



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra mikroelektroniky

Systém ražení pro orientační běh v síti LoRa se strojovou inteligencí

**Orienteering Punching System Based on LoRa Network
with Machine Intelligence**

Diplomová práce

Studijní program: Elektronika a komunikace

Studijní obor: Aplikovaná elektronika

Vedoucí práce: Ing. Adam Bouřa, Ph.D.

Karel Setnička

Praha 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a použil jsem literaturu uvedenou v příloženém seznamu.

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

V Praze dne 14. 8. 2019

.....



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky

Student: **Setnička Karel**
Osobní číslo: **425056**
Studijní program: **Elektronika a Komunikace**
Obor: **Aplikovaná elektronika**
Název práce: **Systém ražení pro orientační běh v síti LoRa se strojovou inteligencí**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou návrhu napájení mobilních zařízení [1], čtení a zápisu dat pomocí technologie NFC a přenosu informace pomocí technologie LoRa [2]. Prostudujte metody strojového učení pro účely analýzy dat.
2. Navrhněte systém pro kontrolu ražení při orientačních závodech. Systém bude obsahovat několik zařízení pro kontrolní stanoviště, základnovou stanici a NFC karty pro závodníky. Každý prvek systému bude mít vyřešené napájení, bude umět číst/zapisovat NFC karty a bude připojen do společné bezdrátové sítě pomocí technologie LoRa. Navrhněte mechanismus přenosu průběžných výsledků závodu mezi kontrolními stanovišti a základnovou stanicí pomocí technologie LoRa.
3. Otestujte funkčnost, dosah a spolehlivost navrženého mechanismu přenosu informací. Navrhněte způsob analýzy průběžných dat pomocí algoritmů strojového učení pro odhad výsledků závodu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Linear Technology Corporation, „LTC4120 - Wireless Power Receiver and 400 mA Buck Battery Charger“, datasheet, 2013, URL: <http://www.linear.com/docs/43861>
- [2] Hac, A.: Wireless sensor network design, John Wiley & Sons, Ltd, 2003, ISBN 0-470-86736-1
- [3] Mann, B.: C pro mikrokontroléry, 1. Vydání, Praha 2003, Nakladatelství BEN – technická literatura, ISBN 80-7300-077-6

Vedoucí: **Ing. Adam Bouřa, Ph.D.**

Termín odevzdání diplomové práce: 15. 8. 2019 Platnost zadání: 20. 9. 2020

L.S.

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.
vedoucí katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
děkan

V Praze dne 28. 1. 2019

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat panu Ing. Adamu Bouřovi, Ph.D. za jeho vedení mé diplomové práce, cenné rady, vstřícnost, odborný dohled a přístup do vybavené laboratoře.

Mé velké poděkování patří společnosti Conrad.cz. Především za poskytnutí materiálu k výrobě celého systému ražení, dále pak za zapůjčení profesionálního vybavení například pro pájení, či 3D tisk.

Jménem spolku SOBSA také děkuji společnosti Conrad.cz za hodnotné ceny, které věnovala do závodu Oplanská Bloudička, konaného dne 15. 6. 2019 v Oplanech.

Another thanks belongs to Professor Taesup Moon, Ph.D. from Sungkyunkwan University in Korea. He gave me the opportunity to cooperate with him for a short time. His major is machine learning, so he advised me about that part of this thesis.

Abstrakt

Práce se zabývá komplexním návrhem elektronického systému ražení pro orientační běh. Při orientačním běhu musí závodník navštívit povinné kontrolní body a zaznamenat svou návštěvu. Elektronické systémy ražení existují, ale mají své nevýhody. Kromě vysoké pořizovací ceny neumožňují komunikaci jednotlivých kontrol během závodu. Navíc organizátor zpravidla nemůže sám vyměnit baterie, což komplikuje dlouhodobé používání. V práci je navržen nový systém ražení využívající technologii NFC a běžně dostupné čipové karty pro závodníky. Napájení je vyřešeno výměnnými AAA akumulátory v kombinaci se solárním článkem. Jednotlivá zařízení umožňují vzájemnou komunikaci na velké vzdálenosti pomocí technologie LoRa. Všechna zařízení jsou uzavřena do krabiček, což je činí odolnými vůči povětrnostním vlivům. Systém sestává z dvaceti takových zařízení a z obslužného software v prostředí Matlab. Software umí zpracovat výsledky a také je odhadovat, pomocí algoritmů strojového učení.

Klíčová slova:

Orientační běh, vestavěný systém, NFC, LoRa, strojové učení

Summary

This thesis describes design process of electronic punching system for orienteering run. During orienteering race, every competitor has to record every checkpoint on his way. Electronic punching systems already exists, however those have some disadvantages. Along with the high cost, there is no communication between checkpoints. In addition, owner usually cannot replace batteries himself. That complicates a long time use. In this thesis, you can find design of a new system, which is using NFC technology with ordinary chip cards for competitors. The devices are powered by replaceable, rechargeable AAA batteries. Furthermore, there is a solar panel to recharge the batteries. All devices are communicating, using LoRa wireless technology. Each device is encased in a box, which makes it durable in outside conditions. System consists of 20 devices and PC operating software in Matlab. This software is able to process results of a race and also predict them, using machine learning.

Index Terms:

Orienteering, Embedded system, NFC, LoRa, Machine Learning

Obsah

SEZNAM ZKRATEK	VII
SEZNAM OBRÁZKŮ	VIII
ÚVOD	1
1 PROBLEMATIKA A POUŽITÉ PROSTŘEDKY	2
1.1 ORIENTAČNÍ BĚH.....	2
1.2 SYSTÉMY RAŽENÍ.....	2
1.2.1 <i>Tištěné průkazy</i>	3
1.2.2 <i>Elektronický systém ražení</i>	3
1.3 VESTAVĚNÝ SYSTÉM.....	5
1.3.1 <i>Klíčové charakteristiky</i>	5
1.3.2 <i>Architektura</i>	6
1.3.3 <i>Zařízení pro Internet věcí (IOT)</i>	6
1.3.4 <i>Správa napájení</i>	7
1.4 VYBRANÉ BEZDRÁTOVÉ TECHNOLOGIE.....	9
1.4.1 <i>NFC</i>	9
1.4.2 <i>Lora</i>	11
1.5 STROJOVÉ UČENÍ.....	14
2 NÁVRH A REALIZACE	16
2.1 NÁVRH ZAŘÍZENÍ KS.....	17
2.1.1 <i>Návrh DPS</i>	17
2.1.2 <i>Použité integrované obvody a moduly</i>	18
2.1.3 <i>Napájení zařízení</i>	20
2.1.4 <i>Návrh krabičky</i>	21
2.2 PROGRAM MIKROKONTROLÉRU.....	22
2.2.1 <i>Hlavní programová smyčka</i>	22
2.2.2 <i>Obsluha čipů a modulů</i>	23
2.2.3 <i>Ražení</i>	24
2.2.4 <i>LoRa bezdrátová síť</i>	25
2.3 OBSLUHA SYSTÉMU V MATLABU.....	26
2.3.1 <i>Uživatelské rozhraní</i>	26
2.3.2 <i>Strojové učení</i>	27
3 TESTOVÁNÍ	29
3.1 MĚŘENÍ SPOTŘEBY.....	29
3.2 LORA PŘENOS.....	30
3.3 ZKUŠEBNÍ OB ZÁVOD.....	31
4 MOŽNÁ VYLEPŠENÍ	33
ZÁVĚR	35
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	36
SEZNAM PŘÍLOH	38

Seznam zkratek

A/D	Převodník analogového signálu na digitální
AA, AAA	označení velikosti a tvaru různých baterií
AKU	Akumulátor
BLE	Nízkoenergetický standard Bluetooth technologie (<i>Bluetooth Low Energy</i>)
BW	Šířka pásma (<i>Bandwidth</i>)
CR.....	Kódovací rychlost
ČR.....	Česká Republika
DBPSK	Klíčování fázovým posuvem (<i>Differential Bipolar Phase-shift keying</i>)
DC	Stejnoseměrný proud / napětí
DIL	Pouzdro integrovaného obvodu s montáží skrz DPS (<i>Dual in line</i>)
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
DPS.....	Deska plošných spojů
DVD	Optický datový disk (<i>Digital Versatile Disc</i>)
EEPROM.....	Elektronicky vymazatelná paměť pouze pro čtení
GSM	Globální standart mobilní komunikace (<i>Groupe Spécial Mobile</i>)
I/O.....	Vstupní a výstupní porty
I2C.....	Dvou vodičová komunikační sběrnice (<i>Inter-Integrated Circuit</i>)
IOT	Internet věcí (<i>Internet of Things</i>)
ISM.....	Volné, nelicencované rádiové pásmo (<i>industrial, scientific and medical</i>)
KS.....	Kontrolní stanoviště
LED	Světlo vyzařující dioda (<i>Light Emitting Diode</i>)
LoRa	Obchodní značka firmy Semtech pro typ modulace (<i>Long Range</i>)
LoRaWan	Světová síť využívající LoRa modulaci (<i>LoRa wide area network</i>)
M. IN. D.	Název laboratoře pana profesora Moona v Jižní Koreji
NFC	Bezdrátová komunikace vycházející z RFID (<i>Near Field Communication</i>)
NiMh	Nikl-metal hydridový akumulátor
NPN, PNP.....	Typy bipolárních polovodičového transistoru (<i>písmena určují pořadí vrstev</i>)
OB	Orientační běh
ORIS.....	Informační systém Českého svazu orientačních sportů
PIC.....	Jednočipový mikrokontrolér, obchodní název formy Microchip
PLA	Typ materiálu pro 3D tisk
PWM	Pulsně šířková modulace (<i>Pulse Width Modulation</i>)
RFID.....	Identifikátory využívající radiové vlny (<i>Radio Frequency Identification</i>)
RISC.....	Počítač s malou sadou strojových instrukcí (<i>Reduced Instruction Set Computer</i>)
RMSE.....	Střední kvadratická odchylka / chyba (<i>Root mean squared error</i>)
RTC	Obvod se zdrojem reálného času (<i>Real time clock</i>)
SF	Koeficient rozprostření spektra (<i>Spreading faktor</i>)
SMD	Součástka pro povrchovou montáž (<i>Surface Mount Device</i>)
SOBSA	Spolek organizátorů bankovních sportovních akcí
SPI.....	Sériové periferní rozhraní (<i>Serial Peripheral Interface</i>)
UART.....	Asynchronní datová linka (<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>)
UID, NUID.....	Unikátní identifikátor, NUID – Neunikátní (<i>Unique Identifier</i>)
USB	Univerzální sériová sběrnice (<i>Universal Serial Bus</i>)
WiFi.....	Standart bezdrátové komunikace v počítačových sítích podle IEEE 802.11

Seznam obrázků

Obr. 1	Ukázka mapy pro OB s popisky, výřez mapy [2] doplněn o trat' a popisky	2
Obr. 2	Tištěný průkaz, kleště pro ražení a ukázka tvaru raznic, podle [4]	3
Obr. 3	Emit: Průběh ražení kontroly, Karty pro závodníky, Záložní systém, zdroj [5] ...	4
Obr. 4	SprotIdent: Jednotka kontroly, čip pro závodníka, probíhající ražení, zdroj [6]...	4
Obr. 5	Obecná architektura vestavěného systému, přeloženo z [11].....	6
Obr. 6	Blokové schéma napájení vestavěného systému	7
Obr. 7	Ukázka principu NFC komunikace mezi dvěma zařízeními, přeloženo z [16].....	9
Obr. 8	Časová a frekvenční analýza generování vysílaného signálu, přeloženo z [16] .	10
Obr. 9	Struktura paměti Mifaire Classic s50 s kapacitou 1 KB, vytvořeno podle [18]..	11
Obr. 10	Signál chirp v časové a spektrální oblasti s modulací a bez, převzato z [23].....	12
Obr. 11	Uspořádání LoRaWan sítě, přeloženo z [21].....	13
Obr. 12	Strojové učení: S dohledem – regrese, klasifikace, Bez dohledu - klastrování...	14
Obr. 13	Funkční schémata algoritmů: Neuronová síť, Náhodný les	15
Obr. 14	Blokové schéma systému ražení.....	16
Obr. 15	Fotografie celého systému ražení i s transportním kufříkem	16
Obr. 16	Blokové schéma zařízení KS	17
Obr. 17	DPS z programu PCB Visualizer (vrchní pohled, spodní pohled)	18
Obr. 18	Fotky součástek. Zleva: MFRC522, LoRa Ra-02, anténa LoRa, DC-DC 3,3 V.	19
Obr. 19	Schéma zapojení samo-vypínacího obvodu	20
Obr. 20	Krabička: 3D návrh dolní a horní části, Vytisknuté obě části, Hotová krabička...	21
Obr. 21	Vývojový diagram celého programu pro mikrokontrolér	22
Obr. 22	Struktura 6-bajtového časového pole	23
Obr. 23	Struktura dat: (odshora) Sektor s hlavičkou, Sektor s ražením, Jedno ražení	24
Obr. 24	Struktura LoRa paketu.....	25
Obr. 25	Ukázka směrování v mé LoRa síti.....	25
Obr. 26	Grafické rozhraní (hlavní okno, registrace, výsledky, LoRa), větší v příloze.....	26
Obr. 27	Průběh odběru elektrického proudu zařízení KS na osciloskopu ($R = 1,1\Omega$)	29
Obr. 28	Zdeformovaná stěna držáku baterií po závodě	32
Obr. 29	Osazená DPS zařízení KS s vyznačeným modulem DC-DC měniče.....	34

Úvod

Závody v orientačním běhu vyžadují systém pro kontrolu průchodů povinných bodů. Dříve se používali papírové průkazy v kombinaci s razítky, nebo děrovačkami. Podle toho se procesu označení kontroly říká ražení. Dnes se již místo papíru vesměs používají elektronické systémy ražení. Jsou to systémy SportIdent a EMIT. Existují však stále malé spolky, které pro svoje potřeby stále používají papírové průkazy, protože si nemohou dovolit již zmíněné elektronické systémy. Cílem této práce je vytvořit plně funkční systém ražení, který bude spolehlivě zaznamenávat ražení, a zároveň přidá nové funkce, které ostatní dnes používané systémy nemají.

Ražení v systému zajišťuje technologie NFC. Každému závodníkovi je přidělena NFC karta - konkrétně jde o velmi rozšířený a tím dostupný typ Mifaire Classic. Závodník na každém kontrolním stanovišti přiloží kartu ke krabičce. Ta na kartu zapíše unikátní identifikátor (UID) kontrolního stanoviště a aktuální přesný čas. Ten samý postup závodník provede i na startu a v cíli, z čehož se pak dopočítá jeho celkový čas. Po závodě přiloží kartu na čtecí zařízení, které je připojeno k počítači, čímž nahraje své časy a ražení.

Oproti stávajícím elektronickým systémům můj systém navíc přináší možnost bezdrátové komunikace na dlouhé vzdálenosti. K tomu používám technologii LoRa. Tato technologie je vhodná především pro senzory a jiná zařízení, která vysílají málo dat na velké vzdálenosti a vyžadují nízkou spotřebu elektrické energie. Můj systém bude bezdrátově přenášet údaje z každého ražení do základnové stanice, kde bude možné sledovat průběžné výsledky. Nenastane-li problém, je možné eliminovat nutnost číst fyzicky karty závodníků. Karty zůstanou jako záložní médium. Pokud organizátor nepoužije LoRa síť, tak médium jediné.

V práci jako první vysvětlím orientační běh, popíši mě známé systémy ražení. Dále rozeberu veškeré použité prostředky, jako například bezdrátové technologie LoRa a NFC, nebo některé metody strojového učení. V druhé části se dostanu k samotné realizaci systému ražení. Tato část je rozdělena na návrh hardware, software a zpracování dat. Dále se věnuji testům systému, včetně zkušebního závodu pro více než 200 lidí, kde jsem systém nasadil a získal zpětnou vazbu od závodníků. V závěru navrhnou některá vylepšení systému.

1 Problematika a použité prostředky

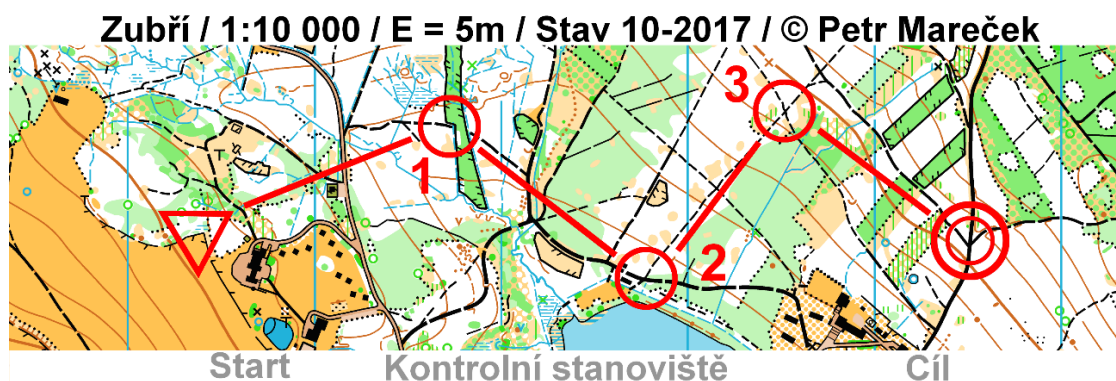
1.1 Orientační běh

Obecně orientační sport je závod na rychlost, při kterém závodník musí prokázat schopnost orientace podle mapy a kompasu. Pořádají se závody na kolech nebo na lyžích, ale nejrozšířenější variantou je orientační běh (OB). Závodníci se při orientačním běhu snaží co nejrychleji zdolat trať tvořenou jednotlivými kontrolami. Každý závodník dostane podrobnou mapu terénu s vyznačenými kontrolami. Tento sport není jen o rychlosti, ale i o schopnosti orientace v terénu, protože trasu si každý závodník volí sám podle mapy. Někteří zvolí raději jasnou trasu po cestách, což stojí závodníka hodně sil. Jiní raději proběhnou lesem nejkratší trasou s vyšším rizikem ztráty orientace.

Dnešní pravidla definují orientační běh takto:

„Orientační běh je sport, jehož podstatou je spojení vlastního pohybu s orientací v neznámém terénu. Závodníci při něm za pomoci mapy a buzoly absolvují závodní trať určenou startem, kontrolami a cílem. Závodník se během svého výkonu pohybuje vlastními silami libovolným terénem, omezen může být příkázanými povinnými úseky a zakázanými prostory. Cílem sportovního výkonu závodníka je absolvovat určenou závodní trať v co nejkratším čase.“ [1]

Podstatou OB je úspěšné nalezení všech kontrol, až po splnění této podmínky o vítězi rozhoduje čas běhu. Ti kdo vynechají jednu, či více kontrol jsou v oficiálních závodech diskvalifikováni. Pro ověření, zda závodník navštívil všechny kontroly, se využívá systém ražení. Dostupné systémy a jejich vlastnosti jsou popsány v následující kapitole.



Obr. 1 Ukázka mapy pro OB s popisky, výřez mapy [2] doplněn o trať a popisky

1.2 Systémy ražení

Základní funkce systému ražení je jednoznačně zkontrolovat úspěšné nalezení kontroly závodníkem. Každá kontrola musí mít svůj unikátní identifikátor, rozpoznatelný pořadatelem závodu. Data se určitou cestou musí dostat k pořadateli. Dosavadní systémy tuto zodpovědnost nechávají na závodníkovi. Ten ražení kontrol provádí na přenosné médium, které v cíli předá organizátorům. Toto médium by mělo být malé, dobře přenosné a odolné, aby bylo po závodě možné přečíst zapsaná data. Zároveň je důležitá rychlost a jednoduchost ražení, aby se závodník co nejméně zdržoval.

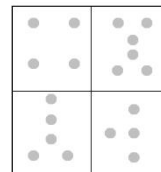
1.2.1 Tištěné průkazy

Většina závodů dnes využívá elektronický systém ražení, menší spolky však stále využívají tištěné průkazy. Do průkazů závodníci razí kontroly pomocí děrovacích kleštíček. Každé kleštíčky mají unikátní tvar raznice, čímž jsou jednotlivé kontroly odlišeny. Historicky se místo kleští používala razítka. Problémem však byla malá odolnost vůči vlhkosti. Mechanická odolnost papírových průkazů je problémem stále, lze ji ovšem zlepšit pokrytím průkazu průhlednou izolepou, což by v kombinaci s inkoustem nefungovalo. Pro běžné závody se v ČR papírové průkazy přestaly používat v roce 1998, kdy byl nasazen první elektronický systém ražení [3]. Pro malé spolky je systém průkazů stále atraktivní, protože nevyžaduje drahé vybavení a k vyhodnocení není potřeba výpočetní technika. Systém je zároveň stále používán jako záložní v případě poruchy elektronického systému. Mapy jsou stále papírové a vždy je na nich několik políček pro záložní ražení kleštěmi.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	R
Jméno:				Kategorie			čas v cíli:	
Odkud:				Věk			čas startu:	



Ukázka raznic



Obr. 2 Tištěný průkaz, kleště pro ražení a ukázka tvaru raznic, podle [4]

1.2.2 Elektronický systém ražení

První elektronický systém vyvinula společnost Regnly, která se později přejmenovala na Emit, ve spolupráci s Norskou a Švédskou federací orientačních sportů [5]. Šlo o převratný vynález, který eliminoval náročnou manuální kontrolu ražení na průkazech. Všechny elektronické systémy sdílejí následující:

- ✓ U každé kontroly je elektronická jednotka, provádějící ražení.
- ✓ Každý závodník má svůj paměťový čip.
- ✓ Čip komunikuje s jednotkou bezdrátově.
- ✓ Dostane-li se čip do dosahu jednotky, proběhne ražení.
- ✓ Během ražení je na čip zapsán identifikátor kontroly a aktuální čas.
- ✓ Po závodě se z čipu vyčtou a zkontrolují data.

