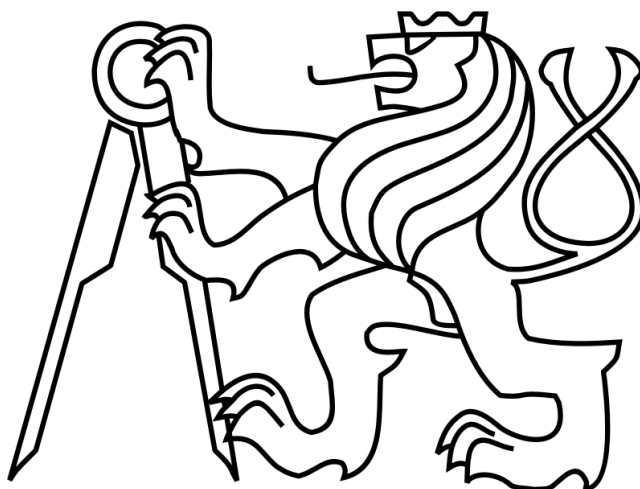


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra počítačů



Diplomová práce

**Embedded systém pro zónovou identifikaci osob
a zboží s využitím technologie RFID**

Ludvík Valíček

Vedoucí práce: Ing. Marek Neruda

Studijní program: Elektrotechnika a informatika

Obor: Výpočetní technika

12. května 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Nemám 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 12. 5. 2014

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu ing. Nerudovi za cenné rady odborné vedení a konzultace, které mi poskytl během zpracování diplomové práce.

Abstrakt

V této práci je analyzován současný stav technologie RFID a embedded systémů. Pomocí minipočítače Raspberry Pi a komponent Metra Blansko je sestaven RFID systém, identifikující přesun osob a zboží. V praktické části je navržen a naprogramován minipočítač Raspberry Pi, který identifikuje přesun RFID tagu v konkrétní zóně. Přesun RFID tagu je poté reportován pomocí emailu a SMS zprávy na mobilní telefon. Je provedeno měření ověřující funkčnost řešení a navrženo optimální rozmístění hardwarových komponent.

Abstract

The work analyses present state of RFID technology and embedded systems. Using minicomputer Raspberry Pi and Metra Blansko components there is set up RFID system to identify movement of persons or goods. Practical part of is concentrated on embedded system Raspberry Pi programming, which identifies the movement of RFID tag from one zone to another. This movement is further reported by sending email or SMS mobile phone message. There is effected the measurement confirming the functionality and there is also designed the optimal placement of hardware components.

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	9
Seznam použitých zkratk	10
1. Úvod	11
2. Popis problému, specifikace cíle	12
2.1. Cíle práce	12
2.2 Popis řešeného problému, struktura práce	12
I Teoretická část	13
3. Analýza RFID technologie	13
3.1. Fyzikální principy RFID	13
3.1.1. Generování elektromagnetických vln	13
3.1.2. Zpětný odraz elektromagnetických vln.	15
3.2. Techniky RFID komunikace	16
3.2.1. Přenos indukční vazbou	16
3.2.2. Přenos zpětným rozptylem (back-scattering)	17
3.2.3. Nosná vlna, modulace signálu	17
3.3. Technologie RFID	18
3.3.1. RFID čtečka	18
3.3.2. RFID tag – RFID transpondér	20
3.3.3. Anténa	22
4. Softwarové aplikace s RFID tagy	32
4.1. Přenos dat v nadřazené softwarové aplikaci	32
5. Embedded systémy (vestavěné systémy)	34
5.1. Raspberry Pi	35
II. Praktická část	37
6. Návrh embedded systému	37
6.1. Návrh systému pro zónovou identifikaci osob a zboží	37
6.2. RFID čtečka Metra Blansko	37
6.3. RFID multiplexor RX01 Metra Blansko	39
6.4. Anténa	40
6.5. Návrh aplikace	40
6.5.1. Softwarová aplikace	40
6.5.2. Komunikace Raspberry Pi – RFID čtečka	42

6.6.	Testování aplikace	43
6.6.1.	Požadavky testování	43
6.6.2.	Scénáře testování	43
6.6.3.	Výsledky testování aplikace	43
7.	Měření	45
7.1.	Měření maximální čtecí vzdálenosti pro jednu anténu	46
7.2.	Měření tvaru vyzařovacího kužele pro jednu anténu	49
7.3.	Měření koridoru, dvě antény umístěné na stěně koridoru	51
7.4.	Měření dveří, dvě antény umístěné nad dveřním průchodem	53
7.5.	Měření dveří, dvě antény umístěné vedle zárubně dveří	55
8.	Návrh rozmístění komponent	57
8.1.	Dvě antény umístěné nad dveřním průchodem	58
8.2.	Dvě antény umístěné vedle zárubně dveří	62
9.	Závěr	66
10.	Použité zdroje	68
III.	Přílohy	69
11.	Katalog požadavků aplikace minipočítače Raspberry Pi	69
12.	Model jednání RFID systému – Use Case	70
13.	Sekvenční diagram RFID systému	71
14.	Hlavní třídy aplikace	71
15.	Stavový diagram aplikace	73
16.	Grafy závislosti RSSI na vzdálenosti tagu od antény při měření maximální čtecí vzdálenosti	74
17.	Instalační příručka	78
17.1.	Nastavení a zprovoznění Raspberry Pi [2]:	78
17.2.	Nastavení a spuštění aplikace	79
18.	Přílohy diplomové práce	82

Seznam obrázků

Obr. 1. Frekvenční pásma RFID systémů [3].....	13
Obr. 2. Vznik elektromagnetických vln z dipólové antény [4]	14
Obr. 3. Základní funkční bloky RFID čtečky [autor]	18
Obr. 4. Čtečka Metra Blansko [5].....	19
Obr. 5. Blokový diagram HF rozhraní čtečky RFID [4]	19
Obr. 6. RFID tag [4]	22
Obr. 7. Elektromagnetické pole isotopické antény [4]	24
Obr. 8. Elektromagnetické pole směrové antény [3].....	25
Obr. 9. Aproximace vyzařovaného laloku směrové antény [3]	25
Obr. 10. Kruhová polarizace RFID antény [3]	26
Obr. 11. Aproximace tvaru čtecí zóny [3].....	26
Obr. 12. Panelová anténa [3]	27
Obr. 13. Čtecí zóna s instalovanou panelovou anténou [3]	28
Obr. 14. Příklad realizace RFID instalace [6]	30
Obr. 15. Komerční vzorky pasivních UHF RFID tagů [3]	31
Obr. 16. Komunikace Master-Slave (RFID čtečka-tag) [1]	32
Obr. 17. Procesor BCM2835, paměťový čip Hynix [2]	35
Obr. 18. Zapojení docházkového systému [autor]	37
Obr. 19. Okno formuláře nastavení připojení čtečky [5]	38
Obr. 20. Zapojení napájecích a řídicích kabelů pro RFX01[autor]	39
Obr. 21. Měřené RFID tagy [autor]	46
Obr. 22. Měřené orientace tagů (kolmá a rovnoběžná)[autor]	47
Obr. 23. Nákrety změřených vyzařovacích kuželů [autor]	50
Obr. 24. Nákrety změřených vyzařovacích kuželů [autor]	51
Obr. 25. Měření koridoru [autor]	52
Obr. 26. Měření průchodu dveřmi [autor]	54
Obr. 27. SMS zpráva pro úspěšný průchod [autor]	54

Obr. 28. Emailová zpráva notifikující úspěšný průchod [autor]	54
Obr. 29. Měření průchodu dveřmi, antény vedle zárubně [autor]	56
Obr. 30. Přibližné tvary čtecích zón [autor]	57
Obr. 31. Hranice čtecí zóny, antény nad dveřním průchodem [autor] .	59
Obr. 32. Hranice čtecí zóny, antény nad dveřním průchodem [autor] .	60
Obr. 33. Hranice čtecí zóny, antény nad dveřním průchodem [autor] .	61
Obr. 34. Hranice čtecí zóny, antény vedle dveřního průchodu [autor] .	64
Obr. 35. Hranice čtecí zóny, antény vedle dveřního průchodu [autor] .	65
Obr. 36. UML model jednání RFID systému [autor]	70
Obr. 37. Sekvenční diagram RFID systému [autor]	71
Obr. 38. Hlavní třídy aplikace [autor]	71
Obr. 39. Hlavní třídy aplikace, processing [autor]	72
Obr. 40. UML 2.0 stavový diagram aplikace [autor]	73
Obr. 41. Průběh RSSI, tag Confidex Ironsize, přibližování [autor]	74
Obr. 42. Průběh RSSI, tag Confidex Ironsize, vzdalování [autor]	74
Obr. 43. Průběh RSSI, tag Confidex Survivor, přibližování [autor]	75
Obr. 44. Průběh RSSI, tag Confidex Survivo, vzdalování [autor]	75
Obr. 45. Průběh RSSI, tag Cassey Slim, přibližování [autor]	76
Obr. 46. Průběh RSSI, tag Cassey Slim, vzdalování [autor]	76
Obr. 47. Průběh RSSI, tag Archive, přibližování [autor]	77
Obr. 48. Průběh RSSI, tag Archive, vzdalování [autor]	77
Obr. 49. GUI programu Win32DiskImager [autor]	78
Obr. 50. Zapojení Raspberry Pi [2]	79
Obr. 51. Zjištění verze python na Raspberry Pi [autor]	80

Seznam tabulek

Tab. 1. Hodnoty vlnových délek pro různé frekvence [4]	14
Tab. 2. Základní charakteristiky RFID systémů [3]	33
Tab. 3. Řídící signály multiplexoru [10]	39
Tab. 4. Výsledné hodnoty testování průchodu [autor]	45
Tab. 5. Měřené RFID tagy [8]	45
Tab. 6. Výsledné hodnoty měření max. vzdálenosti [autor]	48
Tab. 7. Výsledné hodnoty měření vyzařovacího kužele [autor]	50
Tab. 8. Výsledné hodnoty měření koridoru [autor]	53
Tab. 9. Výsledné hodnoty měření nade dveřmi [autor]	55
Tab. 10. Výsledné hodnoty měření vedle zárubní dveří [autor]	56
Tab. 11. Porovnání hodnot výpočet-měření [autor]	62
Tab. 12. Výpočet pokrytí dveřního prostoru signálem [autor]	63

Seznam použitých zkratk

- ASK** Amplitude Shift Key
- CISC** Complex Instruction Set Computing
- EIRP** Effective Isotropic Radiated Power
- EM** Electro Magnetics
- FSK** Frequency Shift Key
- HF** High Frequency
- ISA** Instruction Set Architecture
- LW** Low Frequency
- OOK** On-Off Keying
- PIE** Pulse Interval Encoding
- PSK** Phase Shift Key
- RFID** Radio Frequency Identification
- RISC** Reduced Instruction Set Computing
- RPi.GPIO** General Purpose Input Output ports
- RSSI** Received Signal Strength Indication
- SOC** System On Chip
- UHF** Ultra High Frequency

1. Úvod

RFID (Radio Frequency Identification) je technologie využívající elektromagnetických vln pro identifikaci RFID tagů, které mohou být připevněny na objekty, osoby.

RFID technologie byla poprvé použita za 2. světové války pro identifikaci přátelských a nepřátelských letadel. V současné době se technologie RFID využívá v mnoha oblastech průmyslu. Například v automobilovém průmyslu se RFID tagů používá pro sledování pohybu součástek v průběhu výroby. Na těžebních zařízeních pro ropný a plynový průmysl jsou RFID tagy nošeny zaměstnanci, kteří mohou být v případě nebezpečí rychle lokalizováni a evakuováni [1].

Technologie RFID se využívá v čím dál větší míře. Jedním z důvodů je využití UHF (Ultra High Frequency) RFID systémů, které umožnily zvýšit rozsah čtecích vzdáleností RFID tagů, jsou známy instalace detekující pasivní RFID tagy až na vzdálenost 24 metrů [1]. Výhodou je i nízká cena technologie, která je založena na open standardech. Důvodem vyššího využití RFID je i Internet, který umožňuje firmám sdílet údaje např. o pohybu zboží a firmy tak nemusí tolik využívat emaily a telefony jako dříve [1].

Ve své práci se zaměřuji na implementaci RFID technologie pro sledování předmětů a osob především v budovách, například sledování pohybu osob, lůžek v nemocnici. Kdy RFID tagy prochází RFID branou (dveřmi) a tento průchod je dále reportován a vyhodnocován.

2. Popis problému, specifikace cíle

2.1. Cíle práce

Cílem této práce je sestavit embedded systém pro identifikaci RFID tagů pomocí minipočítačem Raspberry Pi a RFID čtečky Metra Blansko. Dále minipočítač Raspberry Pi naprogramovat tak, aby při pomoci RFID čtečky identifikoval přesun RFID tagu z jedné zóny do druhé. Reportování přesunu bude provedeno zasláním emailu a SMS zprávy a zapsáním do textového souboru. Funkčnost celého systému bude ověřena měřením a bude navrženo vhodné rozmístění hardware komponent.

2.2 Popis řešeného problému, struktura práce

Aby bylo možné sestavit embedded systém pro identifikaci osob a zboží, bylo nutné nastudovat technické možnosti minipočítače Raspberry Pi a technologie RFID. Analýze je věnována první část práce (I. Teoretická část). Poznatky byly z velké části čerpány z literatury uvedené v kapitole 10 a přímo z webových stránek společnosti Raspberry Pi [2].

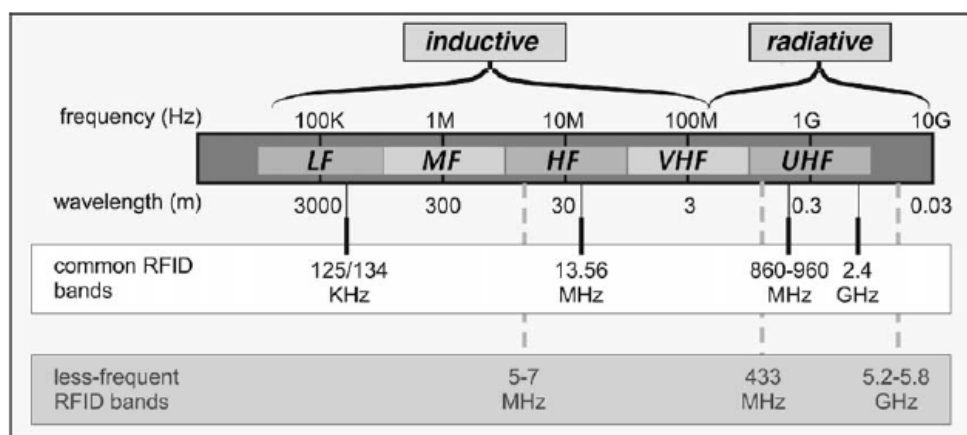
V druhé části práce je popsán způsob komunikace RFID čtečka a minipočítače Raspberry Pi pomocí virtuálního sériového portu a vlastní nastavení minipočítače Raspberry Pi (kapitola 10.1.). Bylo vytvořeno vlastní řešení identifikace přesunu RFID tagu z jedné zóny do druhé včetně měření ověřující funkčnost. Dále bylo navrženo vhodné rozmístění hardware komponent (kapitola 8). V části III jsou uvedeny přílohy této práce, UML diagramy, popis nastavení RFID a grafy měření.

I Teoretická část

3. Analýza RFID technologie

3.1. Fyzikální principy RFID

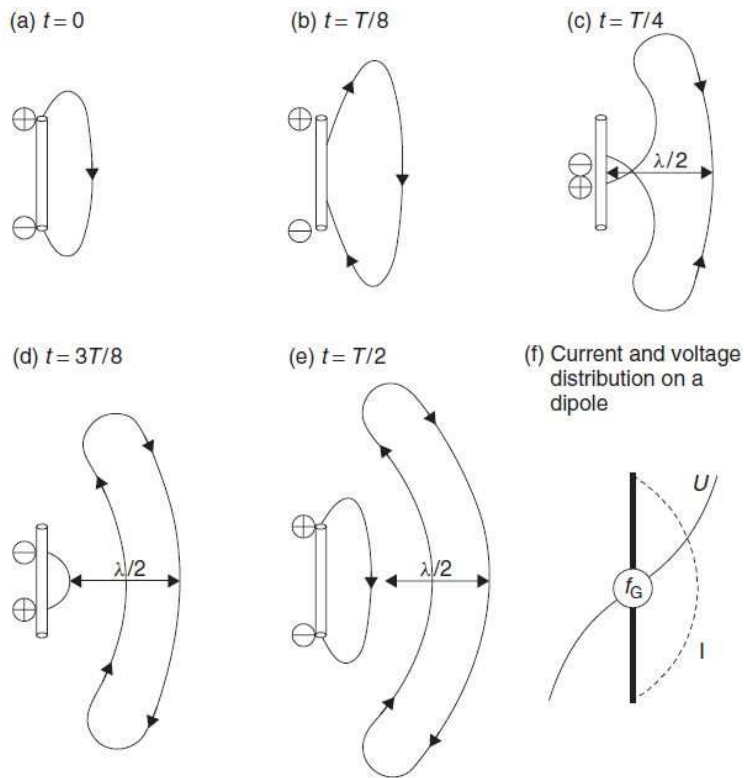
Základem RFID systémů je přenos informací mezi RFID čtečkou a RFID tagem (transpondérem) pomocí elektromagnetických vln a zpracování získaných dat ze čtečky pomocí dalšího obslužného software, tj. RFID middleware. Spektrum elektromagnetických vln, používaných RFID systémy je uvedeno na Obr. 1.



Obr. 1. Frekvenční pásma RFID systémů [3].

3.1.1. Generování elektromagnetických vln

Na Obr. 2 je uveden vznik elektromagnetických vln, vysílaných z dipólové antény. Ve střídavém elektrickém poli, pozice c), na konci prvního cyklu v místě průběhu nulového střídavého napětí, siločáry elektromagnetického pole nekončí na anténě, ale těsně vedle sebe. Vysílané magnetické pole je tak časově provázané se střídavým elektrickým polem a je vyzářeno do prostoru. Při vysokých frekvencích, tzn. při malých vlnových délkách, je generování vln efektivnější, oddělení elektromagnetických vln se děje v přímé blízkosti vysílače v místě elektrického pole vysoké intenzity.



Obr. 2. Vznik elektromagnetických vln z dipólové antény [4].

Vzdálenost mezi dvěma siločárami, šířícími se stejným směrem (vlnová délka elektromagnetické vlny λ) lze spočítat podle vztahu:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Kde c je rychlost světla (299 792 458 m/s) a f frekvence [Hz] [4].

Tab. 1. Hodnoty vlnových délek pro různé VHF-UHF frekvence [4].

Frekvence	Vlnová délka [cm]
433 MHz	69
868 MHz	34
915 MHz	33
2,45 GHz	12
5,8 GHz	5,2

3.1.2. Zpětný odraz elektromagnetických vln.

Elektromagnetické vlny vyzářené do prostoru při dopadu na objekt jsou objektem absorbovány, část elektromagnetických vln je přeměněna na teplo a část vyzářena zpět do prostoru.

V systémech RFID se tohoto fyzikálního jevu využívá a zpětný odraz elektromagnetických vln je využit pro přenos dat z RFID tagu zpět k RFID čtečce. Zpětný odraz vln z RFID tagu je efektivnější u vlny o vyšší frekvenci. Z tohoto důvodu této technologie využívají systémy o frekvenčním rozsahu 868 MHz (Evropa), 915 MHz (USA) a 2,45-5,8 GHz [4].

Vysílá-li anténa RFID čtečky elektromagnetické vlny (vlny se šíří sféricky) o výkonu P_{EIRP} , hustotu elektromagnetického pole transpondéru S ve vzdálenosti r lze spočítat:

$$S = \frac{P_{EIRP}}{4 * \pi * r^2} \quad (2)$$

Anténa RFID transpondéru poté zpětně odrazí do prostoru výkon:

$$P_S = S * \sigma \quad (3)$$

Kde σ je konstanta nazývaná průřez odrazné oblasti (anglicky radar cross-section), která popisuje, jak dobře objekt (RFID tag) odráží elektromagnetické vlny. Konstanta závisí na parametrech, jako je velikost objektu, tvar, materiál, struktura povrchu, vlnová délka a polarizace elektromagnetických vln. Závislost konstanty σ na vlnové délce hraje také důležitou roli, z toho důvodu jsou objekty rozděleny do třech kategorií:

- Světelná oblast: vlnová délka je velká v porovnání s rozměrem objektu. Schopnost objektu odrážet elektromagnetické vlny tak může být prakticky zanedbána.
- Oblast rezonance: vlnová délka odpovídá velikosti objektu.
- Oblast optická: Vlnová délka je v porovnání s velikostí objektu malá. V tomto případě, hodnotu σ ovlivňuje pouze geometrie a umístění (úhel dopadu elektromagnetické vlny na objekt).

Zpětný odraz signálu z RFID tagu se děje pouze v oblasti rezonance, proto je třeba znát konstantu σ rezonující antény.

Zpětně odražená vlna z RFID transpondéru vysílá elektromagnetické pole o hustotě:

$$S_{Back} = \frac{P_S}{4 * \pi * r^2} = \frac{S * \sigma}{4 * \pi * r^2} = \frac{P_{EIRP}}{4 * \pi * r^2} * \frac{\sigma}{4 * \pi * r^2} = \frac{P_{EIRP} * \sigma}{(4 * \pi)^2 * r^4} \quad (4)$$

3.2. Techniky RFID komunikace

Komunikace, odeslání informace z jednoho místa do druhého, je realizována přenosem energie pomocí elektromagnetických vln, do kterých jsou zakódovány potřebné informace. RFID systémy používají dva hlavní způsoby komunikace, přenos indukční vazbou (anglicky coupling) a přenos zpětným rozptylem (anglicky backscattering).

3.2.1. Přenos indukční vazbou

Přenos indukční vazbou využívá přenosu energie elektromagnetickým polem, které vznikne mezi dvěma cívkami. Přenos energie tak závisí na:

- Operační frekvenci systému
- Počtu závitů cívky
- Úhlu polohy cívky, maximálního přenosu energie lze docílit, jsou-li osy cívek paralelní
- Vzdálenosti obou cívek

Přenos indukční vazbou se používá u nízkofrekvenčních a vysokofrekvenčních RFID systémů, které využívají anténu ve tvaru solenoidu. Přenos informace je tak možný pouze v blízkosti pole, generovaném anténou RFID čtečky a RFID tagu a dále se dělí podle vzdálenosti:

- Přenos s těsnou vazbou (anglicky close coupling) ve vzdálenosti cca 1 cm.

- Přenos se vzdálenou vazbou (anglicky remote coupling) ve vzdálenosti od 1 cm do 1 m.

Přenos indukční vazbou je možný pouze na krátké vzdálenosti. Pro komunikaci na delší vzdálenosti (od 1 metru a výše do až 24 metrů u pasivních tagů [1]) je potřeba využít elektromagnetických vln, technologie přenosu zpětným rozptylem.

3.2.2. Přenos zpětným rozptylem (back-scattering)

Přenosu zpětným rozptylem využívají RFID systémy operující na ultra-high frekvencích (UHF) a mikrovlnných frekvencích, Obr. 1. RFID čtečka odešle informace zakódované ve formě elektromagnetických vln (viz kapitola 3.2.3.), RFID tag zachytí tuto vlnu, zakóduje svou informaci do zachycené vlny (vlnu změní) a odešle zpět RFID čtečce.

3.2.3. Nosná vlna, modulace signálu

Samotný periodický signál vysílaný RFID čtečkou nenesení žádnou informaci. Pro přenos dat pomocí periodického signálu, je třeba signál změnit, modulovat informaci na tento signál, např.:

$$V(t) = \cos(\omega_m t) * \cos(\omega_c t) = \cos(\omega_m t) * \cos(\omega_c t) \quad \{ \omega_m \ll \omega_c \} \quad (5)$$

kde $\cos(\omega_m t)$ reprezentuje modulovaný signál a

$\cos(\omega_c t)$ reprezentuje nosný signál.

Modulace rozdělí nosnou vlnu na dvě postranní pásma. Po modulaci je tak výsledné frekvenční spektrum širší.

