar:

`ipt://instance.function@device.vehicle.consist. train. operator.rcn`, kde rcn (Railway Communication Network) je doména nejvyšší úrovně.

Standard pro multimediální a telematické aplikace

Standard IEC 62580 Electronic Railway Equipment - Onboard Multimedia and telematic applications for Railways je plánován jako sada standardů uvedených v Tab. 4:

Tab. 4: Připravovaný standard IEC 62580

Označení	Název části	Komentář
IEC 62580-1	Part 1: General Architecture	Stav: CD2
IEC 62580-2	Part 2: Video surveillance/CCTV services	Stav: CD
IEC 62580-3	Part 3: Crew orientated services	Stav: připravován CD
IEC 62580-4	Part 4: Passenger orientated services	Stav: připravován CD
IEC 62580-5	Part 5: Train Operator/Maintainer orientated services	Stav: připravován CD

Práce na standardu byly zahájeny v roce 2008, výsledky, jak napovídá dosažený stav uvedený v Tab. 4, zůstávají za očekáváním. Druhý návrh obecné architektury je nyní v připomínkovém řízení v národních komisích. Bez závazné obecné architektury není možné učinit větší pokrok ve specifikaci dalších dílů standardu. Zde se tedy práce soustředí na stanovení scénářů použití a na identifikaci služeb.

O obecné architektuře lze říci to, že bude respektovat architektonický styl označovaný jako architektura orientovaná na služby (SOA - Service Oriented Architecture). K ní se vztahuje sada principů, jejichž aplikace vede na vytváření služeb jako základních stavebních bloků navrhovaného systému. Jsou uváděny následující principy:

- volná vazba: minimální vzájemná závislost mezi službami,
- standardizovaný kontrakt: informace o službách je omezena na informaci, která je publikována v tzv. kontraktu služby, jenž obsahuje všechny informace, které konzument služby potřebuje pro její použití,
- abstrakce: služby (jako logická entita) jsou odděleny od své implementace,
- znovupoužitelnost: služba může být použita více konzumenty, tj. v různém kontextu,
- autonomnost: služby si řídí svoji činnost samy,
- bezstavovost: vyžaduje-li transakce mezi konzumentem a poskytovatelem služby více interakcí, uchovává si služba po každé interakci minimum informací,
- zjistitelnost: existence mechanismu, který umožňuje nalezení služeb jejich konzumenty,
- schopnost složení: služby mohou být složeny z jiných služeb.

Lze uvést výhodnost použití SOA pro následující účely:

1. Dekompozice aplikací – aplikace jsou dekomponovány na funkce, které jsou zpřístupněny jako služby. Tyto služby mohou být použity více aplikacemi a mohou být také použity pro vytvoření složených služeb.
2. Přístup k informacím – aplikace přistupují prostřednictvím služeb k datům jiných aplikací.
3. Aplikační integrace – typicky pro realizaci „business“ procesů.
4. Externí integrace – integrace mezi systémy s využitím vysokoúrovňových služeb implementovaných na hranicích systémů nebo aplikací. Např. integrace železničních informačních systémů.

To znamená, že tentýž architektonický styl lze použít pro realizaci aplikací ve vlaku, komplexnějších aplikací zahrnujících i pozemní systémy dopravců nebo správců infrastruktury, které dále mohou využívat služeb poskytovaných systémy spravovanými jinými organizacemi, a nakonec i pro propojení informačních systémů v železniční doméně.

Záměrem je identifikovat služby vztahující se k daným oblastem, které jsou realizovány palubními systémy a definovat je jejich formalizovaným popisem tak, aby mohly být použity v aplikacích, které pak samy mohou být službou pro použití v jiných komplexnějších aplikacích.

Pro realizaci systémů na bázi SOA lze použít různé technologie. Nejrozšířenější implementační technologií SOA je v současné době technologie webových služeb (WS), která je podpořena sadou standardů. Profil, který je nad nimi specifikován – DPWS (Device Profile for Web Services) – je určen pro použití ve vestavěných (embedded) systémech a je uvažován jako implementační technologie i pro standard IEC 62580.

Vzhledem k tomu, že služby specifikované standardem budou využívat komunikační infrastrukturu dle IEC 61375, bude třeba navázat architekturu multimediálních a telematických aplikací na architekturu této komunikační infrastruktury, konkrétně definovat vztah ke komunikačnímu a aplikačnímu profilu IEC 61375. Otázkou je také vztah Funkcí – aplikačních elementů, se kterými pracuje IEC 61375 a služeb – aplikačních elementů specifikovaných v IEC 62580. Tato vyjasňování jsou aktuálně předmětem společné práce obou pracovních skupin, WG43 a WG46.

Závěr

Palubní komunikační síť TCN dle stávajícího standardu IEC 61375 používají v současné době ve svých lokomotivách, osobních vozech, konvenčních i vysokorychlostních jednotkách a soupravách metra kromě japonských všichni významní výrobci kolejových vozidel. Z toho je zřejmé, že kvalita TCN již byla potvrzena praxí, a že toto standardizované řešení je výrobcí i dopravci jednoznačně preferováno. Ve vlacích, které jsou nyní projektovány, jsou požadavky na aplikace, které vyžadují vyšší přenosovou kapacitu, než nabízí stávající TCN, již běžné. Vzhledem k neexistenci standardu jsou použita proprietární řešení, což není v zájmu ani výrobců, kteří musí investovat do vývoje neperspektivních řešení, ani dopravců, kteří tyto systémy budou nuceni dlouho udržovat nebo vyměnit za standardní. Proto existuje silný tlak na dokončení standardizačního procesu rozšířené sítě TCN a urychlení standardizačního procesu nových aplikací. Za úspěch lze považovat to, že bylo dosaženo shody (Alstom, Bombardier, Siemens) ohledně jediného protokolu pro přenos procesních dat a zpráv na Ethernet vlakové síti. Obdobné shody se například v oblasti průmyslové automatizace dosáhnout nepodařilo.



Literatura

- [1] IEC 61375-1 Ed.2: Electric railway equipment - Train bus - Part 1: Train communication network, IEC, 2007
- [2] 9/1641/FDIS: IEC 61375-1 Ed.3: TCN-Part 1: Train Communication Network General Architecture, IEC, 2012
- [3] 9/1629/CDV: IEC 61375-2-5 Ed.1: TCN-Part 2-5: ETB – Ethernet Train Backbone, IEC, 2012
- [4] 9/1616/CDV: IEC 61375-3-4 Ed.1: TCN-Part 3-4: ECN – Ethernet Consist Network, IEC, 2011
- [5] 9/1630/CD: IEC 62580-1 Ed.1: On-board multimedia systems for railways – Part 1: General Architecture, IEC, 2012
- [6] UIC 556 Ed.5: Information transmission in the train (train bus), UIC 2009
- [7] Nenutil, D.: Ethernet a IP technologie ve vlacích, Automatizace ročník 52, číslo 3, březen 2009
- [8] Huhns Michael N. Service-Oriented Computing, Semantics, Processes, Agents. John Wiley, 2005

Tento článek byl vytvořen v rámci projektu ETRAIN – Platforma pro řídicí a informační systémy vlaku s komunikací Ethernet, ev.č. FR-TI3/354. Tento projekt byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu.

Praha, duben 2012

Lektoroval: Ing. Jan Vejražka
ŠKODA TRANSPORTATION a.s.