Díky těmto vlastnostem odpadla ruční kontrola ražení. Díky zapsanému času ražení se závodník dozví své mezičasy na jednotlivých kontrolách a pořadatel může také zkontrolovat, v jakém pořadí závodník kontroly navštívil.

1.2.2.1 Systém EMIT

Čipy pro závodníky Ecard v sobě obsahují v baterii. První verze karet mohla spolehlivě fungovat 1 až 2 roky. Problémem bylo, že nikdo nevěděl, kdy přesně se baterie vybijí. Nové verze sice stále obsahují baterii, ale mají odhadovanou životnost 10 až 12 let. Daná životnost platí při použití pro maximálně 600 závodů. Zároveň je nutné po závodě kartu manuálně vypnout. Karta je opět aktivována přiložením k jednotce start při následujícím závodě. Ražení trvá pouhých 1/8 sekundy. Časová data jsou na kartě uložena s přesností 1/10 s. Karty disponují pamětí pro orážení 48 kontrol. Nejnovější verze je vybavena displejem, na kterém si závodník může prohlédnout své mezičasy ihned po závodě nebo i během něj.

Jednotky pro kontroly jsou rovněž vybaveny baterií a životnost se udává 8 až 10 let. Jednotka upozorňuje na konec životnosti, pokud zbývá méně než 14 dní. Existuje 140 identifikátorů pro kontroly. Každá jednotka má již naprogramovaný identifikátor. Součástí každé jednotky je záložní systém ražení. Na kartě se zespodu umístí plastem pokrytý papír, do kterého se při ražení automaticky prorazí unikátní tvar raznice. Kvůli tomu je nutné kartu vkládat přesně.



Obr. 3 Emit: Průběh ražení kontroly, Karty pro závodníky, Záložní systém, zdroj [5]

1.2.2.2 Systém SPORTident

Jedná se dnes o nejpoužívanější systém ražení a časoměry ve světě [6]. V zařízeních je kladen důraz na spolehlivost v náročných podmínkách, odolnost před manipulací s výsledky a rychlé a přesné vyhodnocení výsledků. Systém je založen na technologii RFID. Oproti systému EMIT jsou čipy pro závodníky menší a vejdou se na prst, čímž běžci nepřekáží. Čip se musí zasunout do otvoru v kontrolní krabici. Na druhou stranu nemá vestavěné záložní ražení. To je řešeno buď kleštičkami, kdy běžec razí do mapy, nebo číselným kódem.



Obr. 4 SportIdent: Jednotka kontroly, čip pro závodníka, probíhající ražení, zdroj [6]

Baterie v kontrole vydrží 3 až 7 let podle typu kontroly a četnost ražení. Aktivace probíhá přiložením jakéhokoliv čipu, deaktivace pak speciálním servisním čipem. Výdrž baterie se udává s tím, že po většinu času budou zařízení deaktivovaná. Čipy závodníků jsou pasivní.

Všechny typy kontrol mají ze spodní strany servisní displej. Signalizace orážení je jak akustická, tak vizuální. Některé modely disponují technologií Short Range Radio, která

umožňuje bezdrátový přenos ražení na vzdálenost 8 m [7]. Dále se nabízí modely, kde ražení probíhá pouhým přiblížením čipu na 3 m ke kontrole. Pro tuto funkci již musí být čipy závodníků aktivní s baterií. Tato metoda ražení se využívá například pro orientační sport na horských kolech. Zatím není tato metoda rozšířena na klasický OB, protože většina závodníků napříč kluby disponuje pouze pasivním čipem Si. Nové kontroly jsou pak výrazně dražší a tudíž kluby, vlastníci staré modely nemají důvod kupovat nové.

1.3 Vestavěný systém

Jedná se o jednoúčelové zařízení, které je navrženo jako kombinace hardware a software. Oproti univerzálnímu systému má potenciál být menší, levnější, a mít nižší spotřebu. To vše je za cenu jeho užšího využití. Každý domácí spotřebič je takovýmto systémem. Například kávovar, televize, pračka, a další. Všechny tyto přístroje jsou určeny pro konkrétní účel a tomu je přizpůsobena každá součást. Základem každého zařízení je mikroprocesor, nebo častěji mikrokontrolér. Ten v sobě kromě procesoru obsahuje operační paměť, programovou paměť, pevné úložiště, analogové převodníky, případně další periferie. Pro každou aplikaci se hodí jinak výkonný procesor, množství periférií, I/O portů, velikost paměti, atd. Na trhu je mnoho výrobců, kteří nabízejí široké spektrum mikrokontrolérů. Podle [8] je až 98 % vyrobených procesorů určených právě pro vestavěné systémy.

1.3.1 Klíčové charakteristiky

- ✓ Plnění své funkce
- ✓ Spolehlivost
- ✓ Robustnost
- ✓ Efektivní využití prostředků

Vestavěný systém se navrhuje jako funkční celek, který má za úkol plnit konkrétní úkol. Takové zařízení může být součástí většího systému a spolupracovat s dalšími vestavěnými systémy. Důležité je, kromě samotné funkce, správně komunikovat s ostatními součástmi. Je důležité vzít v potaz možné vnější vlivy a situace. Zároveň by zařízení mělo obsahovat co nejjednodušší uživatelské ovládání, nebo jasně popsany způsob ovládání z dalších modulů, pokud je zařízení součástí většího celku.

Zajištění spolehlivosti je u vestavěných systémů zásadní a vývojář ji musí zajistit i přes omezené prostředky jako je paměť a výpočetní výkon. Systém by se měl zotavit z jakéhokoliv problému. Pokud systém funguje bez interakce člověka, pak i toto zotavení musí zvládnout bez zásahu obsluhy. Častá technika zajištění spolehlivosti systému je Watchdog časovač [10]. Jedná se o vnitřní ochranu mikrokontroléru, který je však připojen na jiný zdroj hodinového signálu než samotný procesor. Běh časovače je tak na programu nezávislý. Programátor zajistí, aby při normálním běhu programu byl Watchdog časovač pravidelně nulován. Pokud program někde uvízne déle, časovač přeteče a spustí reset mikrokontroléru.

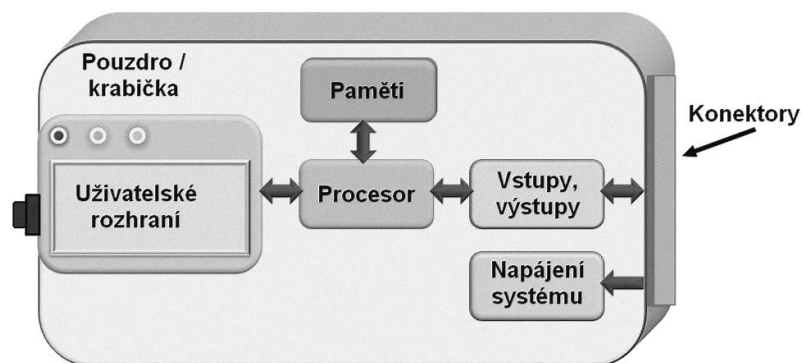
Robustnost lze vnímat jako odolnost vůči uživatelskému chování nebo obecně vůči vnější interakci. V programu je nutné podchytit všechny vstupní kombinace a správně na ně zareagovat. Každý prvek systému by měl být řízen a kontrolován nezávisle na ostatních, aby se například nespálil motor, protože selhal displej. Je dobré myslet i na kontrolní

mechanismy, zda byly dané úkony provedeny v pořádku. Uživatel do programu nevidí, tedy je důležité zabezpečit, aby systém buď fungoval správně, nebo dal jasně najevo, že nastala chyba. V takovém případě by měl systém sám navrhnout řešení. Může se jednat například o prázdnou tiskovou kazetu v tiskárně.

Vestavěné systémy jsou náhradou univerzálních, které mají pro danou aplikaci obvykle zbytečně velký výkon, jsou velké a spotřebovávají neúměrné množství energie. Při návrhu vestavěného systému je snaha optimalizovat frekvenci procesoru, velikost paměti, spotřebu elektrické energie, velikost zařízení a další parametry. Je zřejmé, že kávovar, řídicí topnou spirálu a čerpadlo, nepotřebuje nejvýkonnější procesor na trhu. Zároveň však není třeba hledět na odebíraný proud řídicí jednotky, protože je připojen na rozvodnou síť. Naopak turistická navigace s dotykovým displejem vyžaduje značně vyšší výkon. Zde je naopak spotřeba energie kritická, protože zařízení běží na akumulátor.

1.3.2 Architektura

Vestavěný systém se skládá z hardware a software. Dále popsaná architektura se zabývá hardwarem systému. Software se následně přizpůsobí architektuře zařízení.



Obr. 5 Obecná architektura vestavěného systému, přeloženo z [11]

Každý systém je vlastně malý počítač, který má optimalizované veškeré komponenty pro danou aplikaci a přímo připojené komponenty, které potřebuje pro svou činnost. Na obrázku 5 je znázorněno, jaké části má obecný vestavěný systém. Kromě procesoru a paměti obsahuje vstupy, výstupy, senzory, akční členy, napájení a uživatelské rozhraní. Celé zařízení bývá zapouzďeno v krabičce, která může disponovat konektory nebo může být hermeticky uzavřená. Krabička zařízení ochrání před vlivy okolí a zároveň pomůže vytvořit vhodné, stálé prostředí pro vnitřní komponenty. [11] Například lze uvnitř udržovat konstantní teplotu. V kapitole 1.3.4 je více popsáno napájení vestavěných systémů.

1.3.3 Zařízení pro Internet věcí (IOT)

Internet věcí je pojem pro fyzická zařízení připojená k internetu, mající svůj vlastní software, jednoznačnou identifikaci a senzory, či akční členy. [12] Může jít například o domácí spotřebiče, vozidla, nebo další zařízení. Takováto zařízení mezi sebou mohou komunikovat nebo posílat data na server, kde jsou zpracována. Komunikace probíhá často zařízení - zařízení. Uživatel pracuje s daty až v aplikační vrstvě. Velmi často jde o malá, bezdrátová zařízení s bateriovým napájením. U takových zařízení je důležitá nízká spotřeba, protože se očekává výdrž v řádu roků. Největší zátěž pro baterii bývá připojení k internetu.

Klíčové části návrhu zařízení pro internet věcí:

- ✓ Připojení k internetu, zpravidla bezdrátové
- ✓ Napájení, zajišťující dlouhý provoz bez zásahu člověka
- ✓ Sensory a akční členy
- ✓ Zpracování dat do čitelné formy

Oproti jiným vestavěným systémům je připojení k internetu nezbytné. Může být i jen jednosměrné. Například senzor, který v pravidelných intervalech odesílá aktuální naměřenou hodnotu. Dnes používané nízkoenergetické, bezdrátové technologie však umožňují obousměrnou komunikaci. V kapitole 1.5.1 jsou tyto technologie stručně popsány.

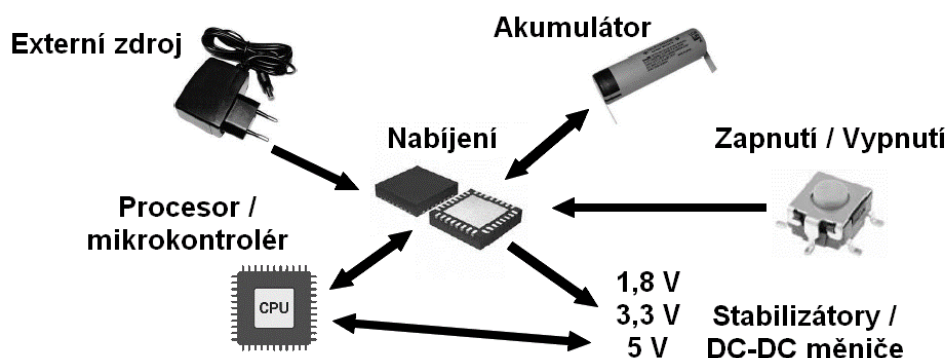
V IOT se obvykle počítá s dlouhým nepřetržitým provozem. Pokud není zařízení připojeno na stálý přívod energie, jako například domácí spotřebič, vyžaduje baterii. Procesory jsou čím dál více optimalizované a nabízí nízko-energetické režimy nebo režimy spánku. Díky tomu lze docílit tak nízké spotřeby, že převáží samo-vybíjení použité baterie.

Účel zařízení IOT je zpravidla něco monitorovat, nebo ovládat. Sensory a akční členy jsou tedy základní součástky. Na trhu existují připravené moduly, které disponují například dvaceti senzory. Vývojář v takovém modulu sice použije jen některé senzory, ale ostatní lze vypnout. Díky univerzálnosti tím však klesají výrobní náklady pro malé série.

Zařízení IOT často obsahují jen základní procesor a většina výpočtů probíhá až na vzdáleném serveru. Základní zpracování surových dat ze senzorů musí však probíhat přímo v zařízení, protože je třeba posílat co nejmenší objemy dat. Bezdrátové technologie pro IOT pracují často v nelicencovaném ISM pásmu s velmi malou datovou propustností.

1.3.4 Správa napájení

Napájení je přivedeno z externího zdroje napětí, nebo baterie. V případě akumulátoru je použit nabíjecí obvod. Pro různé obvody jsou potřeba různé hladiny stabilního napětí. Je dobré použít co nejméně měničů napětí, protože na nich vznikají ztráty. Dále je důležitý zapínací / vypínací obvod, či tlačítko. Obvyklé blokové schéma napájení je na obrázku 6. Některá zařízení nevyžadují všechny prvky, ale při návrhu je třeba myslet na toto schéma.



Obr. 6 Blokové schéma napájení vestavěného systému

Připojení na externí zdroj je dlouhodobě nejudržitelnější způsob napájení. V takovém případě není nutné tolik hledět na spotřebu zařízení. Oproti bateriím, kterým vybíjením klesá napětí, poskytuje většinou externí zdroj konstantní napětí. Pokud má zařízení fungovat

nepřetržitě, je důležité myslet na možný výpadek externího napájení a použít záložní akumulátor. Pro zajištění dlouhé životnosti nesmí docházet k přebíjení akumulátoru. Po výpadku externího zdroje musí zařízení samo přejít na záložní akumulátor.

Pokud externí zdroj nepřichází v úvahu, často se používají baterie. Běžně používané jsou například mono-články AA, nebo AAA. Existují i jejich nabíjecí varianty, ale v takovém případě si nabíjení řeší uživatel externě. Bateriové přístroje nepočítají s nabíjením baterií uvnitř zařízení. Provoz takového zařízení je nákladný a náročný na výměnu baterií. Na druhou stranu jejich výrobní náklady jsou nízké. Tento způsob se používá především u hraček a levné spotřební elektroniky. Čím dál víc se však rozšiřuje použití nabíjecího akumulátoru s externím nabíjením, nejčastěji přes USB. Výhodou tohoto řešení je, že výrobce může akumulátor integrovat přímo do těla zařízení. Díky tomu není potřeba mechanické otevírání zařízení a akumulátor je k ostatní elektronice připojen spolehlivě. V zařízení je pak nezbytný obvod, zajišťující bezpečné a šetrné nabíjení akumulátoru.

Různé elektronické prvky vyžadují různá napětí a na DPS musí být stabilizátor pro každé z nich. Při výběru komponent je dobré použít co možná nejméně napěťových úrovní. Každý stabilizátor znamená ztráty. Dávno se nepoužívají lineární stabilizátory, ale DC měniče. Jde o spínané zdroje, díky kterým se ztráty pohybují pouze v řádu jednotek procent.

Pro napájení systémů, obzvláště zařízení IOT, se také používá energie z okolí, neboli energy harvesting. Je to metoda získávání volné energie z okolního prostředí. Existuje mnoho typů volné energie, které díky speciálním materiálům a obvodům můžeme převést na elektrickou.

- ✓ Světlo - Polovodičové, fotovoltaické články
- ✓ Vítr / tekoucí voda - Vrtule, nebo turbína pohánějící dynamo
- ✓ Rádiové vlny - Anténa s obvody, umožňující získávání energie
- ✓ Mechanické namáhání - Piezoelektrický jev
- ✓ Rozdíl teploty - Siebackův jev, spojení dvou materiálů

Solární, větrná a vodní energie se běžně využívá pro výrobu energie v elektrické síti. Jde o ověřené metody a fungují i v malých zařízeních. Vítr lze například využít na jedoucím autě. Mechanické namáhání můžou být vibrace stroje. Rádiové vlny můžou napájet zařízení skrze NFC. Rozdíl teplot může získávat energii z ohně, nebo vytopené místnosti v zimě.

Tabulka 1: Typické energetické hodnoty některých druhů volné energie, převzato z [13]

Zdroj energie	Podmínky	Hustota energie	Užitná plocha	Energie za den	Předpoklad celodenních podmínek
Vibrace	1 m/s ²	100 uW/cm ³	1 cm ³	8,64 J	Nepřerušované vibrace
Světlo	Venku	7500 uW/cm ²	1 cm ²	324 J	Světlo dostupné 50 % dne
Světlo	Uvnitř	100 uW/cm ²	1 cm ²	4,32 J	Světlo dostupné 50 % dne
Teplota	ΔT = 5°C	60 uW/cm ²	1 cm ²	2,59 J	Teplo je dostupné 50 % dne

Množství získané energie je poměrně malé, cílem proto není ušetření peněz za vyrobenou energii. Využívá se tam, kde je elektrická síť nedostupná a pravidelná výměna baterií by byla nákladná. Energie z okolí pomáhá zajistit dlouhodobý, bezúdržbový provoz zařízení. Některé druhy energie nejsou dostupné nepřetržitě, proto bývá součástí akumulátor. Na druhou stranu některá zařízení jsou odkázána jen na energii okolí. Ty pak fungují, jen pokud je energie dostupná. Jejich životnost je o mnoho lepší, protože ji určuje pouze životnost použité elektroniky. Ta je mnohokrát delší, než životnost akumulátoru.

1.4 Vybrané bezdrátové technologie

1.4.1 NFC

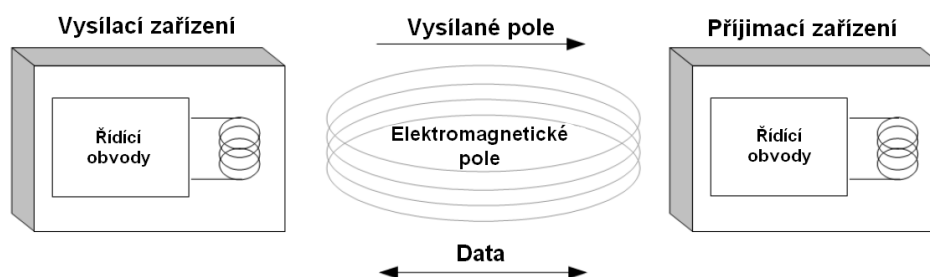
Zkratka NFC je z anglického near field communication a jedná se o bezdrátovou komunikaci na krátkou vzdálenost, využívající pole magnetické indukce. Pole má omezený dosah, zpravidla do 10 cm, většinou se využívá na vzdálenost 1 cm a méně. NFC vychází z RFID (Radio Frequency Identification), má však své vlastní protokoly a širší možnosti. NFC modul dnes najdeme ve většině mobilních telefonů, čímž jsou NFC aplikace přístupné široké veřejnosti. Dále se NFC hojně využívá v platebních kartách, v zabezpečovacích systémech jako identifikátor, nebo jako digitální vizitka. NFC se stále vyvíjí a objevují se například integrované obvody, které dokáží přes NFC přijímat nejenom data, ale i energii [14, 15].

Porovnání s dalšími technologiemi

Technologie NFC lze porovnat například s Bluetooth, ZigBee, WiFi, GSM. Všechny tyto technologie NFC překonává možností komunikace aktivního zařízení s pasivním. Naopak prohrává s dosahem komunikace. Vzdálenost, na kterou může probíhat komunikace, je u NFC výrazně menší než u všech porovnávaných. V případě NFC jsou to cm, zatímco u Bluetooth a WiFi jde o metry a u GSM dokonce o kilometry. Tato zdánlivá nevýhoda je pro mnoho aplikací výhodou. Malá vzdálenost mezi zařízeními znemožňuje komunikaci nepozorovaně odposlouchávat. Také není třeba řešit výběr zařízení pro navázání spojení. Jiné technologie mají často v dosahu více zařízení najednou. NFC prohrává se všemi technologiemi i co se týče přenosové rychlosti. Rozhodně se nehodí pro přenosy větších balíků dat, což je doménou Wifi. Mobilní telefony při přenosu větších dat umožňují využít výhod obou technologií. Pomocí NFC zahájí komunikaci dvou zařízení, která jsou u sebe, a přenos dat pak probíhá přes rychlejší Wifi.

