



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

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

3. Metodika návrhu komunikačního řešení	43
4. Modely systémů síťových odvětví pro dokumentaci a standardizaci	47
4.1 Použití UML při analýze a návrhu telematických subsystémů.....	48
4.2 Specifikace UML	49
4.3 Organizace UML modelu.....	52
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
4.4 Definice datových prvků a rozhraní pomocí ASN.1	65
4.4.1 Specifikace protokolu v ASN.1.....	66
4.4.2 Rozšiřitelnost datových prvků a protokolů	69
4.5 Abstraktní a přenosová syntaxe.....	70
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. KONKRÉTNÍ NÁSTROJE ŘEŠENÍ TELEKOMUNIKACÍ PRO SÍŤOVÁ ODVĚTVÍ	79
5. Telekomunikační systémy	81
5.1 Základní vlastnosti telekomunikačních sítí.....	82
5.2 Typy sítí podle topologie.....	83
5.3 Typy sítí podle hierarchie v sítí.....	83
5.4 Typy sítí podle použité fyzické vrstvy.....	84
5.4.1 Metalické	84
5.4.2 Optické	85
5.4.3 Rádiové	85

5.5	Spojové a paketové telekomunikační systémy	86
5.6	TCP/IP architektura	86
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
6.	Páteřní síť.....	93
6.1	Vlnový multiplex WDM.....	93
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
6.2	SDH/SONET	100
6.2.1	PDH systém a rozhraní	100
6.2.2	Architektura systému SDH.....	101
6.2.3	Síťová architektura SDH.....	102
6.3	ATM	103
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
6.4	Ethernet – univerzální terestrické síťové prostředí.....	106
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
6.5	MPLS a L2 IP VPN řešení.....	114
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

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

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

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-vozdlo 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,