

Univerzita Hradec Králové

Fakulta informatiky a managementu

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Roman Auersvald

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ  
FAKULTA INFORMATIKY A MANAGEMENTU

# Ověření použitelnosti technologie RFID UHF při závodech Drone Racingu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Roman Auersvald

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ing. Jan Dvořák - CZAV

Hradec Králové

6.5.2019

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

podpis

Děkuji vedoucímu bakalářské práce za metodické vedení práce, poskytnutí cenných rad a neutuchající trpělivost. Dále děkuji společnostem ITFutuRe s.r.o., EPRIN spol. s r.o. a Sport Base timing za zapůjčení potřebného vybavení pro praktické testování návrhu řešení a jejich cenné rady v oblasti radiové identifikace.

## **Anotace**

Tato práce je zaměřena na ověření použití technologie RFID pro zaznamenání průletů soutěžními brankami při závodech Drone Racingu. V práci je popsána česká scéna závodů s drony a scéna zahraniční. Dále je nastíněna obecná problematika časomíry, konkrétně z pohledu závodů dronů. Práce obsahuje popis možných technologií, které jsou v praxi používány. Ke každé technologii je uveden zástupce z praktických systémů pro časování. Práce se dále zabývá podrobným popisem technologie RFID, konkrétně RFID UHF. Na této technologii je postaven vlastní návrh řešení, na základě kterého je technologie testována. V závěru jsou vyhodnoceny výsledky proběhlého testování a jsou ustanoveny doporučení pro použití v praxi.

## **Abstract**

This thesis focuses on usage of RFID technology for Drone Racing. In particular on tracking of flybys through racing gates. Czech and global scenes of Drone Racing are being described. General problematics of timing systems for Drones is described as well. This work describes widely used technologies for such a job. Representative is listed for every technology. Next focus is at description of RFID technology in particular, its version of UHF technology. Own concept is based on UHF technology , which usage is being tested further on. Practical recommendations are made in the end of the testing for usage in real timing system.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl a metodika</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Teorie</b>	<b>3</b>
3.1	Co je to dron? . . . . .	3
3.2	Dron vs. závodní koptéra . . . . .	4
3.3	Svět Drone Racingu . . . . .	5
3.3.1	Drone racing v zahraničí . . . . .	5
3.3.2	Drone Racing u nás . . . . .	7
3.4	Problematika časomíry . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Používané řešení</b>	<b>11</b>
4.1	Časování na základě zvuku . . . . .	11
4.2	Časování na základě frekvence . . . . .	12
4.3	Časování na základě optické detekce . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Technologie RFID</b>	<b>15</b>
5.1	Radiové vlny . . . . .	15
5.1.1	Vlnová délka . . . . .	15
5.2	Popis technologie RFID . . . . .	16

5.3	RFID spektrum . . . . .	17
5.3.1	Low Frequency (LF) . . . . .	17
5.3.2	High Frequency (HF) . . . . .	18
5.3.3	Ultra High Frequency (UHF) . . . . .	20
5.4	RFID tag . . . . .	21
5.4.1	Pasivní tag . . . . .	22
5.4.2	Aktivní tag . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Požadavky pro použití technologie RFID</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Použitá vlastní řešení</b>	<b>26</b>
7.1	Použitý hardware . . . . .	26
7.1.1	Čtecí modul . . . . .	26
7.1.2	RFID UHF Tagy . . . . .	28
7.1.3	Antény . . . . .	30
7.1.4	Kabeláž . . . . .	31
7.1.5	Branky . . . . .	31
7.1.6	Dron . . . . .	32
7.1.7	Ostatní hardware . . . . .	33
7.2	Použitý software . . . . .	33
7.2.1	Demo aplikace . . . . .	34
7.2.2	Vlastní aplikace . . . . .	37
<b>8</b>	<b>Metodika testování</b>	<b>41</b>
8.1	Podmínky testování . . . . .	41
8.1.1	Rozmístění prvků v testu čtení . . . . .	41
8.1.2	Rozmístění prvků v testu rychlosti . . . . .	42
8.1.3	Nastavení modulu . . . . .	43
8.1.4	Umístění tagu na dronu . . . . .	44
8.2	Interpretace dat . . . . .	45

<b>9</b>	<b>Výsledky</b>	<b>46</b>
9.1	Schopnost čtení . . . . .	46
9.2	Vlastnosti při průletu . . . . .	47
9.3	Citlivost čtení . . . . .	48
9.4	Rychlost . . . . .	48
9.5	Shrnutí výsledků . . . . .	49
<b>10</b>	<b>Závěry a doporučení</b>	<b>50</b>
	<b>Zdroje</b>	<b>53</b>



# 1 Úvod

Drone Racing je v poslední době velmi rozšířený sport, ve kterém mezi sebou současně závodí několik speciálně postavených dronů (koptér). S vysokou rychlostí, která místy často přesahuje 100 km/h, je navržení časomíry nelehkým úkolem. S problematikou navržení časomíry přichází otázka použitelné technologie.

Tato bakalářská práce stručně popisuje svět stále populárnějšího Drone Racingu, ve kterém jde především o preciznost pilotů a rychlost dronů. První část popisuje závody dronů s vysvětlením cizích pojmů, které se v práci často vyskytují. Ve druhé části se práce zaměřuje na popis současných, již existujících řešení a analýzu použitelné technologie. Tato část se zároveň pokouší nastínit, jak by měl vypadat ideální systém časomíry. V další části se práce zabývá analýzou použitelných technologií, po které následuje návrh řešení za pomoci RFID UHF technologie.

V samotném závěru práce jsou vyhodnoceny dosažené výsledky při testování technologie, na základě kterých jsou ustanoveny doporučení o použití RFID UHF při závodech Drone Racingu.

## 2 Cíl a metodika

Cílem této bakalářské práce je ověření použitelnosti technologie RFID UHF pro zaznamenání průletu závodního dronu soutěžní brankou. Technologie bude prakticky otestována a na základě výsledků doporučena nebo zavržena pro využití v systému časomíry.

Práce nejen, že popíše stávající technologie, které jsou pro účely časování současně používány, ale také ověří, zda může být používána technologie RFID. Bude provedeno praktické testování, na základě kterého vzniknou doporučení pro nasazení této technologie do reálného používání. Testování bude provedeno ve dvou fázích, kde se nejdříve stanoví úspěšnost čtení jednotlivých UHF tagů. Následně se s vhodnými kandidáty provede testování rychlosti, ve které může měření probíhat.

## 3 Teorie

### 3.1 Co je to dron?

V současné době se kvadrokoptéry<sup>1</sup> a drony obecně stávají stále více populárnějšími. Můžeme je potkat v mnoha obchodech jako dětskou hračku nebo se s nimi setkat při profesionálním využití.

Dron (někdy také UAV z anglického Unmanned Aerial Vehicle) je bezpilotní letoun, zpravidla malých rozměrů. Bepilotní letouny jsou řízené na dálku a používají se např. k průzkumům terénu nebo k útočným účelům. [1] Tato práce je zaměřena na popis dronů, využívaných pro „hobby“ a profesionální závody.

S neustále rychlejší inovací v průmyslu se s drony budeme setkávat čím dál tím častěji. Mezi první průkopníky ve využívání dronů v průmyslu patří známý Amazon, který testoval doručování zásilek zákazníkům až do domu právě za pomoci dronů. [2] V České republice jsme se mohli setkat s podobným testem od online obchodu Mall a.s., který v minulém roce jako první v Česku otestoval doručení zásilky právě za pomoci dronu. [3]

Využití dronů nespočívá pouze v doručování zásilek. Můžeme se s nimi setkat i v jiných oblastech průmyslu, jako je inspekce konstrukcí mostů, výrobních a skladovacích hal, technologických jednotek [4] nebo inspekce ropovodů v severských zemích.

Se zajímavým využitím v oblasti technologie a výroby dronů přišla koncem roku 2018 firma DJI, kdy vyvinula speciálně upravené drony sloužící k obhospodařování polí. V praxi se jedná o několik dronů řízených piloty, nebo předem naprogramovaných, které ve svých přeletech nad polem vykonávají různé úkony, jako například postřiky nebo analýzu půdy za pomoci multispektrálních kamer. [5] [6] [7]

Speciálně upravené drony se také využívají v oblasti fotografování, dokumentace a filmařství. V dnešní době není výjimkou narazit na fotografie ze svatby nebo záběry

---

<sup>1</sup>Označení pro dron se čtyřmi vrtulemi.

v dokumentu pořízené z dronu. Možnost využití dronů pro natáčení filmů a dokumentů se značně projeví na nákladech, oproti využití helikoptéry, která je několikanásobně dražší z pohledu pronájmu i provozu. [8]

## 3.2 Dron vs. závodní koptéra

Pod obecným názvem dron si každý pravděpodobně představí zařízení, které slouží pro pořizování fotografií nebo videa.

Zatímco závodní koptéra sestavená na míru je zařízení, ve kterém je každá komponenta vybírána s důrazem na rychlost, sílu a kvalitu. Závodní koptéry si každý pilot staví sám a vybírá každou komponentu (rám, motory, regulátory, řídicí jednotku, vrtule, kameru, ...) podle toho, co od koptéry očekává. Výjimkou jsou již sestavené kusy, které většinou nabízí výrobce, a pilot - zákazník - tím ušetří čas strávený kompletací. U závodních koptér jsou všechny součástky relativně lehce vyměnitelné a zručný pilot si dokáže koptéru opravit svépomocí. Není výjimkou, že při tréninku pilot s koptérou narazí a je zapotřebí určité části vyměnit. V praxi to jsou nejčastěji vrtule, které se při nárazu zlomí. Pro účely přehlednosti a srozumitelnosti bude v práci využívám pojem „závodní dron“, namísto zavádějících označení jako „dron“ nebo „koptéra“.

## 3.3 Svět Drone Racingu

V posledních letech přišel na světlo jako nový sport drone racing. První závod, který stojí za zmínku, byl v roce 2016 World Drone Prix v Dubai, který byl největší událostí závodění na světě a piloti v něm mohli celkem vyhrát finanční odměnu v hodnotě 1 Milionu amerických dolarů. [9] Nyní se závody dronů pořádají napříč celým světem.

### 3.3.1 Drone racing v zahraničí

Ve světě působí hned několik organizací, které pořádají ligy závodů dronů:

- MULTIGP

MULTIGP je jedním z největších pořadatelů závodů a celkově se jedná o největší ligu závodů dronů na světě. Do této ligy se mohou zdarma zaregistrovat nejen jednotlivci, kteří se poté mohou účastnit mezinárodních závodů a stoupat v žebříčku, ale i celé skupiny, které se samy mohou stát organizátory místních závodů.

MultiGP poskytne týmům potřebné vybavení ve formě na míru připravených branek a vlajek pro použití při závodu. V návaznosti na úspěchy skupiny se bude zvětšovat možnost dostat další vybavení pro použití při závodech.

Zároveň MultiGP poskytne pro pořádání závodů svůj na míru vyvinutý software, který se postará o rozřazení videosignálů pro jednotlivé piloty. Pilotům v den závodu akorát zbude zkontrolovat svůj telefon s mobilní aplikací, kde uvidí přiřazenou frekvenci, na které budou závod létat. Zároveň organizátor závodů bude mít přehled o přiřazených frekvencích.

Dalším balíčkem, s kterým pomůže MultiGP, jsou sponzoři a média. Pro pořadatele závodů jsou připraveny ke stažení oficiální pravidla pro pořádání závodů a veškeré další potřebné specifikace. Ve věci sponzorů nabízí MultiGP možnost spolupráce za materiální odměnu ve formě vybavení pro pořádání závodů. [35]

- DRL

DRL neboli Drone Racing League je nepochybně v současnosti nejvíce známou ligou závodů dronů. Je to především díky partnerství se skupinou Allianz, BMW, Swatch

a řadou dalších mediálních stanic, jako například NBC Sports, Twitter, Sky Sports, ProSieben, Groupe AB, OSN and FOX Sports Asia.

Celá liga je rozdělena do sezón, přičemž každý rok se létá právě jedna sezóna. V každé sezóně mezi sebou soupeří 18 pilotů, ale pouze deset z nich dostane příležitost doopravdy soutěžit v šampionátu. Každý pilot odlétá alespoň čtyři z šesti pořádaných závodů za sezónu. Vítěz z každého závodu si zajistí místo v šampionátu a zbývající místa jsou přidělena pilotům podle jejich získaných bodů v průběhu sezóny. Vítěz šampionátu vyhrává celou sezónu.

