

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní

Petr Endel

RFID A JEHO APLIKACE V INTELIGENTNÍCH
DOPRAVNÍCH SYSTÉMECH

Bakalářská práce

2008

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že veškeré materiály, z nichž jsem čerpal pro svou práci, jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

Nemám žádný závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

Podpis:.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, jejichž rady přispěly velkou měrou ke zpracování této bakalářské práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Tomáši Zelinkovi, CSc. za jeho odborné vedení a poskytnutí cenných konzultací, a dále pak Janě Kuklové za pečlivé pročtení a návrhy stylistických úprav textu.

Abstrakt

Autor: Petr Endel

Název: RFID a jeho aplikace v inteligentních dopravních systémech

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Rok vydání: 2008

Počet stran: 71

Klíčová slova: Radiofrekvenční identifikace (RFID), inteligentní dopravní systémy (ITS), elektronický výběr mýta (EFC, ETC), telematický identifikátor

Tato bakalářská práce pojednává o technologii radiofrekvenční identifikace (RFID). Po jejím základním popisu a nastínění současných trendů se zaměřuje na základní zmapování její standardizace, a to jak technické, tak aplikační.

V práci je dále provedena analýza použití RFID v oblasti dopravy a přepravy, následně se zaměřuje na problematiku městského mýtného systému v podmínkách hlavního města Prahy. Zvažuje možné koncepce uplatnění RFID pro tento systém v kontextu dopravně-telematických aplikací.

Abstract

Author: Petr Endel

Title: RFID and its Applications in Intelligent Transportation Systems

University: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Year of publication: 2008

Number of pages: 71

Key words: Radiofrequency Identification (RFID), Intelligent Transportation Systems (ITS), Electronic Fee/Toll Collection (EFC, ETC), telematic identifier

This bachelor thesis disserts on the technology of radiofrequency identification (RFID). After the basic description and the characterization of latest trends this work focuses on the mapping of RFID standardization, both technology and application standards.

The analysis of RFID applications in the transportation is made, consequently the thesis concentrates on broad issue of electronic city toll collection in particular conditions of city of Prague. Different approaches and concepts of the implementation are discussed in the context of intelligent transportation systems.

Obsah

0	Úvod.....	15
1	Přehled technologie RFID	16
1.1	Základní koncept RFID	16
1.2	Stručná historie RFID	16
1.3	Současné možnosti využití.....	17
1.4	Popis RFID systému	17
1.4.1	Prvky systému.....	17
1.4.2	Frekvence RFID.....	21
1.4.3	Komunikace mezi tagem a čtecím zařízením	24
2	Současné trendy implementace.....	28
2.1	Internet věcí	28
2.2	Implementace RFID.....	28
3	Standardy vztahující se k RFID	29
3.1	Stručný přehled	29
3.2	Rozdělení standardů.....	29
3.3	Standardy ISO.....	30
3.3.1	Obecně o ISO/IEC/JTC1	30
3.3.2	Rádiové rozhraní.....	30
3.3.3	Smart cards	31
3.4	Electronic Product Code (EPC)	32
3.4.1	Náhrada čárového kódu?	32
3.4.2	EPCglobal	33
3.4.3	Specifikace EPCglobal	33
3.4.4	Infomace o objektech.....	34
3.5	Near Field Communication Forum	35
3.5.1	Oblast činnosti	35
3.5.2	Vlastnosti standardu.....	35
3.6	Další aplikační standardy	36
3.6.1	Stručný přehled	36
3.6.2	Oblast silniční dopravy	36
4	Využití RFID v dopravě	38
4.1	Shrnutí výhod a nevýhod systémů RFID	38

4.2	Systémové pojetí identifikace	38
4.3	Nástin využití v oblasti dopravy	39
4.3.1	Letecká doprava	39
4.3.2	Námořní doprava	40
4.3.3	Železniční doprava	41
4.3.4	Silniční doprava	43
4.3.5	Městská hromadná doprava	45
5	Využití RFID pro městský mýtný systém	48
5.1	Motivace – současná situace v Praze	48
5.2	Aspekty návrhu mýtného systému v Praze	48
5.2.1	Vymezení zpoplatněné oblasti	49
5.2.2	Data z dopravních průzkumů	49
5.2.3	Další ekonomické aspekty	50
5.2.4	Legislativa o mýtném v silniční dopravě	50
5.3	Řešení problému interoperability	51
5.4	Obsahová organizační architektura navrhovaného systému	52
5.5	Základní analýza použitelných technologií	52
5.5.1	Rozpoznávání registračních značek (ANPR)	52
5.5.2	Satelitní systém (GNSS/CN)	53
5.5.3	Spojení krátkého dosahu (DSRC)	54
5.5.4	Kombinace technologií	54
5.6	Fyzická architektura systému	54
5.6.1	Subsystem zpoplatnění	54
5.6.2	Subsystem dohledu	56
5.6.3	Subsystem back-office	56
5.7	Obsahová komunikační architektura systému	57
5.8	Koncepce pro výběr mýta pomocí RFID	57
5.8.1	Způsob zpoplatnění	57
5.8.2	Realizace identifikátoru vozidla	58
5.9	Rozvinutí myšlenky bezpečnostního telematického identifikátoru	59
5.9.1	Podrobnější popis struktury	59
5.9.2	Role RFID	60
5.10	Navazující telematické služby	61
6	Zhodnocení a závěr	63

Seznam zkratek

1/4	Význam anglicky	Význam česky ¹
ANPR	Automatic Number Plate Recognition	automatické rozpoznávání registračních značek
ANSI	American National Standards Institute	Americký národní standardizační institut
ASK	Amplitude Shift Keying	amplitudová modulace
AVI	Automatic Vehicle Identification	automatická identifikace vozidel
BI	Business Intelligence	
CALM	Communications Air-interface for Long and Medium Range	
CAN	Controller Area Network	lokální síť řídicích jednotek
CEN	European Committee for Standardization	Evropský úřad pro standardizaci
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations	
CRC	Cyclic redundancy check(sum)	cyklický redundantní součet
CSI	Container Security Initiative	
DBP	Differential Bi-Phase	diferenciální dvojfázové kódování
DNA	Deoxyribonucleic acid	deoxyribonukleová kyselina
DNS	Domain Name System	
DSRC	Dedicated Short Range Communication	veřejné spojení krátkého dosahu
EAN	European Article Numbering	
EAS	Electronic Article Surveillance	elektronický dozor nad zbožím
ECMA	European Computer Manufacturers Association	Evropská asociace výrobců počítačů
EHF	Extremely High Frequency	pásmo milimetrových vln [4]
EFC	Electronic Fee Collection	elektronický výběr poplatků
EPC	Electronic Product Code	elektronický kód výrobku

¹ české významy je třeba brát s rezervou, neboť v některých případech se český ekvivalent zkratky nepoužívá, nebo neexistuje

2/4	Význam anglicky	Význam česky
ERP	Enterprise Resource Planning	
ETC	Electronic Toll Collection	elektronický výběr mýtného
ETCS	European Train Control System	evropský vlakový zabezpečovač
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích
EVR	Electronic Vehicle Registration	elektronická registrace vozidel
FCC	Federal Communications Commission	
FDMA	Frequency Division Multiple Access	frekvenční multiplex
GNSS	Global Navigation Satellite System	globální navigační satelitní systém
/CN	/ Cellular Network	/ celulární síť
GPRS	General Packet Radio Service	
GPS	Global Positioning System	
GS1	Global Standards One	
GSM	Global System for Mobile communications (franc. Groupe Spécial Mobile)	globální systém pro mobilní komunikaci
GSM-R	Global System for Mobile communications - Railway	globální systém pro mobilní komunikaci pro železnici
HF	High frequency	pásmo krátkých vln [4]
HW	Hardware	
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
IEC	International Electrotechnical Commission	Mezinárodní elektrotechnická komise
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut inženýrů elektrotechniky a elektroniky
IETF	Internet Engineering Task Force	Komise techniky internetu
IFF	Identification Friend or Foe	identifikace přítele / nepřítele
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	
INCITS	InterNational Committee for Information Technology Standards	Mezinárodní komise pro standardy v informačních technologiích

3/4	Význam anglicky	Význam česky
ISM	Industrial Scientific Medical Band	průmyslové, vědecké a lékařské pásmo
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro standardizaci
ISVS		Informační systém veřejné správy
ITS	Intelligent Transportation System	inteligentní dopravní systémy
JTC	Joint Technical Committee	společný technický výbor
LF	Low Frequency	pásmo dlouhých vln
MF	Medium Frequency	pásmo středních vln
MIT	Massachusetts Institute of Technology	Technologický institut Massachusetts
MPHPT	Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications	Ministerstvo veřejné správy, vnitra, pošty a telekomunikací (Japonsko)
NFC	Near Field Communication	
NFCIP	Near Field Communication Interface and Protocol	
NRZ	Non-Return to Zero	kódování bez návratu k nule
OBU	On-Board Unit	palubní jednotka
OCR	Optical Character Recognition	optické rozpoznávání znaků
ONS	Object Name Service	
PDA	Personal Digital Assistant	
PML	Physical Markup Language	
RFID	Radio Frequency Identification	radiofrekvenční identifikace
RTF	Reader Talks First	čtecí zařízení „mluví“ první
RTTT	Road Transport and Traffic Telematics	silniční a dopravní telematika
RZ	Return to Zero	kódování s návratem k nule
SBB	Suisse Railway Company (něm. Schweizerische Bundesbahnen)	Švýcarské dráhy
SC	Sub Committee	podvýbor
SCM	Supply Chain Management	řízení dodavatelských řetězců
SHF	Super High Frequency	pásmo centimetrových vln [4]
SIM	Subscriber Identity Module	účastnická identifikační karta (v GSM)

4/4	Význam anglicky	Význam česky
SMS	Short Message Service	služba krátkých textových zpráv
SW	Software	
TDMA	Time Division Multiple Access	časový multiplex
TTF	Tag Talks First	značka „mluví“ první
UCC	Uniform Code Council	
UHF	Ultra High Frequency	pásmo ultra krátkých vln [4]
UWB	Ultra Wide Band	ultra široké pásmo
VHF	Very High Frequency	pásmo velmi krátkých vln [4]
WG	Working Group	pracovní skupina
WORM	Write Once Read Many	jednou zapsat, mnohokrát číst
XML	Extensible Markup Language	

0 Úvod

Na technologii RFID je v současné době zaměřena velká pozornost, neboť její uplatnění v řadě oblastí a oborů se nachází ve fázi prudkého rozvoje.

Hlavní potenciál této technologie podle analytických společností spočívá ve zefektivnění dodavatelských řetězců v logistice, nepochybný je i její přínos pro další automatizaci průmyslových procesů. Technologie RFID se stále více uplatňuje nejen v oblasti výroby a logistiky, ale také v každodenním životě lidí, například v bezkontaktních kartách u zabezpečených vstupů budov, u lyžařských lanovek a v celé řadě dalších aplikací. Jednou z perspektivních oblastí uplatnění je i doprava. Myšlenka na využití RFID pro dopravní aplikace se objevila už při zrodu této technologie.

Tato práce si kromě poskytnutí přehledu technologie RFID klade za cíl zmapovat současnou situaci týkající se standardizace a nastítnit budoucí trendy této technologie. Po systematizaci možného použití v dopravě se zaměří na konkrétní aplikaci identifikace pohybujících se objektů – výběr silničního mýta. Na tuto identifikaci se bude dívat v širším kontextu telematických služeb a inteligentních dopravních systémů.

1 Přehled technologie RFID

1.1 Základní koncept RFID

RFID je zkratka anglického Radio Frequency Identification, tedy radiofrekvenční identifikace. Je založena na bezkontaktním získávání dat, uložených v tzv. značkách (nosiče dat, transpondéry, v této práci budeme nejčastěji používat název tag přejatý z angličtiny), které jsou snímány čtecím zařízením (zkráceně čtečkou), jež je případně kombinováno se zapisovací jednotkou. Mezi nimi probíhá přenos dat a energie elektromagnetickými vlnami v oblasti rádiových frekvencí.

1.2 Stručná historie RFID

Poprvé nalezla tato idea praktické použití v padesátých letech 20. století v Británii, jejíž armáda používala rádiovou komunikaci pro rozpoznání spojeneckých letadel od nepřátelských (tzv. Identification Friend or Foe, IFF). V šedesátých letech byla používána pro identifikaci a sledování radioaktivního materiálu. Ovšem stále byla tato technologie spíše záležitostí vědeckých laboratoří než průmyslových podniků. V lednu roku 1973 dostal Američan Mario Cardullo první patent na tuto technologii [49]. V osmdesátých letech už se objevují první snahy o redukci velikosti a také ceny RFID zařízení. Pořád ale tato technologie kvůli poměrně vysokým nákladům stála v ústraní a v komerční oblasti měla malou možnost využití. Až v devadesátých letech se podařilo snížit cenu komponentů natolik, že se RFID v poslední době stále více prosazuje a slibuje velký rozvoj v následujících letech.

V nedávné minulosti našlo RFID uplatnění například v bezdotykových kartách pro lyžařské vleky, vstup do budov a kanceláří, nahrazení klíčů od automobilu, identifikaci dobytka či zaběhlých psů, měření časů závodníků čidlem umístěným na jejich výstroji či v zajištění zboží proti krádeži v prodejnách - zde se jedná o přenos pouze jednobitové informace, tj. zda značka v oblasti dosahu čtecího zařízení je či není, tzv. EAS, Electronic Article Surveillance (poprvé použito bylo už na přelomu šedesátých a sedmdesátých let minulého století v USA [1]).

Jako příklad nedávného uplatnění si uveďme automobilku Audi, která používá tagy RFID k označení vyráběného automobilu [36]. Tato etiketa obsahuje výrobní operace, které je na automobilu třeba vykonat podle objednávky – tím se proces výroby řídí přímo na daném místě, centrální systém jej pouze kontroluje.

1.3 Současné možnosti využití

V současnosti se nabízí nepřeberné množství dalších možností, jmenujme sledování pohybu zboží v logistických centrech, řízení dodavatelských řetězců (Supply Chain Management, SCM) a nákupní centra – nejen pro ochranu zboží před ukradením, ale i pro kontrolu stavu zásob ve skladu či regálech a také jako potenciální náhradu čárového kódu. Obsah nákupního košíku a cenu zboží by šlo při využití této technologie zkontrolovat najednou. Pro velké obchodní řetězce (americký WalMart, německá Metro Group a další) to vše může představovat obrovskou konkurenční výhodu [17]. Jak se ale zmíníme později, RFID bude představovat spíše doplněk k čárovým kódům než jejich náhradu [6].

Dále jmenujme použití v tzv. inteligentních domácích spotřebičích, identifikaci pacientů v nemocnicích, podpoře orientace nevidomých a v neposlední řadě v inteligentních dopravních systémech. Myšlenka využít RFID pro dopravní aplikace, o nichž se ještě podrobněji zmíníme, se objevila už v patentu Maria Cardulla, který navrhoval její použití v systému výběru dálničního mýta.

Je však třeba podotknout, že implementace RFID vyžaduje zabývat se kromě celkové analýzy investice i řešením problému bezpečnosti a ochrany soukromí, na které je dnešní západní společnost vysoce citlivá. Tuto oblast nelze podceňovat, neboť může způsobit celkový neúspěch projektu.

1.4 Popis RFID systému

1.4.1 Prvky systému

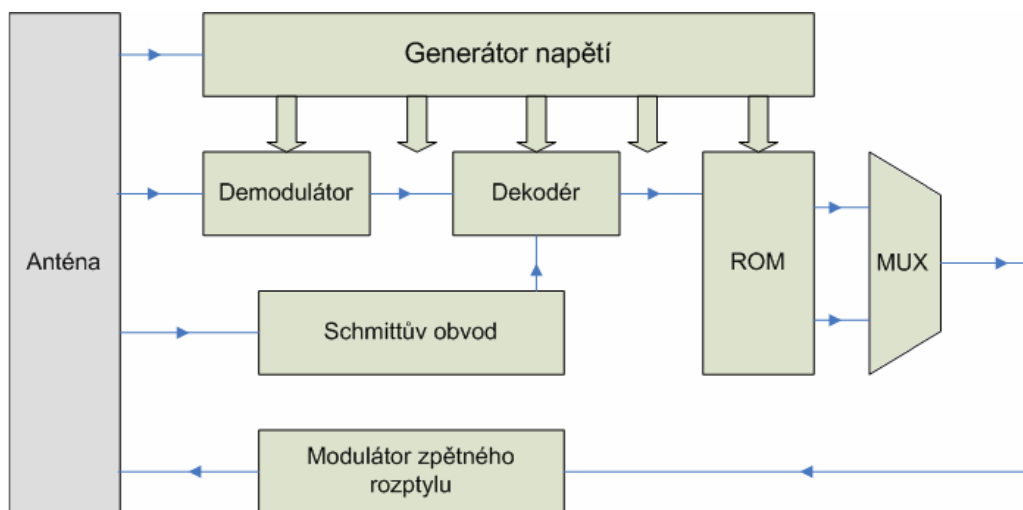
1.4.1.1 Značka (tag)

Značka (nosič dat, transpondér, dále jen tag) je zařízení, které je připevněno k objektu, který chceme identifikovat. Jsou v něm uchována data o objektu potřebná k jeho identifikaci.

Typický tag má tyto hlavní části – anténu, integrovaný obvod a desku s plošnými spoji (podložku). Dle přítomnosti zdroje napětí a jeho účelu rozlišujeme tyto čtyři hlavní druhy tagů:

- Pasivní tag je napájen ze čtecího zařízení prostřednictvím elektromagnetické energie. Má jednodušší konstrukci, je odolnější a levnější než tag aktivní. Datová

kapacita čipu je v současné době v řádu kB [22]. Blokové schéma pasivního tagu ukazuje obrázek 1.



Obrázek 1: Blokové schéma pasivního tagu [31]

- Aktivní tag obsahuje svůj vlastní zdroj energie (např. tenkou lithiovou baterii), který slouží k vysílání dat směrem ke čtecímu zařízení. Může tedy nabídnout mnohem širší funkcionalitu. Vysílat může i bez přítomnosti čtečky, komunikaci se čtecím zařízením tedy může začít jako první. Tagům souvisle vysílajícím data říkáme transmitéry (z anglického transmit = vysílat). Jiné tagy mohou při nepřítomnosti čtečky přejít do úsporného režimu – ty se nazývají transpondéry (zkrácený název z anglického transmitter-responder, respond = odpovídat). Tagy aktivní jsou všeobecně větší a dražší než tagy pasivní. Doba výdrže se pohybuje od dvou do sedmi let.