Princip NFC

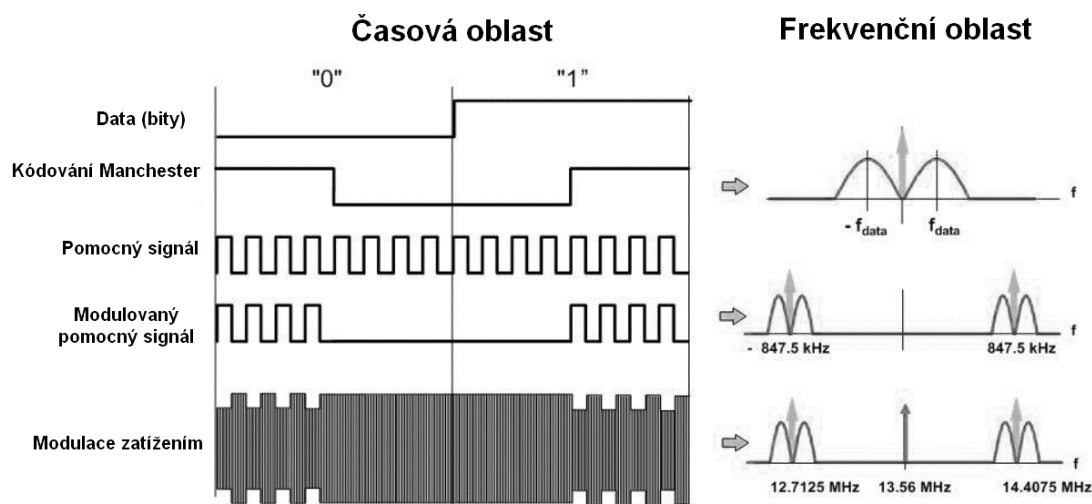
Protokol NFC umožňuje tři módy komunikace. Nejzajímavější je mód čtení/zápisu, kde aktivní čtečka pracuje s pasivním čipem. V dalším módu je možné emulovat kartu, kde se aktivní zařízení navenek tváří jako pasivní tag. Posledním módem je Peer-to-Peer, což je obousměrná komunikace dvou aktivních zařízení.



Obr. 7 Ukázka principu NFC komunikace mezi dvěma zařízeními, přeloženo z [16]

Nejrozšířenější komunikační model NFC zařízení je aktivní zařízení a pasivní čip. Na tomto uspořádání je komunikace vysvětlena níže. Vysílání dat do pasivního tagu není problém, aktivní zařízení jednoduše mění parametry vysílaného signálu podle dat. Přijímací zařízení je pasivní, takže je po dobu komunikace napájeno elektromagnetickou vlnou z vysílacího zařízení. Vytvářet a vysílat elektromagnetickou vlnu zařízení nemůže. Pokud chce vysílat

cívka přijímat odpověď, začne vysílat signál s konstantní amplitudou a frekvencí. Příjímací cívka moduluje data na sinusovku tím, že ve vhodný moment připíná do obvodu zátěž, což se na příjímací straně projeví nepatrným poklesem amplitudy signálu. Pro synchronizaci přenášených dat se používá kódování Manchester, které sloučí dohromady hodinový a datový signál [17]. V každém bitovém intervalu nastane změna hodnoty. Podle typu změny jde o logickou 1 (změna 0 -> 1), nebo logickou 0 (změna 1 -> 0). I při dlouhé posloupnosti stejných logických úrovní je zachována synchronizace. Tento proces znázorňuje obrázek 8.



Obr. 8 Časová a frekvenční analýza generování vysílaného signálu, přeloženo z [16]

Mifare Classic čipové karty

Čipové karty Mifare Classic pracují na frekvenci 13,56 MHz. Jejich předpokládaná životnost je 100 000 cyklů zápis/čtení. Rozměry karet jsou dané normou ČSN ISO/IEC 7810. Existují různé verze s různou velikostí vnitřní EEPROM paměti. Dále jsou detailně popsány karty s kapacitou 1 KB. Paměť je rozdělena do 16 sektorů po 4 blocích. Každý blok má 16 bajtů. Důležité je, že ne všechny bloky jsou určeny pro uživatelská data. Blok 0 obsahuje data výrobce včetně čtyř-bajtového UID. Výrobce ho označuje jako NUID, tedy Ne-Unikátní Identifikátor, protože se stejné UID může objevit na více vyrobených kartách. Někteří výrobci přecházejí na UID o délce 7 bajtů, které už unikátní je. To ale nevyhovuje specifikaci Mifare, takže se při aktivaci spojení vyšlou pouze 4 bajty, ale 7 bajtů UID je k dispozici [18]. Dále každý sektor obsahuje Trailer blok, obsahující přístupové informace k sektoru a dva klíče. Každý klíč má 6 bajtů a při zadání špatného nelze sektor přečíst ani zapsat. Klíč A je povinný, klíč B je volitelný. Při správném nastavení lze těchto 6 bajtů použít pro další data. Celkem je pro uživatele dostupných 47 bloků, tedy 752 bajtů paměti. Pokud uživatel využije i prostor určený pro klíč B, je to pak 848 bajtů. Celou strukturu paměti dobře znázorňuje obrázek 9.

Sektor	Blok	Číslo bajtu v sektoru														Popis bloku	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14
0	[0] 0	NUID 4 bytes			Další data výrobce (zamčeno pro zápis)											Blok s daty výrobce	
	[1] 1																Datový blok
	[2] 2																Datový blok
	[3] 3			Klíč A			Přístupové info			Klíč B (volitelně)					Trailer sektoru 0		
...	[0] -															Datový blok	
	[1] -															Datový blok	
	[2] -															Datový blok	
	[3] -			Klíč A			Přístupové info			Klíč B (volitelně)					Trailer sektoru _		
15	[0] 60															Datový blok	
	[1] 61															Datový blok	
	[2] 62															Datový blok	
	[3] 63			Klíč A			Přístupové info			Klíč B (volitelně)					Trailer sektoru 15		

Obr. 9 Struktura paměti Mifaire Classic s50 s kapacitou 1 KB, vytvořeno podle [18]

1.4.2 Lora

Technologie LoRa je bezdrátový standard, který definuje specifický způsob modulace signálu v rozprostřeném spektru. Název vznikl složením anglických slov „long range“, tedy dlouhý dosah. LoRa® je patentovaná značka firmy Semtech, která licencuje svou technologii výrobcům integrovaných obvodů a sama je také vyrábí. Technologie LoRa je především určená pro zařízení IOT, protože vyžaduje málo energie a nabízí dlouhý dosah. Přenos dat využívá modulaci Chirp rozprostřené spektrum. Tato modulace se používá již delší dobu v armádě a vesmírném výzkumu. Modulace je velmi odolná vůči rušení. Přijímač je schopný zpracovat i signály s výkonem pod hladinou šumu. Díky tomu lze komunikaci provozovat na značné vzdálenosti.

Porovnání s dalšími technologiemi pro IOT

Trh s IOT zařízeními neustále roste a existuje řada dalších bezdrátových technologií, které se v nich využívají. Jsou to například Wifi a GSM a další vytvořené speciálně pro IOT. Tyto technologie se snaží minimalizovat spotřebu elektrické energie a maximalizovat dosah. Příkladem je ZigBee, Bluetooth Low Energy (BLE), Sigfox nebo Z-Wave.

Technologie Sigfox je s LoRa velmi srovnatelná co se týče vlastností, i když je postavená na jiné modulaci. Využívá ultra nízkého pásma a modulaci DBPSK. Celosvětově se ale více ujala technologie LoRa, která nabízí i lepší pokrytí. Proto dále budu srovnávat s ostatními technologiemi mimo Sigfox.

Oproti výše zmíněným se LoRa může pochlubit větším dosahem, až 48 km [19], ale už bylo dosaženo i mnohem větších vzdáleností v řádu stovek km. Pro porovnání, dlouho používané GSM funguje jen do 35 km. Ostatní technologie jsou spíše do stovek metrů a méně.

Další výhodou LoRa je nízká energetická náročnost, která je srovnatelná s BLE. Na druhou stranu je třeba počítat s malou přenosovou rychlostí, ale to u IOT není překážkou. Energii lze ještě uspořit snížením vysílacího výkonu tam, kde stačí menší dosah.

Zásadní je u IOT technologií jejich infrastruktura. Například GSM má zjevnou výhodu - je dostupné téměř kdekoli na světě. Některé technologie předpokládají připojení k mobilnímu telefonu jako například BLE. Další technologie se snaží o vybudování vlastní infrastruktury.

V případě LoRa je to síť LoRaWAN, která je vysvětlena níže. Ta už pokrývá velkou část České republiky [20] i světa. Zároveň je možné zařízení LoRa provozovat v režimu point-to-point, který je nezávislý na infrastruktuře, ale je třeba mít 2 zařízení.

Frekvenční pásmo

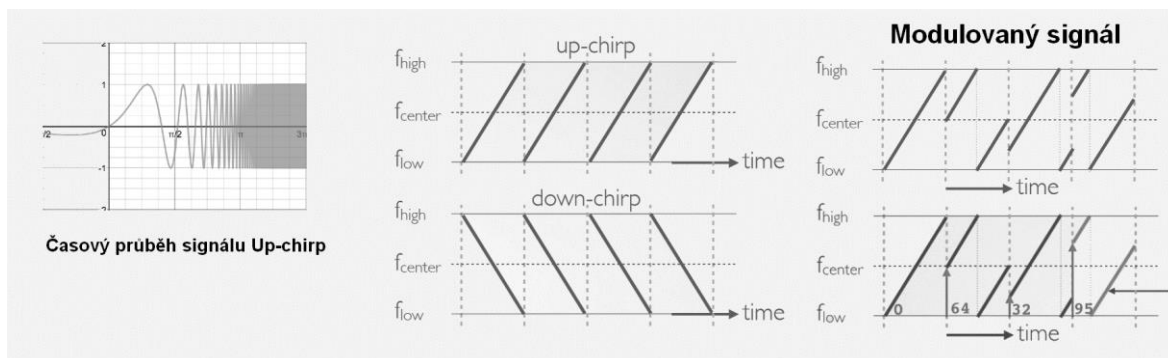
LoRa může pracovat na různých frekvencích, přičemž jsou volena bez-licenční pásma. Nabízí se mnoho verzí LoRa modulů, protože v každém státě může být volné ISM pásmo na jiných kmitočtech. Následuje výběr nejdůležitějších ISM pásem používaných ve světě [21]:

✓ Evropa, Rusko	867 – 869 MHz	433 – 434 MHz
✓ Jižní Korea, Japonsko	920 – 925 MHz	433 – 434 MHz
✓ USA	902 – 928 MHz	
✓ Čína	470 – 510 MHz	779 – 787 MHz
✓ Kanada	779 – 787 MHz	
✓ Austrálie	915 – 928 MHz	

Každé ISM pásmo má v dané zemi své regulace. Pravidla definují vysílaný výkon, čas vysílání, šířku pásma, případně další parametry. V ČR jsou pravidla pro pásmo 433 MHz následující: maximální vysílací výkon je 10 mW, čas vysílání je maximálně 10 % z celkového času (pokud vysílač vysílá po dobu 1 s, následně nesmí 9 s vysílat). Vysílací výkon je podmíněn maximální šířkou pásma 25kHz, při větší šířce pásma je maximum jen 1 mW [22]. Tato omezení jsou značná, proto například v Evropě je pro veřejnou LoRa síť použito pásmo 867 MHz, kde je povolený výkon 25 mW, za cenu kratšího vysílacího času na většině kanálů, pouze 0,1 %.

Princip modulace

Modulace LoRa je vlastně lineární frekvenční modulace v rozprostřeném spektru. Základní šířka pásma je 125 KHz. Vysílač generuje chirp signál, který v čase mění svoji frekvenci. Existuje up-chirp s lineárním nárůstem frekvence, dále down-chirp s lineárním poklesem frekvence. Samotný chirp vždy za dobu jednoho symbolu vystřídá všechny frekvence. Modulace na něj probíhá tak, že pokaždé začne na jiné frekvenci. V případě up-chirp po dosažení maximální frekvence začne opět od nejnižší. LoRa pro přenos dat používá up-chirp. Pro identifikaci počátku vysílání využívá posloupnost několika up-chirp a down-chirp bez jakékoliv modulace. Ukázka chirp modulace je na obrázku 10.



Obr. 10 Signál chirp v časové a spektrální oblasti s modulací a bez, převzato z [23]

Lineární frekvenční modulace je alternativou ke skokové, kde se v průběhu vysílání rychle mění frekvence nosné vlny. Vysílání je však po krátký čas úzkopásmové. Výhodou lineární změny frekvence oproti skokové je, že frekvence nemusí být generována přesně. I při rozdílu 20 % šířky pásma je přijímač schopný správně vyhodnotit signál. [24] Moduly tedy nemusí obsahovat přesné a drahé krystaly, což snižuje cenu LoRa zařízení.

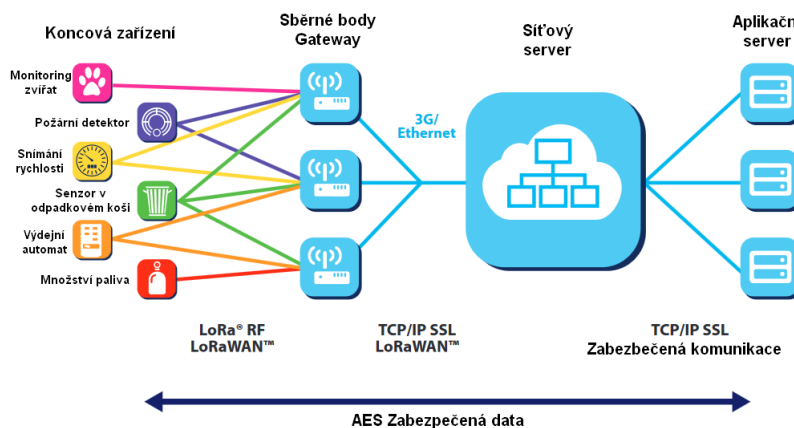
Vysílaná informace je kódována až 12-bitovým kódem. Kód je redundantní, díky čemuž je v přijímači správně vyhodnocen, i když cestou nastane až 5 chyb. LoRa hloubku kódu nazývá „Spreading factor“ (SF) a lze ho nastavit v rozmezí 7 až 12. Čím větší je SF, tím je delší vysílací čas jedné zprávy, ale signál doputuje dál.

Kromě SF lze dosah a čas vysílání ovlivnit šířkou pásma BW a kódovací rychlostí CR. Užší BW znamená větší dosah, ale déle trvající vysílání. Vyšší CR zvyšuje náchylnost vysílání na krátkodobé rušení, ale zvyšuje dosah, protože umožňuje opravit více chyb v přenosu.

Přijímače mají citlivost -100 dBm, nebo i méně (-150 dBm...). Záporné číslo citlivosti znamená, že signál je dávno pod úrovní šumu. Čím je citlivost zápornější, tím lepší je přijímač. Dobrá citlivost je hlavním důvodem dlouhého dosahu technologie LoRa, protože vysílací výkon vysílače bývá kolem 20 dBm. Omezující jsou pravidla ISM pásem.

LoRaWan

Zkratka LoRaWan znamená LoRa wide area network, tedy síť pokrývající velké území. Je to síťová architektura, která dělá z LoRa technologie špičku na poli IOT. Samotná LoRa totiž popisuje pouze fyzickou vrstvu komunikace. Jsou samozřejmě aplikace, u kterých stačí komunikace point-to-point, ale pro globální rozšíření je nutná kompletní infrastruktura. Ta vzniká rozmístěním sběrných bodů (gateway) připojených k internetu a k elektrické síti.



Obr. 11 Uspořádání LoRaWan sítě, přeloženo z [21]

V síti LoRaWAN se rozlišují následující třídy zařízení [20]:

- ✓ Třída A – koncová zařízení komunikující obousměrně
- ✓ Třída B – jako třída A, přidávají mimořádné přijímací sloty v nastavenou dobu
- ✓ Třída C – přijímací sloty jsou připravené nepřetržitě, zavírají se jen při vysílání

V ISM pásmu 868 MHz využívá LoRaWan celkem 9 kanálů. Z toho je 8 přenos dat od koncových zařízení do gateway a jeden pro směr opačný. Kanál pro směr od gateway je zvolen ve spektru tak, aby komunikace mohla probíhat celkem 10 % času. [25]

1.5 Strojové učení

Metody strojového učení nabízí nový přístup k programování. Klasický přístup je naprogramovat program, předat do něj data a nechat je počítač zpracovat na požadovaný výstup. Programátor musí mít povědomí o datech a o fungování programu. Při použití strojového učení celý proces funguje obráceně. Na základě dat a požadovaného výstupu vygeneruje počítač program. Programátor tedy nemusí mít povědomí o tom, jak má program fungovat, na základě dat to za něj udělá počítač.

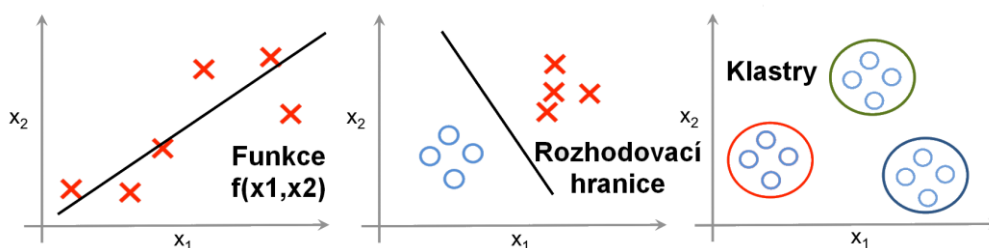
Strojové učení se používá v následujících případech:

- ✓ Lidé nemají s daným problémem zkušenosti. (Navigace na Marsu)
- ✓ Lidé nedokáží vysvětlit svoji schopnost. (Rozpoznání řeči)
- ✓ Model vychází z obrovského množství dat. (Studium DNA)
- ✓ Řešení se v čase mění. (Směrování v síti)

Učení s dohledem (supervised)

Při učení s dohledem je vstupem do modelu dvojice vstupních a správných výstupních dat. Například obrázek jako vstup a popis obrázku jako správný výstup. Na základě mnoha a mnoha příkladů počítač vygeneruje program. Data, sloužící k učení algoritmu, se nazývají tréninková data. Hotový program je pak schopný na základě vstupu odhadnout správný výstup. Například k novému obrázku navrhne popis. Jedná se o odhad, protože vždy je výsledek správný jen s určitou pravděpodobností. V reálných podmínkách tato pravděpodobnost nikdy není plných 100 %. Tento proces učení simuluje způsob, jakým se učíme my lidé. Na základě známých příkladů z minulosti řešíme aktuální situace. Matematicky jde o nalezení funkce, vedoucí od vstupní proměnné X k výstupu Y .

Výhodou učení s dohledem je možnost vyčíslení kvality modelu přímo na datech. Porovnáním správných výstupů s výsledky algoritmu je možné spočítat, jak si model vede. Nevýhodou je náročnost na data. Příkladem je již zmíněná databáze obrázků s popisky. Správné popisky musí k obrázkům manuálně doplnit člověk. Dále by měla data být uniformní. Například konstantní velikost obrázků.



Obr. 12 Strojové učení: S dohledem – regrese, klasifikace, Bez dohledu - klastrování

Učení bez dohledu (unsupervised)

Strojové učení bez dohledu pouze třídí vstupní data a snaží se v nich nalézt vazby. Aplikují se na velká množství dat, jež není možné označit správným výstupem. Naopak díky algoritmům strojového učení bez dohledu je možné o datech získat nové informace a souvislosti. Dobrým příkladem jedné z metod je klastrování. Tato metoda co nejlépe rozdělí data do zadaného počtu skupin. Možný výsledek na 2D datech znázorňuje obrázek 12, je ale možné metodu použít i na vícerozměrná data.

Tyto algoritmy jsou schopné vyčíslit, jak dobře svou činnost vykonaly, ale tento výsledek není s čím porovnat. Tato informace slouží hlavně k nalezení nejlepšího rozdělení konkrétních dat daným algoritmem, nikoliv k určení, jak dobře si algoritmus na datech vede.

Klasifikační problém

Jde o případy, kdy je výstupní proměnná jedna z možností, tedy nespojitá. Výše uvedený příklad s obrázky je typický případ klasifikace. Snaha je určit, zda je na obrázku kočka, pes, nebo auto. Jednotlivé možnosti výstupu se nazývají třídy. V praxi se problémy řeší tak, že použitý model přidělí každé třídě pravděpodobnost. Třída s největší pravděpodobností je vyhodnocena jako správná. Na hotovém modelu se měří přesnost tak, že se spočítá, kolika vstupům model přidělil správnou třídu jako výstup. Udává se pak v procentech.