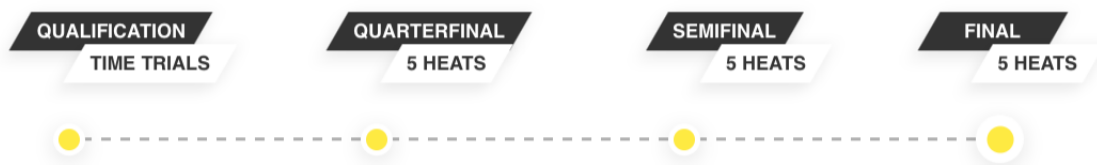
Další zajímavostí o DRL lize je skutečnost, že vyvíjí vlastní na míru sestavené drony, se kterými piloti létají. Drony jsou unikátní zejména na míru vyrobenými motory, které dohromady generují 7000 gramů statického tahu, což činí dron vážící kolem 1 kilogramu velice rychlým. Podle uváděných zdrojů na oficiálních webových stránkách DRL dosahují jejich drony rychlosti přesahující 90 mph (144 km/h) při zrychlení 0-80 mph pod jednu vteřinu. Další unikátní vlastností DRL dronu, konkrétně modelu Racer 3, kterému náleží i již zmíněné specifikace, je na míru postavená deska nesoucí přes 200 kusů RGB LED diod, které jsou důležité především pro diváky, kteří tak snadněji identifikují jednotlivé drony. [36]

- DCL

DCL je zkratkou pro Drone Championship League a už od roku 2016 pořádá profesionální závody dronů zejména po Evropě a v čínském Pekingu. Za zmínku z mnoha již proběhlých závodů stojí závod z června 2017 v Paříži, který se konal přímo na CHAMPS-ÉLYSÉES a kde piloti měli k dispozici slavnou třídu jen pro sebe. [37, 38]

Systém průběhu závodu je v DCL lize pozměněn oproti výše zmíněným. V závodech mezi sebou soupeří týmy a v průběhu závodu sbírají piloti body, které se v týmu sčítají. Na začátku závodu létají všichni piloti ze všech týmů bodovaná kola, na základě kterých se poté určí celkový počet bodů za tým a vyhodnotí se jaký tým bude soupeřit se kterým. V těchto závodních kolech nazývaných „Heats“ létají vždy piloti ve stylu jeden na jednoho. Vítěz získá bod pro svůj tým. Poté, co zaletí svá kola všichni piloti, se postoupí do fáze, kdy proti sobě létají celé týmy, tudíž létá všech osm pilotů najednou. Vítězný tým získá jeden bod a bonus tři bodů, pokud obsadí všechna první tři místa, pět bodů, pokud obsadí první čtyři místa.

Celkem se tedy létá pět závodů, kde v prvních čtyřech proti sobě létají jednotlivci z týmů a poté v posledním pátém závodě létají všichni členové z týmu. V celkovém závodě dále postupuje tým s více body.



Obrázek 3.1: Vizualizace kol závodu. Zdroj: [38]

### 3.3.2 Drone Racing u nás

Česká republika v pořádání závodů není pozadu. Působí zde například firma Rotorama s.r.o., která založila českou Rotorama Live ligu, v rámci které pořádá závody na domácí půdě.[39] Rotorama zároveň působí jako závodní tým, který reprezentuje jméno českého zastoupení na světové úrovni. Pyšní se mimo jiné účastí na několika závodech výše zmíněné DCL ligy, a to na nespočtu závodech. Například ve výše zmíněném závodě na CHAMPS-ÉLYSÉES vybojovala Rotorama v československém složení s Honzou Mittnerem, Jakubem Tomanem, Jakubem Steinerem a Lubo Sládkem třetí místo. [40, 41]

#### 3.3.2.1 Závody

Mezi každoročně pořádané akce patří závod VrTULe pořádaný studenty Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

Za zmínku jistě stojí další závod, který pořádala Rotorama v rámci konference Futureport Prague. Konal se na výstavišti Holešovice v zasíťované aréně. Na místě dokonce natáčela Česká televize a zpravodajský portál Novinky.cz vysílal akci online živě. [39]

#### 3.3.2.2 Média

S příchodem Drone Racingu do České republiky přirozeně vznikly zpravodajské weby zabývající se tematikou dronů. Následuje stručný popis několika zástupců.

- Jedním ze zástupců je portál fpvdrone.cz, který nabízí přehled o nejnovější technice, zprávy ze závodů a také mobilní aplikaci, která zprostředkovává přehled o slevách a nových produktech.
- Dalším zástupcem, a to ne v kategorii konvenčních médií, je YouTube kanál s názvem spaglFPV provozovaný Davidem Špačkem. YouTube kanál se zabývá recenzemi a testováním nových závodních dronů. David Špaček nejen provozuje YouTube kanál, ale i závodí, jak dokazuje na své stránce seznamem evropských závodů, ve kterých se umístil na předních pozicích a několik jich i celkově vyhrál. [42]

### 3.3.2.3 Obchody

Pole internetových obchodů také zaznamenalo příchod Drone Racingu a reakcí byl vznik hned několika specializovaných.

- Mezi nejnámější obchody se u nás a na Slovensku řadí zpravidla již několikrát zmíněná Rotorama, která nabízí zastoupení předních značek. Mimo známé značky na poli Drone Racingu nabízí Rotorama i své produkty, a to od vlastních motorů až po celé závodní sety, které si může zákazník zakoupit buď jako stavebnici, nebo jako sestavený dron. Mezi nabídkou nalezneme nespočet vlastních doplňkových součástek, které přijdou vhod při stavbě vlastního dronu. Rotorama ve stálém sortimentu nabízí také vybavení pro závodní dráhu v podobě branek, vlajek a několika časovacích systémů, o kterých bude řeč v další kapitole této práce.
- Dalším známým obchodem se součástkami a dalším FPV vybavením je obchod n4q, z internetového odkazu můžeme odtušit i celý název obchodu "Need 4 Quad". V sortimentu můžeme nalézt zastoupení známých značek a zákazník si v obchodě poskládá kompletní dron podle svých představ.

Na příchod Drone Racingu na český trh reagovaly i již zavedené obchody s modelářskými potřebami a prodejci dálkově ovládaných modelů. V sortimentu můžeme nalézt pouze zlomek dílů jiných než od specializovaných obchodů na Drone Racing.



## 3.4 Problematika časomíry

V následujícím úryvku z oficiálních pravidel pro sezónu 2019 v lize MultiGP můžeme vidět, jak složitý proces časomíry vlastně je.

*„Timing I& Scoring There will be three (3) timing and scoring systems utilized throughout the Qualifying and Championship Rounds. The Race Director will reserve the right to make any scoring decisions based on one, two, or all three results.*

*RSSI Timing I& Scoring Traditional collection and presentation of scoring data, with sensors in Start/Finish, Mid-Way (Split), Pit Entrance, Pit Exit based on availability. The Scoring Director will be responsible for adjusting results on the fly (i.e. missed laps, penalties caught by scoring director, race director, flight line director).*

*Two-Judge System Each team's channel will be monitored by Two Judges, each counting laps, both consulting on missed gates/flags, and one tabulating each OSD's lap count for the 25% rule. Individual Channel DVR I& Overlay Recording*

*Any challenges will first be addressed by comparing the RSSI Timing I& Scoring results with the Two-Judge System to identify any anomalies. The next step will be a review by either the Race Director, Scoring Director or Head-Judge of the DVR Recording of the heat for an official decision. “[43]*

Jak můžeme vyčíst z předchozího úryvku z MultiGP pravidel a regulací pro rok 2019, časomíra není jednoduchou záležitostí. Kontrola časů a případných prohřešků probíhá hned třikrát, a to za pomoci samotného časovacího systému umístěného na startu/v cíli, uprostřed tratě a na přiletu a odletu z pit stopu<sup>2</sup> - pokud je vyžadováno. Dále jsou jednotlivá kola každého týmu monitorována párem sudích, kteří vyhodnocují počet kol, minuté branky a zaznamenávají údaje z jednotlivých kol do tabulky pro další přezkoumání. V poslední řadě se při nerozhodnosti sudích využije záznam z letů jednotlivých kol pro další analýzu.

Zatímco v zahraničí se široce využívá měřících systémů pro určení času kola, u nás se stále z větší míry využívá klasického měření času kola stopkami.

Již nyní je na trhu, nebo ve vývoji, několik řešení, která mají k problému měření času různé přístupy. Podrobnější přehled a popis některých metod bude rozebrán v následující kapitole.

---

<sup>2</sup>Servisní stanoviště.

Samotné monitorování závodního dronu v průběhu závodu není jednoduchým úkolem. Diváci a rozhodčí mají k dispozici živý obraz z jednotlivých dronů, samozřejmě mohou sledovat dění na trati i bez nutnosti použití živého přenosu. Samotný živý přenos je ve většině případů zobrazen za pomoci několika televizorů. V průběhu závodu létá současně několik (většinou 2 až 5) dronů a rozhodčí mají za úkol sledovat, zda každý závodník proletěl brankou, kterou měl proletět, (nezkrátil si trať) nebo provedl požadovanou otočku na určeném místě.

Jak už bylo zmíněno, rozhodčí musí kontrolovat, zda závodník proletěl se svým dronem určenými brankami. I tento zdánlivě jednoduchý úkol představuje při návrhu časomíry značný problém. Závodník například mohl proletět brankou v opačném směru nebo mohl proletět kolem branky, při průletu o ni zavadit a systém by mohl zaznamenat čistý průlet. Současně fungující časomíra v podání pořadatelů se stopkami také nemusí být vždy přesná a závodník může být ochuzen o drahocenné sekundy.

## 4 Používané řešení

V současné době se vyskytuje několik možností, jak závody časovat. Nejrozšířenější variantou za použití technologie jsou brány start – cíl, ve kterých je umístěn snímač. Ten rozpozná konkrétní dron podle frekvence videa, na které dron vysílá videesignál.

Další používanou variantou pro zaznamenávání průletů závodních dronů skrze branky je použití infračervených LED<sup>1</sup> diod.

Společným faktorem pro téměř všechna řešení je nutnost rozlišení každého závodního dronu pro jednoznačnou identifikaci a následné přiřazení naměřeného času ke správnému pilotovi.

### 4.1 Časování na základě zvuku

Tato metoda časování kol využívá mikrofonu v monitorovacím zařízení pro zaznamenání průletu požadovanou brankou. Toto řešení implementuje mobilní aplikace Rotorama Laptimer, kterou Rotorama popisuje následovně:

*„Rotorama Laptimer měří časy kol při létání na základě frekvence a hlasitosti zvuku. Stačí položit telefon blízko cílové brány, zapnout aplikaci a aplikace začne hlasitě číst časy jednotlivých kol. Vhodné zejména pro trénink jednoho pilota. Pro lepší slyšitelnost aktuálních časů doporučujeme připojit libovolný (např. bluetooth) reproduktor, který umístíte blízko k sobě. Telefon pak může ležet v cílové bráně daleko od vás.“* [12]

Jedná se o metodu určenou především pro použití v situaci tréninku, kde létá pouze jeden pilot. V případě létání několika pilotů najednou nemá aplikace možnost ani prostředky pro jednoznačné identifikování každého konkrétního dronu. Z těchto důvodů se s touto metodou nesetkáme na závodech, kde létá několik pilotů najednou.

---

<sup>1</sup>LED - Light-Emitting Diode; Polovodičový světelný zdroj

## 4.2 Časování na základě frekvence

Další a současně nejrozšířenější metoda sledování času zalétlých kol je metoda využívající již existující signál, který přirozeně pomocí video vysílače vysílá závodní dron. Do startovní, a tím pádem i cílové branky, se umístí zařízení, které detekuje specifický signál o frekvenci 5.8 Ghz, který je pro každý dron unikátní.

Unikátnost signálu pro každou závodní koptéru zajišťuje široké frekvenční pásmo 5.8 Ghz, které je v době psaní této práce rozděleno na 72 kanálů. [44] Mezi těmito kanály se mohou piloti libovolně přepínat, a tím zajistit rozdělení určitých frekvencí jednotlivým pilotům. Tím pádem existuje jednoznačná identifikace pilota a jeho závodního dronu.

Zmíněný video signál je primárně určený pro přenos videa k pilotovi, který jej využívá pro sledování letu svého dronu, se kterým závodí. Každý pilot, zejména u závodů, má vlastní brýle s video přijímačem, které mu slouží pro sledování tratě a řízení svého dronu. Dále je videosignál zachytáván stanicí, která jej zpracovává a zobrazuje divákům na obrazovkách. Tím jsou diváci více zapojeni do dění na trati a mohou sledovat, jak jejich oblíbený pilot zvládá překážky a branky.

Jako zástupci časování kol pomocí frekvence vysílané závodním dronem byla vybrána řešení od společností MYLAPS a ImmersionRC.

- MYLAPS Drone System - jedná se o řešení využívající již zavedené čipy (RC4) od stejné firmy, které jsou využívány v ostatních již zavedených kategoriích RC závodů. Každý pilot si musí buď zapůjčit nebo zakoupit vlastní čip, který připojí ke svému dronu. Zmíněné čipy pracují společně s detekčními branami, které jsou rozmístěny po trati. Pro celkové fungování je vyžadován řídicí software MYLAPS Speedhive platform propojující brány a jednotlivé čipy závodníků, který zároveň slouží jako nástroj pro monitorování výsledků.[45]

Čip vyžaduje vlastní napájení, které může být zajištěno prostřednictvím rozvodné desky, která slouží pro distribuci energie jednotlivým částem dronu.