Následující dvě kategorie se často směřují do jedné:

- Semi-aktivní – obsahují baterii, která je v případě příjmu signálu od čtecího zařízení použita k napájení antény, tedy k zajištění komunikace, nebo k napájení senzorů, nikoliv pro napájení mikročipu – ten je závislý na energii obdržené ze čtecího zařízení [7]. Výhodou proti aktivním tagům je delší životnost baterie, nevýhodou je určité zpoždění komunikace. U těchto tagů je možné zajistit přenos dat na větší vzdálenosti, než je tomu u pasivních tagů (až 18 m [21]).
- Semi-pasivní – mají baterii pro napájení paměťových obvodů a pro vykonávání ostatních funkcí, ale přenos informace je zajištěn energií vysílanou ze čtecího zařízení. Ta je pro přenos využita celá, takže se oproti pasivním tagům také dosahuje větší čtecí vzdálenosti. Čas potřebný k vybuzení tagu je kratší než u tagu

pasivního, takže tento druh je výhodnější v situacích, kdy se sledované objekty vzhledem ke čtečce pohybují vyšší rychlostí.

Z hlediska možnosti zápisu dat do tagu rozlišujeme tagy:

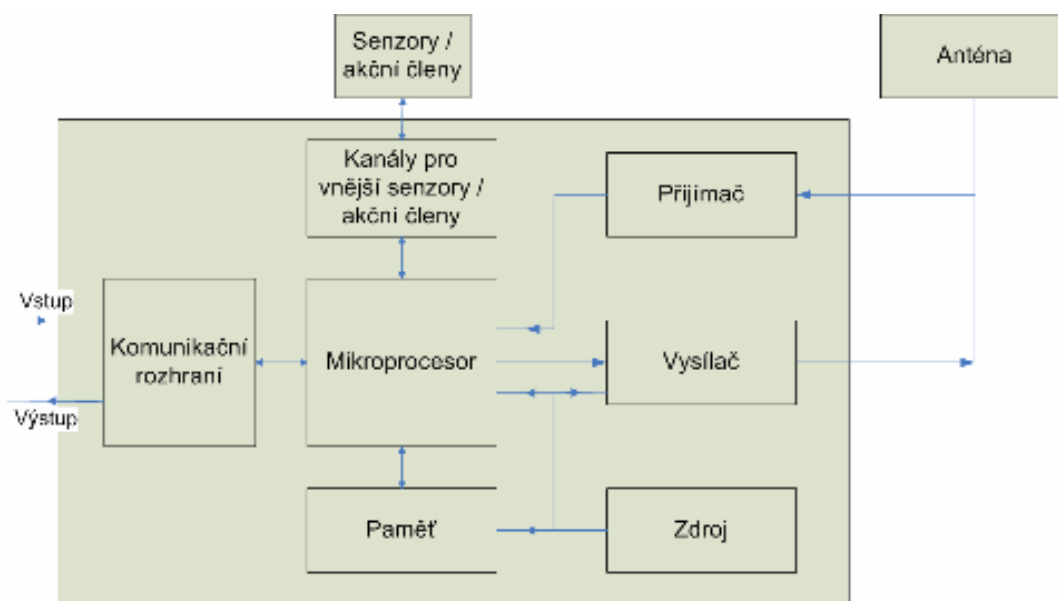
- pouze pro čtení (read only) – obsahují pouze sériové číslo zakódované při výrobě
- jednou zapisovatelné (write once read many, WORM) – do paměti tagu lze jednou zapsat žádaný identifikátor, který je pak neměnný. Tento druh je vhodný například pro etiketu na zboží
- přepisovatelné (read/write) – obsah paměti lze měnit, což přináší mnohem širší možnosti využití.

Na cenu má vliv především velikost baterie, velikost paměti mikročipu a konstrukce mikročipu. Je také třeba brát v úvahu, že u velkých výrobních sérií a zakázek cena za jeden výrobek klesá s rostoucím množstvím.

Tagy mohou mít různé formy, od zapouzdřených zařízení přes identifikační karty až po vytisknuté nálepky s čipem, jejichž anténa je tvořena vodivým inkoustem.

1.4.1.2 Čtecí zařízení

Čtecí zařízení (dotazovač, zkráceně čtečka, anglicky interrogator) je zařízení, které dokáže navázat komunikaci s tagem a přijmout data jím vyslaná. Ty pak dále zpracovává nebo přenáší nadřazenému systému. V určitých aplikacích dokáže toto zařízení i zapisovat nová data či měnit stávající data na tagu (k tomu, jak jsme si již řekli, jsou ovšem potřeba tagy pokročilejší konstrukce). Základní blokové schéma čtecího zařízení vidíme na obrázku 2.



Obrázek 2: Blokové schéma čtecího zařízení

Anténa je ve čtecím zařízení buď zabudována, nebo je externí. Čtečka je v naprosté většině případů propojena s řídicí stanicí (počítačem), která je vybavena potřebným software (SW) na zpracování dat.

Čtecí zařízení můžeme dělit dvojím způsobem – první je dělení podle komunikačního rozhraní, v němž rozeznáváme čtečky se sériovým připojením a se síťovým připojením. Druhé dělení rozlišuje čtečky stacionární a pohyblivé (příruční, anglicky handheld). Stacionární čtecí zařízení, která mají podobu portálů nebo jsou připevněna na zdi, jsou používána častěji.

1.4.1.3 Middleware

Middleware obecně je typ programových prostředků, který umožní skrýt složitost komunikace mezi dvěma nebo více programy, systémy či službami [3]. V aplikacích RFID middleware stojí mezi čtecím zařízením a databází či jiným SW nástrojem. Může mít různé funkce v závislosti na složitosti této SW části systému. Vyhodnocuje data získaná čtecím zařízením, k informaci o identifikačním čísle přečteného tagu a čtecího zařízení může přiřadit časový údaj, sofistikovanější middleware může sledovat i stav baterie aktivního tagu, stav jeho paměti a další užitečné údaje. Další důležitou funkcí je filtrování získaných dat, aby se zabránilo zahlcení databáze redundantními daty. Může také vykonávat jiné naprogramované kroky – vyslání varovného signálu, vydání příkazu akčnímu členu a podobně.

1.4.1.4 Senzory a akční členy

Systém RFID může být doplněn i senzory - v tomto případě už se nejedná pouze o identifikaci objektů, ale také o okamžité či průběžné měření jejich vlastností v průběhu přepravy, skladování, v provozu a podobně. Je zřejmé, že použití senzorů je velmi přínosné v oblasti potravinářství, farmacie, chemického průmyslu a dalších odvětvích, kde jsou látky náchylné k reakci se svým prostředím a případně k degradaci, která nemusí být na první pohled patrná.

Jako první se vyskytly teplotní RFID senzory, zanedlouho k nim přibýly i senzory vlhkosti a nejnověji senzory chemického složení či dokonce senzory DNA.

Data naměřená v určitých časových rozestupech se ukládají do paměti tagu až do okamžiku jejich přečtení. Z tohoto důvodu je nutné využívat tagů aktivních nebo alespoň semi-pasivních.

Můžeme rozlišovat dva druhy RFID senzorů – senzory, jež jsou svou velikostí a hmotností srovnatelné s velikostí tagu, a senzory s rozměry mnohem většími, které RFID využívají jen jako druh bezdrátové komunikace.

Využití akčních členů umožňuje přenést akční zásah do regulované soustavy. Zde je třeba řešit napojení pohonu a regulačního orgánu akčního členu na tag, případně čtecí zařízení. RFID slouží k přenosu informace o požadovaném nastavení regulačního orgánu z řídicího systému. Nejširší uplatnění akčních členů v RFID nacházíme v systémech zabezpečeného vstupu do objektů či vymezených oblastí.

1.4.2 Frekvence RFID

Jak už jsme si řekli, komunikace probíhá na rádiových frekvencích. Tyto frekvence zabírají část spektra elektromagnetického záření a jsou ohraničeny hodnotami 0,3 kHz a 300 GHz. Tomu odpovídají vlnové délky 1000 km a 1 mm. RFID používá zejména frekvence mezi 30 kHz a 5,8 GHz, tj. vlnové délky 10 km až 5 cm.

Vlny s rádiovou frekvencí prostupují většinou nekovových materiálů, takže tzv. tagy mohou být chráněny plastovou fólií nebo vloženy do obalu výrobku, což jim zvyšuje odolnost proti nepříznivým vnějším podmínkám a prodlužuje životnost.

1.4.2.1 Rozdělení dle fyzikálního principu komunikace

V prvním přiblížení můžeme frekvence rozdělit na dva intervaly [32]. První interval je do 100 MHz, kdy tagy pracující na těchto frekvencích využívají indukční vazbu – vzdálenost mezi tagem a čtecím zařízením je proti vlnové délce mnohokrát menší (anglicky near field), energie se tedy přenáší magnetickým polem, antény jsou realizovány vzduchovou cívkou. Druhým intervalem frekvencí jsou frekvence nosné vlny od 100 MHz, využívající zářící/odraznou vazbu (zpětný rozptyl, anglicky backscatter). Při ní je už vzdálenost mezi tagem a čtecím zařízením srovnatelná, respektive větší než vlnová délka (hranicí mezi blízkým a vzdáleným polem je $\lambda/2\pi$), takže se mezi nimi šíří elektromagnetická vlna. Antény jsou v základní podobě tvořeny dipóly (navíc díky menší vlnové délce mají menší rozměry), na straně tagu dochází ke změně některého parametru antény, čímž je ovlivněna podoba odraženého signálu – v rozdílu vyslaného a odraženého

signálu jsou zakódovány bity. V některé literatuře se jako hraniční frekvence užívá hodnota 30 MHz [2].

1.4.2.2 Rozdělení frekvenčního spektra

Běžné dělení frekvencí rádiového spektra je toto:

- nízké a střední frekvence (anglická zkratka LF a MF) – mezi 30 kHz a 3 MHz (typicky 125 kHz, nebo 134,2 kHz). Mají malou přenosovou rychlost a nižší operační dosah (do 0,2 m, při dobrých podmínkách až 0,5 m), ovšem díky delší době používání jsou velmi rozšířeny. Mohou být použity i v hodně nepříznivých podmínkách (bláto, sníh, přítomnost kapalin a kovů). Typicky jsou používány pro kontrolu přístupu, sledování majetku, imobilizéry automobilů, identifikaci zvířat. Velká anténa tvořena solenoidem zapříčiňuje velké rozměry, hmotnost a vyšší cenu tagů.
- vysoké frekvence (HF) – mezi 3 MHz a 30 MHz (typicky 13,56 MHz). Systémy s těmito frekvencemi mají vyšší komunikační rychlost, jsou rovněž „odolné“ proti vnějším podmínkám, atmosférickým vlivům, ovšem kapaliny nebo kovové podložky výrazně zhoršují možnost čtení. Frekvence 13,56 MHz je hojně používána, například pro bezkontaktní karty (Smart Cards), označování zavazadel při přepravě nebo knih v knihovnách. Dosah do cca. 1 m (v případě karet méně, v řádech cm nebo desítek cm), anténa bývá měděná, což má za následek vyšší cenu tagů.
- velmi vysoké frekvence (VHF) – mezi 30 MHz a 300 MHz, které nejsou pro RFID příliš využívány.
- ultra vysoké frekvence (UHF) – mezi 300 MHz a 3 GHz (typicky 915 MHz v USA/Kanadě a 868 MHz v Evropě u pasivních systémů, a dále 2,4 GHz) – vysoká přenosová rychlost, daleký dosah (kolem 3 m, v případě 2,4 GHz jde o vzdálenosti kolem 10 m), ovšem jsou velmi náchylné na přítomnost kovů (s výjimkou nízkých UHF), přes kapaliny je čtení téměř nemožné. Používají se například při převozu automobilů po železnici, sestavování výrobků na automatické lince, výběru mýtného nebo v logistice pro sledování palet a kontejnerů při přepravě a ve skladech. Dipólová anténa umožňuje levnější výrobu tagů.

- mikrovlnné frekvence (SHF, EHF) - 3 GHz až 300 GHz (typicky 5,8 GHz). Vysoká rychlost přenosu (v řádech Mb/s), ale opět špatně použitelné v přítomnosti kovů či kapalin. Tagy mají složitější konstrukci, proto jsou dražší.

V souhrnu můžeme prohlásit, že RFID systémy ve většině případů používají frekvence spadající do volného, bezlicenčního ISM pásma (Industrial Scientific Medical Band) [5].

1.4.2.3 Volba frekvence

Volba vhodné frekvence kromě požadovaného dosahu komunikace, přenosové rychlosti a vlivu okolního prostředí závisí také na maximální přípustné velikosti tagu nebo čtecího zařízení. Hlavní rozměry zejména u pasivního tagu totiž určuje anténa a platí, že pro rostoucí nosnou frekvenci se snižuje její minimální potřebná velikost. Jak už jsme zmínili, při přechodu přes hranici 100 MHz se mění i typ antény. Oblasti vyšších frekvencí jsou z tohoto pohledu výhodné, ovšem jejich nevýhodou je jejich rušení kovy a kapalinami, elektromagnetické rušení a také cena tagů, která se s rostoucí frekvencí zvyšuje.

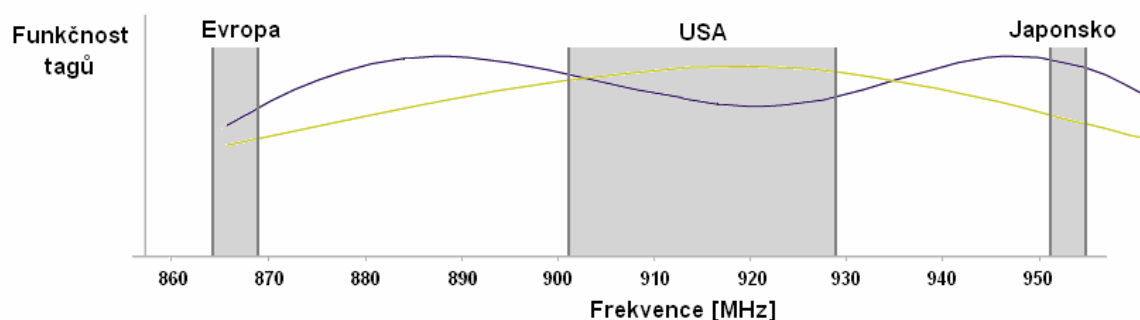
1.4.2.4 Interoperabilita systémů

V globálním měřítku vznikají problémy se standardizací komunikačních frekvencí. V různých částech světa jsou totiž frekvenční spektra rozdělena různě, proto mnohdy není snadné zajistit kompatibilitu systémů RFID s ohledem na používané frekvence. Například frekvence 13,56 MHz je již prakticky standardem a je ji možné využívat kdekoliv na planetě, v pásmu UHF toto ovšem neplatí, každá země má totiž definované a povolené jiné frekvence pro RFID - je to dáno tím, že toto pásmo už je značně vytíženo, a každá země, respektive kontinent, jej má jinak zaplněno, jak je vidět z tabulky 1.

Oblast	Používané frekvence v pásmu UHF [MHz]
Evropa	865,6 až 867,6
USA	902 až 928
Japonsko	952 až 955
Čína	840 až 844,5; 920 až 924,5
Singapur	866 až 869; 920 až 925
Hong Kong	865 až 868; 920 až 925
Austrálie	920 až 926

Tabulka 1: Frekvence pásma UHF používané pro RFID ve vybraných oblastech [63]

Vzhledem k uvedeným výhodám se pásmo UHF používá nejčastěji pro logistické aplikace – sledování zásilek a pohybu zboží. U tohoto odvětví je pro další rozvoj RFID aplikací klíčové, aby byla zajištěna interoperabilita mezi jednotlivými zeměmi, respektive kontinenty. Řešením je používání tagů, které dokáží pracovat na intervalu frekvencí, například od 865 do 928 MHz, což by bylo vyhovující pro použití jak v USA, tak v Evropě. Snahou se stalo vytvoření tagů s rozsahem 850 až 960 MHz, které by byly použitelné na celém světě. Mezinárodní asociace leteckých dopravců IATA testovala interoperabilitu tagů v rámci Evropy, Asie, Severní Ameriky i Afriky a došla k závěru, že pasivní UHF tagy (poskytnuté firmou Symbol Technologies) jsou interoperabilní v rámci všech částí UHF spektra využívaných po celé planetě – určitou představu nám dá obrázek 3.



Obrázek 3: Interoperabilita tagů CHF [20]

1.4.3 Komunikace mezi tagem a čtecím zařízením

1.4.3.1 Čtecí dosah

Vzdálenost mezi čtecím zařízením a tagem musí být dostatečná pro zajištění přenosu potřebného množství energie ze čtecího zařízení do tagu (v případě pasivních nebo semi-aktivních/pasivních tagů) a také pro následné zachycení signálu z tagu čtecím zařízením.

Pro dosah RFID systémů se dle [78] používá vztah

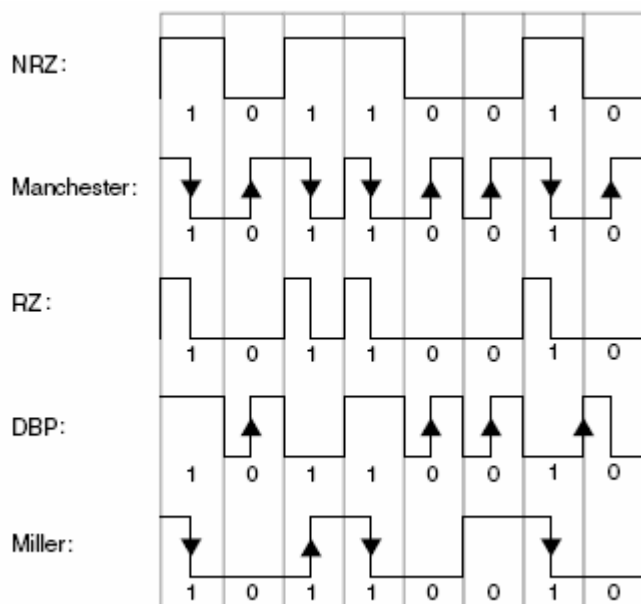
$$r_{\max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \tau}{P_{th}}},$$

kde λ je použitá vlnová délka, P_t je vysílaný výkon čtecího zařízení (dolní index „t“ je z anglického transmitted), P_{th} je prahová hodnota výkonu pro příjem čtecího zařízení, G_t je zisk antény čtecího zařízení, G_r je zisk antény tagu (index „r“ z anglického receiver) a τ je koeficient přenosu výkonu z antény do tagu [2]. Dosah dále závisí na orientaci tagu vůči čtecímu zařízení.

