VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

SMART TRAMVAJ V BRNĚ

SMART TRAMWAY IN BRNO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE JAN FIALA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE prof. Dr. Ing. PAVEL ZEMČÍK
SUPERVISOR

BRNO 2019

Ústav počítačové grafiky a multimédií (UPGM) Akademický rok 2018/2019

Zadání bakalářské práce

22210

Student: **Fiala Jan**
Program: Informační technologie
Název: **Smart tramvaj v Brně**
Smart Tramway in Brno
Kategorie: Informační systémy
Zadání:

1. Prostudujte možnosti a prostudujte literaturu na téma zjišťování polohy dopravního prostředku. Přitom se zaměřte na GPS a podobné systémy, ale i na "lokalizaci" místa pomocí RFID, kamer a/nebo jinými postupy.
2. Vyberte vhodný postup pro lokalizaci tramvaje tak, aby bylo možno spolehlivě identifikovat místa (pravděpodobně zastávky) pro stažení nebo vytažení "pantografu" v případě bezdrátového (bateriového) provozu tramvají, například ve středu města Brna.
3. Navrhněte postup implementace a platformu takového systému a vyhodnoťte dosažitelné vlastnosti řešení.
4. Implementujte experimentálně systém detekce místa a demonstrujte vlastnosti.
5. Vyhodnoťte dosažené výsledky a možnosti dalšího pokračování práce.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 až 3 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/

Vedoucí práce: **Zemčík Pavel, prof. Dr. Ing.**
Vedoucí ústavu: Černocký Jan, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1. listopadu 2018
Datum odevzdání: 15. května 2019
Datum schválení: 6. listopadu 2018

Abstrakt

Cílem této práce je vybraní vhodných technologií, které lze použít pro lokalizaci tramvaje při průjezdu místem, kde by mělo dojít ke stažení či vytažení pantografu, navržení a implementace lokalizačního systému. V řešení je jako hlavní lokalizace použita lokalizace pomocí rádiové frekvence a jako záložní satelitní navigace určující vzdálenost od daného místa. Jádrem systému je platforma Arduino.

Abstract

The goal of this thesis is selecting appropriate technologies, that can be used to locate tram while passing through a section where the pantograph should be lowered or raised, design and implementation of localization system. In this solution, radio frequency identification is used as main source of localization, distance from given place is determined by satellite navigation which is used as backup source of localization. The core of the system is the Arduino platform.

Klíčová slova

Arduino, Lokalizace tramvaje, Lokalizační systém, Stahování pantografu, Věstavený systém, GNSS modul NEO-M8N, RFID čtečka M6E-NANO, TFT displej

Keywords

Arduino, Tram localization, Localization system, Lowering pantograph, Embedded system, RFID reader M6E-NANO, GNSS module NEO-M8N, TFT display

Citace

FIALA, Jan. *Smart tramvaj v Brně*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Pavel Zemčík

Smart tramvaj v Brně

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana profesora Pavla Zemčíka Další informace mi poskytli Ing. Jaromír Marušinec, Ing. Jan Kopřiva a Ing. Zdeněk Jarolín z Dopravního podniku města Brna, Ing. Milan Šrámek z firmy Škoda Transportation, Tobias Koch z firmy Siemes, Andres Lopez Morancho z firmy Alstom a Iñaki Escrig z firmy CAF. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

. . . . . .
Jan Fiala
15. května 2019

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu panu prof.Dr.Ing. Pavlovi Zemčíkovi za veškerou pomoc při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkoval Ing. Jaromíru Marušincovi za užitečné rady a čas věnovaný konzultacím, Ing. Jaroslavovi Dostálovi za napájení konektorů na desku, Nikole Zezulové za pomoc s modelováním krabičky, Tomášovi Zemčíkovi za vytisknutí krabičky a rodině za všeobecnou podporu a pomoc při testování.

Obsah

1 Úvod **2**

2 Lokalizační a IT technologie **3**
2.1 Satelitní navigace . . . 3
2.2 Identifikace pomocí rádiové frekvence . . . 6
2.3 Platforma Arduino . . . 8

3 Existující řešení bateriových tramvají a jejich lokalizace **10**
3.1 Lokalizace tramvaje v Brně . . . 10
3.2 Lokalizace ve vozech firmy Škoda Transportation . . . 12
3.3 Bateriové tramvaje Siemens Avenio . . . 13
3.4 Systémy APS a SRS firmy Alstom . . . 14
3.5 Ostatní řešení bateriových tramvají . . . 15

4 Zhodnocení současného stavu a výběr komponentů **18**
4.1 Zhodnocení současných řešení . . . 18
4.2 Požadováné parametry řešení . . . 19
4.3 Zvolené komponenty . . . 19

5 Implementace a testování **23**
5.1 Návrh řešení a zapojení hardwaru . . . 23
5.2 Základní struktura kódu . . . 27
5.3 Implementace GNSS modulu a RFID čtečky . . . 29
5.4 Možné využití v praxi . . . 32
5.5 Testování . . . 34

6 Závěr **40**

Literatura **41**

Přílohy **44**
Seznam příloh . . . 45

A Návod k zapojení a použití lokalizačního systému **46**
A.1 Zapojení . . . 46
A.2 Používaní systému . . . 48

B Obsah DVD **49**

Kapitola 1

Úvod

V centru Brna, ale nejen Brna, ale i řady větších měst se nachází mnoho tramvajového vedení, jehož přítomnost narušuje výhled na památky a často se objevuje na fotografiích turistů. V současné době je tramvajové vedení potřebné, avšak kdyby se do tramvají nainstalovaly baterie, z nichž by byla tramvaj napájena, nutnost tramvajového vedení v centru zmizí. V případě bateriového provozu tramvaje na částech trati je nutné, zajistit bezproblémový přechod mezi sekcemi s tramvajovým vedením a bez tramvajového vedení. Pro přechod je nutné, správně lokalizovat tramvaj blížící se k místu končícího či začínajícího vedení. Pomoci s tímto problémem je cílem této práce.

Tato práce se zabývá lokalizací místa pro stáhnutí nebo vytáhnutí pantografu v okamžiku, kdy má tramvaj nad sebou vedení. Správnou lokalizací takového místa je možné zabránit potencionální nehodě, ke které by mohlo dojít při vytažení pantografu v nesprávnou chvíli.

U tramvají bez baterií, není taková lokalizace potřeba. Tramvaje v běžném provozu nepřejíždí mezi místy s vedením a bez vedení. V případě zavedení bateriových tramvají by taková lokalizace byla potřeba. Ve světě v současnosti existuje několik řešení této problematiky. Většina těchto řešení počítá s celkovou přestavbou tramvaje nebo zakoupení nových tramvají. Jedním z cílů této práce je řešení, které by se dalo nainstalovat do současných tramvají. Nemusely by se tedy pořizovat nové tramvaje a tím by se ušetřilo.

Cílem práce je tedy prostudování a vybrání lokalizačních technologii, vhodných pro lokalizaci tramvaje a navrhnutí a implementace spolehlivého lokalizačního systému.

Možnost potencionálního reálného využití v provozu či jen jako základ další práce, byla pro mě hlavní motivace pro výběr tohoto zadání.

V následující kapitole 2 jsou popsány lokalizační technologie vhodné pro lokalizaci tramvaje. V kapitole 3 je popsáno několik současných řešení této problematiky. Dále v kapitole 4 lze nalézt zhodnocení současného stavu, upřesnění požadavků na systém a popsání zvolených komponentů. A v kapitole 5 je popsán návrh řešení, zapojení jednotlivých komponentů, postup implementace softwaru a také testování jednotlivých modulů a celého systému.

Kapitola 2

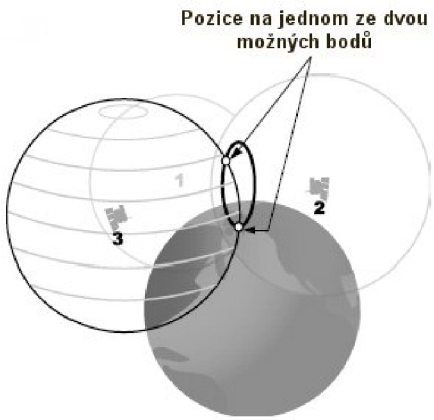
Lokalizační a IT technologie

Tato kapitola popisuje lokalizační technologie a platformy vhodné pro implementaci těchto technologií. Nejedná se o encyklopedický popis, který zde není možno uvést mimo jiné i kvůli tomu, že to rozsah práce neumožňuje. Jsou zde uvedeny pouze takové informace, které mají bezprostřední vztah k této práci.

2.1 Satelitní navigace

Satelitní navigace je systém, který využívá satelity umístěné na Zemské oběžné dráze k určení polohy uživatele tohoto systému. Systém používá data z několika družic (minimálně 4) pro určení polohy. Pro každý satelit, přijímač vypočítá vzdálenost od satelitu vynásobením propagačního času[1] rychlostí světla [18]. Pokud známe vzdálenost alespoň od čtyř satelitů, můžeme spočítat pomocí tzv. Trilaterace svoji polohu. Na obrázku 2.1 je zobrazen průsečík vzdálenosti od tří satelitů. Přidáme-li vzdálenost od čtvrtého satelitu, zbude nám pouze jedna možná poloha.

Hodiny přijímače nejsou většinou tak přesné, jako hodiny na satelitu. Časový rozdíl může způsobit chybu při určování polohy. Přijímač proto po zjištění časového rozdílu upraví své hodiny podle hodin satelitů, aby zvýšil přesnost při určování polohy [18].



Obrázek 2.1: Průsečík vzdáleností dvou bodů od tří satelitů.[2]

[1] Rozdíl mezi časem přijetí signálu a časem, kdy satelit odeslal signál
[2] Převzato z [8].

Pro zachycení signálu z globálního satelitního systému (GNSS) se používá GNSS přijímač. V dnešní době je to většinou mobilní telefon se zabudovaným GNSS modulem. GNSS přijímač může přijímat signál z jednoho nebo více systémů. Pro nejpřesnější určení polohy je dobré kombinovat několik GNSS. Na obrázku 2.2 je GNSS modul ze série Neo–M8 od firmy u–blox.

Obrázek 2.2: GNSS modul Ublox Neo-M8.[3]

Takový systém poskytuje zeměpisné souřadnice (šířku a délku), nadmořskou výšku, rychlost a čas. V současné době existuje několik globálních navigačních satelitních systému.

GPS

Mezi nejznámější globální satelitní navigační systémy patří GPS neboli Globální poziční systém provozovaný ministerstvem obrany Spojených států amerických. GPS poskytuje navigační a časové údaje po celém světě. Momentálně má GPS 31 funkčních satelitů, každý satelit obletí Zemi přibližně jednou za 12 hodin [17]. GPS bylo vytvořeno původně pro armádní využití. Od roku 2000 je globálně dostupné i pro civilní využití. Přesnost GPS s běžným přijímačem jako je mobilní telefon je přibližně 5 metrů [16].

GLONASS

Dalším GNSS je Ruský GLONASS (Globální navigační satelitní systém). Stejně jako GPS poskytuje navigační a časové údaje po celém světě. V současnosti má GLONASS v provozu 24 satelitů. Doba, za kterou satelit obletí Zemi je přibližně 11 hodin a 16 minut. Přesnost systému je podobná jako u GPS tedy přibližně 5 metrů [19].

Galileo

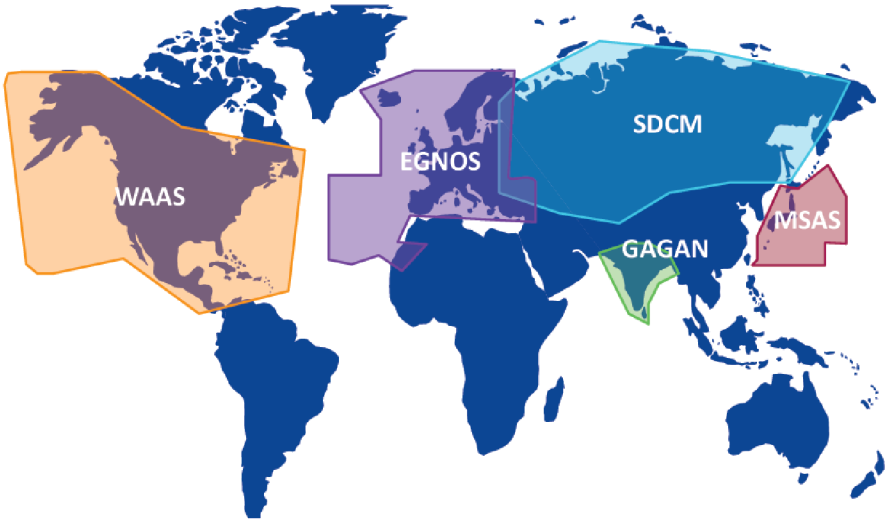
Galileo je globální navigační satelitní systém provozovaný Evropskou GNSS agenturou se sídlem v Praze. Na rozdíl od GPS a GLONASS je pod civilní kontrolou. Cílem tohoto systému je vytvoření nezávislosti zemí Evropské unie na systémech jiných zemí jako GPS a GLONASS [11]. První fáze systému byla spuštěna v roce 2016. Dokončení Galileo se předpokládá v 2020 s celkovým počtem 30 satelitů. Přesnost Galilea je přibližně 4 metry, je tedy o něco přesnější než ostatní systémy [12].

[3] Převzato z [24].

BeiDou

Navigační satelitní systém BeiDou (BDS) je Čínská alternativa, k již existujícím globálním satelitním systémům. Beidou má být dokončeno v roce 2020 s celkovým počtem 30 satelitů. V prosinci roku 2018 byl systém spuštěn globálně. S přesností 10 metrů je Beidou méně přesné než jeho konkurenti [7].

Signál z GNSS může být zpřesněn pomocí regionálního systému SBAS (Satellite–based Augmentation System). SBAS systém zlepšuje přesnost a spolehlivost dat z GNSS pomocí korekce chyb a poskytování informací o signálu jako jsou přesnost, integrita, kontinuita a dostupnost [10]. Na obrázku jsou zobrazeny SBAS systémy a oblast pokrytí těchto systémů.



Obrázek 2.3: Mapa pokrytí momentálně existujících SBAS systémů.[4]

Standart NMEA

Informace pro část ohledně standartu NMEA jsem čerpal z [28] a z [9].