Cenově se jedná o náročné řešení, zvláště kvůli nutnosti použití čipů od společnosti MYLAPS, které se pohybují v řádech tisíců korun. Další nákladnou položkou je základna, která propojuje a řídí branky a stará se o fungování celého systému a jejíž cena se pohybuje ve vyšších řádech desítek tisíc korun.[45]

- ImmersionRC Personal Timing System je nepostradatelným pomocníkem pro měření času na závodním okruhu. Je umístěn vedle cílové branky a časy měří na základě síly 5.8 GHz videosignálu. Díky tomu získáte zpětnou vazbu nad rychlostí pohybu vašich strojů na závodním okruhu, a tak se můžete efektivněji zlepšovat, optimalizovat techniku nebo závodit s přáteli. Immersion RC Personal Timing System spárujete pomocí Bluetooth s mobilním telefonem. Pro práci se systémem slouží přehledné rozhraní mobilní aplikace, která je kompatibilní s telefony a tablety se systémem Android a iOS. [12]

Jedná se o vcelku komplexní řešení, jak dokládají na svých stránkách slovy: „*To top it all off, we designed custom antennas with gate-shaped beams which let you precisely define the detection area of the timing system (something that competitive units sorely lack).*“ Z úryvku je patrná existence vlastních detekčních bran se snímací anténou integrovanou přímo do konstrukce brány, což ostatní dostupná řešení postrádají. Zároveň podle informací na svých stránkách nastiňují příchod profesionálního řešení, které bude sdružovat snímače v branách do jednoho řídicího systému, který bude možno skrze Ethernet port připojit do již stávajících soutěžních systémů. [46]

### 4.3 Časování na základě optické detekce

Systém optické detekce využívá infračervené LED diody, které signál vysílají - emitory, a detekční LED diody - detektory, které signál rozpoznají a předají ho dál k dalšímu zpracování. [10] Funkce systému založeném na infračervených LED je obdobná jako u dálkového ovladače k televizi. Ovladač po stisknutí tlačítka vyšle skrze diodu zakódovaný signál, který zachytí přijímající dioda v televizi.

Odlišností, která je mezi diodou v ovladači a na zařízení umístěném na závodním dronu, je skutečnost, že zařízení na dronu vysílá identifikační signál neustále. V okamžiku průletu dronu kolem detekční brány je zakódovaná informace zachycena detekčním zařízením a následně jsou data o průletu dále zpracována. Mezi výrobci se nejedná o značně využívané řešení. Jako zástupce je uvedena společnost Spektrum se svým systémem.

Spektrum - je na poli závodních dronů a dronů obecně velmi známou značkou, která nabízí celou škálu produktů zaměřujících se na bezdrátovou komunikaci. Zaměřuje

se na komunikaci jak ovladače s přijímačem dronu pro ovládání, tak i na komunikaci mezi video vysílačem umístěným na dronu a přijímači na zemi.

Spektrum přišlo s vlastním systémem založeným na IR<sup>2</sup> komunikaci – kde každá koptéra má vlastní IR diodu připájenou k řídicí jednotce koptéry a v brance je umístěn systém s řídicí jednotkou a několika IR LED diodami, které zaznamenávají průlet. Sestava musí být u každé brány individuálně s vlastním napájecím zdrojem. Díky vlastnímu vývoji a integraci umožňuje systém hlášení výsledků skrze vysílačku pilotovi slovně. Zároveň jsou všechna data ukládána do vysílačky. [11]

Zmíněný systém pro detekci průletu brankou není určen pouze pro závody dronů, ale pro široké použití při závodech jakýchkoli dálkově ovládaných modelů.

V době psaní práce je podle informací na oficiálních stránkách ukončen vývoj a prodej tohoto řešení.

Cenově se jednalo o nenáročné řešení, které se pohybovalo v desítkách Eur. Jediná podmínka pro použití byla využití řídicí jednotky s integrovanou infračervenou LED od firmy Spektrum nebo použití speciálního modulu s infračervenou LED. [11]

---

<sup>2</sup>IR - Infra Red -infračervené světlo

## 5 Technologie RFID

RFID je zkratkou pro Radio Frequency Identification, což lze do češtiny přeložit jako identifikace za pomoci radiových vln.

### 5.1 Radiové vlny

Elektromagnetické spektrum je škálou elektromagnetického vlnění všech možných vlnových délek. Do spektra spadá viditelné záření, od infračerveného po ultrafialové, i záření radiové. [47] Radiová vlna je vlna, která nese energii z jednoho místa na druhé. Při přenosu radiové vlny oscilují, což se projevuje střídavým poklesem a nárůstem intenzity. [24] Při oscilaci můžeme pozorovat vzor, ve kterém vlna osciluje. [16] Vzdálenost dvou nejbližších bodů periodického vlnění se nazývá vlnová délka a počet cyklů, které se odehrají za jednu sekundu, se nazývá kmitočet s jednotkou 1 Hertz (Hz). [23]

#### 5.1.1 Vlnová délka

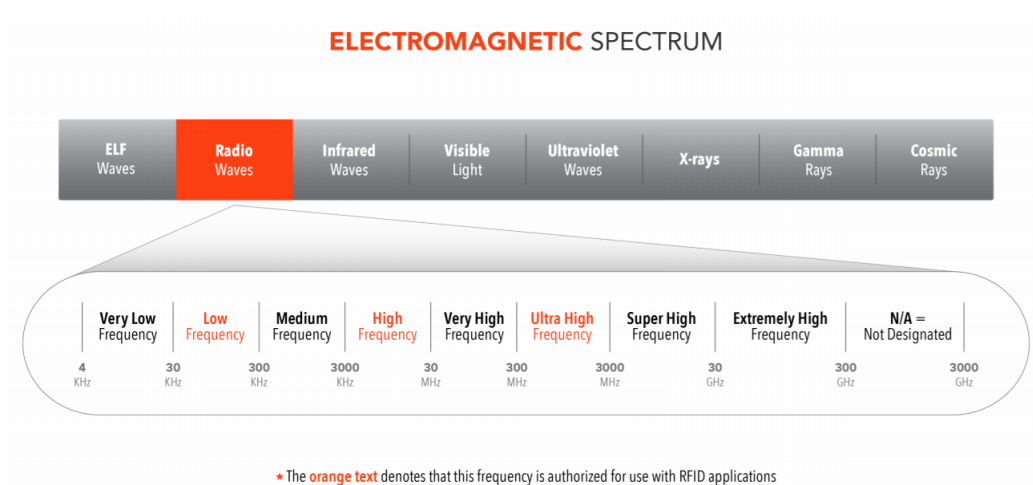
V elektromagnetickém spektru a podmnožině radiových frekvencí existuje rozdělení na osm kategorií vyznačených na následující infografice.

Jedná se o tyto kategorie:

- Very Low Frequency
- Low Frequency
- Medium Frequency
- High Frequency
- Very High Frequency
- Ultra High Frequency

- Super High Frequency
- Extremely High Frequency

Napříč spektrem můžeme pozorovat nárůst frekvence. Malá frekvence vlny značí v použití pomalejší přenos dat.



Obrázek 5.1: Přehled spektra elektromagnetických vln. Zdroj: [16]

## 5.2 Popis technologie RFID

RFID systém se primárně skládá ze tří částí. První částí je tag, který slouží jako nástroj k jednoznačné identifikaci produktu, na který je umístěn. Další částí systému je čtečka, která se stará o zpracování signálu a zápis a čtení informací z tagu. Třetí, a tedy poslední, součástí RFID systému je anténa, která vysílá signál k tagu a předává informace čtečce. V RFID systému nasazeném v praxi nalezneme primárně tyto tři komponenty ve větším počtu úměrnému aplikaci řešení.

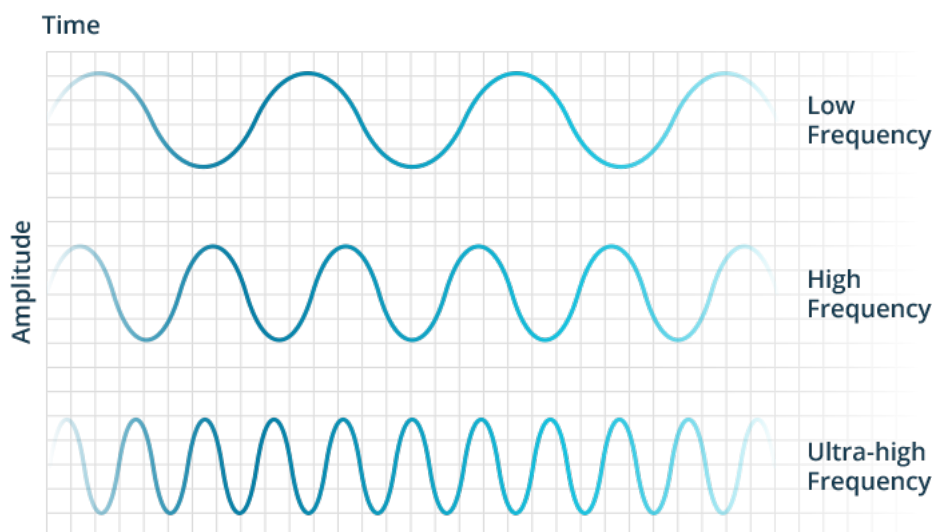


## 5.3 RFID spektrum

RFID technologii lze rozdělit do tří skupin v závislosti na pracovní radiové frekvenci, kterou používají antény a tagy.

- Low Frequency (LF) 125 až 134 kHz
- High Frequency (HF) 13.56 MHz
- Ultra High Frequency (UHF) 856 MHz až 960 MHz

Ve výčtu RFID skupin jsou uvedeny operační frekvence, které se v praxi využívají. Nicméně operační frekvence jsou pouze částmi celého jejich přiděleného spektra, které byly ustanoveny normami.



Obrázek 5.2: Porovnání frekvencí RFID Low Frequency, High Frequency a Ultra High Frequency [15].

### 5.3.1 Low Frequency (LF)

Pásmo Low Frequency RFID pokrývá frekvence od 30 kHz do 300 kHz s délkou radiových vln přibližně 2400 metrů. Kvůli používání mnoha zařízení v tomto rozsahu je limitováno použití RFID LF na frekvenci 125 kHz až 134 kHz. Unikátní vlastností RFID LF je průchod kovem a vodou, který je možný díky délce vysílaných radiových vln. [16]

Právě kvůli využití omezeného spektra frekvencí a závislosti na elektromagnetické indukci je možné čtení a zápis tagů na krátké vzdálenosti. [16] V praxi se jedná o vzdálenost přibližně do 50 centimetrů při ideálních podmínkách. [19] Nízké frekvence RFID LF také zaručují menší okolní rušení v porovnání s RFID HF a RFID UHF.

RFID LF tagy jsou v porovnání s HF a UHF tagy pomalé pro čtení, což zapříčiňuje nízká frekvence elektromagnetických vln. Právě kvůli nízké frekvenci trvá déle i přenos dat mezi tagem a čtečkou, která poté musí získaná data dekodovat. [16]

Praktické použití může být v přístupových systémech, kde za pomoci RFID tagu v podobě plastové karty může pověřená osoba odemknout zabezpečené prostory. Podobné využití se nabízí při řešení docházkového systému nebo pro identifikaci zvířat pomocí tagu umístěného pod kůží zvířete. [16]

Použití technologie RFID LF je doporučeno v aplikacích bez nároku na bezpečnost z důvodu chybějících šifrovacích standardů. [16]

### 5.3.2 High Frequency (HF)

Pásmo High Frequency RFID zabírá rozsah frekvence od 3 MHz do 30 MHz. Délka radiových vln je podstatně menší než u RFID LF, a to přibližně 22 metrů. Schopnost průchodu vodou a kovem je zde téměř nulová, výjimku tvoří lehké kovy jako je hliník, se kterým může RFID HF fungovat bez omezení. [16]

Čtecí vzdálenost se pohybuje v řádech desítek centimetrů až do délky jednoho metru [19], záleží ovšem na sestavě čtecích zařízení.

RFID HF sdílí svou frekvenci s technologií NFC, která z technologie RFID HF vychází.

### 5.3.2.1 Popis technologie NFC

Jedná se o poměrně mladou technologii, která byla v roce 2003 schválena jako ISO/IEC standard. V roce 2004 založily společnosti Sony, Phillips a Nokia asociaci NFC Forum sloužící jako neziskové sdružení výrobců, vývojářů a dalších. [13]

NFC využívá stejnou frekvenci 13.56 Mhz jako RFID HF. Vychází ze standardů a protokolů technologie RFID, a to konkrétně z ISO/IEC 14443 a základní části ISO/IEC 18092.

Kvůli faktu, že technologie NFC vychází z technologie RFID HF, převzala technologie i omezení ve čtecí vzdálenosti a utvořila z něj zásadní přednost. Právě kvůli malé vzdálenosti, ve většině případů několik centimetrů, se stala populární volbou pro bezpečnou komunikaci mezi spotřebitelskými zařízeními jako jsou mobilní telefony.

Právě peer-to-peer<sup>1</sup> komunikace je hlavní faktor, který odlišuje NFC od typických RFID zařízení. NFC zařízení může fungovat zároveň jako čtečka i tag. To je jeden z důvodů, proč je NFC populární volbou pro bezkontaktní platby a proč tyto NFC čipy implementují do svých telefonů výrobci čím dál častěji. NFC v mobilním telefonu může sloužit ke sdílení základních informací jako například kontaktu až po složitější, jako jsou data nebo fotografie.

NFC zařízení díky možnosti číst pasivní NFC tagy mohou zároveň číst i tagy původně určené pro FRID HF, které splňují ISO 15693. Data, která obsahují tyto tagy, mohou skrývat příkazy například pro připojení k Wi-Fi, ztlumení hlasitosti telefonu nebo otevření mobilní aplikace.

