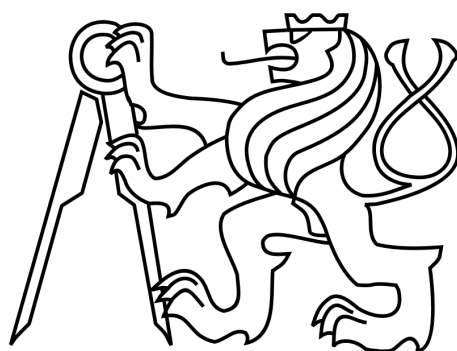


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření



Bakalářská práce

Bezdrátový přenos kritických dat ze závodního vozu

Pavel Marek

Vedoucí práce: Ing. Jan Sobotka

Praha, 2014



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Pavel Marek**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **Bezdrátový přenos kritických dat ze závodního vozu**

Název tématu anglicky: **Wireless Critical Data Transfer from the Race Car**

Pokyny pro vypracování:

1. Vyberte vhodnou bezdrátovou technologii pro online sledování dat z vozu kategorie Formula Student.
2. Navrhněte a realizujte nezbytný hardware pro vozidlovou i PC část zařízení.
3. Implementujte firmware pro mikropočítač/e (získání dat, jejich odesílání a příjem).
4. Navrhněte a implementujte software umožňující online sledování dat z vozu pro PC nebo jiné mobilní zařízení.
5. Ověřte funkčnost navrženého zařízení.

Seznam odborné literatury:

- [1] Nicolas Navet, F. and Simonot-Lion, F.: Automotive Embedded Systems Handbook, CRC Press/INC, 2009.
- [2] 2014 FormulaSAE Rules, version 08-19-2013;
<http://www.fsaeonline.com/content/2014%20FSAE%20Rules%20Final%208192013.pdf>
- [3] Herout, P.: Učebnice jazyka C 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004, 271, viii s. ISBN 80-723-2220-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Sobotka

Datum zadání bakalářské práce: 26. listopadu 2013

Platnost zadání do¹: 30. ledna 2015

Prof. Ing. Vladimír Haasz, CSc.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 26. 11. 2013

¹ Platnost zadání je omezena na dobu dvou následujících semestrů.

Čestné prohlášení autora práce

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.

V Praze dne

.....
Podpis autora práce

Abstrakt / Abstract

Tato bakalářská práce se zabývá bezdrátovým přenosem kritických dat ze závodního vozu určeného pro soutěže Formula Student/SAE. Nejprve byla provedena analýza objemu přenášených dat, na základě které byly vybrány moduly pro bezdrátový přenos NRF24L01 + PA + LNA. Vlastní návrh elektroniky pro vysílací zařízení obsahuje řídicí mikropočítač STM32F407. Data z vozu jsou sbírána pomocí sběrnice CAN a analogových vstupů obsažených v návrhu zařízení. Příjímací zařízení je připojeno k počítači USB sběrnici a je založeno na mikropočítači STM32F100. Počítačová aplikace je napsána v Javě a umožňuje zobrazení přenášených hodnot v uživatelsky modifikovatelných panelech. Reálný dosah komunikace byl ověřen na testovací trati na ploše 180 x 30 m.

This bachelor thesis deals with the wireless critical data transferring from the Formula Student/SAE racing car. First of all an analysis of the amount of transferred data has been conducted. Based on the analysis, wireless communication moduls NRF24L01 + PA + LNA were chosen. The design of car transmitter is based on the microcontroller STM32F407. Data are obtained by CAN bus and integrated analog inputs. The receiver is connected to PC by USB bus and based on the microcontroller STM32F100. Java PC application displays the transferred data in the user modifying boxes. The real wireless range of devices was demonstrated on a test track (180 x 30).

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Sobotkovi za odborné vedení, cenné rady a trpělivost. Zároveň děkuji své rodině a přátelům za jejich plnou podporu při studiu.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Obsah | xi |
| 1 Úvod | 1 |
| 1.1 CTU CarTech | 1 |
| 1.2 Existující telemetrické systémy v závodních vozech | 2 |
| 1.2.1 McLaren Applied Technologies | 2 |
| 1.2.2 Race Capture /PRO Real-Time telemetry | 2 |
| 1.3 Úvodní analýza | 3 |
| 2 Moduly pro bezdrátovou komunikaci | 5 |
| 2.1 Analýza objemu přenášených dat | 5 |
| 2.1.1 Přenášená data | 5 |
| 2.1.2 Požadavek na přenosovou rychlost komunikačních modulů | 7 |
| 2.2 Výběr modulů pro bezdrátový přenos | 8 |
| 2.2.1 XBee-PRO 868 | 8 |
| 2.2.2 NRF905 | 9 |
| 2.2.3 NRF24L01+PA+LNA | 10 |
| 2.2.4 Shrnutí výběru bezdrátových modulů | 10 |
| 2.3 Komunikace s NRF24L01 + PA + LNA | 10 |
| 2.3.1 SPI komunikace | 11 |
| 2.3.2 Knihovna pro komunikaci s NRF24L01+PA+LNA | 11 |
| 2.4 ShockBurst TM komunikační protokol | 12 |
| 2.4.1 Formát paketu | 13 |
| 2.4.2 Přenos paketů | 14 |
| 2.4.3 Absence CSMA u protokolu ShockBurst TM | 14 |
| 2.5 Vlastní aplikační vrstva | 15 |
| 2.5.1 Identifikátory v aplikační vrstvě | 15 |
| 2.6 Testování dosahu NRF24L01+PA+LNA | 16 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.6.1 | Test dosahu ve vnitřním prostředí | 16 |
| 2.6.2 | Test dosahu ve venkovním prostředí | 17 |
| 3 | Modul v monopostu | 19 |
| 3.1 | Hardware | 20 |
| 3.1.1 | Mikropočítač STM32F4 | 20 |
| 3.1.2 | CAN sběrnice a analogové vstupy | 21 |
| 3.1.3 | Napájení | 22 |
| 3.1.4 | Periferie | 22 |
| 3.2 | Software | 23 |
| 3.2.1 | Stavový automat | 23 |
| 3.2.2 | Čtení dat z CAN sběrnice a analogových vstupů | 24 |
| 3.2.3 | Proces odeslání dat | 26 |
| 3.2.4 | Proces příjmu a zpracování dat | 27 |
| 4 | PC modul a aplikace | 29 |
| 4.1 | PC modul | 29 |
| 4.1.1 | Hardware PC modulu | 30 |
| 4.1.2 | Software PC modulu | 31 |
| 4.2 | PC aplikace | 36 |
| 4.2.1 | Obsluha COM portu | 36 |
| 4.2.2 | Grafické uživatelské rozhraní | 36 |
| 4.2.3 | Distribučování aplikace | 41 |
| 5 | Reálné testování v monopostu | 43 |
| 6 | Závěr | 45 |
| | Literatura | 47 |
| A | Rozmístění součástek a schéma modulu v monopostu | 49 |
| B | Rozmístění součástek a schéma PC modulu | 53 |
| C | Obsah příloženého CD | 55 |

Kapitola 1

Úvod

Bakalářská práce se zabývá sběrem dat z formule, jejich zpracováním a následném odeslání bezdrátovým přenosem do modulu připojeného k počítači se zobrazením v desktopové aplikaci. Výsledné zařízení je umístěno na závodní formuli týmu CTU CarTech Combustion působícím na Českém vysokém učení technickém v Praze.

1.1 CTU CarTech

CTU CarTech je studentský tým, který je složen ze studentů fakulty strojní a fakulty elektrotechnické, působící na Českém vysokém učení technickém v Praze. Tým je rozdělen do dvou divizí. V sekci Combustion je vyvíjen závodní vůz se spalovacím motorem a vůz s elektromotorem je vyvíjen v divizi Electric. Cílem projektu je navrhnout a následně vyrobit závodní vůz formulového typu tak, aby obstál v tvrdé konkurenci soutěže Formula Student/SAE. Závodní prototyp FS.06 je na obrázku 1.1.

Soutěž Formula SAE vznikla v USA v roce 1981, od roku 1998 existuje evropská verze Formula Student [1]. Obě soutěže spojuje stejný cíl a prakticky stejná pravidla. Soutěž obsahuje dvě hlavní části, kterými jsou statické a dynamické disciplíny. Ve statické části se hodnotí návrh, konstrukce, kvalita realizace monopostu a výrobní náklady. V rámci dynamických disciplín je připraveno několik tratí zaměřených na prověření akcelerace a ovladatelnosti vozu. Z každé disciplíny získává tým body a vítězem se stává tým s nejvyšším součtem získaných bodů. V současné době je do seriálu soutěží Formula Student/SAE zapojeno více než 470 univerzitních týmů z celého světa.



Obrázek 1.1: FS.06 monopost sezóny 2014 [2]

1.2 Existující telemetrické systémy v závodních vozech

V současné době existuje mnoho různých automobilových soutěží a seriálů, ve kterých je telemetrický systém užitečný pro sledování aktuálního stavu vozu na trati.

1.2.1 McLaren Applied Technologies

McLaren Applied Technologies [3] je dodavatel řídicích jednotek motorů a telemetrických systémů do seriálu závodů F1, NASCAR a IZOD IndyCar. Nabízí kompletní řešení od řídicí jednotky motoru po záznamové zařízení s volitelným typem bezdrátového přenosu. Bezdrátový přenos je možné realizovat pomocí technologií Wifi, WiMax, 3G, LTE nebo UHF radio moduly.

CBT-610

CBT-610 je zařízení pro bezdrátovou komunikaci pracující ve frekvenčním pásmu 1450-1650 MHz. Výstupní výkon je nastavitelný v rozsahu 50 mW až 1 W. Integruje HDCL a RS232 rozhraní a CAN sběrnici pro připojení k jednotce pro ukládání dat. Zařízení je určené pro instalaci do závodního vozu a je na obrázku číslo 1.2.

1.2.2 Race Capture /PRO Real-Time telemetry

Jednotka Race Capture /PRO Real-Time telemetry [4] umožňuje zasílat okamžité informace o poloze vozu, rychlosti, otáčkách motoru a dalších veličinách. Přenos dat



Obrázek 1.2: Zařízení CBT-610 [3].

je realizován pomocí GSM sítě, proto musí být do zařízení vložena SIM karta. Data se automaticky zaznamenávají na cloud race-capture.com, proto je možné je sledovat prakticky odkudkoliv. Jednotka je zobrazena na obrázku 1.3.

Výhoda tohoto zařízení je téměř libovolný dosah, limitovaný pokrytím signálu GSM sítě. To s sebou nese zároveň i nevýhody v podobě nutnosti placení datových tarifů na SIM kartě, zároveň případnou výměnu SIM karty při závodech v jiných zemích. Použití této jednotky s libovolným systémem pro sběr dat není možné, je speciálně připravená pro zařízení Race Capture, což značně omezuje možné využití. Cena zařízení je příznivá \$130, bohužel může pracovat pouze společně se zařízením pro ukládání dat, které se prodává za \$400.

1.3 Úvodní analýza

Zařízení pro bezdrátový přenos dat ze závodních vozů již existují a hojně se využívají. Ve většině případů se jedná o zařízení, která jsou navržena pro použití jen s určitými typy záznamových zařízení, nebo nejsou dostupná běžnému uživateli. Příkladem může být bezdrátová komunikace využívaná v F1. V týmu CTU CarTech byl také vznesen požadavek na sledování dat z vozu během jeho jízdy. Motivací vzniku této bakalářské práce je nekompatibilita bezdrátových modulů se stávající řídicí jednotkou a zároveň vysoká cena podobných zařízení.

Dle zadání je přenos dat zaměřen na kritické veličiny, které úzce souvisí s provozuschopností monopostu. Tato koncepce neklade vysoké nároky na přenosovou rychlost zařízení, neboť zde není nutné odesílat kompletní výčet všech naměřených veličin ve voze. Aktualizace hodnot s frekvencí jeden Hertz je dostatečná pro sledování kritických hodnot. Tato fakta rozšiřují pole výběru bezdrátových technologií pro tuto práci.

Závody Formula Student/SAE jsou ve většině případů pořádány na volném pro-



Obrázek 1.3: Zařízení Race Capture /PRO Real-Time telemetry [4].

stranství, na kterém jsou vytvořeny závodní tratě. Z pohledu zařízení pro bezdrátový přenos jsou tyto podmínky výhodné, neboť na volném prostranství nejsou překážky, které by snižovaly dosah přenosu. Proto je možné výběr bezdrátových technologií rozšířit i o zařízení s dosahem stovek metrů.

Běžně dostupné moduly pro bezdrátový přenos je nutné provozovat připojené k mikropočítači, který zajišťuje zpracování dat určených pro přenos. Většina z nich využívá sběrnici SPI nebo rozhraní UART pro komunikaci s mikropočítačem. Dle zadání bakalářské práce je potřeba navrhnout a realizovat zařízení umístěné v monopostu pro vyčtení dat z vozu a jejich odeslání pomocí modulu pro bezdrátový přenos a přijímací zařízení, které je schopné data odeslat pomocí USB sběrnice do počítače.

Zařízení ve voze musí být schopné pracovat s palubním napětím 12 V. Číst data z doplňkových analogových vstupů a především z řídicí jednotky po sběrnici CAN. Zároveň komunikovat s bezdrátovým modulem a zajistit jeho napájení. Modul musí být navržen s ohledem na volná místa v konstrukci monopostu, aby ho bylo možné trvale umístit do vozu.

Úkol přijímacího zařízení je zajistit převod signálu mezi bezdrátovým modulem a počítačem. Zařízení bude s počítačem komunikovat po USB sběrnici, ze které bude zároveň napájeno.

Kapitola 2

Moduly pro bezdrátovou komunikaci

Hlavním bodem zadání této bakalářské práce je výběr vhodných modulů pro bezdrátovou komunikaci. Hardware vozidlové a PC části jsou následně navrženy v závislosti na vybraných bezdrátových modulech.

2.1 Analýza objemu přenášených dat

Většinu dat ze závodního monopostu je možné získat po sběrnici CAN z řídicí jednotky motoru. Ve voze jsou přítomny i senzory s analogovým výstupem nepřipojené k řídicí jednotce motoru. Data lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- Kritická - (například: teplota chladící kapaliny)
- Informativní - (například: úhel natočení volantu)

Přenos kritických dat pomáhá předcházet závažným problémům s monopostem. Informativní data jsou určena především pro posílení prezentace celého projektu a případná další sledování a analýzy.

2.1.1 Přenášená data

CAN sběrnice

Data z řídicí jednotky **Efi Euro 4** jsou odesílána do komerčního záznamového zařízení **AiM MXL Pista** po sběrnici CAN. Aby bylo možné s daty pracovat, byla provedena analýza komunikace na sběrnici pomocí USB2CAN převodníku od společnosti CAN-LAB s.r.o.