RFID signály jsou modulovány digitálně, používají se tyto druhy modulací:

- OOK modulace (On-Off Keying - OOK)
- PIE modulace (Pulse Interval Encoding - PIE)
- Frekvenční modulace (Frequency Shift Key - FSK)
- Fázová modulace (Phase Shift Key - PSK)
- Amplitudová modulace (Amplitude Shift Key - ASK)

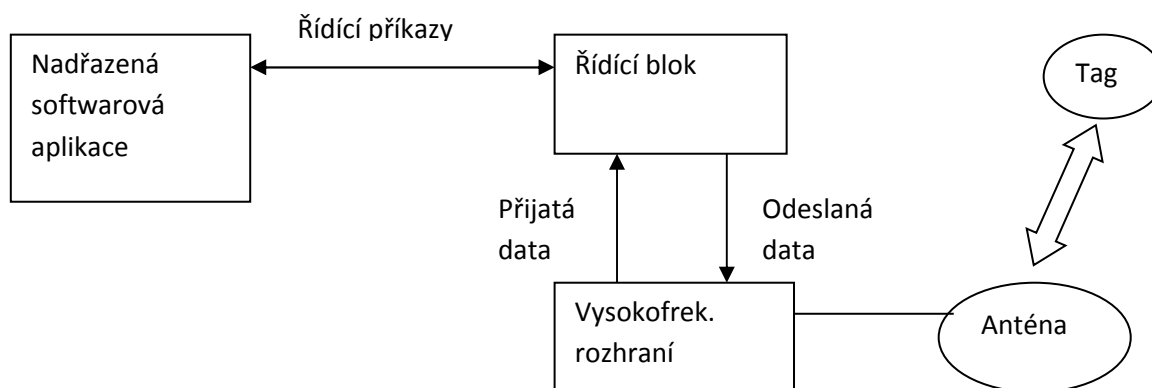
3.3. Technologie RFID

RFID systémy se skládají minimálně ze dvou částí, RFID tag, který je umístěn na objektu určenému k identifikaci (obsahuje elektronická data) a RFID čtečka, která vysílá rádiový signál a pracuje jako čtecí zařízení pro identifikaci RFID tagů, případně čtecí/zápisové zařízení. V anglické literatuře se pro označení RFID tag používá také výraz „transponder“, zkratka z anglického slova transmit (vysílat) a response (odpověď). V RFID systémech se používají tyto termíny:

- čtecí bod (read point), umístění antény napojené na RFID čtečku
- čtecí zóna (read zone), oblast ve které je signál antény dostatečně velký, aby umožnil funkčnost RFID tagů, pro určení směru pohybu RFID tagu je potřeba vytvořit dvě čtecí zóny
- čtecí událost (read event), je událost vygenerovaná RFID čtečkou při identifikaci RFID tagu

3.3.1. RFID čtečka

Čtečky RFID obsahují dva základní funkční bloky, řídicí blok a vysokofrekvenční část, které v sobě zahrnuje vysílač a přijímač, Obr. 3. Na Obr. 4 je fotografie RFID čtečky Metra Blansko, typ RFI21.1. Popis čtečky (materiál Metra Blansko) a její technické údaje jsou uvedeny v kapitole 6.2.



Obr. 3. Základní funkční bloky RFID čtečky [autor].

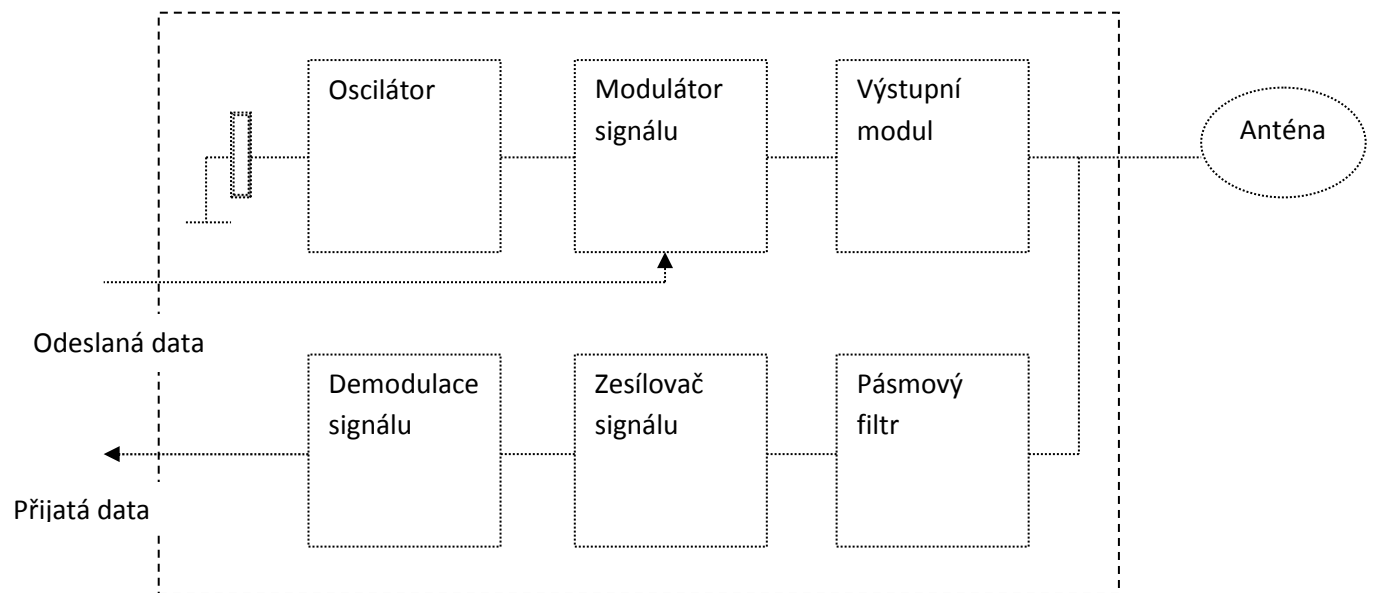


Obr. 4. Čtečka Metra Blansko. Na pravé straně jsou umístěny USB konektor a konektor pro napájecí zdroj, na levé straně anténní konektor [5].

Vysokofrekvenční část RFID čtečky plní tyto funkce:

- Generuje signál pro aktivaci RFID tagů
- Moduluje vysílací signál
- Přijímá signály z RFID tagů a tyto demoduluje zpět

Vysokofrekvenční část čtečky obsahuje dva nezávislé signální datové toky, vysílací a přijímací, struktura je uvedena v blokovém diagramu, Obr. 5.



Obr. 5. Blokový diagram HF rozhraní čtečky RFID [4].

RFID čtečky operují v několika vyhrazených frekvencích, jejichž rozsah se odvíjí od požadavků na dodávaný RFID systém a místní regulační podmínky. V současné době se používají tyto frekvence:

- Nízká frekvence (Low Frequency – LW, 125 kHz, 134 kHz)
- Vysoká frekvence (High Frequency – HF, 13,56 MHz)
- Ultra vysoká frekvence (Ultra High Frequency - UHF, 860 – 960 MHz)
- Mikrovlnná (Microwave, 2,45 GHz, 5,8 GHz)

Nízká frekvence se typicky používá pro kontrolu přístupu a bezpečnost, ve výrobních procesech, identifikaci zvířat a pro aplikace, které vyžadují krátké čtecí vzdálenosti (centimetry až několik decimetrů). Vysokofrekvenční RFID čtečky/tagy byly vyvinuty jako cenově výhodná alternativa k nízkofrekvenčním tagům, kde RFID tagy mohou být vytištěny a nalepeny na nosiče jako např. papír, Obr. 6. Typické využití vysokofrekvenčních RFID čteček/tagů jsou knihovny, identifikace osob, kontrola přístupu, apod. Ultra vysoké frekvence používají aplikace, které identifikují RFID tagy na větší vzdálenosti, jsou schopny rozpoznat větší množství tagů ve stejný časový okamžik. Jejich využití je například v logistice. Čtečky využívající mikrovlnné frekvence se většinou používají pro aktivní RFID tagy. Nabízí velké čtecí vzdálenosti, vysokou rychlost přenosu dat a zároveň vyšší cenu RFID tagů. Jejich využití je například při monitorování pohybu vozidel, železničních vagónů, přepravních kontejnerů.

3.3.2. RFID tag – RFID transpondér

RFID tag (transpondér) se skládá ze tří hlavních částí, antény pro rádiovou komunikaci, integrovaného obvodu a zapouzdření. Informace uložené v paměti RFID tagu jsou vysílány anténou do RFID čtečky. Výkonové charakteristiky RFID tagů jsou určeny použitým typem integrovaného obvodu, schopností zápisu/čtení dat, rádiovou frekvencí, napětím, atd. RFID tagy můžeme rozdělit podle druhu zdroje energie a druhu paměti.

Dělení podle zdroje energie

Podle zdroje energie RFID tagu dělíme RFID tagy na pasivní a aktivní. Aktivní tagy mají v sobě zabudovaný napěťový zdroj, pasivní tagy jsou bez vlastního napěťového zdroje.

Pasivní RFID tagy

Pasivní RFID tagy jsou napájeny ze signálu vysílaného RFID čtečkou. RFID čtečka vysílá prostřednictvím antény periodické elektromagnetické signály do okolí. Tyto signály jsou přijaty speciální anténou RFID čtečky a pomocí elektromagnetické indukce, napájecího kondenzátoru jsou převedeny na malé elektrické napětí. Napětí je poté využito integrovaným obvodem RFID tagu, který vyšle zpět svůj modulovaný, identifikační signál. Vysílací výkon pasivních RFID tagů je malý, typická vzdálenost komunikace RFID tag-RFID čtečka je několik centimetrů až několik metrů (pouze u technologie UHF).

Semi-pasivní RFID tagy

Tyto tagy mají v sobě zabudovaný vlastní zdroj napětí, baterii, který slouží k napájení integrovaného obvodu. Tagy mohou komunikovat na delší vzdálenosti než tagy pasivní a dále mají schopnost monitorovat vstupní data i když se nenachází v přítomnosti rádiového signálu RFID čtečky.

Aktivní RFID tagy

Aktivní RFID tagy jsou tagy s vlastním zdrojem napětí a jsou schopny vysílat samostatně signál k RFID čtečce. Aktivní tagy vysílají signál buď v předem určených časových intervalech nebo jako odpověď na dotaz od RFID čtečky. Mají vyšší dosah komunikace se čtečkou (až několik stovek metrů), větší paměť, ale taky nižší životnost limitovanou životností baterie. Nevýhodou aktivních RFID tagů jsou vyšší rozměry a vyšší cena. Využívají se k identifikaci cenově náročnějšího zboží, kde cena tagů nehraje výraznou roli (například identifikace kontejnerů v kontejnerové dopravě).

Dělení podle druhu paměti:

Read-only memory

Informace u RFID tagů s pamětí read-only je do tagu nahrána v průběhu jeho výroby a dále nemůže být změněna nebo smazána. Obvykle tag nese informaci typu sériové číslo, které slouží jako reference a další

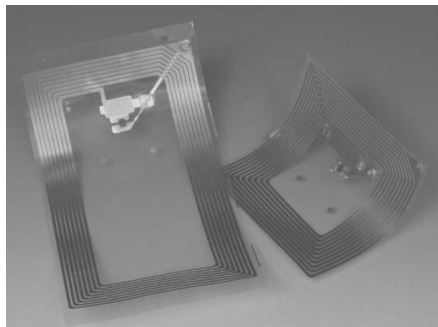
případné údaje jsou pomocí této reference dohledány v databázi nadřazené softwarové aplikace. Výhodou je nižší cena a nemožnost změnit informace RFID tagu (identifikaci objektu).

Write-once memory

RFID tagy s touto pamětí umožňují koncovému uživateli naprogramovat paměť tagu. Například uživatel může do ještě nepoužitého RFID tagu zapsat (pouze jednou) sériové číslo položky, které dále nemůže být změněno.

Read-write memory

U těchto RFID tagů je možné do paměti libovolně nahrávat a mazat informace koncovým uživatelem. Výhodou je možnost znovupoužití RFID tagů, vyšší flexibilita a inteligence aplikací využívající tagy s touto pamětí. Například v průběhu dodání zboží je možné do RFID tagu zaznamenávat další informace a zvýšit sledovatelnost, inteligenci systému. Tyto tagy umožňují další pokročilé funkce, jako je šifrování, zamykání paměti, deaktivaci RFID tagu.



Obr. 6. RFID tag jako plastická fólie, výrobce Texas Instruments [4].

3.3.3. Anténa

Anténa je zařízení, které vysílá a přijímá elektromagnetické vlny a mění je na elektrickou energii. Hlavní vlastnosti antény důležité pro RFID systémy jsou:

- Zisk a vyzařovací diagram: do jaké míry je výkon vyzařovaný z antény soustředěn určitým směrem a jakou plochu pokrývá.

- Efektivní apertura (clona): oblast, ze které přijímací anténa (RFID tag) získává energii.
- Polarizace: orientace elektrického pole vyzařovaného anténou.

Pro připojení RFID čtečky k anténě jsou důležité tyto tři parametry:

- Impedance antény.
- Šířka pásma.
- Velikost antény a její cena.

Anténa je optimalizovaná na předem daný frekvenční rozsah. Výkon P_{EIRP} , který vysílá izotropní anténa je šířen sféricky a je definován:

$$P_{EIRP} = \int_0^{A_{SPHERE}} S * dA \quad (6)$$

kde S - hustota elektromagnetického pole,

A - sférická plocha,

P_{EIRP} – Efektivní výkon vyzářený izotropní anténou (anglicky Effective Isotropic Radiated Power) je výkon, který by musel být přenášen rovnoměrně ve všech směrech, aby zajistil stejnou hustotu energie elektromagnetického pole S , jakou má skutečná anténa ve směru maximálního zisku.

Výše uvedená rovnice platí pro všechny druhy antén. U antén použitých v praxi (například dipólů), výkon není vyzařován rovnoměrně do všech směrů. Na Obr. 7 je uveden vyzařovací diagram dipólové antény v porovnání s izotropní anténou. Délka vektoru $G\varphi$ indikuje relativní vyzářenou hustotu elektromagnetického pole ve směru vektoru. V hlavním směru záření (G_i), lze hustotu elektromagnetického pole spočítat podle rovnice:

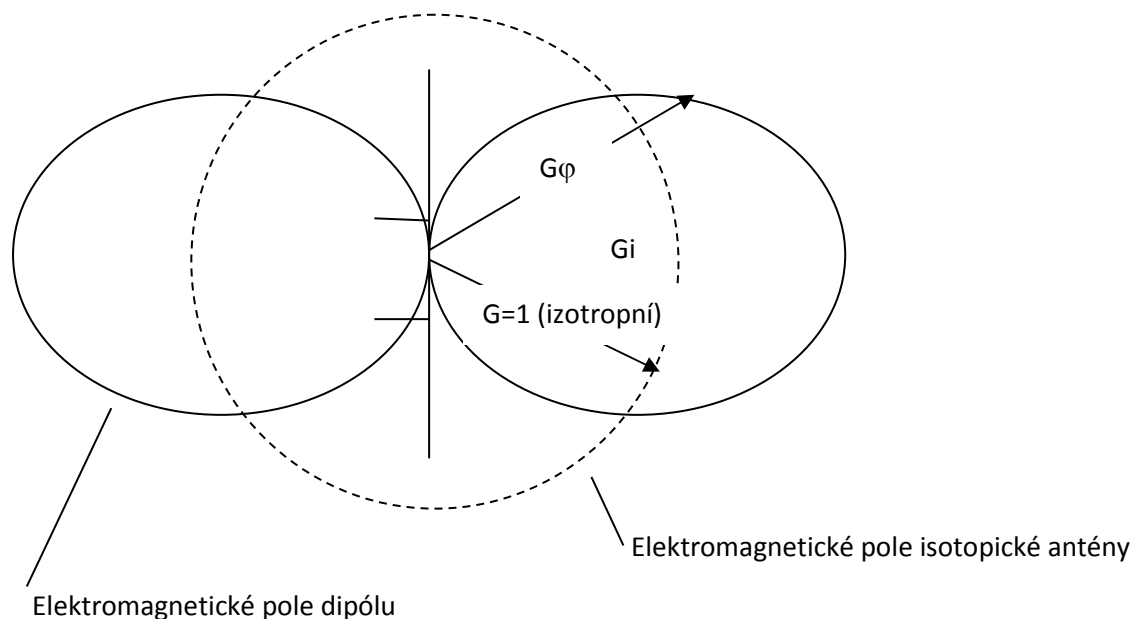
$$S = \frac{P_1 * G_i}{4 * \pi * r^2} \quad (6)$$

kde P_1 – výkon dodávaný anténě,

G_i – zisk antény,

S – hustota elektromagnetického pole,

r – vzdálenost od antény.



Obr. 7. Vyzáření elektromagnetického pole izotropní antény v porovnání s dipólovou anténou [4].

Závislost P_{EIRP} , efektivní výkon vyzářený izotropní anténou a zisku antény lze vyjádřit rovnicí:

$$P_{EIRP} = P_1 * G_i \quad (7)$$

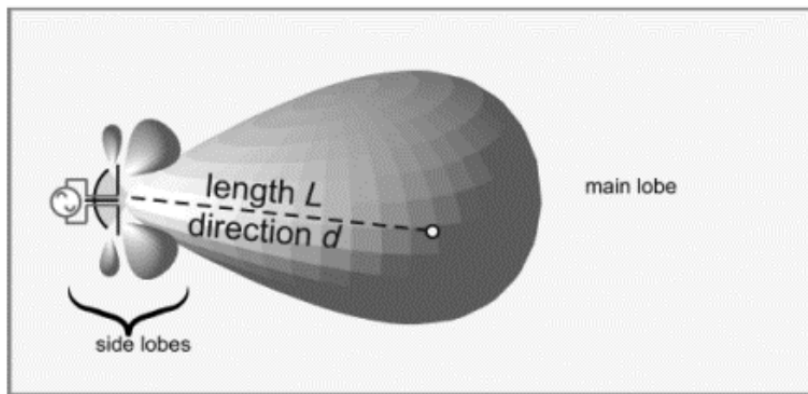
kde P_1 – výkon dodávaný anténě,
 G_i – zisk antény.

3.3.3.1. Polarizace a směřování antény

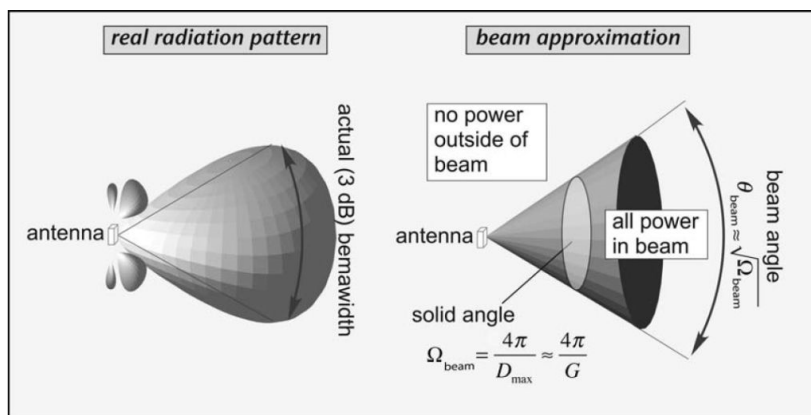
Anténu RFID čtečky je třeba umístit tak, aby vyzařovala elektromagnetické pole směrem, kde se nachází RFID tagy, do čtecí zóny. Na Obr. 8 je 3-D model vyzařovacího laloku antény.

Pro každý směrový vektor d , který vychází ze středu antény, vzdálenost k povrchu vyzařovaného laloku odpovídá relativní hustotě výkonu vyzářeného anténou v tomto směru. Směrový výkon (zisk antény v daném směru) ve směru vektoru d je podíl intenzity záření ve směru d a průměrné intenzity záření pro všechny směry. Směrový výkon spolu se směrem, v kterém je maximalizován, vynásobený účinností záření je zisk směrové antény, označovaný jako G . Tzn. ve směru maximální vyzařované hustoty

výkonu, dostáváme G krát vyšší výkon, než bychom obdrželi v porovnání s izotropní anténou. Čím vyšší je výkon směrové antény, tím je vyzařovací lalok užší. Matematicky lze tento vztah vyjádřit aproximací vyzařovacího laloku vyzařovacím kuželem a předpokladem, že energie vyzařovaná anténou je v tomto kuželu rovnoměrně rozprostřena, mimo kužel k žádnému dalšímu vyzařování nedochází, viz Obr. 9.



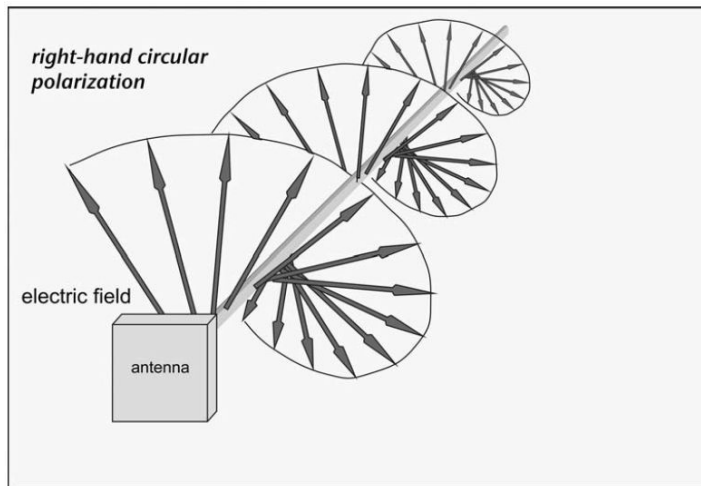
Obr. 8. Záření elektromagnetického antény, hlavní vyzařovací lalok (angl. main lobe) a malé postranní laloky (angl. side lobes) [3].



Obr. 9. Aproximace vyzařovaného laloku směrové antény kuželem [3].

Jednoduchá anténa, např. dipól, vyzařuje elektromagnetické vlny ve směru osy dipólu, horizontálně. Následkem toho by RFID tag s anténou orientovanou kolmo k lineárně polarizovanému elektromagnetickému poli nepřijímal žádný signál a nemohl číst informace zasílané RFID čtečkou. Jedním z řešení je měnit směr elektromagnetického pole v čase a získat kruhově polarizované vlny, ve kterém se elektrické pole otáčí, Obr. 10. Také

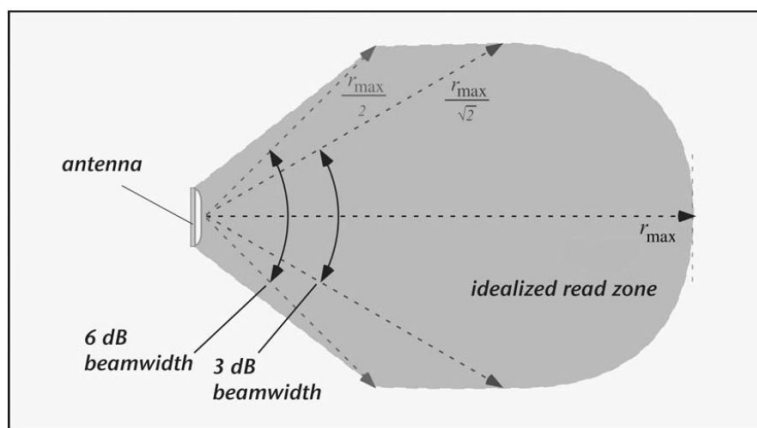
existuje možnost přepínat mezi horizontálně a vertikálně polarizovanou anténou (v čase řádu milisekund).



Obr. 10. Kruhová polarizace RFID antény [3].

3.3.3.2. Antény pro RFID čtečky

Směrové antény se rozmísťují tak, aby obsáhly zadanou čtecí zónu. Hrubý odhad tvaru čtecí zóny lze získat aproximací kuželem se snížením výkonu antény o 3 až 6 dB po stranách kužele, viz Obr. 11. Někdy tento anténní kužel bývá uveden v technických datech výrobce antény. Skutečný tvar čtecí zóny bude dále ovlivněn postranními laloky antény a odrazy od dalších objektů nacházejících se v blízkosti čtecí zóny.



