



# Telekomunikační řešení

pro informační systémy  
síťových odvětví

Tomáš Zelinka, Miroslav Svítek

- Architektura telematických systémů síťových odvětví
- Metodika návrhu komunikačního řešení a modely systémů pro dokumentaci a standardizaci
- Nástroje řešení telekomunikací
- Příklad návrhu, implementace a výstupů komunikačního řešení v síťovém odvětví

## Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

*Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umístování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.*



*Tato publikace vychází v rámci řešení projektů:*

*MPO 2A-2TP1/108: e-Ident (Elektronické identifikační systémy v dopravních procesech,*

*MPO 2A-2TP1/105: Komunikační modul pro dopravně telematické aplikace (DOTEK).*

# Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví

Prof. Ing. Tomáš Zelinka  
Prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek

Vydala Grada Publishing, a.s.  
U Průhonu 22, Praha 7  
jako svou 3818. publikaci

Odpovědný redaktor Petr Somogyi  
Sazba Petr Somogyi  
Návrh a grafická úprava obálky Vojtěch Kočí  
Počet stran 224  
První vydání, Praha 2009

Cover Photo © fotobanka allphoto

*Na vydání této publikace se spolupodíli České vysoké učení technické  
v Praze, Fakulta dopravní.*

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.  
Husova ulice 1881, Havlíčkův Brod

ISBN 978-80-247-3232-9 (tištěná verze)  
ISBN 978-80-247-6273-9 (elektronická verze ve formátu PDF)  
© Grada Publishing, a.s. 2011

# Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>A. METODIKA NÁVRHU TELEKOMUNIKAČNÍCH ŘEŠENÍ PRO SÍŤOVÁ ODVĚTVÍ .....</b>	<b>15</b>
<b>1. Architektura telematických systémů síťových odvětví.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Procesní analýza telematických systémů .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Dekompozice procesu do modulů.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Performanční indikátory (performance indicators) telematického     subsystému.....</b>	<b>21</b>
<b>1.4 Telekomunikační řešení pro síťová odvětví .....</b>	<b>24</b>
<b>1.5 Definice performančních indikátorů přenosových systémů pro     síťová odvětví.....</b>	<b>27</b>
1.5.1 Charakteristiky rozhraní .....	27
1.5.2 Objemové charakteristiky .....	27
1.5.3 Systémové parametry přenosových systémů.....	27
1.5.4 Třídy služeb .....	30
<b>2. Kritéria návrhu telekomunikačních subsystémů .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1 Přesnost naměřené veličiny .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2 Dostupnost služby .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3 Spolehlivost služby .....</b>	<b>37</b>
<b>2.4 Kontinuita služby .....</b>	<b>38</b>
<b>2.5 Integrita služby .....</b>	<b>39</b>
<b>2.6 Bezpečnost telekomunikačních systémů .....</b>	<b>40</b>

<b>3. Metodika návrhu komunikačního řešení .....</b>	<b>43</b>
<b>4. Modely systémů síťových odvětví pro dokumentaci a standardizaci .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Použití UML při analýze a návrhu telematických subsystémů.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2 Specifikace UML .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Organizace UML modelu.....</b>	<b>52</b>
4.3.1 Diagram tříd (class diagram) .....	52
4.3.2 Objektový diagram (object diagram).....	55
4.3.3 Diagram případů užití (use case diagram).....	56
4.3.4 Interakční diagramy (interaction diagrams).....	58
4.3.5 Stavový stroj (state machine).....	60
4.3.6 Implementační diagramy (implementation diagrams) .....	64
<b>4.4 Definice datových prvků a rozhraní pomocí ASN.1 .....</b>	<b>65</b>
4.4.1 Specifikace protokolu v ASN.1 .....	66
4.4.2 Rozšiřitelnost datových prvků a protokolů .....	69
<b>4.5 Abstraktní a přenosová syntaxe.....</b>	<b>70</b>
4.5.1 Význam termínů.....	70
4.5.2 Definice typů, identifikátorů a tagů.....	71
4.5.3 Identifikace objektů.....	73
4.5.4 Kódování .....	74
4.5.5 Ukázka několika vybraných typů přenosové syntaxe podle BER.....	76
<b>B. KONKRÉTNÍ NÁSTROJE ŘEŠENÍ TELEKOMUNIKACÍ PRO SÍŤOVÁ ODVĚTVÍ .....</b>	<b>79</b>
<b>5. Telekomunikační systémy .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1 Základní vlastnosti telekomunikačních sítí.....</b>	<b>82</b>
<b>5.2 Typy sítí podle topologie.....</b>	<b>83</b>
<b>5.3 Typy sítí podle hierarchie v sítí.....</b>	<b>83</b>
<b>5.4 Typy sítí podle použité fyzické vrstvy.....</b>	<b>84</b>
5.4.1 Metalické .....	84
5.4.2 Optické .....	85
5.4.3 Rádiové .....	85