NMEA standart byl původně definován pro námořní komunikaci. Dnes je podporován většinou GNSS přijímačů a všemi Globálními satelitními systémy.

```
12:10:29  $GNRMC,121029.00,A,4859.00095,N,01542.10852,E,0.114,,300419,,,A*6C
12:10:29  $GNVTG,,T,,M,0.114,N,0.212,K,A*38
12:10:29  $GNGGA,121029.00,4859.00095,N,01542.10852,E,1,12,0.82,462.5,M,43.0,M,,*40
12:10:29  $GNGSA,A,3,25,12,02,14,31,32,06,24,,,,,1.43,0.82,1.17*17
12:10:29  $GNGSA,A,3,81,79,80,82,71,,,,,,,1.43,0.82,1.17*14
12:10:29  $GPGSV,3,1,09,02,43,080,29,06,21,042,22,12,56,084,31,14,27,280,38*78
12:10:29  $GPGSV,3,2,09,24,18,158,29,25,78,321,31,29,54,222,,31,28,310,26*75
12:10:29  $GPGSV,3,3,09,32,23,261,37*41
12:10:29  $GLGSV,3,1,11,70,00,272,,71,12,316,22,72,08,003,25,73,02,311,*6A
12:10:29  $GLGSV,3,2,11,78,09,128,,79,59,117,32,80,60,322,27,81,64,054,24*69
12:10:29  $GLGSV,3,3,11,82,55,188,19,83,07,202,,88,17,032,*5D
12:10:29  $GNGLL,4859.00095,N,01542.10852,E,121029.00,A,A*7E
12:10:30  $GNRMC,121030.00,A,4859.00086,N,01542.10840,E,0.141,,300419,,,A*65
```

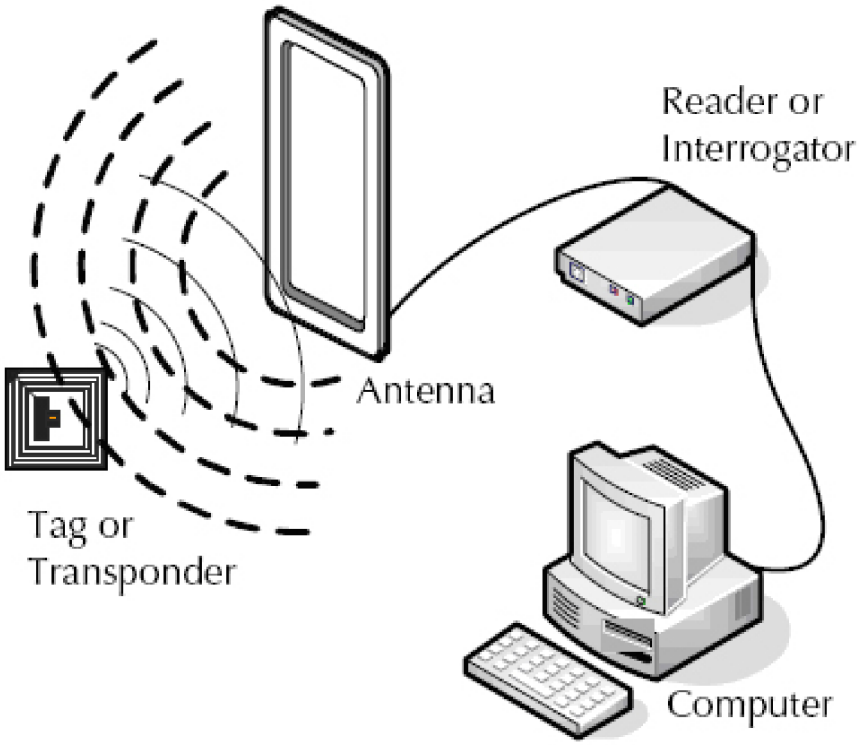
Obrázek 2.4: Ukázka vět standartu NMEA.

[4] Převzato z [10].

NMEA standart definuje věty, které GNSS přijímač odesílá zařízení pro další zpracování. Každá věta začíná symbolem $ a končí koncem řádku, následuje označení GNSS ze kterého byla data získána. Označení GNSS má 2 znaky například pro GPS je to GP, GLONASS je to GL a pro libovolnou kombinaci systémů je to GN. Po označení GNSS následuje typ zprávy. Standart definuje velké množství vět. Mezi nejčastěji využívané patří věty GGA, GLL, VTG, GSA, RMC a GSV. Více o těchto větách lze nalézt v použitých zdrojích. Od verze 4.10 standart NMEA podporuje systém Galileo a Beidou. V době psaní je nejnovější verze 4.11. Možné alternativy standartu NMEA jsou standarty RTCM a UBX.

2.2 Identifikace pomocí rádiové frekvence

Informace pro tuto kapitolu jsem čerpal především z [4] a [21]. Identifikace pomocí rádiové frekvence (dále jen RFID) využívá rádiových vln ke čtení dat z RFID čipu. Technologie RFID má mnoho využití, například jako náhrada klasického čárového kódu nebo se také používá pro lokalizaci zvířat. Typický RFID systém se skládá z RFID čtečky a čipu. Ke čtečce může být připojená externí anténa pro zvýšení dosahu. Na obrázku 2.5 je ukázka RFID komunikace. Čtečka pomocí antény vyšle signál požadující data od čipu. Čip pak pošle zpět požadovaná data a čtečka je předá počítači ke zpracování.



Obrázek 2.5: Základní princip RFID.[5]

RFID komunikace se dělí podle použité frekvence (běžně používané frekvence jsou uvedeny v tabulce 2.1). Od použité frekvence se odvíjí dosah komunikace a cena komponentů. Použití výších frekvencí bývá regulováno například v Evropě je Ultra–vysoká frekvence omezena na rozsah 865 – 868 MHz a v USA je to 902 – 928 MHz.

[5] Převzato z [6].

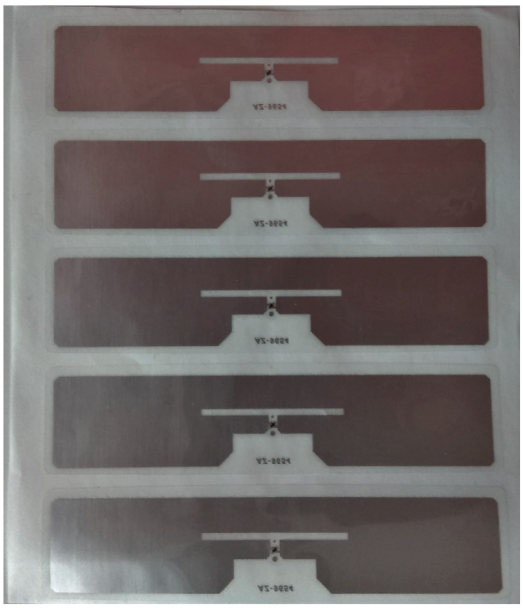
Frekvence	Rozsah	Dosah komunikace
Nízká frekvence (LF)	120 – 140 KHz	10 – 20 cm
Vysoká frekvence (HF)	13,56 MHz	10 – 20 cm
Ultra-vysoká frekvence (UHF)	868 – 928 MHz	3 m
Mikrovlny	2,45 a 5.8 GHz	3 m
Ultra-široké pásmo (UWB)	3,1 – 10,6 GHz	10 m

Tabulka 2.1: Běžně používané RFID frekvence.[6]

RFID komunikace je také dělena na aktivní a pasivní, podle použitého RFID čipu. **Aktivní** čip má svůj vlastní zdroj energie. Díky tomu může vyhledávat čtečky v okolí. Hlavní výhodou aktivního čipu je větší dosah. Nevýhodou je nutnost napájení a často vyšší cena oproti pasivním čipům. Existují také polo-aktivní čipy, které mají vlastní zdroj energie, ale nemohou vyhledávat čtečky v okolí.

Obrázek 2.6: Aktivní čip napájený baterií.[7]

Pasivní čip (na obrázku 2.7) je na rozdíl od aktivního napájen z signálem z čtečky. Má menší dosah než aktivní čipy, ale je většinou levnější než aktivní čip.



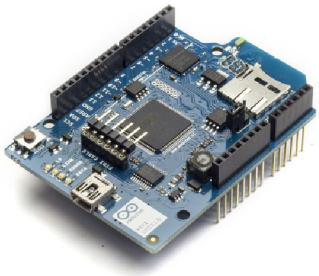
Obrázek 2.7: Pasivní čipy, kde šedá plocha je anténa a samotný čip je černá tečka uprostřed.

[6]Převzato z [29].
[7]Převzato z [21].

RFID čip se skládá z mikročipu a z antény. Existuje několik druhů RFID čipů, které se dělí do tříd. Více o rozdělení RFID čipů do tříd lze nalézt zde [5]. Na RFID čipů mohou být uloženy různé informace dle způsobu využití. Standart EPC Gen2[8] pro RFID čipy popisuje čtyři druhy informací (TID, EPC, uživatelská paměť a hesla), které jsou uloženy v čipu. TID je unikátní identifikátor čipu o velikosti 120 bitů. TID není možné přepsat. EPC je přepisovatelná pamět, většinou o velikosti 12 bajtů, často využívaná jako unikátní označení produktu. Uživatelská paměť je stejně jako EPC přepisovatelná, její velikost může být 0 až 64 bajtů. RFID čip má dvě hesla tzv. *Access password* a *Kill password*. *Access password* zabraňuje přepsání dat na čipu bez znalosti tohoto hesla. *Kill password* se používá k trvalému deaktivování čipu.

2.3 Platforma Arduino

Arduino je platforma založena na otevřeném hardwaru a softwaru [3]. Je tedy možné si desku buď zakoupit nebo vyrobit a nahrát na ni libovolný software. Díky tomu, že se jedná o otevřený hardware, existuje mnoho kopií oficiálních desek tzv. klonů. Desky je možné rozšiřovat pomocí tzv. shieldů například Wifi shield (zobrazen na obrázku 2.8), RFID shield nebo Ethernet shield [27]. Rozšíření je také možné pomocí různých modulů připojitelných k desce například displej nebo GPS modul.



Obrázek 2.8: Arduino Wifi Shield se slotem pro SD kartu.[9]

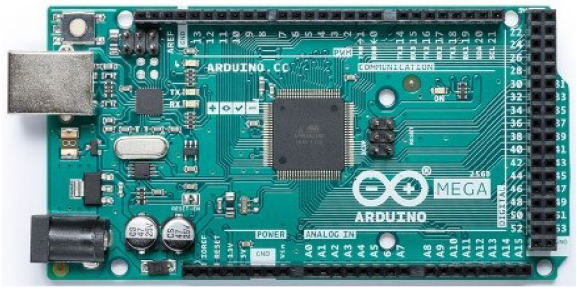
Typy desek

Největší rozdíly mezi deskami tvoří jejich procesor a velikost Flash paměti. Většina desek má doporučené napájení mezi sedmi a dvanácti volty.

- **Arduino UNO** je jednou z nejoblíbenějších desek. Deska má USB port typu B pro připojení k počítači a nahrávání programu. Na desce je také konektor pro napájení a tlačítko pro reset.
- **Arduino Mega 2560** (na obrázku 2.9) je jedno z větších Arduin. Díky větší Flash paměti a většímu počtu pinů je vhodné pro větší a náročnější projekty.
- **Arduino Micro** patří mezi nejmenší Arduino desky. Tuto desku je možné na počítači po připojení pomocí USB portu rozpoznat jako klávesnici nebo myš [27].

[8] Více informací zde https://www.gs1.org/epcglobal
[9] Převzato z [2].

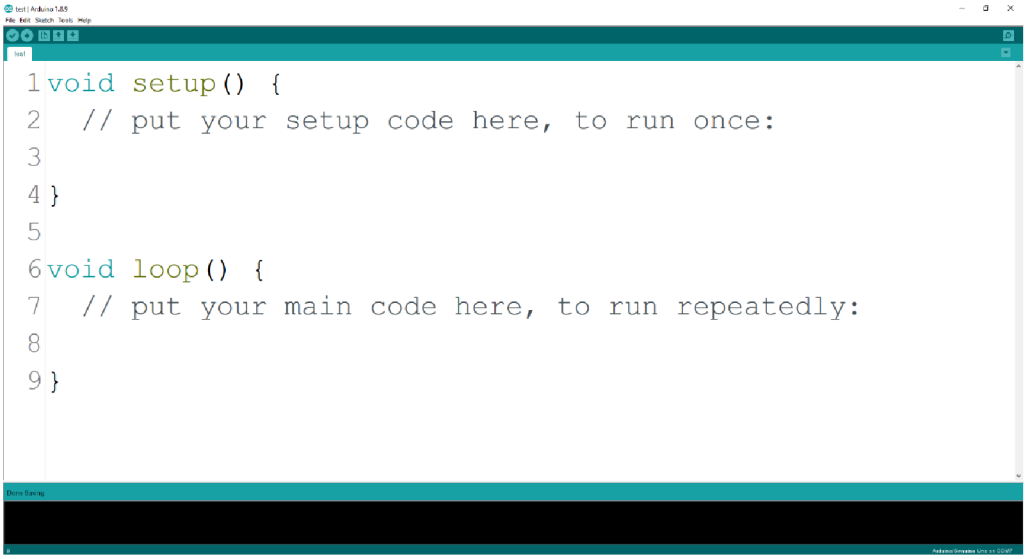
- **Arduino Due** má, na rozdíl od většiny Arduin, 32 bitový ARM procesor. Velikostí se podobá Arduinu Mega. Na desce jsou dva microUSB porty. Jeden pro napájení a připojení k počítači a druhý pro připojení periférií [27].



Obrázek 2.9: Arduino Mega.[10]

Programovací prostředí

Arduino lze naprogramovat v softwaru Arduino IDE od výrobce originálních desek Arduino. Lze použít i jiné programovací prostředí, například PROGRAMINO nebo PlatformIO.



Obrázek 2.10: Arduino IDE.

Arduino IDE nabízí několik příkladů základních programů pro Arduino. Soubory s programem pro Arduino mají příponu .ino. Silnou stránkou Arduina je velký počet volně dostupných knihoven. Pro programování Arduina je možné použít jazyk C nebo C++. Arduino má i svůj vlastní jazyk založený na C++ knihovně Wiring [3]. Na obrázku 2.10 jsou zobrazeny v Arduino IDE dvě funkce. Tyto dvě funkce tvoří základní strukturu programovacího jazyka Arduino. Funkce `setup()` obsahuje část kódu, která se provede při spuštění (většinou inicializace zdrojů). Ve funkci `loop()` je část programu, která se opakuje až do odpojení Arduina. Funkce `setup()` a `loop()` musí být vždy přítomné [27]. Alternativou k Arduinu může být mikrokontrolér Teensy nebo Raspberry PI.

[10] Převzato z [1].

Kapitola 3

Existující řešení bateriových tramvají a jejich lokalizace

V této kapitole je popsáno několik možných řešení bateriových tramvají a jejich lokalizace v provozu. Pro informace o těchto řešení jsem kontaktoval firmy Škoda, Siemens, Bombardier, Ansaldo, SAS, Alstom a Dopravní podnik města Brna.

3.1 Lokalizace tramvaje v Brně

Informace ohledně současného fungování lokalizace a pantografu (včetně obrázků) v Brněnských tramvajích jsem obdržel od pana inženýra Kopřivy a pana inženýra Jarolína z Dopravního podniku města Brna.

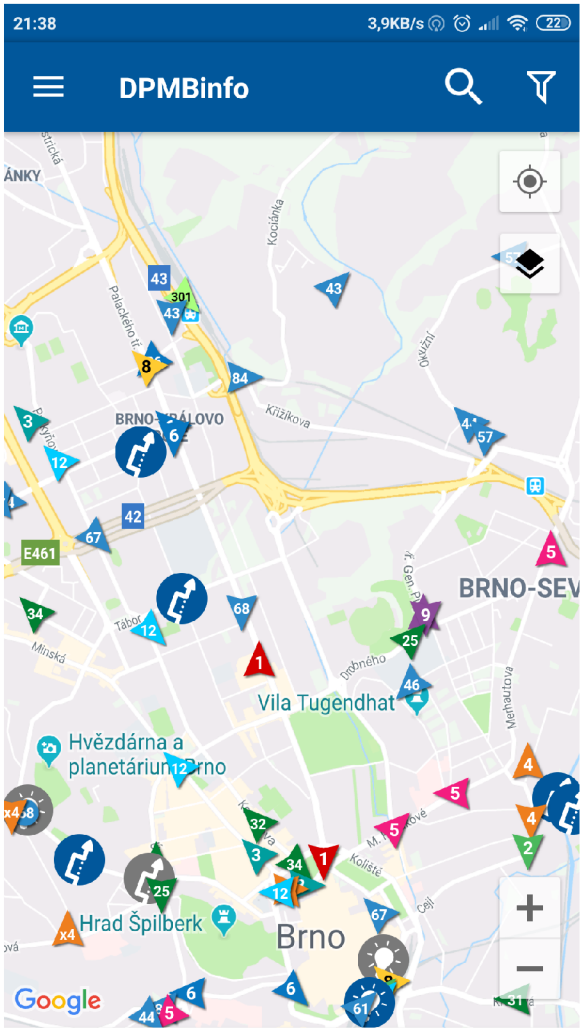
Současné řešení stahování a vytahování pantografu, u tramvají v Brně je zcela manuální. V kabině řidiče je umístěno tlačítko, které ovládá stáhnutí a vytáhnutí pantografu. Část kabiny s tlačítkem je na obrázku 3.1.