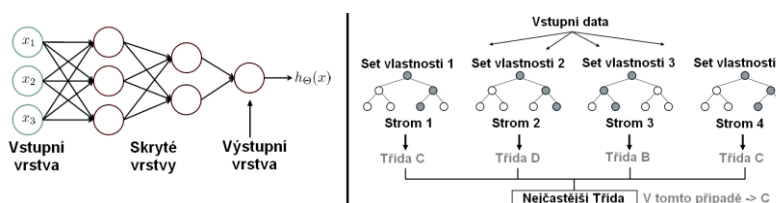
Regresní problém

Výstupem regrese je spojitá funkce. Příkladem je predikce ceny nemovitostí. Podle zadaných vlastností, rozměrů a vybavení dané nemovitosti lze určit cenu. Strojové učení vygeneruje funkci pro výpočet ceny na základě mnoha záznamů z minulosti. Jedná se tedy o aproximaci bodů pomocí spojitě křivky. K měření úspěšnosti predikce se používá RMSE, neboli střední kvadratická odchylka. Výhodou RMSE je, že vyjde ve stejných jednotkách, jako je výsledek

predikce. Rovnice pro výpočet: $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N chyba_i^2}{N}}$ kde N je počet vzorků

Neuronové sítě

Je to software pro počítač, který se učí podobně jako člověk. Má strukturu uzlů a jednotlivých vrstev. Struktura je podobná lidskému mozku. Každý uzel je alternativou neuronu a vykonává jen jednoduchý výpočet. Spolu s tisícem dalších uzlů pak plní zadaný úkol. Velikosti sítí se neustále zvětšují i díky většímu výkonu dnešních počítačů.



Obr. 13 Funkční schémata algoritmů: Neuronová síť, Náhodný les

Neuronová síť se jako první inicializuje s náhodnými koeficienty. Ukázková vstupní data se nechají síti zpracovat a spočítá se přesnost na všech tréninkových datech. Následně se posupuje v síti opačným směrem a hledá se, které uzly přispívají k výsledné chybě nejvíce. Tyto uzly se změň. Tento postup se následně opakuje, dokud přesnost nedosáhne maxima, resp. Chyba dosáhne minima. Proces učení může trvat dlouho i na výkonném stroji. Záleží na množství dat a rozsáhlosti neuronové sítě. Při učení se využívá hledání klesajícího gradientu a zpětnou propagací jednotlivé uzly postupně konvergují k nejlepšímu modelu. Důležité je výsledný model zkusit na nových datech, která nebyla použita pro učení. Tím se ověří funkčnost modelu v reálných podmínkách, nikoli jen na ukázkových datech.

Náhodný les (Random forest)

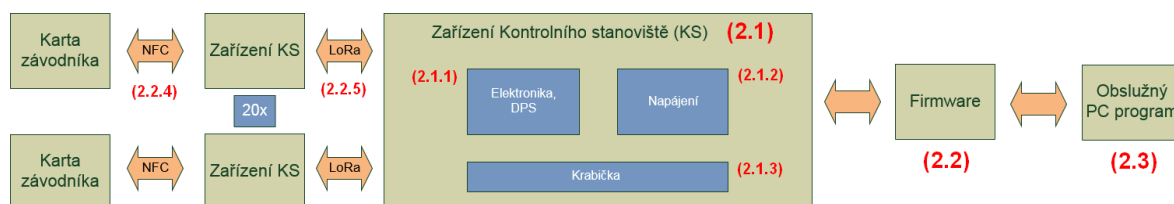
Základem metody je rozhodovací strom. Metoda pracuje s velkým množstvím náhodných stromů. Náhodných proto, že pro každý jsou použity jiné vlastnosti ze vstupní proměnné. Metoda je vhodná hlavně tam, kde jsou vlastnosti vstupní proměnné diskrétní. Výhodou je rychlé zpracování nových dat, protože se vždy zpracovává jen určitá část rozhodovacích stromů. Náhodný les rozhoduje zprůměrováním rozhodnutí jednotlivých stromů.

2 Návrh a realizace

Systém se skládá z NFC karet závodníků, kontrolních stanovišť, základnové stanice a obslužného programu v počítači. Pro jednoduchost jsem spojil základnovou stanici a kontrolní stanoviště do jednoho zařízení. Výsledkem je zařízení kontrolního stanoviště (dále zařízení KS). Při návrhu jsem odladil 1 univerzální design, který vyhověl požadavkům obou zařízení. Z ohledem na celkové náklady, časové možnosti a na potřeby zkušebního závodu jsem vyrobil 20 kusů těchto zařízení. Navrženou elektroniku zařízení KS jsem zapouzdřil do krabičky, kterou jsem přesně navrhl v 3D návrhovém prostředí Solid Edge. Krabičky jsem poté vytiskl na 3D tiskárně.

Pro hotové zařízení jsem napsal firmware, který zastává jak funkci základny, tak i kontrolního stanoviště. Všechna zařízení jsou naprosto identická včetně vnitřního programu. Jediný rozdíl je vykukující USB kabel z krabičky, kterou jsem zvolil jako základnu. Program pro mikrokontrolér jsem napsal v jazyce C v prostředí MikroC for PIC.

Poslední částí systému je obslužný software pro počítač. Použil jsem prostředí Matlab a vytvořil grafické uživatelské rozhraní pro správu účastníků, zpracování výsledků, komunikaci s kontrolními stanovišti a práci s NFC kartami závodníků.



Obr. 14 Blokové schéma systému ražení

Celý systém je nezávislý na jakékoliv infrastruktuře. Všechna zařízení běží na akumulátory a obslužný program nevyžaduje připojení k internetu. Stačí tedy přenosný počítač a lze organizovat závod kdekoliv. Pro pohodlí organizátora jsem pro systém vybral transportní kufřík, který pojme celý systém. Vnější rozměry kufříku jsou přibližně 35 x 11 x 29 cm [26]. Díky tomu je systém velmi kompaktní.



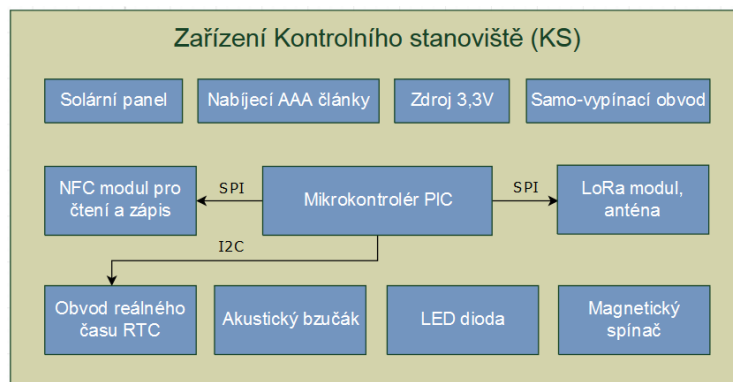
Obr. 15 Fotografie celého systému ražení i s transportním kufříkem

2.1 Návrh zařízení KS

Požadavky na zařízení KS:

- ✓ Vlastní akumulátorové napájení, stabilní zdroj 3,3 V
- ✓ LoRa komunikační modul
- ✓ NFC modul pro čtení / zápis Mifare Classic karet
- ✓ Zdroj reálného času (Napájen i při vypnutém hlavním napájení)
- ✓ Akustická a vizuální signalizace
- ✓ Výstup UART
- ✓ Měření úrovně nabití baterie
- ✓ Možnost vypnutí / zapnutí
- ✓ Hermetické uzavření do krabičky
- ✓ Odolnost vůči povětrnostním vlivům
- ✓ Co nejmenší velikost

Společnost Conrad.cz mi poskytla součástky pro výrobu systému ze svého sortimentu, což mi zúžilo pole výběru komponent. Moduly LoRa včetně antén jsem jako jediné zakoupil externě. I přes omezený výběr zařízení splňuje všechny požadavky.



Obr. 16 Blokové schéma zařízení KS

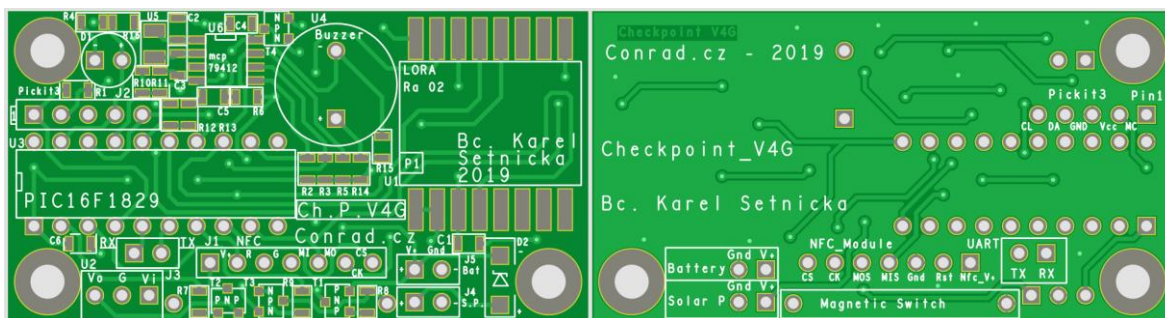
2.1.1 Návrh DPS

Mým cílem bylo, co možná nejmenší zařízení, takže jsem volil velmi malé součástky. Zároveň dost velké na to, abych je byl schopný sám připájet. Veškeré rezistory a kondenzátory jsem použil v pouzdře SMD 0805. Manipulace s touto velikostí součástek je možná už jen s pinzetou a je nutná páječka s úzkým hrotem. Další součástky a obvody jsem volil ve variantě pro povrchovou montáž, kromě LED diody, bzučáku a mikrokontroléru PIC. Důvodem byla skladová dostupnost těchto součástek v jiném pouzdře.

Desku plošných spojů jsem navrhl pro profesionální výrobu o velikosti 5,5 x 3 cm. Výrobu jsem zadal u německé společnosti Eurocircuits. DPS přišly ve výborné kvalitě pouze za 3 pracovní dny. Po osazení jsem mohl konstatovat, že byly všechny elektricky v pořádku.

DPS jsem navrhl jako oboustrannou, což je základní a nejlevnější varianta DPS. Pokud se vůbec nabízí, tak jednostranná vyjde na stejné peníze jako oboustranná. Více-vrstvá DPS se pak vyrábí nalepením několika jednostranných DPS na hotovou oboustrannou. Při návrhu motivu spojů jsem postupoval tak, abych plně využil možnosti oboustranné DPS. Součástky jsem umístil pouze z vrchní strany, což následně usnadňuje jejich fyzické osazení na desku. Většina spojů je vedena na vrchní straně mezi součástkami. Spodní vrstvu jsem vyplnil, co nejrozsáhlejší měděnou plochou spojenou s nulovým potenciálem. Díky tomu je deska dobře stíněná. Zároveň nejvíce součástek vyžaduje připojení právě na nulový potenciál. Velké množství spojů jsem provedl propojením vrchní a spodní vrstvy pomocí prokovené díry (prokovu). Ve spodní vrstvě bylo nutné vést i jiné spoje, ale vždy jen tak, aby do spodní vrstvy zasahovaly co nejméně. Snažil jsem se pouze překonat nutné překážky v horní vrstvě.

Schéma zapojení jsem navrhl v programu Orcad a DPS pak propojeným programem Allegro PCB Editor. Oba tyto programy vyvíjí společnost Cadance. Exportovaná výrobní data jsem zkontroloval v online nástroji PCB Visualizer, který používá společnost Eurocircuits na kontrolu plošných spojů před zadáním výroby. Na obrázku 17 je výstup z tohoto programu - pohled shora i zdola tak, jak by měla vypadat finální DPS. Šedá barva jsou vodivé pájecí plošky. Zelená je nepájivá maska, která schová veškeré spoje a prokovy. Bílá barva je pak potisk, který nemá na funkčnost vliv, ale usnadňuje osazování a servis.



Obr. 17 DPS z programu PCB Visualizer (vrchní pohled, spodní pohled)

2.1.2 Použité integrované obvody a moduly

Mikrokontrolér PIC 16F1829

Jedná se o osmi-bitový mikrokontrolér s maximální frekvencí oscilátoru 32 MHz. Procesor je postaven na instrukční sadě RISC. Celkem nabízí 49 jedno-cyklových instrukcí. Celkem disponuje pamětí 8 kilo-bajtů pro program, 1 kilo-bajt operační paměť a 256 bajtů EEPROM paměti pro data. Napájecí napětí se může pohybovat od 1,8 V do 5,5 V. V pouzdru DIL, s celkem 20 piny, poskytuje celou řadu periférií: (informace z datového listu výrobce [27])

- ✓ A/D převodník s až 12 kanály a rozlišení 10 bitů
- ✓ Až 17 digitálních vstupů / výstupů (Každý poskytne proud až 25 mA)
- ✓ Časovače Timer0, Timer1, Timer2
- ✓ Dva moduly PWM (výstup pulzně šířkové modulace)
- ✓ Až dva moduly SPI, nebo I2C
- ✓ Modul sériového portu UART
- ✓ Až 12 kanálů snímáního oscilátoru mTouch pro kapacitní tlačítka

NFC modul MFRC 522

Pro komunikaci NFC jsem zvolil kompletní modul pro čtení / zápis. Modul je založený na čipu MFRC 522 od NXP Semiconductors. Disponuje rozhraním s 8 piny, na které je vyvedeno napájení, resetovací pin, vstup pro přerušení a celá SPI sběrnice. Modul je samostatná DPS s anténou a veškerou potřebnou elektronikou pro hlavní čip. Anténa je vytvořená přímo v mědi jako spoje v motivu DPS. Anténa zabírá většinu plochy DPS. Modul je kompatibilní s tagy typu Mifare a NTag. Přímou v balení je kromě modulu i jedna karta a jeden čip Mifare Classic s50 s kapacitou 1 KB.

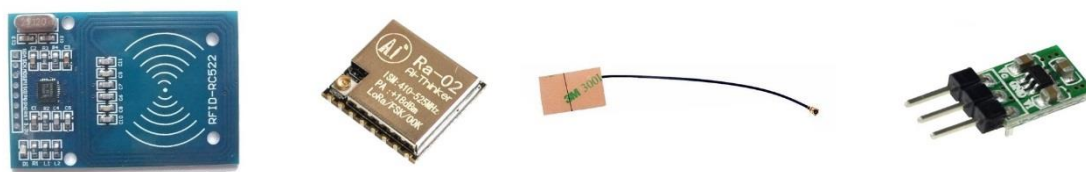
Obvod reálného času MCP 79412

Základní funkce systému je zapisovat přesné časové údaje o průchodu kontrolními stanovišti. K tomu je zapotřebí obvod reálného času, běžící odděleně od mikrokontroléru. Zvolil jsem čip MCP 79412 od Microchip. Ten byl pro moje účely nejvhodnější, protože nabízí vstup pro zálohovací baterii. Disponuje komunikačním rozhraním I2C. Mimo jiné obsahuje také paměť EEPROM, kterou jsem v aktuální verzi nepoužil, ale je to jen otázka software. Pro správnou funkci čipu jsem připojil krystal na 32,768 kHz a několik kondenzátorů. Pin Vcc jsem připojil na výstup DC-DC měniče a pin Vbat jsem připojil přímo na baterie. Pokud uživatel nevyndá baterie, čip má neustále k dispozici zdroj energie.

LoRa modul Ai-Thinker Ra-02

Při výběru LoRa modulu jsem koukal na dostupnost a jednoduchost, protože jsem jich potřeboval velké množství (20 ks). Z možných frekvencí jsem vybral pásmo kolem 433 MHz. Je to nejvíce rozšířená ISM frekvence ve světě. Lze jí používat jak v Evropě, tak v Asii, konkrétně také v Jižní Koreji, kde jsem na systému také pracoval. Absence LoRaWan pokrytí v ČR na této frekvenci je nepodstatné, protože komunikaci v systému jsem navrhoval jako point-to-point. Modul Ra-02 podporuje kromě LoRa i další modulace. Citlivost přijímače je až -141 dBm. S mikrokontrolérem modul komunikuje přes SPI rozhraní. Vysílací výkon je maximálně 18 dBm a vysílací proud se pohybuje kolem 100 mA. Celkové podporované spektrum je 410 až 525 MHz. Udávaný dosah je 10 km.

Vybral jsem anténu s konektorem IPEX, ziskem 5dBi a plochým tvarem se samolepkou.



Obr. 18 Fotky součástek. Zleva: MFRC522, LoRa Ra-02, anténa LoRa, DC-DC 3,3 V

Prvky signalizace

Jako zpětnou vazbu zařízení jsem zvolil jak akustickou, tak vizuální signalizaci. Osadil jsem červenou LED diodu a magneto-dynamický měnič neboli bzučák. Abych ušetřil nožičky mikrokontroléru, rozhodl jsem se připojit obě součástky na společný výstup z mikrokontroléru. Obě součástky se tedy spouští pouze dohromady. Bzučák vyžaduje střídavý signál, tedy při připojení trvalého stejnosměrného napětí nevydává zvuk. Na druhou stranu v tomto režimu zařízení odebírá značný proud, protože pokud je bzučák připnutý na stejnosměrné napětí, chová se jako rezistor. Mikrokontrolér dokáže na výstup dodat maximálně 25 mA, což pro napájení bzučáku nestačí. Aby byl signál slyšet i přes zavřenou krabičku, je potřeba 50 mA. Pro zajištění dostatečného proudu jsem použil NPN tranzistor.

2.1.3 Napájení zařízení

Zařízení KS jsou provozována v lese, nebo na jiném odlehlém místě, napájení přes externí zdroj tak nepřipadá v úvahu. Vše musí být zapouzdřeno v malé odolné krabičce. Velikost není úplně kritická, takže nebylo nutné použít knoflíkové baterie. Důležité požadavky na baterie jsou, aby byly nabíjecí a bylo možné je uživatelsky vyměnit. Vybral jsem běžné AKU NiMh o velikosti AAA. Veškerá elektronika je připravená na napájecí napětí 3,3 V. Jeden článek NiMh má 1,2 V, takže 3,3 V docílit nelze. I kdyby ano, napětí AKU v čase kolísá. Pro napájení jsem zvolil 2 články zapojené do série (celkem 2,4 V). Kapacita článků je 1100 mAh.

Pro zajištění stabilního napětí 3,3 V jsem použil DC-DC měnič, který na vstupu podporuje napětí v rozmezí 1,8 ~ 5 V. Maximální výstupní proud je 100 mA, nárazově až 150 mA. Tyto hodnoty plně postačují pro zařízení KS. V kapitole 3.1 jsou některé naměřené hodnoty proudu vyšší, ale tyto hodnoty jsou na vstupu měniče.

Solární panel

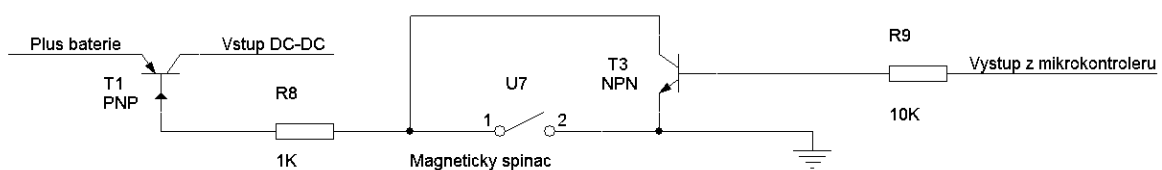
Nabíjení AKU zajišťuje vestavěný solární panel. Napětí na prázdnou použitého panelu je 4 V a maximální proud 35 mA. Panel je k AKU připojen přes Schotkyho diodu. Ta zabrání odběr proudu z AKU. Nabíjení probíhá pokaždé, když je dostatek světla a na panelu je větší napětí než na AKU. Ochranné obvody nejsou třeba. I kdyby solární panel dodával nepřetržitě maximální proud, bude menší než 55 mA, což je limit pro nabíjení bez ochrany. Pro NiMh je limit 5 % z kapacity [28], tedy v mém případě: $1100 \cdot 0,05 = 55 \text{ mA}$.

Zapínání a vypínání zařízení

Od začátku jsem věděl, že zařízení KS chci umístit do voděodolné krabičky, takže mechanický vypínač nepřipadal v úvahu. Pro zapínání zařízení jsem zvolil magnetický jazýčkový kontakt. Zařízení lze zapnout přiblížením magnetu na několik cm, tedy i přes krabičku. O vypnutí se postará sám mikrokontrolér. Díky samo-vypínacímu obvodu, který popisují níže, lze celé zařízení vypnout příkazem v programu. Jediná možná interakce se zařízením KS je NFC čtečka, nebo LoRa. Zvolil jsem NFC a vypínání tak probíhá přiložením jedné konkrétní karty.

Samo-vypínací obvod

Obvod se skládá ze dvou tranzistorů. Tranzistor T1 je typu PNP. Ten při otevření dodává proud do celého zařízení. Tranzistor T1 se otevře připojením báze na nulový potenciál. To nastane ve chvíli, kdy sepne magnetický spínač. V tu chvíli je zařízení zapnuto a po oddálení magnetu by se zase vypnulo. Proto je osazen tranzistor T3 typu NPN. Tranzistor T3 je připojený na výstup mikrokontroléru. Otevřením T3 se uzemní báze T1 a zařízení zůstane zapnuté i při rozpojení magnetického spínače. Důležité je, aby ihned po provedení nutné konfigurace registrů, následovalo sepnutí tranzistoru T3.