<b>5.5</b>	<b>Spojové a paketové telekomunikační systémy .....</b>	<b>86</b>
<b>5.6</b>	<b>TCP/IP architektura .....</b>	<b>86</b>
5.6.1	TCP – Transport Control Protocol .....	86
5.6.2	IP – Internet Protocol .....	87
5.6.3	Fragmentace paketu .....	89
5.6.4	Základy IP adresování .....	90
5.6.5	Směrování (routing) .....	90
5.6.6	AS – Autonomní systémy .....	90
5.6.7	Shrnutí vlastností TCP/IP .....	91
<b>6.</b>	<b>Páteřní síť.....</b>	<b>93</b>
<b>6.1</b>	<b>Vlnový multiplex WDM.....</b>	<b>93</b>
6.1.1	Princip a typy WDM řešení .....	94
6.1.2	DWDM .....	96
6.1.3	CWDM.....	96
6.1.4	Ekonomické srovnání CWDM a DWDM řešení .....	97
6.1.5	Příklad konkrétního řešení v rámci sítě Net4Net .....	99
6.1.6	Shrnutí vlastností WDM .....	100
<b>6.2</b>	<b>SDH/SONET .....</b>	<b>100</b>
6.2.1	PDH systém a rozhraní .....	100
6.2.2	Architektura systému SDH.....	101
6.2.3	Síťová architektura SDH.....	102
<b>6.3</b>	<b>ATM .....</b>	<b>103</b>
6.3.1	Architektura ATM.....	103
6.3.2	Protokoly adaptační ATM vrstvy .....	104
6.3.3	Signalizace v ATM.....	105
6.3.4	Vlastnosti ATM .....	105
<b>6.4</b>	<b>Ethernet – univerzální terestrické síťové prostředí.....</b>	<b>106</b>
6.4.1	Standardy IEEE 802.3 a 802.1 a nové alternativní e-komunikační prostředí .....	106
6.4.2	Ethernet a jeho aplikovatelnost pro „rozlehlé“ síť.....	108
6.4.3	Telekomunikační datová síť Net4Net – příklad úspěšné implementace .....	109
6.4.4	Nové cesty ke zkrácení konvergenčních časů .....	112
6.4.5	HYPER-ring .....	113
6.4.6	Shrnutí vlastností páteřního řešení na bázi Ethernetu .....	113
<b>6.5</b>	<b>MPLS a L2 IP VPN řešení.....</b>	<b>114</b>
6.5.1	Základní pojmy a kritéria volby řešení sítě .....	114
6.5.2	Kritéria pro volbu IP VPN .....	115
6.5.3	L2 VPN.....	116

6.5.4	MPLS IP VPN .....	118
6.5.5	Volba mezi MPLS IP VPN a L2 VPN .....	118
6.5.6	Shrnutí vlastností MPLS a L2 IP VPN řešení .....	120

## **7. Přístupová bezdrátová mobilní řešení..... 121**

### **7.1 Mobilní komunikační systémy veřejné služby..... 123**

7.1.1	DTMF (Dual Tone Multiple Frequency) .....	124
7.1.2	CSD (Circuit Switched Data) .....	124
7.1.3	HSCSD (High Speed Circuit Switched Data).....	124
7.1.4	IBS (Inband Software modem) .....	125
7.1.5	SMS (Short Message Service) .....	128
7.1.6	GPRS (General Packet Radio Service) .....	129
7.1.7	EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).....	129
7.1.8	CDMA 2000 (Code Division Multiple Access).....	129
7.1.9	UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) .....	130
7.1.10	LTE .....	130

### **7.2 Wi-Fi – IEEE 802.11 ..... 133**

7.2.1	Media Access Control (MAC) podvrstva linkové vrstvy Wi-Fi sítí.....	133
7.2.2	802.11a .....	134
7.2.3	802.11b .....	134
7.2.4	802.11g .....	134
7.2.5	Doplňěk 802.11e – Wireless QoS .....	135
7.2.6	IEEE 802.11i .....	138
7.2.7	IEEE 802.11n .....	138
7.2.8	IEEE 802.11p .....	138
7.2.9	IEEE 802.11r .....	138
7.2.10	Shrnutí vlastností a perspektiv nových standardů řady IEEE 802.11 .....	139

### **7.3 WiMax – IEEE 802.16 ..... 139**

7.3.1	WiMax (nemobilní) – IEEE 802.16d .....	139
7.3.2	Mobilní WiMax – IEEE 802.16e.....	141

### **7.4 MWAS SVM – IEEE 802.20 ..... 142**

### **7.5 PAN – síť individuálního přístupu..... 143**

7.5.1	BlueTooth – IEEE 802.15.1 .....	144
7.5.2	UWB (Ultra-WideBand) – IEEE 802.15.3 .....	145
7.5.3	ZigBee – IEEE 802.15.4 .....	147

### **7.6 Shrnutí vlastností a dostupnosti bezdrátových přístupových technologií ..... 154**



<b>8. Přístupové systémy s využitím kombinace více nezávislých řešení .....</b>	<b>157</b>
<b>8.1 Základní obrysy standardů CALM .....</b>	<b>158</b>
<b>8.2 Alternativní koncept na bázi L3/L2 přepínání .....</b>	<b>159</b>
<b>8.3 Rozhodovací procesy volby cesty.....</b>	<b>160</b>
8.3.1 Filtrace a predikce časových řad vektorů sledovaných parametrů .....	161
8.3.2 Klasifikační algoritmy – nástroj volby nejlepší možné cesty managementu CALM.....	162
<b>8.4 Shrnutí vlastností přístupových systémů CALM.....</b>	<b>164</b>
 <b>C. PŘÍKLAD NÁVRHU, IMPLEMENTACE A VÝSTUPŮ KOMUNIKAČNÍHO ŘEŠENÍ V SÍTOVÉM ODVĚTVÍ .....</b>	<b>167</b>
 <b>9. Monitorování a řízení pohybu pohyblivých objektů po pohybové ploše letiště pomocí GNSS .....</b>	<b>169</b>
<b>9.1 Hlavní cíle a etapy projektu „Letiště Praha“ .....</b>	<b>170</b>
<b>9.2 Metodika volby komunikačního řešení v projektu „Letiště Praha“</b>	<b>170</b>
9.2.1 Nároky na telekomunikační řešení.....	170
9.2.2 Návrh komunikačního řešení .....	172
9.2.3 Výsledné parametry pilotního testu .....	175
 <b>Závěr.....</b>	<b>179</b>
 <b>Literatura .....</b>	<b>182</b>
 <b>Seznam použitých zkratk .....</b>	<b>184</b>
 <b>Příloha: UML model projektu Monitorování a řízení pohybu pohyblivých objektů po pohybové ploše letiště pomocí GNSS .....</b>	<b>189</b>
<b>P1.1 Přehled funkcí (Use Case View).....</b>	<b>189</b>
<b>P1.2 Navrhování tras vozidel .....</b>	<b>191</b>
<b>P1.3 Protikolizní systém .....</b>	<b>193</b>
<b>P1.4 Sledování pohybu vozidel .....</b>	<b>195</b>