Obrázek 3.1: Kabina řidiče s tlačítkem pro ovládání sběrače tramvaje Škoda 13T.[1]

V Brně v současné době existují dvě možnosti, jak lokalizovat tramvaj. První možnost poskytuje přibližnou polohu mezi zastávkami. Tato možnost je založena na rádiové síti.

[1] Obrázek mi byl poskytnut v rámci emailové komunikace s Ing. Janem Kopřivou.

Tramvaj každých 25 sekund odesílá informace, mezi kterými je i čas odjezdu ze zastávky. Tramvaj má přístup k databázi všech zastávek. Po zadání linky, na které se bude tramvaj nacházet, je určeno pořadí zastávek, kterými bude tramvaj projíždět. Lokace tramvaje je tedy určena databází zastávek, zadáním linky, na které se tramvaj nachází a odesláním skutečného času odjezdu ze zastávky. Porovnáním skutečného času odjezdu a předpokládaného času odjezdu lze zjistit zpoždění tramvaje. Tato metoda je považována za spolehlivější než satelitní navigace. Je proto používaná u systémů, které jsou klíčové pro bezproblémové fungování tramvajové sítě. U některých systémů je používaná také v případě výpadku GNSS.



Obrázek 3.2: Vzhled aplikace DPMBinfo, záložka poloha vozidel.

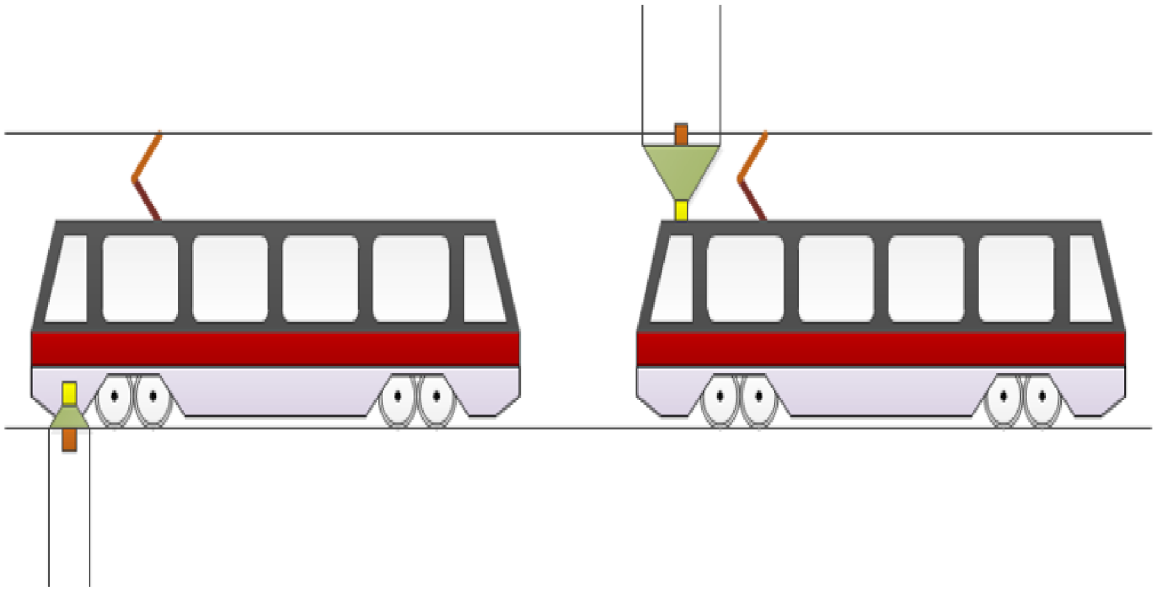
Jak je zmíněno výše, druhou možností lokalizace v Brněnských tramvajích je satelitní navigace. GNSS se u Brněnských tramvají využívá k určení polohy pro méně důležité systémy, například určení lokality, ve které se promazávají kola tramvaje. V případě výpadku GNSS probíhá promazávaní po určitých časových intervalech. GNSS je také využívaná pro aplikaci *DPMBinfo*, která mimo jiné informace, poskytuje i přibližnou polohu vozidel (vzhled aplikace je na obrázku 3.2). GNSS se používá jako záložní systém především z důvodu možných nepřesností GNSS, například při průjezdu tunelem. Antény, jak rádiové komunikace, tak GNSS jsou umístěny na střeše vozu.

3.2 Lokalizace ve vozech firmy Škoda Transportation

Informace pro tuto kapitolu jsem čerpal z prezentace poskytnuté v rámci emailové komunikace s panem inženýrem Milanem Šrámkem z firmy Škoda Transportation. Poskytnutá prezentace je umístěna v přiloženém DVD. Škoda Transportation se zabývá výrobou vozidel pro železniční a městkou hromadnou dopravu.

Bateriové tramvaje ForCity Classic od firmy Škoda Transportation využívají pro svou lokalizaci systém VETRA od firmy Elektroline. Tramvaje mají na jedno nabití dojezd až 15 kilometrů. Baterie jsou umístěny na střeše tramvaje. Současně jsou využívány například v Tureckém městě Konya. Ve městě Konya je bateriový provoz tramvají využíván především v historickém centru města kolem mešity.

Systém VETRA, je systém pro lokální komunikaci mezi tramvají a vozovkou. Systém je primárně využíván jako signalizační systém pro tramvaje. Využívá obousměrnou rádiovou komunikaci na frekvenci 2,4 GHz. Tedy běžné Wi-fi frekvenci. Oproti komunikaci na menších frekvencích, vyšší frekvence umožňuje nainstalovat anténu i do oblastí s ocelovou vyztuží v betonu. Komunikace probíhá mezi anténou nainstalovanou na tramvaji a anténou umístěnou v zemi na trati. Kvůli své malé velikosti, může být venkovní anténa také umístěna na tramvajovém vedení. Možnosti umístění antény jsou zobrazeny na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Možnosti umístění venkovní antény.[2]

Frekvence 2,4 GHz umožňuje vysokou rychlost komunikace. Díky tomu, je možné používat systém pro tramvaje jedoucí rychlostí až 100 Km/h. Veškerá komunikace je šifrovaná a data posílaná mezi anténami jsou nastavitelná. Je tedy možné, upravit komunikaci podle potřeb. Součástí vybavení tramvaje při využití systému VETRA je terminál a modul pro určení času. Obousměrná komunikace umožňuje vyslat signál z venkovní antény vozidlu. Venkovní anténa je zobrazena na obrázku 3.4.

[2] Převzato z prezentace poskytnuté v emailové komunikaci s panem Ing. Milanem Šrámkem z firmy Škoda..

Obrázek 3.4: Příklad umístění venkovní antény systému VETRA.[3]

Součástí vybavení u tratě je také modul, pro určení času. Synchronizací časů, je možné vozidlo lokalizovat a sdělit mu, že se blíží část tratě bez tramvajového vedení.

3.3 Bateriové tramvaje Siemens Avenio

Informace pro tuto část, jsem čerpal z článku v časopisu Railway Gazzete [13] a z emailové komunikace se zástupcem firmy Siemens panem Tobiasem Kochem.

Siemens, je mezinárodní koncern firem, se sídlem v Berlíně a v Mnichově. Siemens patří mezi největší světové výrobce elektroniky. Tramvaj Siemens Avenio s možností bateriového napájení je využívaná například v hlavním městě Kataru Doha. Ve městě Doha se sekce bez tramvajového vedení nachází u jižního a severního kampusu univerzity v Doha. Dojezd na baterii je 12 kilometrů. Baterie využívají technologii Sitras HES od Siemensu.

Lokalizace tramvaje k určení místa pro stáhnutí či vytáhnutí pantografu není u tramvaje Siemens Avenio potřeba. Tramvaj má malý pantograf nad kabinou, který je vždy ve stejné pozici. Tramvaj tedy pantograf nestahuje ani nevytahuje. Tramvajové vedení má na každém konci lehce zešikmenou sekci, pro vedení pantografu z a na tramvajové vedení. Pro maximální využití energie může být vozidlo napájeno i z tramvajového vedení.

[3] Převzato z prezentace poskytnuté v emailové komunikaci s panem Ing. Milanem Šrámkem z firmy Škoda.

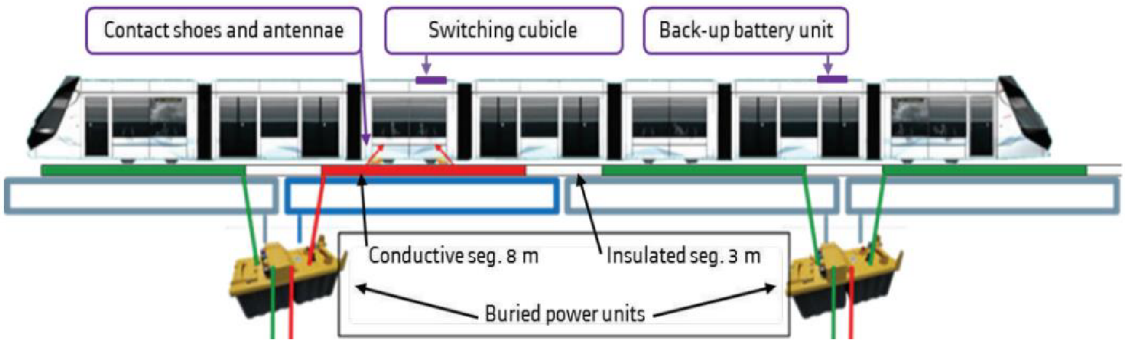
Obrázek 3.5: Tramvaj Siemens Avenio v zastávce s rampou pro pantograf.[4]

Tramvajové vedení je umístěno především na zastávkách. Ve městě Doha je průměrná délka tramvajového vedení 600 m. Na obrázku 3.5 je zobrazena tramvaj Siemens Avenio s upraveným tramvajových vedením.

3.4 Systémy APS a SRS firmy Alstom

Zdroje pro tuto sekci mi poskytl zástupce firmy Alstom pan Andrés López Morancho. Poskytnuté prezentace jsou umístěny na přiloženém DVD.

Alstom, je mezinárodní firma se sídlem ve Francii. Zabývá se výrobou zařízení a vozidel pro železniční dopravu. Mezi nejznámější vozidla patří TGV a Pendolino. Alstom využívá pro své bateriové tramvaje systémy APS a SRS, především v tramvajích Citadis.

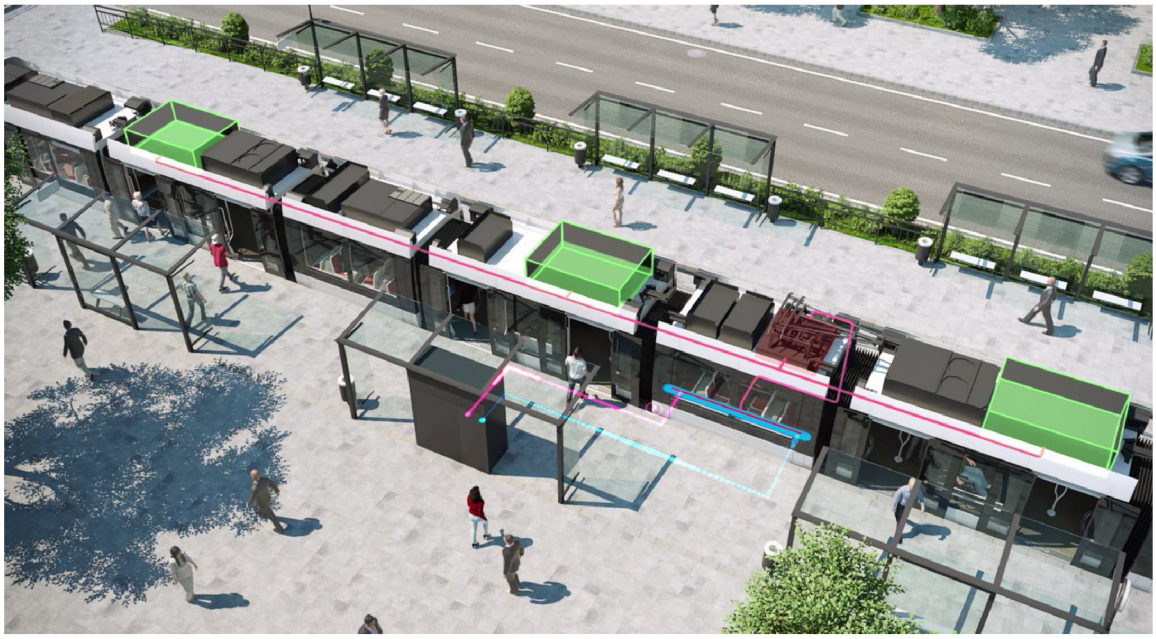


Obrázek 3.6: Systém APS.[5]

[4]Obrázek mi byl poskytnut v rámci emailové komunikace s panem Tobiasem Kochem z firmy Siemens.
[5]Převzato z prezentace poskytnuté v emailové komunikaci s panem Andrésem Moranchem z firmy Alstom.

Systém APS umožňuje tramvajové vedení umístit do tratě. Tím odpadá nutnost tramvajového vedení nad tramvají. Trať je rozdělena do částí po 11 metrech. Osm metrů tvoří část vodivá, ze kterých je tramvaj napájena a tři metry část izolovaná. Rozdělení tratě je vidět na obrázku 3.6. Aktivní je vždy pouze jedna sekce, a to ta nad kterou se tramvaj nachází.

Ve spodní části tramvaje jsou umístěny antény, které umožňují detekci tramvaje nad určitou sekcí. Tramvaj je detekována pomocí kódovaných rádiových signálů, které jsou přeposílány do napájecí jednotky další sekce. Na tramvaji je umístěna záložní baterie v případě výpadku proudu.



Obrázek 3.7: Tramvaj se systémem SRS.[6]

Druhým systémem firmy Alstom je systém SRS (zobrazen na obrázku 3.7). SRS je systém pro bateriové tramvaje a autobusy. Systém funguje na podobném principu jako systém APS. Na rozdíl od systému APS jsou tramvaje, či autobusy napájeny pouze v zastávkách. Napájecí desky na zastávkách komunikují s vozidlem rádiovými signály a tím je vozidlo lokalizováno, stejně jako u systému APS. Napájecí jednotka, která komunikuje s tramvají je umístěna na zastávce (na obrázku 3.7 jako velká černá krabice). Systém SRS umožňuje také využívat energii generovanou, při brzdění pro nabíjení baterií.

3.5 Ostatní řešení bateriových tramvají

V této sekci jsou popsány systémy firem Ansaldo, Bombarier a CAF. Informace pro tuto část jsem čerpal z [26], [25] a z emailové komunikace s panem Iñaki Escrig ze společnosti CAF. Poskytnuté materiály jsou umístěny na přiloženém DVD.