Praktické použití RFID HF a NFC tagů je velice široké. V případě NFC je možnost využití na reklamních materiálech, digitálních tetování, jako součást oblečení a dalších.[18] V případě RFID HF je využití především v oblasti identifikace. Jedním zástupcem je například použití v pasech. S novou generací digitálních pasů přišlo integrování RFID HF modulu, díky kterému jsou data čtena elektronicky.[16]

---

<sup>1</sup>Označováno jako P2P - komunikace rovný s rovným.

### 5.3.3 Ultra High Frequency (UHF)

Rozsah funkčního pásma RFID UHF je mezi 300 MHz a 3 GHz, avšak kvůli územním restrikcím a používání dalších technologií v tomto pásmu je použitelný rozsah pro fungování RFID UHF mezi 860 MHz a 960 MHz. Výjimkou jsou systémy fungující na frekvenci 433 MHz a 2.45 GHz. [16] Vlnová délka je přibližně 33 centimetrů a při zmíněné frekvenci 2.45 GHz dosahuje délka vlny až na přibližnou hodnotu 12 centimetrů.

- 433 MHz

Frekvence 433 MHz je známa jako LPD433, což je zkratkou pro Low Power Device 433 MHz. Jedná se o frekvenci, kterou využívají amatérští radiologové a zároveň je vyhrazena pro státní použití ve Spojených státech amerických a ve většině státech celosvětově. [17]

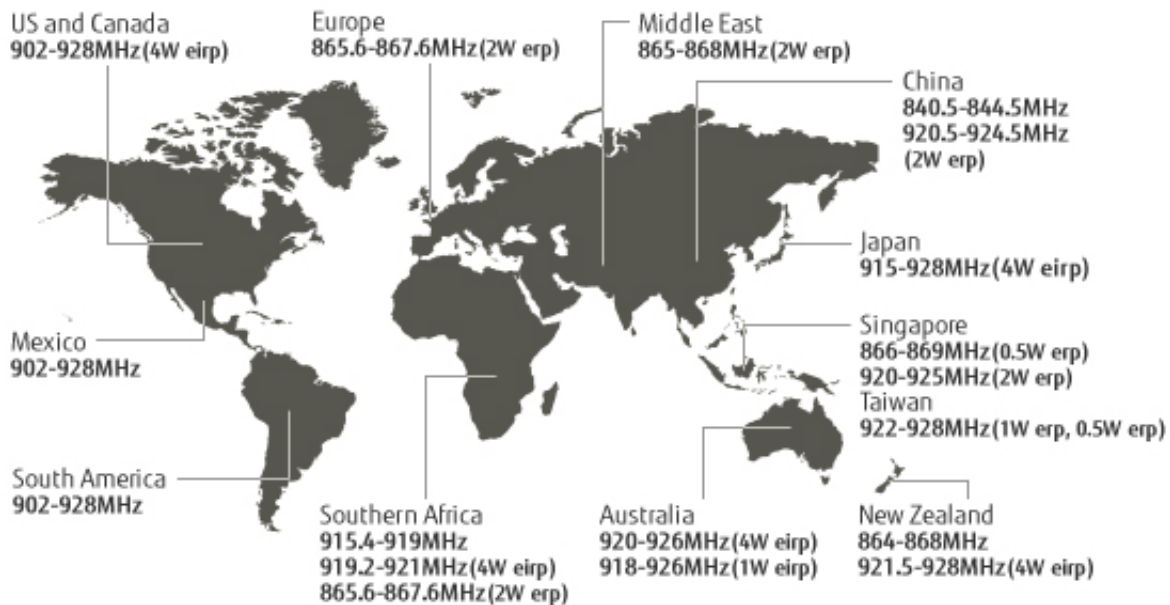
- 2.45 GHz

Frekvence 2.45 GHz je použita při čtení RFID tagů za pomoci mikrovln. V pásmu 2.4 GHz se nachází velké množství rušení z důvodu velkého využití dalšími zařízeními, jako jsou WLAN<sup>2</sup> – standardy IEEE 802.11b, g, n, Bluetooth, kamery, železniční aplikace a další. [22] Zároveň spolu s frekvencí 2.45 GHz je možno číst RFID tagy frekvencí 5.8 GHz, která spadá do kategorie Super High Frequency. Tagy pro použití ke čtení za pomoci mikrovln jsou mnohem dražší než ostatní RFID tagy. [17]

RFID UHF systémy fungují v rámci pevně stanovených frekvencí, které určují standardy vytvořené společnostmi a asociacemi jako GS1. GS1 je tvůrcem několika standardů, jako je například EPC UHF Gen2 Air Interface Protocol, což je protokol, který specifikuje rozhraní, které implementují čtečky RFID UHF tagů a tagy samotné. [20] Další omezení pro provoz RFID UHF tagů vytváří samotné státy, které určují, v jakých frekvencích povolí jejich operaci. [21], [22] Přehled používaných frekvencí pro RFID UHF napříč státy můžeme vidět na následujícím obrázku. U určitých frekvencí je znázorněn maximální možný výkon antény vysílající signál o určité frekvenci.

---

<sup>2</sup>Bezdrátová lokální síť



Obrázek 5.3: Přehled používaných frekvencí celosvětově.[21]

## 5.4 RFID tag

RFID tag je zpravidla malý integrovaný obvod, který je připojený k anténě v podobě cívky. Tento integrovaný obvod s anténou bývá uložen do obalu závislého na použití tagu. Může být zataven do plastové karty nebo připraven jako nálepka pro aplikaci na zboží. Provedení tagů je nespočet a každé je určené pro specifickou aplikaci. Data uložená v obvodu jsou pomocí antény přenášena do čtečky nebo počítače. [33]

Tagy můžeme dělit podle tříd: [32]

- Class 0 pouze pro čtení, programováno ve výrobě, 64 nebo 96 bit, čtení 1000 tagů/s
- Class 1 zápis jednou/zápis mnohokrát, programováno při použití, 64 nebo 96 bit, čtení 200 tagů/s
- Class 0+ čtení/zápis, programováno kdykoliv, 256 bit, čtení 1000 tagů/s
- Gen 2 čtení/zápis, programováno kdykoliv, 256 bit, čtená 1600 tagů/s

Každý tag má v sobě uložen kód EPC (Electronic Product Code) neboli elektronický produktový kód, který je celosvětovým standardem pro značení logistických jedno-

tek. EPC kód splňuje normy ISO a využívá UCC/EAN 128. Jedná se o unikátní číslo, které identifikuje a popisuje položku vč. možnosti nezaměnitelného sériového čísla. [19]

Struktura EPC kódu - sériové číslo uložené v tagu: [32]

- 8 bitů hlavička, EPC číslo verze
- 28 bitů informace o firmě, 268 milionů firem
- 24 bitů třída výrobku, 16 milionů tříd
- 36 bitů unikátní číslo produktu, 68 miliard čísel

### 5.4.1 Pasivní tag

Jedná se o miniaturní zařízení, které samo o sobě není nijak napájeno a nemá v sobě uloženou baterii. Využívá princip elektromagnetické indukce, kde anténa dodá tagu energii v momentě přiblížení. Čtecí zařízení se po přiblížení k tagu stane zdrojem energie a dodá miniaturnímu kondenzátoru v pasivním tagu dostatek energie pro odeslání v sobě uložených informací. [14] V praxi se může jednat například o využití nalepovacích tagů v obchodech pro ochranu proti krádeži. Pasivní tagy jsou pro toto použití výhodné ve své velikosti a levné pořizovací ceně. [13]

#### 5.4.1.1 Pasivní UHF tag

UHF pasivní tagy se díky širokému použití a velké poptávce staly relativně levným zbožím. UHF tagy s obstojnou čtecí vzdáleností lze zakoupit už za jednotky korun.

Nevýhodou UHF tagů je jejich vysoká citlivost na odrazy signálu, a to především od vody a kovů, kde se vlny jednoduše odrazí. Pokud tedy tag pokrývá voda, energie dodaná anténou se z většiny odrazí jiným směrem a tagu se nedostane dostatečné množství energie, aby odeslal svůj signál zpět čteče. Dalším problémem je například velmi horké prostředí, kde tagy degradují a ztrácejí na schopnosti odeslat zpět svůj signál. [25] Těmto jevům se lze ubránit použitím tagů uzpůsobených do specifických podmínek. Existují tagy vyvinuté pro instalaci na kov a také tagy určené do teplot až 400 °C [29].

Výhodou je absence baterie, tudíž pokud nedojde po dobu užívání k mechanickému poškození nebo poškození vlivem okolí, je trvanlivost tagů závislá především na trvanlivosti předmětu, ke kterému je tag upevněn. [26]

Využití RFID UHF tagů je v desítkách aplikací jako například v monitorování inventáře náradí [27], časování běžeckých závodů nebo při praní prádla, kde slouží k počítání pracích cyklů [28].

## 5.4.2 Aktivní tag

Princip využití je obdobný jako u pasivních tagů s rozdílem, že samotný tag je napájen vlastním zdrojem energie. Komunikace v tomto případě probíhá pouze vzájemným čtením údajů uložených v čípech bez nutnosti dodání energie. Aktivní tag sám o sobě vysílá signál a tím zvyšuje minimální čtecí vzdálenost. Tímto způsobem se čtecí vzdálenost může zvýšit na 100 metrů i více [30]. Možnost tagu vysílat vlastní signál dává příležitost pro použití v těžkých podmínkách. Tag je proto schopný vysílat signál i v prostředí vody, což je výhoda oproti pasivním tagům. Další překážky, které aktivní tag zvládne překonat, jsou například sníh nebo zemina. [16]

### 5.4.2.1 Aktivní UHF tag

Nevýhodou aktivních tagů je použití baterie jako zdroje energie pro vysílání signálu. Kvůli použití baterie je tag sám o sobě mnohem dražší než pasivní tag a díky baterii má omezenou životnost.

Využití aktivních RFID UHF tagů je především v dopravě, kde se používají kontejnery vyrobené z kovu. Právě kvůli materiálu, z kterého jsou vyrobeny kontejnery, nelze použít pasivní RFID tag. Možností by bylo zvolení pasivního RFID tagu určeného pro montáž na kov, ale hrozilo by nebezpečí poškození vnějšími vlivy. Proto je tato aplikace vhodná pro aktivní RFID UHF tagy, které jsou schopné svým vysílaným signálem penetrovat stěny kontejneru a vyslat signál zevnitř. [31] S aktivními tagy se můžeme také setkat při komunikaci dvou telefonů nebo při bezkontaktní platbě telefonem či chytrými hodinkami. [13]

## 6 Požadavky pro použití technologie RFID

Pro výběr technologie, která se použije při Drone Racingu, je kritických několik faktorů. Mezi nimi je spolehlivost, se kterou může určitá technologie pracovat, přesnost, která je zapotřebí pro určení jednoznačných výsledků, finanční náročnost, kterou zvolená technologie s sebou přináší, a jednoduchost použitelnosti při závodech.

Z přehledu RFID technologie v předchozí části vyvstává jediný kandidát na použití, který splňuje většinu požadavků. Jedná se konkrétně o použití UHF tagů a čteček, které budou při závodě nasazeny. Každý dron bude vybaven vlastním unikátním tagem a tím se zaručí jednoznačné identifikování při průletu soutěžní brankou.

- Spolehlivost

Spolehlivost závisí na výběru komponent, z kterých se bude systém časomíry skládat. Zejména jde o tagy upevněné na dronu. Ty musí disponovat dostatečně velkou anténou, která přispěje ke čtení tagu ve vyšších rychlostech. Výběr tagu je kritický také z hlediska odolnosti. Drony během závodů často havarují a může dojít ke zničení tagu.

- Přesnost

Přesnost systému založeného na použití UHF technologie se odvíjí od několika faktorů. Jedním je počet použitých antén, který musí být dostatečný pro pokrytí požadované plochy pod brankou, skrze kterou prolétává dron. Dalším je už samotné nastavení systému, a to zejména operační frekvence a výkon čtecího modulu.

- Finanční náročnost

Celková cena může být (a v praxi častokrát bývá) rozhodujícím faktorem pro výběr jak produktu, tak technologického řešení. Samotná cena se samozřejmě odvíjí od použitého hardwaru, kterým jsou antény, množství čtecích modulů, použité tagy a samotný řídicí a prezentační software.



- Jednoduchost

Čím jednodušší je systém na použití, tím má větší šanci na úspěch u uživatelů nebo zákazníků. To platí v nejednom odvětví informačních technologií, ale i ve všech nabízených službách. V porovnání se systémem založeném na sledování signálu video přenosu ze závodního dronu, kde není nutná žádná instalace dalšího vybavení na dron, přináší použití technologie RFID nutnost, kterou může spousta pilotů považovat za nepříjemnost. Právě kvůli použití RFID tagů, které se musí připevnit na závodní dron. V krajních případech se může jednat o navýšení hmotnosti dronu o několik gramů, což může mít vliv na chování a výkon při řízení. Oproti technologii optické detekce, kde je nutné instalování infračervené LED nebo použití speciálních čipů, je přilepení RFID tagu jen zanedbatelnou maličkostí.