Pro komunikaci není potřeba přímá viditelnost. Ovšem v případě přítomnosti kovů nebo jiných materiálů odrazujících rádiové vlny dochází k odrazům a následným interferencím a k drastickému snížení spolehlivosti přečtení tagu. Proto je při projektování RFID systému v takovýchto prostředích nutné s odrazy počítat, nebo zajistit přímou viditelnost mezi tagem (ten ovšem stále může být umístěn v plastovém či jiném vhodném krytu) a čtecím zařízením. Stejný postup je nutný také v případě kapalin, které pohlcují značnou část energie elektromagnetických vln.

1.4.3.2 Kódování a modulace

Pro vlastní přenos dat, který probíhá přes rádiové rozhraní (anglicky air interface), je nutné zajistit kódování a modulaci signálu. V systémech RFID jsou používána kódování NRZ (Non-Return to Zero, bez návratu k nule), RZ (Return To Zero, s návratem k nule), Manchester, Miller, DBP (Differential Bi-Phase, diferenciální dvojfázové) a další, jak je vidět na obrázku 4. Tato kódování jsou standardizována v technických normách, například v standardu ISO 15693 (viz dále kapitola 2.3.2) pro RFID pracující na frekvenci 13,56 MHz je uvedeno kódování NRZ, Manchester a DBP. Volba konkrétního druhu kódování závisí zejména na požadované spolehlivosti přenosu dat a na implementačních nákladech.



Obrázek 4: Příklady kódování [2]

Pro přenos jednotlivých bitů v sériové komunikaci se používá amplitudová modulace, frekvenční či impulsní modulace, tedy ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), či PSK (Phase Shift Keying) [31]. Využívá se i frekvenčních skoků

(frequency hopping) [19]. V nejjednodušším případě pasivního tagu jde o ASK, kdy pasivní tag neprovádí generování nosné vlny, pouze dopadající vlnu ze čtečky odráží s různou intenzitou, čímž mění obálku vlny (její amplitudu). Jak už jsme uvedli v části 1.4.2.1, řízení odrazu vlny provádí blok anglicky zvaný backscatter (backscattering modulator).

1.4.3.3 Průběh komunikace

Rozlišují se dvě formy zahájení komunikace mezi tagem a čtecím zařízením. Prvním z nich je RTF (Reader Talks First, doslova „čtecí zařízení mluví první“). Při něm tag čeká na výzvu ze čtecího zařízení a až po ní odpovídá na dotaz. Ke komunikaci tedy v případě, že tag je přítomen v dosahu čtečky, nemusí dojít, pokud čtecí zařízení nevyšle svůj dotaz. V případě komunikace TTF (Tag Talks First, doslova „tag mluví první“) tag odpovídá čtecímu zařízení okamžitě, jakmile k tomu má energii, v případě aktivních tagů (lépe řečeno transmitérů) vysílá tag v předem určených časových periodách. To poskytuje mnohem rychlejší doby odezvy a identifikace.

Pro vlastní komunikaci a identifikaci používá čtecí zařízení příkazy, jejichž významy má tag uloženy v integrovaném obvodu.

Některé příklady příkazů [1]:

- příkaz výběru (anglicky select) slouží pro komunikaci pouze s určitou podmnožinou tagů nacházejících se v dosahu čtecího zařízení
- inventární příkazy (inventory commands) se používají k přečtení jednoznačných identifikátorů tagů, také jimi lze tagům přikázat vygenerování náhodného čísla (a jeho uložení do paměti), což má význam pro zamezení kolizí
- přístupové příkazy (access commands) slouží k přístupu uživatelské paměti. Jsou mezi nimi příkazy Read (čti), Write (zapiš), Kill (posloupnost příkazů, které zaručí, že tag definitivně přestane komunikovat), Access (přechod do zabezpečeného stavu), Lock (uzavře některé oblasti paměti pro zápis nebo čtení).

Tyto příkazy jsou nejčastěji používány u pasivních tagů. Aktivní tagy poskytují mnohem větší prostor pro různé komunikační protokoly. Je zde možnost komunikovat přes protokol Wi-fi (IEEE 802.11), ZigBee (IEEE 802.15.4) nebo UWB (Ultra Wide Band)

1.4.3.4 Antikolizní mechanismy

V dosahu čtečky může být v jeden okamžik přítomno několik RFID tagů pracujících na stejné frekvenci, je tedy potřeba ošetřit tuto situaci; to se provádí různými mechanismy detekce a rozlišení kolizí. Ty se rozlišují na dvě velké skupiny – algoritmy na straně čtecího zařízení a na straně tagu [42]. Na straně čtecího zařízení se používá známý frekvenční multiplex FDMA (Frequency Division Multiple Access) či časový multiplex TDMA (Time Division Multiple Access). Základní používané algoritmy na straně tagu jsou Aloha (zejména pro frekvence 13,56 MHz), kdy tagy v případě kolize zastaví komunikaci a každý ji zahájí až po uplynutí náhodně dlouhé doby. Dalším základním algoritmem je tzv. tree walking využívající binární stromy – čtecí zařízení si vybírá ke komunikaci tag podle jeho identifikačního čísla tak, že postupně zužuje pomocí příkazu select podmnožinu komunikujících tagů tak dlouho, dokud mu neodpoví pouze hledaný tag. Tento algoritmus je náchylný k odposlouchávání (anglicky eavesdropping), ovšem existují mnohé modifikace, které toto nebezpečí zmenšují. Tyto modifikace se hojně se používají pro frekvence pásma UHF [1].

2 Současné trendy implementace

2.1 Internet věcí

Při pohledu na vývoj telekomunikačních technologií v posledních letech je zřejmé, že stále více soukromých společností a vládních subjektů bude využívat moderní prostředky pro identifikaci, sledování a propojení svých fyzických aktiv. Jejich následné napojení na světovou síť internetu by tuto funkcionalitu přeneslo do globálního měřítka, vytvořilo by se propojení fyzického a informačního světa [24]. Analytické společnosti mluví o tzv. Internetu věcí (Internet of Things společnosti Gartner [18] nebo Extended Internet, X Internet společnosti Forrester [8]). Uvedené vlastnosti RFID naznačují, že tato technologie v tomto nově vznikajícím systému bude hrát jednu z klíčových rolí.

RFID umožňuje společností zefektivnit sledování zboží v dodavatelských řetězcích (například sledování pohybu kontejnerů, palet, pivních sudů, jednotlivých výrobků), plánování zásob a sledování (inventarizaci) majetku, dále podpořit automatizaci průmyslových procesů (přesnější a spolehlivější manipulace se zavazadly na letištích, identifikace výrobků na linkách), či podpořit bezpečnost (sledování stavu potravin, zdravotní péče, boj proti padělkům léčiv) [11].

2.2 Implementace RFID

Každý subjekt zvažující implementaci RFID ovšem musí zvážit efektivnost (rentabilitu) investice, neboť ta samozřejmě nemůže být zaručena pro každý typ aplikace. Do nákladů je třeba započítat například i úpravy navazujícího softwaru, technickou podporu či nutná školení zaměstnanců.

Za psychologickou hranici pro širší použití RFID byla považována cena pasivního tagu 0,05 amerických dolarů za kus. Tato psychologická hranice je v současné době díky technologickému pokroku už překročena (při velkých zakázkách) a cena dále klesá [11].

Jak už jsme zmínili, pro podporu implementace RFID ve větším měřítku je nejen nutné zajistit odpovídající standardizaci, ale také překonat obavy lidí ze ztráty soukromí – z Velkého bratra, kterého známe z proslulého románu George Orwella 1984. Je zapotřebí vytvořit vyhovující legislativu, která bude dostatečně chránit soukromí lidí a poskytnout právní jistotu jak uživatelům, tak investorům [14]. Poznamenejme, že touto problematikou se v Evropě už zabývá Rada EU a Evropská komise [66].

3 Standardy vztahující se k RFID

3.1 Stručný přehled

Standardizací RFID a související sítíové infrastruktury se v současné době zabývá velké množství organizací. Hlavními představiteli jsou pochopitelně ISO [62], které se zabývá rádiovými protokoly a specifikací struktury přenášených dat, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), řešící RFID z pohledu sítíových požadavků, a také International Electrotechnical Commission (IEC) [30]. Podstatnou roli hrají také průmyslová sdružení EPCglobal (Electronic Product Code) a Near Field Communication (NFC) Forum.

Určení frekvencí používaných pro RFID je v kompetenci jednotlivých státních regulačních úřadů, které se zabývají přidělováním spektra pro různé aplikace. Například v USA je to FCC (Federal Communications Commission), v Japonsku MPHPT (Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications). V Evropě má každý stát svůj regulační úřad, jenž je však včleněn pod evropské úřady ERO (European Radiocommunications Office) a ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Oba dva tyto úřady jsou svázány s CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations). ETSI hraje ve standardizaci RFID podstatně větší roli než ERO [5].

Největší význam v oblasti standardizace RFID mají organizace ISO a EPCglobal.

3.2 Rozdělení standardů

Standardy můžeme obecně rozdělit na standardy, které se zabývají technickými a technologickými specifikacemi, a na aplikační standardy [71]. První skupina v oblasti RFID řeší zmíněné rozsahy frekvencí, přenos dat či komunikační protokoly – zabývá se tedy tím, jak tato technologie pracuje. Druhá skupina řeší reálné využití a použití technologie v praxi – předkládá tedy už aplikace a neřeší, na jakých principech technologie pracuje. Zde se setkáváme s normami pro identifikaci a sledování majetku, pro platební systémy, sledování zboží v dodavatelských řetězcích, identifikaci přepravních kontejnerů, pro použití ve zdravotnictví, ale i pro označování zvířat, zejména psů či dobytka.

Vzhledem k rozsahu této práce se nemůžeme zabývat všemi standardy, zaměříme se tedy na výběr těch nejdůležitějších – po základních informacích o technických standardech ISO

se seznámíme s aplikačními standardy EPCglobal a NFC a zmíníme několik dalších často používaných aplikačních standardů.

3.3 *Standardy ISO*

3.3.1 Obecně o ISO/IEC/JTC1

Jednu z nejdůležitějších rolí v procesu standardizace RFID hraje technická komise ISO/IEC/JTC1 (Joint Technical Committee One, společný technický výbor) a její subkomise SC31, která se skládá ze čtyř pracovních skupin (Working Groups, WG) [7]. Tato subkomise vytvořila standardy jak pro rozhraní RFID s aplikačními systémy a jeho datový protokol (ISO/IEC 15961 až ISO/IEC 15963), tak i protokoly pro rádiové rozhraní mezi čtecím zařízením a tagem (ISO/IEC 18000) [1].

3.3.2 Rádiové rozhraní

ISO/IEC 18000 jsou standardy vytvořeny ISO/IEC/JTC1/SC31 vztahující se ke správě položek (item management). Obsahuje specifikace toho, jak mezi sebou komunikují čtečka a tag při různých používaných frekvencích, včetně způsobu kódování, počtu přenesených bitů nebo antikolizních protokolů.

Má sedm hlavních částí, ISO/IEC 18000-1 se zabývá obecnými parametry komunikace, zatímco ISO/IEC 18000-2 až ISO/IEC 18000-7 už určují konkrétní parametry komunikace na konkrétních frekvencích [35].

ISO/IEC 18000-2 se zabývá frekvencemi pod 135 kHz. Defínuje dva možné způsoby komunikace – plně duplexní (kategorie A) na frekvenci 125 kHz a poloduplexní (kategorie B) na frekvenci 134,2 kHz. Komunikace je pochopitelně v obou případech obousměrná, ovšem ve druhém případě v jeden časový okamžik může vysílat signál buď čtecí zařízení, nebo tag, nikdy ne oba najednou. Tyto kategorie se liší na fyzické vrstvě, ovšem používají stejný protokol a stejné antikolizní algoritmy. Tagy kategorie A přijímají energii ze čtecího zařízení, i když samy vysílají, tagy B po dobu vysílání dat energii nepřijímají. Čtecí zařízení by mělo podporovat oba typy tagů, A i B, nebo v určitých aplikacích jen jeden z nich.

ISO/IEC 18000-3 pokrývá systémy pracující na frekvenci 13,56 MHz, přičemž také rozeznává dva způsoby (módy) komunikace, týkající se práce s pamětí obsaženou v tagu. Tyto módy sice nejsou protichůdné (vzájemně se neruší), ale nejsou navzájem interoperabilní – v aplikacích by se tedy měl používat jen jeden z nich, nutné je také

získání licence. První mód vychází z ISO 15693 (viz 3.3.3) a nepoužívá k uzamčení paměti nebo její konkrétní části na tagu ochranu heslem. Rychlost přenosu je od čtecího zařízení k tagu $1,65 \text{ kb.s}^{-1}$, nebo $26,48 \text{ kb.s}^{-1}$, z tagu ke čtecímu zařízení $26,48 \text{ kb.s}^{-1}$. Druhý mód používá 48 bitové heslo pro přístup k paměti nebo její zablokování, přičemž tag může být naprogramován k vyžadování, nebo nevyžadování tohoto hesla. Rychlosti přenosu jsou vyšší – čtecí zařízení k tagu $423,75 \text{ kb.s}^{-1}$ a v opačném směru $105,94 \text{ kb.s}^{-1}$ na každém z osmi kanálů.

ISO/IEC 18000-4 určuje standard pro frekvenci 2,45 GHz. V tomto případě se dále dělí na dva módy, oba využívají odraz vlny (backscatter) – RTF (Reader Talks First) u pasivních tagů, a TTF (Tag Talks First, viz 1.4.3.3) u tagů aktivních, resp. semi-aktivních, dosahujících přenosových rychlostí až 384 kb.s^{-1} . Baterie umožňuje zvýšit dosah.

ISO/IEC 18000-5 byl určen pro frekvence 5,8 GHz, ale kvůli malému rozšíření nebyl uveden v platnost. První mód vychází z normy CEN 12253 (fyzická vrstva) a dalších norem CEN. Pro úplnost dodejme, že byly definovány i další módy.

ISO/IEC 18000-6 se týká frekvencí UHF, má tři části – A, B a C. Každá z nich se zabývá jiným typem tagů. Typy A a B pracují na frekvencích od 860 do 930 MHz, liší se různým kódováním a antikolizními metodami (typ A používá mechanismus Aloha, typ B binární strom). Typ C odpovídá EPCglobal průmyslovému standardu Class-1 Generation-2 (viz 3.4.3).

ISO/IEC 18000-7 je protokol pro frekvence 433 MHz, zabývající se komunikací RTF. Tag má v paměti své 32 bitové identifikační číslo plus 16 bitové identifikační číslo výrobce, čtecí zařízení je identifikováno 16 bity. Při zabezpečené komunikaci může být využito 32 bitové heslo - v tomto případě je změněn bezpečnostní bit (anglicky secure bit), který určuje, zda se jedná o zabezpečený, nebo nezabezpečený tag. Ministerstvo obrany USA používá tagy vycházející z této normy pro sledování pohybu vojenského nákladu – dosah se pohybuje v řádech desítek metrů a paměť jednoho tagu je až 128 kB.

3.3.3 Smart cards

ISO/IEC 14443 je norma pro identifikační karty, které pracují na frekvenci 13,56 MHz a mají dosah do 10 cm. Standard obsahuje charakteristiku fyzické vrstvy a vlastní protokol pro komunikaci – od způsobu zahájení komunikace až po antikolizní metody. Dělí se na dvě části, A a B, které se liší komunikačním rozhraním; obě přitom dosahují přenosové rychlosti 106 kbit.s^{-1} .

ISO/EIC 15693 se opět týká frekvence 13,56 MHz, popisuje identifikační karty, které mohou být čteny z větší vzdálenosti než karty dle ISO/IEC 14443, a to až z jednoho metru. Rychlost přenosu informací z tagu je až 26,48 kbit.s⁻¹ [2].

Karty vycházející z těchto dvou standardů se hojně používají v systémech městské hromadné dopravy, výběru silničního mýta, kontrole přístupu do budov, věrnostních kartách a dalších aplikacích.

3.4 *Electronic Product Code (EPC)*

3.4.1 Náhrada čárového kódu?

Pro zajištění identifikace v logistických řetězcích bylo nutno vytvořit univerzální kód určité struktury, která by zajišťovala rozpoznatelnost zboží podobně jako čárový kód. V případě RFID by se ovšem nejednalo o identifikaci jednoho druhu (typu) výrobku, jako je tomu u čárového kódu, ale díky většímu množství uložených dat by bylo možné rozeznat každý jednotlivý vyrobený kus a dokonce mít okamžitě k dispozici data týkající se tohoto konkrétního kusu [16]. Díky tomu se často mluví o tom, že technologie RFID má potenciál nahradit čárové kódy, ovšem z ekonomických analýz [12] vyplývá, že RFID bude fungovat jako doplněk k čárovému kódu v určitých aplikacích. RFID sice nabízí mnohé výhody, zopakujme například odolnost v nepříznivém prostředí, možnou změnu uložených dat nebo možnost čtení bez přímé viditelnosti, ovšem plné nahrazení čárového kódu není v blízké budoucnosti z ekonomických důvodů realizovatelné. Pro úplnost dodejme, že spojením tagu a čárového kódu vznikají tzv. smart labels (chytré etikety).

EPC je identifikační struktura, která je uložena v tagu a umožňuje jednoznačnou identifikaci každé jednotlivé položky. Kód EPC má čtyři základní části – záhlaví definující délku, typ a strukturu kódu, dále tzv. EPC Manager identifikující konkrétní společnost, Object Manager (Class) určující typ položky (druh výrobku) a poslední částí je pořadové číslo identifikující konkrétní položku v rámci daného typu. Různé druhy EPC kódu ukazuje tabulka 2.