<b>P1.5</b>	<b>Systémová nastavení .....</b>	<b>197</b>
<b>P1.6</b>	<b>Dynamický pohled: navigace vozidel po letištní ploše .....</b>	<b>199</b>
<b>P1.7</b>	<b>Návrh trasy vozidla.....</b>	<b>200</b>
<b>P1.8</b>	<b>Protikolizní systém .....</b>	<b>201</b>
<b>P1.9</b>	<b>Logický pohled, schéma systému .....</b>	<b>203</b>
<b>P1.10</b>	<b>Začlenění systému do A-SMGCS .....</b>	<b>204</b>

# Úvod

Naše doba se vyznačuje bouřlivým rozvojem informačních a telekomunikačních technologií. Tento rozvoj začínal využitím sálových počítačů. Požadavky uživatelů spolu s nabídkou technologického rozvoje postupně transformovaly sálové počítače do podoby osobních počítačů, které byly v dalším stádiu vývoje propojovány do sítí tak, aby mohly efektivně plnit své poslání, tedy sdílet necentralizovaně organizované informační zdroje. Již v tomto vývojovém stádiu dochází k propojení informačních technologií, označovaných jako IT, a telekomunikačních technologií do tzv. informačně-komunikačních technologií, označovaných jako ICT. Vlivem rychlého vývoje terestrických fixních a zejména i mobilních komunikací a s tím spojených mobilních datových služeb se začínají ICT systémy komplikovat, protože řešení musí být navrženo tak, aby se zohlednily vlastnosti mobilních i pevných komunikačních sítí, aby se zohlednila distribuovaná architektura celého řešení – a to tím způsobem, že jednotlivé aplikace budou sdílet jak společné hardwarové (HW) i softwarové (SW) komponenty a bude tak dokonce docházet ke sdílení dílčích procesů. V této fázi vývoje je již těžké hovořit o ICT technologiích, neboť dochází k významné změně pojetí a návrhu samotných aplikací. Proto se v odborné terminologii ustálil pojem „telematické systémy“ vycházející z francouzské terminologie, nebo pojem „teleinformační systémy“ mající základ v anglickém jazyce.

Obor telematiky v tomto pojetí představuje účelnou kombinaci ICT technologií se systémovou analýzou a systémovým inženýrstvím tak, aby navržený telematický systém byl co nejefektivnější vzhledem k definovaným požadavkům budoucích uživatelů, co nejlépe splňoval systémové parametry (někdy nazývané též performační parametry nebo performační indikátory) kladené na jednotlivé aplikace nebo procesy, měl vhodně distribuovanou architekturu řešení s ohledem na možnosti a cenu telekomunikačních systémů, vyznačoval se snahou o optimalizaci sdílení funkcí a procesů a zároveň splňoval ekonomická kritéria spojená s očekávanou účinností navrženého systému. Takto komplexní telematické systémy jsou typické pro síťová odvětví s plošnou působností, jako jsou dopravní systémy (eSafety, eTransport atd.), energetické systémy, systémy pro podporu výkonu státní správy a samosprávy (eGovernment), systémy pro podporu zdravotnictví (eHealth), systémy pro podporu výuky (eLearning) atd.

Předkládaná publikace se v souladu s výše uvedenými trendy vývoje zabývá účelným návrhem telematických systémů, a to z té nejméně propracované a dosud opomíjené části: telekomunikačního prostředí, které však je v řadě případů tou nejkritičtější a nejnákladnější komponentou celého telematického řešení. Je tomu tak i proto, že telekomunikační operátoři se soustřeďují na masový trh, kde nejsou kladeny výrazné požadavky na kvalitu telekomunikačních služeb, ale kde záleží více na uspokojení základních telekomunikačních potřeb velkého množství uživatelů. V průmyslových aplikacích je situace často opačná. Zájem je soustředěn na významně nižší počet zákazníků, kteří často ani nepotřebují přenášet velké soubory informací, ale telekomunikační řešení musí zajistit a garantovat na velmi vysoké hladině pravděpodobnosti stanovenou kvalitou služby, která často spočívá v doručování i relativně málo objemného souboru dat.