Technologie RFID UHF disponuje parametry, které zajistí dostatečnou čtecí vzdálenost. Jedná se řádově o metry, což se jeví jako zcela postačující pro pokrytí prostoru pod brankou. Čtecí vzdálenost lze regulovat pomocí čtecího modulu, ve kterém se nastaví požadovaný výkon. Samotný prostor pod brankou lze také rozdělit do sektorů a pro každý sektor přidělit anténu, která jej svým signálem pokryje.

## 7 Použité vlastní řešení

Pro testování bylo použito sestavení skládající se ze čtveřice RFID UHF antén, dvou RFID UHF čtecích modulů, potřebného počtu koaxiálních kabelů, testovacího softwaru poskytnutého výrobcem čtecích modulů Chainway a vlastní aplikace uzpůsobené pro čtení dat z čtecích modulů a vhodnou interpretaci dat.

Byl zajištěn vzorek různých druhů a velikostí RFID UHF tagů. Tagy byly testovány a byl zaznamenáván jejich úspěch čtení při průletu brankou vyobrazený v tabulce níže.

### 7.1 Použitý hardware

Zde následuje výčet použitého hardwaru, jeho počet a parametry.

#### 7.1.1 Čtecí modul

Jako čtecí zařízení byl vybrán modul od výrobce Chainway prodáváný společností ITFutuRe s.r.o., která je zároveň oficiálním zastoupením výrobce Chainway v České republice.

Konkrétně se jednalo o modul s označením CM-2000-4, který disponuje čtyřmi čtecími kanály a umožňuje k modulu připojit až čtyři antény. Jádrem modulu je čip Indy R2000. Modul čte tagy vyrobené podle normy EPCglobal Gen2 (ISO18000-6C) a má rozmezí pracovní frekvence 860–960 MHz. Výkon modulu je až 30 dBm a lze jej softwarově upravovat v rozmezí 5 dBm až 30 dBm. Citlivost příjmu modulu je až -88 dBm.

Modul vyžaduje zdroj, který má výstupní napětí v rozmezí 3.5-5.25 V. Spotřeba modulu při připojení čtyř antén a nastavení maximálního výkonu 30dBm se může vyšplhat až na hodnotu 5.3 wattů. Z tohoto důvodu nemusí být dostatečné napájení z počítačového portu USB verze 2.0, který dokáže dodávat proud maximálně 500 mA [34], a je doporučeno napájení z externího zdroje. Jako další možné řešení napájení je možnost použití USB

verze 3.1, které dle specifikace dokáže dodávat až 2.1 A, což pro napájení modulu postačí. Podle Ohmova zákona můžeme určit, jaký proud bude zařízení odebírat.

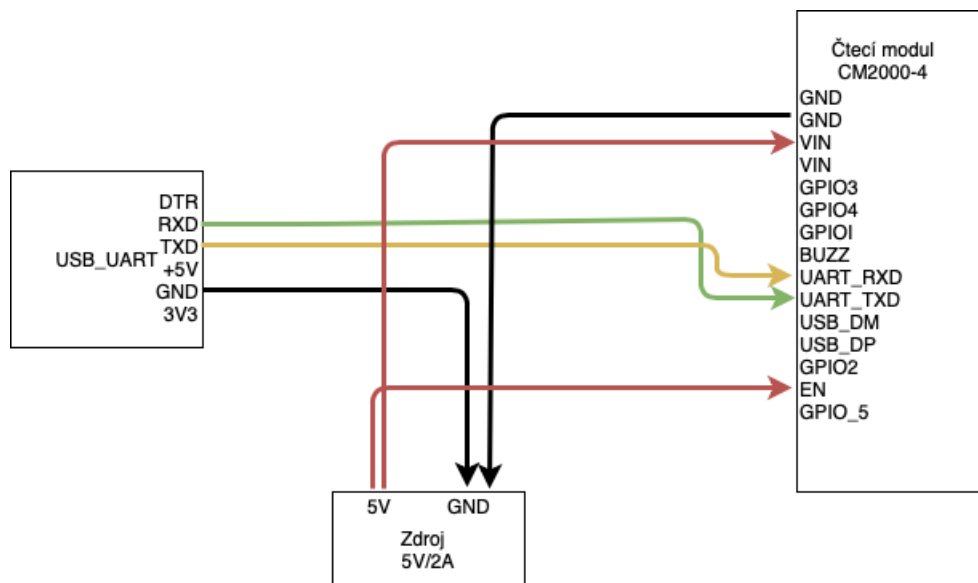
$$I = P/U$$

$I$  značí námi požadovaný proud,  $P$  je výkon a  $U$  značí napětí. Pokud sečteme výkony všech připojených zařízení, tj. modul o výkonu 5.3 W a dvě antény o výkonu 2 W, a dosadíme do vzorce pro získání proudu, dostaneme:

$$I = 9.3/5$$

$$I = 1.86A$$

Z toho vyplývá, že potřebný proud v zátěži je 1.86 A. Proto je doporučen externí zdroj, který zvládne dodávat vyšší proud.



Obrázek 7.1: Schéma zapojení čtecího modulu, USB-UART, a převodníku ke zdroji.

Zapojení komponent bylo podle předchozího schématu. Pozitivní větev obvodu vedla ze zdroje k pinu modulu VIN. Bylo nutné přivést napětí také na pin EN, který určuje pracovní režim modulu. Napětí na pinu EN nad 1.25 V nastavuje modul čtecí mód, napětí pod hranici 1.18 V značí pro modul režim spánku. Negativní větev obvodu byla připojena k pinu GND na modulu a zároveň k pinu GND na převodníku. Pin RX modulu

byl propojen s pinem TX na převodníku. Toto křížení zaručuje správnou komunikaci mezi zařízeními. Jedno totiž data vysílá (TX) a druhé data přijímá (RX). Stejná analogie platí při propojení pinů TX modulu a RX převodníku.

Modul podle údajů výrobce zvládá číst tagy s rychlostí větší než 400 tagů za sekundu a čtecí vzdálenost s použitím 4 dBi antény je více než 10 metrů. Toto byly hlavní důvody pro výběr právě tohoto čtecího RFID UHF modulu.

### 7.1.2 RFID UHF Tagy

Bylo zapůjčeno několik druhů tagů, které se lišily svou velikostí a provedením. Mezi zapůjčenými tagy bylo i několik, které se používají profesionálně při cyklistických nebo jiných závodech. Dalšími tagy byly tagy určené pro instalaci na zboží, zejména boxy určené pro logistiku. K dispozici byly také tagy určené pro instalaci na kov, nebo do drsných podmínek. Jako spolehlivé se osvědčily tagy používané obchodem Decathlon, které byly také zařazeny do testování. Použité tagy byly konkrétně následující:

- HL UHF RFID tag na nekovový podklad

Tag má pracovní frekvenci 860-960 MHz, je typu EPC Class1Gen2 a je osazen čipem Impinj Monza. Rozměry jsou 50x40x3 mm a pracovní teplota je od -25 °C do 65 °C. Splňuje krytí IP67.

- HL UHF RFID Tag 8Kb na kovový podklad

Tag s pracovní frekvencí 860-960 MHz, typu EPC Class1Gen2 a je osazen čipem Impinj Monza. Rozměry jsou 48x42x21 mm a pracovní teplota je od -30 °C do 90 °C. Splňuje krytí IP67.

- HL UHF RFID Stock 3 – na kovový podklad

Určením je tento tag podobný tagu předchozímu, liší se v několika parametrech, a to ve větší provozní teplotě (-30 °C až 125 °C) a frekvenci (865 až 868 MHz).

- HL UHF RFID Wristband – Security

Provedení tagu je uzpůsobeno pro správu přístupu. Tag je v provedení papírového náramku, který se nalepí kolem zápěstí. Náramek má čtecí vzdálenost 80 cm při aplikaci na zápěstí.

- Alien “SIT” Inlay ALN-9613

Jedná se o miniaturní tag s rozměry 9x12 mm určený pro sledování drobného zboží, jako například šperků, nebo pro identifikaci položek ve zdravotnickém průmyslu.

- Alien Express ALN-9835

S rozměry 70x12.7 mm je tento tag primárně určen pro použití v oděvním průmyslu a obecně pro identifikaci položek.

- Alien Squiglette Inlay ALN-9630

Tag používaný pro správu skladů, identifikaci složek nebo palet se zbožím. Rozměry 70x9.5 mm.

- Alien Squiggle Inlay ALN-9640

Tag využitím podobný tagu ALN-9630. Liší se jiným návrhem antény a rozměry 94.8x8.1 mm.

- Smartrac DOGBONE™ Impinj Monza R6 & R6-P

Velikostně největší z testovaných tagů s rozměry 94x24 mm. Používá se při cyklistických závodech, kde snímá závodníky v rychlostech pohybujících se kolem 60 kilometrů za hodinu.

- Smartrac SHORTDIPOLE, Impinj Monza R6 & R6-P

Druhý největší tag s rozměry 93x11 mm. Určený pro aplikaci v monitorování skladů nebo v prodejnách. Nejlepší výsledky jsou dosaženy při aplikaci na karton nebo plast.

- Embisphere STICKER TAG - 1316096

Tag vytvořený na míru pro účely monitorování položek pro Decathlon. Rozměry 54x34 mm.

- Embisphere SMALL STICKER TAG - 1850340

Menší provedení tagu určeného pro Decathlon s rozměry 44x18 mm.



Obrázek 7.2: UHF tagy. Zleva: HL UHF RFID tag na nekovový podklad, Alien Squiglette Inlay ALN-9630, HL UHF RFID Stock 3 – na kovový podklad. Zdroj: [www.hl-rfidtag.com](http://www.hl-rfidtag.com), [www.shopid.cz](http://www.shopid.cz)

Vybrané tagy byly zapůjčeny nebo věnovány společnostmi ITFutuRe s.r.o. a Sport Base timing. Tagy výrobce Embisphere byly získány ze zakoupeného zboží obchodu Decathlon v Hradci Králové.

### 7.1.3 Antény

Pro účely testování byly zapůjčeny dvě profesionální antény Zebra AN480. Jedná se o směrové lineárně polarizované antény. Tyto antény mají zisk (Gain) 6 dBi v jednom směru a zisk 1.5 dBi ve směrech do stran. Jedna zapůjčená anténa byla polarizovaná levotočivě (LHCP) a druhá pravotočivě (RHCP). Každá o výkonu 2 W. Antény mají pracovní frekvenci nastavitelnou v rozsahu 865-956 MHz.

Jako další antény pro testování byly zvoleny prutové antény NiceRF SW868-WT100. Velikost antén je 10 centimetrů a zisk každé z nich je 2.15 dBi. Pracovní frekvence antén je v rozmezí 850-950 MHz a maximální výkon každé je 10 W. Tyto antény jsou oproti anténám Zebra AN480 vertikálně polarizované, a to kvůli jejich prutovému provedení.

Pro zajištění lepšího pokrytí prostoru pod závodní brankou, bylo zvoleno složení antén ze směrových (Zebra AN480) i všesměrových (NiceRF SW868-WT100).

### 7.1.4 Kabeláž

Pro propojení čtecího modulu a antén byly využity dva druhy koaxiálních kabelů.

- RG58A/U

Jedná se o koaxiální kabel o průměru 5 mm. Jako stínění je použita hliníková fólie a odpor kabelu je 50 Ohm. Prodejce doporučuje maximální délku instalace 40 metrů. Tento koaxiální kabel je jedním z nejlevnějších prodávaných kabelů s cenovkou 5 Kč za metr.

- RG58-100

Koaxiální kabel o průměru 4.95 mm s odporem 50 Ohm. Útlum tohoto kabelu je při frekvenci 50 MHz 10.5 dBi/100 m a při frekvenci 500 MHz je útlum 37.7 dBi/100 m. Jedná se o jeden z lepších koaxiálních kabelů, kde je jako vnější stínění použito opletení z měděného drátu. Cenově tento kabel vyjde na 20 Kč za metr.

U kabelů je důležitý především jejich útlum signálu, který přibývá s délkou instalace a s použitou frekvencí.

### 7.1.5 Branky

Branky byly zvoleny od výrobce Graupner, který je známý ve světě Drone Racingu svými vrtulemi a dalším vybavením. Na trhu je možné narazit na nepřeberné množství branek všech rozměrů a provedení od různých výrobců. Tyto branky byly vybrány především pro svou stabilitu a odolnost, které jsou zaručeny možností upevnění branek kolíky k zemi a následnou možností branky vypnout pomocí přibalených provázků.

Konkrétně se jedná o branky s modelovým označením 1300, které nabízejí oproti nižšímu modelu s označením 700 právě možnost vypnutí pomocí provázků. Brány jsou se svou výškou 1300 mm a šířkou 2600 mm, poměrně rozměrné. Každá brána váží 900 gramů a lze ji složit do cestovního balení o šířce 750 mm, výšce 650 mm a hloubce 40 mm.

Tyto brány se svými rozměry shodují s branami od ostatních výrobců. Můžou být použity jak pro závody, tak pro trénink.

## 7.1.6 Dron

Jako testovací dron byla použita na míru sestavená kvadrokoptéra<sup>1</sup>, která byla postavena z následujících komponent.