Typ EPC	Záhlaví [bit]	První bity	ID společnosti	ID typu položky	Pořadové číslo položky	Celkem
			[bit]			
96 bit	8	00	28	24	36	96
64 bit I.	2	01	21	17	24	64
64 bit II.	2	10	15	13	34	64
64 bit III.	2	11	26	13	23	64

Tabulka 2: Struktura různých typů EPC kódů

EPC technologie podléhá registraci pro přidělení EPC identifikátorů – jednak pro koncové uživatele a jednak pro poskytovatele služeb (technické firmy).

3.4.2 EPCglobal

Určením toho, jaká data v jaké struktuře budou obsažena v tagu, ale i ochranou a bezpečností dat, se zabývá sdružení EPCglobal. To je odnoží organizace GS1, která vytvořila GS1 systém zahrnující standardy týkající se automatické identifikace čárovými kódy a elektronického přenášení a synchronizace dat (dříve měl tento systém název EAN UCC - EAN International and Uniform Code Council [47]). Hierarchicky pod ním vznikaly národní organizace GS1, které se zabývají hlavně podporou implementací a uživateli. Výhradní postavení mezi nimi má organizace GS1 US ve Spojených státech amerických, u nás působí sdružení GS1 Czech Republic, přičemž RFID se zabývá pracovní skupina RFID-EPC. Organizace blízká EPCglobal je Auto-ID Center se sídlem na americké MIT (Massachusetts Institute of Technology), původně založená organizacemi EAN UCC a mnoha firmami, jmenujme například Procter and Gamble nebo Gillette.

3.4.3 Specifikace EPCglobal

Všechny specifikace EPCglobal se týkají pasivních RTF (Reader Talks First) RFID systémů. Cílem bylo vytvoření co nejlevnějších tagů, aby byly uplatnitelné v praktických aplikacích [7].

EPCglobal Class-0 pracuje na frekvenci 900 MHz. Identifikátor je 64 nebo 96 bitový, naprogramovaný výrobcem. Pro detekci chyb v přenosu používá 16 bitový cyklický redundantní součet (Cyclic redundancy check, CRC), obsažena je i možnost vyslání příkazu čtecím zařízením, který zablokuje tag pro další komunikaci (anglicky kill command), heslo pro tento příkaz má 24 bitů. Rychlost čtení je až 1000 tagů za sekundu [41].

EPCglobal Class-1 Generation-1 se týká frekvencí 13,56 MHz a 860 až 960 MHz. Frekvence 13,56 MHz se podle této specifikace neuplatňuje, na druhé straně v pásmu UHF, kde se dosahuje větší čtecí vzdálenosti, je EPCglobal Class-1 Generation-1 velmi rozšířen. Identifikátor je 64 nebo 96 bitový, buď přímo naprogramovaný při výrobě, nebo WORM (Write Once Read Many). Obsahuje, stejně jako předcházející specifikace, 16 bitovou kontrolu CRC, tzv. kill command je ovšem zabezpečen pouze 8 bity. Rychlost čtení je 200 tagů za sekundu.

EPCglobal Class-1 Generation-2 má nahradit obě předchozí specifikace. Tag pracující na frekvenci UHF v tomto případě kromě EPC může obsahovat i další paměť s celkovou velikostí až 496 bitů, která může být chráněna přístupovým heslem (o délce 32 bitů). Kromě příkazu „kill“ je možné vyslat i příkaz „lock“ pro dočasné zablokování paměti nebo její části. Specifikace současně řeší i zabezpečení komunikace (proces zvaný cover-coding). Je dosahováno rychlosti čtení až 1600 tagů za sekundu. EPCglobal Class-1 Generation-2 odpovídá normě ISO/EIC 18000-6C.

Pro úplnost dodejme, že jsou definovány i další třídy (až po Class 5), které popisují semi-pasivní i aktivní tagy, zatím ovšem nedochází k jejich praktickému rozšíření.

3.4.4 Infomace o objektech

Na základě jedinečného identifikátoru EPC lze v databázi získat internetovou adresu, kde jsou umístěny dodatečné informace o konkrétním objektu, které nemohou být uloženy přímo v paměti tagu. Tato služba, která každému EPC přiděluje jednoznačnou adresu, se nazývá Object Name Service (ONS) a funguje na stejném principu jako Domain Name System (DNS) v síti Internet, je vlastně jeho podmnožinou [39].

Pro popis fyzického objektu (stejně jako pro průmyslové a obchodní procesy) a pro elektronickou výměnu těchto dat je vyvíjen značkovací jazyk Physical Markup Language (PML), založený na světově rozšířeném jazyku eXtensible Markup Language (XML). Protože musí být schopen popsat objekty ze všech možných oblastí lidské činnosti, zaměřuje se na jejich společné vlastnosti (hmotnost, objem, materiál, teplota, historie atd.) a je modulární [54]. Ukázka tohoto jazyka je na obrázku 5.

```
<part label="engine assembly">
<class>
<system>VIN</system>
<epc>01.10A118.985BE1.1185
<code>
JH4NA1152MT019519
</code>
</class>
<part label="solenoid drive"
epc=01.01518.94E83B.18C1857
<part label="mounting
epc=01.001AC.0000114.000019
<link type="physical">
affixed </link>
```

Obrázek 5: Ukázka PML jazyka [73]

EPC tedy slouží k jednoznačné identifikaci objektu, PML k jeho popisu. ONS přitom spojuje tyto dvě informace dohromady. Toto tvoří jeden z klíčových prvků tzv. Internetu věcí, o kterém jsme se zmínili v podkapitole 2.1.

3.5 Near Field Communication Forum

3.5.1 Oblast činnosti

Near Field Communication Forum je nezisková organizace založená v roce 2004 za účelem rozvoje krátkodosahové bezdrátové komunikace. Dnes má přes 130 členů [69].

Zabývá se zejména rozšířením standardu ISO/IEC 14443 pro identifikační karty. Standard NFC spojuje pasivní kartu se čtecím zařízením a umožňuje jejich integraci do mobilního telefonního přístroje, čímž otevírá obrovské množství nových aplikací a funkcí. Mobilní přístroj tak dokáže nahradit klasickou bezkontaktní kartu (použití například pro placení jízdného v městské hromadné dopravě), umí přečíst tagy pracující na stejné frekvenci (využití například pro přímý marketing, získání informací o výrobku apod.) nebo si může vyměňovat informace s jiným přístrojem.

3.5.2 Vlastnosti standardu

NFC pracuje na frekvenci 13,56 MHz s šířkou pásma přibližně 2 MHz. Pracovní vzdálenost je při použití standardních antén do 20 cm, rychlost přenosu 106, 212, nebo 424 kbit.s⁻¹. Oproti technologii Bluetooth má podstatnou výhodu, kterou je rychlé navázání spojení. Menší dosah oproti Bluetooth je výhodnější při aplikacích vyžadujících určitý stupeň ochrany proti odposlechům [48].

Standardizována je tato technologie v ECMA 340 (European Computer Manufacturers Association) a ISO/IEC 18092. Tyto normy popisují použité modulace, kódování, způsob zahájení komunikace, formát přenášených dat, antikolizní mechanismy a další. Rádiovým rozhraním se zabývají normy ISO/IEC 18092/ECMA-340 a ISO/IEC 21481/ECMA-352 s názvem Near Field Communication Interface and Protocol-1 a 2 (NFCIP-1,2). Současně je však zajištěn určitý stupeň interoperability mobilních přístrojů se zařízeními podle ISO/IEC 14443 (jak skupiny A, tak B). Definovány jsou čtyři typy tagů, které se liší velikostí vnitřní paměti nebo přenosovou rychlostí. Všechny mohou mít nadefinovaný typ paměti (přepisovatelná, nebo jen pro čtení).

Na základě standardů NFC pracuje například karta Felica firmy Sony, která je používána pro zabezpečený vstup do budov a mnoho dalších aplikací včetně elektronické peněženky.

Používá se v systémech městské dopravy v Hong-Kongu (tzv. Octopus Card), Singapuru (EZ-link Card) nebo v mnoha systémech v Japonsku (například TOICA Card) [46].

3.6 Další aplikační standardy

3.6.1 Stručný přehled

Jak už bylo řečeno, různých aplikačních standardů pro RFID existuje celá řada, v tabulce 3 si tedy uvedeme jen přehled některých, se kterými se lze často setkat, a dále se budeme zabývat standardy pro dopravní aplikace v silniční dopravě.

Označení standardu	Oblast aplikací
ISO/IEC 11784 ISO/IEC 11785 ISO/IEC 14223	Označování zvířat
ISO/IEC 17358 ISO/IEC 17363 až ISO/IEC 17367	Dodavatelský řetězec
ANSI/INCITS 256 ISO/IEC 18001	Správa položek (item management)

Tabulka 3: Příklady dalších aplikačních standardů

3.6.2 Oblast silniční dopravy

V oblasti silniční dopravy nacházejí největší uplatnění v oblasti RFID standardy DSRC (Dedicated Short Range Communication, veřejné spojení krátkého dosahu). Ty se zabývají rádiovými prostředky pro komunikaci na krátké vzdálenosti na frekvenci 5,8 GHz, které umožňují komunikaci mezi vozidlem a pevným komunikačním zařízením umístěným nad nebo v blízkosti silniční komunikace (Road Side Equipment, RSE). Frekvenční pásmo 5,8 GHz je shodné v Evropě a Japonsku, v USA se používá 5,9 GHz a navíc i pásmo 900 MHz. Používány jsou směrové antény se směrovými charakteristikami zaměřenými na vozovku. Těmito standardy se zabývá zejména CEN/TC 278 (Road Transport and Traffic Telematics) WG9 spolupracující s ISO/TC 204 (Transport Information & Control System), ETSI a dalšími subjekty.

Je definována fyzická, datová a aplikační vrstva. Fyzická vrstva je realizována buď mikrovlnami, nebo v infračervené oblasti spektra. V aplikační vrstvě DSRC umožňuje realizaci elektronického mýtného, preferenci MHD na světelných signalizačních zařízeních a další dopravní aplikace.

V tabulce 4 si uvedeme příklady českých standardů, které se týkají silniční a dopravní telematiky (Road Transport and Traffic Telematics, RTTT) a s problematikou DSRC souvisejí (ve většině případů se jedná o standardy přeložené z anglických předloh nebo obsahující anglické části) [68]:

Označení standardu	Oblast
ETSI EN 300 674	Elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum. Přenosová zařízení pro DSRC
ČSN EN 12253 (018305)	DSRC – fyzická vrstva, frekvence 5,8 GHz
ČSN EN 12795 (018304)	DSRC - Datová (linková) vrstva DSRC: řízení logických spojů středního dosahu
ČSN P ENV 12834 (018302)	DSRC - Aplikační vrstva - byla zrušena bez náhrady
ČSN EN 13372 (018303)	DSRC - Profily DSRC pro aplikace RTTT
ČSN EN ISO 14815 (018337)	Automatická identifikace vozidel a nákladů - Systémová specifikace
ČSN EN ISO 14816	Automatická identifikace vozidel - Číslování a struktura dat

Tabulka 4: Příklady standardů souvisejících s DSRC a silniční dopravou

4 Využití RFID v dopravě

4.1 Shrnutí výhod a nevýhod systémů RFID

Než přistoupíme k analýze využití RFID v dopravě, stručně shrňme základní přednosti a nedostatky RFID, které vyplývají z již uvedených vlastností této technologie.

Podstatnou výhodou (proti čárovým kódům) je to, že není potřeba přímá viditelnost mezi čtecím zařízením a tagem, ten tedy může být umístěn v ochranném obalu a chráněn tak před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Další možností, pro mnoho aplikací velmi slibnou, je možnost opakovaného přepisování dat uložených v paměti tagu. Čtecí vzdálenosti jsou navíc delší a také je možné načíst velké množství tagů během krátkého časového intervalu („v jednom okamžiku“). Připomeňme, že identifikace probíhá na úrovni jednotlivých položek (viz standard EPC, podkapitola 3.4) [57].

Naproti tomu stojí nevýhody této metody identifikace. Jmenujme vyšší cenu anebo často zmiňovaný fakt, že RFID nedosahuje 100% úspěšnosti při načítání tagů. Je ovšem třeba podotknout, že vyšší cena zařízení je kompenzována většími možnostmi pro zefektivnění procesů, a že ani čárový kód nebo magnetický proužek nezaručují 100% úspěšnost čtení [81]. V tomto případě jsou na RFID kladeny větší požadavky, protože se předpokládá větší úroveň automatizace procesů. V současné době RFID systémy dosahují až 98% úspěšnosti, některé zdroje uvádějí úspěšnost ještě vyšší. Požadavky na plně spolehlivou identifikaci je možno splnit například umístěním dvou čtecích zařízení za sebou nebo zajistit přítomnost tagu ve snímané oblasti vícekrát za sebou (při eventuální různé orientaci tagu vůči čtecímu zařízení).

4.2 Systémové pojetí identifikace

Pro další výklad je rovněž výhodné shrnout systémové pojetí identifikace. V tomto pojetí můžeme identifikaci rozdělit na identifikaci objektu, identifikaci vnitřního stavu objektu a identifikaci polohy objektu. Prvnímu případu byla věnována podstatná část této práce, přičemž jsme se krátce zmínili i o identifikaci vnitřního stavu objektu (v případě napojení RFID na senzory, viz část 1.4.1.4).

Možnosti identifikace polohy v RFID vyplývají z druhu použitého čtecího zařízení. V případě stacionárního zařízení získáme identifikaci načteného objektu i údaj o poloze (s určitou přesností danou dosahem čtecího zařízení), mobilní zařízení by muselo současně obsahovat i přijímač GPS nebo jiné lokalizační zařízení. Poznamenejme, že už existuje

software, který na základě zpoždění odpovědi tagu vypočítává jeho přesnou polohu vůči stacionárním čtecím zařízením [58].

4.3 Nástin využití v oblasti dopravy

Už jsme se mnohokrát zmínili o základních možnostech použití různých druhů RFID v rozličných oblastech lidské činnosti. Uvedme si teď příklady některých konkrétních aplikací pro dopravu a přepravu, které v současné době RFID umožňuje. V nich se vzhledem k uvedeným vlastnostem, zejména pro svůj delší dosah, využívá hlavně pásmo UHF, tj. frekvence v intervalu 850 až 960 MHz u pasivních tagů a 2,4 GHz, kde jde většinou o tagy aktivní (případně semi-aktivní/pasivní), a pásmo mikrovln, tj. frekvence 5,8 GHz.

4.3.1 Letecká doprava

V roce 2005 se IATA (International Air Transport Association, Mezinárodní asociace leteckých dopravců) začala zabývat možnou globální implementací RFID, o dva roky později zveřejnila výsledek své studie [20]. Podle ní by přinesla implementace RFID na 400 největších letištích světa úspory v řádech stovek milionů dolarů za rok pro letecké společnosti (za platby náhrad za ztracená nebo poškozená zavazadla), na letištích by snížila provozní náklady a zvýšila bezpečnost a kvalitu, v neposlední řadě cestujícím by přinesla mnohem lepší informovanost a snížila by počet problémů a stížností. Jednicové náklady jsou vyčísleny na 20 amerických centů za RFID tag, 1600 dolarů na jednu RFID tiskárnu a až 20000 dolarů za nákup a instalaci čtecího zařízení jako součásti odbavovacího systému.

Velkorysá varianta globální implementace byla zvolena pro získání základní představy, samozřejmě se počítá s postupným zaváděním této technologie v průběhu několika let. Ze studie vyplývá, že globální efekt by mělo zavedení RFID na 80 letištích světa (20% celku), což by přesně v duchu Paretova principu přineslo 80% snížení špatného třídění. Z původně testovaných systémů pracujících v pásmu frekvencí HF se přešlo na UHF, konkrétně na standard ISO/IEC 18000-6 typ C.

IATA ve svých studiích uvádí, že u RFID lze dosáhnout v daném prostředí úspěšnosti třídění 99% (oproti 90% čárového kódu), jak jsme se už zmínili, v rámci UHF je podle IATA zajištěna i celosvětová interoperabilita systémů [20].

Testovací provoz proběhl na letištích v Japonsku, USA, dále v Soulu, Kuala Lumpur a některých velkých letištích v Evropě, na dalších letištích v současné době probíhají pilotní projekty, například na letišti v Dubaji [37].

Další příležitostí pro využití technologie čipů RFID je údržba letadel [38]. Například společnost Airbus používá k označení součástí letadel tagy, které obsahují informace o jejich parametrech, úkonech, které s ní byly provedeny, uskutečněných inspekcích a podobně. Zavedení RFID do letecké údržby tak výrazně snižuje riziko chyb způsobených lidským faktorem a zároveň přináší významnou úsporu nákladů, neboť některé studie uvádějí, že letečtí mechanici tráví více než polovinu času hledáním příslušných dílů. Je třeba podotknout, že RFID tagy používané k tomuto účelu musejí být schopny vyrovnat se s vysokými teplotními rozdíly.

Pro uvedení dalších možností pro zavedení RFID se zmiňme o předletové kontrole záchranných vest na palubě letadla. Bez systému RFID je časová náročnost na kontrolu 30 minut, ovšem při použití tohoto systému doba kontroly klesá na 5 minut [28] [81]. Dále jsou zpracovány studie pro zefektivnění procesů v přípravě a rozvozu jídel (anglicky catering) [29].

4.3.2 Námořní doprava

V nákladní námořní dopravě se RFID může uplatnit při sledování zásilek a jejich stavu na volném moři. Uvnitř každého kontejneru je instalován RFID tag společně se senzory otevření kontejneru, teploty, vlhkosti, vibrací a dalšími, které v pravidelných intervalech nebo v případě zaznamenání nepřípustné hodnoty předají informaci do lodního centra. To je přes satelit spojeno s pevninou [60]. Toto řešení vyvíjí mezinárodní konsorcium, které už zavedlo testovací provoz mezi Singapurem, Čínou a Thajskem [33].

Sledování pohybu jednotlivých kontejnerů pak v dopravních terminálech může podstatně zkrátit čas překládky a navíc i zvýšit provozní kapacitu terminálu díky lepší organizaci skladování. Tato technologie je používána například mezinárodní přepravní firmou APL v logistickém centru v přístavu Los Angeles [72], v přístavu Rotterdam je monitorován navíc i pohyb vozidel v terminálu [1]. Vybavením několika tisíc vozidel aktivními tagy se tento projekt stal v roce 2005 největším implementačním projektem RFID na světě.