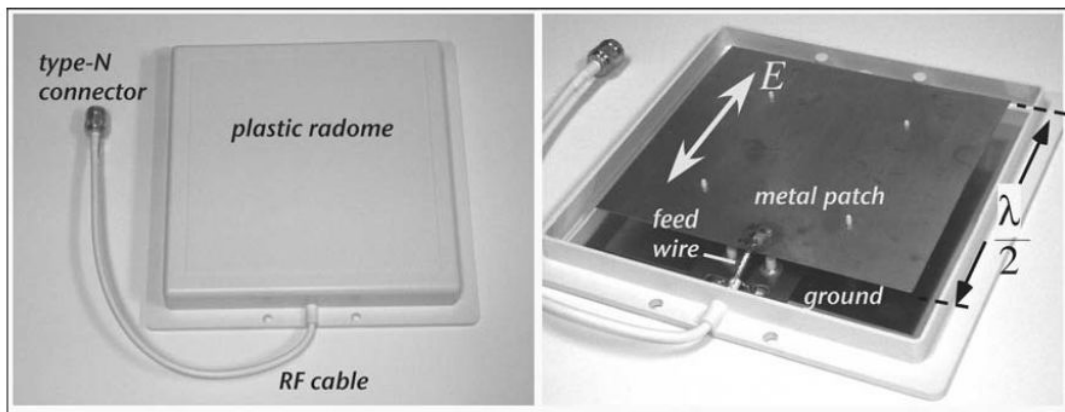
Obr. 11. Aproximace tvaru čtecí zóny panelové antény [3].

Existuje velké množství typů antén, které je možné použít pro RFID čtečky. Používají se hlavně dva typy s kruhovou a lineární polarizací. Kruhová anténa, oproti lineární anténě je schopna číst ze širšího úhlu při malé vzdálenosti a může číst různě orientované RFID tagy. Výhodou lineární antény je lepší čtecí výkonnost a přesnost je-li možné nastavit orientaci RFID tagu. Při návrhu RFID systému je třeba si uvědomit následující kritéria [3]:

- V jaké vzdálenosti od RFID tagu bude umístěna RFID čtečka.
- Lze nastavit pozici a orientaci snímaného RFID tagu a do jaké míry.
- Jak velkou oblast je třeba pokrýt signálem pro snímání RFID tagů.

Panelová anténa (Patch Antenna)

Velmi populární, jednoduchý typ antény pro RFID čtečky. Skládá se z čtvercového kovového plechu, větší zemnicí desky a plastového krytu. Výhodou je snadná výroba a možné přizpůsobení podle požadavků zákazníka. Na Obr. 12 je uvedena jednoduchá panelová anténa vysílající lineárně polarizované vlny.



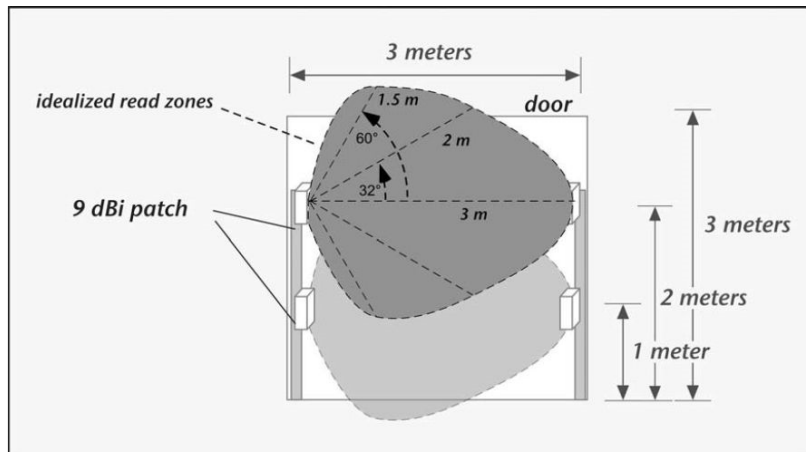
Obr. 12: Panelová anténa, vlevo plastový kryt, vpravo vnitřní struktura s vrchním kovovým plechem (metal patch) a uzemněním (ground) [3].

Existují také panelové antény vysílající vlny kruhově polarizované. Například přidáním druhého čtvercového kovového plechu pootočenému o 90 stupňů. Čtvrtinu cyklu anténa vysílá horizontálně orientované vlny a čtvrtinu vertikálně orientované, vyzařované magnetické pole tak rotuje.

Další možností je použití kruhového plechu s asymetrickou drážkou, které také vytvoří kruhově polarizované elektromagnetické pole.

Antény pro fixní RFID čtečky, umístění, montáž

RFID čtečky pro pasivní RFID tagy se často používají pro sledování průchodu zboží, osob přes čtecí zónu, dveře, bránu, nakládací rampu, ... Takto instalované antény nebudou měnit svoji polohu v čase. Typickým příkladem je monitorování průchodu zboží dveřmi skladu o šířce dveří 3-5 metrů. RFID čtečky by neměly číst tagy mimo čtecí zónu, tj. je třeba zabránit falešně pozitivnímu čtení a nečíst RFID tagy nacházející se mimo dveře (zboží neprocházející dveřmi, RFID tagy umístěné v kapsách zaměstnanců, ...). Další požadavky kladené na monitorování průchodu RFID tagu čtecí zónou je detekce z jaké strany tag do zóny přišel, detekovat tagy i když monitorované zboží nepropouští elektromagnetické vlnění. Toho nelze dosáhnout použitím pouze jedné antény, typické RFID systémy tak obsahují čtyři antény umístěných na protilehlých stranách dveří.



Obr. 13: Příklad idealizované čtecí zóny monitorující průchod dveřmi o šířce 3 m, používající panelové antény, rozměry kužele čtecí zóny odpovídají technickým parametrům komerční antény o zisku 9 dB [3].

Důležité charakteristiky při montáži fixní antény RFID čtečky [3]:

- Zisk antény: při instalaci je třeba použít antény s předem známým tvarem kužele čtecí zóny než antény všesměrové. Používají se antény o zisku cca 6 dB (maximální dovolený zisk bez případné licence v USA).

- Šířka pásma: anténa musí být v souladu s RFID čtečkou a kabely, které se používají. V USA se používá šířka pásma 902-928 MHz, v Evropě je pro RFID vyhrazeno pásmo 865-868 MHz.
- Tvar vyzařovaného kužele antény: kužel nemusí být symetrický, můžeme použít jiné tvary kužele (dlouhé a úzké – tzv. fan beam) a tak přizpůsobit čtecí zónu zadanému RFID systému.
- Polarizace: polarizace antény záleží na typu a orientaci antén RFID tagů. Dipólová anténa je schopna číst pouze RFID tagy s anténou orientovanou ve směru lineárně polarizovaného elektromagnetického pole dipólové antény. Když nemůžeme zajistit orientaci RFID tagů, je třeba použít anténu s kruhovou polarizací elektromagnetického pole (což vede ke snížení zisku antény o 3 dB). RFID tagy s dvojitou dipólovou anténou jsou méně náchylné na změny v orientaci a kladou minimální nároky na antény RFID čteček.

U reálné instalace je třeba uvažovat odrazy elektromagnetických vln od dveřního rámu, vozíků převážejících monitorované zboží a ostatních objektů v okolí. V případě monitorování zboží blízko podlahy, je třeba uvažovat i odrazy vln od podlahy. Přibližuje-li se RFID tag anténě, prahu dveří, šířka vyzařovaného kužele se zmenšuje a RFID tag nemusí být správně načten.

Montáž antén RFID čteček

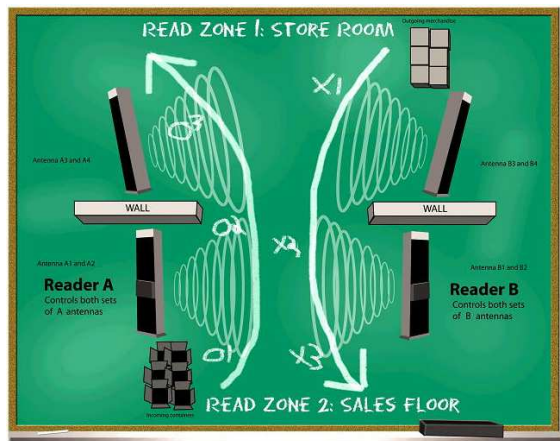
Při upevnění antén je třeba uvažovat možné dodatečné vychýlení antén o cca 5-20 stupňů pro zlepšení čtení tagů v jednotlivých zónách. Je třeba také uvažovat materiál prostředí v okolí antén, například kompozitní materiál stěn ovlivňuje čtení RFID tagů (tagy mohou být čteny i přes stěny). Dlouhé anténní kabely mohou snížit výkonnost systému. Proto při instalaci je výhodnější vést kabely stěnou pomocí vyvrtaných děr a tak snížit délku anténních kabelů na minimum.

Na Obr. 14 je uveden příklad realizované instalace [6]. Čtecí zóna 1 reprezentuje místnost skladu a čtecí zóna 2 je prodejna. Čtečka A má

připojené čtyři antény: A1, A2, A3, A4. Taktéž čtečka B, antény: B1, B2, B3, B4. Jsou definované dvě čtecí zóny:

- čtecí zóna 1 pokrytá anténami A3, A4, B3 a B4
- čtecí zóna 2 pokrytá anténami A1, A2, B1 a B2

Délka anténních kabelů je eliminována vyvrtáním děr ve stěnách. Pro odlišení čtecích zón byly antény čtecí zóny 1 vychýleny o 10 stupňů.



Obr. 14. Příklad realizace RFID instalace [6].

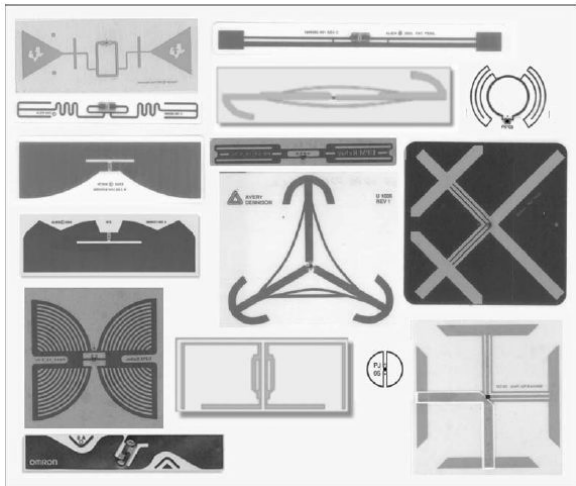
3.3.3.3. Antény pro RFID tagy

Antény RFID tagů pracují na stejných principech jako antény RFID čteček, mají ale některé odlišnosti:

- Cena: celkové náklady na RFID tag (tj. včetně integrovaných obvodů-IC, antény, lepidla, testování) musí být menší 1 USD. Dlouhodobým cílem je snížit náklady na RFID tag pod 0,05 USD [3]. Naproti tomu středně kvalitní anténa pro RFID čtečku stojí kolem 150 USD.
- Velikost: dodavatelské řetězce vyžadují, aby RFID tagy svou velikostí vyhovovaly 100 mm dlouhému popisnému štítku s tloušťkou menší 1 mm.
- Polarizace: v mnoha aplikacích orientaci antény RFID tagu nelze kontrolovat. Je třeba najít kompromis mezi kruhovou polarizací antény RFID čtečky (a zmenšit rozsah čtení) nebo použitím dual-dipólové antény RFID tagu (a zvětšit rozměry RFID tagu a tak zvýšit jeho cenu).

- Dostatečné napájení: integrované obvody RFID tagu spotřebují jen minimum proudu a potřebují přiměřené vstupní napětí. Anténa RFID tagu potřebuje co největší výstupní napětí, to vše při co nejmenší velikosti tagu.

Aby bylo možné vyhovět výše uvedeným požadavkům, vývojáři RFID tagů navrhli a vyvinuli řadu neobvyklých anténních struktur, Obr. 15.



Obr. 15: Komerční vzorky pasivních UHF RFID tagů [3].

Polarizace

Antény RFID tagů jsou vyrobeny z tenkých vodičů a v případě elektromagnetického vlnění kolmého k jejich rovině zůstávají neviditelné pro RFID čtečky. RFID tag tak musí být v souladu s polarizací elektromagnetických vln vysílaných anténou RFID čtečky. Toho lze dosáhnout těmito způsoby:

- Správnou orientací tagu: umožnit nastavení RFID tagu, natočení do správné polohy.
- Kruhovou polarizací antény RFID čtečky: anténa RFID čtečky s kruhovou polarizací elektromagnetických vln umožní číst RFID tagy v jakékoliv poloze.
- Dual dipól: speciální anténa RFID tagu, která umožní čtení elektromagnetických vln v jakémkoliv směru.

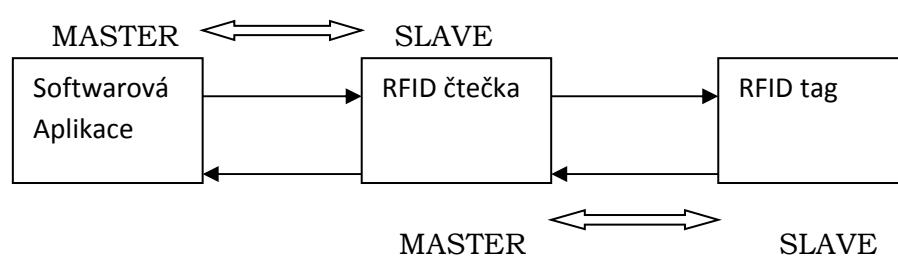
4. Softwarové aplikace s RFID tagy

4.1. Přenos dat v nadřazené softwarové aplikaci

Nadřazené softwarové aplikace (middleware), které čtou data z RFID tagů, případně zapisují data do těchto tagů a s těmito údaji dále pracují, provádí tyto operace prostřednictvím RFID čtečky. Komunikace mezi middleware, RFID čtečkou a RFID tagem probíhá principem „Master-Slave“, Obr. 16.

Komunikaci inicializuje nadřazená softwarová aplikace (middleware), která začne komunikovat s RFID čtečkou. Po provedení příkazu softwarové aplikace, RFID čtečka zašle dotaz na RFID tag. Při této komunikaci je RFID čtečka v roli Master a RFID tag v roli Slave. RFID tag pouze odpovídá na dotazy RFID čtečky.

Hlavní funkcí RFID čtečky je komunikace s RFID tagy a přenos dat mezi middleware a RFID tagy. Dále čtečky zabezpečují ostatní funkce bezkontaktní komunikaci např. autentizace, navázání spojení, řešení kolizí, atd. V tabulce 2 jsou uvedeny základní charakteristiky využití RFID systémů pro jednotlivé, výše uvedené frekvence.



Obr. 16. Princip komunikace Master-slave mezi RFID čtečkou a RFID tagem [4].

Tab. 2. Základní charakteristiky RFID systémů, zdroj Allied Business Intelligence Inc.

	LF 125 kHz	HF 13,56 MHz	UHF 868-915 MHz	MW 2,45GHz 5,8 GHz
Čtecí dosah	do 0,5 m	cca 1 m	cca 3 m	cca 1 m
Obecné charakteristiky	Relativně drahé, LF systémy vyžadují delší, dražší měděnou anténu. Tagy na bázi el.mag. /indukce jsou dražší než kapacitní tagy. Nižší výkon při kontaktu s kovem, kapalinou.	Levnější než LF tagy. V porovnání s vyššími frekvencemi tyto systémy mají nižší přenos dat a čtecí vzdálenosti. Pro aplikace, které nepotřebují číst velký počet tagů současně.	Při sériové výrobě jsou UHF systémy levnější než LF a HF. Nabízí dobrý poměr čtecí vzdálenost a výkon, schopné číst několik tagů současně.	Podobné charakteristiky jako UHF tagy, ale vyšší rychlost přenosu dat. Nevýhodou je snížení výkonu při kontaktu s kovem, kapalinou.
Zdroj energie RFID tagu	Pasivní RFID tagy, využívající el. mag. indukci.	Pasivní RFID tagy, využívající el. mag. indukci nebo napájecí kondenzátor.	Aktivní/pasivní RFID tagy, využívající el. mag. indukci nebo napájecí kondenzátor.	Aktivní/pasivní RFID tagy, využívající el. mag. indukci nebo napájecí kondenzátor.
Typické současné aplikace	Systémy přístupu, monitorování zvířat, imobilizéry v autech	Smart karty, sledování pohybu zboží v logistice (zavazadla-mimo USA), knihovnictví.	Sledování pohybu palet, zavazadel (v USA), elektronický výběr mýtného.	Sledování pohybu kontejnerů, elektronický výběr mýtného.
Poznámky	Nejvyšší počet instalací, důvodem je velký počet RFID tagů pracujících na nízké frekvenci	Celosvětově nejvíce dostupné HF. Využití pro smart karty.	Japonsko nedovoluje využívání těchto frekvencí. V Evropě je povolené pásmo 868 MHz, USA povoluje pásmo 915 MHz	
Rychlost přenosu dat	Nízká	Nízká	Střední	Vysoká
Schopnost čtení v blízkosti kovu, mokrých povrchů	Nižší	Dobrá	Špatná	Špatná

5. Embedded systémy (vestavěné systémy)

Embedded systémy jsou systémy s vestavěným počítačem. Jsou většinou navrženy k ovládání jednoúčelových, předem definovaných zařízení, na rozdíl od například osobních počítačů. Z toho důvodu může být vestavěný systém při jeho návrhu, optimalizován pro konkrétní aplikaci a při výrobě ve větších sériích je jeho cena podstatně nižší než u univerzálních počítačů. Příkladem jsou například bankomaty, řídicí jednotky spalovacích motorů, praček,... Některé vestavěné systémy pracují v reálném čase. Jako vestavěné systémy se v současné době označují také inteligentní mobilní telefony, PDA, MDA, Mini PC jako např. Raspberry Pi.

Software vestavěných systémů se označuje firmware a bývá nahrán na paměť Flash, případně ROM. Software pracuje s omezenými hardwarovými prostředky, např. omezenou paměť.

Procesory embedded systémů; používají obě dvě základní procesorové architektury, Von Neumann a Harvard, instrukční sadu RISC i non-RISC. Délka slov vestavěných procesorů je v rozsahu 4 bity až 64 bitů. Procesory vestavěných systémů lze rozdělit do dvou hlavních kategorií:

- Běžné mikroprocesory: používají oddělené integrované obvody pro paměť a zařízení periférií.
- Mikrokontroléry: obsahují on-chip periférie (zařízení periférií umístěné přímo na čipu) a tak snižují spotřebu energie, cenu a rozměry vestavěného systému.

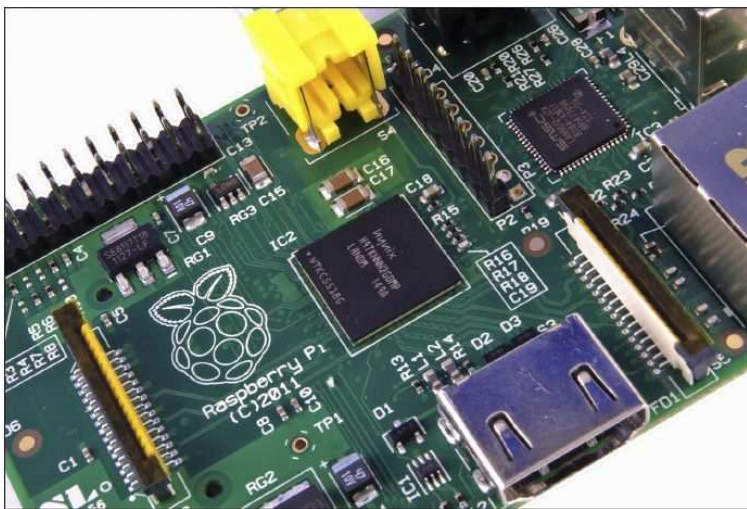
Pro komunikaci s externími zařízeními používají vestavěné systémy periférie jako:

- Interface sériové komunikace (SCI) RS-232, RS-422,...
- USB
- Síťové rozhraní Ethernet
- ADC/DAC (Analog to Digital/Digital to Analog)
- A další ...

5.1. Raspberry Pi

Raspberry Pi je vestavěný systém s mikroprocesorem o velikosti nepatrně větší než je kreditní karta. Jádrem Raspberry Pi je multimediální procesor Broadcom BCM2835 systém-on-chip (Soc). Tento procesor je umístěn za 256 MB paměťovým čipem uprostřed destičky, viz Obr. 17.

Procesor BCM2835 se odlišuje od počítačových procesorů (například použitých v notebooku) SoC designem a jinou sadou instrukcí ISA (Instruction Set Architecture), známou pod zkratkou ARM.



Obr. 17. Procesor BCM2835 umístěný za paměťovým čipem Hynix (uprostřed) [2].

ARM architektura byla vyvinuta firmou Acorn computers v letech 1980. V PC počítačích se nepoužívá, její použití je hlavně v mobilních zařízeních jako jsou mobilní telefony. ARM architektura používá instrukční sadu RISC (Reduced Instruction Set Computing) a má nízké nároky na napájení. Desktopové počítače naproti tomu mají velké nároky na napájení a pracují s instrukční sadou CISC (Complex Instruction Set Computing).

Raspberry Pi tak při použití ARM architektury vyžaduje pouze 5 V a 1 A napájení, které se dodává pomocí mikro USB portu. Z těchto důvodů na Raspberry Pi nejsou instalovány žádné chladicí destičky, tepelné vyzařování je velmi malé.

Použitím ARM architektury je však Raspberry Pi nekompatibilní s PC programy. PC programy jsou vystavěny na instrukční sadě x86 (procesory AMD, Intel a VIA) a nemůžou být spuštěny na Raspberry Pi.

Procesor Broadcom BCM2835 používá design označený jako ARM11 a instrukční sadu ARMv6. Existuje také vyšší verze ARMv7, používaná v procesorech ARM Cortex, která je nekompatibilní s ARMv6, tzn. software vyvinutý v ARMv7 nepoběží na procesoru BCM2835.

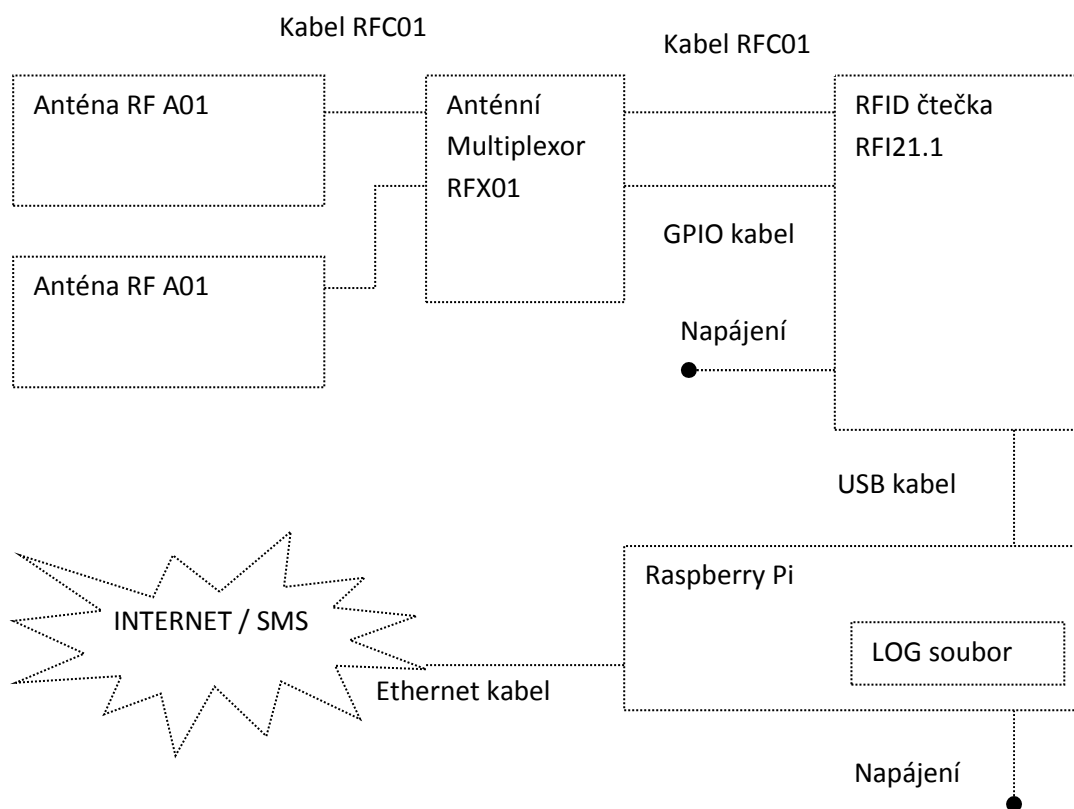
Raspberry Pi používá jako operační systém Linux, distribuce Debian, Fedora, Remix a Arch Linux.