- Rám: DRAGON TRUE X 225 5 INCH
- Kamera: Foxeer Predator mini
- Řídící deska: SP Pro Racing F3
- Rozvodná deska: Matek PDB BEC-5V/3A POWER HUB 5 in 1 V3.0
- Videovysílač: VTX - akk FX3
- Přijímač: Turnigy TGY-iA6C
- Regulátory: Racestar RS20A
- Motory: Racestar BR2205
- Vrtule: Dalprop Cyclone T5045
- Baterie: Hobbyking Graphene 1300mAh a 1500mAh
- Ovladač: Turnigy Evolution



Obrázek 7.3: Použitá kvadrokoptéra s ovladačem.

---

<sup>1</sup>Označení pro dron se čtyřmi vrtulemi.



### 7.1.7 Ostatní hardware

Mezi ostatní použitý hardware se řadí především použité konektory pro kabeláž a prostředky pro komunikaci čtecího modulu s počítačem.

- USB-UART převodník

Jedná se o převodník, který zajišťuje správnou komunikaci mezi čtecím modulem a počítačem, do kterého je připojen pomocí USB portu.

- Konektory

Pro zajištění komunikace modulu s anténami byly opatřeny koaxiální kabely potřebnými konektory. Na straně čtecího modulu byly využity SMA konektory a na straně antén Zebra AN480 byly použity konektory typu N, kvůli kompatibilitě s konektorem, kterým byla opatřena anténa. Pro připojení antén NiceRF SW868-WT100 byly použity konektory SMA.

Čtecí moduly byly instalovány do univerzálních krabiček o rozměrech 120x120x60 mm a 168x84x36 mm. Pro napájení modulů sloužil adaptér určený pro nabíjení mobilních telefonů Apple o výkonu 10 W, nabíjecím napětí 5.1 V a proudu 2.1 A. Dále byla použita pro napájení modulu v terénu powerbanka s kapacitou 10 000 mAh, která dodávala proud 2.1 A.

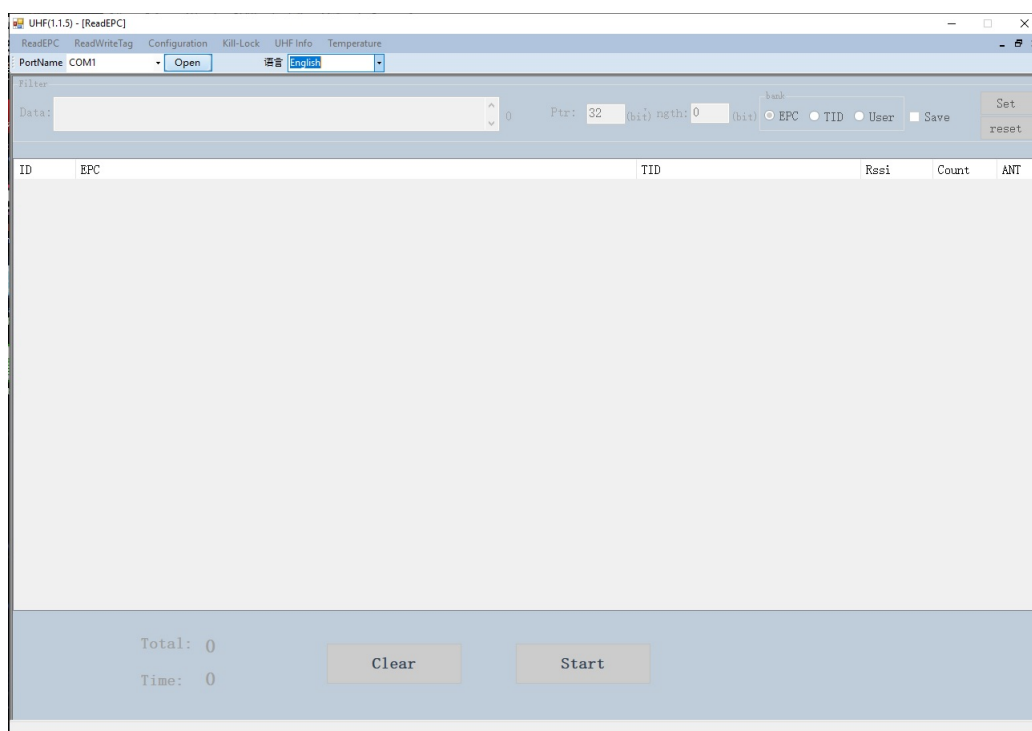
## 7.2 Použitý software

Výrobce použitého čtecího modulu Chainway poskytuje na svých stránkách dvě položky, které popisují komunikaci se čtecím modulem. Prvním souborem je API, skrze které je možné číst načtené tagy z modulu, nastavovat parametry čtení, zapisovat data na tagy a popřípadě je také trvale vyřadit z provozu. Druhým souborem je komprimovaná demo aplikace určená pro počítače s operačním systémem Windows. Je psaná v jazyce C# jako samotné API, které využívá pro komunikaci. Zmíněné dva soubory poskytuje na svých stránkách v popisu modulu také společnost ITFutuRe s.r.o., tudíž není těžké zdrojové kódy a API získat.

## 7.2.1 Demo aplikace

V aplikaci je možné měnit použitý jazyk prostředí, a to mezi angličtinou a čínštinou. Samotná aplikace se skládá z několika záložek, kde každá je zaměřená na jiné úkony, které lze s modulem provádět. Aplikace se připojí k zařízení pomocí připojení k COM<sup>2</sup> portu počítače, ke kterému je modul za pomoci USB-UART převodníku připojen.

Aplikace ve většině případů požaduje data v hexadecimální podobě pro zápis do tagu, který v sobě uchovává hexadecimální data. V některých úkonech je aplikace nestabilní a je nutné ji restartovat pro správné fungování. Navzdory tomu je možné provádět veškeré nastavení a čtení z modulu. Aplikace se skládá z následujících záložek:



Obrázek 7.4: Prostředí hlavní stránky demo aplikace.

### 7.2.1.1 Read EPC

Záložka Read EPC slouží jako výchozí obrazovka po spuštění aplikace. Je zde možné spustit a zastavit čtení tagů a smazat tabulku načtených tagů. Pokud je pomocí

---

<sup>2</sup>Zkratka pro sériový port počítače.

modulu načten tag, je vložen do tabulky. Při opětovném načtení stejného tagu je pouze změněno číslo označující počet načtení. Zobrazované parametry jsou:

- ID tagu - Identifikační číslo v rámci pořadí načtených tagů
- EPC tagu - Electronic Product Code
- TID tagu - Tag ID
- RSSI - Hodnota, která udává sílu signálu, s jakou byl tag načten
- Count - Počet načtení tagu
- ANT - ID antény, která tag načetla při posledním čtení

#### **7.2.1.2 Read Write Tag**

Tato záložka slouží k vyčtení informací z jednotlivých banek tagu a nabízí také možnost do tagu data zapisovat. Je možné číst data z banek RESERVED, EPC, TID, USER. Do všech zmíněných banek nemusí být možno data zapisovat. Záleží totiž na předchozím nastavení tagu, který může být pro zápis do některých oblastí uzamčen.

#### **7.2.1.3 Configuration**

Jedná se svým způsobem o nejdůležitější záložku, ve které se provádí veškeré čtecí nastavení modulu. Konkrétně je zde možno provádět tyto úkony:

- Power

Pomocí listboxu je zde možné vybrat sílu výkon modulu v rozmezí 5-30 dBi. Vybranou hodnotu je možno před uložením označit příznakem, který zajistí její uložení do paměti modulu a při jeho restartování bude provedeno opětovné načtení zvolené hodnoty.

- Region

Zde je možné vybrat region, ve kterém se modul nachází. Na výběr je z následujících: China1, China2, Europe, USA, Korea, Japan.

- RF Link

Tato možnost značí frekvenci, s jakou bude modul vysílat signál. Jedná se o následující:

- DSB\_ASK/FMO/40KHz
- PR\_ASK/Miller4 250KHz
- PR\_ASK/Miller4 300KHz
- DSB\_ASK/FMO/400KHz

- Frequency

Frekvence, na jaké modul vysílá signál. Po výběru regionu je toto pole upraveno na nejnižší hodnotu frekvence v závislosti na povoleném frekvenčním rozsahu daného regionu.

- ANT 1

Možnost výběru aktivních antén, které bude modul pro vysílání frekvence využívat. Je zde pomocí checkboxů vyobrazeno šestnáct antén, a to z důvodu použití aplikace nezávisle na použitém modulu. Moduly se vyrábějí ve verzi s výstupem pro jednu, čtyři, osm a šestnáct antén. Výběr lze uložit do paměti modulu.

- ANT 2

Stejnomené pole, které v tomto případě značí přiřazení pracovního času jednotlivým anténám. Je zde možno nastavit pracovní čas v rozsahu 10 až 65535 milisekund.

#### 7.2.1.4 Kill-Lock

Tato záložka nabízí možnost uzamčení nebo odemčení jednotlivých bank na tagu. Je zapotřebí zadat přístupové heslo a pomocí něj provést tyto druhy uzamčení a odemčení:

- Temporary Open
- Temporary Lock
- Permanent Open

- Permanent Lock

Je zde možné taky tag nadobro „zlikvidovat“, kde po zadání přístupového hesla stačí stisknout příhodně nazvané tlačítko „kill“.

#### **7.2.1.5 UHF Info**

Nejedná se přímo o záložku s možností dalších úkonů, ale o tlačítko, po jehož stisku se zobrazí informace o sestavě UHF modulu, konkrétně jeho verze softwaru, hardwaru a ID zařízení.

#### **7.2.1.6 Temperature**

Jak napovídá název této záložky, tak se po stisku tohoto tlačítka zobrazí teplota modulu. Čtecí modul se během čtení poměrně snadno zahřeje, a proto je funkce pro vyčtení parametru určující teplotu ve stupních Celsia příhodná.

### **7.2.2 Vlastní aplikace**

Pro účely vlastního testování byla vytvořena aplikace, která vyhovovala požadavkům pro určení průletu brankou a identifikaci dronu a jeho pilota. Aplikace využívá zmíněné API pro komunikaci s modulem a čtení výsledků. Je napsaná v jazyce C# WPF (Windows Presentation Foundation) za pomoci Visual Studio Community 2019. Pro návrh grafického rozhraní aplikace bylo využito prvků z WPF.

Aplikace využívá několika zvláštních tříd, které jsou uzpůsobené pro účely testování. V žádném případě se nejedná o finální aplikaci určenou k distribuci. Aplikace byla vytvořena a uzpůsobena čistě k testovacím účelům.

#### **7.2.2.1 Grafický návrh**

Aplikace je koncipovaná jako single-view aplikace, tudíž nabízí pouze jednu obrazovku, která vyobrazuje všechny potřebné informace.

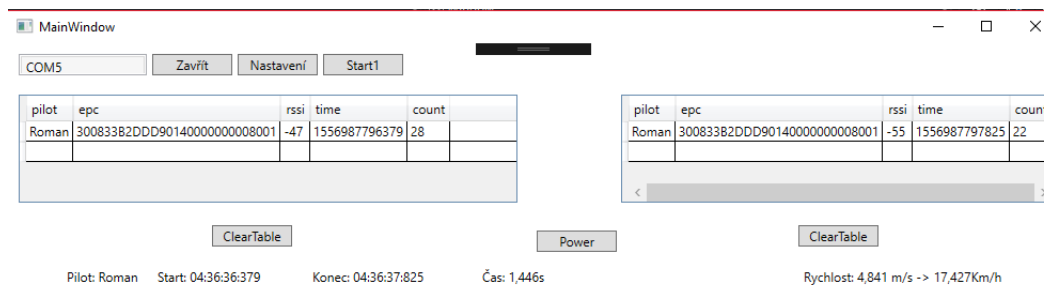
Hlavní obrazovka se skládá z pole pro výběr COM portu, ke kterému je připojen USB-UART převodník. Pokud je převodník připojen již před spuštěním aplikace, je COM port již vyplněn v příslušném listboxu. V situaci, kdy je k počítači připojeno vícero zařízení, je možné COM port vybrat z nabídky. Pro spuštění čtení tagů pomocí modulu je zde tlačítko Start. Uprostřed okna aplikace se nachází dvě tabulky, které symbolizují brány, skrze které závodní dron prolétá. V okamžiku, kdy je dron zaznamenán první branou, objeví se příslušný záznam v levé tabulce s následujícími informacemi:

- Pilot - nastavení označení pilota
- EPC - EPC použitého tagu
- RSSI - síla signálu
- Čas průletu
- Počet načtení tagu

Po průletu druhou branou se přidá záznam se stejnými informacemi do pravé tabulky a data z průletu jsou dále zpracována pro zobrazení detailu o průletu. Detailní informace vyobrazeny ve spodní části obrazovky jsou následující:

- Jméno pilota
- Čas průletu první branou
- Čas průletu druhou branou
- Celkový čas mezi průletem první a druhou branou
- Vypočtená rychlost v metrech za sekundu a kilometrech za hodinu

Tabulky se záznamy letů lze jednoduše vymazat pro možnost zaznamenání dalšího letu se stejným dronem. Ve spodní části obrazovky je také umístěno tlačítko, které má čistě testovací účel pro ověření správné komunikace s modulem po jeho připojení. Po jeho stisknutí vrátí modul nastavenou hodnotu síly signálu.