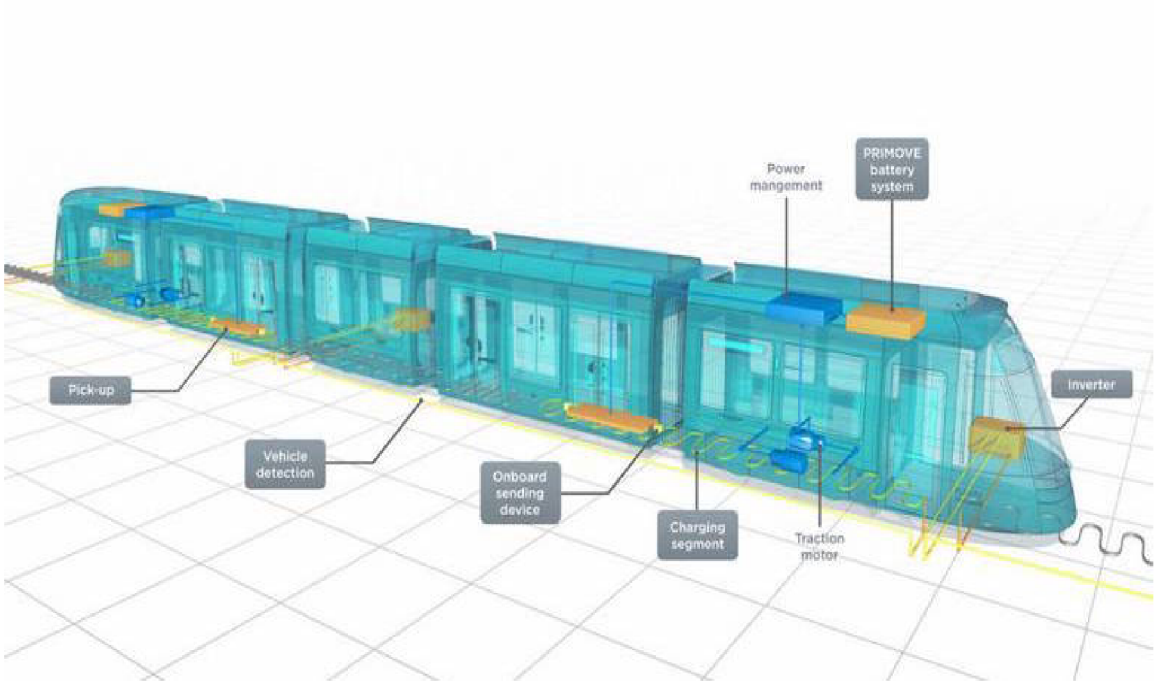
[6] viz. poznámka po čarou 4.

Ansaldo Tramwave

Ansaldo, je Italská společnost, zabývající se železniční a hromadnou dopravou. V dubnu 2019 byla společnost přejmenována na Hitachi Rail STS. Systém Tramwave využívá stejně jako systém APS od Alstom umístění tramvajového vedení v trati, místo nad tramvají. Trať je rozdělena do sekcí po třech až pěti metrech. Systém umožňuje napájení buď použitím systému Tramwave, nebo z tramvajového vedení umístěného nad tramvají. Sekce je aktivní pouze, když se tramvaj nachází nad sekcí. Ve spodní části tramvaje je umístěn magnetický sběrač. Sběrač pomocí magnetu aktivuje sekci, nad kterou se nachází. Sběrač lze vytáhnout. Systém je používán v Neapoli a v Miláně.

Bombardier Primove

Bombardier, je Kanadský koncern zabývající se výrobou letadel a kolejových vozidel. Systém Primove, podobně jako systémy Ansaldo Tramwave a Alstom APS využívají tramvajového vedení umístěného v kolejišti. Stejně jako v těchto systémech, je aktivní pouze ta sekce, nad kterou se tramvaj nachází. Podobný systém stejného názvu je dostupný i pro elektrické autobusy. Technologie je založená na indukčním přenosu. Pod tramvají je vytvořeno magnetické pole a pomocí cívky, umístěné ve spodní části, tramvaje dochází k jejímu napájení. Jedná se tedy o bezkontaktní napájení tramvaje a tím se snižuje opotřebení součástek. Na tramvaji je umístěna baterie, která je nabíjena při obsluze cestujících. Na obrázku 3.8 je zobrazeno umístění jednotlivých komponent systému na tramvaji.



Obrázek 3.8: Systém Primove v tramvaji.[7]

[7]Převzato z [15].

CAF Greentech Freedrive

CAF je Španělská firma, zabývající se výrobou železničních vozidel, vybavení a také výrobou autobusů. Systém Freedrive umožňuje pohyb tramvaje bez tramvajového vedení, na určitých částech tratě. Tramvaj je vybavena bateriemi, které jsou umístěny na střeše tramvaje. Nabíjení baterií probíhá na zastávkách, kde jsou umístěny i napájecí dráty. Greentech je otevřené řešení bateriových tramvají. Je tedy možné je libovolně upravovat. Systém Freedrive je používán ve městech Sevilla, Birmingham, Newcastle a v mnoha dalších.

Kapitola 4

Zhodnocení současného stavu a výběr komponentů

Před návrhem a implementací lokalizační systému bylo prvně provedeno zhodnocení současných řešení a jejich možností, dále byly upřesněny požadavky zadání a také proběhl výběr komponentů pro implementaci systému.

4.1 Zhodnocení současných řešení

Existuje několik řešení bateriových tramvají, výběr nejznámějších je popsán v předchozí kapitole. Současné řešení lokalizace u tramvají v Brně je dostačující, při současném využiti. Avšak v případě instalace bateriových tramvají, je metoda určení lokace mezi zastávkami nedostatečná. GNSS modul je v takovém případě také sám o sobě nedostačující, z důvodu možných výpadků.

Lokalizace vozu pro správné určení místa stažení či vytažení pantografu není u tramvají Siemens Avenio potřeba. Je to tomu tak, kvůli pevně přidělanému pantografu.

Systém Vetra ve vozech ForCity Classic od Škoda Transportation má výhodu oproti ostatním v menším zásahu do tratě. Zásah do tratě, je na některých místech přesto nutný. U systému Vetra, je nutné nainstalovat venkovní anténu a modul pro určení času. Systém má široké spektrum možných aplikací, z dalších možností například automatické přehazování výhybek.

U systémů APS a SRS od Alstom je hlavní výhoda v možnosti úplného odstranění tramvajového vedení nad tramvají. U systému APS je lokace tramvaje předávaná mezi napájecími jednotkami. Lokace tramvaje se tedy určuje v závislosti na napájecích jednotkách. Tento druh lokalizace lze využít pouze v případě plné implementace tohoto systému. Systém SRS umožňuje detekování tramvaje pouze na zastávkách (nebo jiných místech), kde je umístěn. Tato možnost je vhodná pouze v případě, pokud by se tramvaj nabíjela při obsluze cestujících nebo při čekání na zastávce. Stejně jako u APS lze tuto lokalizaci využít pouze při plné implementaci. U obou systémů je potřeba zásah do tratě, kvůli instalaci třetí koleje.

Ansaldo Tramwave je podobný systému Alstom APS. Získání lokace je závislé na aktivování sekce pomocí magnetu. Lokace při použití tohohle systému není bez použití dalších komponentů, dále využitelná.

Bombardier u systému Primove blíže nespecifikuje, jak získává lokaci vozidla. Systém je podobný systémům APS a SRS. Stejně tak firma CAF také blíže nespecifikuje jak a zdali vůbec získává lokaci vozidla pro svůj systém FREEDRIVE.

4.2 Požadováné parametry řešení

V předchozí podkapitole je shrnutí výhod a nevýhod současných řešení bateriových tramvají a jejich lokalizace. Zde jsou popsány požadavky, pro vhodné řešení lokalizačního systému v Brněnských tramvajích.

Vhodné předání informací řidiči. Je nutné vybrat a vhodně předat informace, ohledně lokace tramvaje, řidiči.

Přesnost v rámci metrů. Přesnost systémů musí být v rámci metrů pro spolehlivé určení průjezdu tramvaje, zvoleným místem.

Minimální zásah do tratě. Jeden z požadavků tohoto zadání, je pokud možno, žádný zásah do prostoru tratě. V ideálním případě by systém byl pouze v tramvaji.

Nezávislost na jedné lokalizační technologii. Získáváni lokace by nemělo být závislé na jedné lokalizační technologii. V případě použití komerčních systému by byl systém závislý na správci toho systému. Lokace by měla být určena, i v případě výpadku nebo nedostupnosti jedné technologie.

Co nejmenší náklady. Samozřejmosti je i minimalizace nákladů na systém, při minimální ztrátě kvality.

Možnost integrace s ostatními systémy. Systém by měl být schopen komunikovat s existujícími systémy, například pro poskytování počtu průjezdů určitým místem.

Tyto požadavky jsou využity jako základ pro návrh řešení, který je popsán v následující kapitole. V případě zvolení automatického ovládání pantografu, by tento systém sloužil jako zdroj lokalizačních informací.

4.3 Zvolené komponenty

Dalším krokem je vybrání vhodných komponentů. Tato podkapitola popisuje jednotlivé komponenty a jejich vlastnosti, pro které byly vybrány.

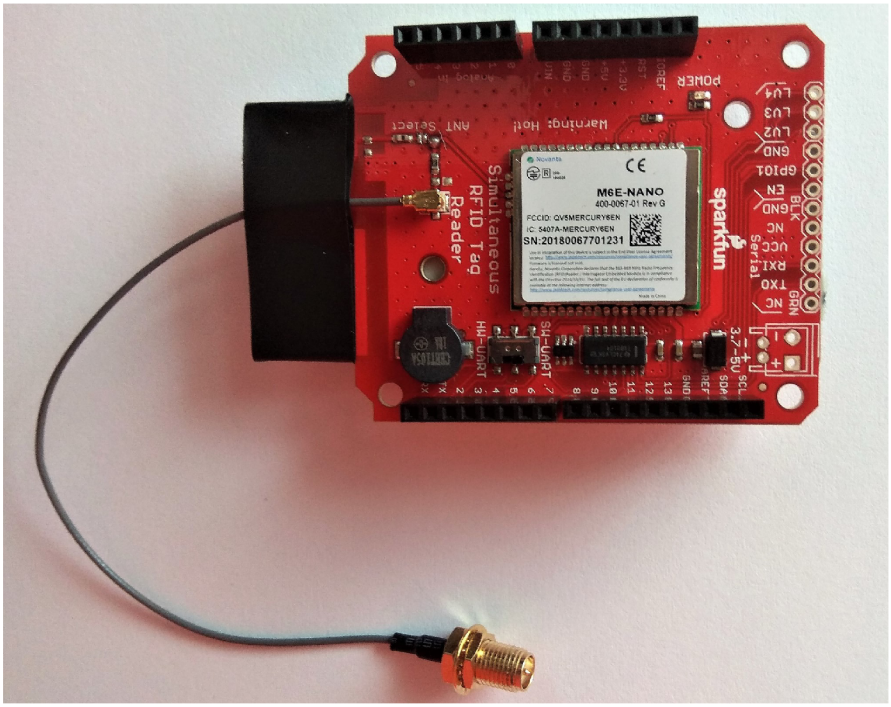
Arduino UNO

Platforma Arduino je více popsána v kapitole 2.3. Arduino UNO bylo, oproti větším a výkonnějším modelům upřednostněno, kvůli jednoduššímu zapojení níže popsaného RFID shieldu.

Platformu Arduino jsem zvolil, z důvodu velkého množství dostupných návodů a knihoven. Dalšími důvody, pro zvolení Arduina oproti ostatním platformám, byly jednoduchost implementace modulů, nízká cena, nízký odběr elektřiny a jeho vhodnost pro opakující se činnosti.

RFID čtečka SparkFun M6E Nano

RFID čtečka od firmy SparkFun[1] s čipem ThingMagic M6E - Nano byla vybrána, především pro jednoduchost práce se čtečkou. Dalším důvodem jsou dostupné návody a příklady naprogramování pro Arduino přímo od firmy SparkFun[2]. Tato čtečka je kompatibilní s Arduinem a je možné ji k Arduinu zapojit jako shield. Na čtečce je U.FL konektor pro zapojení externí antény. Nevýhodou je větší odběr elektřiny a zahřívání čtečky při plném výkonu. Kvůli zahřívání je u čtečky keramický proužek plněný silikonem pro odvod tepla.

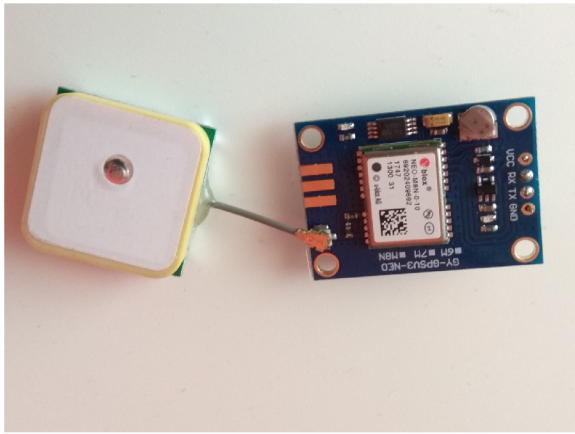


Obrázek 4.1: Vzhled RFID čtečky SparkFun M6E Nano.

GNSS modul Ublox NEO – M8N

Jako GNSS modul byl zvolen NEO – M8N[3] od firmy Ublox. Tento modul je schopen přijímat data, až ze tří globálních satelitních systému souběžně. Na výběr je z těchto satelitních systémů GPS, GLONASS, Galileo a Beidou. Tím je zvýšena přesnost a dostupnost lokalizačních dat. Vybraná deska, na které je modul umístěn je GY-GPSV3-NEO. Deska disponuje záložní baterií, EEPROM pamětí pro uložení konfigurace, regulátorem napětí (doporučené napětí je 3,3V) a záložní baterií. Modul předává lokalizační data využitím standartu NMEA.

[1] Dokumentace a další informace lze nalézt zde https://www.sparkfun.com/products/14066
[2] Návod je dostupný z https://bit.ly/2JfC5vr
[3] Více informací o modulu lze nalézt zde https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series



Obrázek 4.2: Vzhled GNSS modulu.

UHF RFID Anténa

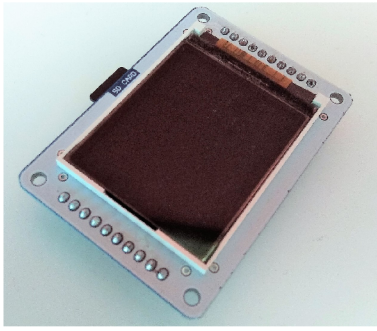
Tato anténa[4] byla vybrána, kvůli otestované kompatibilitě se čtečkou M6E Nano. Anténa je vybavena konektorem TNC, který ale není umístěn na čtečce. Proto je potřeba k anténě i dvojice níže zmíněných redukčních kabelů.

Obrázek 4.3: Vzhled RFID antény.

[4]Více informací o anténě lze nalézt zde https://www.sparkfun.com/products/14131

TFT LCD displej

Hlavními kritérii pro výběr displeje byly velikost a kompatibilita s Arduinem. Jako displej byl vybrán klon[5] původního Arduino LCD displeje. Displej má úhlopříčku 1,77", s Arduinem komunikuje pomocí SPI a ze zadu na displeji je umístěn slot pro SD kartu.



Obrázek 4.4: Vzhled TFT displeje.

K výše popsaným komponentům bylo potřeba toto příslušenství:

- Nepájivé pole pro účely testování
- Napájecí zdroj s konektorem 5,5 mm, napětím 7,5 V a vstupem 1,5 A
- Propojovací kabely k Arduinu
- USB kabel s konektorem typu B
- Redukční kabel z TNC na RP-SMA
- Redukční kabel z RP-SMA na U.FL
- UHF RFID čipy

Dvojici redukčních kabelů, lze nahradit jedním redukčním kabelem, a to z konektoru U.FL na TNC. Tato možnost byla zvolena z důvodu větší dostupnosti těchto kabelů. Také je tohle k vybrané anténě doporučené a otestované řešení. Napětí napájecího zdroje může být až 20 V, doporučených je však maximálně 12 V.

[5] Více informací o displeji lze nalézt zde https://bit.ly/2VgG9xd

Kapitola 5

Implementace a testování

Tato kapitola se věnuje průběhu implementace lokalizačního systému. V následujících podkapitolách je popsán návrh řešení a zapojení hardwaru, dále je popsána základní struktura kódu a princip fungování RFID a GNSS modulu. Poslední podkapitola popisuje průběh a výsledky testovaní jednotlivých modulů a celého systému.