Metoda návrhu telematických systémů začíná logicky analýzou navrhovaných aplikací. Pro tento rozbor je využívána metodika modelovacího jazyku UML (Unified Modelling Language), jež je návodem strukturovaného návrhu telematických systémů od soupisu uživatelských požadavků, přes definici základních aktérů systému a jimi požadovaných funkcí, až po objektový návrh, návrh procesů zachycených v sekvenčním či stavovém diagramu. UML zachycuje navrhované telematické řešení, čímž se eliminuje nedorozumění, jako vedlejší produkt vzniká základní dokumentace k projektu a zároveň na projektu může pracovat více analytiků a sdílet či vyměňovat si své závěry. Každý návrh musí počítat s budoucími změnami, vyššími verzemi, uprady atd. Toto vše UML umožňuje a zároveň je základním nástrojem evropské i světové standardizace CEN a ISO. Návrh v UML pracuje s třídami objektů, které mají zapouzdřeny své funkce i data. Pokud vzniká někde požadavek na telekomunikační řešení, analýza UML nám odpoví, která data se odkud a kam musí přenášet. Tato data lze již specifikovat v ASN.1 (Abstract Syntax Notation No. 1) a utvářet z nich standardizované protokoly a zprávy různého typu, např. broadcasting atd. Výhodou ASN.1, která je běžným nástrojem CEN a ISO standardizace, stejně jako UML, je možnost využití automatických modulů (tzv. parserů), které umožňují tvorbu databáze a převodních kódovacích funkcí cca ve 160 programovacích prostředích včetně např. XML, a to i s ohledem na přenosovou kapacitu telekomunikačního kanálu. Tímto způsobem je dosaženo standardizace, neboť každý uživatel může protokol ASN.1 transformovat do svého systému spolu s převodní funkcí – s tím, že při potenciální změně zcela identickými nástroji a procesy implementuje novou databázi s nově vytvořenou transformační funkcí. Je nutno podotknout, že analýza UML a ASN.1 se týká modelů telematických systémů na aplikační vrstvě OSI nebo TCP/IP modelu.

Když je telematický systém navržen s ohledem na svoji základní architekturu (modely tříd, objektů, procesů atd.) a datové položky (názvy datových elementů a jejich specifikace, např. string, real), je třeba přistoupit k definici systémových nebo někdy uváděných performačních parametrů. Tyto parametry jsou buď striktně dány normou, jako

je tomu u uvedeného příkladu monitorování pohyblivých objektů po pohybové ploše letiště, na kterém se autoři podíleli, nebo je nutno spolu s uživatelem tyto parametry stanovit. Funkční vzorek telematického systému je jednoduché zvládnout, ale navrhnout, garantovat, případně certifikovat, že daný systém splňuje předdefinované parametry, je již velkým teoretickým i praktickým problémem. V tomto stádiu návrhu telematického systému je nutné si uvědomit, že tyto parametry jsou vždy vztaženy k celé telematické aplikaci (celému procesu), jež typicky zahrnuje celý řetězec funkcí jako sběr dat v mobilním prostředku, přenos dat z mobilního prostředku do centra, zpracování a vyhodnocení dat v centru, zpětný přenos dat z centra do mobilního prostředku, provedení akce na straně mobilního prostředku.

Část předkládané publikace se věnuje právě obecné metodice transformace systémových (performačních) parametrů vztažených k telematické aplikaci do prostoru systémových (performačních) parametrů telekomunikačního prostředí, které jsou definovány odlišnými způsoby, protože vycházejí z principů přenosu informace telekomunikačním prostředím. Po této analýze jsou již jasná kritéria pro návrh telekomunikačního prostředí a je možné přistoupit k volbě typicky pevných a mobilních technologií. V publikaci jsou popsány dostupné pevné i mobilní telekomunikační technologie, včetně jejich vlastností. U některých nových technologií jsou připojeny i diskuze nad aplikačními aspekty v síťových aplikacích, které byly často i motorem jejich vlastního rozvoje. Telekomunikační řešení na bázi TCP/IP, významně podpořené na vrstvě síťového rozhraní zejména protokolem Ethernet, případně ATM, velmi razantně vstoupilo do světa průmyslových telekomunikačních řešení a ty již dokonce dnes vlastně ovládlo stejně, jak se to již před nějakou dobou stalo ve světě IT.

Jelikož mnohé parametry, zejména u mobilních telekomunikačních systémů, jsou těžko splnitelné pouze jednou technologií, jsou v publikaci popsány nové trendy řešení tohoto problému, které spočívají v optimální kombinaci a přepínání dílčích komunikačních systémů. Tento princip je publikován pod zkratkou CALM. Pro tzv. hand-over druhé generace, neboli přepínání mezi telekomunikačními technologiemi na základě aktuální situace, je nutné navrhnout řídicí algoritmus procesu přepínání, neboli management vycházející z předem nastavených pravidel systému CALM. V rámci řešených vědeckých projektů na Fakultě dopravní, ČVUT v Praze jsou testovány různé systémy založené na filtraci dat pomocí Kalmanova filtru a na různě navržených klasifikačních algoritmech. Lze tak optimalizovat preference jednotlivých aplikací, poměr kvality a ceny přenosu informací. Aplikační úroveň si pouze stanoví tyto požadavky a management systému CALM se je pokouší v maximální míře dodržet. Pokud to nelze, je uživatel nebo aplikace o tomto stavu ihned informována, čímž se zvyšuje kvalita diagnostiky a integrity celého telematického řešení.