RFID systémy pro monitorování kontejnerů napomáhají i programu americké vlády Container Security Initiative (CSI) zahájenému v roce 2002 v reakci na teroristické útoky

v září 2001 [64]. V něm hraje podstatnou roli okamžitá detekce neoprávněného otevření kontejneru.

4.3.3 Železniční doprava

V železniční dopravě je použití RFID výhodné vzhledem k velké odolnosti tagů s ochranným obalem i ve velmi nepříznivých podmínkách a v případě vyšších frekvencí i díky identifikaci rychle pohybujících se objektů (rychlosti kolem 200 km.h⁻¹).

V souladu s jednou z hlavních myšlenek European Train Control System (ETCS) dochází k přemístění práce s daty a informacemi a tím i přemístění „inteligence“ z infrastrukturních zabezpečovacích zařízení na řídicí centrálu a na vedoucí vozidlo vlaku. Je ovšem třeba zdůraznit, že používání RFID jako součásti železničních zabezpečovacích systémů musí splňovat přísné požadavky, které jsou spojeny se spolehlivostí, dostupností, udržitelností, bezpečností a dalšími kritérii. Důležité je také zajištění bezpečného přenosu dat.

V této oblasti existují dvě hlavní koncepce, jak uvidíme dále.

4.3.3.1 Čtecí zařízení ve vedoucím vozidle vlaku

V této konfiguraci jsou tagy umístěny v krytech v kolejišti, čtecí zařízení na lokomotivě je při jízdě snímá a má tak informaci o poloze vlaku s přesností závislou na vzdálenosti mezi jednotlivými tagy. Tato informace může být přenášena nejen na stanoviště strojvedoucího, ale i na informační panely pro cestující ve vlaku. Ty mohou navíc nabídnout například informace o zajímavostech v okolí – nabízí se tak nová služba, která může zatraktivnit cestování železniční dopravou. Navíc tato koncepce lze použít i pro automatické zastavování vlaku u nástupiště, kde je přesnost určení polohy velmi podstatná. V případě pokrytí trati signálem GSM (respektive GSM-R) mohou být data přenášena na centrálu.

Tento systém je využíván například u městské rychlodráhy v Taipei na Taiwanu, která funguje bez řidiče [67].

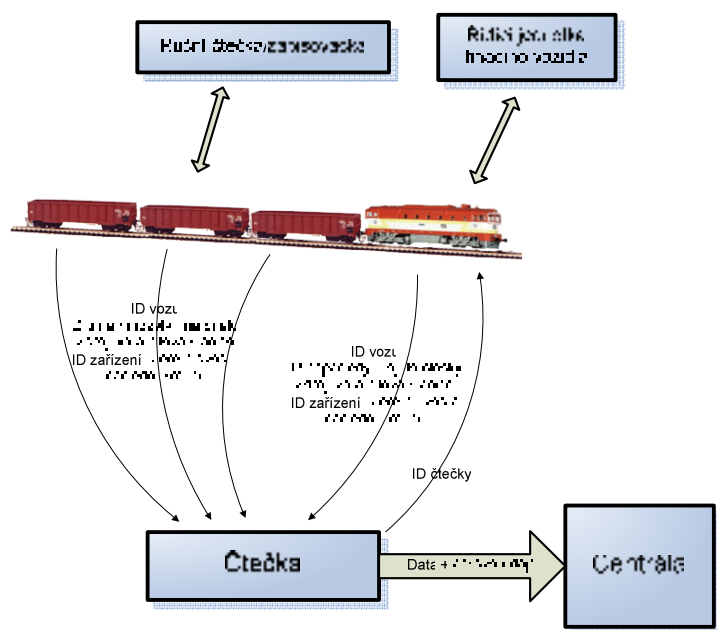
4.3.3.2 Čtecí zařízení v infrastruktuře

Při umístění čtecího zařízení v kolejišti jsou tagy připevněny na vedoucí vozidlo vlaku a případně na ostatní osobní nebo nákladní vozy. Čtecí zařízení jednoznačně identifikují projetá vozidla a zasílají informaci na centrálu, která tak má přehled o pohybech vlaků v rámci celé pokryté oblasti.

Rozpracování této koncepce [75] odkrývá celou řadu možných funkcí tohoto systému. Uvažujme umístění čtecích zařízení před obě zhlaví každé železniční stanice a na každé odbočné trati, případně i na začátku jednotlivých oddílů. Pomocí mediakonvertoru lze přes optickou síť (u nás nainstalovanou podél tratí) vést data do centrály. Přepisovatelné semi-aktivní tagy s dobou výdrže baterie v řádu několika let jsou umístěny na boku vozu, u lokomotiv jsou navíc napojeny na řídicí jednotku. Při sestavování vlaku má obsluha k dispozici ruční čtecí/zapisovací zařízení, kterým u každého tagu (identifikátoru vozu) může nadefinovat důležité provozní informace, například druh a množství přepravovaného materiálu nebo zdrojovou a cílovou stanici.

Při průjezdu vlaku kolem čtečky je zaznamenáno vedoucí vozidlo vlaku i všechny navazující vozy, spolu s časovým údajem a identifikačním číslem čtečky jsou tato data poslána do centrály. Současně předá čtecí zařízení tagu na vedoucím vozidle vlaku informaci o svém identifikačním čísle – na řídicí jednotce na stanovišti strojvedoucího je k dispozici údaj o poloze vlaku (například na digitální mapě). Blokové schéma komunikace je na obrázku 6.

V centrále jsou tedy k dispozici v reálném čase informace o poloze všech vlaků na trati a další údaje o jednotlivých vozech. Tyto informace jsou zařazeny do databáze vlaků. Pomocí ní lze sledovat, zda má vlak jedoucí po trati stále stejný počet vozů, včetně jejich identifikačních čísel – zda kolem čtecího zařízení projel celý. Tím lze potenciálně kontrolovat integritu vlaku.



Obrázek 6: Schéma přenosu informací

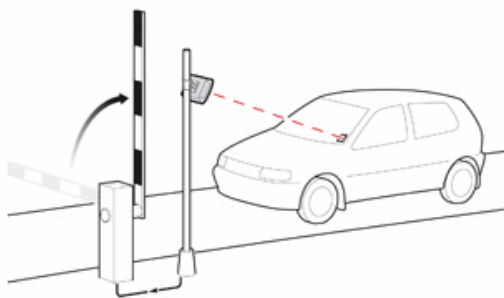
Už v roce 1994 začaly Švýcarské železnice (SBB) s první fází implementace technologie automatické identifikace vozidel pomocí tagů RFID za účelem sledování pohybů na trati, plánování, inventarizace a údržby. Řídící centrum se nachází v Bernu. V první fázi byly nainstalovány přepisovatelné tagy na 1200 lokomotiv a 50 čtecích zařízení na trati. V druhé fázi bylo označováno 4800 vozů (při pravidelné kontrole a údržbě) a přibýlo dalších 230 čtecích zařízení v kolejišti, na výjezdech ze stanic a na křížení tratí. Dosahuje se tak úspor díky rychlejšímu sestavování vlaků, údržbě vozů a celkovému přehledu o poloze každého vozu [70].

4.3.4 Silniční doprava

Možnosti využití RFID v silniční dopravě jsou opravdu široké. Princip identifikace pomocí rádiových vln nachází uplatnění například při kontrole vjezdu do objektů nebo vyhrazených oblastí, ale zejména v elektronickém výběru poplatků – ať už poplatků za parkování nebo výběr dálničního mýta [1]. V návaznosti na to dochází ke sledování, vyhodnocování a řízení provozu na komunikacích. V neposlední řadě může být RFID použito v elektronické registraci vozidel (Electronic Vehicle Registration, EVR) [44].

Spojení krátkého dosahu DSRC, jehož základní popis jsme provedli v části 3.6.2., je hojně používáno pro telematické aplikace silniční dopravy. Jedná se o podmnožinu RFID, kdy přenosové pásmo je 5,8 GHz v Evropě a Japonsku a 5,9 GHz v Severní Americe.

Tag je ve většině aplikací umístěn za předním sklem automobilu, aby bylo co nejvíce zamezeno rušení kovovými částmi vozu. Mohou v něm být obsaženy detailní informace o vozidle. Čtecí zařízení je stacionární, umístěné v blízkosti komunikace nebo v portálu nad komunikací. Velkou výhodou při této koncepci je to, že nevyžaduje žádné dodatečné konstrukční úpravy na vozidle.



Obrázek 7: Příklad použití DSRC v silniční dopravě

4.3.4.1 Elektronický výběr poplatků

Elektronický výběr mýtného je jedna z aplikací, která napadla už Maria Cardulla, když si nechával patentovat základní koncept RFID. Tato technologie umožňuje výběr poplatků závislý na ujeté vzdálenosti na vybrané komunikaci (například na dálnici), zpoplatnění projetí konkrétního úseku (například přjetí mostu nebo projetí tunelem) nebo výběr poplatků za vjezd do určené oblasti (zejména do centra města). První komunikací zpoplatněnou prostřednictvím technologie RFID byla dálnice 407 v oblasti Toronta v Kanadě [1].

Díky vlastnostem technologie lze zajistit víceprúdový výběrový systém, u kterého vozidla nemusí být při svém průjezdu kolem výběrové stanice (Road Side Equipment, RSE) nijak omezena ve svém pohybu – ani rychlostním omezením, ani stavebními úpravami [9]. Tím se zabráňuje snížení bezpečnosti provozu, tvorbě front a zatížení okolního prostředí většími emisemi výfukových plynů a hluku při rozjezdu vozidel.

Čtecí zařízení prostřednictvím své komunikační jednotky předává data o průjezdech vozidel do řídicího centra, které má vazbu na další součásti systému, kterými mohou být registr odcizených vozidel, pojišťovny a další instituce. Součástí systému je dohledový systém, který zajišťuje plnění všech vyplývajících povinností uživateli. Platby pak probíhají na základě smlouvy s provozovatelem, a to buď zpětně fakturací, nebo průběžným odečtením z předem vytvořeného účtu.

Pro výběr poplatků za použití dopravní cesty v silniční dopravě ve většině případů platí, že primárním cílem je financování infrastruktury, sekundárně pak monitorování a řízení dopravy (které má za cíl omezení kongescí), případné sledování pohybu nebezpečných nákladů a v neposlední řadě také vyšší využívání veřejné dopravy.

Elektronický výběr mýtného na bázi RFID byl poprvé použit v roce 1989 v Dallasu [14], v nedávné době byl zaveden například v Portoriku [61] či na Jamajce [55]. Jedna z největších zpoplatněných oblastí se nachází na území Singapuru, kde byl systém RFID nainstalován v roce 1998.

4.3.4.2 Správa firemních vozidel (Fleet management)

Tato aplikace může být využita pro jakýkoli strojový park - kamiony přepravující zboží či stroje na stavebních pozemcích. My se zde zaměříme na prostředky hromadné dopravy osob, konkrétně na autobusy.

Označení autobusů tagy umožňuje jejich snadnou identifikaci na autobusových terminálech, kde jsou čtecí zařízení umístěna na vjezdech, případně u jednotlivých nástupišť. Tím odpadá manuální administrativní činnost, která je časově náročná a nákladná, s možností chyb lidského činitele. S automatickým sledováním autobusů je možné tuto práci nahradit a zefektivnit.

Na dispečerské pracoviště se přenáší čas projetí autobusu kolem čtecího zařízení spolu s jeho identifikací. Ta je v databázi přiřazena konkrétní lince, dispečer tak má přehled o všech vjezdech (porovnáním s jízdním řádem systém vyhodnotí případná zpoždění). Ke zvýšení kapacity terminálu dochází sledováním volných míst u nástupišť v reálném čase – autobusy nemají pevně přidělené nástupiště (což komplikuje vytížení nástupišť v případě zpoždění některé linky), ale jsou na něj směřovány dle potřeby. Samozřejmostí je zobrazení aktuálních informací cestujícím, při umístění čtecích zařízení na příjezdové komunikace k terminálu navíc mají přesnou informaci o tom, kdy jejich spoj na terminál dorazí [53].

Zvýšení kapacity je tedy jedním z hlavních přínosů implementace této technologie, neboť při umístění terminálu v centru města je problematické tento terminál dále stavebně rozšiřovat. Stejně tak může být zavedením RFID snížen zábor půdy nutné pro parkování a pohyb autobusů při nezměněné kapacitě terminálu, respektive část pozemku může být využita rentabilnějším způsobem.

Na konci roku 2007 byl systém nainstalován na dvou terminálech v Montrealu, tentokrát se čtecími zařízeními umístěnými na sloupech veřejného osvětlení v blízkosti vjezdu a výjezdu z terminálu a u nástupišť, napojené na místní síť pomocí ethernetu nebo Wi-fi. Technologie pasivních čipů EPC Gen 2 (UHF) byla v tomto případě vyhodnocena jako nejvýhodnější v porovnání s infračervenými majáčky (vyžadují přímou viditelnost) a aktivních tagů s GPS přijímači (příliš drahé řešení) [27].

Dále například v dánském městě Vejle (s 52 tisíci obyvateli [59]) s terminálem umístěným v centru města došlo instalací RFID tagů na autobusy a čtecích zařízení do povrchové vrstvy vozovky v roce 1999 k podstatnému nárůstu kapacity terminálu.

4.3.5 Městská hromadná doprava

Možnost zefektivnění procesů na autobusových terminálech, což je problematika úzce související i s městskou hromadnou dopravou, jsme podrobně popsali výše (v části 4.3.4.2 o správě firemních vozidel). Je třeba zdůraznit, že při implementaci systému RFID lze

docílit mnohem lepší informovanosti cestujících a tím i zvýšení komfortu dopravy. Popišme si ještě další dvě možná využití RFID, a to v systémech placení jízdného v městské hromadné dopravě a v systémech preference vozidel na křižovatkách.

4.3.5.1 Jízdné (electronic fare collection)

Bezpochyby nejrozšířenější aplikací RFID v městské hromadné dopravě je používání bezkontaktních karet k placení jízdného. Bezkontaktní karta, nástupce karty s magnetickým proužkem, totiž zaručuje rychlejší a spolehlivější čtení dat, kterých na kartě může být umístěno mnohonásobně více. Je tedy možné zajistit použití karet i v jiných bezhotovostních platbách, pro věrnostní programy, pro kontrolu vstupu a podobně.

Největší rozšíření v tomto směru zaznamenal systém Octopus používaný v čínském Hong Kongu. V roce 1997 se začal používat v městské hromadné dopravě [51] a od té doby se rozšířil do téměř všech oblastí každodenních plateb ve městě, od parkování přes prodejní automaty až do supermarketů. Zákazníci mají na výběr anonymní verzi karty nebo osobní kartu, která může sloužit i pro vstup do budov [50]. Zavedením bezkontaktních karet došlo k podstatné úspoře času při peněžních transakcích, které nyní trvají přibližně půl sekundy [40]. Ve městě cirkuluje více než 8,8 miliónů karet, přičemž jako počet obyvatel je v roce 2007 udáváno číslo 6,9 miliónu [52]. Jak už jsme se zmínili v části 3.5.2, tato karta odpovídá standardu FeliCa společnosti Sony.

Pro aplikace v rámci České republiky by bylo vhodné zajistit interoperabilitu mezi jednotlivými městy, kde zavádění takovýchto karet probíhá, nebo kde je ve stadiu přípravy. To by totiž mohlo znamenat podstatné úspory rozložením investičních a především provozních nákladů mezi více účastníků při zvýšení komfortu cestujících. Budoucí realizací tohoto systému, který bude vyžadovat spolupráci mnoha subjektů, se zabývá Sdružení pro dopravní telematiku [25].

4.3.5.2 Preference vozidel MHD

Další možné využití je preference městské hromadné dopravy na křižovatkách. Při něm je čtecí zařízení umístěno u jednoho nebo více ramen křižovatky. Při příjezdu vozidla městské hromadné dopravy označeného tagem zaznamená jeho přítomnost. Na základě priority přiřazené tomuto dopravnímu prostředku (může například proběhnout porovnání s jízdním řádem a tím ke zjištění aktuálního zpoždění) řadič křižovatky provede

požadovanou úpravu signálního plánu. Preference vozidel se nemusí týkat pouze vozidel městské hromadné dopravy, ale také záchranné služby a ostatních vozidel s právem přednosti v jízdě. V tomto případě může systém RFID napojený na řadič křižovatky podstatně zvýšit bezpečnost provozu.

Jako příklad zavedení tohoto systému si uveďme skotský Edinburgh. V první fázi tam byla nainstalována čtecí zařízení na 57 stanovištích a tagy připevněny na 800 autobusů. V této aplikaci čtecí zařízení zahájí komunikaci s tagem poté, co obdrží od indukční smyčky ve vozovce signál o obsazení autobusem. Tento systém dokáže podstatně zkrátit doby jízdy autobusů, po dokončení poslední fáze se počítá se zkrácením o 10% [43].

Dalším příkladem může být projekt Romanse v britském Southamptonu, kde došlo k vytvoření strategické databáze informací o dopravě, která sloužila nejen k řízení MHD, ale i dopravy ve městě celkově. Jedním ze směrů tohoto projektu byla i automatická lokalizace autobusů napojená na informační systém pro cestující – autobusy měly v tomto případě identifikační jednotky komunikující s majáčky podél trasy na frekvenci 200 MHz [10].

Dodejme, že v Praze byl pro přenos informací mezi vozidlem a zastávkovým sloupkem či pro aktivaci slepeckých zařízení (a také pro komunikaci s řadičem křižovatky) vyhrazen kmitočet 80 MHz.

5 Využití RFID pro městský mýtný systém

5.1 Motivace – současná situace v Praze

V této části bakalářské práce se budeme zabývat možností využití RFID pro výběr mýtného v hlavním městě Praze. O této možnosti omezení dopravy v centru města se mluví už několik let. Jako jeden z hlavních cílů zavedení mýtného systému je jmenováno omezení kongescí spolu s navazujícími příznivými důsledky pro životní prostředí v centru města a s tím související častější využívání městské hromadné dopravy. Dalším důležitým efektem jsou příjmy do městské pokladny, které mohou být využity pro financování infrastruktury nebo jiných investic v závislosti na prioritách města. Výběr mýtného tvoří spravedlivý prostředek k alespoň částečné náhradě externalit dopravy - ztrát vzniklých opotřebením svršku komunikací, ekologickými dopady (emise, hluk) a dalšími negativními vlivy.