Existuje 16 různých identifikátorů CAN zpráv (ID 768-783). Každá zpráva má délku 8 datových bajtů. Každá veličina má vyhrazen prostor 2 bajtů, v každé zprávě tedy mohou být 4 veličiny. Maximálně je možné přenášet 64 veličin. Dle záznamu jsou jednotlivé identifikátory postupně odesílány v cyklu. Příklad zaznamenaných dat je uveden v tabulce 2.1.

| Typ | ID | Bajty | B0 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 |
|-----|-----|-------|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| St | 768 | 8 | 0 | 0 | 43 | 100 | 4 | 77 | 3 | 255 |
| St | 769 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 255 |
| St | 770 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| St | 771 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 38 | 24 | 38 |
| St | 772 | 8 | 8 | 254 | 18 | 160 | 0 | 180 | 0 | 180 |
| St | 773 | 8 | 89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| St | 774 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 43 | 242 | 0 | 0 |
| St | 775 | 8 | 3 | 228 | 3 | 255 | 3 | 255 | 0 | 0 |
| St | 776 | 8 | 2 | 47 | 2 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| St | 777 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 255 | 3 | 255 |
| St | 778 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| St | 779 | 8 | 50 | 255 | 0 | 51 | 0 | 128 | 0 | 0 |
| St | 780 | 8 | 207 | 226 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| St | 781 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 2.1: Data zaznamenaná na sběrnici CAN, měřeno při vypnutém motoru

Každá veličina odesílaná z řídicí jednotky motoru může být přenášena ve zprávě s libovolným ID i na libovolné ze čtyř pozic v osmibajtové zprávě (B0-B1, B2-B3, B4-B5, B6-B7). Omezením je ovšem používaný datový záznamník, který neumožňuje umístění veličin na libovolné hodnoty. Rozložení veličin v jednotlivých zprávách se musí řídit nastavením datového záznamníku. Nastavení pozic lze provést pomocí počítače v obslužném softwaru řídicí jednotky. Veličiny ze sběrnice CAN, které mají být přenášeny:

- RPM - Otáčky motoru
- VHLSPD - Rychlost vozu
- DRAX - Rychlost hnané nápravy
- TPS - Poloha škrtící klapky
- POIL - Tlak motorového oleje za olejovou pumpou motoru
- PFUEL - Tlak paliva před regulátorem tlaku paliva
- MAP - Tlak v sacím potrubí

- VBATT - Palubní napětí
- TOIL - Teplota motorového oleje
- TAIR - Teplota nasávaného vzduchu
- TH20 - Teplota chladicí kapaliny

Senzory nepřípojené na sběrnici CAN

Analogové výstupy senzorů dostupné v monopostu je potřeba digitalizovat, neboť tyto veličiny nejsou dostupné na sběrnici CAN. Bez ohledu na konkrétní použití hardwaru lze považovat velikost 2 bajty za dostatečnou pro přenos hodnoty jedné veličiny. Analogové veličiny, které mají být přenášeny:

- Palubní napětí - vlastní měření
- Úhel natočení volantu
- Tlak CO_2 řadícího systému
- Tlak v předním brzdovém okruhu
- Tlak v zadním brzdovém okruhu

2.1.2 Požadavek na přenosovou rychlost komunikačních modulů

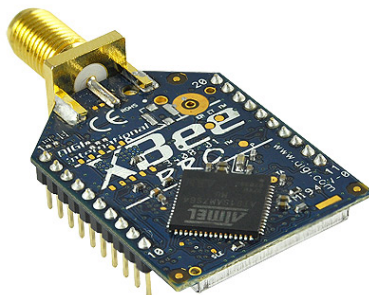
Jeden cyklus vzorkování všech hodnot obsahuje přečtení všech šestnácti osmi-bajtových CAN zpráv a přečtení všech analogových zpráv. Pro přenos jednoho cyklu je potřeba 138 B (1104 b). Pro zajištění plynulé změny hodnot při sledování v reálném čase, byl stanoven požadavek na vzorkování s frekvencí 10 Hz. Řídící jednotka motoru je schopna vysílat zprávy s periodou až 200 Hz. Pro přenos je potřeba desetinásobný datový prostor 1380 B/s (11040 b/s). Tento výpočet je platný v případě shodné frekvence vzorkování pro všechna data. U některých dat je dostatečná obnova jednou za vteřinu, výsledný objem přenášovaných dat může být menší. V reálné aplikaci není možné přenášet pouze data, je potřeba počítat s režii přenosu, kterou tvoří identifikace dat, počet přenášovaných bajtů, řídicí bajty, adresa, synchronizační bajty a kontrolní součet CRC. Proto je nutné počítat s navýšením minimálně 50% přenášovaných dat pro potřeby režie přenosu. Výsledný odhad požadavku na přenosovou rychlost modulů pro bezdrátový přenos je minimálně 2070 B/s (16560 b/s).

2.2 Výběr modulů pro bezdrátový přenos

Bezdrátový přenos je oblast silně zatížená regulacemi. Prvotní kritérium bylo vybírat moduly, pro jejichž provoz není potřeba speciální povolení Českého telekomunikačního úřadu. Pásmo pro volný provoz radio zařízení bez licenčních poplatků se nazývají **ISM pásma** (industrial, scientific, medical). Kritéria při výběru bezdrátových modulů:

- Dosah modulu
- Přenosová rychlost
- Cena modulu
- Rozhraní pro připojení k mikrokontroléru

Zařízení, které by mělo sloužit především pro přenos kritických veličin vozu, neklade vysoké nároky na přenosovou rychlost modulů. Rozhraní pro připojení modulů jsou většinou standardizovaná a mikrokontroléry je podporují. Nejdůležitější kritéria pro výběr jsou dosah a cena modulů. Závodní tratě v soutěži Formula Student/SAE nebývají rozlehlé, dosah zařízení by měl být alespoň stovky metrů.



Obrázek 2.1: XBee-PRO 868 s RPSMA konektorem [5].

2.2.1 XBee-PRO 868

XBee-PRO 868, na obrázku 2.1, je modul pro bezdrátovou komunikaci od amerického výrobce DIGI. Samotný přenos dat je realizován na frekvenci 868 MHz s vlastním protokolem umožňujícím multipoint topologii. Výhodou je shodné rozmístění vývodu u všech XBee modulů, proto je možné je v aplikaci zaměnit bez ztráty funkčnosti. Nevýhoda XBee-PRO 868 modulu je regulace provozu ze strany Českého telekomunikačního úřadu. Zařízení provozovaná na frekvenci 868 MHz mohou vysílat maximálně

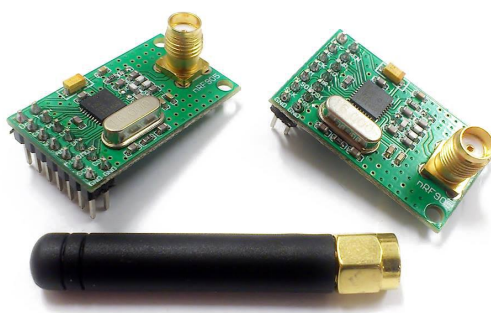
10% času z hodiny. Modul má vestavěnou kontrolu času vysílání a v případě překročení normy vysílání zablokuje.

- Dosah modulu: až 40 km
- Přenosová rychlost: 24 kbps
- Cena modulu: cca 5000 Kč (cena za 2 kusy)
- Rozhraní pro připojení k mikrokontroléru: UART

2.2.2 NRF905

NRF905, na obrázku 2.2, je modul pro bezdrátovou komunikaci na 433/868/915 MHz s SMA konektorem pro připojení externí antény. Připojení k mikrokontroléru je realizováno pomocí SPI rozhraní. Komunikační protokol je ShockBurstTM. Hlavní výhodou modulu je cena. Vzhledem k vlnové délce by měl modul mít lepší dosah v případně nepřímé viditelnosti zařízení oproti 2,4 GHz modulům.

- Dosah modulu: až 1000 m
- Přenosová rychlost: 76,8 kbps
- Cena modulu: cca 300 Kč (cena za 2 kusy)
- Rozhraní pro připojení k mikrokontroléru: SPI

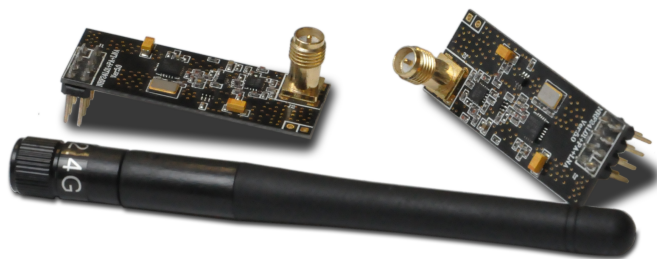


Obrázek 2.2: NRF905 s anténou

2.2.3 NRF24L01+PA+LNA

NRF24L01+PA+LNA, na obrázku 2.3, je modul pro bezdrátovou komunikaci na 2,4 GHz obsahující zesilovač (PA) a zesilovač slabých signálů (LNA) pro získání většího dosahu. Anténa se k modulu připojí standardním SMA konektorem. Modul pro komunikaci využívá Enhanced ShockBurstTM protokol. K mikrokontroléru je připojitelný pomocí SPI rozhraní. Výhodou modulu je cena a zároveň vysoká přenosová rychlost.

- Dosah modulu: až 1000 m
- Přenosová rychlost: 250 kbps
- Cena modulu: cca 300 Kč (cena za 2 kusy)
- Rozhraní pro připojení k mikrokontroléru: SPI



Obrázek 2.3: NRF24L01+PA+LNA s anténou

2.2.4 Shrnutí výběru bezdrátových modulů

S přihlédnutím na regulacemi zatížené pásmo 868MHz a cenu modulu byl vyřazen XBee-PRO 868 z užšího výběru. Závody Formula Student/SAE probíhají většinou na otevřeném prostranství, proto byl vybrán bezdrátový modul **NRF24L01 + PA + LNA**, který má oproti bezdrátovému modulu NRF905 vyšší přenosovou rychlost, a tak je možné přenášet větší objem dat, případně zvýšit frekvenci vzorkování. Modul komunikuje s mikropočítačem po sběrnici SPI.

2.3 Komunikace s NRF24L01 + PA + LNA

Bezdrátový modul NRF24L01+PA+LNA komunikuje s mikrokontrolérem pomocí SPI sběrnice. Tuto sběrnici podporuje celá řada mikrokontrolérů. V týmu CTU CarTech se v současné době používají mikrokontroléry od ST Microelectronics, konkrétně řady

STM32F1xx a STM32F4xx. Rozhodl jsem se využít **ST32VL Discovery kit** pro vývoj a ladění komunikace mezi moduly.

2.3.1 SPI komunikace

Modul má 8-pinový standardní konektor s 2,54 mm roztečí pinů s 5V tolerantními vstupy pro komunikaci s mikrokontrolérem. Jednotlivé piny konektoru jsou následující:

- VCC - Napájení maximálně 3,6V
- GND - Zem
- IRQ - Přerušování
- CE - Rozlišení programovacího a RX nebo TX módu
- CSN - SPI signál
- SCK - SPI signál
- MOSI - SPI signál
- MISO - SPI signál

Diagram SPI komunikace

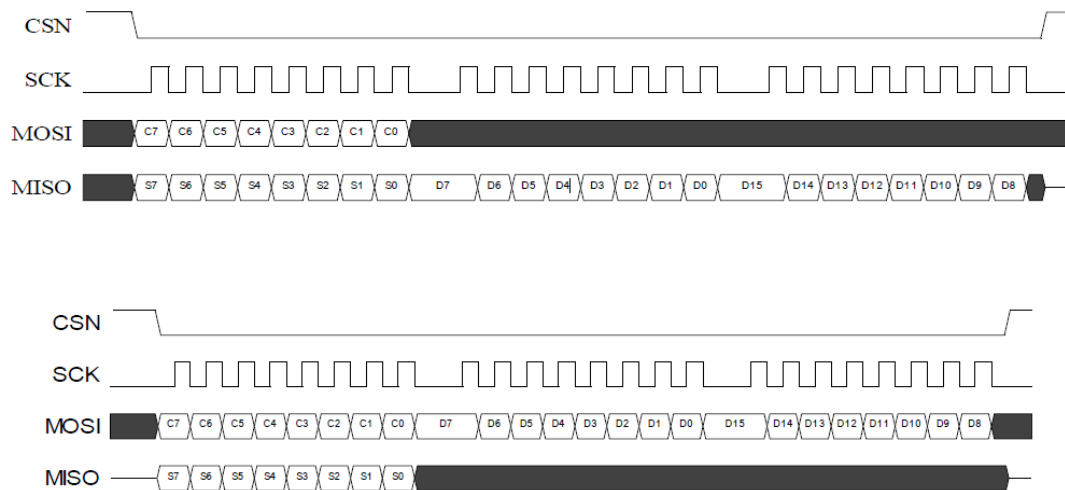
Diagram SPI komunikace je zobrazen v obrázku číslo 2.4. Cn jsou označeny bity příkazu. Sn jsou bity STATUS registru a Dn jsou datové bity. Jednotlivé bity jsou odesílány od MSBit po LSBit. Celé datové byty jsou v pořadí od LSByte po MSByte. V horní části diagramu je zobrazena operace čtení a v dolní části operace zápisu.

2.3.2 Knihovna pro komunikaci s NRF24L01+PA+LNA

Pro komunikaci s bezdrátovým modulem byla vytvořena knihovna tak, aby ji bylo možné jen s nepatrnými úpravami využít i na jiných mikrokontrolérech od firmy ST Microelectronics, než jen na STM32F100. Návrh knihovny vychází z volně dostupné knihovny pro Arduino na webu ElecFreaks [7].

Základní funkce

Knihovna obsahuje základní funkci pro odeslání bajtu po SPI sběrnici a následné přečtení bajtu přijatého. Dále obsahuje funkce pro čtení a zápis do nastavovacích registrů, pro čtení a zápis do paměti pro data, inicializační nastavení a volbu vysílacího a přijímacího módu.



Obrázek 2.4: Diagram SPI komunikace [6]

TX mód

Nastavení bezdrátového modulu pro vysílání dat. Rozlišení, zda je modul v nastavovacím nebo komunikačním režimu se provádí vodičem CE. Modulu se musí nastavit 5-ti bajtová vysílací adresa, která bude shodná s adresou přijímací. Zároveň je potřeba nastavit tuto adresu pro příjem automatického potvrzení současně s aktivováním automatického potvrzování přijetí. Další nastavení je výběr kanálu přenosu, nastavení prodlevy a počtu opakování při neúspěšném přenosu, vybrání čísla kanálu, nastavení rychlosti přenosu a výstupního výkonu a nastavení kontroly přenesených dat CRC.

RX mód

Nastavení bezdrátového modulu pro příjem dat. Přepnutí do nastavovacího módu pomocí vodiče CE. Zapsání shodné přijímací adresy s vysílací, v případě rozdílných adres, nebudou moduly komunikovat mezi sebou. Nastavení kanálu, automatického potvrzování, vybrání komunikačního kanálu, rychlosti komunikace, výstupního výkonu a kontroly přenesených dat CRC je potřeba udělat shodně s vysílacím modulem. Paměť pro přijatá data je nutné nastavit na stejnou velikost, jako je velikost odesílaných dat.

2.4 ShockBurst™ komunikační protokol

Komunikační protokol ShockBurst™ implementovaný v bezdrátovém modulu NRF24L01 + PA + LNA zajišťuje kompletně důležité funkce pro bezdrátový datový přenos. Veškerá přenášená data jsou zabezpečena pomocí CRC. Protokol obsahuje automa-

tické potvrzení přijetí. V případě, že se paket nepřenesl, dochází po určité době k opakovanému odeslání. Počet opakovaných odeslání a doba prodlevy lze nastavit při nastavování TX módu.