Autoři publikace mají bohaté zkušenosti s návrhem telematických systémů v oblasti dopravy, kde právě díky nevyřešeným garancím telekomunikačního prostředí nemohou být některé telematické aplikace vůbec nabízeny. Konkrétně jde např. o automatické vedení vozidla na základě komunikace vozidlo-infrastruktura, protisrážkové systémy založené na komunikaci vozidlo-vozdilo atd. Další telematické systémy mohou fungovat jen díky předpokladu, že bylo vytvořeno vlastní telekomunikační prostředí přímo pro danou telematickou aplikaci a toto proprietární řešení bylo navrženo tak, aby vyhovovalo požadavkům dané aplikace. V této oblasti jde např. o dispečerské řízení tunelů, dálkové řízení železniční zabezpečovací techniky, systém elektronického mytí, systém liniového řízení dálnic a podobně. V tomto případě je třeba říci, že telekomunikační prostředí výrazně ekonomicky zatěžuje vlastní telematickou aplikaci a stává se brzdou dalšího rozvoje.

Na základě výše uvedené analýzy lze říci, že díky přístupu uvedenému v této publikaci je možné kvantifikovat požadavky na telekomunikační řešení složitých telematických systémů napříč různými odvětvími a tyto požadavky dále dovést do různých tříd kvality

služeb telekomunikačních operátorů, a to jak pro pevné, tak mobilní sítě. Pokud existují takto exaktně stanovené požadavky, naráží řešitel velmi často na prostý fakt, že masoví operátoři nemají v nabízených portfoliích služeb takové, u nichž nabízí možnost dohody o garanci stanovené kvality služby (SLA). Proto autoři s mírným optimismem sledují připravované legislativní změny EU, shrnuté v dokumentu „Revize telekomunikačního předpisového rámce“. Za předpokladu průchodnosti Evropským parlamentem a úspěšné implementace do českého právního prostředí by mohl vzniknout významný a jasně definovaný prostor pro vznik virtuálních operátorů nabízejících portfolio mobilních služeb s příslušnými garancemi jejich kvality. Za těchto předpokladů lze počítat s využitím služeb vybrané skupiny operátorů pevných a mobilních služeb bez nebezpečí poškození integrity požadované kvality telematických služeb. Jen pro zajímavost a srovnání uvedme, že v době přípravy tohoto textu prošel zmíněný dokument prvním čtením v Evropském parlamentu, což nevylučuje možnost řady změn v jeho znění, než (pokud vůbec) vítězně projde procesy této slovné instituce.

Telematika je bouřlivě se rozvíjející obor, jenž postupně odbourává jednotlivé bariéry mezi specializacemi a vede ke stále vyšším a vyšším formám konvergence. Jak je popsáno v této publikaci, nejprve se hovořilo o konvergenci informačních a telekomunikačních technologií, poté o konvergenci pevných a mobilních telekomunikačních sítí, poté o integraci různých informačních systémů a nyní i o konvergenci řady telematických aplikací (na aplikační vrstvě) s celou řadou různě distribuovaných informačních a telekomunikačních technologií.

Věříme, že předkládaná publikace zprostředkuje odborné veřejnosti aktuální stav rozvoje telematických systémů a přinese inspiraci pro budoucí dynamický vývoj tohoto oboru. Věříme především, že vhodně provedený návrh telematických systémů povede ke zvýšení kvality života a zlepšení struktury předkládaných znalostí a ne k přehlčení obyvatel informacemi pro ně nevýznamné hodnoty.

Tomáš Zelinka

Miroslav Svátek

Praha, 2009

# A

## **Metodika návrhu telekomunikačních řešení pro síťová odvětví**





# 1.

## Architektura telematických systémů síťových odvětví

Inteligentní dopravní systémy (ITS) reprezentují typické příklad síťového odvětví. V České republice je vytvořena národní ITS architektura a strategie pro rozvoj ITS (organizační a legislativní analýza ITS aplikací apod.) v souvislosti se současným a budoucím dopravně-telekomunikačním prostředím České republiky [8] a [9]. Architektura reflektuje několik odlišných pohledů na sledovaný systém a je následovně strukturována:

- ✓ referenční architektura – definuje hlavní rozhraní ITS,
- ✓ funkční architektura – definuje strukturu a hierarchie ITS,
- ✓ informační architektura ITS – definuje informační vazby mezi funkcemi a koncovými prvky, přispívá tak k soudržnosti vazeb jednotlivých funkcí,
- ✓ fyzická architektura – definuje fyzické subsystémy a moduly v souvislosti s požadavky uživatele, legislativních pravidel, organizační struktury apod.,
- ✓ komunikační architektura – popisuje komunikační kanály mezi fyzickými zařízeními architektury ITS s cílem jejich optimalizace,

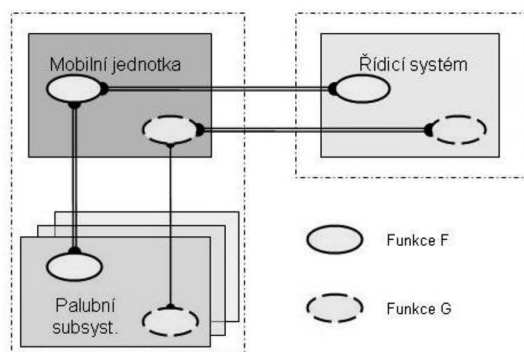
- ✓ organizační architektura – specifikuje kompetence jednotlivých řídicích rovin s cílem optimalizace řízení a kompetencí všech rovin.

Hlavním cílem Národní architektury ITS je zavedení ITS do reálných implementací s využitím odpovídajících optimalizačních nástrojů. Národní architektura je konformní s metodologií KAREN, výsledky ACTIV a částečně i s doporučeními COMETA. Obdobně jsou řešena i další síťová odvětví.