II. Praktická část

6. Návrh embedded systému

6.1. Návrh systému pro zónovou identifikaci osob a zboží

Pro návrh docházkového systému byly použity komponenty společnosti Metra Blansko, RFID čtečka RFI21.2, multiplexor RFX01, dvě antény RFA01. Jako embedded systém byl vybrán Raspberry Pi. Schéma zapojení je uvedeno na Obr. 18.



Obr. 18. Zapojení docházkového systému [autor].

6.2. RFID čtečka Metra Blansko

Čtečka RFI21.1 čte a zapisuje data do RFID tagů a tyto data poskytuje nadřazenému systému. Pracuje s protokoly EPC Class 1 Gen 2, IP-X, ISO 18000-6B a ISO 18000-6A, přenosová rychlost je až 640 kb/s.

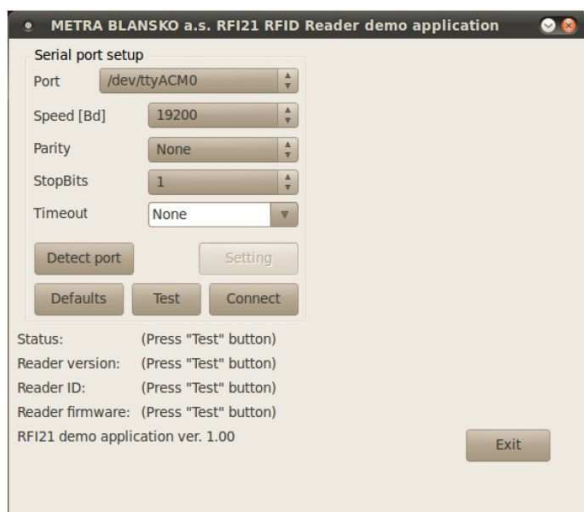
Čtečka je napájena stejnosměrným zdrojem 5 V. Připojení antény je pomocí SMA konektoru. Komunikace s nadřazeným systémem se děje pomocí rozhraní USB 2.0 s konektorem USB micro typ B nebo pomocí rozhraní UART 3,3, V. V našem docházkovém systému je rozhraní USB 2.0 použito pro komunikaci s middlewarem formou virtuálního sériového portu. Nastavení virtuálního sériového portu je uvedeno v příloze kapitola 17. UART rozhraní slouží k zasilání signálů GPIO do připojeného multiplexoru. Je použit GPIO plochý pětižilový kabel zakončený konektorem Hirose ST40-10S-CV(80).

Na čtečce jsou dvě indikační LED diody, zelená indikuje zapojené napájecí napětí a žlutá LED dioda status čtečky (připravenost pro komunikaci s nadřazeným systémem).

Čtečka je zabudována v nerezovém krytu s hliníkovou chladicí deskou, povrchová úprava lakováním. Konstrukčně je tak možné čtečku použít v prostorách interiéru, průmyslu, logistice a podobně.

Komunikace RFID čtečka – middleware

Pro komunikaci s RFID čtečkou byl využit program společnosti Metra Blansko RFID Reader Demo Application. Aplikace je napsána v jazyce python 2.6. Pomocí této aplikace je možné ověřit a nastavit základní funkce čtečky. Aplikace se spouští v prostředí Linux skriptem start_linux.sh, v prostředí Windows skriptem start_win.bat, Obr. 19.



Obr.. 19. Okno formuláře pro nastavení připojení čtečky [5].

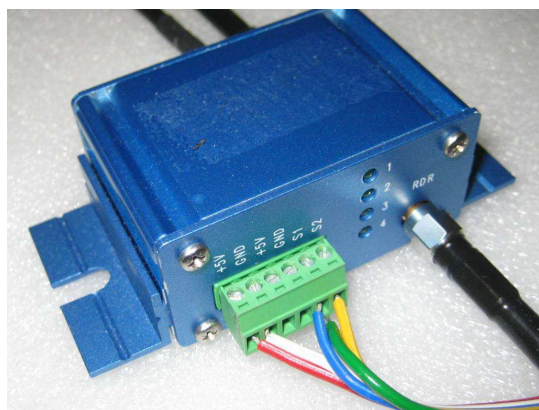
6.3. RFID multiplexor RX01 Metra Blansko

Anténní multiplexor RX01 slouží k přepínání mezi jednotlivými anténami UHF RFID čtečky Metra Blansko. Multiplexor umožňuje připojit až čtyři antény k jedné čtečce. V naší aplikaci jsme připojily pouze antény dvě, které dostatečně identifikují průchod čtecí zónu.

Multiplexor je napájen stejnosměrným napájecím zdrojem 5 V. Antény se připojují SMA konektorem a kabelem o impedanci 50 ohm. Na nepřipojené antény je třeba použít 50 ohm terminátory. Multiplexor je řízen pomocí GPIO (General Purpose Input/Output) rozhraní RFID čtečky. Řídící signály RFID čtečky, které slouží k přepínání mezi jednotlivými anténami, se přivedou ze čtečky GPIO kabelem na dvou vodičové rozhraní multiplexoru označené na svorkovnici S1, S2 (napětí nesmí překročit 3,3 V). Řízení multiplexoru (L=0 V, H=3 V) je uvedeno v tabulce 3. LED diody (označené 1, 2, 3, 4) signalizují aktivní anténu, Obr. 20.

Tab. 3. Řídící signály multiplexoru [5].

Anténa	S1	S2
1	L	L
2	L	H
3	H	H
4	H	L



Obr. 20. Zapojení napájecích a řídicích kabelů k multiplexoru RFX01 [autor].

6.4. Anténa

Použitá anténa typ RFA01 s kruhovou polarizací, výrobce Metra Blansko, viz Obr. 22. Technické parametry antény [5]:

- Zisk: 7 dBi typ
- Vyzařovací úhel: 65°
- Anténní konektor: SMA
- Kmitočtový rozsah: 865–870 MHz

Anténa má použití v RFID technologiích, lze ji však použít i v oblastech mimo RFID (telemetrie, logistika, přenos dat v pásmu 868 MHz). Funkčnost antény může být ovlivněna přítomností kovových, železobetonových konstrukcí v blízkosti antény a přístrojů, které vyzařují elektromagnetické vlny.

6.5. Návrh aplikace

6.5.1. Softwarová aplikace

Softwarová aplikace zabezpečující identifikaci průchodu tagu čtecí zónou byla vyvinuta v jazyce java 1.6. Katalog požadavků, Model jednání, stavový diagram a návrh hlavních tříd je uveden v příloze III. Architektura aplikace byla rozdělena do čtyř vrstev (balíků):

- core
- processing
- server
- constants

V balíku core se nachází základní třídy aplikace Entry.java a Tag.java, do kterých se ukládají parametry přístupu (tzv. Value Objects). Dále třídy výjimek.

Balík processing obsahuje třídy pro manipulaci s daty, vyhodnocení průchodu čtecí zónou. Vyhodnocování průchodu čtecí zónou se provádí ve třídě AccessDAO.java, která je řešena jako singleton, metody třídy

zabezpečující vyhodnocování jsou synchronizovány. RFID čtečka Metra Blansko posílá aplikaci detekované RFID tagy kontinuálně [5]. Aplikace tak detekuje všechny tagy, které se nacházejí v čtecí zóně RFID čtečky, vyhodnocovány jsou však jen tagy, které prošly čtecí zónou (které detekovaly obě dvě antény) v obou směrech přístupu (příchod a odchod). Pro dočasné ukládání detekovaných tagů a průchodů jsou využity kolekce java, rozhraní java.util.Set, které zabezpečí uložení pouze unikátních hodnot. Jsou ošetřeny všechny možné stavy:

- průchod tagu přes obě antény oběma směry
- průchod tagu pouze přes jednu anténu (tj. vstup do čtecí zóny jedné antény a návrat zpět)
- průchod tagu přes obě antény a okamžitý návrat zpět
- vstup do čtecí zóny a setrvání ve čtecí zóně

Součástí balíku processing jsou i třídy CleanPassageTimer.java a CleanEntryTimer.java. Třída CleanEntryTimer.java odstraňuje problém detekování tagu výstupní anténou při průchodu přes obě antény. V tomto případě je detekován průchod čtecí zónou, výstupní anténa ale ihned detekuje vystupující tag jako vstupující. Tato detekce je potřebná, protože tag může ihned projít čtecí zónou zpět. Z toho důvodu třída CleanEntryTimer.java po určitém časové periodě (osm vteřin, které lze změnit konfiguračním souborem) tyto detekované tagy odstraňuje. Třída CleanPassageTimer.java řeší problém detekování průchodu čtecí zónou, jestliže se vyzářovací kužele obou antén kříží. V tomto případě je RFID tag v určitém okamžiku detekován oběma anténami současně, proto po určité časovou periodu (osm vteřin, které lze změnit konfiguračním souborem) při současné detekci oběma anténami je zamezeno aplikaci tento průchod identifikovat vícekrát. Stavový diagram je uveden v kapitole 15., CleanEntryTimer je zde označen Timer1 a CleanPassagetimer Timer2. Logování průchodů do souboru zabezpečuje třída PassageLoggingTool.java. Odesílání notifikačního emailu se provede ve třídě SendEmail.java.

Balík server zabezpečuje TCP komunikaci s programem Reader Demo Application čtečky pomocí vláken, informace o vstupu tagu do čtecí zóny jsou předávány do třídy processing.AccessDAO.java.

V balíku constants je finální třída Constants.java, ve které jsou nastaveny statické proměnné aplikace, například název logovacího souboru, zasilací emailová adresa, názvy antén, atd. Je zde také třída ApplicationConfigFileLoader.java, která umožňuje nahrát tyto proměnné aplikace z textového konfiguračního souboru. Jestliže není konfigurační soubor přítomen nebo jestli obsahuje neúplná data, použijí se defaultní hodnoty aplikace. Je třeba dodržet název konfiguračního souboru „rfidConfig.tx“, hodnoty souboru mohou být uvedené v jiném pořadí, není-li některá uvedena, použije se přednastavená hodnota z třídy Constants.java:

```
leftAntenna: Q1
rightAntenna: Q2
mailAddress: novak@seznam.cz
mailPassword: xxxx
mailSubject: RFID_logging_test
clearingTimeout: 15
internet: false
```

Vyhodnocené tagy jsou logovány do souboru rfidPassages.txt a jsou zasílány notifikační emaily, které emailová schránka přepošle pomocí SMS zprávy na mobilní telefon viz Obr. 27 a 28.

Diagram tříd aplikace je uveden v příloze 7. Aplikace se spouští třídou server.TcpServer, případně runnable jar exe souborem, viz příloha 10.2.

6.5.2. Komunikace Raspberry Pi – RFID čtečka

Komunikace aplikace s RFID čtečkou je řešena TCP/IP protokolem. Aplikace pracuje jako TCP server, ovládací program RFID čtečky má funkci TCP klienta. Ovládací program čtečky je napsán v jazyce python, kód programu TCP klient byl do tohoto programu naimplementován. Při detekování tagu, tak TCP klient odešle informaci (Id tagu, Id antény, RSSI) TCP serveru pomocí lokálního portu Raspberry Pi. TCP server tuto informaci přijme a předá processing vrstvě aplikace pro další zpracování. Sekvenční diagram systému je uveden v příloze kapitola 13.

6.6. Testování aplikace

6.6.1. Požadavky testování

- Testování bude provedeno v místě vývoje aplikace.
- Účastníky testování budou vývojář aplikace a osoba procházející čtecí zónou.
- Účastníci testování budou provádět testy na dodané aplikaci a dokumentovat výsledky.
- Opravené chyby budou opět testovány.
- Testování bude provedeno na platformě Linux (Raspberry Pi).

6.6.2. Scénáře testování

- Spuštění aplikace, nahrání konfiguračního souboru.
- Průchody čtecí zónou z antény Q1 do antény Q2 a zpět, když se vyzařovací kužele obou antén nepřekrývají (zaznamenání průchodů do souboru a notifikace emailem, SMS zprávou).
- Průchod čtecí zónou z antény Q1 do antény Q2 a zpět, když se vyzařovací kužele obou antén překrývají (zaznamenání průchodů do souboru a notifikace emailem, SMS zprávou).
- Průchod čtecí zónou velkého množství RFID tagů, když se vyzařovací kužele obou antén překrývají (zaznamenání průchodů do souboru a notifikace emailem, SMS zprávou).

6.6.3. Výsledky testování aplikace

Spuštění aplikace, nahrání konfiguračního souboru

Spuštění aplikace bylo provedeno podle přílohy kapitola 17 v pořádku.

Průchody čtecí zónou z antény Q1 do antény Q2 a zpět, když se vyzařovací kužele obou antén nepřekrývají

Testování bylo provedeno zároveň s měřením koridoru, viz kapitola 7.3. Byly testovány případy, kdy je vzdálenost tagu od antény menší, než

průsečík křížení vyzařovacích kuželů, viz tabulka 8. Provedeno bylo cca 40 průchodů, všechny průchody byly úspěšně zaznamenány, viz příloha práce.

Průchody čtecí zónou z antény Q1 do antény Q2 a zpět, když se vyzařovací kužele obou antén překrývají

Testování bylo provedeno zároveň s měřením koridoru, viz kapitola 7.3. Byly testovány případy, kdy je vzdálenost tagu od antény větší, než průsečík křížení vyzařovacích kuželů, viz tabulka 8. Bylo provedeno cca 40 průchodů, všechny průchody byly úspěšně zaznamenány, viz příloha práce.

Průchody čtecí zónou velkého množství RFID tagů

Vstupní parametry:

- 10, 20 a 23 kusů čtyř různých druhů tagů, dle tabulky 5.
- Testovaná orientace tagu rovnoběžná s plochou antény, Obr 22.
- Výkon RFID čtečky 25 dBm (max. výkon).
- Vzdálenost mezi oběma anténami 0,5 m, vyzařovací kužele se překrývají.
- Nastavení časovače 8 a 16 vteřin.
- Všechny tagy byly na dobu cca 2 vteřin přiloženy na první anténu a poté cca 2 vteřiny přiloženy na druhou anténu.

Výstupní parametry:

- Detekce úspěšného průchodu zalogováním v souboru a zasláním emailu/SMS zprávy, výsledky testu jsou uvedeny v příloze této zprávy.

Výsledky testu:

Postupně bylo provedeno pět testů s 10-ti, 20-ti a 23-ti tagy, byl simulován nejproblematictější případ, kdy se vyzařovací kužele obou antén překrývají. První dva testy s 10-ti a 20-ti tagy nedopadly 100 % správně. U 10-ti tagů RFID čtečka detekovala všechny tagy, ale výpis logu detekce průchodu detekoval správně pouze 9 průchodů, 1 průchod byl zapsán v opačném směru. U 20-ti tagů čtečka detekovala pouze 18 RFID tagů, výpis logu průchodu detekoval 18 tagů, ale pouze 9 průchodů správným směrem.

Špatné detekování bylo způsobeno zpožděním aplikace (krátká doba nastavení časovače a zpoždění v metodě isInternetReachable()) – třída AccessDAO.java při zjišťování dostupnosti připojení na internet). Aplikace byla upravena, přístup k internetu se nastavuje v konfiguračním souboru a doba časovače byla zvýšena na 16 vteřin. Po této úpravě aplikace další tři testy dopadly úspěšně, výsledky testů viz tabulka 4 a příloha této práce.

Tab. 4: Výsledné hodnoty testování průchodu velkého množství tagů [autor].

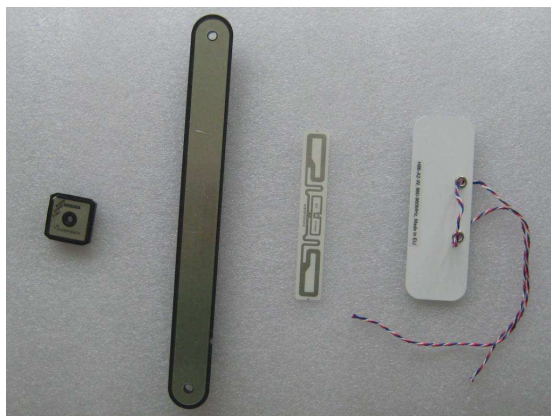
Pos	Název tagu	Výkon čtečky [dBm]	Počet tagů	Zpoždění [s]	Počet průchodů detek. čtečkou	Počet průchodů správně detek. aplikací	Počet průchodů špatně detek. aplikací	Název souboru s výsledky
1	Archive H86_A2_W	25	10	8	10	9	1	test1_10tagu.txt
2	Archive H86_A2_W	25	20	8	18	9	9	test2_20tagu.txt
3	Archive H86_A2_W	25	10	16	10	10	0	test3_10tagu.txt
4	Archive H86_A2_W	25	20	16	19	19	0	test4_20tagu.txt
5	Všechny druhy tagů z tabulky 5	25	23	16	22	22	0	test5_23tagu.txt

7. Měření

Níže uvedená měření byla provedena v laboratořích ČVUT Praha a v místnosti autora. V blízkosti měření byly odstraněny objekty, které by mohly měření ovlivnit vícenásobnými odrazy. Při každém měření bylo s tagem zacházeno stejně, tag se pohyboval rovnoměrným pomalým pohybem o rychlosti cca 0,3 m/s. Měření bylo provedené s RFID tagy, viz Obr. 21, technické parametry uvedené v tabulce 5.

Tab. 5. Měřené RFID tagy [8].

Pos.	Název tagu	Rozměry [mm]	Čtecí rozsah [m]	Frekvenční rozsah [MHz]	Poznámky
1	Confidex Ironside	51,5 x 47,5 x 10	6 - 7	865-869	Tag pro připevnění na kov
2	Confidex Survivor	224 x 24 x 8	8 - 12	865-869	Tag pro jakékoliv použití
3	Casey Slim 3000556	97 x 24 x 0,2	do 10-ti metrů	860-960	Tag pro jednorázové použití, pracuje i v blízkosti kapalin, nelze připevnit na kov
4	Archive H86_A2_W (Chip: Impinj Monza)	105 x 65 x 0,5	neuveden	860-961	Tag vyroben pro dokument management



Obr. 21. Měřené RFID tagy, zleva Confidex Ironside, Confidex Survivor, Cassey Slim, Archive H86_A2_W [autor].

Byly měřeny tyto scénáře:

- Měření maximální čtecí vzdálenosti pro jednu anténu.
- Měření tvaru vyzařovacího kužele (laloku) pro jednu anténu.
- Měření koridoru – dvě antény umístěné ve stěně koridoru.
- Měření dveří – dvě antény umístěné nad dveřním průchodem.
- Měření dveří – dvě antény umístěné vedle zárubně dveří.

7.1. Měření maximální čtecí vzdálenosti pro jednu anténu

V místnosti o rozměrech 6 m x 4,5 m x 2,5 m (d x š x v) byla ve výšce 1 m nad podlahou umístěna anténa, na podlaze položen metr. Měřený tag byl držen v ruce, ve výšce antény. Pro provedení tohoto měření bylo třeba upravit program aplikace, aby vypisoval detekované tagy pouze jednou anténou. Detekované hodnoty byly logovány do příslušného souboru. Pro každý tag byla provedena tato měření:

- Tag se postupně ze vzdálenosti 5 m přibližoval k anténě, při detekování tagu čtečkou byla odečtena vzdálenost, s tagem se poté stejnou rychlostí pokračovalo k anténě. Měření skončilo dotykem tagu antény.
- Tag byl přiložen k anténě a postupně se vzdaloval od antény, při ztrátě signálu byla čtečkou odečtena vzdálenost.

Vstupní parametry:

- Čtyři různé druhy tagů, dle tabulky 5.
- Dvě měřené orientace tagů, tag je rovnoběžný s plochou antény a kolmý k ploše antény, viz Obr. 22.
- Tři nastavitelné hodnoty výkonu RFID čtečky:
 - o 17 dBm-min výkon,
 - o 20 dBm-výkon mezi max. a min. výkonem,
 - o 25 dBm-max. výkon.

Výstupní parametry:

- Detekce maximální čtecí vzdálenosti pro jednotlivé případy, výsledky jsou uvedené v tabulce 6.
- Soubor s logy průběhu měření (čas detekce, ID tagu, RSSI hodnota, ID antény), viz příloha této práce.
- Grafy závislosti RSSI na čtecí vzdálenosti pro výkon čtečky 25 dBm. Přírůstky hodnot čtecí vzdálenosti zobrazené v grafu pro jednotlivé hodnoty RSSI byly vypočítány z podílu změřené maximální čtecí vzdálenosti a počtu zaznamenaných hodnot. Grafy jsou uvedeny v příloze, kapitola 16.



Obr. 22. Měřené orientace tagů, vlevo kolmá, vpravo rovnoběžná orientace k ploše antény [autor].

Tab. 6: Výsledné hodnoty měření maximální čtecí vzdálenosti [autor].

Pos.	Název tagu	Výkon čtečky [dBm]	Orientace tagu k ploše antény	Vzdalování / přibližování k anténě	Max. čtecí vzdálenost [m]
1	Confidex Ironside	17	rovnoběžná	vzdalování	1,7
2	Confidex Ironside	17	rovnoběžná	přibližování	0,7
3	Confidex Ironside	17	kolmá	vzdalování	2,2
4	Confidex Ironside	17	kolmá	přibližování	0,3
5	Confidex Ironside	20	rovnoběžná	vzdalování	1,9
6	Confidex Ironside	20	rovnoběžná	přibližování	0,8
7	Confidex Ironside	20	kolmá	vzdalování	2,6
8	Confidex Ironside	20	kolmá	přibližování	0,5
9	Confidex Ironside	25	rovnoběžná	vzdalování	2,4
10	Confidex Ironside	25	rovnoběžná	přibližování	1,0
11	Confidex Ironside	25	kolmá	vzdalování	2,9
12	Confidex Ironside	25	kolmá	přibližování	1,0
13	Confidex Survivor	17	rovnoběžná	vzdalování	3,6
14	Confidex Survivor	17	rovnoběžná	přibližování	0,9
15	Confidex Survivor	17	kolmá	vzdalování	3,3
16	Confidex Survivor	17	kolmá	přibližování	0,6
17	Confidex Survivor	20	rovnoběžná	vzdalování	4,6
18	Confidex Survivor	20	rovnoběžná	přibližování	1,2
19	Confidex Survivor	20	kolmá	vzdalování	4,0
20	Confidex Survivor	20	kolmá	přibližování	0,8
21	Confidex Survivor	25	rovnoběžná	vzdalování	4,1
22	Confidex Survivor	25	rovnoběžná	přibližování	2,4
23	Confidex Survivor	25	kolmá	vzdalování	4,8
24	Confidex Survivor	25	kolmá	přibližování	1,9
25	Casey Slim	17	rovnoběžná	vzdalování	3,8
26	Casey Slim	17	rovnoběžná	přibližování	0,6
27	Casey Slim	17	kolmá	vzdalování	3,1
28	Casey Slim	17	kolmá	přibližování	0,4
29	Casey Slim	20	rovnoběžná	vzdalování	4,3
30	Casey Slim	20	rovnoběžná	přibližování	0,8
31	Casey Slim	20	kolmá	vzdalování	3,9
32	Casey Slim	20	kolmá	přibližování	0,9
33	Casey Slim	25	rovnoběžná	vzdalování	4,3
34	Casey Slim	25	rovnoběžná	přibližování	1,4
35	Casey Slim	25	kolmá	vzdalování	4,6
36	Casey Slim	25	kolmá	přibližování	0,9
37	Archive H86_A2_W	17	rovnoběžná	vzdalování	3,3
38	Archive H86_A2_W	17	rovnoběžná	přibližování	0,9
39	Archive H86_A2_W	17	kolmá	vzdalování	3,2
40	Archive H86_A2_W	17	kolmá	přibližování	0,9

41	Archive H86_A2_W	20	rovnoběžná	vzdalování	3,5
42	Archive H86_A2_W	20	rovnoběžná	přibližování	1,8
43	Archive H86_A2_W	20	kolmá	vzdalování	2,8
44	Archive H86_A2_W	20	kolmá	přibližování	1,2
45	Archive H86_A2_W	25	rovnoběžná	vzdalování	3,2
46	Archive H86_A2_W	25	rovnoběžná	přibližování	2,2
47	Archive H86_A2_W	25	kolmá	vzdalování	4,3
48	Archive H86_A2_W	25	kolmá	přibližování	1,8

Závěr měření:

Celkem bylo provedeno 48 měření, výsledky v tabulce 6, bylo zaznamenáno cca 4000 odečtených hodnot. Z provedených měření vyplývá, že pro identifikaci osob a zboží je nejlépe použít nejvyšší výkon čtečky (25 dBm). Při nižších výkonech čtečky byly odečtené maximální čtecí vzdálenosti pro použití v praxi nedostatečné. Další měření funkčnosti proto budou provedena pouze pro výkon RFID čtečky 25 dBm.