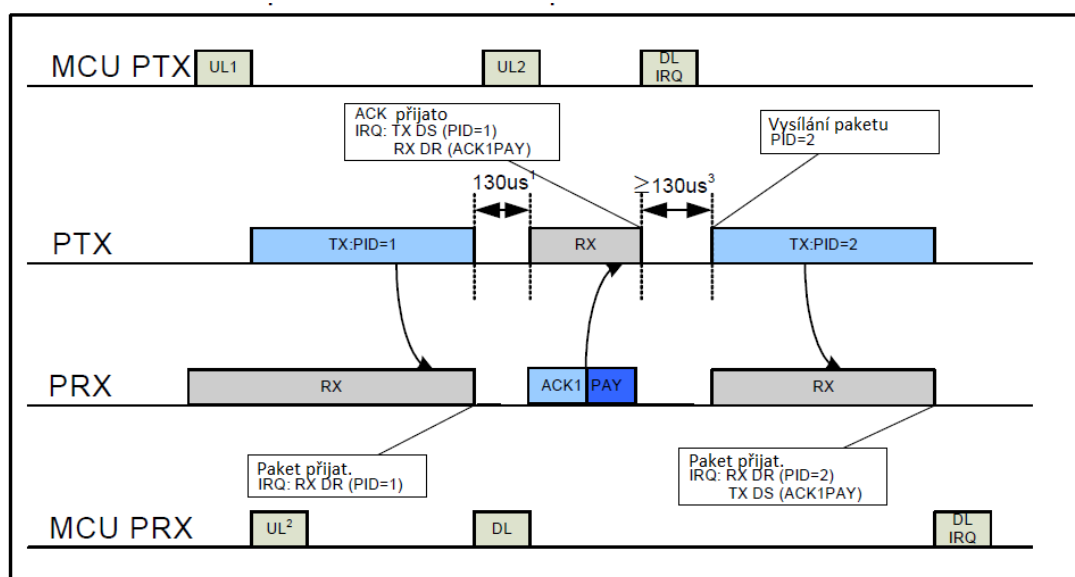
2.4.1 Formát paketu

Paket komunikačního protokolu ShockBurst™ je složen z několika částí patrných na obrázku číslo 2.5. Preambule slouží pro synchronizaci přijímače na příchozí datový

| Preambule | Adresa | Řídící pole paketu | Datové bajty | CRC |
|-----------|---------|--------------------|--------------|---------|
| 1 B | 3 - 5 B | 9 bit | 0 - 32 B | 1 - 2 B |

Obrázek 2.5: Formát paketu protokolu ShockBurst™

tok. Adresa konkretizuje zařízení určené pro příjem odesílaného paketu. V řídicím poli paketu je obsažen počet datových bajtů, identifikace paketu a příznak pro automatické potvrzení přijetí paketu. Následují užitečné datové bajty, kterých je maximálně 32. Na závěr je kontrolní součet CRC.



- 1 Zpoždění mezi přepnutím TX a RX
- 2 Přidání dat k ACK paketu
- 3 Zpoždění definováno MCU u PTX zařízení, $\geq 130\mu s$

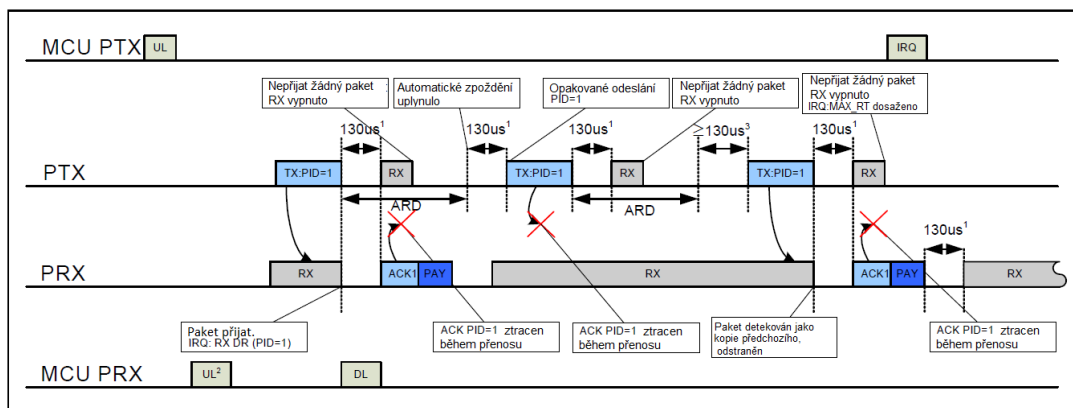
Obrázek 2.6: Přenos paketu s potvrzením obsahujícím datové bajty [6].

2.4.2 Přenos paketů

Komunikace mezi moduly je typu half-duplex. Obě strany mohou přijímat i vysílat, ale v jeden okamžik probíhá přenos pouze jedním směrem. Protokol definuje automatické potvrzování přijetí paketu ACK, zároveň definuje automatické opakované odeslání paketu v případě nepřijetí potvrzení. Moduly mají integrované automatické přepínání mezi vysílacím a přijímacím módem činnosti, proto potvrzování a opakované odeslání není potřeba řešit v mikropočítači.

Přenos paketu je zobrazen na obrázku číslo 2.6. Vysílač PTX odešle paket, přepne se do přijímacího módu a čeká na potvrzení přijetí. Přijímač PRX zkontroluje, zda má paket shodnou adresu s přijímačem a provede kontrolu správnosti přijatých dat. Pokud je vše v pořádku, odesílá potvrzení ACK s možností rozšíření o datové bajty. PTX po přijetí potvrzení nastavuje příznak TX_DS a opět se přepíná do vysílacího módu a odesílá další datový paket.

V případě nedoručení paketu, PRX potvrzení neodešle. V případě doručení, je potvrzení odesláno. Může nastat situace, kdy se potvrzení ztratí a do PTX není nic doručeno. Tuto situaci zachycuje obrázek 2.7. PTX čeká po dobu ARD, která je uživatelsky konfigurovatelná od 250 us do 4000 us. Poté dochází k opakovanému odeslání shodného paketu. Pokud se nepodaří přenést paket v uživatelsky konfigurovatelném počtu opakovaných odeslání, je v PTX nastaven příznak MAX_RT oznamující vyčerpání všech pokusů o odeslání.



- 1 Zpoždění mezi přepnutím TX a RX
- 2 Přidání dat k ACK paketu
- 3 Zpoždění definováno MCU u PTX zařízení, ≥ 130 us

Obrázek 2.7: Neúspěšný přenos s dosažením maximálního počtu opakování [6].

2.4.3 Absence CSMA u protokolu ShockBurst™

Jakmile jsou do modulu nahrána data k odeslání, zařízení automaticky zahájí jejich přenos, případné opakované odeslání je realizováno po předem nastavené době ARD.

Mezi jednotlivými opakovanými odesláními není možné tuto dobu změnit. Vzhledem k tomuto faktu mohou nastat kolizní situace v případě provozu více zařízení na jednom kanálu. Pro každý pár zařízení lze nakonfigurovat libovolnou 3 až 5-ti bajtovou adresu, což je při nízkém vytížení sítě dostatečné pro zajištění rozpoznání přenášených dat.

V případě vyššího objemu přenášených dat je potřeba počítat s vyšším počtem kolizí. V extrémním případě, kdy budou dva moduly vysílat v naprosto shodný čas a budou mít shodnou prodlevu mezi jednotlivými opakovanými odesláními, budou všechny přenášené pakety vzájemně zarušené. Zde se projevuje absence protokolu pro snímání přítomnosti provozu na daném kanálu CSMA, který je implementovaný například v sítích ethernet (CSMA/CD) [8] nebo u WiFi sítí (CSMA/CA). Řešením pro moduly s protokolem ShockBurstTM je uživatelská změna kanálu, kterých je k dispozici 126 s šířkou pásma 1 MHz. Kanály jsou dostupné od 2,400 GHz do 2,525 GHz.

2.5 Vlastní aplikační vrstva

Zvolený modul pro bezdrátovou komunikaci NRF24101 zajišťuje dle referenčního modelu OSI dle [8] komunikaci na úrovni fyzické vrstvy a spojové vrstvy, která je implementována protokolem ShockBurstTM popsaným v kapitole 2.4. Vlastní aplikační vrstva představuje pravidla, dle kterých je paket vytvořen pro přenos a následně je jednoznačně identifikován a zpracován v počítači.



Obrázek 2.8: Formát paketu vlastní aplikační vrstvy

Na obrázku 2.8 je zobrazen formát paketu vlastní aplikační vrstvy. Paket obsahuje předem definovanou rozlišovací preambuli o velikosti 5 bajtů. Preamble je implementována pro identifikaci dat z vlastního vysílače, neboť může nastat situace, kdy cizí modul bude mít shodně nastavenou adresu a v tom případě by došlo ke zpracování chybných dat. Identifikátor o velikosti 1 bajt určuje druh přenášených dat. Maximálně rozlišitelných 256 datových paketů je pro tuto aplikaci dostatečné. Počet datových bajtů určuje velikost přenášené datové zprávy, která je přenášena od nejméně významného bajtu (LSB) po nejvýznamnější (MSB) bajt.

2.5.1 Identifikátory v aplikační vrstvě

Vzhledem k možnosti změny směru komunikace může být identifikátor zprávy interpretován různě pro každý směr komunikace. V případě směru komunikace z monopostu do počítače jsou identifikátory nedefinovány následujícím způsobem:

- Identifikátor 0-15 - CAN zprávy dle převodní tabulky ??
- Identifikátor 16 - analogové vstupy

V případě směru komunikace z počítače do monopostu, která je určena pro nastavení, jsou identifikátory určeny takto:

- Identifikátor 67 (dle ASCII znak C)- změna komunikačního kanálu, kanál je uveden v jednom datovém bajtu, číselný rozsah 0-125
- Identifikátor 255 - identifikátor pro změnu režimu příjmu dat na vysílání

2.6 Testování dosahu NRF24L01+PA+LNA

Testování dosahu modulů NRF24L01 bylo provedeno s využitím vývojových kitů Arduino, neboť mají malé rozměry a je možné je napájet i s nimi komunikovat pomocí USB. Testovací program vysílal ve smyčce posloupnost 0-FF postupně v paketech o velikosti 32 bajtů. Bylo možné rozlišit, kdy dochází ke ztrátě části dat.



Obrázek 2.9: Test dosahu ve venkovním prostředí

2.6.1 Test dosahu ve vnitřním prostředí

Test proběhl v chodbě fakulty elektrotechnické a strojní ČVUT v Praze. Délka chodby cca 170 m (změřeno pomocí mapy). V budově je několik WiFi sítí, proto je pásmo 2,4 GHz využívané moduly velmi zarušené. Vysílací i přijímací moduly byly umístěny ve

výšce cca 1 m, simulující přibližně výšku umístění na formuli. Výsledek testu: komunikace bez ztráty paketů, přijímány kompletní posloupnosti.

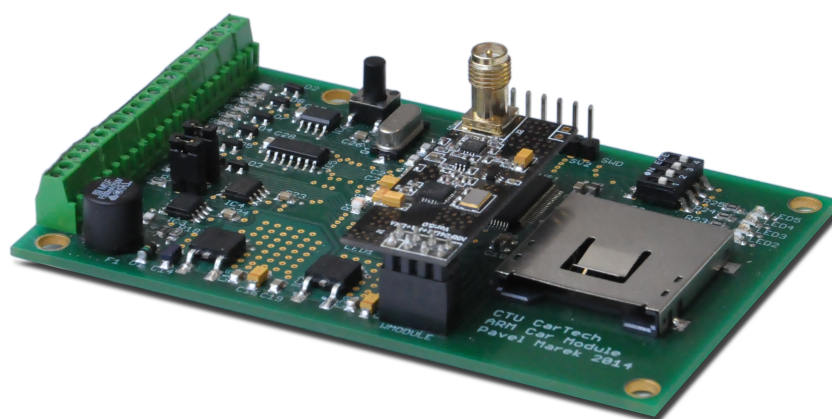
2.6.2 Test dosahu ve venkovním prostředí

Po bezproblémové komunikaci ve vnitřním prostředí a nemožnosti měření na větší vzdálenost přišel na řadu test ve venkovním prostředí. Vysílací modul byl umístěn na palubní desce v zavřeném osobním autě ve výšce cca 1 m nad zemí a přijímací modul byl připojen k počítači pro umožnění chůze při měření. Při měření byla snaha o dodržení přímé viditelnosti. Měření proběhlo v ulici Technická v Praze. Umístění vysílače a přijímače je zobrazeno na obrázku 2.9. Jako rušivé elementy zde byla zaparkovaná auta, stromy a chodci. Přítomnost WiFi signálu je zde také. Výsledek testu: komunikace bez ztráty paketů na vzdálenost cca 350 m a při větší vzdálenosti cca 400 m dochází k občasným ztrátám paketů, stále se ale nejedná o kompletní ztrátu signálu.

Kapitola 3

Modul v monopostu

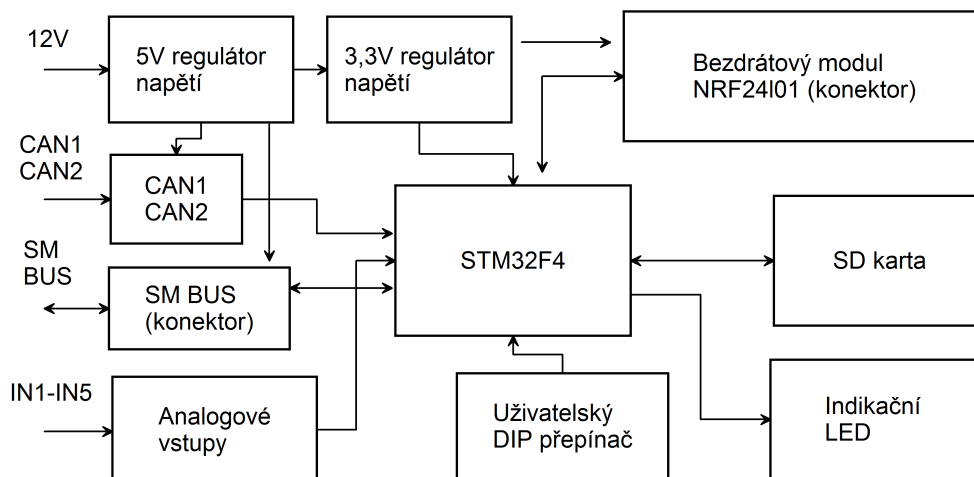
Zařízení umístěné v monopostu je určeno pro vyčítání dat z CAN sběrnice a čtení analogových veličin. Po jejich zpracování jsou data připravena na odeslání pomocí bezdrátového modulu. Celé zařízení je navrženo tak, aby bylo možné jej umístit do přední části monopostu, do volného místa mezi přední nápravu a nosník monokoku. Maximální rozměry modulu jsou definovány volným prostorem, který má rozměr přibližně 75 x 180 x 50 mm. Anténa je vyvedena pomocí flexi kabelu na kapotu. Vyrobená a osazená deska plošných spojů s vloženým modulem pro bezdrátovou komunikaci NRF24L01 je na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Osazená deska plošných spojů modulu v monopostu

3.1 Hardware

Zařízení je navrženo v návrhovém softwaru EAGLE, který je k dispozici ve volné verzi s omezením velikosti plošného spoje a maximálně dvou vrstev spojů. Ve snaze o miniaturizaci jsou primárně použity SMD součástky a deska plošných spojů je navržena ve třídě přesnosti 5. Blokové schéma zařízení je zobrazeno na obrázku 3.2. Schéma zařízení a rozmístění součástek je uvedeno v příloze A.



Obrázek 3.2: Blokové schéma zařízení v monopostu

3.1.1 Mikropočítač STM32F4

Hlavním prvkem celého modulu je mikropočítač STM32F4 v pouzdře LQFP100. Požadavky na mikropočítač jsou integrované řadiče UART a sběrnic SPI, CAN. Tyto požadavky splňuje velké množství mikropočítačů, tento byl vybrán, protože je ho možné zakoupit jako součást Discovery kitu, což je vývojová platforma umožňující okamžité programování bez nutnosti vyvíjet hardware. Hlavní části navrhované desky plošných spojů bylo možné ověřit v praxi s využitím Discovery kitu a kontaktního pole.

Návrh desky plošných spojů obsahuje blokování napájení provedené podle katalogového listu mikropočítače [9]. V návrhu jsou tyto kondenzátory umístěny blízko mikropočítače pro zajištění ideální funkce. Externí taktovací krystal je připojen pro zajištění přesnější frekvence hodinového signálu v mikropočítači. Důležitou součástí jsou napěťové děliče připojené k BOOT pinům mikropočítače. Různými kombinacemi osazení odporů lze přepínat umístění, odkud se bude načítat paměť programu.