## 1.1 Procesní analýza telematických systémů

Funkční anebo procesní zřetězení je definováno ve fyzických subsystémech nebo modulech s pomocí funkcí F1, F2 a F3. Obdobně je jiný proces definován zřetězením funkcí G1, G2 a G3 – viz obrázek 1.1. Zřetězení funkcí současně definuje informační toky, z nichž se stanoví požadavky na komunikační kanály mezi subsystémy nebo moduly [9].

Zpracované časové a performační požadavky přiřazené rozdílným funkcím a informačním linkám nemusí být vždy konzistentní, protože jsou jednotlivé požadavky stanoveny z různých úhlů pohledu a mohou díky své genezi být navzájem rozdílné.



Obrázek 1.1: Architektura telematického systému

Z konstrukčního pohledu daného systému je možné zvažovat různé alternativy vytvoření:

- ✓ obecného homogenního subsystému, naplňujícího co nejpřesněji systémové požadavky,
- ✓ tříd v rámci subsystému podle soustavy parametrů,
- ✓ modulárního subsystému, kde je možné připojit další modul, pokud narůstá počet systémových parametrů apod.

Stejný princip je možné aplikovat v návrhu komunikačního řešení aplikovaného mezi jednotlivými subsystémy. V analogii s výše zmíněnými přístupy je možné aplikovat v komunikačním řešení:

- ✓ jednotný univerzální komunikační systém,
- ✓ rozdělení telekomunikačního systému na několik tříd, anebo
- ✓ telekomunikační řešení postavit jako modulární s obdobnou možností rozšíření počtu modulů v případě potřeby rozšíření portfolia potřebných komunikačních služeb.

## 1. Architektura telematických systémů...

Stejné přístupy je možné aplikovat v jiných částech telekomunikačních systémů. V každém případě je třeba zvážit, zda každý telematický systém musí mít vlastní subsystemy, anebo zda existuje efektivní možnost sdílení subsystemů více telematickými systémy. S ohledem na významnost ekonomických ukazatelů při volbě komunikačního řešení (cena za telekomunikační řešení představuje jeden z významných limitujících faktorů rychlejšího rozvoje implementace telematických systémů) je zcela legitimním přístupem odklon od privátních telekomunikačních řešení a snaha o dosažení nevyššího možného stupně využití veřejných telekomunikačních služeb. Tento přístup s sebou přináší potřebu přesně specifikovat technické i bezpečnostní (v rámci bezpečnostní politiky) parametry každé služby, která je požadována od veřejného poskytovatele telekomunikačních služeb a v každém případě je nezbytné s poskytovatelem uzavřít smlouvu o garanci dohodnutých parametrů (SLA – Service Level Agreement), která obsahuje i přesně stanovené sankce v případě nedodržení zadaných parametrů.

## 1.2 Dekompozice procesu do modulů

Pokud je proces již dekomponován na fyzické subsystemy, mohou být získány následující výsledky analýzy:

Funkční specifikace stanovená každému subsystemu anebo modulu:

- ✓ přiřazení funkcí subsystemu,
- ✓ přiřazení performačních parametrů,
- ✓ specifikace dat nebo funkcí v databázi nebo subsystemu telematického řešení.

Specifikace rozhraní:

- ✓ stanovení struktury a objemu informace přenášené mezi subsystemy nebo moduly (parametrová synchronizace),
- ✓ časové schéma sdílení informace (časová synchronizace),
- ✓ stanovení specifických parametrů, kterými jsou parametry typu dostupnost, spolehlivost, zpoždění a úroveň bezpečnosti, které charakterizují přenosové podmínky jednotlivých informačních toků na zvoleném rozhraní (optimalizace rozhraní).

Soubor kvantifikačních parametrů (performačních indikátorů) znamená, alespoň v některých případech, možnost zařazení služby s požadovanou specifikací rozhraní do konkrétní třídy služeb – CoS (Class of Service). Třídy služeb jsou stanoveny pro jisté portfolio komunikačních služeb obvykle poskytovaných jedním poskytovatelem, nebo jsou determinovány použitou komunikační technologií.

CoS nepředstavuje závazně specifikovanou kategorizaci podle exaktně stanovených pravidel. To vyplývá mj. i z faktu, že jedním z nosných důvodů vzniku CoS bylo vysoce konkurenční prostředí, které nemělo a doposud nemá (z důvodů diskutovaných dále) sjednocené ani definice jednotlivých performačních identifikátorů.

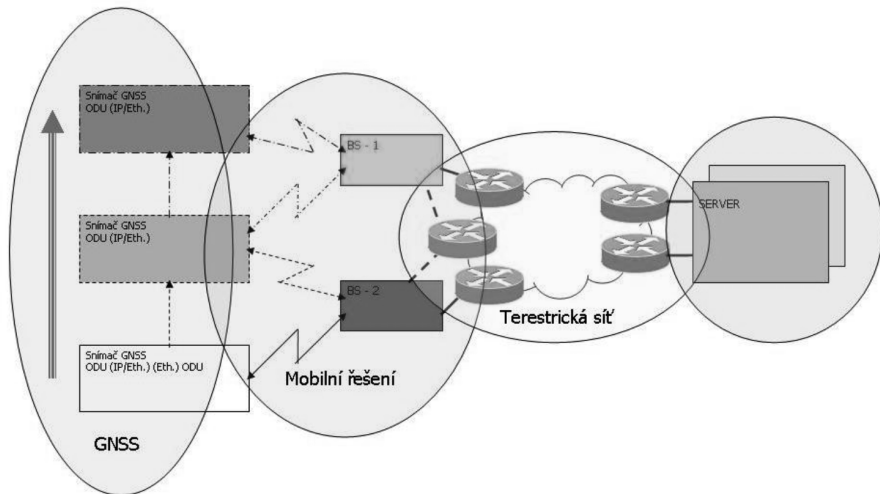
Performační specifikace procesů jsou následující:

- ✓ optimalizace informačních toků v rámci telematického řešení,
- ✓ blokování aplikace chybně přenesené informace,

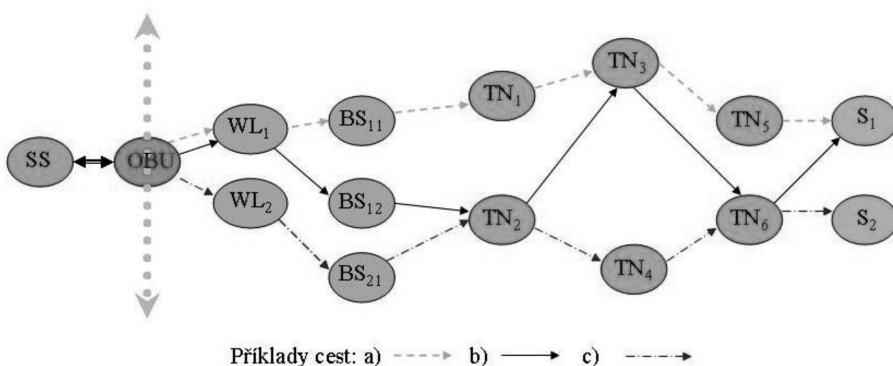
- ✓ minimalizace možnosti výskytu paralelních procesů v rámci telematického řešení,
- ✓ nastavení životnosti informace pro každý proces (např. životnost uchovávaných dat v databázi telematického řešení apod.).

Uvedené principy dekompozice umožňují přesně stanovit požadavky na každou telekomunikační službu a dávají možnost kvantifikovat riziko, pokud požadovaný parametr není dodán.

Dále uvedeme jeden z možných případů příklad dekompozice telematického subsystému, která vychází z navrhovaného řešení projektu s názvem „Monitorování a řízení pohybu objektů po ploše letiště pomocí GNSS“ (Grant MDS 802/210/112) v rámci účasti České republiky v projektu GALILEO. Na obrázku 1.2 je funkční schéma subsystému ve formě řetězce – palubní jednotka s připojeným satelitním navigačním přijímačem GNSS (Global Navigation Satellite System) GPS/Galileo ODU (Out Door Unit) a bezdrátovou palubní buňkovou mobilní komunikační jednotkou WLMCU (WL Cellular Mobile Communications Unit), která je součástí buňkového bezdrátového komunikačního systému tvořeného jednotlivými bazovými stanicemi BS (Base Station). Bazové stanice mohou být bazovými



Obrázek 1.2: Blokové schéma telematického subsystému



Obrázek 1.3: Logické schéma řetězce subsystému ve třech komunikačních alternativách

## 1. Architektura telematických systémů...

stanicemi i různých přístupových technologií. Pokud je aplikován tento princip, musí být ODU vybavena více typy WLMCU a příslušným modulem, který rozhoduje o volbě použité přístupové technologie podle momentálních podmínek pro poskytování přístupové služby a kritérií tomuto modulu zadaných (viz kapitolu 8.1 o standardech CALM). Bázové stanice jsou propojeny mezi sebou navzájem, stejně jako i s dvojicí serverů, terestrickou páteří sítí. Pokud se využívá více alternativních přístupových technologií, musí být v rámci serverů implementovaná příslušná funkcionální podpora umožňující alternování přístupové technologie řízené modulem na straně ODU.

Na obrázku 1.3 je blokové schéma telematického řetězce podle obrázku 2.2.1 s tím, že typem a barvou použité čáry jsou ukázány tři z mnoha možných alternativ komunikačního řešení. SS reprezentuje – snímací systém, OBU (On Board Unit) – mobilní systémová jednotka, WLi – vícenásobné bezdrátové telekomunikační řešení, BSi,j – jednotlivé bázové stanice (i-tého) mobilního systému, TNi – uzel terestrické páteří sítí, Si – řídicí systémový uzel.

Každá konkrétní topologie je dána polohou čidla v rámci oblasti obsluhované základnovými stanicemi jednoho nebo i více přístupových bezdrátových komunikačních systémů, momentálním stavem sítě a jemu odpovídající stromové struktury, která byla stanovena příslušným síťovým protokolem (např. pomocí protokolu RSTP na síti L2 na bázi IEEE Std. 802.3, 802.1d a 802.1q, či procesy systému HYPER-ring).

Palubní mobilní systém obsahuje řídicí palubní výpočetní systém, který komunikuje se snímači jednotkou/jednotkami GNSS, případně dalšími alternativními navigačními systémy, dalšími detektory a aktory a s mobilním terminálem příslušné přístupové mobilní sítě. Jak bylo uvedeno, toto rozhraní se významně komplikuje v případě, že aplikace požaduje možnost výběru z více přístupových komunikačních řešení. Jsou to např. komunikační přístupové systémy na bázi IEEE Std. 802.11b/g/e (Wi-Fi), IEEE Std. 802.16d a IEEE Std. 802.16e (WiMax), IEEE Std. 802.15 (např. 802.15.1 – BlueTooth) a IEEE Std. 802.20 (MWA), GSM C-SD anebo HSCSD, GPRS, EDGE, 5,8 GHz DSRC, IrDA apod. Je nutné, aby v rámci funkcionality ODU docházelo k výběru vhodného řešení podle zadaných kritérií a bylo zajištěno bezproblémové přepínání (viz níže popsaná připravovaná skupina standardů CALM).