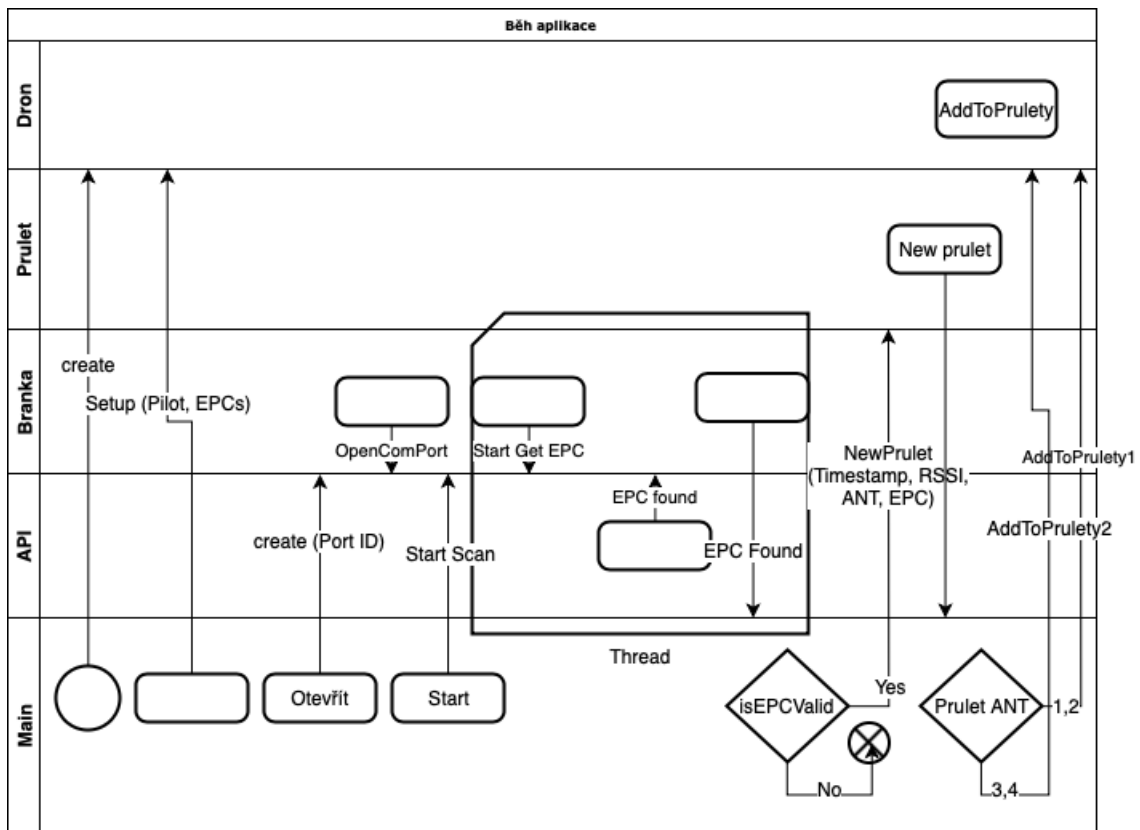
Obrázek 7.5: Okno vlastní testovací aplikace.

### 7.2.2.2 Obecná funkcionlita

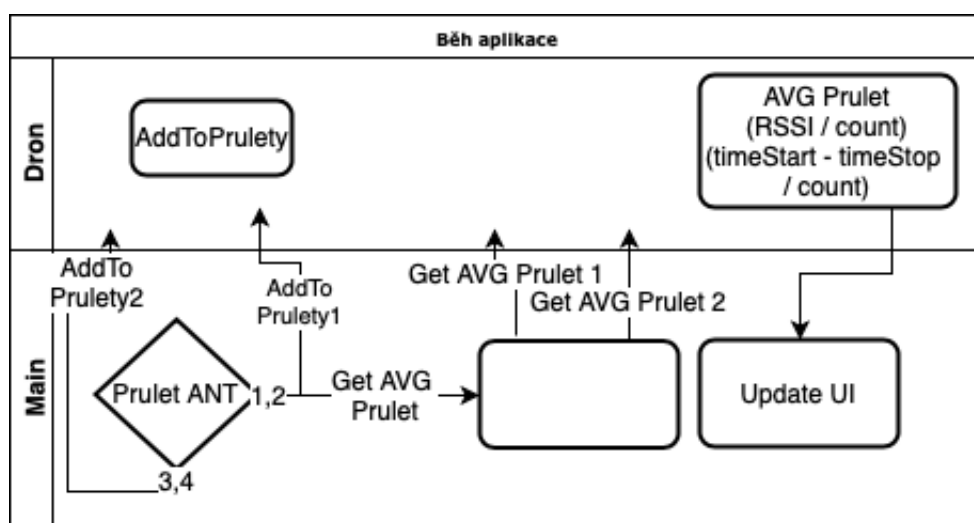
Po otevření aplikace a zvolení příslušného COM portu, stisknutí tlačítka "Otevřít" následuje vytvoření instance třídy Branka, které je přiřazeno číslo COM portu a spuštěno připojení k modulu. Branka využívá metod API poskytnutého od výrobce pro otevření, zavření COM portu a čtení dat z modulu. Po otevření COM portu je možné stisknout tlačítko Start, po jehož stisku spustí branka čtení v modulu. Proces čtení je spuštěn na zvláštním vlákně a po ukončení čtení je vlákno také ukončeno. Při načtení tagu volá Branka příslušnou delegátní metodu v hlavním okně, kde je podle načteného parametru antény zvoleno, jak je v daty naloženo. Pokud se jedná o anténu jedna nebo dvě, je vytvořen Průlet s listem všech čtení tagu v konkrétní bráně. V případě načtení tagu branami 3 nebo 4 je vytvořen jiný průlet, který označuje průlet druhou konečnou branou.

V aplikaci existuje objekt Dron, který má v sobě listy Průletů z první a druhé brány. Po načtení dat a jejich vyhodnocení, z jaké brány přišly, jsou vytvořeny instance Průletu a přidány do objektu Dron. V případě opětovného načtení tagu stejnou branou je vytvořen další Průlet a přidán do příslušného listu Průletů. Objekt Dron tedy obsahuje dva listy Průletů (pro každou bránu jeden), které obsahují jednotlivé Průlety. Každý Průlet obsahuje data o tagu, tudíž jeho EPC, TID, RSSI, anténu zachycení a čas.

Pro účely spravedlivého určení průletu brankou jsou data o každém průletu průměrována, konkrétně hodnoty RSSI a času. Tím se zajistí průměrný průlet, který je poté použit pro zobrazení v tabulce a výpočet rychlosti. Data musí být průměrována z důvodu zachycování tagu anténami, které mohou tag zachytit ve vzdálenosti několika metrů před branou i několik metrů po průletu.



Obrázek 7.6: Diagram počátečních procesů aplikace.



Obrázek 7.7: Diagram procesů aplikace.



## 8 Metodika testování

V metodické části je popsáno, jakým způsobem bylo prováděno testování. Jak byla nastavena zařízení, jaké byly použity komponenty a jaké panovaly podmínky.

### 8.1 Podmínky testování

K testování byly připraveny zapůjčené tagy. Nejdříve byl proveden test, zda-li jdou tagy na dronu čist přiložením dronu k anténě. Po úspěšném testu následovaly dva průlety dronu měřícími branami a bylo vyhodnoceno, pro každý tag, zda byl průlet zaznamenán a kolikrát za průlet branou byl tag načten.

#### 8.1.1 Rozmístění prvků v testu čtení

Testování probíhalo na volném prostranství mezi obytnými domy. S použitým dronem nebylo létáno do větší výšky než dva metry a bylo dbáno na bezpečnost všech zúčastněných.

Pro test čtení a identifikaci průletu byly použity dvě branky Graupner 1300 vzdálené od sebe přibližně osm metrů. Do každé branky byla umístěna směrová anténa Zebra AN480 (dále jen "směrová anténa") a anténa NiceRF SW868-WT100 (dále jen "prutová anténa"). Anténa směrová byla položena na zemi a směřovala ke středu branky směrem vzhůru, aby bylo zajištěno pokrytí celého prostoru pod brankou. V brance číslo 2 byla použita anténa prutová, která byla umístěna zhruba do poloviny výšky branky a upevněna izolační páskou.

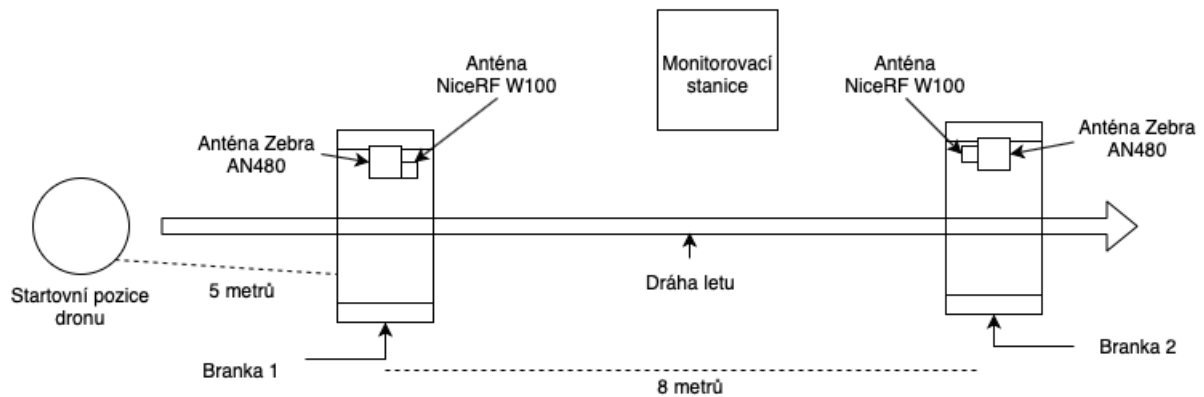
V brance číslo 1 byla upevněna směrová anténa stejným způsobem jako v brance 2 a prutová anténa byla umístěna vedle antény směrové na zem.

Mezi brankami byl čtecí modul, napájený pomocí powerbanky<sup>1</sup> a připojený k počítači, na kterém byla spuštěna vlastní aplikace pro zobrazování čtení průletů.

Testovací dron startoval vždy ze stejné vzdálenosti před první brankou, a to z pěti metrů od branky, kde nebyl žádný tag čitelný.

---

<sup>1</sup>Přenosná baterie určená pro nabíjení zařízení.



Obrázek 8.1: Rozmístění prvků při testování čtení.

### 8.1.2 Rozmístění prvků v testu rychlosti

Test rychlosti byl prováděn na soukromé louce v dostatečné vzdálenosti od okolních budov a zúčastněných osob.

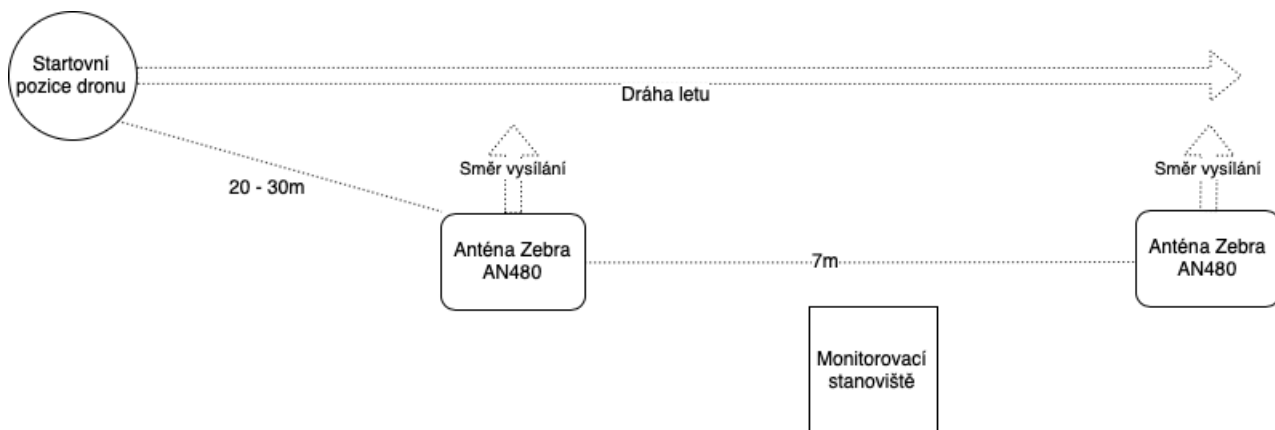
Pro test rychlosti nebyly použity zmíněné branky, z důvodu omezení zóny průletu. Testovací dron přilétal ze vzdálenosti 20 až 30 metrů, která sloužila k získání potřebné rychlosti.

Antény byly umístěny ve výšce 50 centimetrů a směřovaly směrem od monitorovací stanice. Vzdálenost mezi nimi byla stanovena na sedm metrů.

Prováděny byly testy pro tagy, které se nejlépe osvědčily v testu čtení. Šlo o tyto dva:

- HL UHF RFID Tag 8Kb na kovový podklad
- Smartrac DOGBONE™ Impinj Monza R6 & R6-P

Pro každý tag byly provedeny tři průlety a zaznamenány hodnoty RSSI, rychlost v metrech za sekundu, rychlost v kilometrech za hodinu a čas.



Obrázek 8.2: Rozmístění prvků při testování rychlosti.