Obr. 19 Schéma zapojení samo-vypínacího obvodu

NFC karty pro ražení

Při výběru karet NFC pro závodníky jsem byl omezený sortimentem Conrad. Jediný možný typ NFC tagů byl Mifare Classic s50. Stejně tagy byli přiloženy i u samotných NFC modulů MFRC 522. Jediná možnost volby byla, jestli použít karty, nebo čipy. Po vyzkoušení obou variant jsem se rozhodl vybrat karty, protože umožňovali komunikaci na delší vzdálenost. Zároveň jsou ploché a lze je umístit například do pouzdra na popisky kontrol, které závodníci nosí na předloktí. Pro lepší manipulaci s kartami jsem do každé vyrazil díru. Díky tomu lze kartu nosit například na krku. Celkem je součástí systému 80 karet.

2.1.4 Návrh krabičky

Krabičku jsem navrhoval v programu Solid Edge. Nejdříve jsem si změřil veškeré komponenty a nakreslil je ve 3D. Komponenty jsem pak k sobě sestavil dohromady a kolem vytvořil krabičku. Na krabičku jsem si dal následující požadavky:

- ✓ Konstrukce odolná vůči povětrnostním vlivům
- ✓ Možnost krabičku otevřít
- ✓ Průhledná kvůli solárnímu panelu, LED diodě a možnostem prezentace systému
- ✓ Jednoduchá montáž na stojany pro OB



Obr. 20 Krabička: 3D návrh dolní a horní části, Vytisknuté obě části, Hotová krabička

Krabičku jsem vytisknul na 3D tiskárně z materiálu PLA. Jedná se o základní materiál pro 3D tisk, kyselinu polymlečnou. Výrobky z tohoto materiálu jsou mechanicky odolné a do jisté míry odolávají i vodě. Jako příklad uvedu vázu, vytisknutou stejným postupem, která po jednom dni začala prosakovat. Krabičky pro zařízení KS potřebují odolat jen dešti. Vnější stěny jsem udělal alespoň 3mm tlusté. Výplň objemových částí jsem při tisku nastavil na 15 %. Tvar jsem zvolil hranatý o velikosti 120 x 75 mm.

Možnost otevření krabičky je nutná kvůli případné výměně AKU, ale činí obtížnější udělat krabičku odolnou. Krabička se skládá ze dvou částí, přibližně stejně vysokých. Základna, s vymezeným prostorem pro každý prvek zařízení KS, a víčko. Spojené jsou pomocí čtyř šroubů v rozích. Šroubují se do krabičky ze spodní části a z vrchní nejsou vidět. V základně je po zašroubování zapuštěna hlava šroubu. Ve víčku je užší díra, než šroub. Díky tomu jsem nemusel použít matku, použil jsem samo-zápustné vruty do dřeva. Pro zajištění těsnosti je na okraji základny výstupek a na víčku je proti tomu drážka, do které výstupek zapadne. Pro ještě lepší těsnost jsem umístil do drážky tenké těsnění.

Průhlednost jsem zajistil nalepením plexiskla z vnitřní strany víka. Mezi přesahy plexiskla a vnitřní stěny víka jsem nanesl vodotěsný silikon. Silikon sám o sobě ale nelepí, přes spoj jsem ještě nanesl vrstvu lepidla z tavné pistole.

Pro připevnění krabiček na stojany OB jsem přímo v 3D modelu vytvořil díry na správném místě zespodu krabičky. Díky tomu zařízení zapadne na stojan a zespodu se zašroubuje.

2.2 Program mikrokontroléru

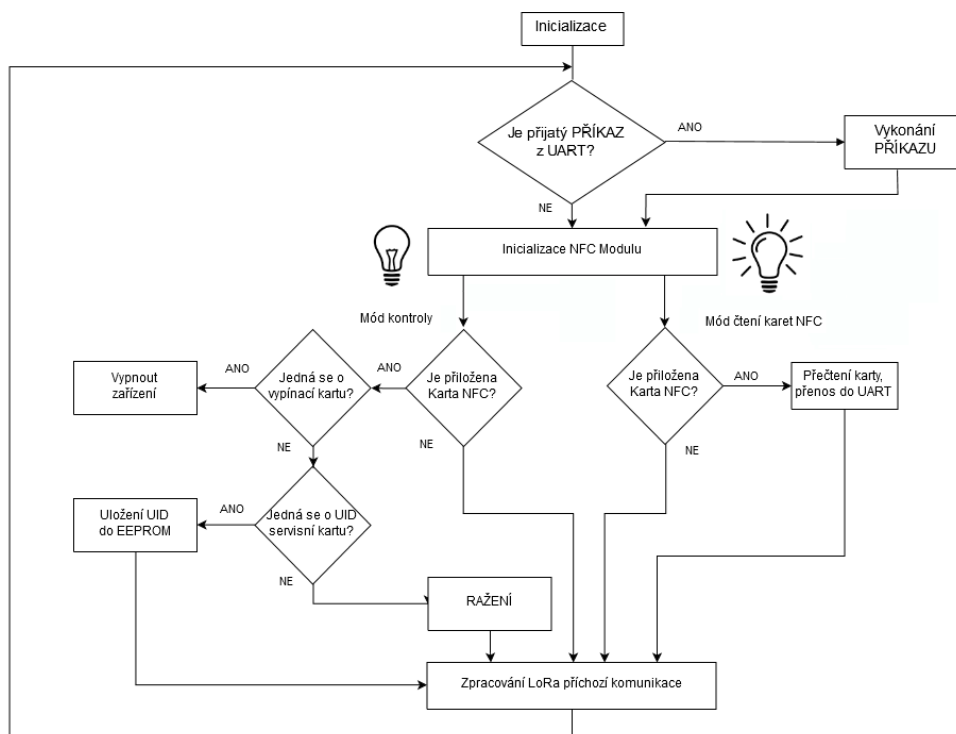
Celý program pro mikrokontrolér jsem napsal v jazyce C, v prostředí mikroC PRO for PIC. Výsledný hex soubor jsem do zařízení nahrál pomocí MPLAB X IPE. Mikrokontrolér jsem k počítači připojil přes programátor PICKit 3. Na DPS jsem pro tento programátor připravil pěti-pinový konektor pro snadné připojení. Při programování musí být vyndané baterie a napájení je třeba zajistit přímo z programátoru. Druhou možností je baterie v zařízení ponechat, to ale vyžaduje držet sepnutý magnetický spínač po celou dobu programování.

Každé zařízení disponuje identickým softwarem, včetně základnové stanice. Všechna zařízení jsou tedy záměnná. Důležité je nastavit každé kontrolé jiné UID, aby fungovalo ražení i přenos LoRa. Toto nastavení se provádí NFC kartou až poté, co je nahrán program do mikrokontroléru. Data pro kartu jsou vygenerována a zapsána na kartu obslužným softwarem. Zapnutá zařízení si organizátor rozloží na stole podle čísel a postupně přikládá nastavovací kartu. Zařízení potvrdí nastavení dlouhým, nepřerušným akustickým signálem.

2.2.1 Hlavní programová smyčka

Inicializace

Po restartu mikrokontroléru následuje základní inicializace jako frekvence oscilátoru a další parametry, které jsou nastaveny v prostředí MikroC. Můj program začíná funkcí nastavující další důležité registry. Jako první nastavím pin RA4 na digitální výstup a ihned ho přepnu do logické „1“. Tím se otevře NPN tranzistor v samo-vypínacím obvodu. Díky tomu zůstane zařízení zapnuté i po rozpojení magnetického kontaktu. Dále pokračuji nastavením všech I/O portů, analogových funkcí mikrokontroléru a inicializací všech komunikačních rozhraní. Konkrétně I2C, SPI a UART. Následuje nastavení modulu LoRa a čipu reálného času. Dále načtu z paměti EEPROM adresu UID místního zařízení a cílového bodu pro pakety LoRa.



Obr. 21 Vývojový diagram celého programu pro mikrokontrolér

UART příkazy

Po ukončení inicializace program vstoupí do nekonečné smyčky. Uvnitř této smyčky se jako první zpracuje případný příkaz přijatý přes UART. Tímto příkazem může být zapsání konkrétního sektoru na kartu NFC. Dále pak změna módu z kontroly na režim čtení NFC karet a naopak. Posledním možným příkazem je rozeslání LoRa paketu určeného všem zařízením v dosahu. Tento paket může obsahovat buď příkaz k nastavení aktuálního času, nebo příkaz k uvedení zařízení do úsporného režimu. Úsporný režim znamená, že modul NFC zůstane stále vypnutý a přiloženou kartu tak neodhalí. Tuto funkci jsem implementoval, protože zařízení KS je třeba do lesa umístit například den předem. Takto je lze na dálku aktivovat až těsně před začátkem závodu.

NFC komunikace

Výchozí nastavení každého zařízení je funkce kontroly. I v případě, že je zařízení KS použito jako základnová stanice, je žádoucí, aby bylo zařízení v módu kontroly. V tomto módu LED dioda nesvítí. Zařízení aktivuje NFC modul a zjistí, zda je přiložena NFC karta. Pokud ano, ověří podle sériového čísla, zda jde o vypínací nebo servisní UID kartu. V případě vypínací karty se výstup RA4 nastaví do logické „0“, čímž se zařízení vypne. Pokud jde o servisní kartu pro nastavení UID, načte se z karty dvojice UID, které jsou na řadě a zapíše se do paměti EEPROM. Použité UID se označí jako použité a další zařízení si načte další dvojici UID v pořadí. Pokud se nejedná ani o jednu speciální kartu, je provedeno ražení. V kapitole 2.2.3 rozeberu podrobně průběh ražení.

Mód čtení karet lze aktivovat pouze přes UART. Předpokládám, že zařízení je připojené přes USB a je tedy z počítače i napájeno. Díky tomu jsem mohl nechat trvale svítit LED diodu, což odliší jednotlivé módy. Rozsvícená LED totiž znamená vysoký odběr proudu přes sepnutý bzučák. Jakmile je přiložena karta, zařízení přečte celou její paměť a data odešle přes UART do počítače. Veškeré další zpracování probíhá až na počítači.

Na konci nekonečné smyčky se zpracuje případná příchozí komunikace ze sítě LoRa.

2.2.2 Obsluha čipů a modulů

Obvod reálného času (RTC)

Pro komunikaci s modulem používám sběrnici I2C, pro kterou jsem si vytvořil vlastní knihovnu. Stejně tak jsem napsal knihovnu pro samotný RTC čip. Obsahuje funkce inicializace, nastavení času a přečtení času. Při práci s časem používám pole o velikosti 6 bajtů. Vynechávám informaci o dni v týdnu, jinak je informace o datu kompletní.

Bajt 0		Bajt 1		Bajt 2		Bajt 3		Bajt 4		Bajt 5	
Rok	0 - 99	Měsíc	1 - 12	Den	1 - 31	Hodina	0 - 23	Minuta	0 - 59	Sekunda	0 - 59

Obr. 22 Struktura 6-bajtového časového pole

Inicializace se skládá ze tří kroků. Nejprve zapnu 24 hodinový formát hodin, poté aktivuji oscilátor a nakonec povolím záložní napájení na baterii (ze speciálního vstupu Vbat).

Při čtení času z RTC jsem musel data převést na hodnotu bajtu v rozsahu dle obrázku 22. Čip RTC totiž data ukládá v binárním kódu po dekadických cifrách. Pro zápis jsem převod provedl v opačném směru. Navíc při zápisu jsem musel dohlédnout, aby bity s nastavením zůstaly nezměněné. Bity, nastavující parametry RTC, jsou součástí registrů s časovými údaji.

NFC modul

Modul NFC s čipem MFRC 522 je určený hlavně pro platformu Arduino. Existuje mnoho knihoven pro zmíněný modul. Použil jsem je jako předlohu a vytvořil jsem svou knihovnu v MikroC kompatibilní s mikrokontroléry PIC. V knihovně je funkce pro základní inicializaci, ovládání antény a vše potřebné pro komunikaci s kartami Mifare. Při testech jsem se potýkal s vysokým odběrem proudu, proto jsem na DPS zajistil možnost úplného odpojení modulu NFC od napájení. Zajistil jsem to jedním PNP tranzistorem. V inicializační funkci tedy nejprve povolím napájení modulu, pak provedu reset a až pak nastavuji registry.

LoRa modul

Modul od Ai-Thinker je založen na čipu sx1276 a podporuje i jiné typy modulace, než LoRa. Existují univerzální knihovny pro Arduino, které umožní používat veškeré funkce čipu. Podobně jako u NFC modulu jsem převedl knihovny do jazyka C, abych je mohl použít pro mikrokontrolér PIC. Zároveň jsem použil jen části týkající se LoRa modulace. Nad touto knihovnou jsem vytvořil funkce pro inicializaci, příjem a odeslání paketu.

Finální nastavení parametrů tak, že vyhoví pravidlům pro ISM pásmo:

- ✓ Střední frekvence: 434 MHz (ISM: 433,05 – 434,79 MHz)
- ✓ Šířka pásma: 20,8 KHz (ISM: <= 25 KHz)
- ✓ Výkon vysílače: 10 dbm = 10 mW (ISM: <= 10 mW)

2.2.3 Ražení

Po vyloučení vypínací a servisní karty začne proces ražení. Nejprve je odečtena hodnota z A/D převodníku, čímž se zjistí stav nabití baterie. Poté je z RTC přečten aktuální časový údaj s přesností na vteřiny. Aby se na kartu dalo uložit větší počet ražení, složil jsem časový údaj do pěti bajtů i se stavem baterie. Tím jsem ušetřil 2 bajty. Společně se tří-bajtovým UID kontrolního stanoviště je to 8 bajtů. Jeden volný sektor má 16 bajtů, vejdou se tak do něj 2 záznamy. Z celkového počtu 47 volných bloků jsem jeden vyhradil jako pracovní hlavičku pro potřeby ražení a pro záznam informací o závodníkovi. Jeden sektor jsem ponechal jako rezervní pro budoucí aplikace. Pro záznamy ražení jsem vyčlenil zbylých 45, dohromady tím vznikl prostor pro 90 ražení.

Bit #	0	1 ~ 3	4 ~ 5	6	7 ~ 15	
Popis	Číslo slotu	UID posledního KS	Závodník ID	Kategorie	Jméno záv.	
Bit #	0 ~ 7			8 ~ 15		
Popis	#1 Záznam ražení (8 Bajtů)			#2 Záznam ražení (8 Bajtů)		
B1[7:1]	B1[0], B2[7:2]	B2[1:0], B3[7:6]	B3[5:1]	B3[0], B4[7:4]	B4[3:0], B5[7:6]	B5[5:0]
Stav Baterie	Rok	Měsíc	Den	Hodina	Minuta	Sekunda

Obr. 23 Struktura dat: (odshora) Sektor s hlavičkou, Sektor s ražením, Jedno ražení

Do hlavičky ražení se zapíše UID aktuálního zařízení KS a číslo následujícího volného slotu. Další kontrolní bod do tohoto slotu zapíše ražení. Provedené ražení se zkontroluje přečtením hlavičky, zda byla zapsána tak, jak měla. Pouze tehdy zařízení aktivuje akustickou a vizuální signalizaci. Až po doznění signalizace zařízení KS odešle LoRa paket s právě provedeným ražením. Pokud je aktuální zařízení KS použito jako základnová stanice, stejný paket se místo přes síť LoRa, odešle přes UART.

2.2.4 LoRa bezdrátová síť

Struktura paketu

Veškeré pakety LoRa vypadají stejně a zabírají 21 bajtů. Paket obsahuje tři UID určené pro směrování. Dále stav baterie, číslo paketu (každá stanice čísluje své pakety od 0 do 255). Dále 6 bajtů s časovým údajem. Poslední 4 bajty zabírá sériové číslo použité karty.

V případě, že jde o paket typu broadcast ze základnové stanice, je důležitá časová známka. Pak ale nejde o čas ražení, ale o aktuální čas, který zařízení použije pro nastavení času v RTC čipu. Ostatní pole jsou nevyužitá. Další možností je, že je měsíc nastaven na hodnotu 13, nebo 14. To označuje, že jde o příkaz k přechodu do úsporného režimu, nebo naopak.

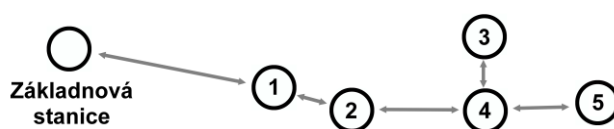
Bit #	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Popis	UID Zdroj			UID Příjemce			UID Přes			Stav baterie	Počítadlo paketů	Časová známka ražení - Rok Měsíc Den Hod. Min. Vteřina						UID použité karty			

Obr. 24 Struktura LoRa paketu

Topologie

Ze začátku jsem chtěl vytvořit síť, která by fungovala univerzálně, při jakémkoliv rozmístění kontrolních stanovišť. Musel jsem od toho upustit ze dvou důvodů. Při hustším rozestavení stanovišť a nutnosti dodržovat maximální vysílací čas v ISM pásmu, se síť často přehltla a ztrácely se pakety. Druhým důvodem, který mi zamezil vytvořit komplexní síť s mnoha možnostmi, byl nedostatek programové paměti v mikrokontroléru.

Přistoupil jsem ke stromové topologii. Každé zařízení KS komunikuje s nejbližším sousedem směrem k základnové stanici. Každé zařízení v síti ví, kam má posílat pakety. Topologii do značné míry ovlivňuje rozmístění kontrolních stanovišť a základnové stanice. V některém případě se může jednat o liniovou topologii. Při přípravě závodu je na organizátorovi, aby pro každé zařízení označil nejbližší stanoviště. Při plánování směrování se postupuje od základnové stanice a vždy se udělá spoj k nejbližšímu stanovišti. Při vypisování do tabulky, která kontrola má kam směřovat pakety, se najde spoj směrem k základnové stanici. Podle obrázku 25 by to bylo: 1-ZS, 2-1, 3-4, 4-2, 5-4.



Obr. 25 Ukázka směrování v mé LoRa síti

Zpracování paketu

Pokud zařízení KS přijme paket, ze směrovací hlavičky určí, co s ním udělat. Pokud je zařízení nakonfigurováno jako základnová stanice, přijatý paket odešle do počítače přes UART. Jestliže je cílovou stanicí paketu dané zařízení, paket se přepoše na zařízení, jež je nastaveno jako cílové na daném zařízení. A jestli se jedná o paket určený všem zařízením (broadcast), jsou dvě možnosti. Jde-li o paket nastavující aktuální čas, po nastavení místního času se paket zahodí. Neposílá se dále, protože čas by již nebyl aktuální. Druhou možností je paket s příkazem pro přechod do režimu spánku, nebo pro probuzení. Takový paket je přeposlán dále. Šíření paketu se předpokládá od základnové stanice. Paket je tedy zpracován pouze tehdy, je-li přijat od stanoviště, nastavené v daném zařízení jako cílové. V opačném případě je paket zahozen.

2.3 Obsluha systému v Matlabu

Pro vývoj software jsem použil prostředí Matlab. Vývoj v Matlabu má mnoho výhod. Všechny použité proměnné jsou přehledně zobrazené v tabulce. Kód lze testovat postupně. Grafické prostředí se vytváří nástrojem Guide. V něm se ovládací a zobrazovací prvky umisťují na plátno. Následně se v souboru m nastaví všechna propojení a funkce prvků.

Globální proměnné

Celý program pracuje s globálními proměnnými. Základní informace pro chod programu jsou v proměnné „p“. Jedná se o databázi všech závodníků, seznam používaných slotů na NFC kartě, věkové koeficienty, prázdnou šablonu proměnné „v“ pro vytvoření nového závodu a pracovní proměnné, používané při chodu programu. Proměnná „v“ spojuje všechna data související s daným závodem. V proměnné „v“ jsou základní informace o závodě, seznam účastníků daného závodu, seznam kategorií, seznam a pořadí kontrolních bodů v každé kategorii, směrování LoRa sítě, přijaté LoRa pakety a výsledky závodu. Data se ukládají na pevný disk ve formátu pro Matlab. Proměnná „p“ je jeden soubor a pro každý závod se proměnná „v“ uloží do zvláštního souboru.