Logické schéma podle obrázku 1.3 lze považovat za typické logické schéma telematického řetězce s pohyblivým sledovaným objektem a naše další úvahy týkající se mobilních bezdrátových řešení, které jsou aktuální jen u některých síťových odvětví, budou vycházet z této logické struktury.

## 1.3 Performanční indikátory (performance indicators) telematického subsystému

Systémové parametry lze stanovit k funkci, telekomunikační vazbě, jednotlivým procesům v dopravně-telematickém systému a jednotlivým parametrům, jako např. polohová informace.

V následujících definicích uvedeme jednotný popis těchto parametrů s tím, že tyto parametry jsou definovány obecně tak, aby je bylo možné použít pro celé spektrum telematických aplikací (viz např. [9], [19]):

**Přesnost** je definována jako stupeň shody mezi měřenou a definovanou hodnotou parametru/procesu/funkce:

$$P\left(\left|p_i - p_{m,i}\right| \leq \varepsilon_i\right) \geq \gamma_i \quad (1.1)$$

tedy že rozdíl mezi požadovaným parametrem  $p_i$  a měřeným parametrem  $p_{m,i}$  nepřesáhne hodnotu  $\varepsilon_j$  na hladině pravděpodobnosti  $\gamma_j$ . Uvedený vztah platí i pro vektory parametrů.

Pro ilustraci uvedme, že v případě pilotního projektu systému monitorování pohyblivých objektů po pohybové ploše letiště (viz kapitolu 9) je požadavek daný příslušnými letištními předpisy takový, že chyba polohové informace nesmí překročit v horizontální rovině 7,5 m na hladině pravděpodobnosti 99,9 %.

**Spolehlivost** je schopnost systému plnit požadované funkce bez přerušení během daného postupu v průběhu definovaného časového intervalu:

$$P\left(\left|\bar{v}_t - \bar{v}_{m,t}\right| \leq \varepsilon_2\right) \geq \gamma_2, t \in \langle 0, T \rangle \quad (1.2)$$

tedy že rozdíl mezi požadovanými parametry (vektory parametrů)  $\bar{v}_t$  a měřenými parametry  $\bar{v}_{m,t}$  nepřesáhne hodnotu  $\varepsilon_2$  na hladině pravděpodobnosti  $\gamma_2$  v libovolném čase  $t$  časového intervalu  $\langle 0, T \rangle$ .

U polohové informace je spolehlivost chápána jako podíl dostupnosti lokalizační služby vzhledem k celkové době  $T$  sledování této informace. Čas sledování se typicky určuje jako jedna hodina pro hodnocení pozemních dopravních systémů na stanovené hladině pravděpodobnosti. Pokud je požadavek spolehlivosti systému 99% na hladině pravděpodobnosti 99% v čase 1 hodina, znamená to, že v 99 pokusech ze sta je 99% z 1 hodiny služba funkční, tedy služba není funkční 36 s z jedné hodiny.

**Dostupnost** je schopnost systému plnit požadované funkce při inicializaci (spuštění) systému/procesu podle daného postupu:

$$P\left(\left|q_{m,i} - q_i\right| \leq \varepsilon_3\right) \geq \gamma_3 \quad (1.3)$$

tedy rozdíl požadované hodnoty úspěšného spuštění  $i$ -té funkce/procesu  $q_i$  a naměřené hodnoty  $q_{m,i}$  nepřekročí hodnotu  $\varepsilon_3$  na hladině pravděpodobnosti  $\gamma_3$ .

V případě telematických služeb na letišti je požadováno, aby po aktivaci lokální služby včetně komunikace k serveru byla služba dostupná do 30 sekund po zahájení aktivace na hladině pravděpodobnosti 99% (u GPS lokalizace je tento čas známý jako TTFF – Time To First Fix, neboli čas spuštění služby). Tento požadavek znamená, že provedeme-li 100 náhodných spuštění lokalizační služby, pouze v jednom případě naběhnoutí lokalizační služby trvá déle než 30 s.

**Kontinuita (spojitost)** je schopnost systému plnit požadované funkce/procesy bez (neplánovaného) přerušení (maximální povolená délka přerušení je předem definována) během daného postupu (nebo definovaného časového intervalu):

$$P\left(\left|r_t - r_{m,t}\right| \leq \varepsilon_4\right) \geq \gamma_4, t \in \langle 0, T \rangle \quad (1.4)$$

tedy rozdíl mezi požadovaným maximálním přerušením  $r_t$  a měřenou hodnotou  $r_{m,t}$  nepřesáhne v každém čase  $t$  v intervalu  $\langle 0, T \rangle$  hodnotu  $\varepsilon_4$  na hladině pravděpodobnosti  $\gamma_4$ . Kontinuita má blízko ke spolehlivosti, ale hlavním rozdílem je sledování délky výpadku. Jde tedy o možnost kvantifikace rozložení výpadků – u spolehlivosti můžeme zaznamenat jeden dlouhý výpadek nebo mnoho krátkodobých výpadků. Právě kontinuita dokáže mezi těmito dvěma případy rozlišit a definovat, jaká maximální délka výpadku je povolena.

Na letišti je požadavek maximální délky výpadku lokalizační služby 5 sekund na hladině pravděpodobnosti 99% v časovém intervalu 3 minuty. Znamená to, že v intervalu 3 minuty jsou možné výpadky pouze s maximální délkou 5 sekund. Provedeme-li 100 měření,

## 1. Architektura telematických systémů...