Zajímavě nízké hodnoty byly odečteny při měřeních, kdy se tag pomalu přibližoval k anténě ze vzdálenosti 5 metrů ve fixní poloze. Jestliže se při přibližování s tagem malinko „zamávalo“ (v rozsahu 1-3 cm), max. čtecí vzdálenost byla vyšší. Výrobce Metra Blansko uvádí max. čtecí vzdálenost RFID tagů při ideálních podmínkách 5 metrů [5], této vzdálenosti nebylo měřením dosaženo. I když byla použita anténa s kruhovou polarizací, naměřené hodnoty max. čtecí vzdálenosti byly vyšší u rovnoběžné orientace tagu. Naměřené hodnoty byly použity pro rozmístění komponent, kapitola 8.

7.2. Měření tvaru vyzařovacího kužele pro jednu anténu

V místnosti o rozměrech 6 m x 4,5 m x 2,5 m (d x š x v) byla na podlaze umístěna anténa, ke které byl přiložen úhelník. Měřený tag byl držen v ruce, ve výškách 300 mm, 600 mm, 900 mm a přibližován k anténě. Při detekování tagu čtečkou byl odečten úhel. Detekované hodnoty byly logovány do příslušného souboru.

Vstupní parametry:

- Čtyři různé druhy tagů, dle tabulky 5.
- Jedna měřené orientace tagů, tag je rovnoběžný s plochou antény.

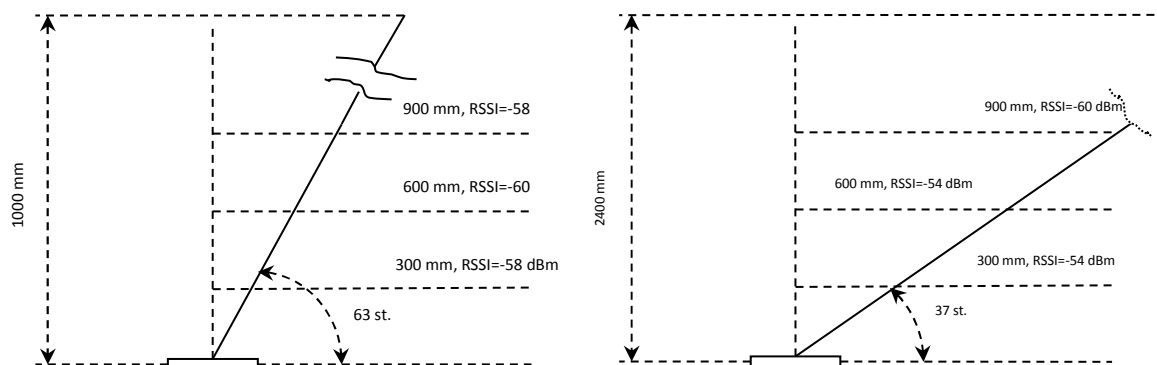
- Výkon RFID čtečky 25 dBm (max. výkon).

Výstupní parametry:

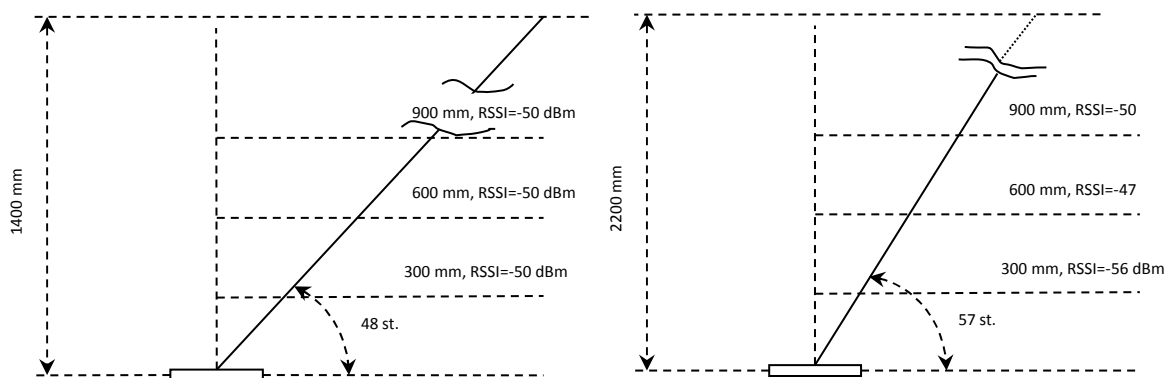
- Detekce úhlu vyzařovacího laloku pro danou výšku, výsledky jsou uvedené v tabulce 7.
- Soubor s logy průběhu měření (čas detekce, ID tagu, RSSI hodnota, ID antény), viz příloha této práce.
- Nákres vyzařovacího kužele, viz Obr. 23, 24, jak jej detekoval každý RFID tag včetně změřené RSSI hodnoty v krajních bodech vyzařovacího kužele při první detekci.

Tab. 7: Výsledné hodnoty měření vyzařovacího kužele [autor].

Pos.	Název tagu	Výkon čtečky [dBm]	Výška tagu nad anténou [mm]	Čtecí úhel [stupně]	Průměrný čtecí úhel [stupně]	Vyzařovací úhel [stupně]	RSSI v bodě čtecího úhlu [dBm]
1	Confidex Ironside	25	300	60	63	54	-58
2	Confidex Ironside	25	600	65			-60
3	Confidex Ironside	25	900	65			-58
4	Confidex Survivor	25	300	30	37	106	-54
5	Confidex Survivor	25	600	35			-54
6	Confidex Survivor	25	900	45			-60
7	Casey Slim	25	300	40	48	84	-50
8	Casey Slim	25	600	50			-50
9	Casey Slim	25	900	55			-50
10	Archive H86_A2_W	25	300	50	57	66	-56
11	Archive H86_A2_W	25	600	60			-47
12	Archive H86_A2_W	25	900	60			-50



Obr. 23. Nákresy změřených vyzařovacích kuželů pro tag Confidex Ironside (vlevo) a Confidex Survivor (vpravo) [autor].



Obr. 24: Nákresey vyzařovacích kuželů pro tag Casey Slim (vlevo) a tag Archive (vpravo) [autor].

Závěr měření:

Celkem bylo provedeno 12 měření, výsledky tabulka 7, zaznamenáno cca 1200 hodnot. Tagy se přibližovaly k anténě ve fixní poloze, orientace tagu rovnoběžná s plochou antény. Změřený úhel vyzařovacího kužele by byl menší (širší vrchol vyzařovacího kužele), kdyby se při přibližování s tagem malinko „zamávalo“ (v rozsahu 1-3 cm).

Výrobce Metra Blansko uvádí vyzařovací úhel pro anténu RFA01 65 stupňů [5]. S výjimkou tagu Confidex Ironside byly naměřeny hodnoty vyšší, než udává výrobce. Naměřené hodnoty byly použity pro návrh rozmístění komponent, kapitola 8.

7.3. Měření koridoru, dvě antény umístěné na stěně koridoru

V místnosti o rozměrech 6 m x 4,5 m x 2,5 m (d x š x v) byly ve výšce 0,8 metru umístěny vedle sebe dvě antény, kolmo k anténám byl na podlahu umístěn metr, viz Obr. 25. Vzdálenost antén vyplynula z výše uvedených měření a byla vypočítána podle vzorce (8) tak, aby průsečík vyzařovacích kuželů se nacházel přibližně uprostřed maximální čtecí vzdálenosti.

$$\frac{l_{max} * tg(90-\varphi)}{2} \quad (8)$$

kde l_{max} - maximální čtecí vzdálenost,
 φ - úhel vyzařovacího kužele.

Jako maximální čtecí vzdálenost byla použita vzdálenost zjištěná prvním měřením, kdy se tag přibližoval k anténě ze vzdálenosti 5 m. Měřený tag byl držen v ruce, ve výšce 0,8 m, rovnoběžně s plochou antény. Detekované hodnoty přístupu byly logovány do příslušného souboru. Byly provedeny průchody tam i zpět ve vzdálenosti, kde se vyzařovací kužele nepřekrývají a ve vzdálenosti kde se vyzařovací kužele již překrývají. Bylo provedeno cca 10 průchodů pro každý tag a vzdálenost, celkem cca 80 zaznamenaných hodnot.

Vstupní parametry:

- Čtyři různé druhy tagů, dle tabulky 5.
- Jedna měřené orientace tagů, orientace rovnoběžná s plochou antény.
- Výkonu RFID čtečky 25 dBm (max. výkon).
- Maximální čtecí vzdálenost z prvního měření, přibližování k anténě ze vzdálenosti 5 metrů.
- Čtecí úhel antény.
- Vzdálenost mezi oběma anténami, viz vzorec (8).

Výstupní parametry:

- Detekce úspěšného průchodu zalogováním v souboru a zasláním emailu/SMS zprávy.
- Odečtené RSSI hodnoty při vstupu do čtecí zóny a výstupu ze čtecí zóny, tab. 8. Je uveden průměr hodnot RSSI pro cca 10 provedených průchodů pro každý tag a pro každou vzdálenost tagu od antén.



Obr. 25: Měření koridoru [autor].

Tab. 8: Výsledné hodnoty měření průchodu koridorem [autor].

Pos	Název tagu	Výkon čtečky [dBm]	Max. čtecí vzdálenost - přibližování [m]	Čtecí úhel [stupně]	Průsečík křížení vyzářovacích kuželů od antény [m]	Vzdálenost tagu od antény [m]	Průměr RSSI vstup [dBm]	Průměr RSSI výstup [dBm]
1	Confidex Ironside	25	1,0	63,3	0,5	0,3	-50	-60
2	Confidex Ironside	25	1,0	63,3	0,5	0,7	-57	-60
3	Confidex Survivor	25	2,4	36,7	1,6	0,8	-52	-56
4	Confidex Survivor	25	2,4	36,7	1,6	1,6	-56	-58
5	Casey Slim	25	1,4	48,3	0,6	0,3	-46	-52
6	Casey Slim	25	1,4	48,3	0,6	1,0	-52	-51
7	Archive H86_A2_W	25	2,2	56,7	0,7	0,3	-52	-47
8	Archive H86_A2_W	25	2,2	56,7	0,7	1,0	-55	-56

Závěr měření:

Celkem bylo provedeno 8 měření a zaznamenáno přibližně 80 hodnot průchodů. Výsledky měření, tabulka 8 a příloha této práce, byly použity pro návrh rozmístění komponent, kapitola 8. Všechny průchody byly aplikací detekovány a zaznamenány v pořádku.

7.4. Měření dveří, dvě antény umístěné nad dveřním průchodem

Měření bylo provedeno v laboratořích ČVUT. Nad dveřním průchodem, v zárubni dveří byly umístěny ve výšce 2,2 metru dvě antény, k anténám byl zavěšen metr, viz Obr. 26. Byly měřeny dva různé náklony antén. Měřený tag byl držen v ruce, rovnoběžně s plochou podlahy. Byly provedeny průchody skrze dveře tam i zpět, první průchod by proveden v těsné blízkosti antény, při následujících průchodech se vzdálenost tagu od antény postupně zvyšovala o cca 0,2 m až do dotyku tagu s podlahou antény, případně dosažení maximální čtecí vzdálenosti. Detekované hodnoty přístupu byly logovány do příslušného souboru.

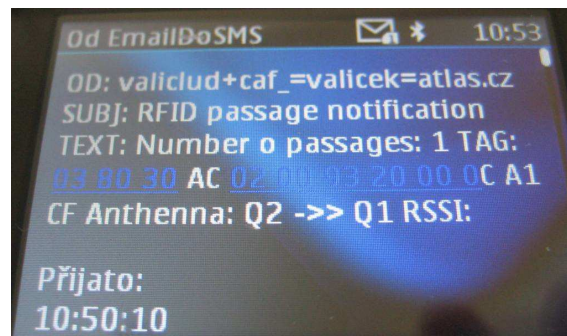
Vstupní parametry:

- Čtyři různé druhy tagů, dle tabulky 5.
- Jedna měřená orientace tagů, orientace tagu rovnoběžná s podlahou.

- Výkon RFID čtečky 25 dBm (max. výkon).
- Maximální čtecí vzdálenost při vzdalování od antény.
- Úhel sklonu antény připevněné nad dveřním průchodem.
- Rozměry dveří Obr. 31.

Výstupní parametry:

- Detekce úspěšného průchodu zaznamenáním v souboru a zasláním emailu/SMS zprávy, soubory s logy jsou přílohou této práce.
- Odečtení RSSI hodnoty při vstupu/výstupu, viz tab. 9. V tabulce jsou uvedeny hodnoty RSSI v místě dotyku tagu antény a při dotyku tagu podlahy, případně při dosažení maximální čtecí vzdálenosti.



Obr. 26: Měření průchodu dveřmi [autor]. Obr.27: SMS zpráva pro úspěšný průchod [autor].



Obr. 28: Emailová zpráva notifikující úspěšný průchod [autor].

Tab. 9: Výsledné hodnoty měření průchodu, antény umístěných nade dveřmi [autor].

Pos	Název tagu	Výkon čtečky [dBm]	Max. čtecí vzdálenost - přibližování [m]	Úhel odklonu antény [stupně]	Max. čtecí vzdálenost [m]	RSSI v místě antény [dBm]	RSSI v místě podlahy / maxima [dBm]
1	Confidex Ironside	25	1,0	30	1,0	-62	-58
2	Confidex Ironside	25	1,0	50	1,2	-62	-56
3	Confidex Survivor	25	2,4	30	2,2	-58	-56
4	Confidex Survivor	25	2,4	50	2,2	-60	-62
5	Casey Slim	25	1,4	30	1,2	-50	-62
6	Casey Slim	25	1,4	50	1,6	-46	-50
7	Archive H86_A2_W	25	2,2	30	2,2	-50	-56
8	Archive H86_A2_W	25	2,2	50	2,2	-54	-56

Závěr měření:

Celkem bylo provedeno 8 měření a zaznamenáno přibližně 200 hodnot průchodů. Výsledky měření, tabulka 9 a příloha této práce, byly použity pro návrh rozmístění komponent, kapitola 8. Všechny průchody byly aplikací detekovány a zaznamenány v pořádku.

7.5. Měření dveří, dvě antény umístěné vedle zárubně dveří

Antény byly umístěny ve výšce 1 m a ve vzdálenosti 0,6 m od sebe, na obou stranách dveřního průchodu a byly odděleny dveřní přepážkou silnou 8 cm, Obr. 28. Měřený tag byl držen v ruce, ve výšce 1 m, rovnoběžně s plochou antény. Detekované hodnoty přístupu byly logovány do příslušného souboru. Byly provedeny průchody tam i zpět ve vzdálenosti 0,8 m.

Vstupní parametry:

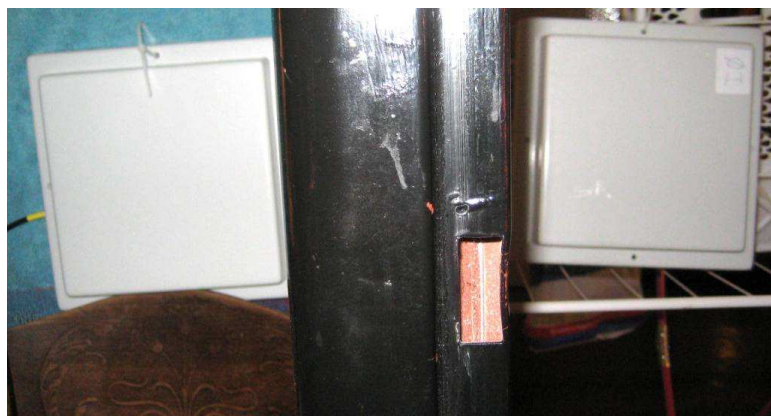
- Čtyři různé druhy tagů, dle tabulky 5.
- Jedna měřené orientace tagů, orientace rovnoběžná s plochou antény.
- Výkon RFID čtečky 25 dBm (max. výkon).
- Umístění antén, Obr. 29.

Výstupní parametry:

- Detekce úspěšného průchodu zalogováním v souboru a zasláním emailu/SMS zprávy.
- Odečtené RSSI hodnoty při vstupu do čtecí zóny a výstupu ze čtecí zóny, tab. 10. Je uveden průměr hodnot RSSI pro všechny provedené průchody pro každý tag.

Tab. 10: Výsledné hodnoty měření průchodu, antény umístěných vedle zárubně dveří [autor].

Pos	Název tagu	Výkon čtečky [dBm]	Max. čtecí vzdálenost - přibližování [m]	Čtecí úhel [stupně]	Vzdálenost tagu od antény [m]	Počet průchodů	Průměr RSSI vstup [dBm]	Průměr RSSI výstup [dBm]
1	Confidex Ironside	25	1,0	63,3	0,8	31	-54	-51
3	Confidex Survivor	25	2,4	36,7	0,8	32	-58	-59
5	Casey Slim	25	1,4	48,3	0,8	32	-59	-57
8	Archive H86_A2_W	25	2,2	56,7	0,8	39	-55	-52



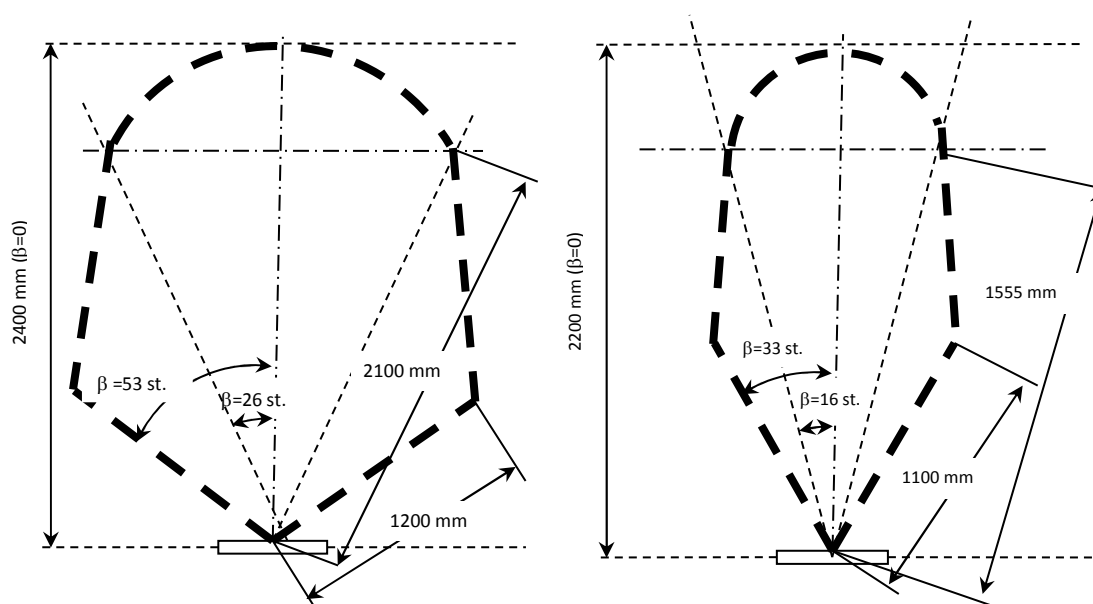
Obr. 29: Měření průchodu dveřmi, antény umístěné vedle zárubně dveří [autor].

Závěr měření:

Bylo provedeno cca 30 průchodů pro každý tag, celkem cca 120 zaznamenaných hodnot. Výsledky měření, tabulka 10, byly použity pro návrh rozmístění komponent, kapitola 8. Všechny průchody byly aplikací detekovány a zaznamenány v pořádku.

8. Návrh rozmístění komponent

Návrh rozmístění HW komponent je vypracován pro modelový případ průchodu dveřmi o šířce 1,5 metru a výšce 2,2 metru. Z výše uvedených měření vyplývá, že maximální čtecí vzdálenost a úhel vyzařovacího kužele závisí na použitém tagu. Tag Confidex Ironside je pro použití na kovovém podkladě a proto dále nebude vyhodnocován. Maximální čtecí vzdálenost při přibližování tagu Casey Slim nedosahuje šířky dveří, a proto také tento tag nebude vyhodnocován. Návrh rozmístění komponent je tak vypracován pro zbývající dva tagy (Confidex Survivor, Archive H86, viz tab. 5). Z údajů teoretické části této práce (kapitola 3.3.3.2.) a z výše uvedených měření byly nakresleny přibližné tvary čtecí zóny pro tyto dva tagy, Obr. 30.



Obr. 30: Přibližné tvary čtecí zóny, tag Confidex Ironside (vlevo) a Archive H86 (vpravo) [autor].

Průchod čtecí zónou je identifikován, došlo-li k identifikaci tagu postupně oběma anténami, nejprve tag identifikuje první anténa a poté druhá anténa. Tím dojde k zamezení tzv. „falešných“ průchodů čtecí zónou, kdy osoba/zboží s tagem do zóny vejde a stejným směrem zase zónu opustí.

Schéma zapojení instalace je uvedeno na Obr. 18. Uvedené hardwarové komponenty je třeba propojit označenými kabely a konečná instalace hardware komponent závisí na specifických možnostech prostředí. Délka anténních kabelů od RFID čtečky k multiplexoru a od multiplexoru

k anténám by měla být co nejkratší, poznámky k montáži antén jsou uvedeny v kapitole 3.3.3.2 teoretické části.

8.1. Dvě antény umístěné nad dveřním průchodem

Výška dveřního průchodu je 2,2 m, tuto čtecí vzdálenost splňují pouze dva RFID tagy, Confidex Survivor s max. čtecí vzdáleností při přibližování 2,4 m a Archive H86_A2_W, kde je max. čtecí vzdálenost při přibližování 2,2 m, viz tab. 5. Tyto tagy mají maximální čtecí vzdálenost při přibližování přibližně stejnou, jako výška dveří. Aby čtecí vzdálenost pokryla výšku dveří, obě antény by nad dveřní průchod musely být instalovány takřka rovnoběžně s podlahou. V tomto případě by se však vyzářovací kužele antén překrývaly, při vstupu do čtecí zóny by ve stejný časový okamžik identifikovaly tag obě antény naráz a nešlo by ošetřit „falešné“ průchody čtecí zónou, kapitola 8. Na Obr. 31 a 32 je nákres této instalace s vyznačením čtecích zón pro výše zmíněné RFID tagy, při úhlu upevnění antén 50 stupňů, viz měření kapitola 7.4 a tabulka 9.