Podle současného primátora města Pavla Béma by se mělo začít s vybíráním poplatků v centru města v roce 2010 [23]. Centrem města se míní území pražské památkové rezervace, respektive část tohoto území. Cena za den pohybu automobilu v této oblasti by se měla podle plánů radnice pohybovat od 50 do 100 korun.

Je však třeba podotknout, že plná funkčnost výběru poplatků za vjezd do centra by měla být vázána na dokončení městského okruhu a dobudování záchytných parkovišť o dostatečné kapacitě v blízkosti stanic městské hromadné dopravy.

5.2 Aspekty návrhu mýtného systému v Praze

K zavedení mýtného systému je potřeba vyřešit mnoho dílčích problémů, které spadají do oblasti politické, legislativní, technické, organizační a procesní. K politickým aspektům můžeme přiřadit například vymezení zpoplatněné oblasti a způsobu zpoplatnění – toto rozhodnutí však musí být učiněno v těsné návaznosti na ekonomické analýzy (analýza nákladů a výnosů, financování, návratnosti investice a další) a na dopravní analýzy (predikce intenzit dopravy po zavedení mýtného, odklon tranzitní dopravy, návaznost na městskou hromadnou dopravu a další). My v dalších odstavcích této podkapitoly zmíníme jen základní informace potřebné k získání elementární představy o rozsahu mýtného systému v Praze.

5.2.1 Vymezení zpoplatněné oblasti

Investiční náklady je možné v prvním přiblížení (bez specifikace konkrétní použité technologie) rozdělit na „fixní“, které jsou do značné míry nezávislé na rozloze zpoplatněné infrastruktury (které ovšem mohou růst skokem při zvětšující se oblasti) – tzn. centrální dohledové a řídicí centrum, centrum pro komunikaci s uživateli, případná distribuční centra palubních jednotek (On-Board Unit, OBU) a další – a náklady „variabilní“, které závisejí na rozloze zpoplatněné oblasti, respektive na počtu stanovišť. Tento počet je shodný s počtem vstupů do oblasti, pro klasickou městskou síť ulic lze tedy zjednodušeně říci, že tyto náklady rostou s rostoucí rozlohou zpoplatněné oblasti (ovšem optimalizace počtu vstupů může mít velký vliv na snížení nákladů na vybudování systému). K těmto variabilním nákladům můžeme přiřadit i náklady na identifikační jednotky ve vozidlech – je tedy potřeba zvážit i počet vozidel, která budou identifikátorem vybavena.

Pro vymezení základní zpoplatněné oblasti můžeme vycházet z návrhu pocházejícího z roku 2000, kdy poprvé o městském mýtu v Praze začal hovořit tehdejší primátor Jan Kasl [56]. Ten vymezil dvě základní oblasti – městské historické centrum a oblast ohraničenou budovaným městským okruhem. V první fázi by bylo zavedeno mýto při vjezdu do historického centra. Tato oblast může být ohraničena severojižní magistrálou (ta samotná není zpoplatněna), Nábřežím kapitána Jaroše (je zpoplatněno), Mariánskými hradbami, ulicí Jelení a Keplerovou (nejsou zpoplatněny). Dále ulicemi Kartouzskou, V Botanice, Jiráskovým mostem, ulicemi Resslovou a Ječnou (také nejsou zpoplatněny).

Jak je vidět z mapy v příloze A, vymezená oblast má 35 vstupních bodů, na kterých je třeba vybudovat kontrolní stanoviště mýtného systému.

5.2.2 Data z dopravních průzkumů

Do tzv. centrálního kordonu, který je dle ročenky [65] vymezen zhruba stejně jako naše uvažovaná oblast, vjíždělo v roce 2006 za 24 h průměrného pracovního dne 318 000 vozidel (bez autobusů městské hromadné dopravy), z toho 303 000 osobních automobilů. Po zavedení mýtného systému se v souladu s jedním z cílů zavedení mýtného systému předpokládá snížení počtu vjezdů do zpoplatněné oblasti [76].

Dle dopravní ročenky [65] bylo v Praze v roce 2006 zaregistrováno 761 071 motorových vozidel, z toho 605 774 osobních automobilů. Z nich by patrně velká část byla objektem zpoplatnění – musela by být vybavena případným identifikátorem. K tomu je potřeba

připočítat určitou část vozidel mimopražských a eventuálně i zahraničních, i když v případě vhodně umístěných záchytných parkovišť s návazností na městskou hromadnou dopravu je možné předpokládat, že řidiči budou preferovat MHD. Počet potřebných identifikátorů by se tak mohl pohybovat v řádu statisíců.

5.2.3 Další ekonomické aspekty

Rozlišují se systémy unitární, kdy je povinná přítomnost identifikační jednotky OBU ve vozidle (viz dále podkapitola 5.5 a další), a systémy duální, kdy jednotka OBU není povinná – platby lze zajistit i jinými způsoby, prostřednictvím internetu, SMS, speciálních kiosků a podobně. Dle analýzy společnosti Telematix [74] například není satelitní systém s povinnou OBU (viz část 5.5.2) v městských podmínkách České republiky realizovatelný, neboť náklady na něj jsou přibližně 2,5 krát vyšší než na systém duální – s nepovinnou OBU. Nejnižší náklady systémů založených na OBU vykazuje podle této studie duální systém DSRC.

Nabízí se také více modelů pro provedení vlastní platby za vjezd do zpoplatněné oblasti. Pouze zmíníme model předplacených účtů, ze kterých jsou odečítány platby za mýtné, systém „londýnský“, kdy má uživatel možnost zaplatit za vjezd do oblasti ve lhůtě jednoho dne, anebo systém zpětných plateb (anglicky post payment), kdy je uživateli pravidelně (jednou měsíčně) posláno vyúčtování. S tím souvisí i otázky, zda a jakým způsobem zpoplatnit rezidenty dané oblasti, zda zpoplatnit i vjezd v nočních hodinách či o víkendech a řada dalších. Odpověď na ně je ovšem nad rámec této bakalářské práce.

5.2.4 Legislativa o mýtném v silniční dopravě

V právním řádu České republiky vybírání poplatků za užívání dopravní infrastruktury ve městech nemá oporu. V zákonu č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, je zakotveno bezplatné užívání pozemních komunikací, s výjimkou možnou pouze u dálnic a rychlostních silnic. Poplatek za použití pozemní komunikace je spojen pouze s dopravou v klidu, tedy parkováním, a může být stanoven obecně závaznou vyhláškou obce [76]. K základním legislativním požadavkům, které jsou nutné k zavedení mýtného systému v Praze, tedy patří novelizace zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, č. 200/1990 Sb., o přestupcích, č. 565/1990 Sb., o místních poplatcích, a dalších předpisů týkajících se například vymáhání plateb.

Výběrem mýtného v silniční dopravě (obecně, tzn. nikoliv pouze výběrem mýta ve městech) se zabývá celá řada dokumentů vydaných orgány Evropské unie, počínaje „Bílou knihou Evropské komise - o vypracování společné dopravní politiky v budoucnosti“ schválenou v roce 1992.

Například „Směrnice 99/62/ES o výběru poplatků za užívání určitých pozemních komunikací těžkými nákladními vozidly“ rozlišuje pojmy mýtné, které znamená platbu specifické částky za vozidlo projíždějící vzdálenost mezi dvěma body infrastruktury, a uživatelský poplatek, který znamená platbu specifické částky stanovené pro vozidlo za právo používat po dané období infrastruktury [9]. Pro účely této práce ovšem budeme tyto dva pojmy ztotožňovat.

Na území Evropské unie je snaha o zajištění interoperability systémů vybírání mýtného, která je vyjádřena například ve „Směrnici 2004/52/ES o interoperabilitě elektronických systémů pro výběr mýtného“. Tento proces by přinesl mnoho výhod a zjednodušení, ovšem v současné době naráží na řadu problémů, neboť rozpracování a implementace systémů vybírání mýtného probíhaly v jednotlivých členských státech v různé době, s různými technologiemi a strategiemi. Standardizací v oblasti elektronického mýta (Electronic Fee Collection, EFC) se věnuje CEN TC278 WG1, která definovala architekturu systému a potřebnou terminologii [26].

5.3 Řešení problému interoperability

Řešením problému interoperability mýtných systémů je tzv. český hybridní model, který standardizuje rozhraní mezi výběřčím mýta (anglicky toll charger) a centrálním systémem (anglicky central equipment). Toto rozhraní může být jednotné pro fixní (v případě použití technologie DSRC) i virtuální brány (v případě použití satelitní technologie GNSS/CN – Global Navigation Satellite System / Cellular Network). V tomto hybridním systému výběřčí mýta může používat své řešení OBU jednotek spolu se svým serverem, který vytváří zprávy v požadovaném formátu pro centrální systém – teoreticky tedy lze dokonce zajistit funkčnost zahraničních systémů operujících u nás [80]. Výběřčích organizací a použitých technologií může být v jedné zemi několik – u nás tedy DSRC pro dálnice, GNSS/CN pro silnice nižších tříd a například DSRC pro výběr mýta v Praze – přičemž centrální a dohledový systém by stačil jeden. Výhodné by tedy bylo zavedení interoperabilní jednotky OBU, zahrnující všechny v Evropě využitelné technologie.

5.4 Obecná organizační architektura navrhovaného systému

Základem pro tvorbu systémové architektury je standard „prENV ISO 17573 Electronic Fee Collection – System architecture for vehicle related to transport services“. Základní organizační uspořádání v obecné podobě zahrnuje tyto subjekty:

- finanční operátor – distribuuje platební karty, zasílá faktury nebo zajišťuje výběr předplatného za služby
- provozovatel služby – společnost nabízející placenou službu
- vydavatel – zodpovídá za správnou funkci jednotek ve vozidle, za uživatelské terminály, vydávání karet. Zisk z emise zúčtovává přes finančního operátora
- operátor údržby – provádí a spravuje transakce, i pro několik provozovatelů služby
- uživatel – využívá placenou službu, je případně vybaven platební kartou nebo zařízením ve vozidle.

Kromě toho jsou potřebné i dvě nezávislé instituce, a to nezávislý pozorovatel, který sleduje správnou činnost a bezpečnost systému EFC a je zodpovědný za legislativní a právní stránku transakcí, a operátor dohledu, jenž je zodpovědný za hledání a postihování osob, které zneužívají informace o pohybu řidičů nebo jiné důvěrné informace.

Z uvedeného je zřejmé, že systém zavedení mýta je komplexním systémem, u kterého musí být dostatečně definována rozhraní mezi jednotlivými prvky a činnost jednotlivých subjektů musí být správně zkoordinována.

5.5 Základní analýza použitelných technologií

Pro konkretizaci fyzické architektury [15] systému, kterou provedeme v následující kapitole, je potřeba provést základní analýzu technologií, které mohou být použity jako základ celého systému. Na něj pak navazují všechny ostatní části mýtného systému.

5.5.1 Rozpoznávání registračních značek (ANPR)

Rozpoznávání registračních značek (státních poznávacích značek), anglicky Automatic Number Plate Recognition (ANPR) je založeno na počítačovém zpracování digitálního obrazu zachyceného kamerami. Na obrazu se pomocí algoritmů vyhledá oblast registrační značky vozidla a poté algoritmy optického rozpoznávání znaků, anglicky Optical Character Resolution (OCR), rozliší jednotlivé znaky obsažené na značce vozidla.

Vyhodnocení obrazů z kamer může probíhat buď v centrále, nebo distribuovaně v kontrolních bodech.

Tento princip využívá první masově zavedený systém pro zpoplatnění městské aglomerace v Londýně, který byl zaveden v roce 2003. Jeho základní výhodou je, že nejsou nutné žádné úpravy na vozidlech nebo distribuce speciálních vozidlových jednotek.

Nevýhodami tohoto systému jsou vysoké náklady na vybudování sítě kontrolních bodů, které jsou v případě centrálního vyhodnocování obrazu navýšeny o náklady na odpovídající komunikační napojení na centrálu, v případě distribuovaného vyhodnocování vzrostou náklady na hardware a software kontrolních bodů. Další nevýhodou je menší spolehlivost rozpoznání registrační značky za snížené viditelnosti (déšť, mlha, část registrační značky zakrytá sněhem a podobně) nebo při jízdě v kolonách. V případě změny zpoplatněné oblasti je nutno vybudovat nové kontrolní body.

Systém automatického rozpoznávání registračních značek může být využit jako dohledový systém doplňující například technologii DSRC, kdy zabezpečí identifikaci vozidla, které není vybaveno jednotkou OBU. V tomto případě nejsou kladeny takové nároky na kapacitu datového spojení s centrálou, protože objem přenášovaných dat je podstatně menší.

5.5.2 Satelitní systém (GNSS/CN)

Global Navigation Satellite System / Cellular Network (Globální navigační satelitní systém / celulární síť) využívá palubní jednotky ve vozidle přijímající signál z družic (systém GPS, v budoucnu Galileo) k určení polohy vozidla a tzv. virtuální mýtné brány. Ty jsou definovány v případě tzv. „tlusté“ OBU přímo v digitální mapě a databázi palubní jednotky, která do centrály prostřednictvím celulární sítě (datových přenosů GPRS) zasílá údaje o projetých zpoplatněných úsecích. V případě tzv. „tenké“ OBU jsou do centrály odesílána všechna data o poloze jednotky, centrála tato data ukládá a vyhodnocuje, zda se vozidlo nacházelo ve zpoplatněné zóně. Rozdíl mezi těmito typy jednotek je dán zejména jejich rozdílným SW vybavením.

V obou případech tedy není nutné budovat zařízení RSE (Road Side Equipment). Tato alternativa je v případě změny zpoplatněné oblasti flexibilní, protože stačí „pouze“ zajistit aktualizaci informací v centrální databázi, nebo aktualizaci digitální mapy ve všech jednotkách OBU. Důležitou výhodou je také to, že nabízí nejvíce nadstavbových telematických služeb.

Nevýhodou je vysoká cena jednotky OBU, v případě vysoké městské zástavby a husté sítě ulic navíc systém GPS nedosahuje potřebné přesnosti určení polohy vozidla.

5.5.3 Spojení krátkého dosahu (DSRC)

O technologii DSRC jako podmnožině RFID jsme se už několikrát zmínili (například části 3.6.2 a 4.3.4). Její výhodou oproti GNSS/CN je levnější jednotka ve vozidle se snadnější instalací, nevýhodou je nutnost budování zařízení RSE. Při přenosu pomocí mikrovln je třeba řešit i možné problémy s útlumem na metalizovaných sklech některých vozidel.

DSRC v porovnání s kamerovým systémem vyhodnocující obraz v centrále zajišťuje menší datové přenosy mezi stanovišti a centrálou (není přenášena fotografie nebo sekvence, ale pouze identifikační číslo vozidla, identifikační číslo čtecího zařízení a časová značka), v porovnání s kamerovým systémem vyhodnocujícím obraz v místě stanoviště jsou u DSRC menší nároky na vybavení stanoviště potřebným HW a SW.

5.5.4 Kombinace technologií

Už jsme nastínili to, že je možné a často účelné tyto technologie kombinovat tak, aby se zajistila požadovaná úroveň systémových požadavků. Hybridní model zmíněný v podkapitole 5.3 základní problém interoperability těchto tří různých systémů řeší. Například technologie DSRC je doplňována kamerovým dohledem, technologie GNSS/CN by mohla být doplněna o brány DSRC v místech, kde je nedostatečná přesnost určení polohy, a podobně – rozhodnutí by však mělo vždy vycházet z důkladných analýz. Vzhledem k zaměření této bakalářské práce se v dalším textu budeme zabývat zejména technologií DSRC, která nabízí mnoho nadstavbových telematických služeb a pro výběr mýtného v historickém centru Prahy je reálně použitelná.

5.6 Fyzická architektura systému

Pro přehlednost následujícího výkladu použijeme rozdělení mýtného systému na tři základní subsystémy, a to subsystém zpoplatnění, subsystém dohledu a subsystém „back-office“ [74].

5.6.1 Subsystém zpoplatnění

5.6.1.1 Použitá frekvence RFID

Pro identifikaci jedoucího vozidla je běžně používána frekvence 5,8 GHz (v Evropě), která odpovídá standardům DSRC. Pro účely identifikace jedoucích vozidel pomocí RFID může

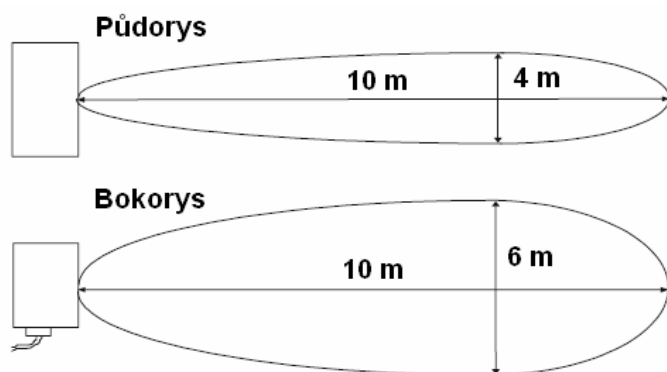
být použita i frekvence 2,45 GHz, která má také vyhovující vlastnosti, ovšem v systémech EFC není příliš využívána.

5.6.1.2 Čtecí zařízení

Kontrolní bod nemusí mít vždy podobu fyzické brány (portálu), u jednoruhových vstupních bodů lze zajistit pokrytí daného pruhu zařízením umístěným vedle komunikace. U čtecího zařízení je třeba zajistit napájení a přenos dat do centrály. Proto se jeví jako výhodné umístění na sloupu veřejného osvětlení nebo na jiném vhodném místě, kde je napájení zajištěno. Přenos dat z kontrolního bodu do centrály může probíhat po metalických kabelech, optických kabelech, pokud jsou k dispozici, nebo bezdrátově – pomocí Wi-fi, mikrovlnnými spoji nebo GSM/GPRS modulu.

Po provedení základní analýzy trhu s produkty RFID v České republice (respektive střední Evropě) byl pro konkretizaci systému RFID vybrán systém identifikace Telides nabízený firmou Elatec, která má v České republice sídlo ve Vysokém Mýtě. Výběr byl proveden na základě porovnání funkčních vlastností dostupných systémů a cen jednotlivých zařízení.

Vyzařovací laloky čtecího zařízení jsou poměrně přesně definovány, jak naznačuje obrázek 8 [77]. Pracovní dosah zařízení Telides je kolem 10 m, další parametry jsou uvedeny v tabulce 5.