5.1 Návrh řešení a zapojení hardwaru

Návrh řešení vychází z požadavků popsaných v podkapitole 4.2. Jako vhodné lokalizační technologie byly vybrány lokalizace s využitím družicových systému (GNSS) a lokalizace pomocí rádiových frekvencí (RFID). Obě technologie jsou popsány v kapitole 2. Konkrétní komponenty jsou popsány v podkapitole 4.3.

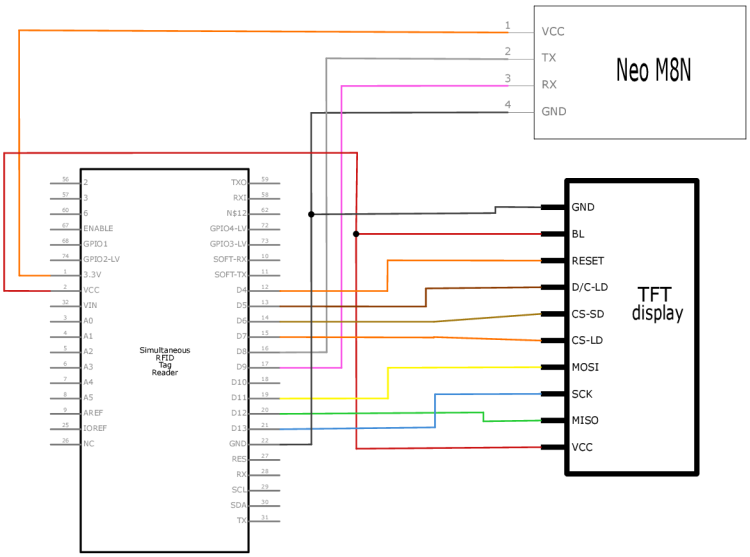
Na obrázku 5.1 je možné vidět propojení jednotlivých častí systému. Blokové schéma bylo vytvořeno v programu Fritzing[1].

Jako hlavní zdroj lokace byl vybrán RFID, pracující na ultra vysoké frekvenci (UHF) s využitím pasivních čipů. Předpokládaný dosah čtení je přibližně 5 metrů. U této možnosti by v tramvaji byla nainstalovaná čtečka s vhodnou anténou a na trati by byl umístěn RFID čip. RFID čip by byl umístěn v dostatečné vzdálenosti od konce tramvajového vedení. Zaznamenáním čipu čtečkou, by systém měl mít informaci o blížícím se konci tramvajového vedení. Kdyby například byl čip umístěn ve vzdálenosti 500 metrů před koncem vedení a tramvaj by jela rychlostí 50 km/h. Lze jednoduchým výpočtem pomocí vzorečku $t = d/v$ (kde t je čas na reakci, d je vzdálenost a v je rychlost tramvaje) vypočítat čas, který má řidič na reakci. V tomto příkladu je to 36 sekund.

Tuto možnost lokalizace jsem zvolil, kvůli minimálnímu zásahu do tratě (na trať by se umístili pouze malé čipy). Výhodou je také nízká cena čipů. Dalším důvodem byla možnost včasné získaní informace o konci tramvajového vedení, oproti jiným způsobům, například detekci tramvajového vedení kamerou.

Jako záložní zdroj lokace byla vybrána lokalizace pomocí GNSS. Záložní zdroj lokace by měl být využit v případě výpadku, hlavního zdroje. Předpokládaná přesnost určení lokace je přibližné 10 metrů. Tato možnost bude využita i pro orientační určení vzdálenosti k dalšímu umístění RFID čipu. Jako záložní byla tato možnost zvolena z důvodu závislosti fungování systému na jiných subjektech. A také kvůli možnému výpadku v některých částech trati, například při průjezdu tunelem.

[1] Dostupný z http://fritzing.org/home/



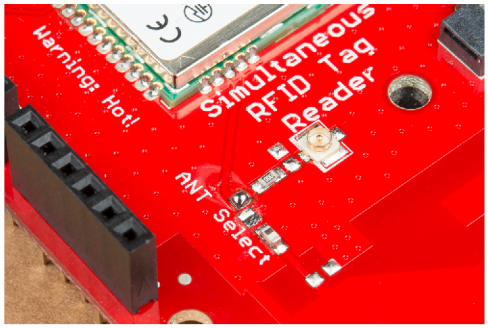
Obrázek 5.1: Blokové schéma lokalizačního systému.

Platformou pro implementaci výše zmíněných technologií bylo zvoleno Arduino. Důvod pro zvolení Arduina je popsán v podkapitole 4.3.

Poslední části navrhovaného systému je displej. Na displeji je nutné zobrazit potřebné informace pro řidiče, aby v případě manuálního stahování či vytahování pantografu mohl včas zareagovat. Na displeji bude zobrazena vzdálenost k dalšímu RFID čipu, informace o tom zda čtečka skenuje či našla čip a indikátor, zda se tramvaj nachází ve zvolené vzdálenosti od konce vedení. Indikátor bude ve formě červeného (v případě, že je tramvaj dostatečně daleko) a zeleného (v případě, že se tramvaj blíží ke konci vedení) kolečka.

Zapojení hardwaru

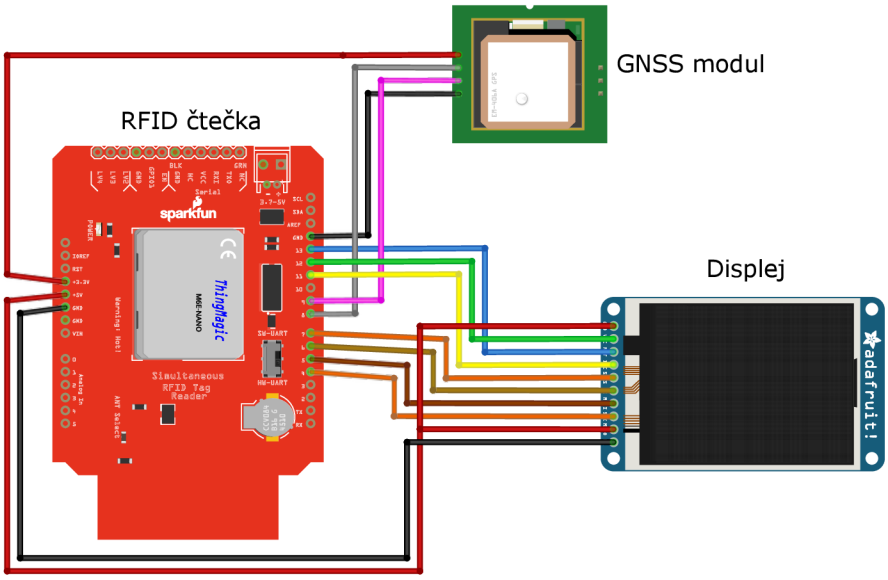
Dalším krokem po návrhu systému a výběru komponentů je jejich sestavení. Sestavování komponentů probíhalo podle návrhu, který je zobrazen na obrázku 5.3. RFID čtečka je v tomto návrhu zapojena k Arduinu jako shield.



Obrázek 5.2: Vzhled pájecího můstku pro využití externí antény.[2]

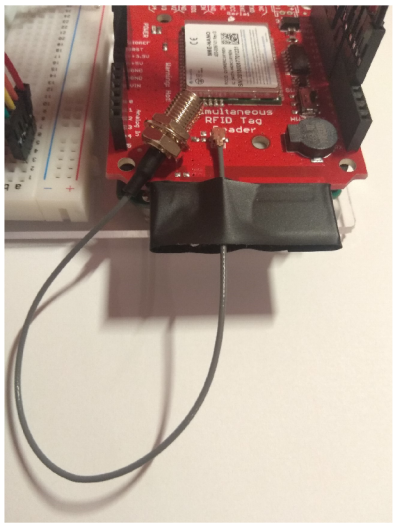
[2]Převzato z [20].

Pro sestavení komponentů bylo, nejprve nutné napájet konektory na RFID čtečku a přepájet pájecí můstek, na pozici pro použití externí antény. Vzhled pájecího můstku po přepájení je na obrázku 5.2. Podrobnější popsáni postupu je dostupné zde [20] v kapitole *Hardware Hookup* a *Using an External Antenna*. Po napájení konektorů, může být čtečka zapojena do Arduina jako shield.



Obrázek 5.3: Návrh zapojení komponentů.

Dále je ke konektoru U.FL na čtečce připojen redukční kabel s koncovkou RP-SMA. Kabel je ke čtečce připevněn izolační páskou, kvůli své křehkosti. K tomuto kabelu je připojen druhý redukční kabel na konektor TNC, ke kterému je připojena anténa.



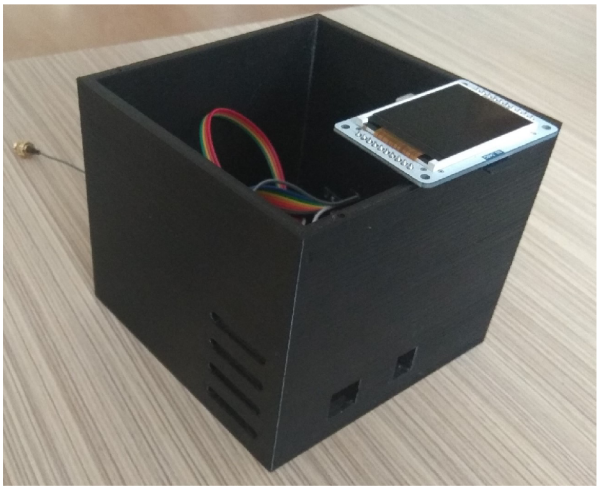
Obrázek 5.4: Zapojení redukčního kabelu z U.FL na RP-SMA.

U ostatních komponentů nebyly potřeba další úpravy. Pro zapojení komponentů byla využita deska nepájivého pole. Jak je zmíněno výše RFID čtečka je k Arduinu připojena jako shield. Ostatní moduly jsou tedy připojeny ke čtečce. Displej byl připojen podle návodů dostupného zde [14]. Oproti návodu se mé zapojení liší v zapojení konektorů *RESET* na pin 4, *D/C-LD* na pin 5, *CS-SD* na pin 6 a *CS-LD* na pin 7. Odlišnosti, oproti návodu jsou z důvodu uvolnění pinů 8 a 9 pro GNSS modul a využití pinu 10 pro bzučák. Pin *CS-SD* byl přidán pro případné využití SD karty. Displej je napájen z Arduina 5V konektorem.

GNSS modul je napájen z Arduina 3,3V konektorem. Modul může být napájen i 5V díky regulátoru napětí, doporučené napětí modulu je však 3,3V. Konektor TX je připojen na pin 8 a RX konektor je připojen na pin 9.

Obrázek 5.5: Vzhled sestaveného lokalizačního systému.

Pro systém byla navržena a vytisknuta krabička. Krabička byla navržena v programu Solidworks. Ke krabičce bylo vytisknuto také víko, ve kterém je umístěna díra pro umístění displeje. Krabička je na obrázku 5.6.



Obrázek 5.6: Lokalizační systém v krabičce.

Na většině tiskáren, nelze krabičku tisknout v osové poloze, protože tvar kvádru vyvolává vlivem teplotní roztaživosti materiálu velké pnutí. Tím dochází k prasklinám při tisku. Tento problém, lze vyřešit natočením krabičky při tisku, přibližně o pět stupňů tak, aby jeden vrchol dna byl nejblíže k podložce a protilehlý vrchol nejdále. Lepší výsledek byl dosažen při tisku materiálem PLA, než materiálem ABS.

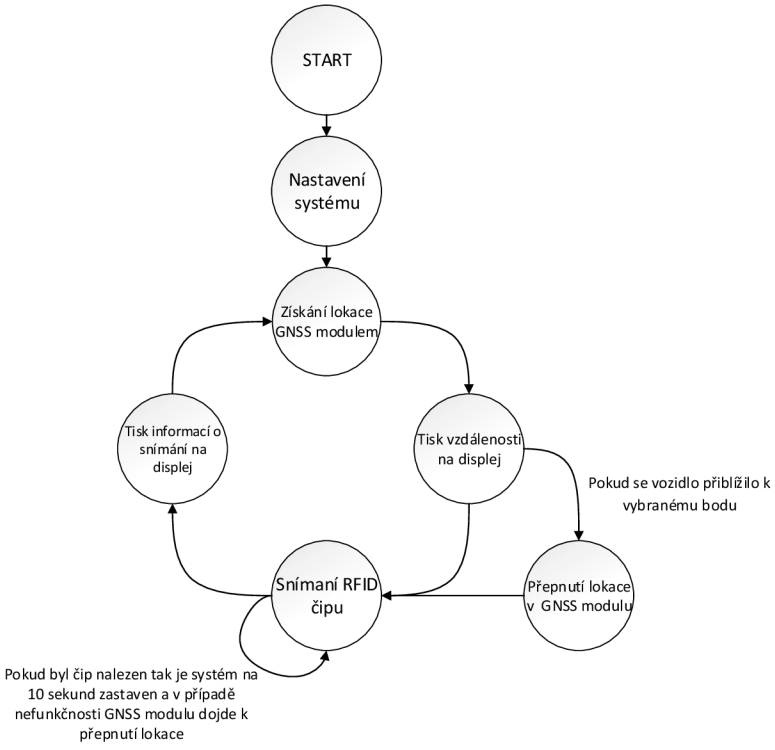
5.2 Základní struktura kódu

Po sestavení jednotlivých komponent, bylo potřeba je naučit spolu komunikovat. Výsledný kód vznikal postupnou implementací modulů jednoho po druhém a následným otestováním funkčnosti daného modulu. Implementaci GNNS a RFID modulů se více věnují následující podkapitola. Testování jednotlivých modulů a výsledného systému je podrobněji popsáno v podkapitole 5.5.

Pro jednoduší implementaci byli použity tyto knihovny:

- *Ucglib*[3] je využita pro vykreslování informací na displej.
- *SPI*[4] je využita pro komunikaci s displejem se sběrnicí SPI.
- *NeoGPS*[5] je v programu použita pro komunikaci s GNSS modulem. Hlavičkové soubory použité v programu jsou *NMEAGPS.h* a *GPSport.h*.
- *SparkFun_UHF_RFID_Reader*[6] je využita pro ovládání RFID čtečky.
- *SoftwareSerial*[7] je využita pro komunikaci s RFID čtečkou.
- *AltSoftSerial*[8] je využita pro komunikaci s GNSS modulem.

[3]Knihovna je dostupná zde https://github.com/olikraus/ucglib
[4]Knihovna patří mezi standardní Arduino knihovny
[5]Knihovna je dostupná zde https://github.com/SlashDevin/NeoGPS
[6]Knihovna je dostupná zde https://bit.ly/2h5mAKr
[7]viz. poznámka pod čarou 3
[8]Knihovna je dostupná zde https://github.com/PaulStoffregen/AltSoftSerial



Obrázek 5.7: Konečný automat stavů systému.

Pro implementaci kódu bylo použito Arduino IDE. IDE bylo využito především kvůli jednoduchému a přímočarému prostředí. Základní strukturu kódu tvoří dvě hlavní funkce používané v jazyku Arduino, tedy funkce `loop()` a `setup()`. Ve funkci `setup()` probíhá základní nastavení jednotlivých komponentů. Prvně proběhne nastavení displeje, poté nastavení RFID čtečky, a nakonec nastavení GNSS modulu. Pro nastavení RFID čtečky je použita funkce `setupNano`[9].