Skutečná výška určující hranici čtecí zóny vyznačená na obrázcích 31 a 32 (max. čtecí vzdálenost pro úhel 50 stupňů) se vypočte podle vztahu (9). Hodnoty pro výpočet této vzdálenosti jsou do vztahu (9) dosazeny z Obr. 30 tak, aby bylo dosaženo maxima:

$$l_{max} * \cos(90 - \alpha - \beta) \quad (9)$$

kde l_{max} – maximální čtecí vzdálenost pro daný úhel β z Obr. 30,

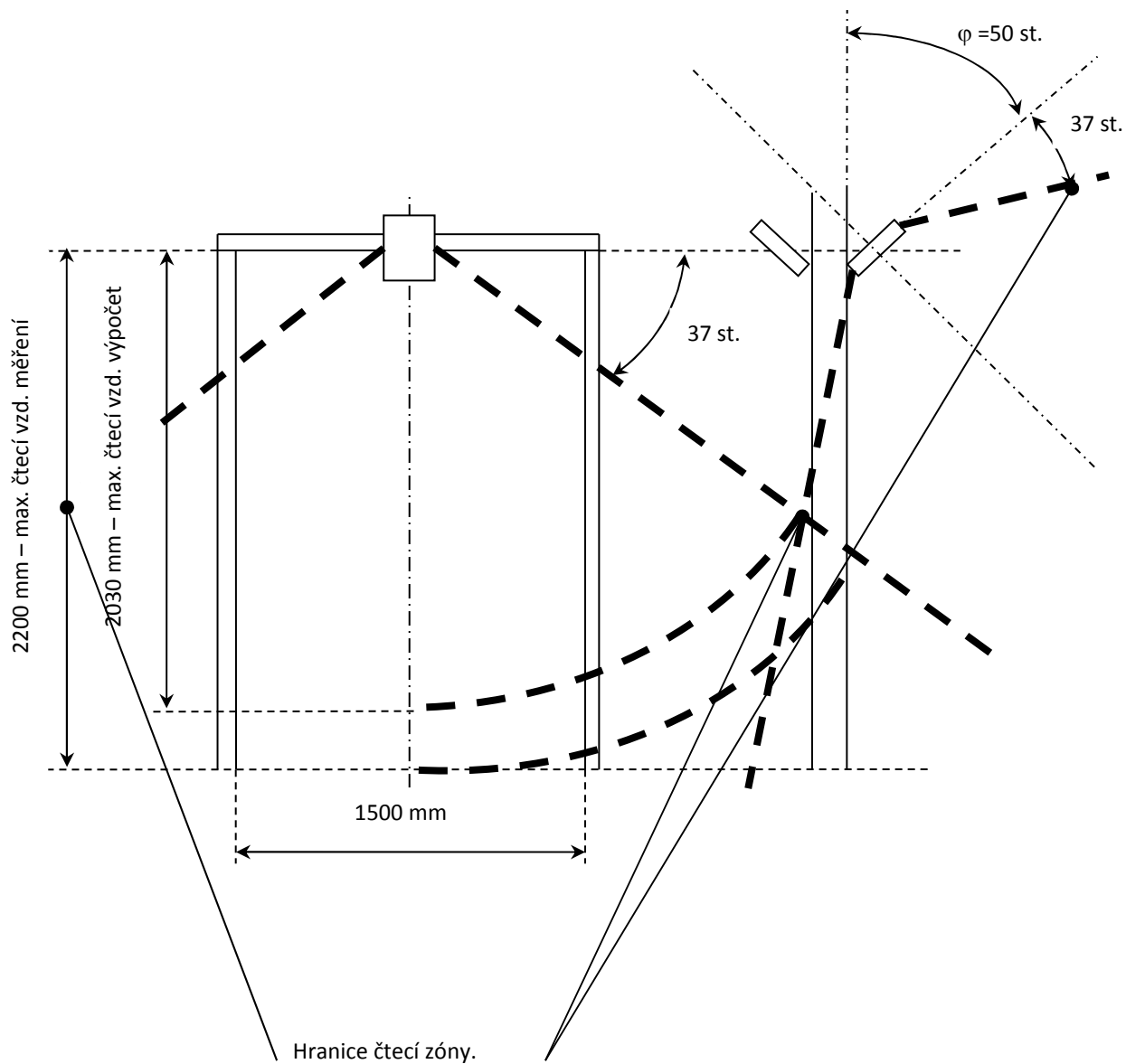
α - úhel upevnění antény (mezi svislou stěnou a odklonem antény), v našem případě 50 stupňů, viz Obr. 31, 32,

β - úhel tvaru čtecí zóny, viz Obr. 30.

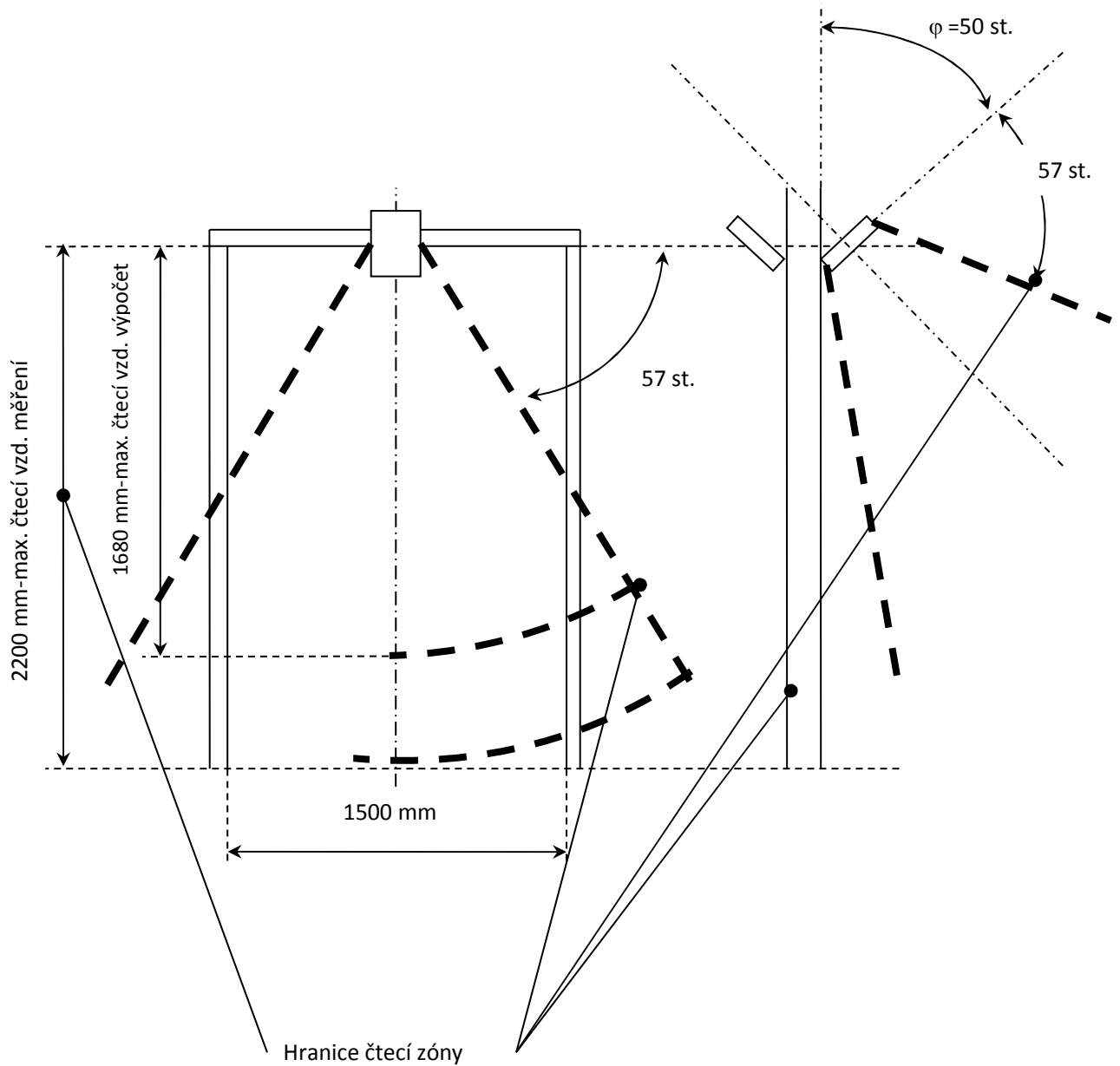
Aby byly pokryty signálem antény horní rohy dveřního prostoru, je třeba umístit anténu nad dveřní průchod v dostatečné výšce, tuto výšku lze spočítat ze vztahu (10):

$$\frac{\check{s}_{dveře}}{2} * \cotg\left(\frac{\varphi}{2}\right) \quad (10)$$

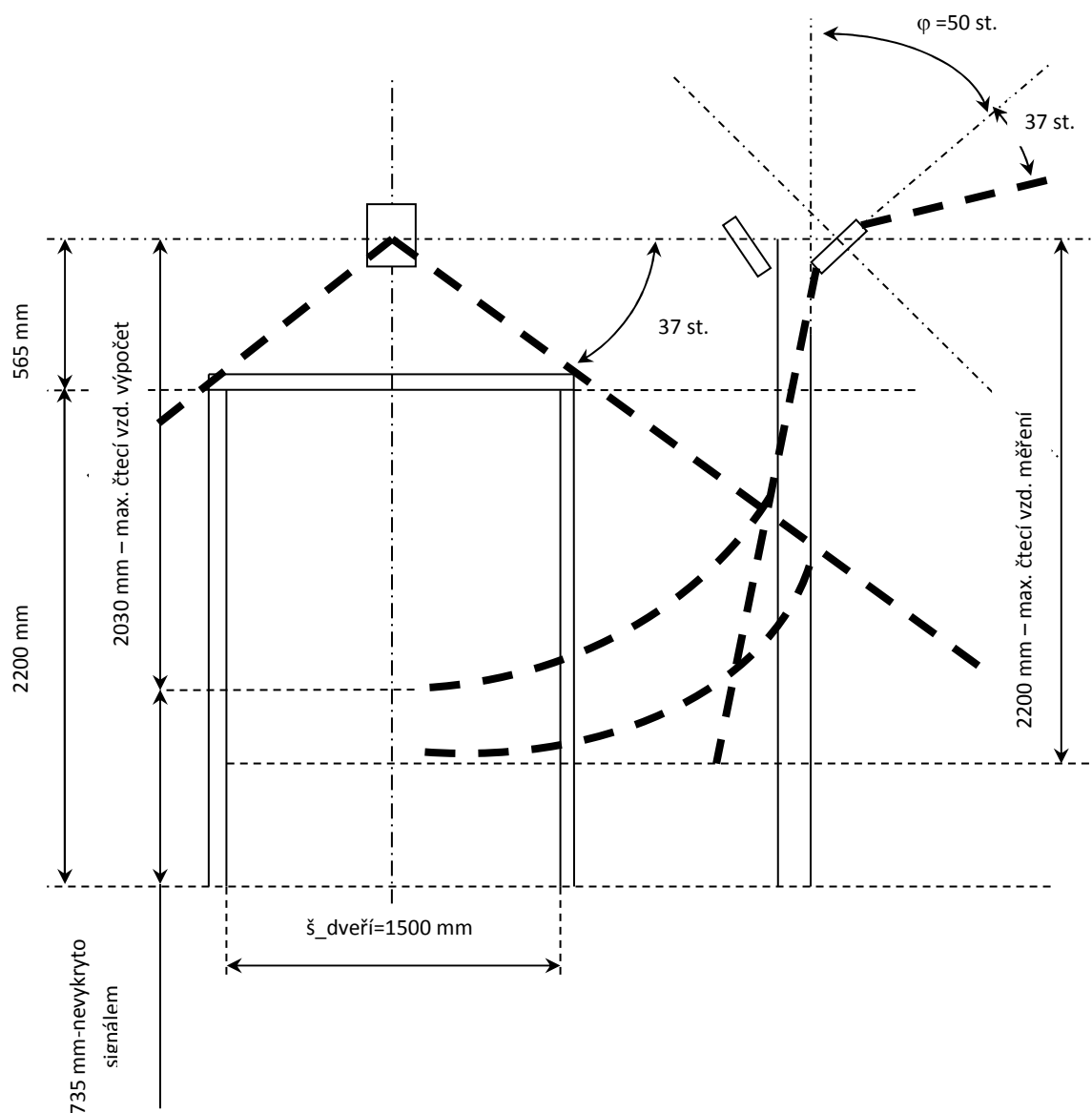
kde $\check{s}_{dveře}$ – šířka dveří Obr. 31, φ - vyzářovací úhel antény, viz tabulka 7.



Obr. 31. Nákres hranice čtecí zóny při umístění antén nad dveřním průchodem pro tag Confidex Survivor, hranice čtecí zóny je zvýrazněna tlustou, přerušovanou čarou [autor].



Obr. 32. Nákres hranic čtecí zóny při umístění antén nad dveřním průchodem pro tag Archive H86_A2_W, hranice čtecí zóny je zvýrazněna tlustou, přerušovanou čarou [autor].



Obr. 33. Náskres hranic čtecí zóny při umístění antén nad dveřním průchodem tak, aby byly vykryty oba horní rohy dveřního prostoru pro tag Confidex Survivor. Výška nevykrytého prostoru je 735 mm [autor].

Zhodnocení:

Výše uvedené rozmístění anténa nad dveřní prostor respektuje naměřené hodnoty z kapitoly 7. Bylo provedeno porovnání vypočtených (teoretických) a změřených maximálních čtecích vzdáleností při úhlu upevnění antén 50 stupňů, tab. 11. Výpočet teoretických hodnot maximální čtecí vzdálenosti byl proveden podle teoretické části práce (kapitola 3.3.3.2) a podle vzorců (9) a (10). Na Obr. 31, 32, 33 jsou tyto maximální čtecí

vzdálenosti zakresleny. Hodnoty zjištěné výpočtem jsou menší, než hodnoty zjištěné měřením.

V teoretické části (kapitola 3.3.3.2.) je uvedeno rozmístění antén monitorující průchod dveřmi se čtyřmi anténami. Mé navrhované řešení používá pouze antény dvě. Aby bylo možné vykryt signálem dva horní dveřní rohy, je třeba umístit anténu o přibližně 570 mm nad dveřní průchod. V tomto případě by však maximální čtecí vzdálenost končila přibližně 0,56 metru nad zemí, Obr. 33.

Tab. 11: Porovnání hodnot zjištěných výpočtem a měřením [autor].

Pos	Název tagu	Výkon čtečky [dBm]	Max. čtecí vzdálenost od zavěšené antény-měření [m]	Max. čtecí vzdálenost od zavěšené antény-výpočet [m]	RSSI v místě antény-měření [dBm]	RSSI v místě podlahy-měření [dBm]
1	Confidex Survivor	25	2,2	2,03	-60	-62
2	Archive H86_A2_W	25	2,2	1,68	-54	-56

8.2. Dvě antény umístěné vedle zárubně dveří

Šířka dveřního průchodu je 1,5 m, tuto čtecí vzdálenost opět splňují pouze dva RFID tagy, Confidex Survivor a Archive H86_A2_W, viz tab. 5. Antény je třeba rozmístit tak, aby pokud možno pokrývaly celou plochu prostoru dveří. V případě, že tomu tak není, existují v prostoru dveří hluchá místa, kudy lze čtecím prostorem projít bez jakékoliv detekce. Na Obr. 34 a 35 jsou v nákresu uvedené hodnoty x, y, z, které lze ovlivnit v průběhu instalace antén a tak docílit co nejlepšího pokrytí prostoru dveří signálem. Pro výpočet byla vytvořena jednoduchá tabulka v programu Excel (příloha této práce), která pomocí goniometrických funkcí počítá pokrytí rohů dveří (kritických hodnot prostoru dveří) signálem, tab. 12. Výsledkem je hodnota OK (signálem je roh dveří pokryt) nebo nepokrytá horizontální vzdálenost rohu v mm (zaokrouhlená na desítky mm). Tabulkou je možné simulovat jednotlivé pokrytí prostoru dveří při instalaci. Rozteč antén (vzdálenost z viz Obr. 34, 35) by měla být vyšší než je uvedené v měření koridoru,

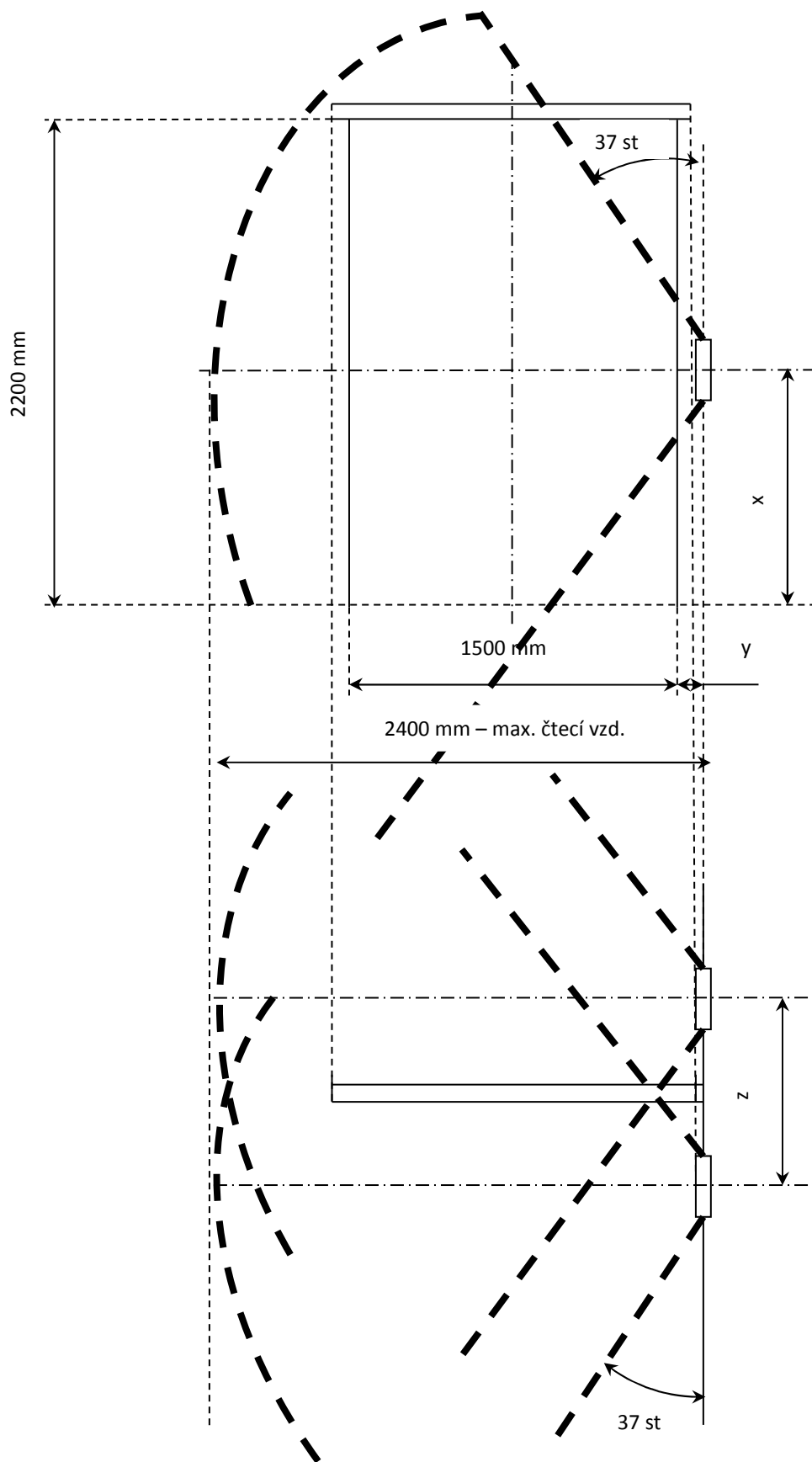
kapitola 7.3, z důvodu lepší detekce průchodu zónou (vyzařovací kužele se při větší vzdálenosti tolik nepřekrývají).

Tab. 12. Výpočet pokrytí dveřního prostoru signálem antén [autor].

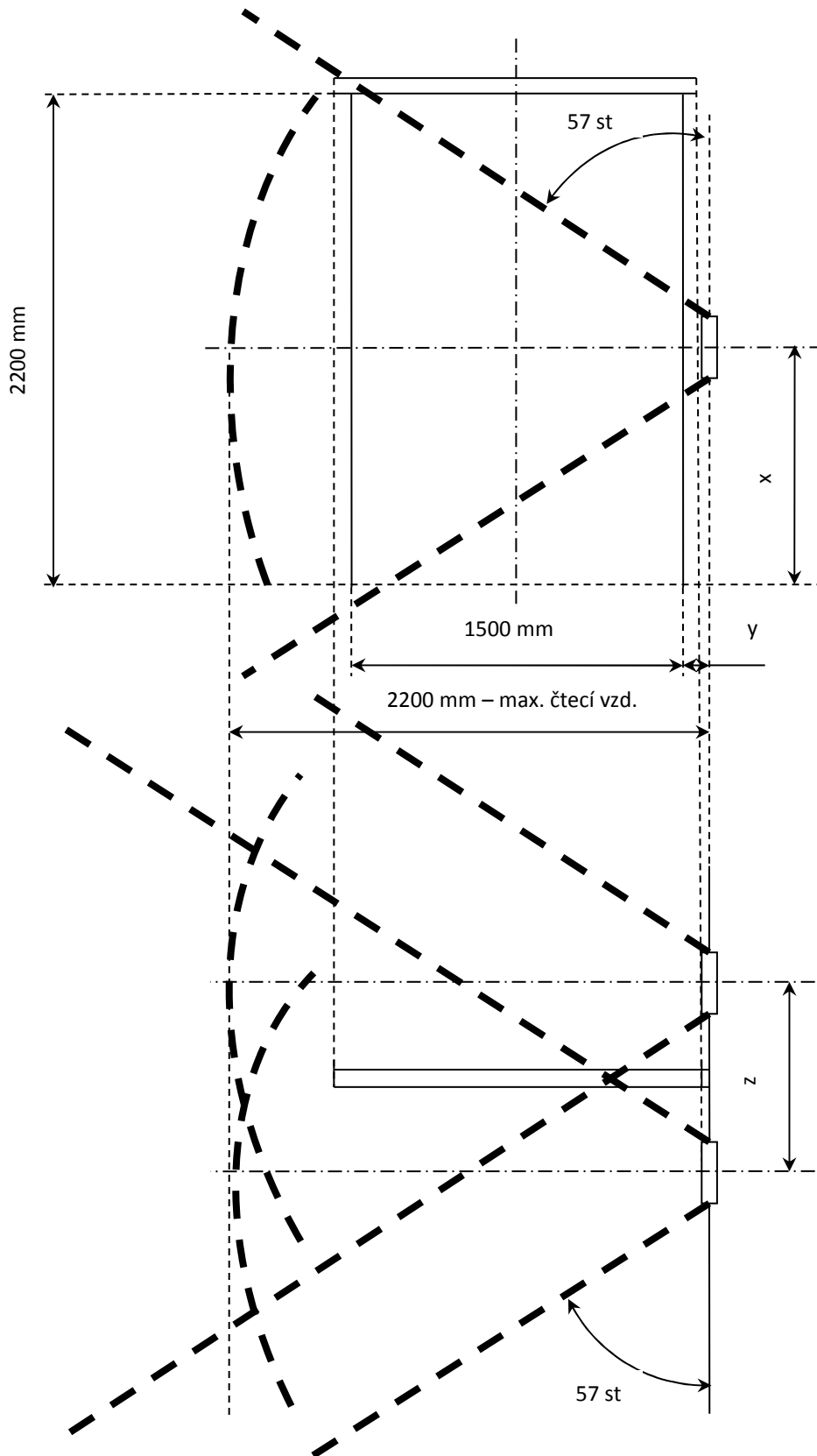
Pos	Název tagu	Max. čtecí vzdálenost přibližování [mm]	Čtecí úhel [st.]	Výška dveří [mm]	Šířka dveří [mm]	Vzd. x [mm]	Vzd. y [mm]	Pokrytí levého horního rohu. OK / nepokrytí [mm]	Pokrytí levého dolního rohu. OK / nepokrytí [mm]	Pokrytí pravého horního rohu. OK / nepokrytí [mm]	Pokrytí pravého dolního rohu. OK / nepokrytí [mm]
1	Confidex Survivor	2400,0	37	2200	1500	1100	50	OK	OK	780	780
2	Confidex Survivor	2400,0	37	2200	1500	1500	100	OK	OK	430	1030
3	Confidex Survivor	2400,0	37	2200	1500	800	200	OK	OK	850	400
4	Confidex Survivor	2400,0	37	2200	1500	1100	300	OK	OK	530	530
5	Confidex Survivor	2400,0	37	2200	1500	1100	500	OK	OK	330	330
6	Archive H86	2200,0	57	2200	1500	1100	50	OK	OK	1640	1640
7	Archive H86	2200,0	57	2200	1500	1500	100	OK	OK	980	2210
8	Archive H86	2200,0	57	2200	1500	800	200	OK	OK	1960	1030
9	Archive H86	2200,0	57	2200	1500	1100	300	OK	OK	1390	1390
10	Archive H86	2200,0	57	2200	1500	1100	500	80	80	1190	1190

Zhodnocení:

Uvedené rozmístění antén v koridoru pro snímání RFID tagů při průchodu dveřmi nepokrývá prostor dveří tak dobře jako rozmístění antén nad dveřním průchodem. Výhodou je snadnější montáž, je vhodné pro instalace, kde prostory průchodu RFID branou (dveřmi) mohou obsahovat prostory v rozích dveří, které nejsou signálem pokryty. V případě potřeby vyššího vykrytí prostoru signálem by bylo třeba použít čtyř antén, jak je uvedeno v teoretické části, kapitola 3.3.3.2., Obr 13.