Zařízení obsahuje obvod pro reset mikropočítače tvořený pull-up rezistorem, tlačítkem a kondenzátorem chránícím proti zákmitům. Pro programování čipu s využitím

ST-linku je na desce plošných spojů umístěn 6-ti pinový SWD konektor. Popis pinů je zobrazen v tabulce 3.1.

| Pin | Popis |
|-----|------------------------|
| 1 | 3,3 V |
| 2 | SWD hodinový signál |
| 3 | GND |
| 4 | SWD datový signál |
| 5 | Reset |
| 6 | SWD rezervovaný signál |

Tabulka 3.1: Popis pinů 6-ti pinového konektoru SWD

3.1.2 CAN sběrnice a analogové vstupy

CAN sběrnice

Mikropočítač STM32F4 obsahuje dva řadiče CAN sběrnice, budič v pouzdře čipu není obsažen. Pro buzení CAN sběrnice se využívá externí budič 82C250T, který se dodává v pouzdře SO8. Piny obvodu slouží pro připojení napájení, připojení na sběrnici CANH a CANL, připojení k mikropočítači RXD a TXD. Nastavení na pinu Rs je připravené pro "high - speed" CAN. Pro případnou možnost rozšíření funkce zařízení jsou v návrhu zakomponovány dva budiče využívající oba dva řadiče mikropočítače. Oba dva čipy jsou osazeny spolu s blokovacími kondenzátory.

Analogové vstupy

Externí analogové vstupy využívají integrované A/D převodníky v mikropočítači. V zařízení je připraveno 6 analogových vstupů, 5 je vyvedeno do svorkovnice a jeden slouží k měření palubního napětí přivedeného jako napájení do obvodu. Analogové veličiny ve voze mají rozsah 0-5 V, integrovaný A/D převodník je schopen měřit do 3,3 V. Na vstupu jsou navrženy odporové děliče napětí pro upravení úrovně signálů.

Z důvodu minimálního zatěžování děliče a vytvoření ochranného obvodu před vstupem do mikropočítače jsou navrženy operační zesilovače v zapojení sledovače napětí. Použity jsou operační zesilovač LM224 v pouzdře SO14 a LM258 v pouzdře SO8, které jsou doplněny blokovacími kondenzátory. Ochranný prvek proti přepětí nebo obrácené polaritě signálu je využita dvojitá Schottkyho dioda v pouzdře SOT23. Analogové vstupy jsou připojeny na piny mikropočítače, které nabízejí výběr ze 3 integrovaných A/D převodníků (ADC123).

3.1.3 Napájení

Mikropočítač STM32F4 vyžaduje napájecí napětí v rozsahu 1,8 až 3,6 V. Bezdrátový modul vyžaduje napájení 3,3 V a budiče CAN sběrnice potřebují napájení 5 V. Palubní napětí ve voze je 12 V a kolísá v závislosti na činnosti vozu. Výstupní napětí regulátoru dobíjení je 14,4 V a při startu motoru klesá palubní napětí pod 8 V.

Stabilizátory napětí

Navržené zařízení obsahuje kaskádu dvou lineárních stabilizátorů. Stabilizátor LF33CD v pouzdře DPAK pro stabilizaci 3,3 V určených pro napájení většiny periférií. Tento stabilizátor je schopen stabilizovat i při napájení o 0,45 V vyšším než je výstupní (low-drop). Tato vlastnost je důležitá, neboť je 3,3 V stabilizátor napájen z výstupu 5 V stabilizátoru 7805 v pouzdře DPAK. Úbytek napětí stabilizátoru 7805 jsou 2 V. Stabilizátory jsou v návrhu osazeny spolu s kondenzátory nutnými pro jejich správnou funkci. V návrhu jsou i kondenzátory s větší kapacitou pro vykrývání spotřeby celého zařízení. Oba dva stabilizátory jsou v návrhu opatřeny chladiči pro odvod tepla. Chladiče jsou vytvořeny ze vzájemně prokovených měděných ploch na desce plošných spojů.

Vstupní ochrany

Bezprostředně za vstupní svorkovnicí je umístěna rychlá radiální pojistka s jmenovitou hodnotou proudu 0,5 A. To je maximální proud, který mohou stabilizátory dodávat. Pojistka je přímo zapájená do desky plošných spojů, minimalizuje se tím riziko mechanické ztráty kontaktu v patici při jízdě vozu.

Zařízení je vybaveno ochranou proti přepólování. Paralelně na vstupní svorky je umístěna dioda v závěrném směru. V případě přepólování dojde k přetavení pojistky. Zařízení zůstane nepoškozeno.

Zařízení musí pracovat v rozsahu cca 8 - 25 V z důvodu nestability palubní sítě. Spodní hranice provozuschopnosti zařízení je 7 V. To je dáno 5 V stabilizátorem a minimálním 2 V úbytkem napětí pro stabilizaci. Horní hranice provozuschopnosti je dána maximálním vstupním napětím stabilizátoru, které je 35 V. Pracovní rozsah celého zařízení v maximálních hodnotách je 7-35 V.

3.1.4 Periferie

SD slot

Slot pro SD kartu je na desce integrován z důvodu širšího využití navrhovaného hardwaru. Implementace ukládání dat na SD kartu není v této práci vyžadována. Komunikace s mikropočítačem je realizována SPI sběrnici. K SD slotu je přidán kondenzátor pro blokování napájení.

Sběrnice SM bus

Na výstupní svorkovnici je spolu s 5 V napájením a GND vyvedena sběrnice SM bus, který není součástí této bakalářské práce. Sběrnice je připravena pro implementování jiného projektu do tohoto hardwaru. SM bus využívá obvody I2C sběrnice, která je v mikropočítači obsažena.

Uživatelské tlačítko

Uživatelské tlačítko připojené do mikropočítače spolu s pull-up rezistorem a kondenzátorem proti záskmitům je integrováno přímo na desce plošných spojů. Zároveň jsou piny tlačítka vyvedeny na svorkovnici, aby bylo možné umístit tlačítko do kokpitu vozu a měnit režim činnosti zařízení, které je zabudováno v přední části vozu. Ochranný prvek proti napěťovým špičkám je na vstupu umístěna dvojitá dioda v pouzdře SOT23.

Informační LED a DIP přepínač

V návrhu zařízení jsou umístěny různobarevné informační LED pro indikování různých režimů a událostí při ladění softwaru. DIP přepínač v SMD provedení je určen pro ruční změnu adresy nebo kanálu, na kterém bezdrátový modul vysílá. Power LED je umístěna do zařízení pro rychlou indikaci přítomnosti napájení.

3.2 Software

Software pro mikropočítač STM32F4 je napsán ve vývojovém prostředí Atollic True Studio 4 v jazyce C. Pro vývoj jsou využity dostupné knihovny pro obsluhu periférií. Pro komunikaci s bezdrátovými moduly NRF24L01 po sběrnici SPI je využita knihovna, jejíž návrh je popsán v kapitole 2.3.2. Formát paketů sestavených pro odeslání bezdrátovými moduly NRF24L01 odpovídá formátu paketu vlastní aplikační vrstvy popsané v kapitole 2.5.

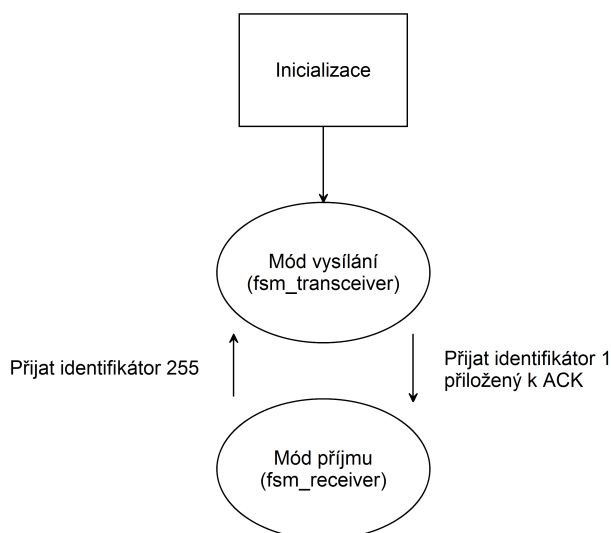
3.2.1 Stavový automat

Modul v monopostu je primárně určený pro nepřetržité vysílání dat získaných ze sběrnice CAN a analogových vstupů modulu. Zároveň musí umožňovat přepnutí bezdrátového modulu do přijímacího módu pro změnu nastavení. Tomu odpovídá realizace programu, jehož základ tvoří stavový automat, který vychází ze stavové automatu podle [10]. Funkce přepínané stavovým automatem jsou inicializační funkce fsm_init, funkce se smyčkou pro vysílání dat fsm_transceiver a funkce se smyčkou pro přijímání dat fsm_receiver. Každá funkce obsahuje tři události. Při volání funkce se vykoná část

EVENT_ENTRY, každý další vstup do funkce až do přepnutí na jinou funkci se vykonává část EVENT_DO a při přepnutí na jinou funkci se jednou provede EVENT_EXIT. Stavový diagram je zobrazen v 3.3.

Přepnutí ze stavu vysílání fsm_transceiver do stavu příjmu fsm_receiver je realizováno čtením datových bajtů v doručeném potvrzení přijetí ACK. Prvních pět datových bajtů je vlastní identifikátor zprávy. V případě, že identifikátor zprávy neodpovídá uložené hodnotě identifikátoru, nedojde k přečtení informace o přepnutí. Šestý bajt obsahuje informaci o přepnutí. K přepnutí dojde v případě, že se hodnota šestého datového bajtu potvrzení rovná 1.

Přepnutí ze stavu příjmu fsm_receiver do stavu vysílání fsm_transceiver je realizováno čtením příchozích dat. Prvních pět datových bajtů je identifikace zprávy. Tato identifikace musí odpovídat uloženému identifikátoru, v opačném případě je ukončen proces čtení dalších bajtů. Šestý datový bajt obsahuje informaci o přepnutí, v případě, že se jeho hodnota rovná 255.

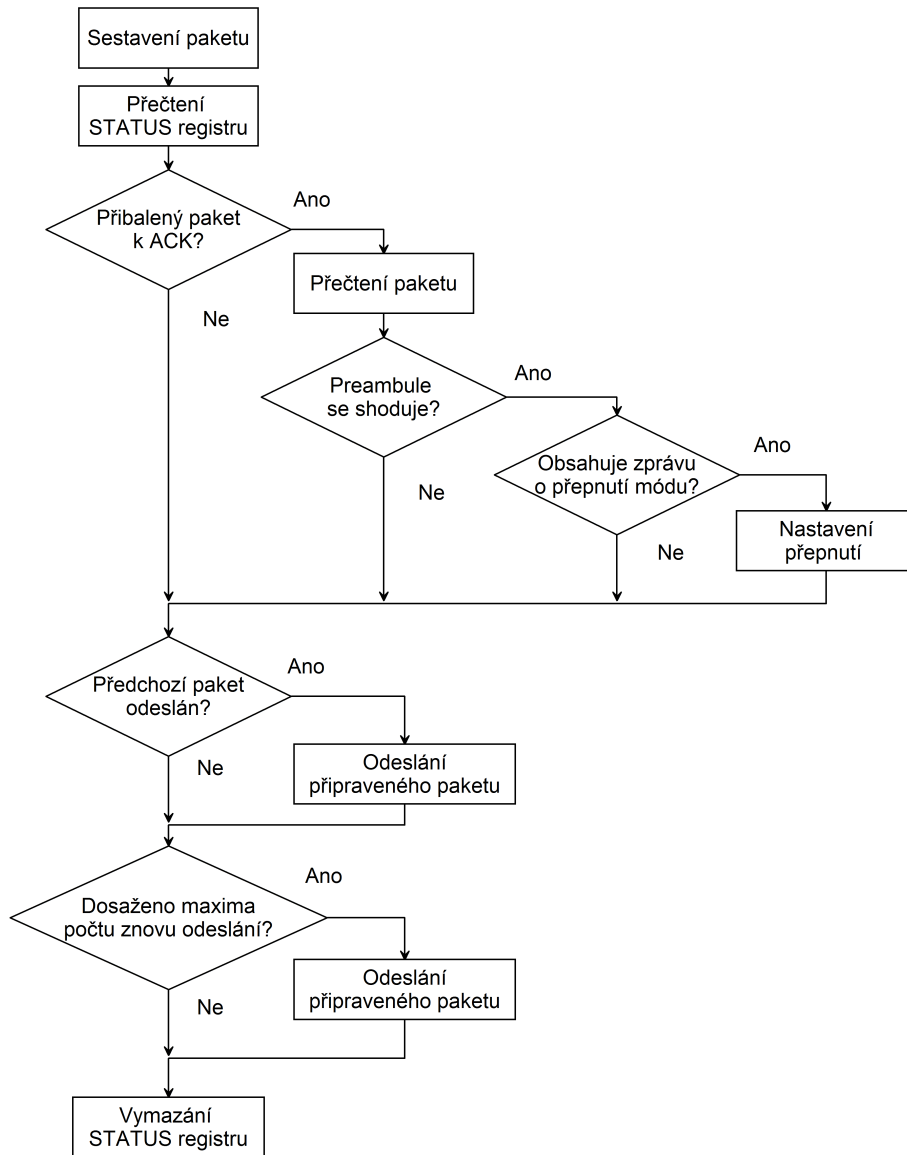


Obrázek 3.3: Stavový diagram s popisem změn stavů

3.2.2 Čtení dat z CAN sběrnice a analogových vstupů

Vyčítání dat ze sběrnice CAN je obsluhováno v obsluze přerušení přijatých zpráv. Zprávy jsou filtrovány podle jejich identifikátorů a následně uloženy do pole bajtů.

Analogové vstupy jsou čteny v případě požadavku na jejich odeslání. Na multiplexovaný vstup analogově digitálního převodníku je postupně přivedeno 6 analogových vstupů, které jsou následně zdigitalizovány a složeny do balíčku připraveného k odeslání. Čtení je prováděno ve funkci s názvem readADCdata().

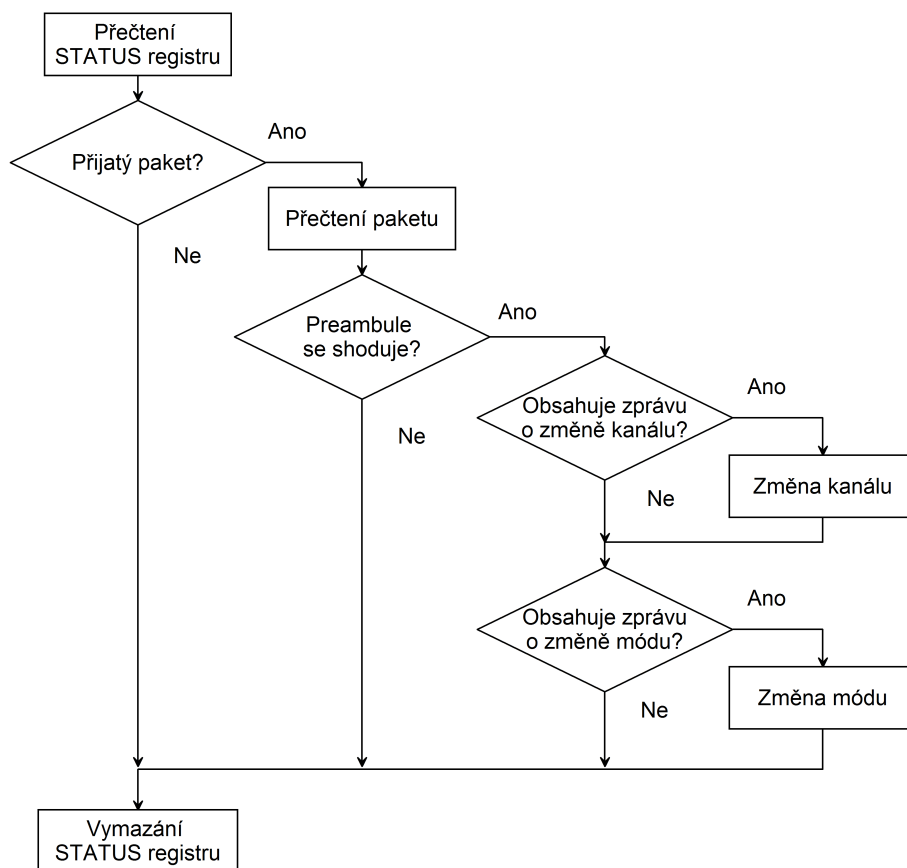


Obrázek 3.4: Vývojový diagram procesu odeslání dat

3.2.3 Proces odeslání dat

Proces odeslání dat je implementován funkcí Send, jejíž vstupní parametry jsou pole dat pro přenos, velikost dat a identifikátor zprávy. Data jsou ve funkci Send složena do paketu podle formátu paketu popsaného v kapitole 2.5 vlastní aplikační vrstvy. S bezdrátovým modulem je komunikováno pomocí knihovny popsané v kapitole 2.3.2.