Na obrázku 5.7 je zobrazen konečný automat možných stavů systému. Systém může mít dva možné stavy, které určuje globální proměnná *state*. Tyto stavy jsou rozpoznávány ve funkci `loop()`. Při spuštění je systém v prvním stavu (proměnná *state* se rovná 0), kdy se systém pokouší získávat lokalizační data z GNSS modulu. Po pokusu získat data z GNSS modulu, ať úspěšném nebo neúspěšném, se systém přepne do druhého stavu (proměnná *state* se rovná 1).

V druhém stavu systém získává data z RFID čtečky. Po určitém intervalu se systém přepne zpět do prvního stavu. Ve funkci `loop()` lze nalézt vykreslovaní kolečka, které podle barvy indikuje, zda se vozidlo přiblížilo (zelené kolečko) k místu pro stáhnutí či vytáhnutí pantografu, nebo ne (červené kolečko).

Na displeji se zobrazují informace (na obrázku 5.8) o vzdálenosti k dalšímu bodu, informace o tom, zda čtečka skenuje nebo našla RFID čip a barevné kolečko, které je popsáno o pár řádků výše.

[9]Tato funkce je převzata z knihovny SparkFun_UHF_RFID_Reader [23].

Obrázek 5.8: Informace zobrazované na displeji.

Součástí implementace byla také SD karta. Slot pro SD kartu je umístěn na displeji, je ho možné vidět ve spodní části obrázku 5.8. SD karta nebyla implementována z důvodu nedostatku paměti pro proměnné. Po optimalizacích kódu zbylo v RAM paměti 1051 bajtů z celkových 2048 bajtů. Po přidání knihovny SdFat a potřebných proměnných zbude 395 bajtů, a to je pro použití lokálních proměnných málo.

5.3 Implementace GNSS modulu a RFID čtečky

Tato podkapitola popisuje průběh implementace a princip fungování GNSS modulu a RFID čtečky. Vypisování informací na displej bylo implementováno současně s těmito komponenty.

Implementace RFID čtečky

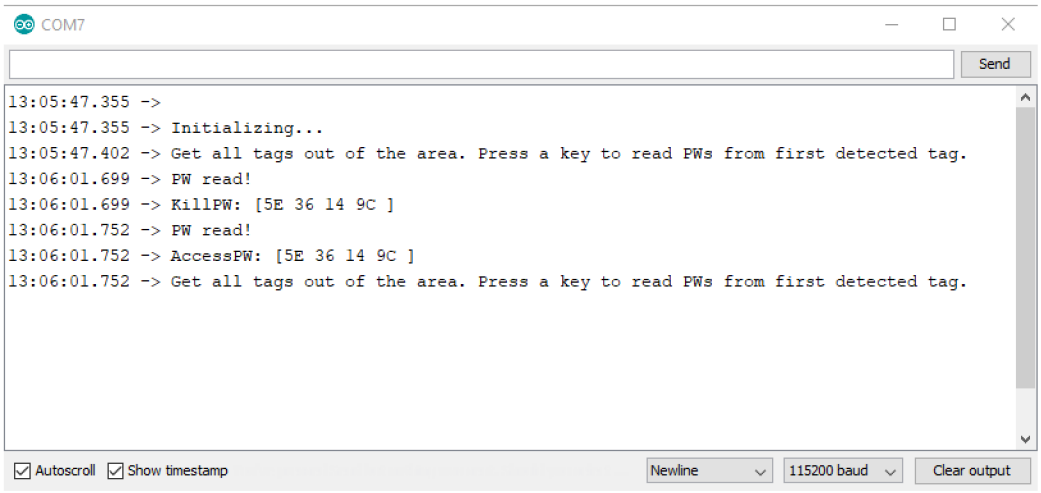
Pro implementaci RFID čtečky byla využita knihovna SparkFun_UHF_RFID_Reader [23], poskytovaná výrobcem čtečky firmou SparkFun. Při psaní kódu obsluhujícího čtečku, jsem využíval příkladů přiložených u použité knihovny.

Obrázek 5.9: Zapisování informací na čip.

Pro správné fungování programu, je potřeba přepnout spínač na čtečce do polohy SW-UART. Po nastavení, regionu (pro určení používané frekvence) a čtecího výkonu, následuje čtení čipu. Čtení čipů a zpracování dat získaných z nich získaných je umístěno v samostatné funkci. Informace o stavu nalezení čipu, je předávána pomocí globální proměnné. Pokud je čip nalezen funkce na dobu 10 sekund pozastaví celý systém.

Systém zaznamená pouze čipy, které nesou správné označení[10]. Ostatní čipy jsou přečteny, ale systém je ignoruje. Toto označení je uloženo v EPC paměti[11].

Zapsáno nebylo pouze do paměti EPC, ale byla změněna také hesla na čipu. Bylo změněno heslo pro vyřazení čipu a pro přespaní čipu[12].



Obrázek 5.10: Čtení hesla z čipu programem Example6_Read_Passwords.

Čipy byli označeny, kvůli omezení možnosti čtení jiného čipu než toho, který k tomu byl určen. Zapsání hesel na čipy je dobré, v tom případě, kdyby se někdo pokoušel čipy přepsat, nebo i trvale vyřadit.

Implementace GNSS modulu

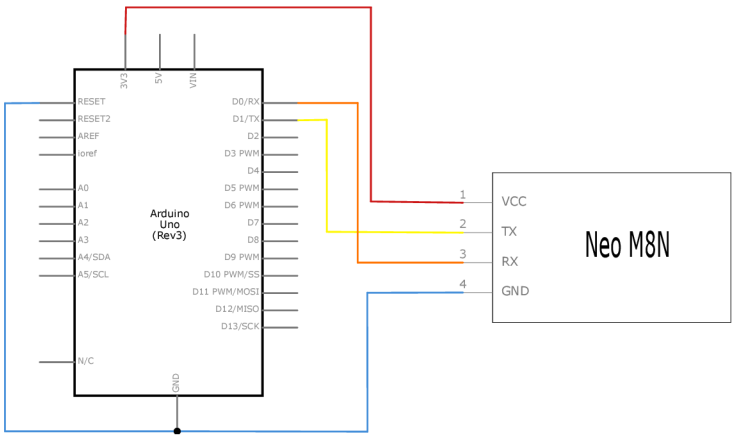
Čtení dat z GNNS modulu pomocí Arduina bylo implementováno s využitím knihovny NeoGPS [22]. Tato knihovna byla zvolena, kvůli nízkým nárokům na paměť, oproti jiným knihovnám. Nejdříve bylo nutné na modul nahrát nejnovější verzi firmwaru (v době psaní to byla verze 3.01)[13]. Tato verze oproti původní verzi v modulu (v2.01), podporuje i systém Galileo. Nahrání firmwaru bylo provedeno využitím funkce *Firmware Update Utility* programu *u-center*. Pro nahrání firmwaru bylo Arduino použito jako převaděč USB na Serial. Tohoto bylo docíleno propojením konektorů Reset a GND. Zapojení je zobrazeno na obrázku 5.11.

Tohle zapojení bylo také využito při konfiguraci modulu. Modul byl konfigurován v programu *u-center*. Změněny, oproti původnímu nastavení, byly použité satelitní systémy. Modul tedy po přenastavení využívá systémy GPS, GLONASS a Galileo.

Pro použití Galilea bylo také nutné, změnit používanou verzi standartu NMEA na verzi 4.1. Konfigurační soubor je umístěn na přiloženém DVD.

[10] Pro účely testování bylo zvoleno označení *TestTag#0001* až *TestTag#0005*
[11] Čipy byly označeny s využitím programu Example3_Write_EPC
[12] Pro tyto účely byl využit program Example7_Write_Passwords
[13] Firmware a více informací o modulu lze nalézt zde https://bit.ly/2Q2zpC6

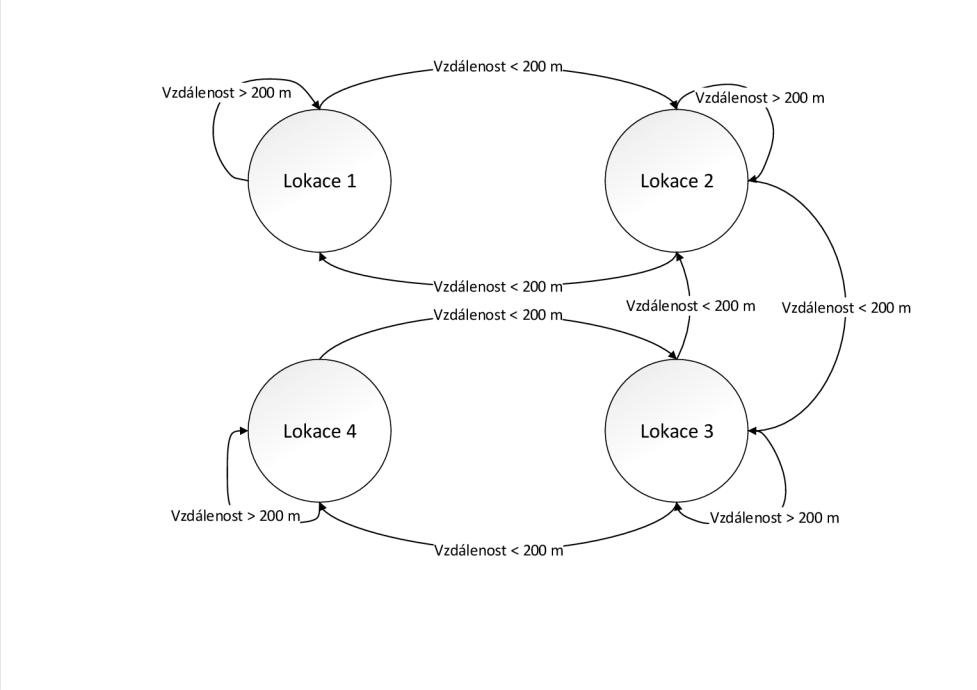
Použitá knihovna byla optimalizovaná pro menší využití RAM paměti. Největší změny byli provedeny v souboru *GPSfix_cfg.h*, kde byli zakomentovány nepotřebné informace získávané z modulu. Úprava souborů probíhala podle návodu [22].



Obrázek 5.11: Zapojení GNSS modulu k Arduinu při nahrávání firmwaru.

Místo doporučených pinů 0 a 1 pro připojení TX a RX na Arduino, byli použity piny 8 a 9 a knihovna *AltSoftSerial*. Tato změna byla provedena, kvůli využití pinů 0 a 1 RFID čtečkou. Jelikož v systému není potřeba odesílat data do GNSS modulu, je možné využít i bzučák a tím nechat pin 9 nezapojený.

Modul po zapojení a nalezení satelitů odesílá věty, dle NMEA standartu. Tyto zprávy je potřeba přečíst v Arduinu. Po úpravách knihovny jsou zpracovávány pouze věty RMC, čili doporučené minimum.



Obrázek 5.12: Přepínání mezi lokacemi.

Z odeslaných vět, jsou přečteny zeměpisné souřadnice. Pomocí těchto souřadnic a souřadnic zvoleného místa, je vypočítána vzdálenost ke zvolenému místu. Tato vzdálenost (v metrech) je poté vyspána na displej. Tento systém však potřebuje určovat vzdálenost od více míst než jednoho.

V případě přiblížení vozidla na méně jak vybranou vzdálenost (na obrázku 5.12 je to 200 metrů), nebo zaznamenáním RFID čipu, je výpočet vzdálenosti přepnut na další zvolené místo. Princip přepínání je znázorněn na obrázku 5.12, za použití čtyř možných lokací. Tyto lokace jsou uloženy v globálních proměnných. V původním návrhu měly být tyto lokace uloženy v souboru na SD kartě pro jednodušší manipulaci a rozšiřitelnost lokací. Tato možnost však, z důvodu popsaného na konci sekce 5.2, nebyla implementována.

5.4 Možné využití v praxi

Potencionální nasazení lokalizačního systému jsem diskutoval se zástupci Dopravního podniku města Brna, s Ing. Janem Kopřivou a Ing. Zdeňkem Jarolínem. Lokalizační systém byl také konzultován s Ing. Jaromírem Marušincem, který chystá studii ohledně bateriových tramvají.

Obrázek 5.13: Možná umístění systému v tramvaji Škoda 13T.[14]

[14]Obrázky mi byli poskytnuty v rámci emailové komunikace s panem Ing. Janem Kopřivou.

Pan Ing. Kopřiva navrhl několik možných umístění lokalizačního systému v tramvaji. První navržené místo se nachází v kabině řidiče, pod palubní deskou (Na obrázku 5.13 oba horní snímky). Dalšími místy jsou rozvaděče a skřínky umístěné buď v kabině řidiče, nebo vedle kabiny (Na obrázku 5.13 spodní snímky).

Pro napájení systému by byl potřeba regulátor napětí z 24 V na 7,5 V nebo 12 V. Tramvaj je schopna dodávat dostatečný elektrický proud, pro lokalizační systém. Odběr systému je jeden ampér. Jako jedny z možných míst využití bateriových tramvají se nabízí náměstí Svobody, oblast Hlavního nádraží nebo prodloužení stávajících linek.

Pro nasazení bateriových tramvají v centru, by bylo potřeba změnit objízdné trasy a zajistit funkčnost v případě dopravní zácpy. Pohled Dopravního podniku na satelitní navigaci není příliš pozitivní. Nevyhovuje jim především závislost fungování satelitní navigace na jejím provozovateli. Současné řešení satelitní navigace je sice ve většině případech přesné v řádech metrů, v některých případech, je však odchylka až ve stovkách metrů. Jednou se údajně, podle satelitní navigace, nacházela tramvaj až v Jižní Africe.

Obrázek 5.14: Prezentace systému.

Lokalizační systém byl dne 25.4.2019 prezentován na jednání Komise rady města Brna pro chytré a otevřené město. Fotografie z prezentace je na obrázku 5.14. Prezentace rozpoutala diskuzi o samotném řešení, ale i o záměru vybudovat bateriové tramvaje v Brně.

5.5 Testování

Pro ověření funkčnosti lokalizačního systému v případě reálného nasazení, by bylo potřeba systém testovat za plného provozu. Kritériem funkčnosti systému, u takového testování, je především přesnost, určena počtem zaznamenaných čipů a přesností určení polohy. Ve vzdálenosti do 4 metrů od antény, se očekává zaznamenání všech čipů. Ve vzdálenosti mezi 4 a 5 metry je očekávaná úspěšnost zaznamenání čipu 90%. Ve větších vzdálenostech se neočekává příliš velká přesnost. U přesnosti určení polohy, satelitní navigací, je očekávaná odchylka do 5 metrů. Dalším kritériem je spolehlivost. Tedy počet případů, ve kterých systém správně zaznamená zvolené místo, ať pomocí RFID, nebo satelitní navigace. Sledovaným kritériem je samozřejmě také stabilita systému nebo také odolnost vůči rušení.

Při takovém testování by byl systém umístěn v krabičce na jednom z navržených míst. U tratě by byly umístěny čipy v různých vzdálenostech od antény. Testů je samozřejmě potřeba udělat více než jeden. V případě úspěšného určení všech vybraných míst, ať pomocí čtečky (při umístění čipů do 5 metrů), nebo pomocí satelitní navigace (s tolerancí 5 metrů), by systém byl připraven pro provoz.

Tato podkapitola popisuje testování jednotlivých modulů a celého systému, které bylo provedeno v rámci bakalářské práce. Cílem testování je odhalit případné chyby v implementaci a ověřit funkčnost lokalizačního systému. Nejprve byly otestovány jednotlivé moduly a po úpravách nastavení modulů i celý lokalizační systém. Testování modulů probíhalo během jejich implementace. Systém jako celek byl otestován již s finálním kódem. Kritéria testování, jsou stejná jako u případného testování za plného provozu.