Obr. 34. Nákres hranic čtecí zóny při umístění antén vedle dveřního průchodu pro tag Confidex Survivor, hranice čtecí zóny je zvýrazněna tlustou, přerušovanou čarou [autor].



Obr. 35. Nákres hranic čtecí zóny při umístění antén vedle dveřního průchodu pro tag Active H86_A2_W, hranice čtecí zóny je zvýrazněna tlustou, přerušovanou čarou [autor].

9. Závěr

V této práci jsem provedl popis technologie RFID a navrhl a sestavil vestavěný RFID systém pro identifikaci osob a zboží. V teoretické části byly v práci shrnuty současně používané technologie RFID, byla popsána problematika instalace RFID hardware komponent, vyzařovacích kuželů antén a vestavěného systému Raspberry Pi. V praktické části práce popisuje vytvořenou aplikaci, instalaci vestavěného systému Raspberry Pi a RFID hardware komponent společnosti Metra Blansko. Dále je v praktické části provedeno měření ověřující funkčnost systému. Z naměřených hodnot je poté navržnuto vhodné rozmístění antén tak, aby čtecí oblast pokryla co největší část simulovaného dveřního prostoru. Měřené hodnoty byly zaznamenány do souboru a zasílány na email, který poté hodnoty přeposílal SMS zprávou na mobilní telefon. Všechny stanovené cíle práce se mně, i přes některé komplikace, povedlo naplnit.

Při výsledném měření byly naměřeny zajímavě nízké hodnoty maximální čtecí vzdálenosti při přibližování tagu, které byly nižší, než udává výrobce Metra Blansko. Jedna z nejdůležitějších hodnot, maximální čtecí vzdálenost při přibližování RFID tagu k anténě byla nižší o cca 1-2 metry [5]. Vyzařovací úhel antény RFA01 je udáván 65 stupňů [5], naměřené hodnoty této hodnotě odpovídaly. I když má anténa RFA01 kruhovou polarizaci, naměřené hodnoty maximální čtecí vzdálenosti závisely na orientaci RFID tagu a byly nižší při kolmé orientaci tagu k ploše antény, Obr. 22. Hodnoty zjištěné měřením se také podstatně lišily podle použitého RFID tagu. Při měření byl tag držen ve fixní poloze a bylo s ním pomalu pohybováno, viz kapitola 7. Jestliže se s tagem při měření lehce „zamávalo“, naměřené hodnoty čtecí vzdálenosti byly lepší a pomalu se blížily hodnotám uváděným výrobcem. Na takové chování RFID tagu ale nelze spoléhat, např. zboží se může na výrobní lince nebo v logistickém centru pohybovat ještě pomaleji.

Práci mohou využít společnosti, které uvažují o vlastní implementaci RFID systému z komponent Metra Blansko. Naměřené hodnoty maximální čtecí vzdálenosti a vyzařovacích kuželů lze použít pro základní rozvržení

umístění antén v prostoru sledovaném RFID čtečkou a pro hrubé vymezení čtecí zóny.

Osobním přínosem této práce bylo seznámení se s technologií RFID a vestavěným systémem Raspberry Pi. Při výsledném měření jsem si uvědomil, že technické parametry, které udává výrobce RFID komponent nemusí vždy souhlasit s praktickým měřením. Dále byla zajímavá tvorba programu pro Raspberry Pi, kdy komunikace se čtečkou nebyla tak jednoduchá, jak jsem si zpočátku představoval. Při vypracování práce jsem se seznámil s novou technologií a prohloubil své znalosti v této oblasti.

10. Použité zdroje

- [1] RFID journal [online]. P.O. Box 5874, Hauppauge, NY 11788, United States, posl. edit. 16-03-2014. Dostupné z WWW:
<URL: <http://rfidjournal.com>>.
- [2] Raspberry Pi [online]. The Raspberry Pi Foundation – UK registered charity (No. 11129409), posl. edit. 16-03-2014. Dostupné z WWW:
<URL: <http://raspberrypi.org>>.
- [3] DOBKIN M. Daniel, The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice, 1-st Edition Oxford UK: Elsevier Inc. 2008, 505 pages. ISBN 978-0-7506-8209-1.
- [4] FINKENZELLER Klaus RFID Handbook, 3-rd Edition, West Sussex, UK: John Wiley and Sons 2010, 480 pages. ISBN 978-0-470-69056-7.
- [5] Metra Blansko, Manuál a návod k obsluze Anténního multiplexoru RFX01 a UHF RFID čtečky RFI21.1, Metra Blansko Pražská 7, 678 49 Blansko.
- [6] Determining Directionality with Passive RFID: The RFID Network [online]. 67 E.Evelyn Ave, Suite 6, Mountain View, California 94041, United States, posl. edit. 21-02-2014. Dostupné z WWW:
<URL: <http://rfid.net/basics/passive/187-determining-directionality-with-passive-rfid->>.
- [7] Real World Implementation: The RFID Network [online]. 67 E.Evelyn Ave, Suite 6, Mountain View, California 94041, United States, posl. edit. 21-02-2014. Dostupné z WWW:
<URL: <http://rfid.net/best-practices/43-best-practices/160-rfid-lessons-from-real-world-implementations> >.
- [8] Confidex web site [online]. Haarlankatu 1 B, 33230 Tampere, Finland, posl. edit. neuvédno. Dostupné z WWW:
<URL: <http://www.confidex.com>>.

III. Přílohy

11. Katalog požadavků aplikace minipočítače Raspberry Pi

System na sledování přesunu RFID tagu do čtecí zóny identifikuje příchozí RFID tag a reportuje tento stav emailem a následně SMS zprávou. Požadavky vznikají v místě čtecí zóny, pokryté UHF anténou. Reportování provádí minipočítač Raspberry Pi, připojený k RFID čtečce.

1. Při přesunu RFID tagu do čtecí zóny je odeslán email, který obsahuje čas vstupu RFID tagu do čtecí zóny a identifikační číslo tagu.
2. Při přesunu RFID tagu do čtecí zóny je odeslána SMS zpráva, který obsahuje čas vstupu RFID tagu do čtecí zóny a identifikační číslo tagu.
3. Pokud RFID čtečka přestane komunikovat, je odeslán email, který obsahuje informaci o ztrátě spojení.

Na aplikaci monitorování přesunu RFID tagu jsou kladeny funkční a nefunkční požadavky.

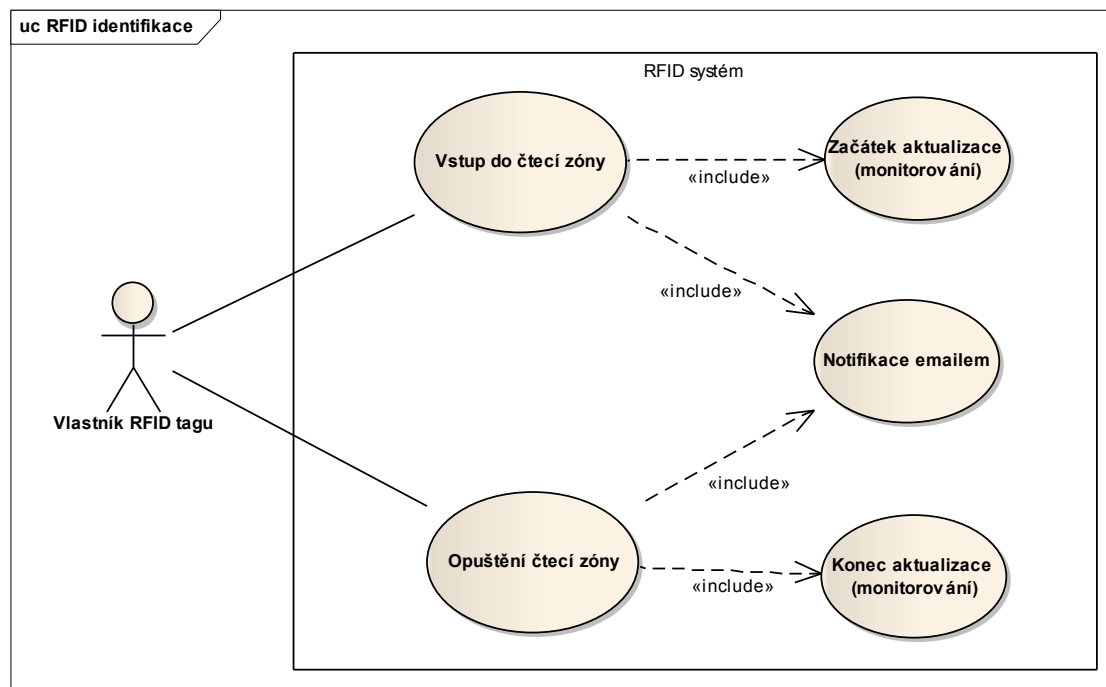
Funkční požadavky:

- monitorování přesunu RFID tagu do čtecí zóny,
- komunikace s RFID čtečkou Metra Blansko,
- reportování přesunu RFID tagu emailem,
- reportování přesunu RFID tagu SMS zprávou na mobilní telefon,
- reportování odpojení RFID čtečky Metra Blansko emailem,

Nefunkční požadavky nebyly definovány.

12. Model jednání RFID systému – Use Case

Use case diagram RFID systému, reportování vstupu a opuštění čtecí zóny RFID tagem.



Obr. 36: Model jednání RFID systému [autor].

Základní scénář (Basic Path):

Vstup a opuštění čtecí zóny RFID tagem

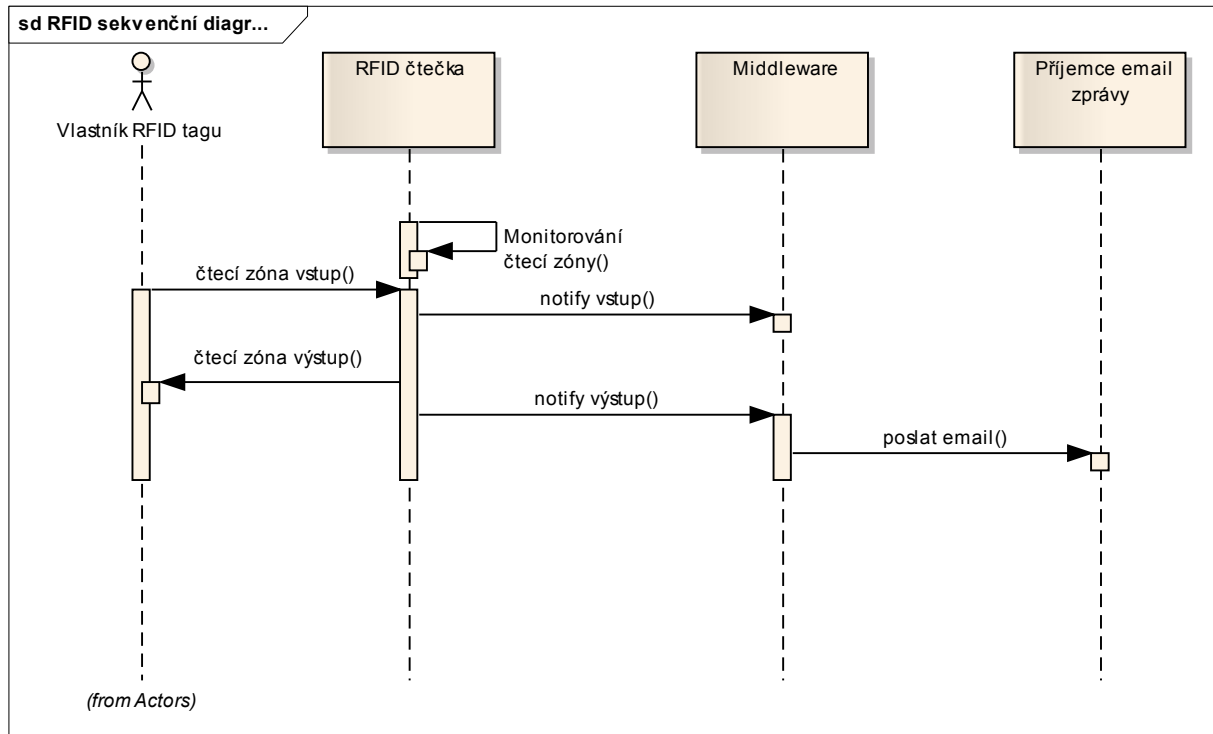
1. Případ užití začíná, když vlastní RFID tagu vstoupí do čtecí zóny.
2. INCLUDE (RFID systém začíná zasílat aktualizace o přítomnosti RFID tagu ve čtecí zóně).
3. INCLUDE (RFID systém připraví zaslání emailu o přesunu RFID tagu).
4. Případ užití končí, když vlastník RFID tagu opustí čtecí zónu.
5. INCLUDE (RFID systém přestane zasílat aktualizace o přítomnosti RFID tagu ve čtecí zóně).
6. INCLUDE (Systém zašle email o přesunu RFID tagu).

Alternativní scénář (Alternate)

Zrušení monitorování vstupu / opuštění čtecí zóny

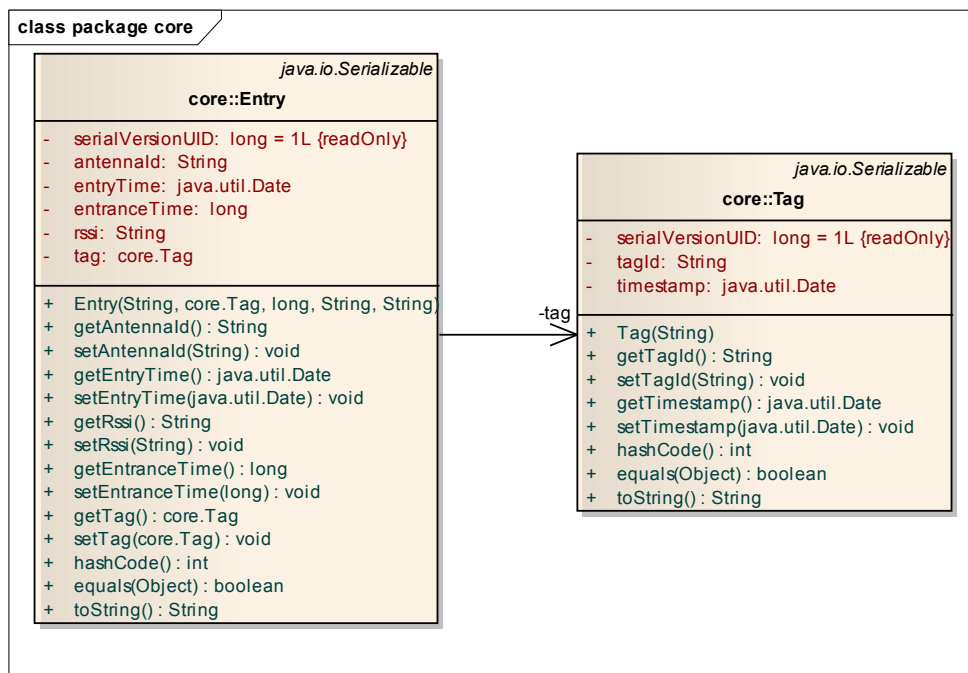
7. Systém může kdykoliv zrušit monitorování čtecí zóny při poruše RFID čtečky.

13. Sekvenční diagram RFID systému

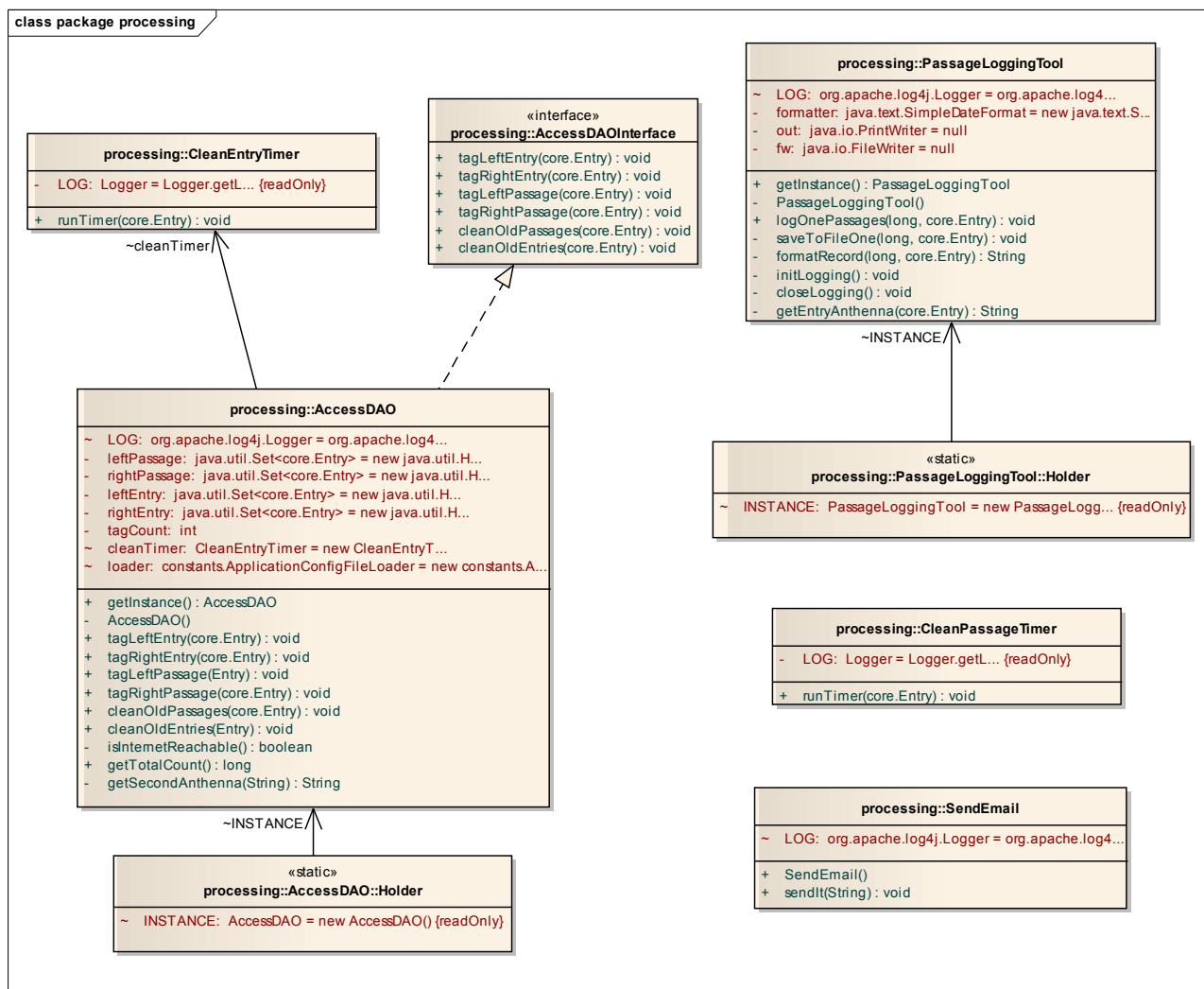


Obr. 37: Sekvenční diagram RFID systému [autor].

14. Hlavní třídy aplikace

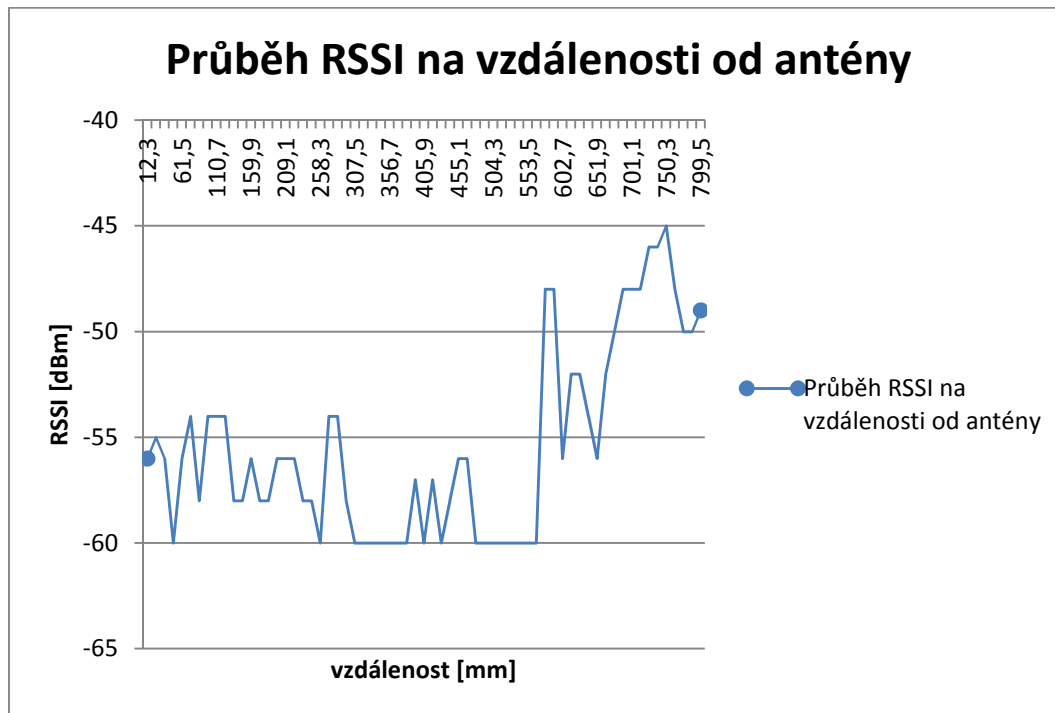


Obr. 38: Hlavní třídy aplikace RFID systému [autor].

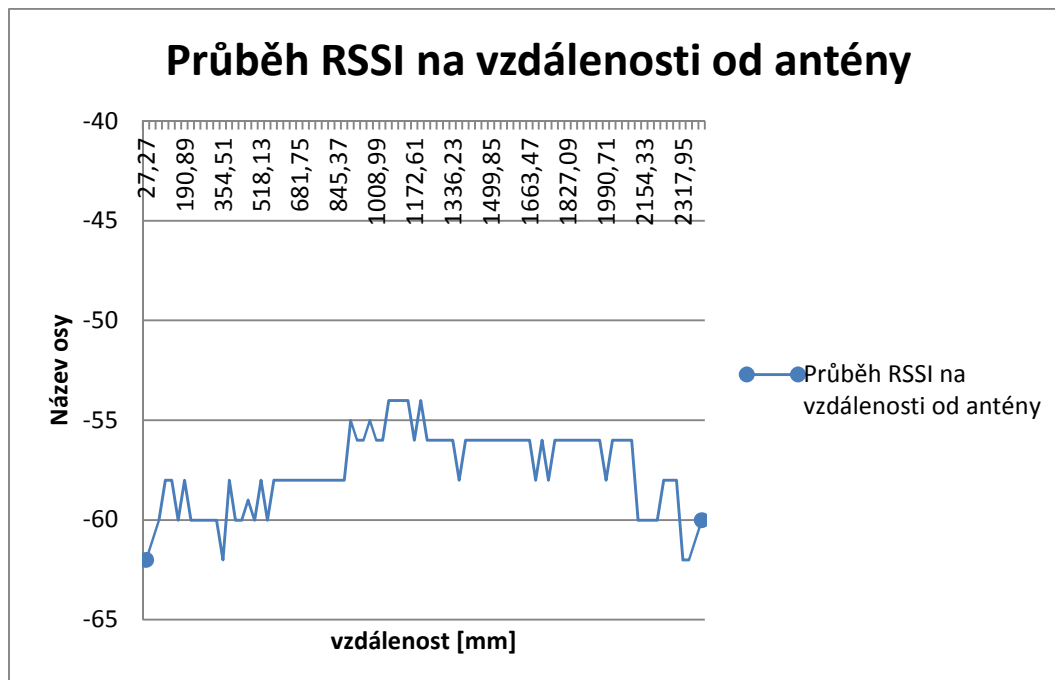


Obr. 39: Hlavní třídy aplikace RFID systému - processing [autor].