Složení paketu je prováděno postupně. Nejprve se do výsledného pole uloží preambule, následuje identifikátor zprávy a počet datových bajtů. Příprava paketu je dokončena po vložení požadovaných dat do paketu. Následně je přečten STATUS registr modulu NRF24L01, který obsahuje příznaky odeslaných a přijatých paketů. V případě příznaku přijetí datového paketu jako součást potvrzení o přijetí, je nejprve dle vlastní aplikační vrstvy překontrolována správnost preambule a následně provedeno rozhodnutí o přepnutí do módu příjmu dat. V případě příznaku odeslání nebo dosažení maximálního počtu znovu odeslání dojde k odeslání nového paketu. Před ukončením funkce dojde k vymazání příznaků ve STATUS registru. Proces odeslání dat je obsažen v diagramu 3.4.



Obrázek 3.5: Vývojový diagram procesu příjmu a zpracování dat

3.2.4 Proces příjmu a zpracování dat

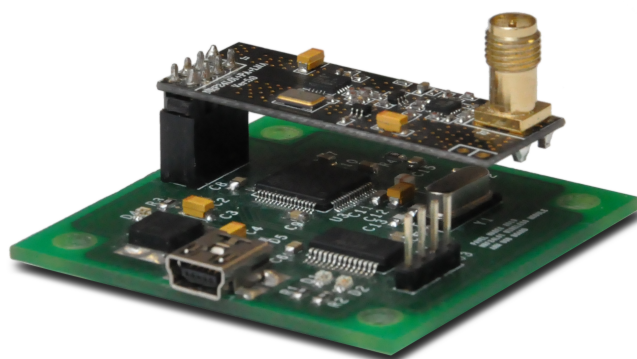
Komunikace je po většinu času jednosměrná a probíhá ve směru z vozu do počítače. V případě potřeby nastavení parametrů modulu ve vozidle, se využívá komunikace obousměrná. Nejprve dojde k přečtení STATUS registru modulu NRF24L01. V případě příznaku přijetí datového paketu, dojde k přečtení dat z FIFO paměti modulu. Kontrola preambule slouží k validaci dat. Ve validních datech se hledají identifikátory nedefinované v kapitole 2.5.1 o vlastní aplikační vrstvě. Případě zaslání paketu s identifikátorem pro změnu komunikačního kanálu 67, dojde k změně hodnoty pomocné proměnné. Samotná změna se provede až při změně módu na vysílání zasláním identifikátoru 255. Vývojový diagram procesu příjmu a zpracování dat je uveden na obrázku 3.5.

Kapitola 4

PC modul a aplikace

4.1 PC modul

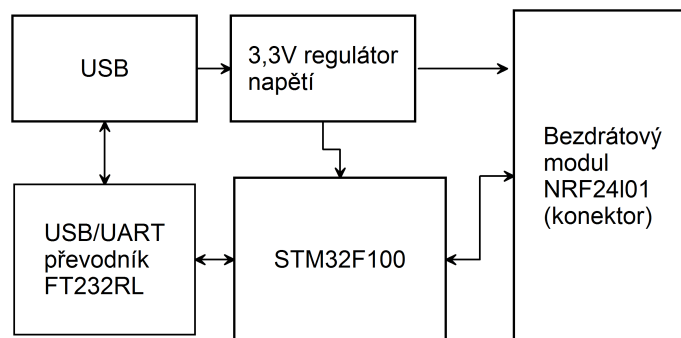
Zařízení pro příjem dat z vozu je malých rozměrů pro snadné přenášení a skladovatelnost. Navržené je pro připojení k počítači pomocí USB sběrnice, ze které je zároveň napájeno. Pro pevné uchycení antény je na modulu vytvořen kryt z průhledného plexiskla. Celkové rozměry zařízení (bez antény) jsou 51 x 51 x 27 mm. Osazená deska plošných spojů s připojeným komunikačním modulem a ochranným krytem je na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Osazená deska plošných spojů PC modulu

4.1.1 Hardware PC modulu

Zařízení je navrženo v návrhovém systému Cadence OrCAD. Ve snaze o miniaturizaci jsou primárně použity SMD součástky a deska plošných spojů je navržena ve třídě přesnosti 5. Blokové schéma zařízení je na obrázku 4.2. Schéma zařízení a rozmístění součástek je uvedeno v příloze B.



Obrázek 4.2: Blokové schéma přijímacího modulu do USB

Mikropočítač STM32F1

Ladění a testování komunikace s bezdrátovým modulem bylo provedeno v nepájivém poli s STM32VL Discovery kitem. Pro snadnější návrh byl použit mikropočítač STM32F100 od firmy ST Microelectronics, stejný jako na odladěném kitu. Mikrokontrolér obsahuje SPI sběrnici nutnou pro komunikaci s bezdrátovým modulem a sériovou komunikaci UART pro další komunikaci. Mikropočítač byl vybrán v SMD pouzdře LQFP64 s 64 piny, které je dostatečně velké pro ruční osazení.

Návrh desky plošných spojů obsahuje blokování napájení provedené podle katalogového listu mikropočítače [11]. Pro zajištění ideální funkce jsou blokovací kondenzátory umístěny blízko mikropočítače. Mikropočítač potřebuje ke svému chodu krystal s vazebními kondenzátory. Krystal je zvolen na nominální frekvenci 8 MHz opět v SMD pouzdře. Pro umožnění resetu zařízení je vytvořen resetovací obvod s vyvedenými kontaktními ploškami. Pro programování pomocí ST-linku návrh obsahuje 4 pinový SWD konektor. Tabulka s číslem 4.1 popisuje piny SWD konektoru.

Převodník USB/UART

Mikropočítač STM32F100 postrádá USB řadič, tudíž není možné přímo komunikovat s USB sběrnici. Bylo nutné vybrat externí obvod pro zajištění převodu komunikace na druh sběrnice, kterou mikrokontrolér podporuje. Byl vybrán obvod FT232RL od výrobce FTDI, který provádí konverzi mezi USB sběrnici a sériovou komunikaci UART. Obvod je dodáván v 28-pinovém SMD pouzdře SSOP28.

| Pin | Popis |
|-----|---------------------|
| 1 | 3,3 V |
| 2 | SWD hodinový signál |
| 3 | GND |
| 4 | SWD datový signál |

Tabulka 4.1: Popis pinů konektoru SWD

Nezbytné podpůrné obvody

Mikropočítač i bezdrátový modul NRF24L01 potřebují ke svému provozu napájení +3,3 V. Napájecí napětí na USB sběrnici je 5 V, do navrhovaného zařízení je přidán napěťový stabilizátor na 3,3 V LF33CDT opět v SMD pouzdře DPAK. Tento stabilizátor napětí má nízký (0,45 V) úbytek napětí, proto stabilizuje již od 3,8 V. Do obvodu je z bezpečnostních důvodů zařazena Schottkyho dioda proti přepólování napájecího napětí.

Připojení k počítači je realizováno pomocí USB-mini B konektoru, který je typu zásuvka. V návrhu jsou připraveny 3 indikační diody. Červená LED na výstupu stabilizátoru napětí ukazuje na zařízení v provozu. Další 2 diody jsou připraveny pro indikaci komunikace po sériové lince mezi mikrokontrolérem a USB/UART převodníkem.

4.1.2 Software PC modulu

Software pro mikropočítač STM32F1 je napsán v jazyce C a pro vývoj bylo použito prostředí Atollic True Studio 4. Pro vývoj jsou použity dostupné knihovny pro obsluhu periférií. Komunikace s bezdrátovým modulem NRF24L01 po sběrnici SPI je prováděna pomocí knihovny, jejíž návrh je popsán v kapitole 2.3.2. Formát paketů odpovídá formátu balení vlastní aplikační vrstvy popsané v kapitole 2.5.

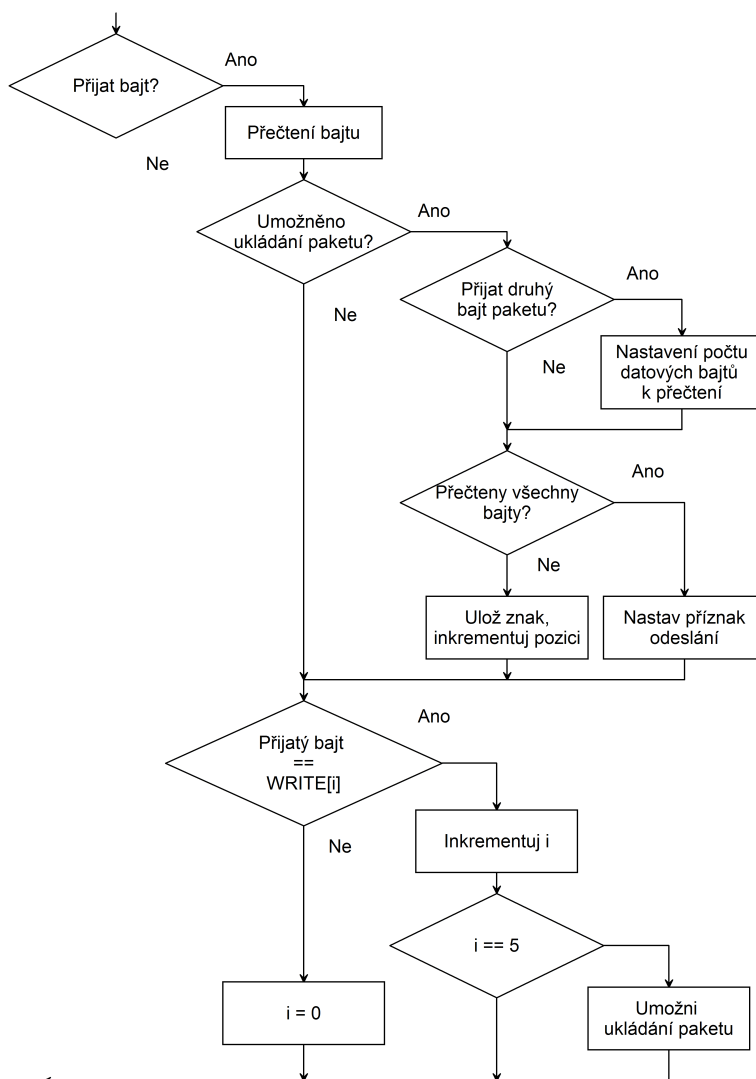
UART komunikace s počítačem

Obousměrná komunikace zařízení s počítačem využívá ve směru ze zařízení do počítače formát balení, který je definovaný v návrhu vlastní aplikační vrstvy. Pro komunikaci ve směru z počítače do zařízení jsou definovány následující řídicí příkazy:

- SETRX - nastaví zařízení do módu pro příjem dat
- SETTX - nastaví zařízení do módu pro vysílání dat
- SETCHx - změní komunikační kanál zařízení, kde x je číslo kanálu v rozsahu 0-126 zapsané jedním bajtem

- WRITE - odešle bajty zapsané po tomto příkazu

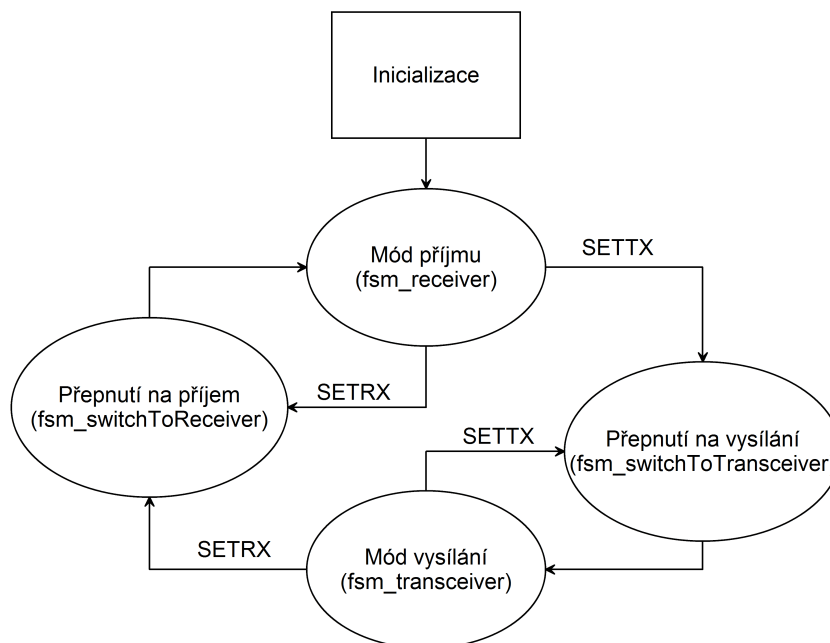
Za příkazem WRITE následuje datový paket podobný s formátem paketu vlastní aplikační vrstvy. V tomto případě paket neobsahuje preambuli, ostatní části jsou shodné. Paket obsahuje údaj o počtu datových bajtů, tato hodnota je při zpracování využita pro určení konce paketu. Čtení a odesílání bajtů po UART lince je obsluhováno v přerušení. Každý přijatý bajt je okamžitě zpracován. V případě zapsání kompletního příkazu, je nastaven příslušný příznak a příkaz je proveden. Vývojový diagram zpracování příkazu WRITE je uveden na obrázku 4.3. Identifikování ostatních příkazů je založeno na shodném principu.



Obrázek 4.3: Vývojový diagram přijetí bajtu a zpracování příkazu WRITE

Stavový automat

Zařízení připojené k počítači je pouze prostředníkem mezi modulem pro bezdrátovou komunikaci a počítačem. Komunikace musí být umožněna obousměrně tak, aby bylo možné přepínat vysílání a příjem dat. Tomu odpovídá implementování stavového automatu, který vychází ze stavového automatu podle [10]. Vyvoláním funkce se vykoná část `EVENT_ENTRY`, při každém dalším vstupu do funkce je vykonávána část `EVENT_DO` a při změně na jinou funkci se jednou provede `EVENT_EXIT`. Stavový diagram je na obrázku 4.4.