Obrázek 8: Vyzařovací laloky čtecího zařízení Telides

Stručné technické údaje	
Frekvence	5,8 GHz
Vyzářený výkon	< 25 mW EIRP (+14 dBm)
Čtecí vzdálenost	0,2 až 10 m
Pracovní teplotní rozsah	-25 až + 80 °C
Napájení	230 V/ 50 Hz
Počet uložených odečtů	4 000 (ID číslo, datum, čas)
Rozhraní	RS 232 nebo RS 422, rychlost 9,6 kBd
Rozměr	240 x 160 x 90 mm

Tabulka 5: Technické údaje čtecího zařízení Telides

Podle informací výrobce v případě, že se v poli čtecího zařízení vyskytne více tagů současně, vzájemně se neruší a čtečka odečte nejbližší identifikátor. Identifikační data spolu s údajem o čase pošle nadřazenému systému. Spolehlivá identifikace pohybujících se tagů může být dosažena pro rychlosti do 200 km.h⁻¹.

Pro pokrytí více jízdních pruhů je potřeba čtecí zařízení umístit na portál a zajistit, aby se jednotlivá zařízení vzájemně nerušila – to znamená „rozladění“ frekvencí čtecích zařízení do jednotlivých kanálů.

Je samozřejmé, že kontrolní bod, tzn. vjezd do zpoplatněné oblasti, musí být dostatečně výrazně označen svislou dopravní značkou, případně vodorovným značením.

5.6.2 Subsystem dohledu

V našich úvahách se podržíme „klasického“ stacionárního dohledového subsystému, tzn. kamer pro ANPR vhodně umístěných u každého jízdního pruhu na stanovišti a napojené na čtecí zařízení DSRC a komunikační síť.

Na českém trhu existují čtecí zařízení RFID, která na základě odrazu elektromagnetických vln od objektů a Dopplerova principu dokáží určit rychlosti (tedy i detekovat přítomnost) pohybujících se objektů, a to i v případě, že tyto objekty nejsou označeny tagem (detekce pohybu, anglicky motion detection). Pro podporu dohledového subsystému by tedy bylo možné využít takto vybavená čtecí zařízení.

Pokud bude ve vymezeném prostoru přítomno vozidlo a současně čtecí zařízení nepřečte identifikační číslo tagu, pak kamera zaznamená obraz, ze kterého speciální SW na stanovišti nebo v centrále odečte registrační značku vozidla. Tím se zajistí dohled nad vjíždějícími vozidly, která nejsou vybavena identifikátorem.

5.6.3 Subsystem back-office

Subsystem back-office je do určité míry nezávislý na technologii pro sběr dat nutných k výběru mýta. Výhodná je pro něj modulární struktura. Patří do něj složky systému, které řídí a kontrolují celý systém, včetně složek bezpečnostních, které zamezují zneužití systému, zabezpečují sledování aplikací a fyzické infrastruktury. Dále obsahuje centrální úložiště dat spolu s nadstavbou ve formě Business Intelligence (BI) poskytující statistiky, náhledy a přehledy uložených dat, podporující tak analytické a případně plánovací procesy. Samozřejmostí je i aplikace pro vyúčtování, která řídí účtovací procesy, fakturaci, vymáhání pohledávek. Nelze opomenout ani složky pro řízení vztahu se zákazníky/uživateli a složky zajišťující distribuci identifikátorů vozidel [74].

Je samozřejmě potřeba zajistit potřebná rozhraní jak mezi jednotlivými částmi samotného subsystému, tak mezi subsystémem back-office a subsystémy zpoplatnění a dohledu, spolu s bezpečným přenosem dat.

5.7 Obecná komunikační architektura systému

Architektura systému DSRC pro výběr mýta bývá navrhována jako třívrstvá. První vrstvu tvoří jednotky ve vozidle (OBU) komunikující se zařízením umístěným v dopravní infrastruktuře (RSE). To je doplněno spojením čtecího zařízení s kamerou ANPR, která zajišťuje dohled pro případ, že vozidlo není vybaveno identifikátorem.

Kontrolní stanoviště je vybaveno komunikační jednotkou pro spojení s centrálou. Tato komunikační vrstva je druhou vrstvou modelu, která zahrnuje i propojení centrály s dalšími součástmi subsystému back-office.

Třetí vrstvu tvoří řídicí centrum DSRC systému, které může mít vazbu na další systémy vně samotného systému vybírání mýta - registr odcizených vozidel, pojišťovny a další instituce. Už ze samotného účelu systému mýta je zřejmé, že komunikace na všech vrstvách musí mít zajištěn bezpečný přenos dat. Samozřejmostí je ochrana soukromí dle platných právních norem.

5.8 Koncepce pro výběr mýta pomocí RFID

5.8.1 Způsob zpoplatnění

Jak vyplývá z uvedených vlastností RFID, tato technologie dokáže zajistit automatický výběr mýtného ve městě jak tzv. kordónovým zpoplatněním, kdy uživatelé platí za přejetí zvolené hranice zpoplatněné zóny kdykoli ji překročí, tak zpoplatněním vstupu do oblasti, kdy se platí pouze za vstup do zpoplatněné oblasti, a to pouze jednou denně (jedná se vlastně o podmnožinu způsobů kordónového zpoplatnění, ovšem bývá zmiňována jako druhá varianta zpoplatnění).

Identifikována mohou být kromě vozidel vjíždějících do oblasti i vozidla oblast opouštějící, což by spolu s časovými značkami u každého průjezdu kolem čtecího zařízení poskytlo přesný čas jednotlivých vozidel strávený uvnitř oblasti. To by přineslo cenná data pro dopravní analýzy a umožnilo i určitou formu výkonového zpoplatnění, ovšem vyžadovalo by to umístění čtecích zařízení a dohledových kamer i na výstupy z oblasti, což by v prvním přiblížení znamenalo jejich dvojnásobný počet. Náklady na tuto variantu

by tedy podstatně vzrostly, my zde proto uvažujeme umístění čtecích zařízení pouze na vstupy do oblasti.

5.8.2 Realizace identifikátoru vozidla

V části 5.6.1 nebyl úmyslně zmíněn identifikátor vozidla, neboť problematika s ním související je poměrně rozsáhlá. Identifikátor, jehož základním prvkem je v našem případě RFID tag, totiž může v základním rozdělení identifikovat vozidlo (tzn. vlastníka vozidla), anebo osobu řidiče vozidla, která se nemusí s vlastníkem vozidla shodovat. Může tedy být pevně spojen s vozidlem, přičemž oddělení od vozidla by vyžadovalo provedení takového mechanického zásahu, kterým by identifikátor přestal plnit požadované funkce (což znamená i ochranu před pokusy o odcizení identifikátoru). Druhá alternativa je identifikátor přenosný (dočasný), který řidiči budou umisťovat na předepsané místo na (ve) vozidle. O tomto způsobu se mluvilo jako o náhradě dálničních známek v České republice, ovšem ukazuje se, že přenositelné viněty jsou dosti problematickým řešením [34] [45]. Jak uvidíme dále, je možná i kombinace těchto dvou možností. Důsledky volby mezi těmito alternativami mají dopad na vyšší vrstvy architektury systému a organizační strukturu.

5.8.2.1 Identifikátor vozidla

Pro identifikaci vozidla lze použít RFID aktivní tag připevněný oboustrannou lepicí páskou na vnitřní stranu předního skla vozidla, a to buď v pravém dolním/horním rohu skla, nebo v prostoru vnitřního zpětného zrcátka (v souladu s instalací čtecího zařízení tak, aby byla zajištěna co nejvyšší spolehlivost přečtení tagu). Tato varianta má největší výhodu v tom, že nevyžaduje žádné zásahy do konstrukce vozidla. Není tedy potřeba vytvářet síť servisních pracovišť pro montáž identifikátoru vozidla, pouze stačí zajistit distribuci identifikátorů. Životnost baterie aktivních tagů se pohybuje v řádu několika let.

5.8.2.2 Identifikátor řidiče

Jako nadstavbu nad uvedeným řešením je možno chápat OBU jednotku s identifikačními daty vozidla, do které by řidič vkládal kartu se svými identifikačními daty pro finanční operace. Nabízí se analogie se sítí GSM a kartou SIM (Subscriber Identity Module) vkládanou do mobilního telefonního přístroje, která jednoznačně identifikuje daného uživatele pomocí IMSI (International Mobile Subscriber Identity) a dále obsahuje ověřovací klíče a algoritmy nutné k zajištění bezpečného přenosu dat.

Použití určité formy elektronické peněženky v tagu, ze které by čtecí/zapisovací zařízení odečítalo kredit je problematické z toho důvodu, že k zápisu dat je potřebná menší vzdálenost od čtecího/zapisovacího zařízení než při čtení dat. Rychlost zápisu je také nižší, což by nemuselo postačovat k plynulému průjezdu vozidla kolem RSE.

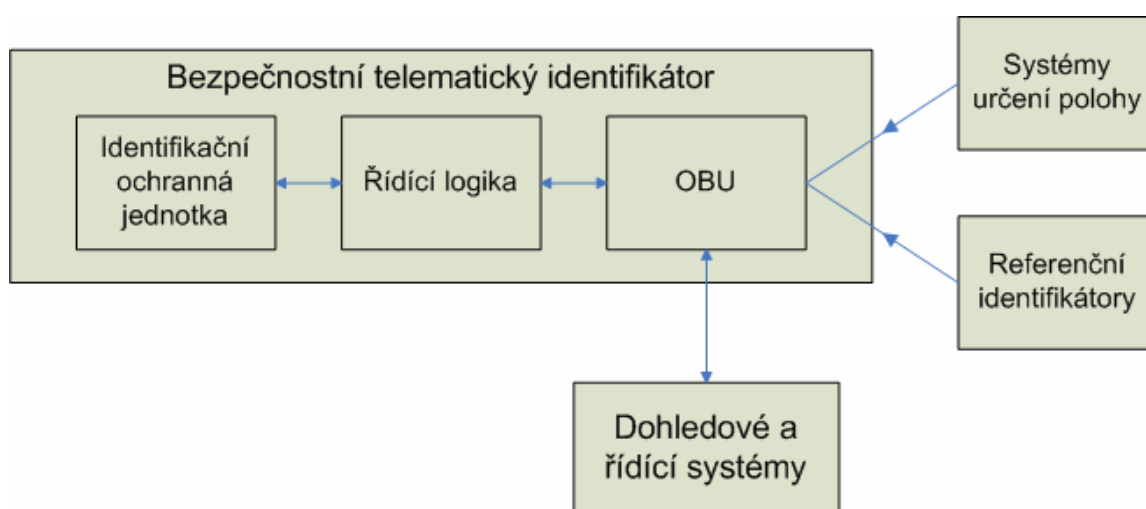
5.8.2.3 Bezpečnostní telematický identifikátor

Takzvaný bezpečnostní telematický identifikátor byl navržen jako řešení problémů současného výběru mýta na dálnicích, konkrétně problémů spjatých s úmyslnými narušeními systému uživateli se snahou vyhnout se placení mýtného. Tento identifikátor umožňuje bezpečnou identifikaci polohy a pohybu vozidla po dopravní infrastruktuře. Jeho technické řešení spočívá v tom, že k vozidlové jednotce OBU je prostřednictvím komunikačního rozhraní přiřazena přes řídicí logiku fyzicky oddělená identifikační ochranná jednotka, která je bezpečně mechanicky fixovaná na vozidlo, respektive na jeho vhodnou část. Bezpečnostní telematický identifikátor tvoří právě tato ochranná jednotka spolu s vozidlovou jednotkou OBU a řídicí logikou [13].

5.9 Rozvinutí myšlenky bezpečnostního telematického identifikátoru

5.9.1 Podrobnější popis struktury

Zmíněná struktura bezpečnostního telematického identifikátoru s vazbami na okolí je naznačena v blokovém schématu na obrázku 9.



Obrázek 9: Blokové schéma bezpečnostního telematického identifikátoru [13]

Vozidlová jednotka OBU zpracovává informace ze systémů určení polohy, jakým může být například GNSS nebo majáky DSRC, případně z dalších referenčních identifikátorů. Tato jednotka pak komunikuje s dohledovými a řídicími centry, které zpracovávají a vyhodnocují informace od telematických identifikátorů. Tato komunikace může proběhnout na otevřeném telekomunikačním prostředí jako je například GSM/GPRS, přičemž vlastní přenos je realizován s vložením ochranných a zabezpečujících znaků z identifikační ochranné jednotky a řídicí logiky.

Řídicí logika obsahuje algoritmy monitorující narušení funkčnosti systému, přičemž pracuje s informacemi z ochranné identifikační jednotky a jednotky OBU (například údaje o poloze projetých úseků, časové informace, ale také informace z akcelerometru, dalších referenčních identifikátorů a podobně).

Ochranná jednotka obsahuje v mikročipu kromě bezpečnostních kódů a jedinečných rozpoznávacích dat i charakteristiky vozidla nebo jeho částí – je tak velmi obtížné jakýmkoli způsobem narušit integritu vozidla. Má v sobě implementovanu také řadu ochranných prvků detekujících nestandardní užívání, jakým je například úmyslné poškození nebo neoprávněný zásah.

5.9.2 Role RFID

Identifikační ochranná jednotka tedy může být realizována RFID tagem, který bezkontaktně zajišťuje i potřebnou vazbu na řídicí logiku. Díky své datové kapacitě může obsahovat všechna požadovaná data i údaje o registraci, technických kontrolách apod.

Identifikační ochranná jednotka by měla být umístěna na, uvnitř, nebo vně těžko odnímatelných částí vozidla nebo na částech, které jsou nutné pro provoz vozidla z technických nebo legislativních důvodů. Aby tag mohl plnit i funkce spojené s identifikací v kontrolních bodech mýtného nebo jiného systému, může být pevně spojen například s čelním sklem automobilu případně s jeho čelní registrační značkou.

Samotný tag implementovaný bez jednotky OBU tak může být levnější a instalačně méně náročnější variantou pro zajištění zpoplatnění například zahraničních uživatelů systému, přičemž pro „stálé“ uživatele se nabízí právě bezpečnostní telematický identifikátor rozšiřující funkcionalitu celého systému. Klíčové je ovšem zajištění otevřeného rozhraní mezi RFID tagem a řídicí logikou, respektive jednotkou OBU, pro zajištění vnitřní komunikace. Funkcionalitu dále může rozšířit napojení OBU jednotky na elektroniku vozidla například sběrnici CAN.

Toto komplexní řešení redukuje náklady na dohled telematických aplikací, neboť zajišťuje spolehlivou vazbu mezi vozidlovou jednotkou OBU a vozidlem. Umožňuje tak do vozidlové jednotky OBU implementovat záznamový systém o pohybu vozidla, na který pak je navázán systém zpoplatnění. Tato koncepce rovněž umožňuje rozvoj nových telematických služeb.

5.10 Navazující telematické služby

Nabízí se celá řada možných paralelních využití jednoznačné automatické identifikace vozidla v telematických aplikacích a inteligentních dopravních systémech, ať už ve vybírání poplatků za parkování, sledování nebezpečného nákladu, správě firemních vozidel nebo dalších aplikacích.

Po zajištění potřebné ochrany soukromí řidičů vozidel je možné také zavedení nomádních čtecích stanišť, která by mohla být po určitou dobu rozmístěna na vybraných stanovištích ve městě (nejen ve zpoplatněné oblasti) pro účely dopravních průzkumů – měření zejména cestovních dob, ale i dalších dopravních charakteristik v dané části města. Po nasbírání dostatečného množství dat by se tato nomádní zařízení přesunula na jiná stanoviště.

Základní kategorizace telematických služeb rozeznává čtyři základní skupiny. První z nich jsou telematické služby využívající data ze serverové části systému elektronického mýtného (tedy služby nezávislé na technologii OBU) – tyto služby vesměs využívají informačního propojení s Informačním systémem veřejné správy (ISVS) pro kontrolu dokladů vozidla, kontrolu plateb pojištění a daní, pro kontrolu registru vozidel apod. Dále se může jednat například o statistiky pohybu vozidel po dopravní infrastruktuře.

Druhou skupinou jsou telematické služby závislé na použité technologii OBU jednotek. Ty v případě DSRC využívají identifikaci uživatele a lokalizaci v místech jednotlivých kontrolních bodů – mohou sloužit k detekci kongescí, platbám parkovného a podobně.

Další kategorií telematických služeb jsou ty, které využívají informační vazbu OBU jednotky a elektroniky vozidla. OBU jednotka může být informačně propojena s elektronikou vozidla, např. pomocí sběrnice CAN. Zde je ovšem nutná úzká spolupráce s výrobcí automobilů. K těmto aplikacím patří zpoplatnění vozidla dle jeho aktuálního technického stavu (například podle úrovně emisí), zjištění aktuální hmotnosti vozidla a podobně.

Poslední skupinou jsou telematické služby využívající infrastruktury dohledového systému. Jde o služby, které přímo stavebně souvisejí se systémem dohledu, například sekční kontroly měření rychlosti vozidel na dopravní infrastruktuře, vážení vozidel za jízdy nebo kontrola klasifikace vozidel. Kontrolní místa mohou být využita jako přístupové telekomunikační body pro komunikační, informační, navigační a platební služby (s návazností na standardy CALM, řešící předání přístupové služby alternativnímu přístupovému řešení, pokud je identifikován potenciál změny) [79].

Z výše uvedeného přehledu telematických služeb je zřejmé, že systém elektronického mýtného lze chápat také jako základní informační a telekomunikační infrastrukturu pro poskytování těchto služeb.

6 Zhodnocení a závěr

V této bakalářské práci byl proveden základní popis technologie RFID - její historie, základních prvků a vazeb mezi nimi – a naznačeny nejnovější trendy, které slibují další rozvoj této technologie a její široké uplatnění v budoucnosti. Jedním z nich je tzv. Internet věcí, jenž má potenciál v budoucnu propojit informační svět se světem fyzickým.

Byla provedena analýza jak základních technických, tak aplikačních standardů zabývajících se RFID, které tvoří rychle se vyvíjející systém se snahou mezinárodních organizací usnadnit globální rozvoj této technologie.

Jedním z hlavních záměrů této práce bylo analyzovat možná použití RFID v dopravně-přepavním řetězci s konkrétními příklady současných aplikací v jednotlivých druzích dopravy. V těchto aplikacích dochází k nespornému zrychlení procesů, zvýšení kapacity, snížení nebezpečí chyb lidského činitele, a tedy k tvorbě podstatných úspor.