Testování RFID čtečky

U RFID čtečky, byl testován dosah čtení za tří různých podmínek. První test měl za cíl zjistit maximální spolehlivý dosah čtení, za téměř ideálních podmínek. Při druhém testu byla mezi čtečku a čip postavena překážka. Byli použity dva druhy překážek, a to člověk a dřevěná plocha. U třetího testu bylo cílem zjistit dosah čtení v případě deštivého počasí. Déšť byl simulován rozprašovačem. Simulovány byly dvě intenzity deště (menší a vetší intenzita). Pro testování dosahu čtení, byl použit program **Range_Test**, který je součástí knihovny využité k implementaci čtečky [23].

Obrázek 5.15: Testování dosahu čtení na vzdálenosti 6 metrů.

Testované vzdálenosti byli tři, čtyři, pět, šest a sedm metrů. Výsledky testování jsou zobrazeny v tabulce 5.1. Hodnoty zapsané v tabulce reprezentují podíl zaznamenaných čipů. Čip byl během testování umístěn na dřevěném kolíku, aby bylo vyloučeno možné rušení oproti držení čipu v ruce.

Testovaná vzdálenost	**První test**	**Druhý test**	**Třetí test**
		Člověk | Deska	**Menší | Větší**
3 metry	100%	100% | 100%	100% | 100%
4 metry	100%	90% | 100%	100% | 100%
5 metrů	100%	70% | 90%	100% | 90%
6 metrů	90%	0% | 70%	85% | 65%
7 metrů	55 %	0% | 10%	20% | 0%

Tabulka 5.1: Procento úspěšných snímání čipů.

V prvním testu byl první problém zaznamenán až na šestém metru, kde se vyskytlo pár nezaznamenaných čipů. Na sedmém metru už byl čip zaznamenán v polovině případů.

Druhý test byl rozdělen na dvě části podle použitých překážek. V případě, kdy si mezi čip a čtečku stoupl člověk, úspěšnost zaznamenání čipu klesala rychle. Oproti tomu u dřevěné desky byla úspěšnost o něco vyšší.

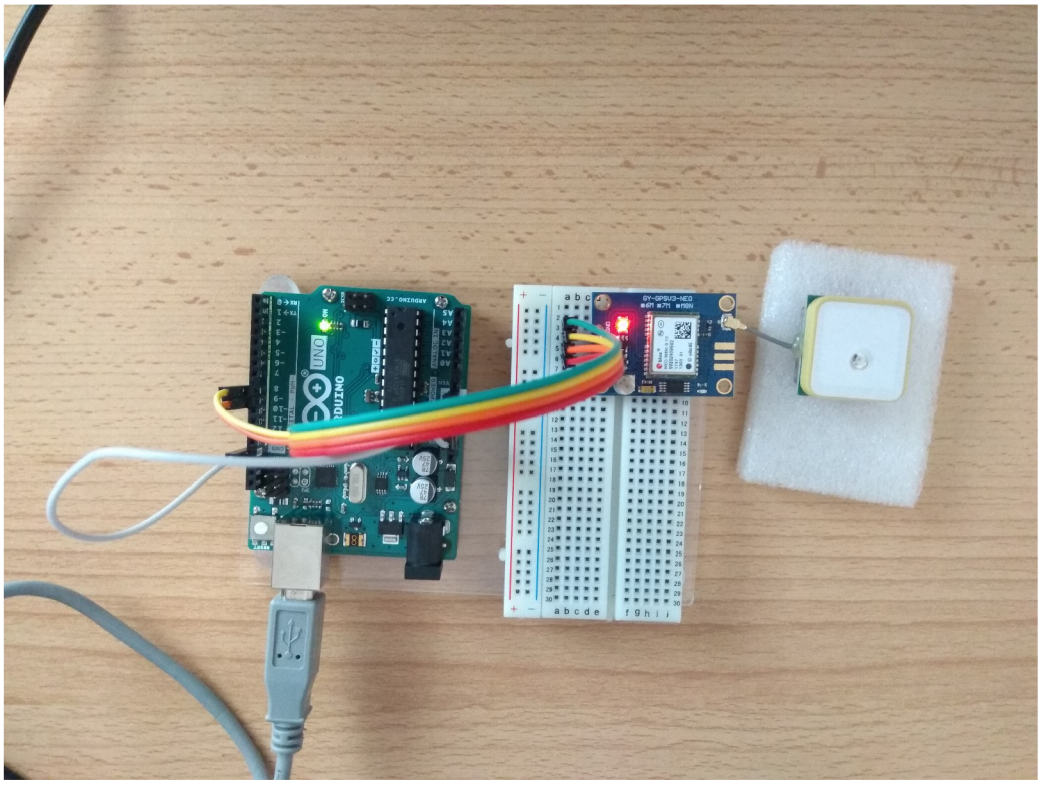
Obrázek 5.16: Testování dosahu čtení.

U třetí testu, který byl stejné jako druhý rozdělen na dvě části, byl vliv menší intenzity simulovaného deště, oproti větší intenzitě malý. Zatím co, u většího deště se problémy s detekcí vyskytli již u vzdálenosti pěti metrů, menšího to bylo až metr dále.

Z těchto výsledků lze vyčíst, že u vzdálenosti pět metrů, pokud si do cesty signálu nestoupne člověk, je RFID čtečka spolehlivá. Ovšem šance, že se mezi čtečkou a čipem bude nacházet člověk, je v případném nasazení velmi malá. U pěti metrů je spolehlivost čtečky, pokud nebude v cestě signálu stát překážka, stejná jako u čtyř metrů. Ve větších vzdálenostech již není čtečka tak spolehlivá.

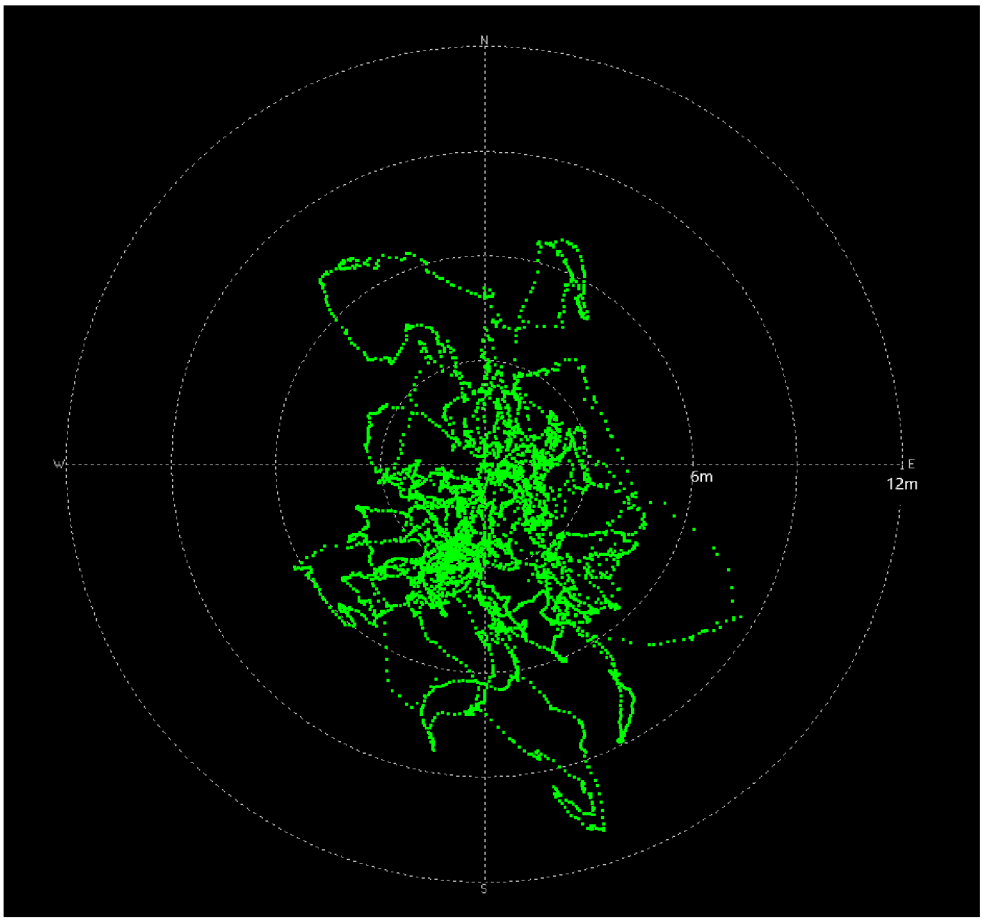
Testování GNSS modulu

Hlavním testovaným parametrem u GNSS modulu byla odchylka od skutečné lokace. Zapojení modulu k Arduinu bylo při testování stejné jako u nahrávání firmwaru. Pro testování byl využit program u–center. Testování probíhalo po dobu 90 minut. Maximálně bylo využito dat z 12 satelitů, průměrně ze 4 satelitů. Použity byli systémy GPS, GLONASS, Galileo a podpůrné systémy SBAS. Data byla získávána každou sekundu. Očekávaná průměrná odchylka během testování je 10 metrů.



Obrázek 5.17: Zapojení GNSS modulu při testování.

Jak je možné vidět na obrázku 5.18 maximální odchylka po dobu měření byla 11 metrů. Přitom průměrná odchylka byla přibližně dva a půl metru. I přesto, že měření probíhalo v budově, je tohle dobrý výsledek. Výsledná přesnost tedy, předčila očekávání o sedm a půl metrů. Obrázek, ale nereflektuje případy, kdy modul hlásil chybu měření. Z důvodu menší antény, modul během měření lokaci několikrát nezaznamenal.



Obrázek 5.18: Vzdálenosti od skutečné lokace po dobu měření.

Proběhlo také testování kódu modulu, které bylo zaměřeno na správnost určení lokace a správné přepínaní lokace. Testování určení lokace probíhalo pomocí programu u-center. Přepínaní lokace bylo testováno, zvolením tří míst vzdálených od sebe 30 metrů a přecházením mezi nimi. Arduino bylo připojeno k powerbance, pro lehkou přenositelnost. Obě tato testování byli úspěšné, s odhalením menší chyby v kódu u přepínaní lokace.

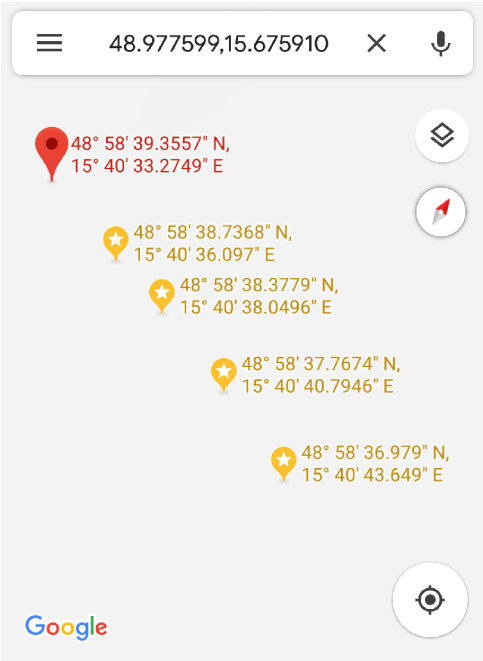
Testování celého systému

Po testování jednotlivých modulů následovalo testování lokalizačního systému jako celku. Celkem probíhali dvě testování systému. První testování bylo testování lokalizace a druhé testovalo zahřívání systému. Test zahřívání systému byl proveden z důvodu varování na RFID čtečce, které varuje před možným větším zahříváním při plném provozu.

Test zahřívání systému probíhal po dobu 8 hodin. Zahřátí systému bylo kontrolováno každou hodinu, kdy byl otestován potencionální vliv na funkčnost systému čtením čipu a kontrolou naměřené lokace. Systém byl po hodině provozu lehce zahřátý, jak se dalo očekávat, ovšem po osmi hodinách se stav zahřátí výrazně nezměnil. Tento test neprokázal vliv takového zahřívání na chod systému.

Druhým testem byl test samotné lokalizace. Testovanými parametry byli počet zaznamenaných čipů z celkového počtu a správná detekce přiblížení vozidla k čipu na zvolenou vzdálenost. Po vybrání vhodného místa bylo nutné rozmístit čipy ve vhodné vzdálenosti

mezi sebou. Celková vzdálenost měřeného úseku byla 220 metrů. Vzdálenost mezi čipy byla 60 metrů, kromě vzdálenosti mezi třetím a čtvrtým čipem ta byla 40 metrů. Rozmístění čipů lze vidět na obrázku 5.19.



Obrázek 5.19: Rozmístění čipů během testování.

Systém byl umístěn v autě, které projíždělo kolem rozmístěných čipů ve vzdálenosti přibližně 3 až 4 metrů od čipu. Průměrná rychlost auta při testování byla 20 km/h. Čipy byli umístěny na dřevěných kolících stejně jako u testování RFID čtečky. Čipy je možné vidět na obrázku 5.20.

Obrázek 5.20: Umístění čipu na dřevěných kolících.

Systém byl nastaven tak, aby upozornil na blížící se čip 25 metrů před čipem. Interval zastavení systému po přečtení čipu byl snížen z 10 sekund na 5 pro účely testování. Při prvním průjezdu kolem čipů, byla odhalena chyba u přepínání lokací pro výpočet vzdálenosti.

Kvůli chybě v kódu byla lokace přepnuta dvakrát. První přepnutí proběhlo při přiblížení se k vybranému místu na méně jak 25 metrů a druhé při zaznamenáni čipu. Testování pokračovalo po opravě chyby. Při druhém pokusu byli čtečkou zaznamenány všechny čipy, ovšem GNSS modul hlásil mezi 3 a 4 čipem chybu získání lokace.

Systém byl při třetím průjezdu umístěn na palubní desku, ve snaze získat lepší signál pro GNSS modul. Předtím byl umístěn v prostoru vedle řadící páky. Zároveň byla zvýšena vzdálenost mezi anténou a čipem na 4 až 5 metrů. Tento test ukázal lepší výsledky GNSS lokalizace, kdy byla vzdálenost (s tolerancí 5 metrů) správně určena. Zvýšení vzdálenosti však způsobilo nezaznamenání čtvrtého čipu.

Obrázek 5.21: Průběh testování.

Čtvrtý průjezd byl opakován se stejnými parametry jako třetí. Tentokrát byli zaznamenány všechny čipy a od nich správně určená vzdálenost s tolerancí 5 metrů. Tento test byl několikrát zopakován pro ověření výsledků. Zaznamenání čipů proběhlo u těchto pokusů úspěšně, avšak GNSS modul několikrát zahlásil chybu získaní lokace. Při posledním průjezdu byla zvýšena vzdálenost antény od čipu na 6 až 7 metrů. U tohohle průjezdu byl zaznamenám pouze druhý čip.

Z výsledků testování lze konstatovat, že spolehlivost systému, při zvolení vzdálenosti antény od čipu 4 až 5 metrů, je téměř 100%. Ovšem při větší vzdálenosti začne klesat. Při stejně zvolené vzdálenosti je přesnost čtení vysoká, ovšem GNSS modul občas vynechává. Systém byl po dobu testování stabilní.

Při testování se ukázalo, že největším nedostatkem systému je malý výkon antény GNSS modulu. Tento problém by se dal vyřešit zakoupením výkonnější antény. Dalším nedostatkem je nutný zásah do kódu v případě změny měřených lokací. Toto by se dalo vyřešit implementací SD karty, na které by tyto lokace byli uloženy. Pro implementaci SD karty je ovšem na zvoleném mikrokontroléru málo paměti.

Kapitola 6

Závěr

Cílem práce bylo prostudovat možnosti lokalizace tramvaje, v případě napájení z baterie, a následně navrhnout a implementovat lokalizační systém. Tento cíl byl splněn.