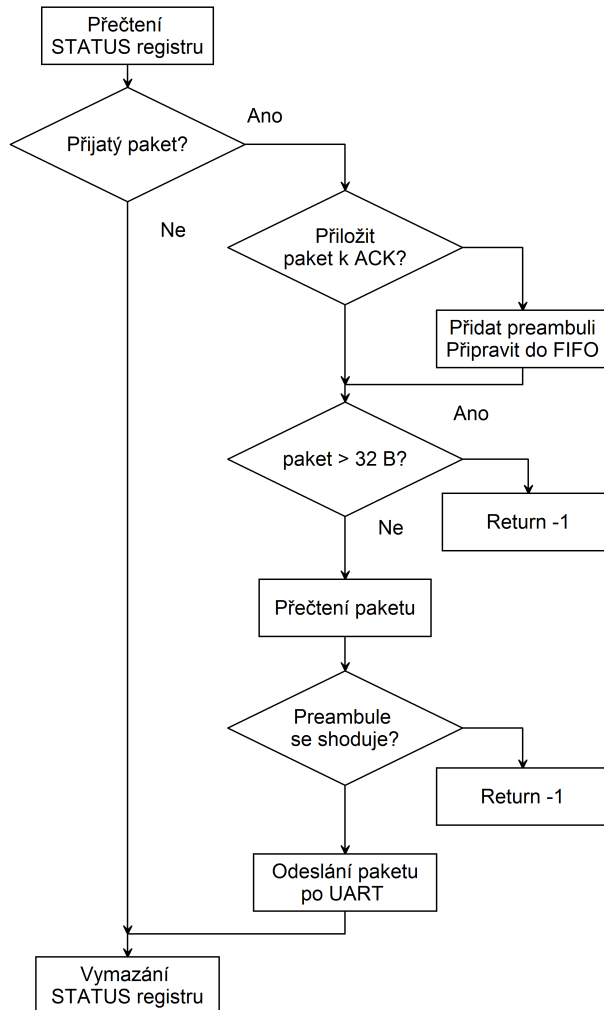


Obrázek 4.4: Stavový diagram s popisem změn stavů

Vzhledem k možným ztrátám paketů, či vypnutí druhého zařízení, byly změny módů vysílání a příjmu vyřešeny s použitím časové prodlevy, po které se automaticky změní stav. Toto řešení ve výsledku vede ke čtyřem průchozím stavům pro nastavení módu pro vysílání a příjem. Po resetu zařízení dochází nejprve k inicializaci, která je součástí funkce `fsm_init`, následuje přepnutí do stavu `fsm_receiver`, ve kterém zařízení přijímá data z monopostu. Po přijetí příkazu `SETTX` z UART sběrnice dojde k změně stavu `fsm_receiver` na stav `fsm_switchToTransceiver`. V tomto stavu dále pokračuje příjem dat z monopostu, ale navíc je k potvrzení o přijetí přiřazen datový paket s informací o změně směru komunikace. V případě, že nejsou doručena žádná data, není možné přiřadit k potvrzení informaci o změně směru komunikace. Pro tento případ je ve stavu nastaveno odpočítávání, které ukončí proces čekání na datový paket a automaticky nastaví stav `fsm_transceiver` bez ohledu na provedení změny směru komunikace. Tato průchodnost

stavů bez ohledu na výsledek komunikace s modulem v monopostu je důležitá, neboť v situaci, kdy je modul v monopostu v přijímacím režimu a dojde k restartu PC modulu, by bez průchodnosti stavu nebylo možné opětovně navázat komunikaci.

Po přijetí příkazu SETRX z UART sběrnice je změněn stav na fsm_switchToReceiver. V tomto stavu je vysílán příkaz pro změnu stavu modulu v monopostu podle vlastní aplikační vrstvy popsané v kapitole 2.5. Vysílání je přiřazen časový odpočet, po jehož vypršení dojde ke změně stavu na fsm_receiver.



Obrázek 4.5: Vývojový diagram procesu příjmu dat funkce Read

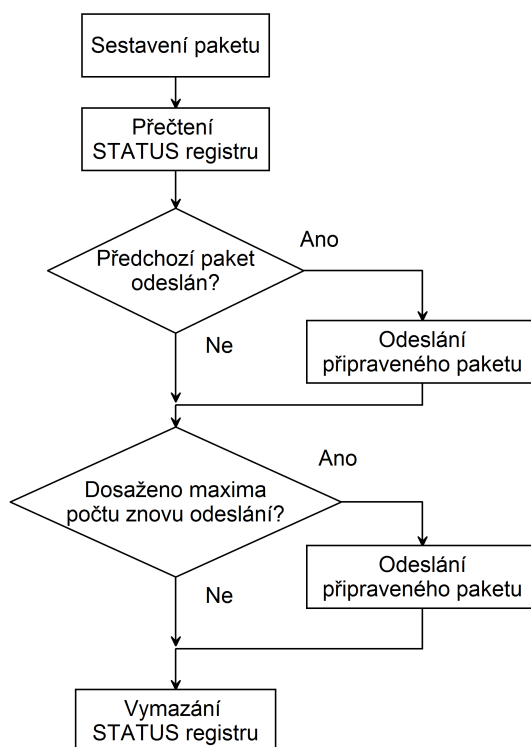
Proces příjmu dat

Příjem dat je majoritní funkce zařízení připojeného do PC. Příjem je zajištěn funkcí Read, která má dva vstupní parametry pro vložení paketu do potvrzení přijetí zprávy.

Nejprve dojde k přečtení STATUS registru. V případě příznaku signalizujícího přijetí paketu je možné paket přijmout. Pokud je připraven paket pro přiložení k potvrzení, dojde k jeho odeslání do FIFO paměti bezdrátového modulu. Následně je zjištěna velikost přijatého paketu, v případě, že je jeho hodnota větší než 32 bajtů, jedná se o chybu zpracování a funkce je ukončena. Přijatý paket je přečten z FIFO paměti a je provedena kontrola preambule, v případě neshody je funkce ukončena. Následuje odeslání paketu po sběrnici UART do počítače. Vývojový diagram je zobrazen na obrázku 4.5.

Proces odeslání dat

Proces odeslání dat je implementován ve funkci Send, která má dva vstupní parametry. Pole obsahující paket pro přenos a velikost pole. Ve funkci se nejprve doplní k paketu preambule a následně je přečten STATUS registr. V případě příznaku odeslání posledního paketu případně příznaku dosažení maximálního počtu opakovaných odeslání dojde k odeslání nového paketu. Nakonec jsou vymazány příznaky ve STATUS registru. Vývojový diagram procesu odeslání dat je zobrazen v obrázku 4.6.



Obrázek 4.6: Vývojový diagram procesu odeslání dat ve funkci Send

4.2 PC aplikace

Aplikace je navržena s cílem uživatelsky přívětivého zobrazení bezdrátově přenášených veličin z monopostu. Pro vytvoření aplikace byl vybrán multiplatformní programovací jazyk Java a bylo využito vývojové prostředí NetBeans IDE 7.4. PC modul je k počítači připojen pomocí USB sběrnice, kde vytváří virtuální COM port.

4.2.1 Obsluha COM portu

jSSC knihovna

Java Simple Serial Connector je externí knihovna umožňující používání COM portu v Java aplikaci [12]. Implementuje funkci pro zjištění připojitelných COM portů v počítači, zahájení a nastavení parametrů komunikace, zápis pole bajtů, případně jednotlivých bajtů, čtení pole bajtů nebo případně čtení jednotlivých bajtů.

Vlákno pro příjem dat

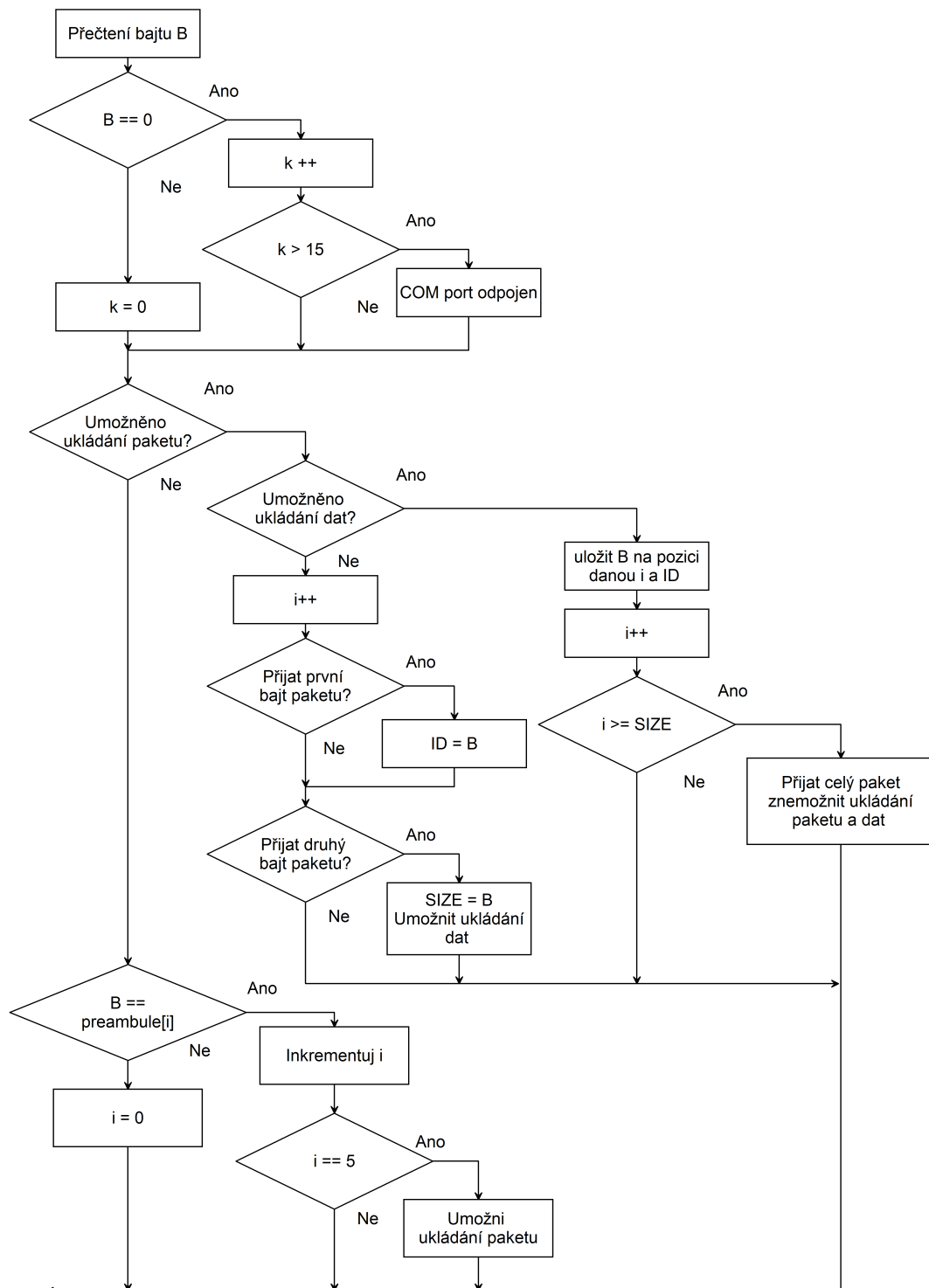
Čtení bajtů přijatých COM portem je realizováno vlastním programovým vláknem, ve kterém probíhá čtení a zároveň zpracování jednotlivých bajtů. Knihovna jSSC neobsahuje funkci sledující odpojení zařízení z virtuálního COM portu. Pokusem bylo zjištěno, že v případě využití funkce `readBytes` s parametrem 1 pro čtení jednoho přijatého bajtu, je po odpojení COM portu čten bajt s hodnotou 0. Aby bylo možné rozlišit, zda došlo k odpojení COM portu z počítače nebo jsou přijímané bajty s hodnotou 0 požadovaná data, bylo přidáno počítání a vyhodnocení bajtů s hodnotou 0 přijatých za sebou.

Následuje zpracování přijatého bajtu, který je součástí paketu definovaného ve vlastní aplikační vrstvě popsané v kapitole 2.5. Nejprve dojde k přečtení a porovnání shody preambule paketu, poté přečtení identifikátoru a délky dat a přijatá data jsou uložena na příslušnou pozici do pole bajtů, který je zdrojem pro aktualizaci hodnot v grafickém uživatelském rozhraní. Vývojový diagram vlákna pro příjem dat je na obrázku číslo 4.7.

4.2.2 Grafické uživatelské rozhraní

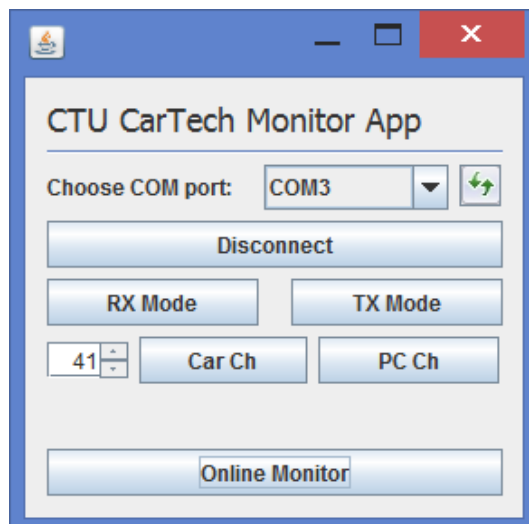
Nastavení komunikace

Uživatelské rozhraní je složeno ze tří panelů využívajících grafické komponenty Swing. Při startu aplikace se zobrazuje úvodní panel sloužící pro připojení COM portu a nastavení parametrů bezdrátového připojení. Panel pro nastavení komunikace je zobrazen na obrázku 4.8. V horní části okna se nachází rozbalovací prvek obsahující seznam dostupných COM portů v počítači. Tento seznam je možné obnovit stiskem tlačítka pro



Obrázek 4.7: Vývojový diagram vlákna pro příjem dat

obnovení s ikonou dvou zelených šipek. Pokud není k počítači připojeno žádné zařízení pomocí COM portu, není možné provést pokus o připojení ani další nastavení.



Obrázek 4.8: Panel pro nastavení parametrů komunikace

Připojení k vybranému COM portu se provede stiskem tlačítka "Connect to COM port". V případě úspěšného připojení k zvolenému COM portu, dojde ke změně popisu tlačítka na "Disconnect" a je možné provést nastavení bezdrátové komunikace. Tlačítka "RX Mode" a "TX Mode" slouží k nastavení režimu příjmu dat z monopostu v případě tlačítka "RX Mode" a nastavení režimu vysílání dat do monopostu v případě tlačítka "TX Mode". Režim příjmu dat je nastaven automaticky po startu aplikace. Pro příjem dat z monopostu není nutné provádět nastavení v aplikaci.

Pokud je komunikace na využívaném komunikačním kanálu nespolehlivá je možné změnit komunikační kanál. To se provádí nastavením režimu pro vysílání dat do monopostu "TX Mode", zvolením požadovaného kanálu ve výběrovém poli a stisknutím tlačítka pro změnu komunikačního kanálu jednotky v monopostu "Car Ch". Po vykonání příkazu se ve volném prostoru mezi tlačítky zobrazí zpráva o úspěšnosti vykonání požadované operace.

Změnou komunikačního kanálu jednotky v monopostu dojde ke ztrátě komunikace. Pro opětovné navázání komunikace je nutné provést změnu komunikačního kanálu v připojeném zařízení stisknutím tlačítka "PC Ch". Po vykonání příkazu se ve volném prostoru mezi tlačítky zobrazí zpráva o úspěšnosti vykonání požadované operace. Na závěr je nutné opět nastavit režim příjmu dat z monopostu stiskem tlačítka "RX Mode".

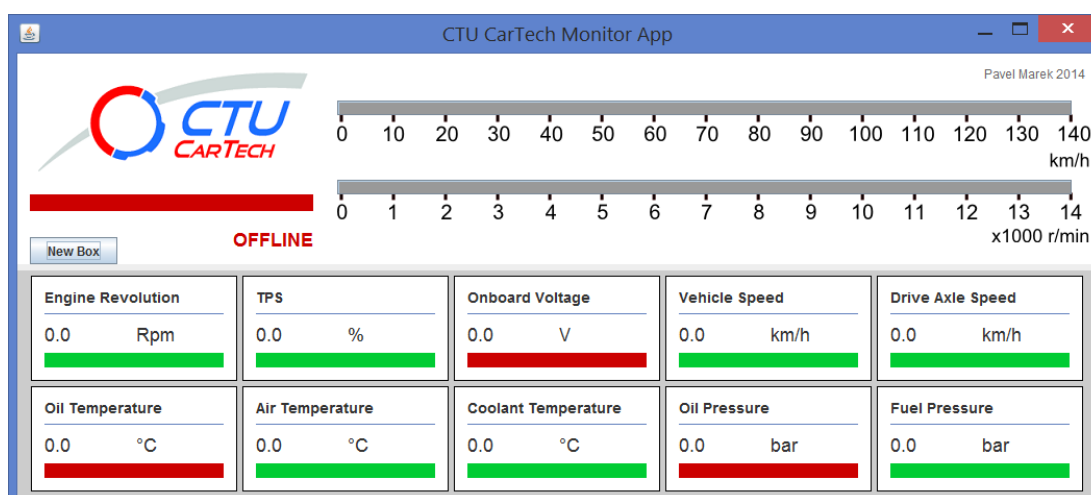
Stiskem tlačítka "Online Monitor" dojde k otevření hlavního zobrazovacího panelu.