Sériový port

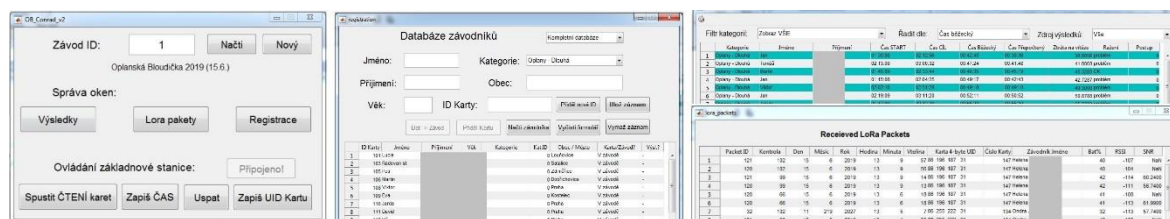
O zachycení komunikace ze sériového portu se stará funkce `serial_handle`. Při připojení k sériovému portu je k němu přidružena a aktivuje se, pokud jsou přijaty 4 nové bajty. Komunikace ze zařízení KS je zahájena informací o jaký druh zprávy se jedná. Celkem jsem zavedl 4 typy zpráv:

- ✓ `Aack` Potvrzovací zpráva – Následují 4 bajty se sériovým číslem dané karty
- ✓ `read` Byla přečtena NFC karta – Následuje obsah karty (celkem 1152 bajtů)
- ✓ `lora` Byl přijat LoRa paket – Následuje LoRa paket (celkem 32 bajtů)

Kompilace aplikace pro Windows

Matlab umožňuje ze skriptu vytvořit instalační balíček pro systém Windows. Ke spuštění aplikace pak není potřeba nainstalovaný Matlab. Navíc spuštění je jednodušší a veškerý kód je zabalený uvnitř. Program díky tomu nelze měnit ať už úmyslně, či neúmyslně. Balíček se vytvoří zabalením veškerých souborů a funkcí spojených s programem. Speciálně se označí hlavní funkce programu. Dále lze volitelně přidat ikonu a instalační obrázek. Nakonec je nutné vybrat, zda program pro svou funkci potřebuje příkazovou konzoli. Můj program konzoli potřebuje pro zadání parametrů jednotlivých kategorií. Program dává přesné instrukce jeho uživateli. Vše ostatní se obejde bez konzole a je řešeno v grafických oknech.

2.3.1 Uživatelské rozhraní



Obr. 26 Grafické rozhraní (hlavní okno, registrace, výsledky, LoRa), větší v příloze

Hlavní okno

Vytvořil jsem grafické uživatelské rozhraní se čtyřmi okny. Ze základního okna je možné otevřít jednotlivá okna dle potřeby. Při vytváření nového závodu se parametry zadávají do konzole. Z hlavního okna je také možné ovládat připojenou základnovou stanici. Lze přepínat režim čtení a kontrolního bodu. Dále lze vyslat LoRa paket s aktuálním časem. V neposlední řadě je možné zapsat nová data na servisní kartu UID.

Registrace

V okně registrace se v tabulce zobrazuje seznam závodníků v databázi. Je možné vybrat, zda se zobrazuje celá databáze, nebo jen závodníci v aktuálním závodu. Nad tabulkou jsou veškerá funkční tlačítka pro práci s databází. Nad nimi je formulář pro přidání nového závodníka, nebo alternativně prostor pro zobrazení právě vybraného závodníka.

Výsledková listina

Okno s výsledky je jedna velká tabulka, ve které se ukazují jednotlivé záznamy výsledků. Můžou být z několika zdrojů. Finální výsledek z vyčtené karty závodníka, odhad výsledku podle průběžných informací z LoRa paketů a také predikce nejlepších časů podle parametrů závodu. Výsledky lze řadit podle kteréhokoliv sloupce a lze vyfiltrovat jednu kategorii. Výsledky se automaticky obnovují. V případě vyčtení nové karty nebo příjmu nových dat přes LoRa se data ihned objeví v tabulce.

LoRa

Posledním oknem je LoRa, což je jen přehledný seznam přijatých paketů. Aktualizuje se automaticky. Okno nemá jiné funkce, jen ukazuje přijaté pakety od nejnovějšího.

2.3.2 Strojové učení

Při založení závodu je na základě parametrů každé trati vytvořen odhad výsledků prvních tří pozic. Tyto predikce se ihned objeví ve výsledkové listině a jakmile přijdou průběžné výsledky přes LoRa síť, lze je s predikcí porovnat. Na základě toho je ihned vidět pravděpodobné umístění závodníka.

Historická data z ORIS

Informační systém Českého svazu orientačních sportů (ORIS) je webová databáze pořádaných orientačních závodů. V databázi se lze na závody přihlašovat a zjišťovat si o konaných závodech veškeré informace. Po skončení každého závodu se na webu ORIS objeví kompletní výsledky.

Pomocí Matlabu jsem z webu ORIS [29] stáhnul rozsáhlý dataset s výsledky závodů. Čerpám z veřejných dat, která ale nejsou sdílena v jedné tabulce. Musel jsem zpracovat tisíce html stránek, ze kterých jsem extrahoval potřebná data. Celkem jsem získal více než 11 tisíc použitelných záznamů z různých závodů z let 2013 až 2018.

Spolupráce s M. IN. D.

Jeden měsíc jsem pracoval na této práci v laboratoři pana profesora Moona, v Jižní Koreji na univerzitě SKKU. Spolupráce měla být mnohem delší, ale časové a organizační problémy v laboratoři nakonec vyústili, v můj návrat do České Republiky a ukončení spolupráce. I za tento krátký čas jsem nadefinoval svůj problém a zvolil si cestu jeho řešení. Poté jsem vyzkoušel několik algoritmů strojového učení na získaná data a porovnal získané výsledky.

Stanovení cíle a postupu řešení

Každý závod má většinou více kategorií s různými parametry podle obtížnosti. Z databáze jsem určil základní parametry, na základě kterých jsem chtěl postavit predikční model. Rozhodl jsem se pokusit se predikovat časy tří nejlepších vítězů. Jako vstupní parametry jsem vybral tyto parametry kategorie: Vzdálenost, převýšení a počet kontrolních stanovišť.

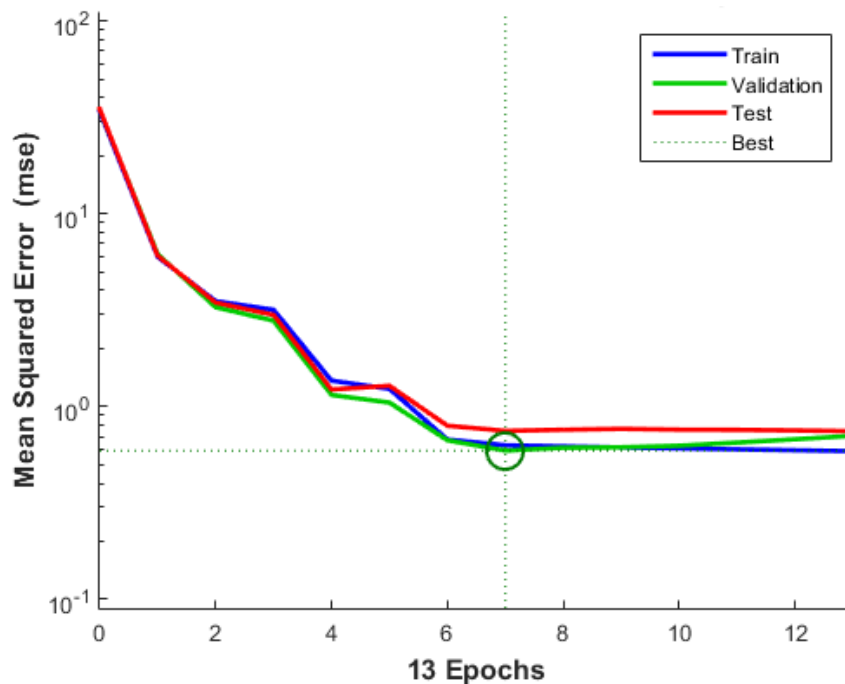
Výsledky

Pro vyhodnocení úspěšnosti modelu jsem použil metriku RMSE. Výsledky strojového učení jsem porovnával s jednoduchou matematickou metodou (baseline). Ze všech dat určených pro trénink jsem vytvořil průměrnou rychlost vítězů. Bez přihlídnutí k dalším parametrům trati. Tato základní metoda se ukázala jako dobrý základ. S použitím metod strojového učení jsem dokázal snížit RMSE o třetinu.

- | | |
|--|-------------------|
| ✓ Jednoduchá matematická metoda baseline | RMSE = 10,5 minut |
| ✓ Neuronová síť základní | RMSE = 7,4 minut |
| ✓ Neuronová síť pokročilá (více koeficientů) | RMSE = 7 minut |
| ✓ Náhodný les | RMSE = 7,5 minut |

Výsledky ukazují, že nejlépe funguje rozsáhlá neuronová síť. Tu jsem použil ve finálním programu. Chyba 7 minut se zdá velká, ale predikce jsou pro základní představu dostačující.

Graf 1: Průběh učení neuronové sítě v Matlabu (zobrazovaná MSE je normalizovaná)



3 Testování

3.1 Měření spotřeby

Podmínky měření

Spotřebu elektrického proudu jsem měřil se zdrojem konstantního napětí 2,4 V, což je provozní napětí dvou NiMh článků zapojených do série. Pro měření okamžitého odběru na osciloskopu jsem napětí zvýšil, protože docházelo k úbytku na měřicím rezistoru. Ve vypnutém stavu jsem měřil celkem 10 minut, vždy 1 vzorek za 30 sekund. Celkem jsem změřil 20 vzorků, které jsem zprůměroval. Důležité bylo provést toto měření po vypnutí zařízení (bez odpojení napájení), aby čip RTC zůstal nakonfigurovaný a běžel oscilátor.

Spotřeba v zapnutém stavu

Spotřeba energie zapnutého zařízení není konstantní, nýbrž závisí na právě prováděné činnosti. Největší odběr v zařízení představuje vysílání přes LoRa modul a akustická signalizace ozaření. Na výdrž baterie má vliv i četnost ražení. Každé ražení spotřebuje navíc energii, na kterou by mohlo zařízení KS fungovat další 3 vteřiny v pohotovostním režimu.

Tabulka 2: Odběr proudu zařízení KS při různých činnostech

Pohotovostní režim			Přiložení karty a ražení				Průměrný odběr proudu		
Činnost	I [mA]	t [ms]	Činnost	Úsek grafu	U [mV]	I [mA]	t [ms]	Činnost	I [mA]
Nečinnost	15	100	Nečinnost	A	16,5	15	225	Pohotovostní režim	27,9
Hledání karty	45	75	Hledání karty	B	49,5	45	75	Přiložení karty	86,3
Perioda poh. režimu:		175	Zápis NFC karty	C	82,5	75	150		
			Vysílání LoRa paketu	D	181,5	165	400		
			Akustická signalizace	E	71,5	65	500		
							Délka jednoho ražení:		1350

Doba nečinnosti je v tomto případě čas, po který je NFC modul odpojený od energie a procesor vykonává jinou činnost. Může to být například kontrola, zda LoRa modul nepřijal data. Pohotovostní režim je periodicky se opakující doba nečinnosti a hledání karty.



Obr. 27 Průběh odběru elektrického proudu zařízení KS na osciloskopu (R = 1,1Ω)

Vliv na spotřebu v pohotovostním režimu má i četnost dotazů, zda je přiložena karta. Při hledání karty je proudový odběr 3x větší než v době nečinnosti. V aktuálním nastavení jsem

do smyčky nepřidal žádnou bezdůvodnou prodlevu. Dotaz na přiblížení karty je iniciován s frekvencí 5,7 Hz. Hodnota, která je zajímavá pro uživatele, je maximální doba dokončení ražení po přiložení karty. V aktuální konfiguraci je to 325 ms. Na obrázku 27 (z osciloskopu) je to o 400 ms déle, protože jsem měřil na starším firmwaru, kde je LoRa paket vyslán ještě před akustickou signalizací. Později jsem pořadí otočil a závodník čeká jen na dokončení zápisu na jeho čipovou kartu. LoRa paket je odeslán až po akustické signalizaci, tedy v době, kdy už závodník odbíhá od kontrolního stanoviště. Já jsem zvolil urychlení ražení, ale v kapitole 4 vysvětlím možnost, jak díky tomu snížit spotřebu v pohotovostním režimu.

Naměřené hodnoty spotřeby jsou relativně velké z těchto důvodů:

- ✓ Samo-vypínací obvod (veškerý proud prochází přes bipolární tranzistor)
- ✓ DC-DC měnič s nízkou účinností
- ✓ Elektronika je napájena 3,3 V, ale proudy jsou měřeny při napětí 2,4 V (napětí AKU)

Celková výdrž na baterii je v pohotovostním režimu až 40 hodin. Pro závod je nutná výdrž alespoň 24 hodin, protože kontrolní stanoviště se zpravidla roznáší den předem. Přes den se zařízení nabíjí díky solárnímu článku, výdrž tedy bude ještě větší. Solární panel dodává proud až 35 mA, tedy v pohotovostním režimu se akumulátor dokonce dobíjí.

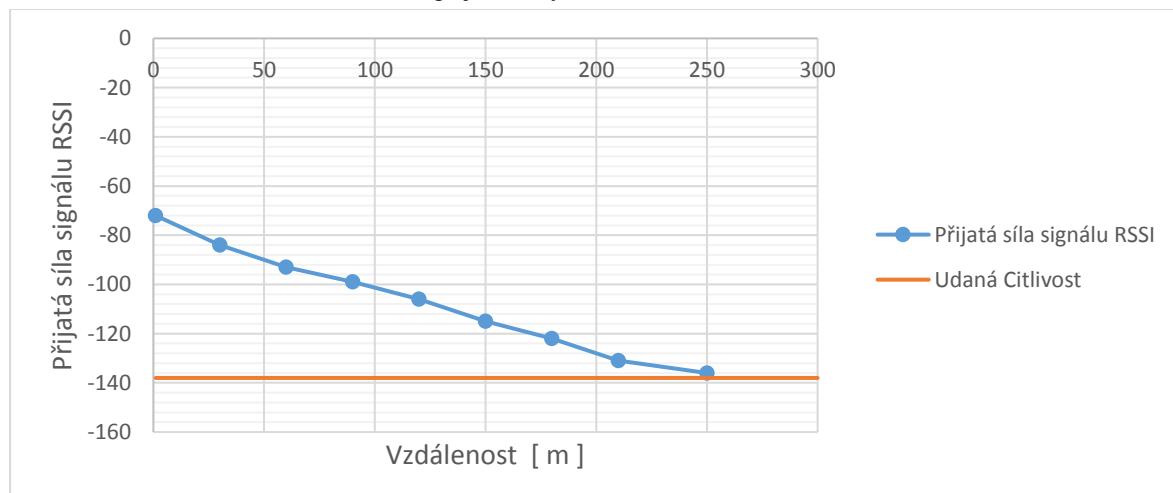
Spotřeba ve vypnutém stavu

Po vypnutí zařízení zůstávají baterie připojeny na bateriový vstup obvodu reálného času. Díky tomu si všechna zařízení udrží skutečný čas i při skladování. Obvod RTC má v udržovacím režimu minimální spotřebu, jen 4,4 uA. Zařízení v tomto stavu za měsíc spotřebuje asi 3 mAh. V porovnání se samovybíjením NiMh akumulátorů je tento odběr zanedbatelný. Samovybíjení může dosáhnout až 30% kapacity za měsíc (cca. 366mAh). Správnou funkci obvodu RTC v režimu udržení času na baterii zajistí napětí od 1,3 V. I značně vybitý akumulátor stále zajistí dostatečné napětí pro udržení času. Pokud je systém skladován tak, že na solární panel dopadá dostatek světla, je samovybíjení kompenzováno.

3.2 LoRa přenos

Měření dosahu LoRa přenosu jsem provedl na volném prostranství (na poli). Použil jsem nastavení LoRa modulu dle kapitoly 2.2.2 a zařízení byla ve výšce 1 m nad zemí.

Graf 2: Průběh RSSI přijatého vysílání LoRa mezi dvěma zařízeními KS



Výsledky mě velice zklamaly, protože dosah LoRa technologie měl být alespoň 1 km. Důvodem může být nízká kvalita čipů, protože byli levnější než konkurenční modely. Druhou příčinou je omezení ISM pásma 433 MHz, které umožňuje jen 10 mW, i když modul podporuje až 25 mW.

Zkoušel jsem měřit i při jiném nastavení modulu LoRa. Měnil jsem hodnotu SF, šířku pásma a kódování. Šířku pásma jsem musel ponechat 20,8 MHz, protože více zakazují pravidla ISM pásma a méně čip nedokáže správně přijmout. Kódování jsem nechal na maximum, protože při méně robustním kódování byli pakety často chybové. Měnil jsem SF od 7 do 12. I když by větší hodnota měla poskytnout delší dosah, nebylo tomu tak a jenom se neúměrně prodloužil vysílací čas. To by znamenalo větší odběr proudu a delší čas nečinnosti pro splnění podmínky ISM pásma ohledně maximální vysílací doby v čase. Zkoušel jsem i výměnu antény, ale dosáhl jsem opět stejných výsledků, nebo i horších. Použitá anténa má dobré zesílení a lze ji dobře umístit do krabičky.

3.3 Zkušební OB závod

Jsem členem spolku SOBSA, který každoročně pořádá závod v orientačním běhu pro cca. 200 závodníků. Závod se konal v obci Oplany 15.6. 2019 pod názvem Oplanská Bloudička. Doposud se pro ražení používaly papírové průkazy. Letošní 12. ročník jsem využil k tomu, abych zde otestoval svůj elektronický systém ražení. Systém jsem nasadil na jedné ze tří kategorií, kvůli omezenému počtu vyrobených kontrol. Systém v praxi otestovalo celkem 48 závodníků. Firma Conrad ze závodu pořídila profesionální videozáznam, dostupný na blogu Conrad [30].

Parametry závodu

Pro test systému jsem vybral nejnáročnější z kategorií, protože se jí účastní vesměs zkušení závodníci a zpětná vazba od nich je nejvíce relevantní. Vzdušná vzdálenost spojuje všechny kontrolní body od startu do cíle. Pro start, cíl a všechny kontrolní stanoviště je potřeba celkem 19 zařízení. K tomu základnová stanice pro prezenci, příjem dat z LoRa sítě a vyčítání dat z karet po závodě. Vzdálenosti mezi jednotlivými kontrolními stanovišti byly různé. Pohybovaly se od 100 metrů až do 1 km. Jak vyplývá z měření v předchozí podkapitole, použité LoRa moduly nebudou schopny překonat vzdálenosti nad 200 m.

- ✓ Vzdušná vzdálenost: 5,5 km
- ✓ Celkové převýšení: 160 m
- ✓ Počet kontrolních stanovišť: 17
- ✓ Počet závodníků: 48

Průběh závodu

Jako první závodníci přišli na prezenci, kde jsem jim přidělil NFC kartu. Poté se odebrali na start závodu, kde dostali mapu a postupně odstartovali. Kartu si někteří umístili do pouzdra na ruce (pod popisky kontrol), jiní dali přednost klíčenice na krk. Na všech kontrolních stanovištích, počínaje startem, pak kartu přikládali k zařízením KS. Rozdíl v čase oražení startu a cíle nahradilo v závodě stopky a kontrola oražení všech stanovišť proběhla ve vteřině na počítači po načtení dat z karet. Po doběhnutí všech závodníků proběhlo vyhlášení vítězů.

Zhodnocení systému

System zafungoval dobre a bylo mozne vyhlásit výsledky na základě dat ze systému. Celý den byl slunečný, a teploty tak rostly nad snesitelné meze. To bohužel způsobilo problémy i některým zařízením, vystavených přímému slunci. V těchto zařízeních horkem povolily vnitřní stěny krabičky, držící baterie, čímž zařízení ztratilo napájení. Týkalo se to jen 3 zařízení z 20. Start a cíl nebyl zasažen a tak nebyl problém s celkovými časy u žádného ze závodníků. Celkově závod dopadl výborně a systém měl velký úspěch.



Obr. 28 Zdeformovaná stěna držáku baterií po závodě

Zpětná vazba od závodníků

Závodníci byli se systémem celkově spokojeni a ocenili náhradu papírových průkazů. V předchozím odstavci jsem popsal potíže, které objektivně nastaly. Zde uvedu připomínky závodníků, které jsou od lidí, co systém zkusili v reálných podmínkách.

✓ Pozitivní připomínky:

- Jednoduchá manipulace s kartou
- Rychlost zápisu karty
- Design zařízení
- Solární panel pro napájení
- Okamžitý přenos dat
 - Kvůli omezenému dosahu nebyla data zdaleka kompletní, ale závodníci ocenili i útržkovité informace o postupu svých oponentů.