Nejprve bylo nutné nastudovat lokalizační technologie vhodné pro lokalizaci polohy dopravního prostředku. Po nastudování následovalo vybrání takových technologií, které lze použít pro lokalizaci místa, kde by mělo dojít k stažení nebo vytažení pantografu. Byly zvoleny dva zdroje lokace. Jako hlavní byla zvolena lokalizace pomocí rádiové frekvence a jako záložní satelitní navigace. Jako platforma pro implementaci těchto technologií bylo zvoleno Arduino. Na základě zvolených technologií byl vytvořen návrh systému. Systém byl poté podle návrhu sestaven a byl implementován kód obsluhující tento systém. Po sestavení a implementaci byl systém otestován.

Lokalizační systém tedy využívá k lokalizaci místa pro stáhnutí nebo vytáhnutí pantografu dva zdroje lokace. Těmito zdroji jsou lokalizace pomocí rádiové frekvence a satelitní navigace. Systém obsahuje displej, na kterém jsou zobrazeny informace o vzdálenosti k dalšímu bodu a informace o stavu skenování čipů. Jádrem tohoto systému je mikrokontrolér Arudino UNO. Řidič je upozorněn dvěma způsoby, a to pípnutím a rozsvícení upozornění na displeji. Satelitní navigace je na základě testování schopná lokalizovat vozidlo s přesností na metry a dosah čtení čipů je v ideálním případě až šest metrů.

Během práce jsem si rozšířil znalosti ohledně satelitní navigace a existujících satelitních systémech. Také jsem se dozvěděl nové informace o lokalizaci pomocí rádiových frekvencí. Velice mě zaujala práce s platformou Arduino a její možnosti. Na Arduinu mě především zaujala možnost rozšíření funkcionality pomocí jednotlivých modulů a jednoduchost jejich implementace pomocí velkého množství dostupných knihoven.

V práci by bylo možné pokračovat otestováním systému v reálném provozu. Také implementací funkcionality SD karty, tedy použitím mikrokontroléru s větší operační pamětí. Vhodné by také bylo implementovat výměnu dat se současnými systémy, které jsou použity v tramvajích. Další možností, jak pokračovat v této práci je implementace jiných než použitých technologií, jako jsou například detekce tramvajového vedení kamerou nebo technologie Ultra-wideband.

Literatura

[1] *Arduino Mega 2560 Rev3*. Arduino, [Online; navštíveno 23.03.2019].
URL https://store.arduino.cc/mega-2560-r3

[2] *Arduino WiFi Shield*. Arduino, [Online; navštíveno 23.03.2019].
URL https://store.arduino.cc/arduino-wifi-shield

[3] *What is Arduino?* Arduino, [Online; navštíveno 23.03.2019].
URL https://www.arduino.cc/en/guide/introduction

[4] *What is RFID? | The Beginner's Guide to RFID Systems*. atlasRFIDstore, Birmingham, Únor 2019, [Online; navštíveno 15.04.2019].
URL https://www.atlasrfidstore.com/rfid-beginners-guide/

[5] *RFID Tags*. Bar Code Graphics Inc., Chicago, [Online; navštíveno 16.04.2019].
URL https://www.epc-rfid.info/rfid_tags

[6] *What is RFID?* Bar Code Graphics, Inc., Chicago, [Online; navštíveno 15.04.2019].
URL https://www.epc-rfid.info/rfid

[7] *System-Overview*. BeiDou Navigation Satellite System, [Online; navštíveno 02.04.2019].
URL http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/

[8] BERGMANN: *Jak funguje GPS? Svět Hardware*, Červen 2006, oXy Online, ISSN 1213-0818, [Online; navštíveno 02.04.2019].
URL https://www.svethardware.cz/jak-funguje-gps/21826-5

[9] DEPRIEST, D.: *NMEA data*. [Online; navštíveno 08.05.2019].
URL https://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm

[10] *What is SBAS?* European Global Navigation Satellite Systems Agency, Praha, Červen 2016, [Online; navštíveno 28.03.2019].
URL https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss/what-sbas

[11] *What is Galileo?* European Global Navigation Satellite Systems Agency, Praha, Listopad 2018, [Online; navštíveno 02.04.2019].
URL https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system

[12] GMV: *Galileo General Introduction*. European Space Agency, Březen 2011, [Online; navštíveno 02.04.2019].
URL
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction

[13] HONDIUS, H.: *Catenary-free Avenio on test. Railway Gazette International*, Červen 2015, DVV Media Group, Londýn, Spojené království: str. 58, ISSN 0373-5346.

[14] LUBOŠ M.: *Arduino displej 1.77"TFT LCD 160x128*. Červenec 2017, [Online; navštíveno 05.03.2019].
URL https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/arduino-displej-1.77-tft-lcd-160x128.html

[15] MILLIKIN, M.: *Bombardier battery-electric powered tram sets range record: 25.9 miles of catenary-free operation. Green Car Congress*, Listopad 2015, [Online; navštíveno 27.04.2019].
URL https://www.greencarcongress.com/2015/11/bombardier-battery-electric-powered-tram-sets-range-record-259-miles-of-catenary-free-operation.html

[16] *GPS Accuracy*. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, [Online; navštíveno 02.04.2019].
URL https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/

[17] *GPS: Space Segment*. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, [Online; navštíveno 02.04.2019].
URL https://www.gps.gov/systems/gps/space/

[18] *Step 4 - Computation*. NovAtel Inc., [Online; navštíveno 01.04.2019].
URL https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-2-basic-gnss-concepts/step-4-computation/

[19] *Current and Planned Global and Regional Navigation Satellite Systems and Satellite-based Augmentations Systems*. Office for Outer Space Affairs of the United Nations, New York, 2010, [Online; navštíveno 02.04.2019].
URL http://www.unoosa.org/pdf/publications/icg_ebook.pdf

[20] SEIDLE, N.: *Simultaneous RFID Tag Reader Hookup Guide*. [Online; navštíveno 04.03.2019].
URL https://learn.sparkfun.com/tutorials/simultaneous-rfid-tag-reader-hookup-guide/all

[21] SEIDLE, N.; CORINEE, T.: *RFID Basics*. Sparkfun, Únor 2017, [Online; navštíveno 10.03.2019].
URL https://learn.sparkfun.com/tutorials/rfid-basics

[22] SLASHDEVIN: *NeoGPS*. GitHub repository, 2018, [Online; navštíveno 23.03.2019].
URL https://github.com/SlashDevin/NeoGPS

[23] SPARKFUN: *SparkFun Simultaneous RFID Tag Reader Library*. GitHub repository, 2019, [Online; navštíveno 23.03.2019].
URL https://github.com/sparkfun/SparkFun_Simultaneous_RFID_Tag_Reader_Library

[24] *NEO-M8 series*. u-blox, [Online; navštíveno 02.03.2019].
URL https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series

[25] UNDRE, V. S.: *Catenary Free Tramway Systems.* Technická zpráva, Politecnico Di Milano, Italy, 2017, [Online; navštíveno 27.04.2019].
URL https://www.researchgate.net/project/Catenary-Free-Tramway-Syatems

[26] VITALI, R.: *TramWave Catenaryless power supply system.* [Online; navštíveno 27.04.2019].
URL http://www.chinatramway.com/wp-content/uploads/2015/03/TramWave-Catenaryless-power-supply-system2.pdf

[27] VODA, Z.: *Průvodce světem Arduina.* Martin Stříž, druhé vydání, 2017, ISBN 978-80-87106-93-8.

[28] VOJTEK, D.: *Formáty a komunikační protokoly.* Technická zpráva, Vysoká škola báňská –Technická univerzita Ostrava: Institut geoinformatiky, Duben 2017, [Online; navštíveno 08.05.2019].
URL https://geoinformatika-1.vsb.cz/vojtek/content/gnps/files/_prez/09/09_prezentace.pdf

[29] WEIS, S. A.: *RFID (Radio-Frequency Identification)*, kapitola 3. John Wiley and Sons Ltd., Hoboken, N.J., 2008, ISBN 9781118256107, s. 974–984.

Přílohy

Seznam příloh

A Návod k zapojení a použití lokalizačního systému **46**
A.1 Zapojení 46
A.2 Používaní systému 48

B Obsah DVD **49**

Příloha A

Návod k zapojení a použití lokalizačního systému

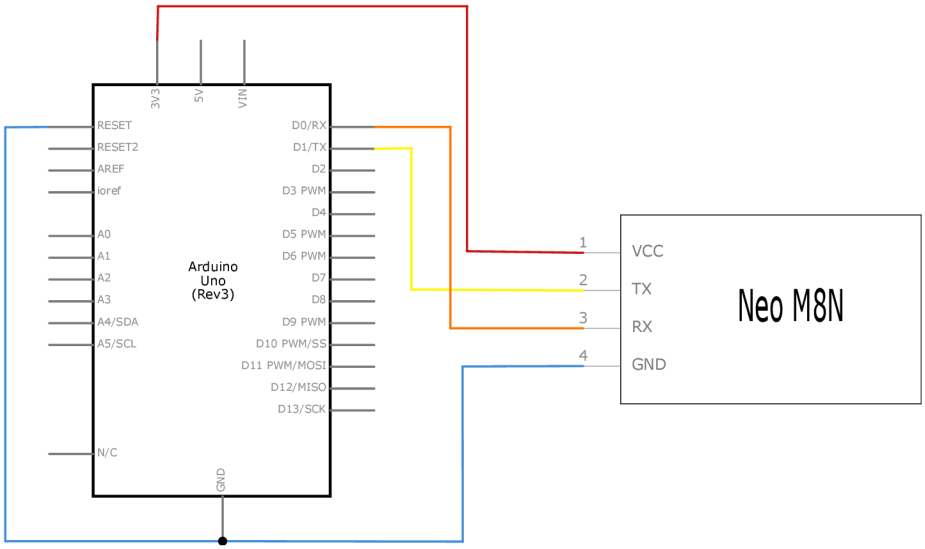
A.1 Zapojení

K zapojení lokalizačního systému jsou potřeba tyto komponenty:

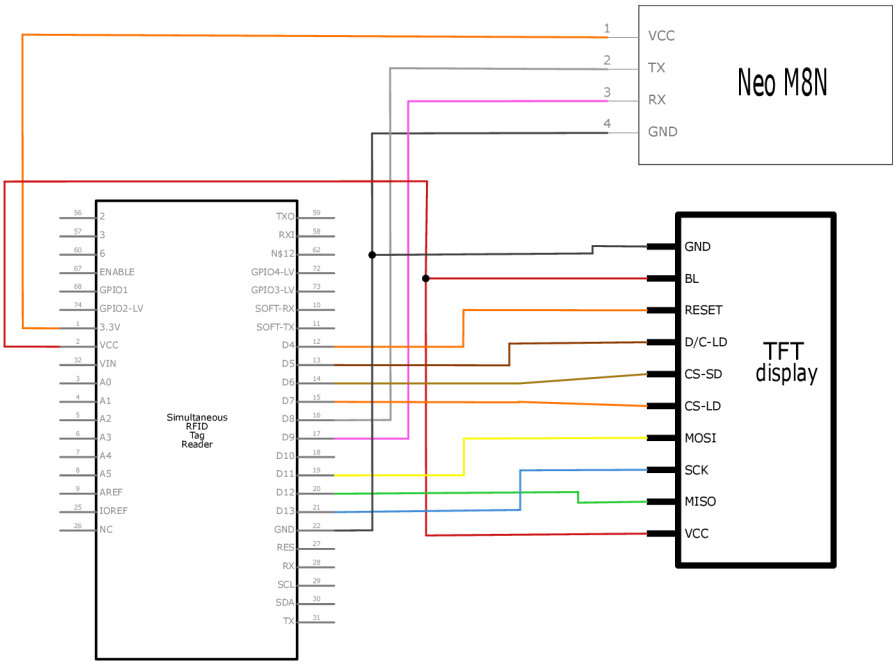
- Arduino UNO
- SparkFun Simultaneous RFID Reader - M6E Nano
- UHF RFID Antenna
- Deska s GNSS modulem NEO-M8N a anténou
- Nepájivé pole
- Napájecí zdroj s konektorem 5,5 mm, napětím 7,5 V a vstupem 1,5 A
- Propojovací kabely k Arduinu
- USB kabel s konektorem typu B
- Redukční kabel z TNC na RP-SMA
- Redukční kabel z RP-SMA na U.FL

Před připojením RFID čtečky k Arduinu nutné přepájet pájecí můstek, pro použití externí antény[1]. Dále je potřeba nahrát nejnovější firmware[2](v době psaní je to verze 3.01) na GNSS modul, pokud tam již není. Firmware je možné nahrát pomocí programu u-center[3] s využitím Arduina. Zapojení pro nahráti firmwaru je na obrázku A.1. Je možné taky nahrát konfigurační soubor, který se nachází na přiloženém DVD. Poté je možné zapojit, jak GNSS modul, tak displej. Při zapojování postupujte podle schématu na obrázku A.2.

[1]Podrobný popis zde https://bit.ly/2YpD2Vy
[2]Dostupný zde https://bit.ly/30islG4
[3]Dostupný zde https://www.u-blox.com/en/product/u-center



Obrázek A.1: Zapojení GNSS modulu pro nahráti firmwaru.



Obrázek A.2: Zapojení systému.

A.2 Používaní systému

Pro přeložení kódu je potřeba nainstalovat tyto knihovny:

- *Ucglib*[4]
- *SPI*[5]
- *NeoGPS*[6]
- *SparkFun_UHF_RFID_Reader*[7]
- *SoftwareSerial*[8]
- *AltSoftSerial*[9]

Knihovny Ucglib, NeoGPS, SparkFun_UHF_RFID_Reader a AltSoftSerial jsou v přiloženém DVD. Ostatní patří mezi standardní Arduino knihovny a není je nutné, při použití Arduino IDE, doinstalovávat. Pro překlad a nahrání kódu byl použit program Arduino IDE.

Lokalizační systém, je možné několika způsoby nastavit. Je možné změnit dobu pozastavení systému, při zaznamenání čipu v makru **INTERVAL**, původní hodnota je 10000 ms. Dále je možné změnit v jaké vzdálenosti od konce vedení bude systém upozorňovat v makru **DIST**, původní hodnota je 25 metrů. Pokud je zvoleno jiné označení čipů je nutné ve funkci RFIDread změnit proměnou CorrectEPC na nové označení.

Také je možné změnit měřené lokace, přidáním nebo odebráním proměnných typu NeoGPS::Location_t. V závorkách je uvedena zeměpisná šířka a délka vynásobená 10^7. Makro **LOCNUM** udává počet měřených lokací. Ve funkci GPSprint je nutné do podmínky switch doplnit přidané nebo odebrané lokace.

[4]Knihovna je dostupná zde https://github.com/olikraus/ucglib
[5]Knihovna patří mezi standardní Arduino knihovny
[6]Knihovna je dostupná zde https://github.com/SlashDevin/NeoGPS
[7]Knihovna je dostupná zde https://bit.ly/2h5mAKr
[8]viz. poznámka pod čarou 5
[9]Knihovna je dostupná zde https://github.com/PaulStoffregen/AltSoftSerial

Příloha B

Obsah DVD

Na přiloženém DVD se nachází tyto složky a soubory.

- Návod k zapojení a použití systému
- Práce ve formátu PDF
- Dokumentace kódu vygenerovaná nástrojem Doxygen
- Ve složce Binary je přeložený program.
- Ve složce BPsrc jsou latexové soubory použité pro vytvoření práce.
- Ve složce Krabicka jsou soubory pro tisk krabičky a víka.
- Ve složce Src je zdrojový kód, knihovny potřebné pro jeho přeložení a konfigurační soubor pro GNSS modul.
- Ve složce Zdroje jsou prezentace poskytnuté v rámci emailových komunikací:
  - Prezentace systému VETRA.
  - Prezentace systému APS.
  - Prezentace systému SRS.
  - Prezentace systému Greentech.
  - Článek z časopisu Railway Gazzete.