Hlavní zobrazovací okno

Hlavní zobrazovací okno je určeno pro přehledné zobrazení veličin z monopostu v uživatelsky přívětivé formě. Okno je opticky rozděleno na dvě hlavní části. Horní část obsahuje logo týmu CTU CarTech a informativní popis o stavu bezdrátového spojení doplněný o barevnou signalizaci. Zelená barva a nápis "ONLINE" značí, že data odesílaná z monopostu se daří číst a zpracovávat, naopak nápis "OFFLINE" podpořený červenou barvou značí, že nejsou přijímána žádná data. V pravé části jsou umístěny zobrazovací lišty se stupnicí pro zobrazení rychlosti monopostu a otáček motoru.

Dolní část grafického provedení aplikace obsahuje uživatelské panely jednotlivých veličin. Uživatelské panely obsahují název veličiny, naměřenou a přenesenou hodnotu, jednotku veličiny a barevný indikátor určující povolený rozsah měřené veličiny. Kliknutím na panel je vyvoláno okno pro nastavení parametrů. Panely je možné libovolně přidávat tlačítkem "New Box" umístěným v levé části hlavního zobrazovacího panelu.

Při procesu vypnutí aplikace dojde k uložení aktuálního nastavení uživatelských panelů včetně nově přidaných. Při startu aplikace dochází k jejich načtení a zobrazení. Ukládání je realizováno do textového souboru config.txt. Pokud není soubor k dispozici, je vytvořen nový. Hlavní zobrazovací okno je uvedeno na obrázku číslo 4.9.

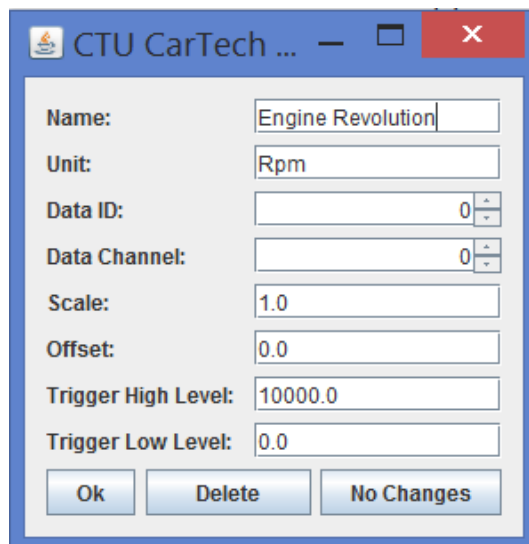


Obrázek 4.9: Hlavní zobrazovací okno s deseti uživatelskými panely

Nastavení parametrů uživatelských panelů

Uživatelské panely jsou nastavitelné v grafickém prostředí. Kliknutí na požadovaný panel aktivuje otevření okna pro nastavení parametrů nebo smazání označeného panelu. Jednotlivé parametry je možné přepsat v připravených textových polích. Lze upravit

zobrazovaný název uživatelského panelu a jednotku měřené veličiny. Okno je na obrázku číslo 4.10.



Obrázek 4.10: Okno nastavení parametrů uživatelských panelů

Výběr veličiny pro měření je proveden pomocí dvou parametrů "Data ID" a "Data Channel". Hodnoty identifikátorů (ID) v aplikační vrstvě a na CAN sběrnici se liší, jejich převodní vztah je uveden v tabulce ???. V kapitole o vlastní aplikační vrstvě 2.5 je zároveň popsáno přidání identifikátoru pro analogové vstupy. Výběrem kanálu "Data Channel" se vybírá, která dvojice bajtů bude čtena. Například výběr "Data ID" 0 a "Data Channel" 0 dle převodní tabulky znamená, že data budou čtena z prvních dvou bajtů (bajt 0, 1) CAN zprávy s identifikátorem 768.

Přijatá data jsou ve většině případů hodnota z analogově digitálního převodníku, která je přímo úměrná hodnotě měřené veličiny. Zobrazení veličiny ve zvolené fyzikální jednotce vyžaduje přepočtení surových dat. Přepočtení je realizováno dvěma vstupními parametry "Scale" a "Offset". Parametrem "Scale" je vynásobena přijatá hodnota. Výslednou hodnotu tvoří součet provedené součinu a parametru "Offset".

Pro nastavení barevného indikátoru určujícího povolený rozsah měřené veličiny jsou připraveny pole "Trigger High Level" pro nastavení horní úrovně přepnutí do varovné červené barvy a "Trigger Low Level" pro nastavení dolní úrovně přepnutí do varovné červené barvy. Pokud je hodnota veličiny mezi nastavenými spouštěcími úrovněmi, je nastavena zelená barva indikátoru.

4.2.3 Distribuování aplikace

Aplikace, která je napsána v multiplatformním programovacím jazyce Java, je spustitelná na většině hardwarových platform a většině operačních systémů. Nutnou podmínkou pro spuštění je přítomnost Java Virtual Machine (JVM) na hostitelském zařízení. JVM je distribuována společně se sadou standardních knihoven Java API. Tento celek je poskytován pod názvem Java Runtime Environment (JRE) a na webu Oracle [13] je ke stažení připraveno několik distribucí pro různé platformy.

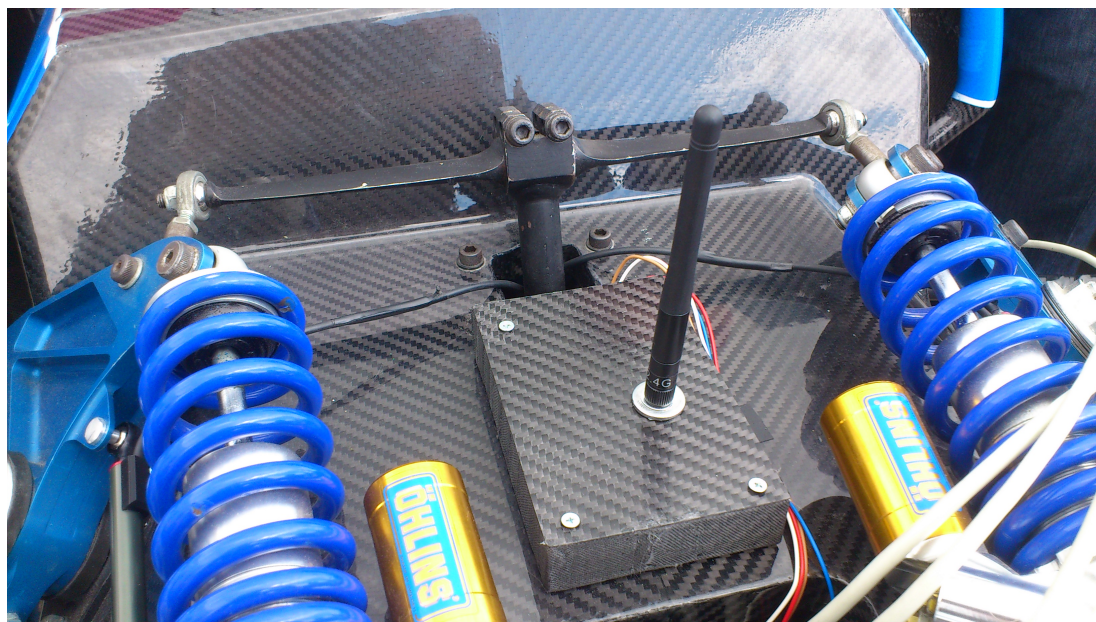
Soubor spustitelný v JVM má příponu .jar a vytvoří se při kompilování zdrojového kódu. Kompilátor vytvoří složku s názvem "dist" v adresáři projektu, která obsahuje spustitelný soubor .jar, v případě této bakalářské práce je vytvořen spustitelný soubor CTUapp.jar. Knihovna pro ovládání COM portu nepatří mezi standardní knihovny obsažené v Java API, proto ji kompilátor přiloží do podadresáře "lib", který je součástí adresáře "dist". Součástí adresáře je konfigurační soubor config.txt, který slouží pro ukládání změn uživatelských panelů. Pokud není konfigurační soubor v adresáři přiložen, aplikace si vytvoří nový. Pro distribuování aplikace do jiného počítače je potřeba přenést celou složku "dist".

Nainstalováním Java Runtime Environment a přenesením všech souborů ve složce "dist" je aplikace připravena k běžnému spouštění obvyklými způsoby operačních systémů. Komunikace aplikace s PC modulem připojeným po USB sběrnici je možná až po nainstalování ovladačů pro virtuální COM port. Instalace ovladačů zařízení proběhne automaticky po připojení na USB sběrnici, ověřeno na systémech Windows 8 a Windows 7.

Kapitola 5

Reálné testování v monopostu

Pro ověření použitelnosti zařízení pro bezdrátový přenos kritických dat z monopostu, bylo provedeno reálné testování přímo na monopostu FS.05. Vysílací zařízení bylo vloženo do ručně vyrobené karbonové krabičky a umístěno mezi tlumiče přední nápravy vozu FS.05. Umístění vysílacího modulu s připojenou anténou je na obrázku číslo 5.1.



Obrázek 5.1: Vysílací modul v karbonové krabičce mezi tlumiči

Testování vozu proběhlo na letištní ploše v Panenském Týnci u Loun. Zde byla připravena trať na ploše přibližně 180 x 30 m pro různorodá testování. Příjímací modul

umístěný na střeše osobního vozidla, byl připojen USB kabelem k počítači uvnitř vozu. Situace reálného testu dosahu je zobrazena na obrázku číslo 5.2.



Obrázek 5.2: Situace reálného testu dosahu

Při testu byl přenášén kompletní výčet hodnot, všech 64 dvoubajtových hodnot ze sběrnice CAN a 6 dvoubajtových hodnot z analogových vstupů. V průběhu testování monopostu na připravené trati se neobjevil problém s nedostatečným dosahem zařízení. Zároveň byla ověřena dostatečná rychlost přenosu při sledování plynulé a včasné změny otáček motoru při přidání plynu. Vzhledem k faktu, že při běžném testování vozu, bývá testovací trať podobné velikosti, je zařízení dobře použitelné. Závodní tratě bývají rozlehlejší a proto jsou možné výpadky přenosu. Počítačová aplikace je na výpadky připravena a zobrazuje aktuální stav přenosu.

Kapitola 6

Závěr

Systémy bezdrátového přenosu dat z vozu jsou v současné době nedílnou součástí automobilových závodů. Podobný požadavek byl vznesen i v týmu CTU CarTech Combustion, který se účastní s vozem formulového typu soutěží Formula Student/SAE. Vzhledem k nekompatibilitě zařízení pro bezdrátový přenos se stávající řídicí a záznamovou elektronikou, bylo rozhodnuto pro vytvoření vlastního systému pro bezdrátový přenos dat z monopostu.

S přihlédnutím k menší rozloze závodních tratí soutěže Formula Student/SAE byly vybrány cenově dostupné moduly pro bezdrátovou komunikaci NRF24L01 + PA + LNA, které disponují přenosovou rychlostí 250 kbps a pracují na nominální frekvenci 2,4 GHz. Moduly využívající protokol ShockBurstTM obsahuje adresaci paketu, ale, jak se později ukázalo, neimplementuje protokol snímání přítomnosti provozu na daném kanálu CSMA. Tento fakt byl vyřešen umožněním uživatelské změny zarušeného kanálu na jiný, na kterém se bude pokračovat v komunikaci.

Pro vlastní návrh elektroniky do monopostu byl zvolen mikropočítač STM32F407, neboť se v týmu již využívá a cílem je integrovat různé projekty do jednoho zařízení. Sběr dat ze senzorů ve voze je zajištěn pomocí dvou sběrnic CAN, sběrnici SMBUS a šesti analogovými vstupy. Zařízení obsahuje slot pro SD kartu, připravený pro další vývoj.

Zařízení vlastního návrhu připojené pomocí USB sběrnice k počítači, slouží pro příjem dat z monopostu a odesílání do počítače, využívá mikropočítač STM32F100 a USB/UART převodník FT232RL. Aplikace, která je napsána multiplatformním programovacím jazykem Java, zobrazuje přijaté hodnoty v uživatelsky modifikovatelných panelech, s možností nastavení indikace překročení maximální nebo minimální hodnoty.

Reálné testování v monopostu ukázalo použitelnost zařízení pro bezdrátový přenos v týmu CTU CarTech Combustion, neboť na vytyčené testovací trati na ploše 180 x 30 m

nebyl dlouhodobý problém s dosahem komunikace a při sledování změn otáček motoru docházelo k včasné a plynulé aktualizaci zobrazované hodnoty. V případě rozlehlejších závodních tratí může docházet k přerušení komunikace, proto je aplikace vybavena indikátorem stavu komunikace.

Tato bakalářská práce se může stát základem pro zařízení, které ke sledování vozu v reálném čase přidá ukládání a zpracování přenesených. Toto rozšíření ovšem klade mnohem vyšší nároky na zabezpečení přenosu proti ztrátám paketů a na maximální komunikační vzdálenost.