✓ Negativní připomínky:

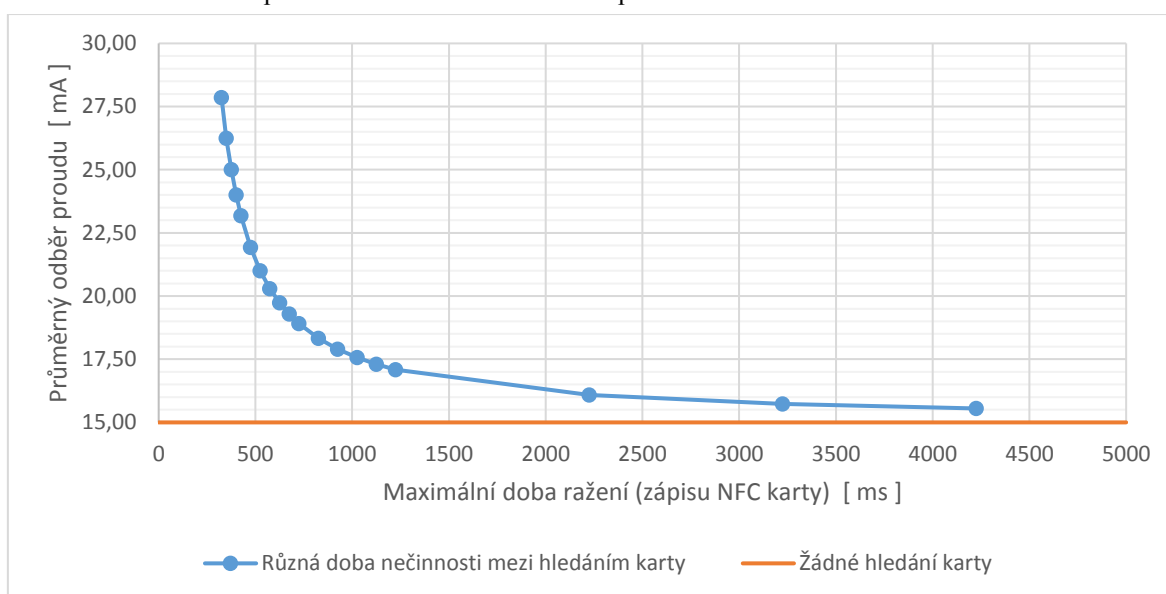
- Nízká hlasitost akustické signalizace ražení
- Špatná viditelnost světelné signalizace ražení na přímém slunci
- Nedostatečné vyznačení kam přiložit kartu
- Při uložení karty v pouzdru na ruce, si při ražení závodník zakryje LED diodu

4 Možná vylepšení

Snížení spotřeby v pohotovostním režimu

Ze zkušebního závodu vím, že doba úspěšného provedení ražení pod 0,5 vteřiny je pro závodníky snesitelná. Pohotovostní režim je stále se opakující doba nečinnosti a hledání karty. V aktuální verzi firmware není přidána jakákoliv prodleva navíc. Přidáním prodlevy do každé periody je možné snížit průměrný odebíraný proud. Podle grafu 3 je průměrný proudový odběr 27,86 mA pro aktuální situaci. V případě prodloužení doby nečinnosti na necelých 500 ms, je odběr 22 mA. Pro ukázkou jsem zahrnul i hodnoty přes 2 vteřiny, což je ale nepříjemně dlouho a závodníci by nebyli spokojeni. Navíc úspora energie už není výrazná. Minimum je stále 15 mA, což je spotřeba v době nečinnosti.

Graf 3: Závislost průměrného odběru elektrického proudu na maximálním čase dokončení ražení



Navýšení počtu zařízení KS

Časové a finanční možnosti vedly k výrobě 20 kusů. Testovací závod je dobrou ukázkou, kolik zařízení KS je dohromady potřeba na jeden závod. Na jednu kategorii stačilo 20 ks, kdybych chtěl zařízení použít na všech trasách, potřeboval bych jich 41. Množství kontrolních stanovišť není nijak omezen a je možné systém rozšířit výrobou dalších. Design DPS se osvědčil a nevykazuje žádné nedostatky. Další kusy lze tedy vyrobit podle stávajících výrobních dat. Za předpokladu, že se uživatel spokojí s omezeným dosahem použitých LoRa modulů. Jiný modul by pravděpodobně vyžadoval návrh nový. Pro budoucí výrobky bych navrhl nahradit modul DC-DC měniče vlastním řešením, což popisují dále.

Větší počet zařízení by mohl také vyřešit problém s dosahem použitých modulů. Pokud by byla potřeba mezi dvěma kontrolními stanovišti překonat vzdálenost například 600 m, jednoduše by se na trasu dala další dvě zařízení, která by zprávy přeposílala.

Náhrada modulu DC-DC měniče

Modul zdroje 3,3 V je samostatná, malá DPS, připojená přes 3 kontakty k hlavní DPS. Modul jsem zakoupil jako hotovou součástku. Použitý měnič má špatnou účinnost, a i když není připojena zátěž, jeho vlastní spotřeba je několik mA. To je jedna z příčin relativně velké

klidové spotřeby celého zařízení (15 mA). Návrh vlastního řešení se obejde beze změn na stávající DPS zařízení KS. Cílem by bylo navrhnout vlastní malou DPS v podobné velikosti a se stejným rozložením pinů, jako použitý komerční modul DC-DC měniče. Konstrukční řešení stávajících zařízení KS umožňuje snadnou výměnu i v již hotových kusech.



Obr. 29 Osazená DPS zařízení KS s vyznačeným modulem DC-DC měniče

Možnosti úpravy firmware

Při vývoji firmware jsem postupně zaplnil celou programovou paměť mikrokontroléru a nemohl jsem tedy přidávat další funkce. Veškeré nezbytné funkce v mikrokontroléru jsou, ale potenciál zařízení je mnohem větší. Zvětšit programovou paměť by šlo jen výměnou mikrokontroléru a tím i změnou celého návrhu zařízení. Myslím si, že by šlo program napsat úsporněji a tím získat paměť pro další funkce. Úsporou by mohla být zkrácení UID kontrolních stanovišť ze tří na dvě. Dále pak je v programu zbytečně duplikovaná práce s NFC modulem. Po přijetí příkazu z UART se od modulu vyžaduje nepatrně jiná činnost, proto je tam vlastní obslužný kód. Úspora by mohla být, změna pomocné proměnné, která by v hlavní části práce s NFC změnila nějaké drobnosti, ale základ zůstal jen jeden.

LoRa komunikaci je možné vylepšit a to tím, že by se vytvořený paket ukládal do vnitřní EEPROM paměti a o vysílání se starala rutina přerušení. Každých několik sekund by se pak zkontrolovalo, zda je v seznamu paket, a ten by se vyslal. Jakmile by zařízení přijalo ten samý paket od jiného zařízení KS, ze seznamu by byl paket vymazán. Jinak by se později poslal znovu, protože zřejmě nedošlo k doručení. Přenos by tak byl spolehlivější.

Aplikace pro mobilní telefon

Mnoho dnešních mobilních telefonů v sobě obsahuje modul NFC, umožňující číst a zapisovat karty. Některé podporují i Mifare Classic karty. Aktuální sestava základnové stanice je přenosný počítač s Windows, obslužný program v Matlabu a jedno zařízení KS, připojené k počítači přes sériový port. Tato sestava by šla nahradit mobilním telefonem s vestavěnou čtečkou NFC a obslužnou aplikací. Mobilní telefon však nemá modul LoRa, takže by funkčnost byla omezená na registr závodníků, přidělení karet a zpracování výsledků po přečtení dat ze všech karet.

Pro zajištění plné funkčnosti základnové stanice, včetně LoRa komunikace, navrhuji jedno zařízení KS osadit modulem BLE. Existují moduly BLE, komunikující s mikrokontrolérem přes UART. V krabici fyzické místo pro takový modul je, UART a napájení je vyvedeno na kontakty, takže tomuto rozšíření nic nebrání. V takové konfiguraci by aplikace nevyžadovala ani NFC čtečku podporující Mifare karty, tuto funkci by plně převzalo připojené zařízení KS. Naprostá většina mobilních telefonů disponuje technologií nízkoenergetického Bluetooth, což zvyšuje univerzálnost tohoto řešení.

Závěr

Navrhl a vyrobil jsem funkční systém elektronického ražení pro orientační běh, čímž jsem splnil hlavní cíl této práce. Systém jsem vytvořil jako 20 zařízení a každé je soběstačný vestavěný systém. Vyřešil jsem veškeré požadavky na vestavěný systém. Každé zařízení má své vlastní napájení z výměnného akumulátoru a solárního článku. Všechna zařízení mezi sebou komunikují přes bezdrátovou síť LoRa, což přidává systému novou funkcionalitu oproti komerčním systémům ražení. Samotné ražení obstarává modul NFC, který na vzdálenost několika centimetrů zapisuje data ražení na čipovou kartu Mifare. Každé zařízení je univerzální a může fungovat jako kontrolní stanoviště, nebo základnová stanice. Jednotlivá zařízení jsou zapouzdřena do krabičky. Celý systém, včetně 80 karet pro závodníky, lze uchovat v praktickém kufříku.

Podle potřebných součástí jsem navrhl elektroniku a hlavně pak DPS. Tu jsem jako jedinou nechal vyrobít u profesionální firmy, protože v domácích podmínkách to není možné bez potřebného vybavení. Součástky jsem na DPS osazoval páječkou s tenkým hrotem. Pro všechny prvky zařízení jsem navrhl 3D model krabičky přesně na míru. Tu jsem následně vytiskl na 3D tiskárně. Celkem, čistého času, trval tisk všech 20 krabiček více než 150 hodin. Z vnitřní strany víček jsem nalepil plexiskla. Zařízení jsem zkompletoval a nahrál do nich firmware. Programová paměť mikrokontroléru PIC je zaplněna z 99%. Díky tomu nebylo možné přidat některé funkce, nebo více využít potenciál technologie LoRa. V mikrokontroléru využívám i paměť EEPROM pro uložení UID pro směrování LoRa paketů.

Srdcem systému je obslužný software v počítači. Program komunikuje se zařízeními v lese přes připojenou základnovou stanici. Uživatelské rozhraní programu se skládá ze čtyř grafických oken. Pro zadávání některých parametrů je použita konzole. Program zajišťuje přehlednou práci s databází účastníků a parametry závodu. Dále program zpracovává průběžné výsledky a vytváří výsledky konečné po přečtení NFC karet závodníků. Do systému je zároveň integrován systém predikce výsledků podle parametrů tratě za použití neuronové sítě. Díky mé stáži v laboratoři M. IN. D. v Jižní Koreji jsem vyzkoušel více algoritmů strojového učení a různé modely. Pracoval jsem s daty, která jsem získal z webové databáze ORIS, obsahující tisíce závodů v OB i s parametry tratí a s výsledky.

U hotových zařízení jsem změřil spotřebu elektrické energie a dosah bezdrátové sítě LoRa. Dosah je jen 250m, což je mnohem méně, než udává výrobce. Jedním z důvodů je malý vysílaný výkon, který jsem musel zvolit 10 mW místo maximálních 17 mW, což umožňuje použitý modul. Vyšší výkon ale nedovolují pravidla pro ISM pásmo 433 MHz. Také to může být nižší kvalitou čipů, které stojí třetinu, v porovnání s jinými moduly na trhu. Spotřeba energie při provozu by mohla být menší, ale hodnoty jsou dostatečně malé na několika-denní provoz systému. Přes den jsou akumulátory dobíjeny ze solárního článku. Díky spotřebě ve vypnutém stavu (4,4 uA), je možné zařízení skladovat dlouhou dobu bez ztráty nastavení.

Celý systém jsem nakonec otestoval na skutečném závodě v OB. Zúčastnilo se ho přes 200 lidí. Z toho 48 závodníků běželo dlouhou trať a používalo můj systém ražení. Celkově systém fungoval dobře a data z něj jsem použil pro vyhlášení závodu. Jsem rád, že jsem systém mohl vyzkoušet, protože se ukázaly i nedostatky, které jsem následně odstranil. Díky tomu je nyní systém plně funkční a připravený na další závod.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Sekce orientačního běhu Českého svazu orientačních sportů. *Pravidla orientačního běhu*. [vid. 2019-08-11]. URL: http://www.orientacnibeh.cz/upload/dokumenty/sekce-ob/pravidlaob15_20150121044739.pdf
- [2] Petr Mareček. Mapa pro orientační běh - Zubří. [vid. 2019-08-11]. URL: <http://www.omapy.cz>
- [3] ŽEMLÍK, Jan et al. *50 let orientačního běhu v ČR 1950-2000*. Zlín: ČSOB Praha společně s COH Zlín, 2000. [vid. 2019-08-11]. URL: <http://www.orienteeing-history.info/50letob.pdf>
- [4] Společnost Sporticus. *Potřeby pro orientační běh, MTBO a LOB: Kleště na orientační běh, série A/B/C*. [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.sporticus.cz/p/kleste-na-ob-serie-a-b-c/>
- [5] Společnost Emit. *Electronic Punching and Timing system for orienteering*. [vid. 2019-08-11]. URL: <http://www.emit.as/web/ept/>
- [6] Sportident. *Orienteering App*. [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.sportident.com/>
- [7] Sportident. *Short Range Radio*. [vid. 2019-08-11]. URL: https://www.sportident.com/images/PDF/1_si_base_products/8_si-radio/SRR-Kit/SPORTident_SRR_en.pdf
- [8] SROVNAL, Vilém. *Vestavné systémy: charakteristika, vývoj, použití*. [vid. 2019-08-11]. URL: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/vestavne-systemy-charakteristika-vyvoj-pouziti-2007_10_34242_3985/
- [9] HÁČ, Anna. *Wireless sensor network design*. John Wiley & Sons, Ltd, 2003. ISBN 0-470-86736-1.
- [10] THORNTON, Scott. *Watchdog Timer: what is it?* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.microcontrollertips.com/whats-watch-dog-timer-wdt-faq/>
- [11] Blog Embien. *Embedded System Design – Architecture*. [vid. 2019-08-11]. URL: <http://www.embien.com/blog/embedded-system-design-architecture/>
- [12] RAYES, Ammar and SALAM, Samer. *Internet of things – from hype to reality*. Cham: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-44858-9.
- [13] BEEBY, Stephen and WHITE, Neil. *Energy harvesting for autonomous systems*. Norwood: Artech House, 2010. ISBN 978-1-59693-718-5
- [14] Christopher Lemel VERDIDA and Janiver VERDIDA, *Wireless Power Transfer Using Near-Field Communication for Mobile Devices*, Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017 - ECCE Asia), 2017 IEEE 3rd International
- [15] NXP Semiconductors. *NTAG I²C Explorer Kit - user's manual, listopad 2014*. [vid. 2019-08-11]. URL: [http://www1.futureelectronics.com/Mailing/etechs/NXP/etechALERT_NXP_NFC/Images/NTAG%20I2C%20Explorer%20User%27s%20Guide%20\(Nov%202014\).pdf](http://www1.futureelectronics.com/Mailing/etechs/NXP/etechALERT_NXP_NFC/Images/NTAG%20I2C%20Explorer%20User%27s%20Guide%20(Nov%202014).pdf)
- [16] MINI HOLD, Roland. *Near Field Communication (NFC) Technology and Measurements, White Paper, Červen 2011*. [vid. 2019-08-11]. URL: https://cdn.rohde-schwarz.com.cn/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma182/1MA182_5E_NFC_WHITE_PAPER.pdf

- [17] PETERKA, Jiří - archiv článků a přednášek. *Báječný svět počítačových sítí, Část VIII - Přenosové techniky, II.* [vid. 2019-07-16]. URL: <http://www.earchiv.cz/b05/b1100001.php3>
- [18] Společnost SonMicro Electronics. *Mifare Classic manuál.* [vid. 2019-07-16]. URL: <https://shop.sonmicro.com/Downloads/MIFARECLASSIC-UM.pdf>
- [19] Semtech. *What is LoRa® ?* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [20] IOT-portál. *LoRaWAN.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/29/lorawan/>
- [21] Lora-alliance. *A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™: Technical marketing workgroup 1.0.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>
- [22] Český telekomunikační úřad. *Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/11.2016-13 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/10/11.2016-13/obrazky/vo-r10-112016-13.pdf>
- [23] Robert Lie. *LoRa tutorial.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/>
- [24] PECH, Jiří. *IOT technologie: LoRa a LoRaWAN (3/5), 2019-02-19.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lora-a-lorawan-3-5/>
- [25] Blog Pripojme. *Architektura a popis jednotlivých funkčních bloků: Technologie LoRa.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://pripoj.me/technicke-aspekty-technologie-lora/>
- [26] Společnost Conrad. *Univerzální kufřík na nářadí Allit AluPlus.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://www.conrad.cz/univerzalni-kufrik-na-naradi-allit-aluplus-basic-l-35-424100-d-x-s-x-v-345-x-285-x-105-mm.k1520896>
- [27] Společnost Microchip. *PIC16(L)F1825/9: 14/20-Pin Flash Microcontrollers with XLP Technology (datový list).* [vid. 2019-08-11]. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001440E.pdf>
- [28] Blog Robot room. *Simple Solar Power Circuit with Rechargeable Battery Backup.* [vid. 2019-08-11]. URL: <http://www.robotroom.com/Solar-Recharging.html>
- [29] ORIS. *Informační systém Českého svazu orientačních sportů.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://oris.orientacnisporty.cz/>
- [30] Karel Setnička. *Orientační běh pod taktovkou firmy Conrad – použití maker projektu v praxi, 2019-07-17.* [vid. 2019-08-11]. URL: <https://blog.conrad.cz/orientacni-beh-pod-taktovkou-firmy-conrad-pouziti-maker-projektu-v-praxi/>

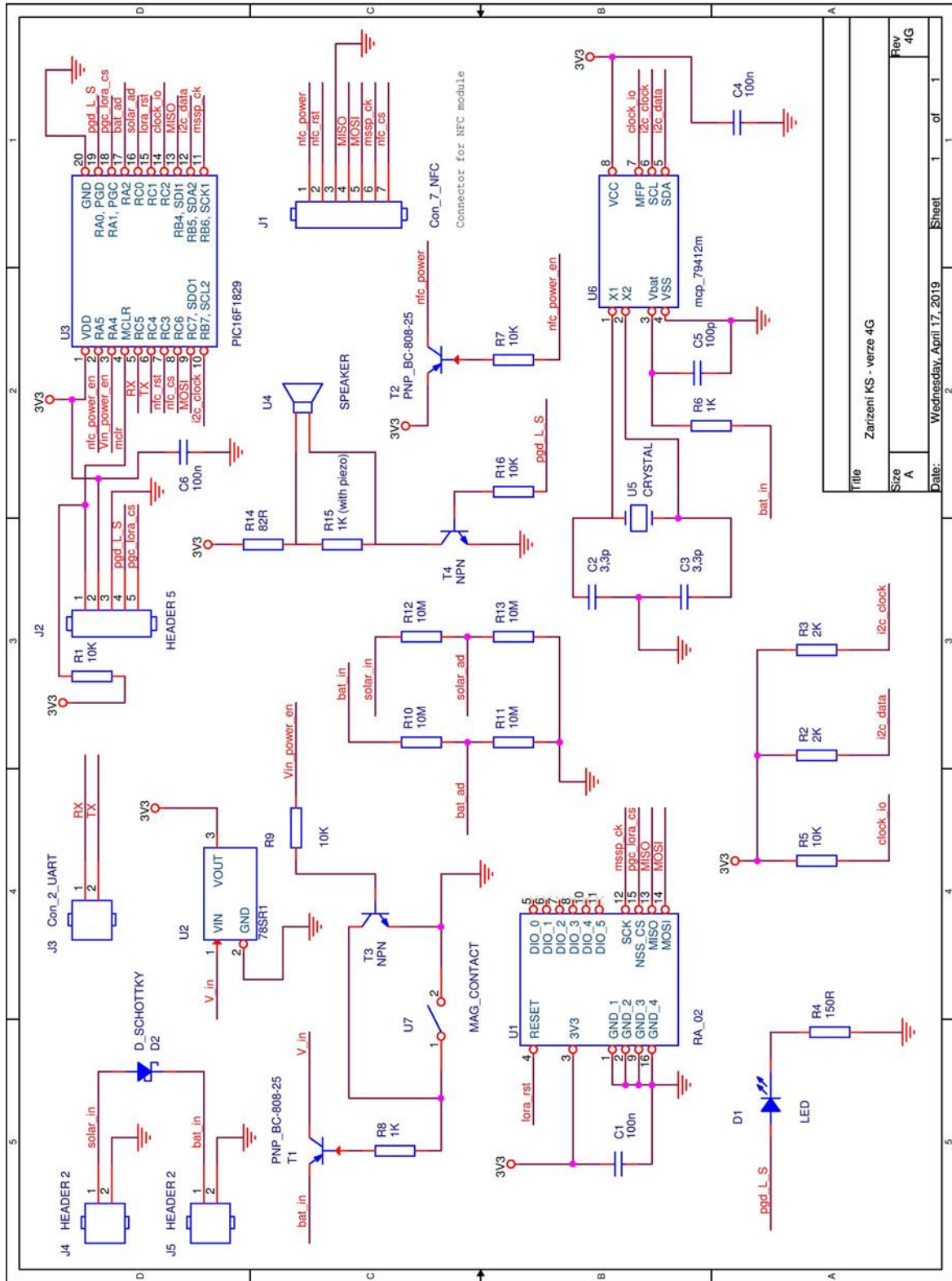
Seznam Příloh

- Příloha A: Fotodokumentace z výroby zařízení KS
- Příloha B: Schéma zapojení zařízení KS
- Příloha C: Výrobní dokumentace DPS zařízení KS
- Příloha D: Soupiska materiálu pro zařízení KS
- Příloha E: Strom projektu v MikroC, programu pro mikrokontrolér PIC
- Příloha F: Strom projektu v Matlabu, obslužného programu systému
- Příloha G: Okna obslužného programu v Matlabu
- Příloha H: Formulář pro organizátora nového OB závodu
- Příloha I: Mapa dlouhé kategorie zkušebního OB závodu
- Příloha J: Fotodokumentace ze zkušebního OB závodu
- Příloha K: Výsledková listina dlouhé kategorie zkušebního OB závodu
- Příloha L: Obsah přiloženého DVD