Po této analýze se práce zaměřila na aktuální problematiku zavedení mýta v historickém centru hlavního města Prahy. Po zmapování aktuální situace zmínila aspekty, které je při zavádění mýtného systému brát v úvahu, a uvedla hlavní výhody a nevýhody použitelných technických řešení. Mezi nimi technologie RFID, respektive její podmnožina DSRC, tvoří plnohodnotnou alternativu, která umožňuje několik variant vlastní identifikace vozidel a způsobu zpoplatnění.

Jako klíčový se jeví problém zajištění interoperability jednotlivých mýtných systémů za účelem používání jediné palubní jednotky ve vozidle a vyřešení problémů, které jsou spjaty s detekcí neoprávněných zásahů do systému či obcházení systému. Řešením prvního problému je otevřený systém, který ovšem respektuje všechny požadavky na bezpečný přenos dat. V problematice narušení systému může být řešením bezpečnostní telematický identifikátor, jenž zajišťuje detekci nestandardního užívání identifikátoru vozidla.

Zavedení mýtného systému má celou řadu navazujících aplikací, jejichž podrobnější popis může být námětem k další práci.

Příloha A: Mapa zpoplatněné oblasti s označením kontrolních bodů

[použit software Google Earth]



Použité zdroje

Knihy, analýzy, patenty

- [1] BANKS, Jerry, et al. *RFID Applied*. USA : Willey, 2007. ISBN 978-0-471-79365-6
- [2] FINKENZELLER, Klaus. *RFID Handbook (Second Edition)*. USA : Wiley,
Published Online: 21 Jul 2003. Print ISBN 9780470844021, Online ISBN
9780470868027, DOI 10.1002/0470868023
- [3] GÁLA, Libor – POUR, Jan – TOMAN Prokop. *Podniková informatika*. 1. vyd.
Praha : Grada, 2006. ISBN 80-247-1278-4
- [4] HANUS, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení
technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2002. ISBN
80-214-1833-8
- [5] HUNT Daniel – PUGLIA, Albert – PUGLIA, Mike. *RFID-A Guide to Radio
Frequency Identification*. USA : Technology Research Corporation, Published
Online: 1 Aug 2006. Print ISBN 9780470107645, Online ISBN 9780470112250, DOI
10.1002/0470112255
- [6] CHERNOFSKY, Irving. *Will RFID Challenge Bar Codes in the Warehouse?* Gartner
Research, 2000-11-24
- [7] KARYGIANNIS, Tom et al. *Guidelines for Securing Radio Frequency Identification
(RFID) Systems* [online]. [2007] [cit. 2008-04-13]. Dostupný z WWW:
http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-98/SP800-98_RFID-2007.pdf
- [8] OVERBY, Ch. S. – DALEY, E.. – BARTELS, A. *Global Extended Internet Forecast
2006 to 2012*. Forrester's Research Collection, Forrester Research Inc. c2006
- [9] PŘIBYL, Pavel. *Intelligentní dopravní systémy a dopravní telematika II*. 1. vyd. Praha
: ČVUT v Praze, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-
03648-8
- [10] PŘIBYL, Pavel – SVÍTEK, Miroslav. *Intelligentní dopravní systémy*. 1.vyd. Praha :
BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-029-6
- [11] RAMOS, Laura et al. *RFID: The Complete Guide*. Forrester Research, and Forrester
Colloection, c2005
- [12] STEIDTMANN, Carl. *Synchronicity: An Emerging Vision of the Retail Future:
A Deloitte Research Consumer Business Brief*. USA : Deloitte Development LLC,
2004. ISBN 1-892383-00-4, 2004

- [13] Telematix s. r. o., Praha – TELwork s. r. o., Mladá Boleslav. *Zapojení vozidlové jednotky OBU v telematickém systému*. Původce vynálezu: SVÍTEK Miroslav – ŠINDELÁŘ, Libor. Datum zveřejnění: 11.01.2006. Česká republika. Patentový spis 15997.
- [14] THORNTON, Frank et al. *RFID Security*, Rockland : Syngress, c2006. ISBN 1-59749-047-4
- [15] VOTRUBA, Zdeněk – KALIKA, Marek – KLEČÁKOVÁ, Jana. *Systémová analýza*. 1. vyd. Praha : ČVUT v Praze, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02896-8
- [16] WOODS, Jeff. *Client Issues for Building an RFID and Sensory Network*. USA : Gartner Research, 2005-11-19
- [17] WOODS, Jeff. *Management Update: Why Wal-Mart Is Still Excited About RFID*. USA : Gartner Research, 2005-02-09
- [18] WOODS, Jeff. *RFID Enables Sensory Network Strategies to Transform Industries*. USA : Gartner Research, 2004-11-19

Internetové články (autor uveden)

- [19] BERAN, Martin. *Pro větší kapacitu* [online]. 2000 [cit. 2008-04-11]. Dostupný z WWW:
<http://archiv.computerworld.cz/cwarchiv.nsf/clanky/CB551A1CE2105DEBC12569B00056D757?OpenDocument>
- [20] BONDARENCO, Nicolas – PRICE, Andrew. *RFID Business Case For Baggage Tagging* [online]. 2007 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW:
<http://www.iata.org/NR/rdonlyres/99091491-CB49-4913-BAB4-EA578CA814CC/0/RFIDforbaggagebusinesscase21.pdf>
- [21] DOLEŽAL, Luboš. *Dotkněte se RFID* [online]. c2007 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <http://www.rfid-epc.cz/download/prezen/RFIDWorkingGroup-UvodDoTechnologie.pdf>
- [22] CHURÝ, Lukáš. *Technologie RFID* [online] 13.06.2005 [cit. 2007-12-01]. Dostupný z WWW: <http://programujte.com/index.php?akce=clanek&cl=2005060906-technologie-rfid>
- [23] KUPEC, Petr. *Mýtné v Praze? Už za dva roky* [online] 17.04.2008 [cit. 2008-04-20]. Dostupný z WWW: http://www.denik.cz/z_domova/mytne_praha20080416.html

- [24] LOPOUR, Daniel. *RFID a Internet věci* [online] c2007 [cit. 2007-08-05]. Dostupný z WWW: <http://www.rfid-epc.cz/clanky/autorske-clanky/rfid-a-internet-veci-konference-a441167>
- [25] MATĚJEC, Jiří. *Stávající situace kartových systémů v ČR*. Technologies and Prosperity [online]. 2007, roč. XII. [cit. 2008-05-03]. Dostupný z WWW: http://www.tapmag.cz/editorials/pdf/T&P_its07_web.pdf.
- [26] MICHALÍK, Ján. *Elektronické platby mýtného: komunikace a interoperabilita*. Automatizace [online]. 2005, roč. 48, č. 4 [cit. 2008-06-01]. Dostupný z WWW: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=633>
- [27] O'CONNOR, Mary Catherine. *Montreal Commuters and Dispatchers Get Bus Info Via RFID* [online] Dec. 6, 2007 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/3783/1/1/>
- [28] PRICE, Andrew. *An Oportunity Analysis For Efficient Parts Management In Airlines* [online] Dec.2007 [cit. 2008-04-07]. Dostupný z WWW: <http://www.iata.org/NR/ronlyres/B644FD51-A2AF-4190-A5FA-F15CDA29B436/0/RFIDPartsOpportunityAnalysisDec2007.pdf>
- [29] PRICE, Andrew – PILON, Benoit. *Inflight RFID* [online] 2007 [cit. 2008-04-07]. Dostupný z WWW: <http://www.iata.org/NR/ronlyres/C7EBA687-B881-459C-891F-17745531F2BA/0/inflighthighlevelbusinesscase.pdf>
- [30] PUŽMANOVÁ, Rita. *Quo vadis, bezdrátová komunikace? (3/3)* [online] Dec.2007 [cit. 2008-04-07]. Dostupný z WWW: <http://www.lupa.cz/clanky/quo-vadis-bezdratova-komunikace-3-3/>
- [31] VOJÁČEK, Antonín. *RFID senzory* [online] 23 Zář, 2007 - 18:39 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <http://automatizace.hw.cz/rfid-senzory-soucasna-situace>
- [32] VOJÁČEK, Antonín. *Více i méně běžné RFID frekvence a jejich vliv na komunikaci*. [online] 27 Leden, 2008 - 11:18 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <http://automatizace.hw.cz/vice-i-mene-bezne-rfid-frekvence-jejich-vliv-na-komunikaci>
- [33] SHAMEEN, Assif. *Singapore Seeks Leading RFID Role* [online] July 12, 2004 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/1024/1/1/>
- [34] VACA, Jan. *Čip místo dálniční známky? Jen plané sliby* [online] 31. 05. 2008 [cit. 14.6.2008]. Dostupný z WWW: <http://www.inteligentni-doprava.cz/>

Internetové články (autor neuveden)

- [35] *A survey of RFID Standards* [online]. [2006] , last update: 08 Mrz, 2008 [cit. 2007-11-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.rfid-handbook.de/rfid/standardization.html>>
- [36] *Audi Uses Semi-Passive Tags to Make TTs* [online]. c2002-2008 [cit. 2008-04-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.rfidjournal.com/article/articleview/3002/1/1/>>
- [37] *BAA and Emirates test new baggage tagging technology* [online]. 2008 [cit. 2008-02-13]. Dostupný z WWW: <<http://jetvine.blogspot.com/2008/02/baa-and-emirates-test-new-baggage.html>>
- [38] *Bezkontaktní čipy při správě letadel* [online]. 2004 [cit. 2008-02-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=321>>
- [39] *C.L. Wang's RFID Webpage: What is EPC* [online]. [2007] [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://i.cs.hku.hk/~clwang/RFID/rfid-main2004.htm>>
- [40] *Case Studies - Hong Kong* [online]. 2008 [cit. 2008-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.erggroup.com/worldwide/details.asp?pid=39&r=1>>
- [41] *Co je RFID* [online]. [2007] [cit. 2007-10-30]. Dostupný z WWW: <http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne>
- [42] *Draft protocol specification for a 900 MHz Class 0 Radio Frequency Identification Tag, MIT Auto-ID Center* [online]. 2003 [cit. 2008-02-03]. Dostupný z WWW: <http://www.epcglobalinc.org/standards/specs/900_MHz_Class_0_RFIDTag_Specification.pdf>
- [43] *Edinburgh leads the way with its RFID bus priority system to help reduce congestion and speed up traffic* [online]. 2004 [cit. 2008-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.aimglobal.org/members/news/templates/template.aspx?articleid=165&zoid=25>>
- [44] *Electronic Vehicle Registration* [online]. 2008 [cit. 2008-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.transcore.com/I&A/evr/default.html>>
- [45] *Elektronickým dálničním známám hrozí skluz* [online]. 2008 [cit. 2008-06-10] Dostupný z WWW: <<http://www.inteligentni-doprava.cz/search.php?rsvelikost=sab&rstext=all-phpRS-all&rstema=6>>
- [46] *FeliCa in Use* [online]. c2008 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.sony.net/Products/felica/csy/trf.html>>

- [47] *Frequently Asked Questions (FAQs)* [online]. [2007] [cit. 2007-12-30]. Dostupný z WWW: <http://barcodes.gs1us.org/dnn_bcec/TabId/142/Default.aspx BarCodes and eCom>
- [48] *Frequently Asked Questions* [online]. [2007] [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.nfc-forum.org/resources/faqs#what>>
- [49] *Genesis of the Versatile RFID Tag* [online]. c2002-2008 [cit. 2007-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.rfidjournal.com/article/articleview/392/1/2/>>
- [50] *Hong Kong Octopus financial/ transport card* [online]. 2007 [cit. 2008-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://rfid.idtechex.com/knowledgebase/en/casestudy.asp?freefromsection=114>>
- [51] *Hong Kong Smart Card System* [online]. c2008 [cit. 2008-04-13]. Dostupný z WWW: <http://lnweb18.worldbank.org/External/lac/lac.nsf/Sectors/Transport/D5A576A039A802C0852568B2007988AD?OpenDocument>
- [52] *Hong Kong, US of State* [online]. 2008 [cit. 2008-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.state.gov/r/pa/ei/bgn/2747.htm>>
- [53] *Improving Bus Terminal Management using RFID Automatic Vehicle Location (AVI) System* [online]. 2004 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.aimglobal.org/members/news/templates/template.aspx?articleid=166&zoneid=25>>
- [54] *Introduction* [online]. c2002 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://web.mit.edu/mecheng/pml/overview.htm>>
- [55] *Jamaica Highway2000 Expands Toll Collection System, Increases RFID Sticker Tag Use Worldwide* [online]. 2006 [cit. 2008-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://news.thomasnet.com/companystory/504919>>
- [56] *Mýtné zkrotí dopravu v Praze nejdříve za čtyři roky* [online]. 2007 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://mo.ttnz.cz/2007/08/mytne-zkroti-dopravu-v-praze-nejdříve-za-ctyri-roky/>>
- [57] *Obecné přínosy RFID* [online]. c2008 [cit. 2008-03-12]. Dostupný z WWW: <http://www.rfidportal.cz/index.php?page=pouziti-prinosy_rfid>
- [58] *Omron představil technologii pro výpočet vzdálenosti tagu a čtečky* [online]. 2007 [cit. 2008-03-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektronika.cz/EI-skripty/clanek.asp?ItemID=4272>>
- [59] *Population - Vejle* [online]. c2008 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW: <<http://population.wn.com/country/Denmark/Vejle>>

- [60] *Positioning System for Tracking Ship Containers* [online]. 2007 [cit. 2008-02-15].
Dostupný z WWW:
<http://w1.siemens.com/innovation/en/news_events/innovationnews/innovationnews_articles/e_21_ino_0724_2.htm>
- [61] *Puerto Rico's RFID Toll Collection System Exceeds Expectations* [online]. 2006 [cit. 2008-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.govtech.com/gt/101056>>
- [62] *Radio Frequency Identification (RFID) and Standardization* [online]. [2007] [cit. 2007-12-15]. Dostupný z WWW:
<http://www.icts.org/RFID_standardization.htm>
- [63] *Regulatory status for using RFID in the UHF spectrum* [online]. 20 January 2008 [cit. 2008-06-04]. Dostupný z WWW:
<http://www.epcglobalinc.org/tech/freq_reg/RFID_at_UHF_Regulations_20080120.pdf>
- [64] *Review of the Container Security Initiative* [online]. 2005 [cit. 2008-04-02]. Dostupný z WWW: <http://trb.org/news/blurp_detail.asp?id=5055>
- [65] *Ročenka dopravy Praha 2006, Vývoj motorizace a automobilizace* [online]. 2006 [cit. 2008-06-02] Dostupný z WWW:
<<http://www.udipraha.cz/rocenky/rocenka06/texty/dtx02.htm#k1>>
- [66] *Sdělení komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů, Identifikace na základě rádiové frekvence (RFID) v Evropě, kroky k rámci politiky* [online]. [2007] [cit. 2007-11-03]. Dostupný z WWW: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0096:FIN:CS:HTML>>
- [67] *TagMaster Selected as RFID Supplier to Bombardier for Neihu Line in Taipei, Taiwan* [online]. 2005 [cit. 2008-06-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.railway-technology.com/contractors/vehicle/tagmaster/press5.html>>
- [68] *Technické normy, 01-Obecná třída, 0183 - Dopravní telematika* [online]. c2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/obecna-trida-1/dopravni-telematika-183>>
- [69] *The NFC Forum* [online]. [2007] [cit. 2008-03-13]. Dostupný z WWW:
<<http://www.nfc-forum.org/aboutus/>>
- [70] *The Swiss Federal Railway Cuts Costs and Increases Efficiency with RFID* [online]. 2004 [cit. 2008-04-03]. Dostupný z WWW:

<[http://www.aimglobal.org/members/news/templates/template.aspx?articleid=162&z
oneid=25](http://www.aimglobal.org/members/news/templates/template.aspx?articleid=162&zoneid=25)>

- [71] *What is a Standard?* [online]. [2007] [cit. 2007-12-20]. Dostupný z WWW:
<https://www.aimglobal.org/standards/what_is_standard.asp#what>
- [72] *WhereNet's Active RFID Marine Terminal Solution Helps APL Realize Productivity Gains* [online]. 2006 [cit. 2008-02-20]. Dostupný z WWW:
<<http://news.thomasnet.com/companystory/482921>>
- [73] *Why PML?* [online]. c2002 [cit. 2008-04-06]. Dostupný z WWW:
<http://web.mit.edu/mecheng/pml/why_pml.htm>
- [74] *Zavádění myta ve městech v podmínkách České republiky* [online]. [2007] [cit. 2008-06-10] Dostupný z WWW: <<http://www.telematix.cz/projekty/zav/vysledky.html>>

Ostatní zdroje

- [75] BARTOŇ, Petr – EKL, Filip – ENDEL, Petr – JIRÁČEK, Michal – ŠROTÝŘ, Martin. *Nabídka elektronické identifikace vozidel a zvýšení komfortu osobní přepravy*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Semestrální práce v rámci projektu Člověk a globální komunikace, 2007
- [76] DYTRYCH, Jan. *Možnosti zavedení mytného systému v Praze*. 2005. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí diplomové práce Zdeněk Říha
- [77] ELATEC s.r.o., *Dálkový identifikační systém Telides*. Podniková dokumentace a prezentace.
- [78] STARÝ, Vladimír. *Antény pro RFID (Radio Frequency Identification)* [online]. 2007. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí bakalářské práce: Zbyněk Rajda [cit. 2008-04-10] Dostupný z WWW: <http://www.ieee.cz/mtt/soutez07/Stary.pdf>
- [79] SVÍTEK, Miroslav. *Systémové aspekty zavádění elektronického mytného* [online]. Universita Matěja Bela, Fakulta přírodních věd. Banská Bystrica [cit. 2008-06-24] Dostupný z WWW: <http://www.telematix.cz/projekty/zav/vysledky.html>
- [80] SVÍTEK, Miroslav. *Technický koncept III. etapy výkonového zpoplatnění pro ČR*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Přednáška z předmětu Telematika, 2008
- [81] ZVELEBIL, Vladislav. *Jak používat (a také jak nepoužívat) technologii RFID*. Praha: Prezentace na konferenci RFID Future. 2008-03-19