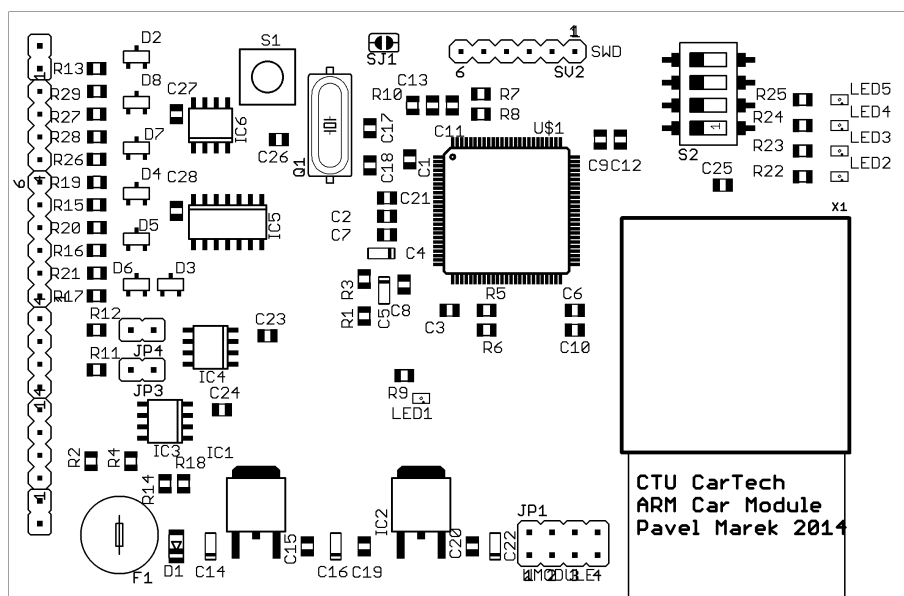
Literatura

- [1] Institution of Mechanical Engineers: *Formula Student [online]*. © 2013, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.formulastudent.com> [str. 1]
- [2] CTU CarTech Combustion: FS.06 koncept, 2014, nepublikovaný dokument. [str. 2]
- [3] McLaren Applied Technologies Ltd: *McLaren Applied Technologies - Products [online]*. © 1988-2014, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.mclarenelectronics.com/> [str. 2, 3]
- [4] Autosport Labs: *RaceCapture Real-Time telemetry [online]*. © 2014, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.autosportlabs.com/product/racecapture-real-time-telemetry/> [str. 2, 4]
- [5] Digi International Inc: *Embedded Wireless and Wired Solutions [online]*. © 1996-2014, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/> [str. 8]
- [6] Nordic Semiconductor: *NRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification v1.0 [online]*. srpen 2008, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P/> [str. 12, 13, 14]
- [7] ElecFreaks: *nRF24L01 Module Demo for Arduino [online]*. 6.5.2011, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.electfreaks.com/203.html> [str. 11]
- [8] Michael Duck, Peter Bishop a Richard Read: *Data Communications for Engineers*, kapitola 1.6 OSI reference model, 9.1.5 Carrier sense multiple access. Padstow: T.J. Press Ltd., 1996, ISBN 0-201-42788-5, s. 12 – 14, 160–161. [str. 15]
- [9] ST Microelectronics: *Datasheet STM32F407xx [online]*. červen 2013, [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037051.pdf> [str. 20]

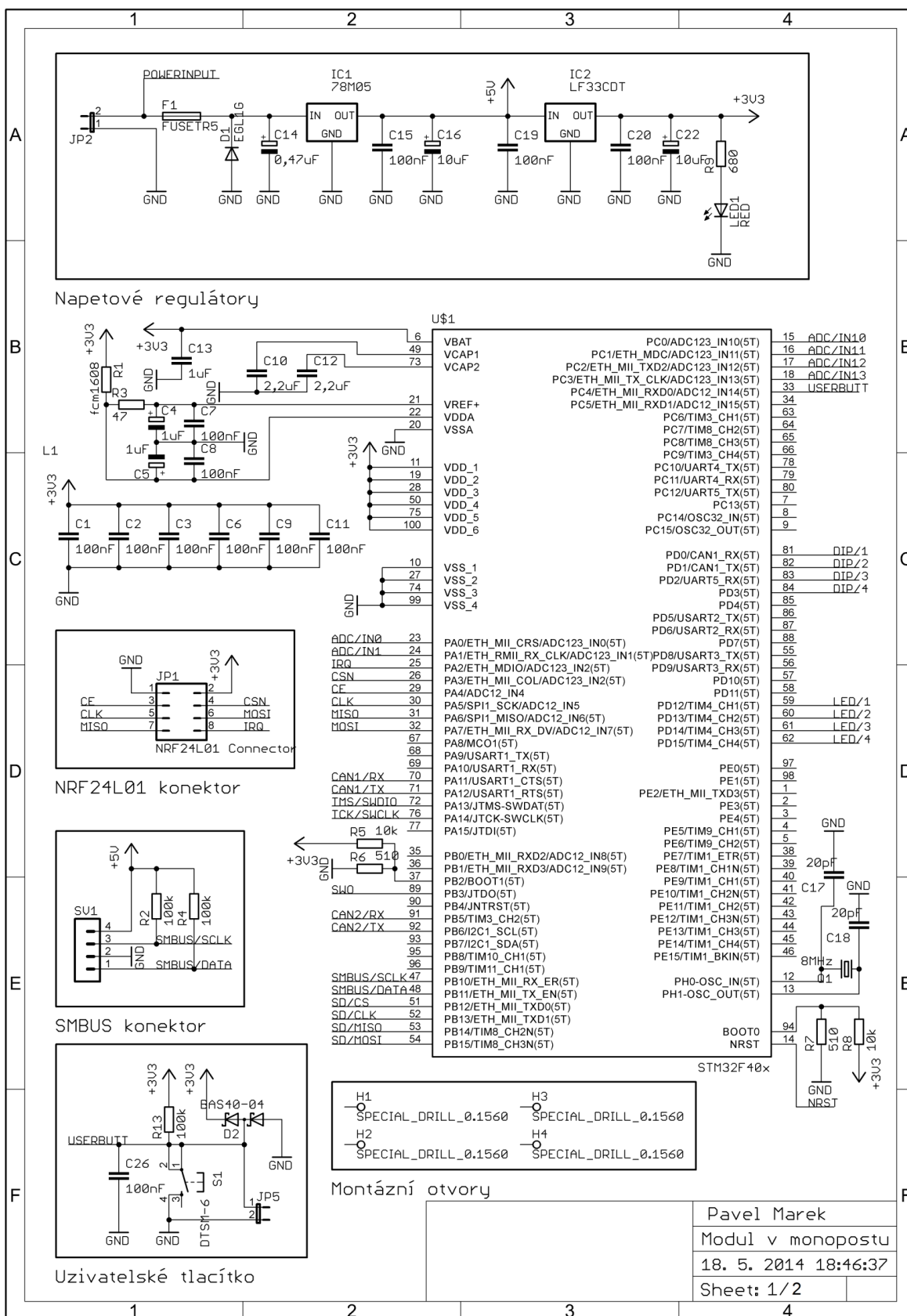
- [10] Michal Sojka a Jiří Kubias: Stavový automat, 2013, nepublikovaný dokument. [str. 23, 33]
- [11] ST Microelectronics: *Datasheet STM32F100x [online]*. červen 2012, [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00251732.pdf> [str. 30]
- [12] scream3r.org@gmail.com: *jSSC - java serial port communication library*. červen 2013, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <https://code.google.com/p/java-simple-serial-connector/> [str. 36]
- [13] Oracle: Java SE Runtime Environment 8 Downloads. 2014, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jre8-downloads-2133155.html> [str. 41]

Příloha A

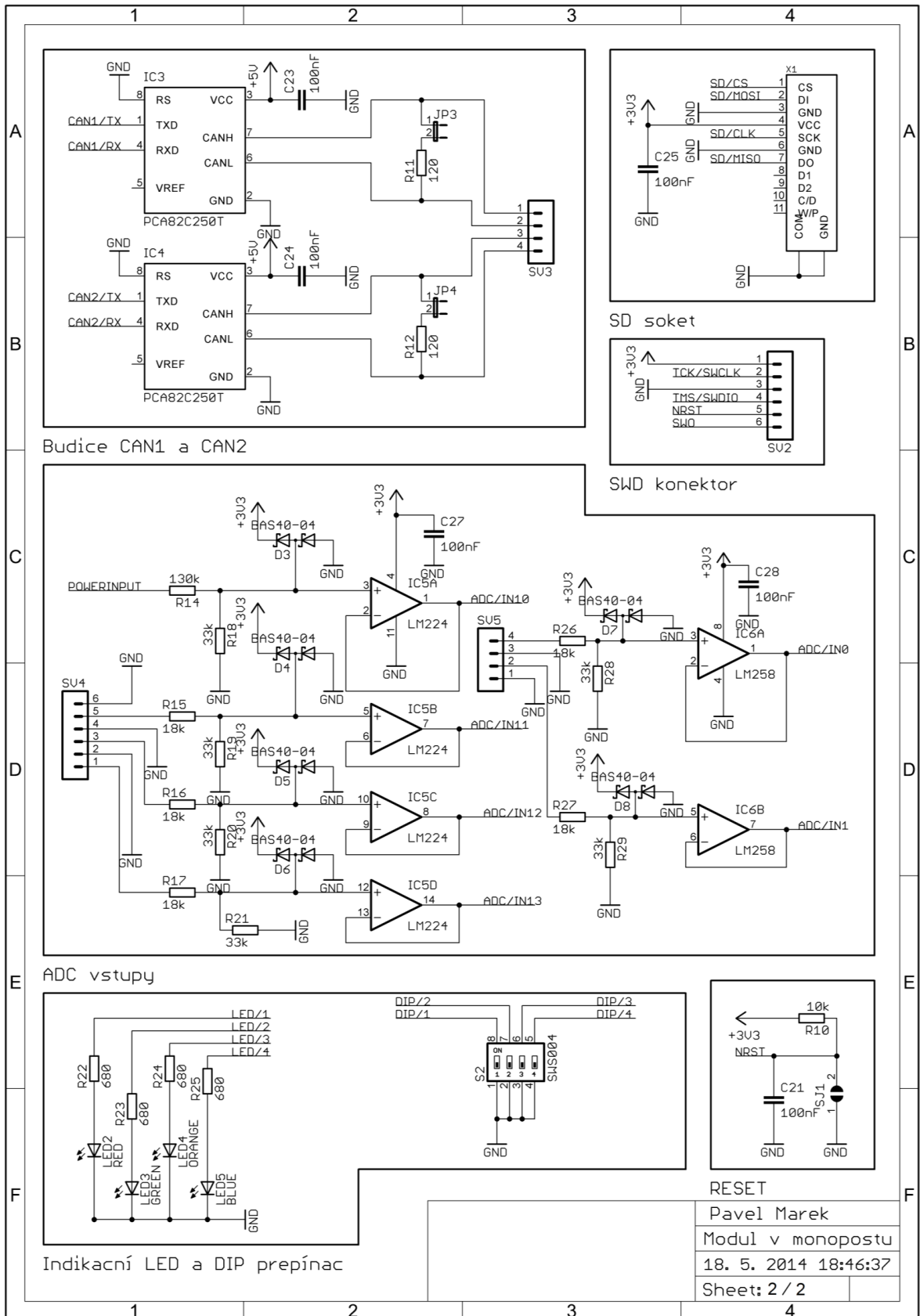
Rozmístění součástek a schéma modulu v monopostu



Obrázek A.1: Rozmístění součástek na desce plošných spojů



Pavel Marek
 Modul v monopostu
 18. 5. 2014 18:46:37
 Sheet: 1/2



Budice CAN1 a CAN2

SD soket

SWD konektor

ADC vstupy

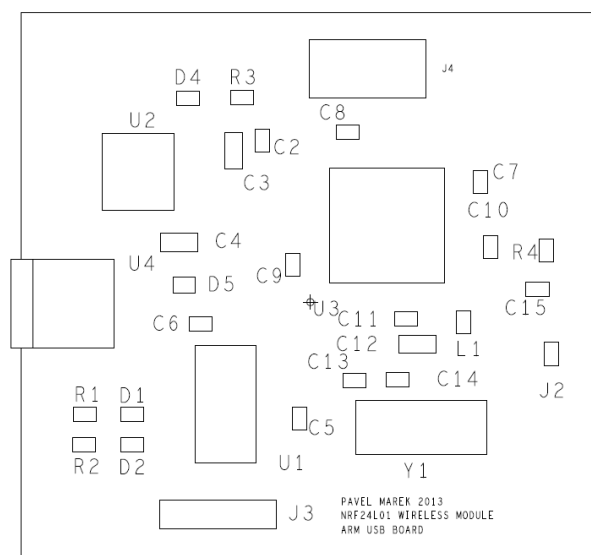
Indikacní LED a DIP prepínac

RESET

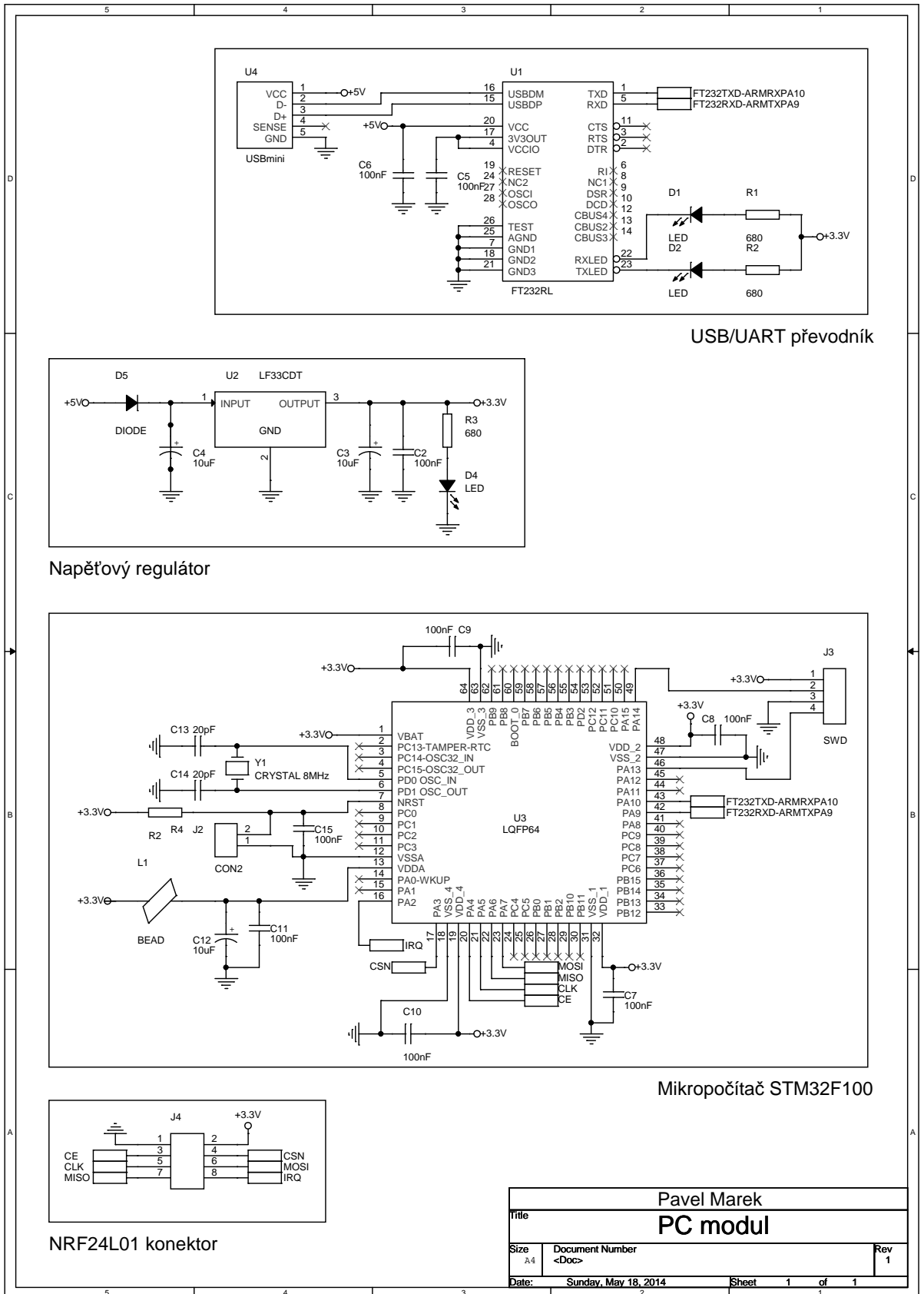
Pavel Marek
 Modul v monopostu
 18. 5. 2014 18:46:37
 Sheet: 2 / 2

Příloha B

Rozmístění součástek a schéma PC modulu



Obrázek B.1: Rozmístění součástek na desce plošných spojů



| | | |
|-------------------------------|--------------------------|----------|
| Pavel Marek | | |
| Title PC modul | | |
| Size A4 | Document Number <Doc> | Rev 1 |
| Date: Sunday, May 18, 2014 | Sheet 1 | of 1 |

Příloha C

Obsah přiloženého CD

| | |
|------------------------------|--|
| CarModule | složka se soubory modulu v monopostu |
| ├─ Atollic | složka obsahující zdrojové kódy |
| ├─ Eagle..... | složka obsahující návrh desky plošných spojů |
| ─ DataSheets..... | složka obsahující katalogové listy |
| ─ PCApp..... | složka se soubory aplikace |
| ├─ dist..... | složka obsahující spustitelnou aplikaci |
| ├─ NetBeans | složka obsahující zdrojové kódy |
| ─ PCModule..... | složka se soubory PC modulu |
| ├─ Atollic | složka obsahující zdrojové kódy |
| ├─ OrCad..... | složka obsahující návrh desky plošných spojů |
| ─ bakalarska_prace.pdf | bakalářská práce ve formátu pdf |
| ─ readme.txt..... | soubor s popisem obsahu na CD |