Příloha A: Fotodokumentace z výroby zařízení KS

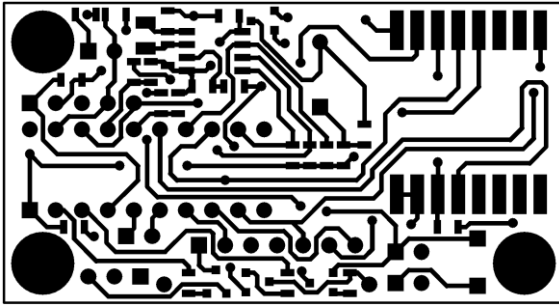


Příloha B: Schéma zapojení zařízení KS

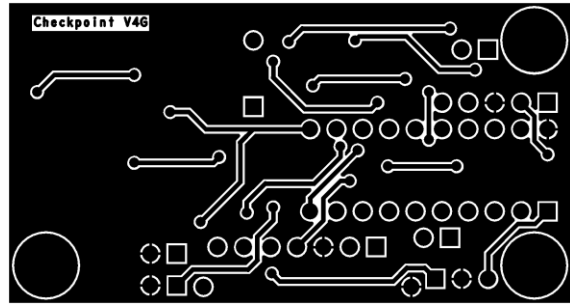


Title		Zarizeni KS - verze 4G	
Size	A	Sheet	1 of 1
Date:	Wednesday, April 17, 2019	Rev	4G

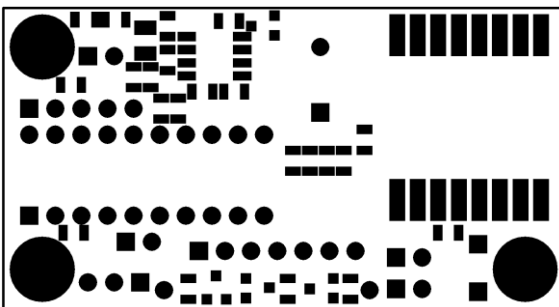
Příloha C: Výrobní dokumentace DPS zařízení KS



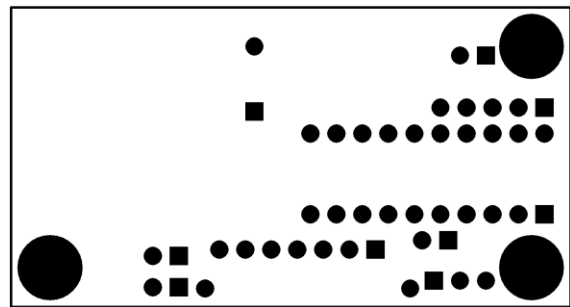
Vrchní vrstva mědi



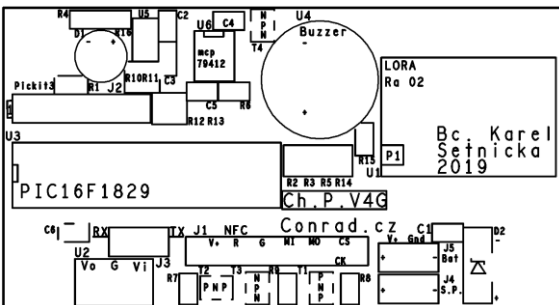
Spodní vrstva mědi



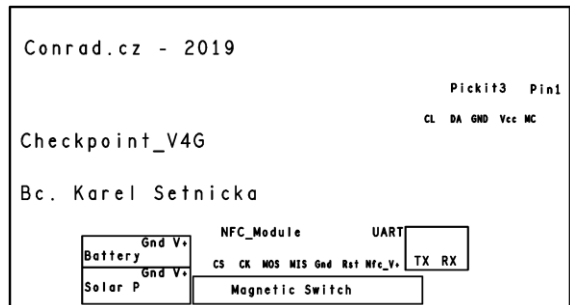
Vrchní vrstva nepájivé masky



Spodní vrstva nepájivé masky



Vrchní vrstva volitelného potisku

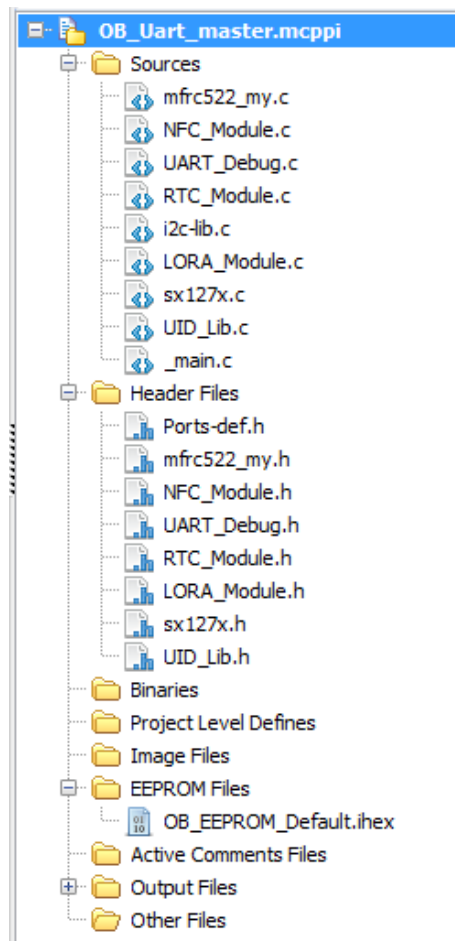


Spodní vrstva volitelného potisku

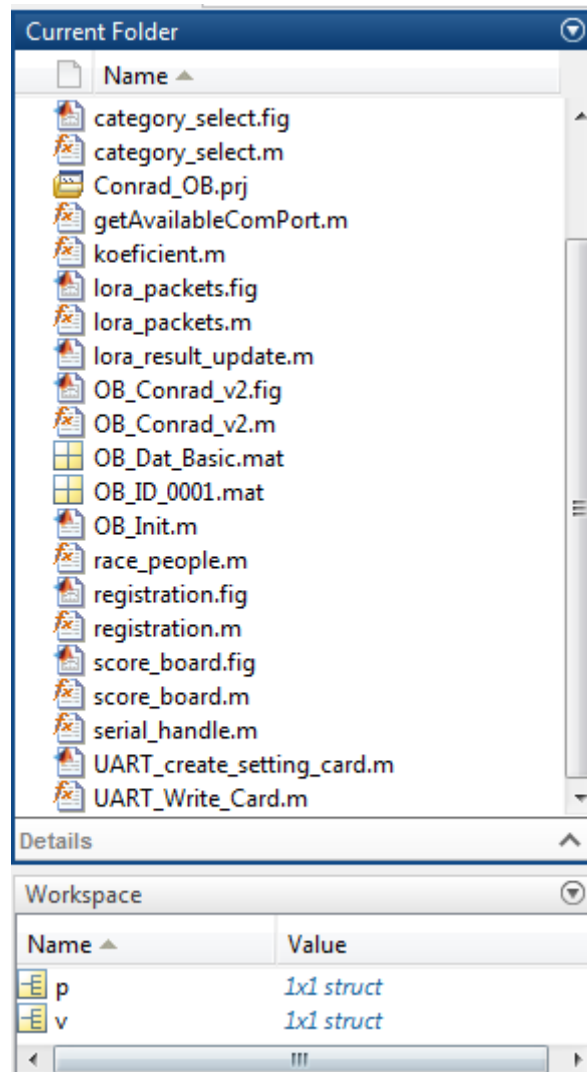
Příloha D: Soupiska materiálu pro zařízení KS

Reference ve schématu	Kusů	Hodnota	Pouzdro	Conrad skladové číslo
C1, C4, C6	3	100n	s_0805	452505
C2, C3	2	3,3p	s_0805	459976
C5	1	100p	s_0805	457990
D1	1	LED	t_led_5mm	180620
D2	1	Schotkyho dioda	smd	161026
J1 ~ J4	20	HEADER x	t_jumper	1560960
R1, R5, R7, R9, R16	5	10K	s_0805	1376947
R2, R3	2	2K	s_0805	1585320
R4	1	150R	s_0805	1584081
R6, R8, R15	3	1K	s_0805	1208670
R10 ~ R13	4	9,5M	s_0805	446610
R14	1	68R	s_0805	1583597
U1	1	RA_02	s_Lora_Ra02	<i>Externě</i>
-	1	Anténa Lora	-	<i>Externě</i>
U2	1	78SR1	t_jumper_3	<i>Externě</i>
U3	1	PIC16F1829	t_pdip_20	651607
U4	1	SPEAKER	t_buzzer	710735
U5	1	CRYSTAL	s_krystal_qtc3	1009107
U6	1	mcp_79412m	s_soic_8	1085119
U7	1	Magnetický spínač	t_mag_14mm	1233072
U8, U9	2	tranzistor PNP	s_sot23	153051
U10, U11	2	tranzistor NPN	s_sot23	153076
Module	1	MFRC-522	pcb_modul	1503746
Baterie	2	1100mAh	AAA	1424760
solární panel	1	4V, 35mA	-	251111
Kontakty baterie	4	Pro - 2x, pro + 2x	pro AAA	191308

Příloha E: Strom projektu v MikroC, programu pro mikrokontrolér PIC



Příloha F: Strom projektu v Matlabu, obslužného programu systému



Příloha G: Okna obslužného programu v Matlabu

OB_Conrad_v2

Závod ID:

Oplanská Bloudička 2019 (15.6.)

Správa oken:

Ovládání základnové stanice:

score_board

Filtr kategorií: Zobraz VŠE Řadit dle: Čas běžecký Zdroj výsledků: Vše

	Kategorie	Jméno	Příjmení	Čas START	Čas CÍL	Čas Běžecký	Čas Přepočtený	Ztráta na vítěze	Ražení	Postup
1	Oplany - Dlouhá	Jan		01:30:08	02:12:56	00:42:48	00:38:36	38.6056	NFC Error	0
2	Oplany - Dlouhá	Tomáš		02:13:08	03:00:32	00:47:24	00:41:48	41.8068	NFC Error	0
3	Oplany - Dlouhá	Martin		01:45:09	02:33:44	00:48:35	00:45:19	45.3283	NFC OK	0
4	Oplany - Dlouhá	Jan		01:15:08	02:04:25	00:49:17	00:42:43	42.7287	NFC Error	0
5	Oplany - Dlouhá	Viktor		02:02:10	02:51:28	00:49:18	00:49:18	49.3000	NFC Error	0
6	Oplany - Dlouhá	Jan		02:19:09	03:11:20	00:52:11	00:50:52	50.8788	NFC Error	0
7	Oplany - Dlouhá	Jakub		01:17:09	02:12:29	00:55:20	00:55:20	55.3333	NFC Error	0

registration

Databáze závodníků

Jméno: Kategorie:

Příjmení: Obec:

Věk: ID Karty:

	ID Karty	Jméno	Příjmení	Věk	Kategorie	Kat.ID	Obec / Město	Karta/Závod?	Výsl.?
1	101	Lucie						V závodě	-
2	103	Radovan st.						V závodě	-
3	105	Petr						V závodě	-
4	106	Martin						V závodě	-

lora_packets

Received LoRa Packets

	Packet ID	Kontrola	Den	Měsíc	Rok	Hodina	Minuta	Vteřina	Karta 4-byte UID	Číslo Karty	Závodník Jméno	Bat%	RSSI	SNR
25	119	99	15	6	2019	13	3	3	18 102 128 93 31	149	Barbora Roznětinská	42	-98	NaN
26	118	102	15	6	2019	13	0	0	17 182 72 38 31	115	Veronika Janečková	40	-102	NaN
27	118	99	15	6	2019	13	0	0	1 182 72 38 31	115	Veronika Janečková	42	-97	NaN
28	118	102	15	6	2019	12	59	6	6 102 65 156 31	151	Krystýna Blašková	40	-96	10.7400
29	118	99	15	6	2019	12	58	50	50 102 65 156 31	151	Krystýna Blašková	42	-94	10.9900
30	118	102	15	6	2019	12	58	13	117 78 107 42	114	Ondřej Janeček	40	-95	NaN
31	118	99	15	6	2019	12	57	55	117 78 107 42	114	Ondřej Janeček	42	-97	NaN
32	118	99	15	6	2019	12	57	55	117 78 107 42	114	Ondřej Janeček	42	-112	61.9900
33	118	76	15	6	2019	12	57	42	102 65 156 31	151	Krystýna Blašková	41	-97	NaN

Příloha H: Formulář pro organizátora nového OB závodu

Závod v OB číslo Název Datum: Start 0: ____:____

Kategorie				Kategorie				Kategorie			
Číslo	UID	Vzdál.	Převýš.	Číslo	UID	Vzdál.	Převýš.	Číslo	UID	Vzdál.	Převýš.
Start		-	-	Start		-	-	Start		-	-
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
5				5				5			
6				6				6			
7				7				7			
8				8				8			
9				9				9			
10				10				10			
11				11				11			
12				12				12			
13				13				13			
14				14				14			
15				15				15			
16				16				16			
17				17				17			
18				18				18			
19				19				19			
Cíl				Cíl				Cíl			

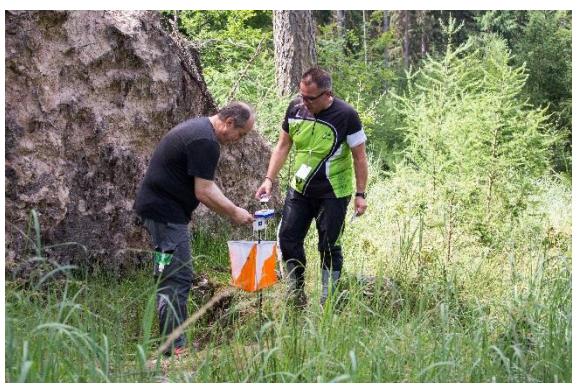
Lora Mapa		Překlad #		Prostor pro náčrt mapy závodu
UID Vysílač	UID Příjem	Stojan ID	Zařízení KS ID	
101				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
99				
102				
103				

Karel Setnička, 2019

Příloha I: Mapa dlouhé kategorie zkušební OB závodu



Příloha J: Fotodokumentace ze zkušebního OB závodu



Příloha K: Výsledková listina dlouhé kategorie zkušební OB závodu

POŘ.	JMÉNO	PŘÍJMENÍ	KOEF.	CÍL	START	ČAS BĚHU	BĚH + PENALIZ ACE	ČAS PŘEPOČ TENÝ	ZĚNY
1	Jan	xx	0,902	2:12:56	01:30:08	00:42:48	00:42:48	00:38:36	
2	Tomáš	xx	0,882	3:00:32	02:13:08	00:47:24	00:47:24	00:41:48	
3	Jan	xx	0,867	2:04:25	01:15:08	00:49:17	00:49:17	00:42:44	
4	Martin	xx	0,933	2:33:44	01:45:09	00:48:35	00:48:35	00:45:20	
5	Viktor	xx	1,000	2:51:28	02:02:10	00:49:18	00:49:18	00:49:18	
6	Jan	xx	0,975	3:11:20	02:19:09	00:52:11	00:52:11	00:50:53	
7	Dušan	xx	0,912	3:00:18	02:04:12	00:56:06	00:56:06	00:51:10	
8	Jakub	xx	0,897	2:17:26	01:19:08	00:58:18	00:58:18	00:52:18	
9	Miroslav	xx	0,907	2:04:35	01:06:08	00:58:27	00:58:27	00:53:01	
10	Lenka	xx	0,912	2:20:38	01:22:06	00:58:32	00:58:32	00:53:23	1
11	Vojta	xx	0,950	1:46:38	00:50:10	00:56:28	00:56:28	00:53:39	
12	Petr	xx	0,877	2:11:14	01:09:08	01:02:06	01:02:06	00:54:28	
13	Jakub	xx	1,000	2:12:29	01:17:09	00:55:20	00:55:20	00:55:20	
14	David	xx	0,975	2:16:20	01:18:09	00:58:11	00:58:11	00:56:44	
15	Ondřej	xx	1,000	2:07:03	01:10:08	00:56:55	00:56:55	00:56:55	
16	Ondřej	xx	0,867	3:28:13	02:22:09	01:06:04	01:06:04	00:57:17	
17	Michal	xx	0,867	2:33:59	01:27:08	01:06:51	01:06:51	00:57:58	
18	Petr	xx	0,852	2:20:46	01:11:08	01:09:38	01:09:38	00:59:20	
19	Lucie	xx	0,907	2:09:10	01:03:08	01:06:02	01:06:02	00:59:54	2
20	Magdalena	xx	0,983	2:50:17	01:47:06	01:03:11	01:03:11	01:02:07	3
21	Pavel	xx	0,857	2:18:02	01:04:16	01:13:46	01:13:46	01:03:13	
22	Jarda	xx	0,837	3:25:19	02:07:10	01:18:09	01:18:09	01:05:25	
23	Bajka	xx	0,892	2:26:27	01:12:08	01:14:19	01:14:19	01:06:17	4
24	Jan	xx	0,892	3:23:03	02:05:16	01:17:47	01:17:47	01:09:23	
25	Veronika	xx	0,877	3:30:17	02:10:08	01:20:09	01:20:09	01:10:17	5
26	Jaromír	xx	0,862	3:04:47	01:43:08	01:21:39	01:21:39	01:10:23	
27	Viktor	xx	1,000	1:46:35	00:35:06	01:11:29	01:11:29	01:11:29	
28	Martin+1	xx	0,958	1:55:35	00:40:08	01:15:27	01:15:27	01:12:17	
29	Vít	xx	1,000	3:14:45	02:01:11	01:13:34	01:13:34	01:13:34	
30	František	xx	0,772	2:56:51	01:16:09	01:40:42	01:40:42	01:17:44	
31	Lenka	xx	0,837	2:10:26	00:37:11	01:33:15	01:33:15	01:18:03	6
32	Martin	xx	0,897	2:26:25	00:55:08	01:31:17	01:31:17	01:21:53	
33	Jírka	xx	0,857	2:48:12	01:08:04	01:40:08	01:40:08	01:25:49	
34	Renata	xx	0,842	2:36:22	00:51:07	01:45:15	01:45:15	01:28:37	7
35	Barbora	xx	1,000	3:33:31	02:03:11	01:30:20	01:30:20	01:30:20	8
36	Milan	xx	0,882	2:40:32	00:57:08	01:43:24	01:43:24	01:31:12	
37	Jarda	xx	0,812	2:46:53	00:53:09	01:53:44	01:53:44	01:32:21	
38	Šárka	xx	0,887	3:04:52	01:20:10	01:44:42	01:44:42	01:32:52	9
39	Martina	xx	0,852	2:51:20	01:00:10	01:51:10	01:51:10	01:34:43	10
40	Krystýna	xx	0,933	3:29:06	01:46:08	01:42:58	01:42:58	01:36:04	11
41	Kateřina	xx	1,000	2:38:35	01:02:12	01:36:23	01:36:23	01:36:23	12
42	Radovan	xx	0,782	3:13:04	01:01:09	02:11:55	02:11:55	01:43:10	
43	Helena	xx	0,852	3:39:56	01:28:09	02:11:47	02:11:47	01:52:17	13
44	Eva	xx	1,000	3:06:37	01:13:08	01:53:29	01:53:29	01:53:29	14
45	Vladimír	xx	0,897	3:02:00	00:49:09	02:12:51	02:12:51	01:59:10	
46	Jarda a Ilona	xx	0,772	3:23:36	00:41:16	02:42:20	02:42:20	02:05:19	
47	Veronika	xx	0,983	3:25:53	01:14:08	02:11:45	02:11:45	02:09:31	15
48	Ondřej	xx	1,000	3:35:07	00:59:10	02:35:57	02:35:57	02:35:57	

Příloha L: Obsah přiloženého DVD

- ✓ Tato práce v PDF (setnicka_karel.pdf)
- ✓ Výrobní data pro DPS zařízení KS
 - Gerber soubory s motivy vrstev + data pro vrtačku
 - Orcad a Allegro soubory (schéma a DPS)
- ✓ Výrobní data pro krabičku
 - Soubory pro Solid Edge
 - Modely pro 3D tisk (formát stl)
 - Soubory pro 3D tisk (pro tiskárnu FlashForge Dreamer)
- ✓ Program pro mikrokontrolér PIC
 - MikroC PRO for PIC projekt
 - Soubor pro mikrokontrolér (OB_master.hex)
- ✓ Program pro počítač v prostředí Matlab
 - Matlab soubory a funkce
 - Instalační balíček pro Windows (Conrad_OB.exe)
 - Data z testovacího závodu (OB_ID_0001.mat)
- ✓ Skript pro extrakci dat z webové databáze ORIS
 - Matlab soubory a funkce
 - Data z webové databáze ORIS (oris_data_2013_2018_v3.csv)
- ✓ Fotodokumentace z výroby zařízení KS
- ✓ Fotodokumentace zkušebního závodu
- ✓ Tištěné obrázky v digitální formě
- ✓ Tištěné přílohy v digitální formě