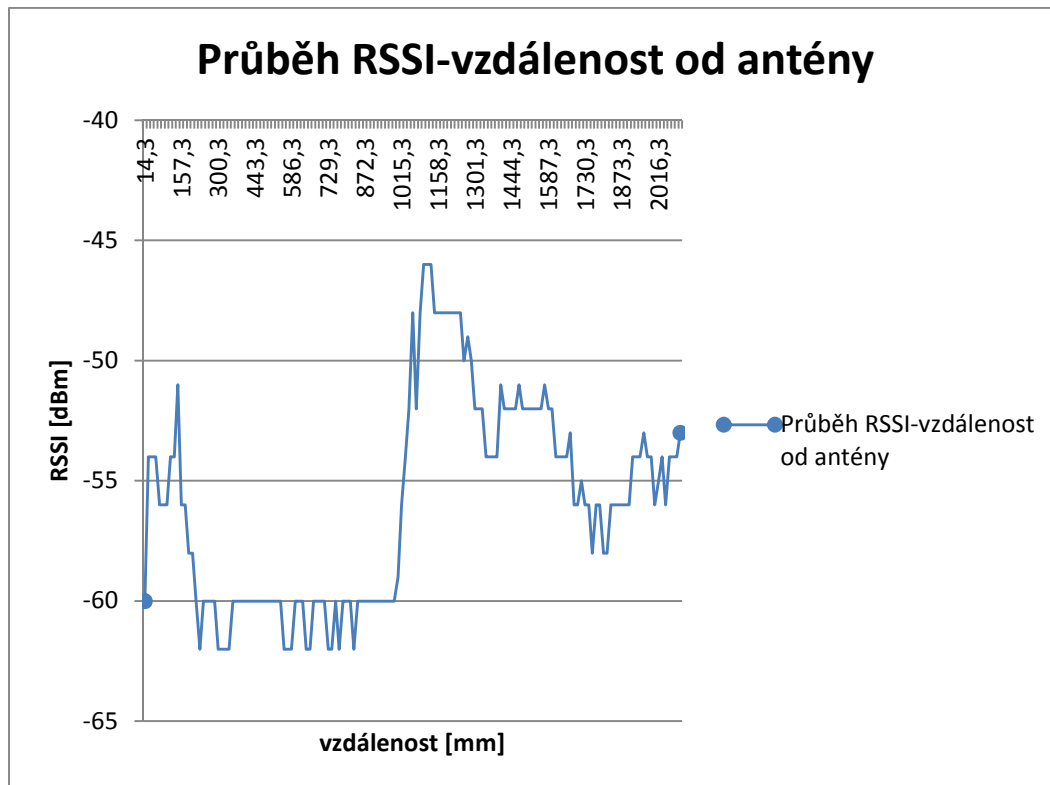
16. Grafy závislosti RSSI na vzdálenosti tagu od antény při měření maximální čtecí vzdálenosti



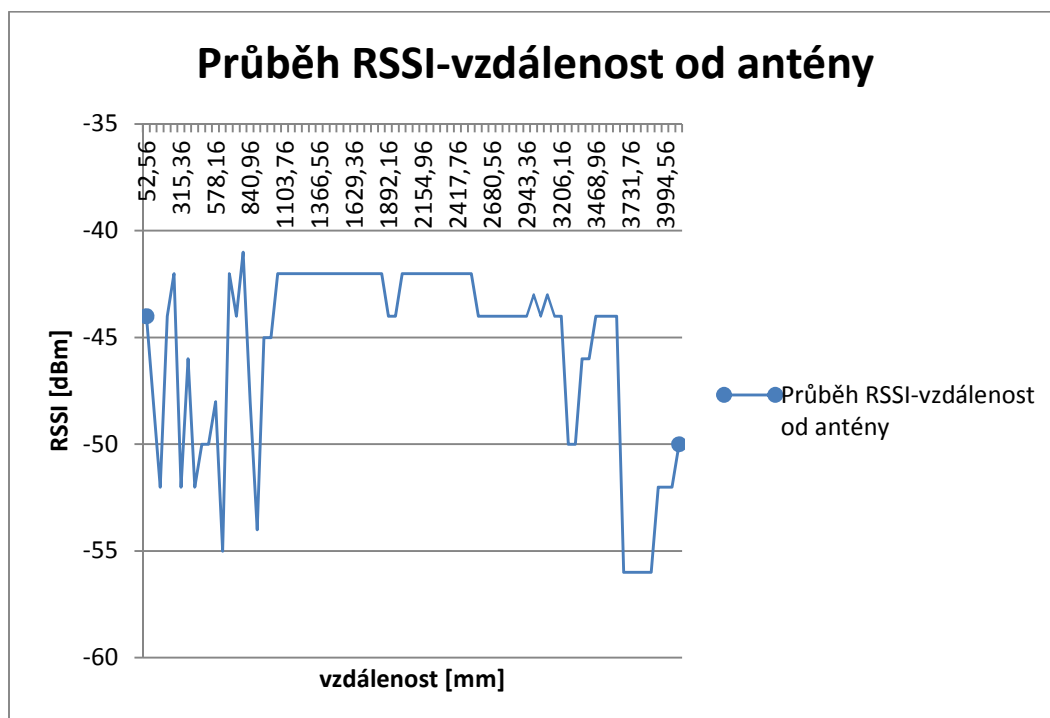
Obr. 41. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Confidex Ironside při přibližování tagu k anténě [autor].



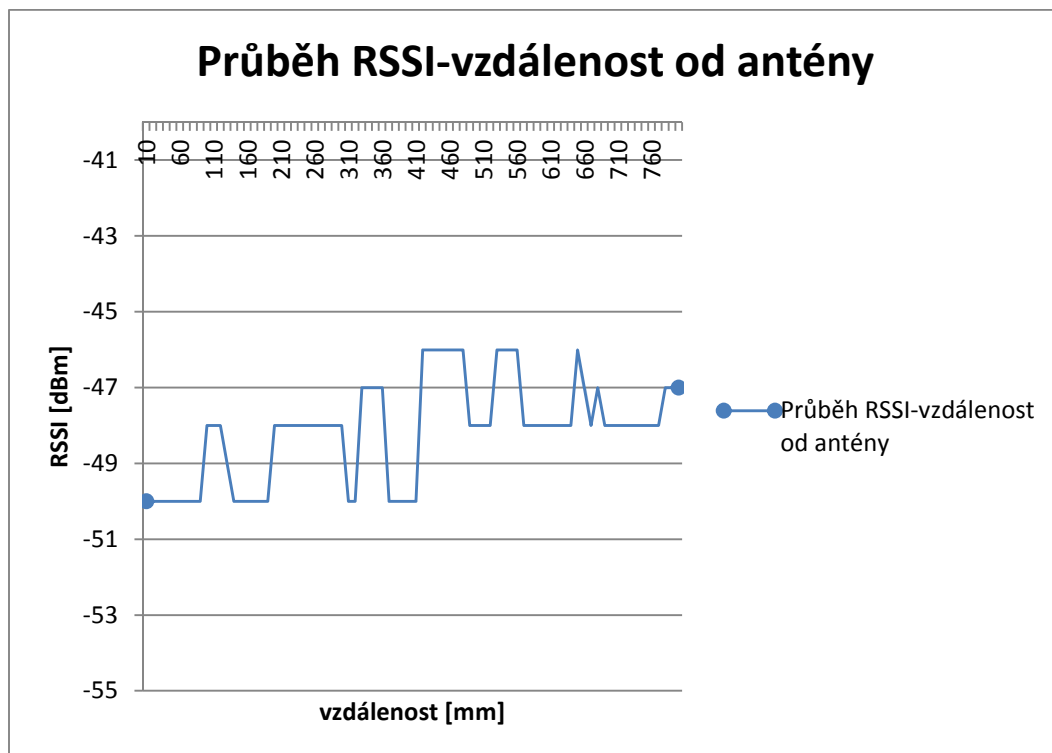
Obr. 42. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Confidex Ironside při vzdalování tagu od antény [autor].



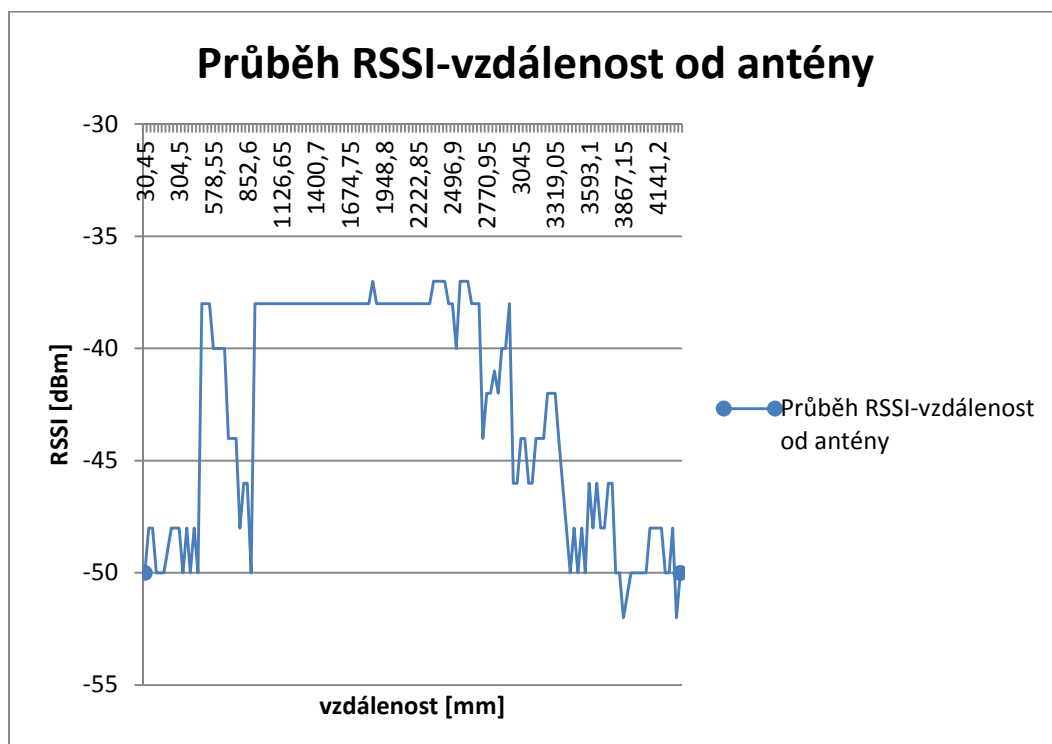
Obr. 43. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Confidex Survivor při přibližování tagu k anténě [autor].



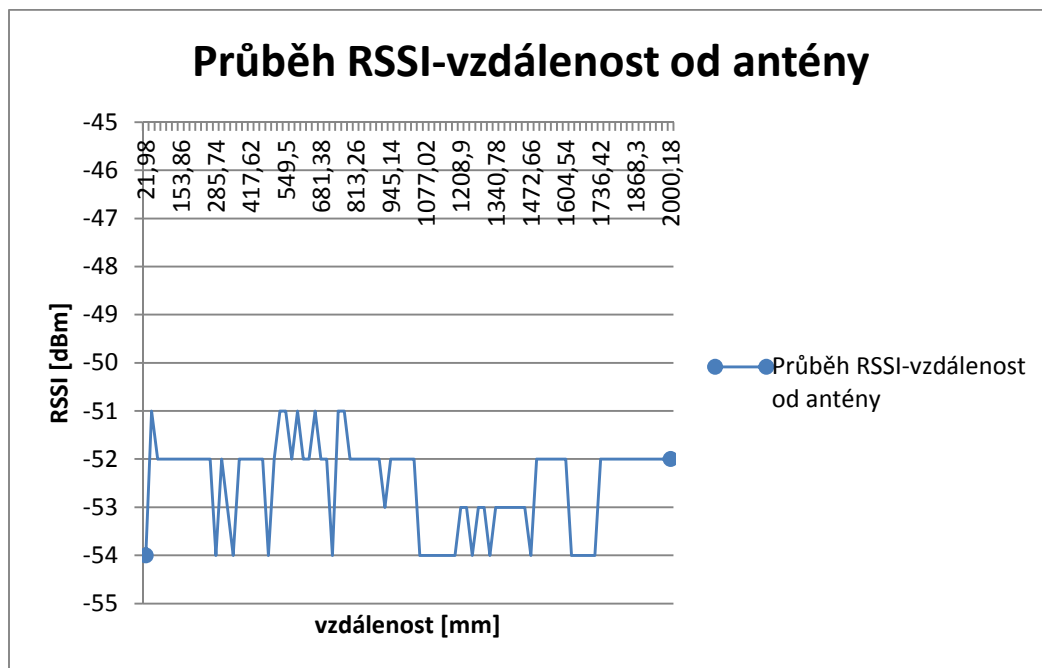
Obr. 44. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Confidex Survivor při vzdalování tagu od antény [autor].



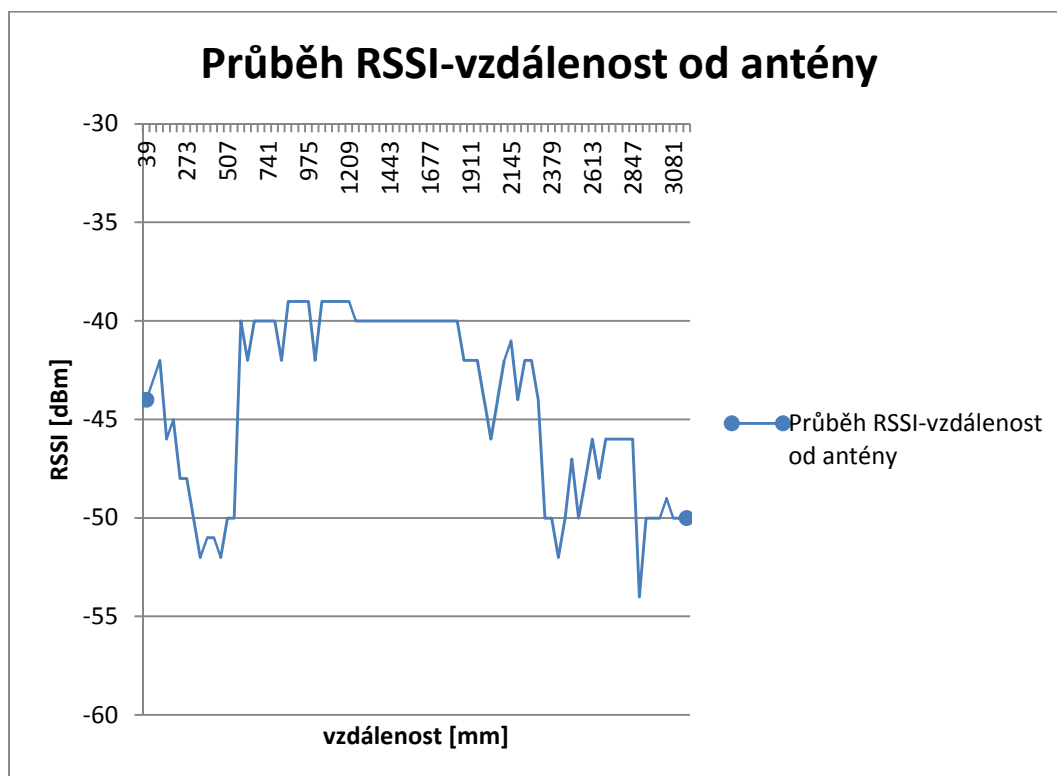
Obr. 45. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Casey Slim při přibližování tagu k anténě [autor].



Obr. 46. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Casey Slim při vzdalování tagu od antény [autor].



Obr. 47. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Archive H86-A2-W při přibližování tagu k anténě [autor].



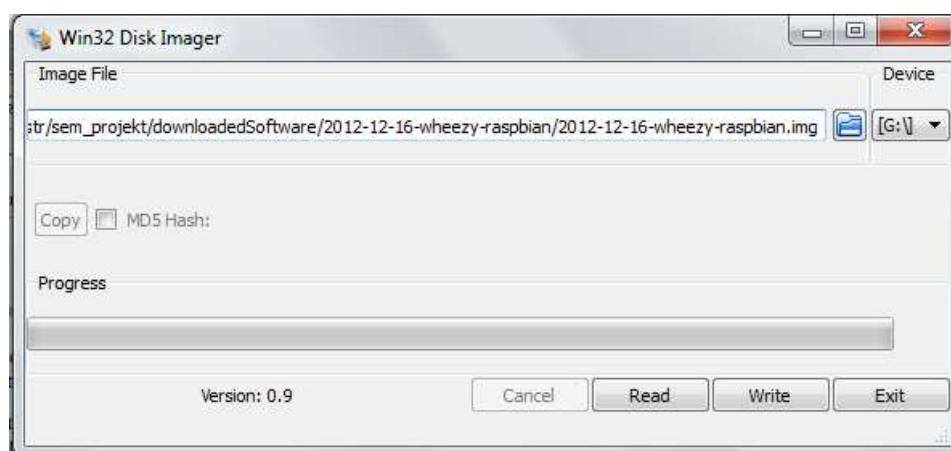
Obr. 48. Průběh RSSI na vzdálenosti od antény, tag Archive H86-A2-W při vzdalování tagu od antény [autor].

17. Instalační příručka

17.1. Nastavení a zprovoznění Raspberry Pi [2]:

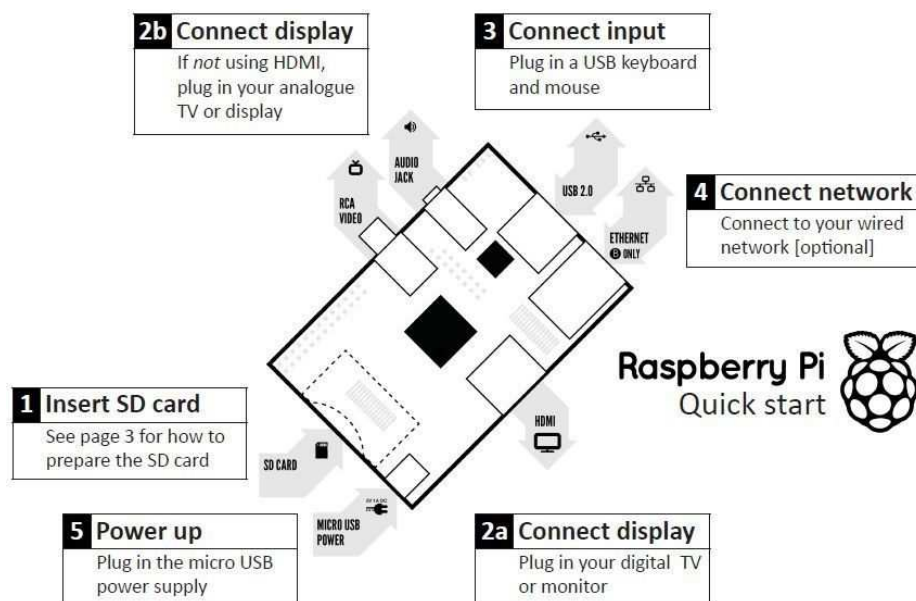
Nejdříve je třeba si připravit SD kartu (velikost paměti min. 4GB), která obsahuje Raspberry Pi operační systém. Pro uživatele PC s operačním systémem Windows je postup nahrání OS na SD kartu následující:

- a. Stáhnout OS z webu a rozbalit stažený soubor (*.img) link: <http://downloads.raspberrypi.org/images/raspbian/2012-12-16-wheezy-raspbian/2012-12-16-wheezy-raspbian.zip>
- b. Stáhnout z webu software Win32DiskImager a rozbalit stažený soubor, link: <https://launchpad.net/win32-image-writer/+download>
- c. Vložte SD kartu do PC a spusťte program Win32DiskImager, objeví se malé GUI, v combo boxu „Device“ vložte cestu k SD kartě, do combo boxu „Image File“ uveďte rozbalený image file stažený v bodě a). Stiskněte tlačítko „Write“. Operační systém Raspberry Pi se zapíše na SD kartu. Obr 49.



Obr. 49. GUI programu Win32DiskImager nahrání OS Raspberry Pi na SD kartu [autor].

Po úspěšném nahrání OS na SD kartu, vložte SD kartu do Raspberry Pi a připojte externí klávesnici, myš, monitor, připojení na Internet. Zapojte mikro USB port na napájení, podle Obr. 50.



Obr 50. Zapojení Raspberry Pi [2].

Při prvním bootování OS změňte v okně Rasp-config nastavení locale země a časovou zónu. Vyberte volbu „expand_rootfs“ a stiskněte „YES“. Po rebootu vložte defaultní jméno: pi a heslo: raspberry. Na příkazové řádce napište „startx“, kterým se spustí GUI Raspberry Pi [2].

17.2. Nastavení a spuštění aplikace

Instalace a spuštění aplikace se provádí z příkazové řádky, Raspberry Pi musí být připojené, pomocí ethernetového kabelu, na Internet.

Instalace Java runtime Environment

Aplikace je naprogramována v jazyce java verze 1.7, JRE instalujte příkazem z příkazové řádky:

- `sudo apt-get install openjdk-7-jre`

Pro instalaci JDK je třeba provést příkaz:

- `sudo apt-get install openjdk-7-jdk`

Úspěšnou instalaci javy lze zkontrolovat příkazem:

- `java -version`

Pro používání java programů je třeba nastavit proměnnou prostředí JAVA_HOME příkazy:

- `JAVA_HOME="/opt/java/jdk1.7.0_10"`
- `export JAVA_HOME="/opt/java/jdk1.7.0_10"`
- `export PATH=$PATH$JAVA_HOME/bin`

Úspěšné nastavení proměnné JAVA_HOME lze zkontrolovat příkazem:

- `export`

Instalace python

Ovládací program k RFID čtečce je napsán v jazyce python 2.6. Raspberry Pi již obsahuje nainstalovaný python (většinou verze python 2.7.). Python Raspberry Pi používá pro řízení vstupních a výstupních portů (RPi.GPIO – General Purpose Input Output). Pro kontrolu instalace a zjištění verze python použijte příkaz: `find /usr | grep -i gpio`. Část výstupu příkazu je na Obr. 51. Aplikace RFID čtečky vyžaduje doinstalovat python „wx“ module (GUI toolkit). Tento modul doinstalujte příkazy:

- `sudo apt-get update`
- `sudo apt-get install python-wxgtk2.8 python-wxtools wx2.8-i18n libwxgtk2.8-dev`



```
pi@raspberrypi ~$ find /usr | grep -i gpio
/usr/lib/python2.6/dist-packages/RPi.GPIO.so
/usr/lib/python2.6/dist-packages/RPi.GPIO-0.5.3a.egg-info
/usr/lib/python2.7/dist-packages/RPi.GPIO.so
/usr/lib/python2.7/dist-packages/RPi.GPIO-0.5.3a.egg-info
/usr/lib/python3/dist-packages/RPi.GPIO.cpython-32mu.so
/usr/lib/python3/dist-packages/RPi.GPIO-0.5.3a.egg-info
```

Obr. 51: Část výstupu příkazu zjišťující verzi python na Raspberry Pi [autor].

Nastavení virtuálního sériového portu pro Raspberry Pi

Aplikace RFID čtečky je připojena k Raspberry Pi pomocí USB portu a komunikuje se RFID čtečkou sériovým protokolem. Je třeba nainstalovat virtuální sériový port:

- *sudo apt-get install python-serial*

Parametry sériové komunikace jsou nastaveny v ovládacím programu RFID čtečky:

- Baudrate: 115200 Bd
- Parity: None
- Stopbits: 1
- Bytesize: 8

Spuštění aplikace

Nejdříve je třeba spustit ovládací program RFID čtečky příkazem (nacházíme-li se v adresáři ../rfi_demo_application) a připojit čtečku:

- *./start_linux.sh*

Poté spustit aplikaci z příkazové řádky příkazem:

- *java -jar rfiddesktop.jar*

18. Přílohy diplomové práce

Součástí této práce je přiložené CD, kde jsou uloženy:

- vytvořený projekt RFID aplikace v jazyce java,
- spustitelný rfiddesktop.jar soubor,
- soubory s naměřenými hodnotami,
- soubory s výsledky testů,
- Excel tabulka pro výpočet pokrytí dveřního prostoru signálem,
- tato práce v elektronické podobě.