### 8.1.3 Nastavení modulu

Testovací modul byl nastaven následujícími parametry:

- Výkon modulu nastaven na hodnotu 30 dBi
- Region nastaven na možnost Europe
- Obnovovací frekvence vysílání (RF Link) na hodnotu DSB\_ASK/FMO/400KHz
- Vysílací frekvence na hodnotu 865.700 MHz
- Doba činnosti antén 10 ms

Ostatní parametry modulu byly ponechány ve výchozím továrním nastavení.

### 8.1.4 Umístění tagu na dronu

Pro snadné umístění všech druhů tagů na dron byl na 3D tiskárně vytištěn štítek, který se zavěsil mezi ramena na levou stranu testovacího dronu. Pro všechny testované tagy tak byly zajištěny stejné podmínky.



Obrázek 8.3: Umístění RFID tagu na testovacím dronu.

## 8.2 Interpretace dat

Data z každého průletu byla zaznamenána a byl pořízen snímek obrazovky s informacemi z testovací aplikace. Byly také zvlášť zaznamenávány údaje o použitém tagu ke každému průletu a jeho úspěch či případný neúspěch.

Pro výpočet průměrného průletu brankou bylo použito průměrování dat. Konkrétně hodnot RSSI a času každého průletu. Hodnoty všech RSSI zaznamenané jedinou brankou byly sečteny a vyděleny počtem průletů. Stejný princip platil i pro zaznamenaný čas. Tím byly zajištěny stejné podmínky pro všechny průlety.

Čas průletu byl vypočten z průměrného času průletu první brankou (dále jen "startem"), a z průměrného času průletu druhou brankou (dále jen "cílem"). Oba časy byly převedeny na sekundy. Startovní čas byl odečten od času cílového a tím byl stanoven celkový čas úseku.

K výpočtu rychlosti v úseku bylo nutné zadat vzdálenost mezi brankami, která byla v tomto testování osm metrů, a zjistit průměrný startovní čas a průměrný cílový čas. Po získání těchto tří hodnot byla vypočtena rychlost podle následujícího vzorce:

$$rychlost = \frac{draha}{cas}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

Kde  $s$  je dráha v metrech a  $t$  je čas v sekundách. Tímto vypočteme  $v$ , což je požadovaná rychlost v metrech za sekundu. Pro výpočet rychlosti v kilometrech za hodinu byla vynásobena hodnota rychlosti v metrech za sekundu konstantou 3.6.

## 9 Výsledky

### 9.1 Schopnost čtení

Jako první byla testována čtecí schopnost všech zapůjčených tagů.

Pořadové číslo	Tag	Čtení na 10 cm	Čtení start	Čtení cíl
1.	HL UHF RFID nekov.	ano	ne	ne
2.	HL UHF RFID 8Kb kov.	ano	ano	ano
3.	HL UHF RFID Stock 3 kov.	ano	ne	ne
4.	HL UHF RFID Wristband	ano	ne	ne
5.	Alien ALN-9613	ne	ne	ne
6.	Alien ALN-9835	ano	ano	ano
7.	Alien ALN-9630	ano	ano	ano
8.	Alien ALN-9640	ano	ano	ano
9.	Smartrac DOGBONE™	ano	ano	ano
10.	Smartrac SHORTDIPOLE	ano	ano	ano
11.	Embisphere -1316096	ano	ano	ano
12.	Embisphere SMALL -1850340	ano	ne	ne

Tabulka 9.1: Čtecí schopnosti tagů v brankách.

Z tabulky je možné vyčíst, jaké byly čtecí schopnosti jednotlivých tagů. Nejdříve se testovala čtecí schopnost tagů na krátkou vzdálenost. Z těchto údajů se vycházelo při dalším testování, kdy tagy se slabou nebo žádnou čtecí schopností na krátkou vzdálenost byly z dalšího testování vyřazeny.

## 9.2 Vlastnosti při průletu

Po vyřazení tagů, které nebylo možné číst na vzdálenost deseti centimetrů, následoval test čtení při průletu brankami. V následující tabulce je vyobrazen počet čtení tagu v každé bráně. Pro každý tag byly určeny dva lety a zaznamenával se počet čtení a kvalita signálu. Jedná se o již zprůměrované hodnoty každého průletu.

Číslo	Tag	Čtení start 1	Čtení cíl 1	Čtení start 2	Čtení cíl 2
1.	HL UHF RFID 8Kb kov.	79	37	42	24
2.	Alien ALN-9835	21	2	18	8
3.	Alien ALN-9630	8	13	12	15
4.	Alien ALN-9640	11	4	18	6
5.	Smartrac DOGBONE™	25	26	19	6
6.	Smartrac SHORTDIPOLE	7	2	11	0
7.	Embisphere -1316096	22	14	19	6

Tabulka 9.2: Počty čtení tagu při průletech.

Jak je z tabulky patrné, nejlepších výsledků v počtu čtení dosahoval tag HL UHF RFID 8Kb určený pro instalaci na kov. Svými rozměry jde o jeden z robustních tagů, které byly k dispozici. Nicméně pro instalaci na závodní dron kvůli svým rozměrům vhodný nebude.

V pořadí druhým v počtu čtení je Smartrac DOGBONE™, disponující plošně velkou anténou, díky které dokáže být zachycen i na velké vzdálenosti.

Třetími v počtu načtení byly současně tagy Embisphere -1316096 a Alien ALN-9835. Tyto dva tagy jsou velikostně přijatelné pro instalaci na závodní dron.

### 9.3 Citlivost čtení

Číslo	Tag	RSSI start 1	RSSI cíl 1	RSSI start 2	RSSI cíl 2
1.	HL UHF RFID 8Kb kov.	-63	-63	-61	-61
2.	Alien ALN-9835	-70	-68	-68	-70
3.	Alien ALN-9630	-71	-68	-73	-69
4.	Alien ALN-9640	-71	-71	-69	-73
5.	Smartrac DOGBONE™	-66	-69	-64	-68
6.	Smartrac SHORTDIPOLE	-70	-70	-73	0
7.	Embisphere -1316096	-67	-70	-77	-75

Tabulka 9.3: Hodnoty síly signálu RSSI při průletech. Čím menší, tím lepší.

### 9.4 Rychlost

Číslo	Tag	RSSI start	RSSI cíl	Čtení start	Čtení cíl	Rychlost (m/s)	Rychlost (km/h)	Doba průletu (s)
1.	HL UHF RFID 8Kb kov.	-68	-65	5	5	15.419	55.507	0.454
2.	HL UHF RFID 8Kb kov.	-72	-66	2	3	17.857	64.286	0.392
1.	Smartrac DOGBONE™	-66	-69	5	2	14.433	51.95	0.485
2.	Smartrac DOGBONE™	-61	-60	4	4	13.566	48.837	0.516

Tabulka 9.4: Údaje o průletech zaměřených na rychlost.



## 9.5 Shrnutí výsledků

Nejlepších výsledků dosáhl Smartrac DOGBONE™. Od tagu HL UHF RFID 8Kb se lišil v jednotkách RSSI. Nízké hodnoty RSSI dosáhl především díky své velkoplošné anténě.

Na druhém místě se zařadil tag HL UHF RFID 8Kb, který dosahuje dobrých čtecích parametrů především díky svému uzpůsobení pro instalaci na kov.

Třetí skončil tag Alien ALN-9835, který prokázal větší citlivost čtení oproti tagu Embisphere -1316096. Nicméně tag Embisphere -1316096, který je určený primárně pro použití v Decathlonu ke sledování zboží, prokázal velmi dobré výsledky.

Ze získaných výsledků vyplývá, že nejlepší tag pro použití je takový, který má velkou plochu antény. Dobrých výsledků dosáhl i tag určený pro instalaci na kovové povrchy.

V testování rychlosti bylo stěžejní zjistit schopnost čtení tagů při větších rychlostech. Oba testované tagy byly čitelné v rychlostech mezi 50 km/h až 65 km/h. Vyšších rychlostí při testování nebylo dosaženo z důvodu povětrnostních podmínek a nízkého výkonu testovacího dronu.

Bylo testováno také jiné uchycení tagu, a to přímo na baterii. Tag byl nalepen na plastovou destičku a poté upevněn na stranu baterie. Nicméně se ukázalo, že po instalaci na baterii ztrácí tag čtecí schopnost. Důvodem je samotné složení baterie a přítomnost dalšího rušení, které vzniká při letu odběrem proudu.

## 10 Závěry a doporučení

Původní hypotéza, zda může být použita technologie RFID UHF při závodech Drone Racingu, byla potvrzena. Byl testován vzorek dvanácti pasivních tagů při průletech závodními brankami. Pro testování byly použity profesionální antény Zebra AN480, které tagy četly výborně. Lepších výsledků by mohlo být dosaženo použitím cirkulárně polarizovaných antén, které by četly tagy nezávisle na jejich instalaci. Testované antény musely být specificky natočeny, aby mohly tagy číst.

Otázkou zůstává vhodné uchycení tagů na závodní dron. Tagy by neměly být instalovány v blízkosti kovů a elektronika použitá v dronu může působit také nežádoucí rušení. Úspěšnost použití tohoto řešení v praxi závisí především na pilotech, kteří nemusí být ochotní instalovat další zařízení na svůj závodní dron.

S použitím technologie RFID UHF může být s určitou přesností stanovena vzdálenost dronu od antény pomocí hodnoty parametru RSSI. Jedná se pouze o teoretický předpoklad, který požaduje další ověření. Schopnost identifikovat vzdálenost dronu od antény nebo brány by mohla být využita například pro novou disciplínu v Drone Racingu. Jednalo by se o létání na přesnost, kde by museli piloti prolétnout určitou branku s určitou vzdáleností, na základě které by mohly být bodováni.

Během testování bylo létáno skrze branky testovacím dronem co možná nejbližší středu branky pro zajištění konzistentnosti výsledků, nicméně v ojedinělých případech mohlo dojít k jejich zkreslení. Pro referenci a možné zamezení tohoto zkreslení byly vždy prováděny dva testovací lety.

V případě reálné implementace tohoto řešení pro každou bránu na závodní trati musí být vyřešena komunikace s centrálním zařízením, které bude výsledky zpracovávat. Nabízí se možnost vytvoření privátní Wi-Fi sítě s podmínkou, že každá brána bude mít transpondér a bude s centrálním zařízením komunikovat. Další variantou by bylo propojení bran pomocí UTP<sup>1</sup> síťové kabeláže.

Při uvedení tohoto systému do praxe je nutné počítat s poměrně vysokými náklady na vývoj. A to z důvodu vyšších cen čtecích modulů a pořizovacích cen kvalitních antén.

---

<sup>1</sup>Unshielded Twisted pair - kroucená dvojlinka

Celková cena zapůjčené technologie se vyšplhala přibližně na 25 tisíc korun. Nejen proto bych nakonec ještě jednou rád poděkoval společnostem ITFutuRe s.r.o., EPRIN spol. s r.o. a Sport Base timing za zapůjčení potřebných komponent.

# Seznam obrázků

3.1	Vizualizace kol závodu. Zdroj: [38] . . . . .	7
5.1	Přehled spektra elektromagnetických vln. Zdroj: [16] . . . . .	16
5.2	Porovnání frekvencí RFID Low Frequency, High Frequency a Ultra High Frequency [15]. . . . .	17
5.3	Přehled používaných frekvencí celosvětově.[21] . . . . .	21
7.1	Schéma zapojení čtecího modulu, USB-UART, a převodníku ke zdroji. . . . .	27
7.2	UHF tagy. Zleva: HL UHF RFID tag na nekovový podklad, Alien Squiglette Inlay ALN-9630, HL UHF RFID Stock 3 – na kovový podklad. Zdroj: www.hl-rfidtag.com, www.shopid.cz . . . . .	30
7.3	Použitá kvadrokoptéra s ovladačem. . . . .	32
7.4	Prostředí hlavní stránky demo aplikace. . . . .	34
7.5	Okno vlastní testovací aplikace. . . . .	39
7.6	Diagram počátečních procesů aplikace. . . . .	40
7.7	Diagram procesů aplikace. . . . .	40
8.1	Rozmístění prvků při testování čtení. . . . .	42
8.2	Rozmístění prvků při testování rychlosti. . . . .	43
8.3	Umístění RFID tagu na testovacím dronu. . . . .	44

# Seznam tabulek

9.1	Čtecí schopnosti tagů v brankách. . . . .	46
9.2	Počty čtení tagu při průletech. . . . .	47
9.3	Hodnoty síly signálu RSSI při průletech. Čím menší, tím lepší. . . . .	48
9.4	Údaje o průletech zaměřených na rychlost. . . . .	48

# Literatura

- [1] Superia.cz. <http://cojeto.superia.cz/technika/dron.php>. [online], (c) 2010 - 2013. [cit. 2019-03-21] Dostupné z: <http://cojeto.superia.cz>
- [2] JAVŮREK, Karel. Amazon doručil první balík pomocí dronu, který byl řízený zcela automaticky. [online]. CZECH NEWS CENTER, 2016, 14. 12. 2016 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://connect.zive.cz/bleskovky/amazon-dorucil-prvni-balik-pomoci-dronu-ktery-byl-rizeny-zcela-automaticky/sc-321-a-185291/default.aspx>
- [3] Mall a.s. . Mall.cz úspěšně otestoval doručování dronem. Balíček předal za 3 minuty. Mall.cz [online]. Praha, 2016, 22. listopadu 2016 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/tiskova-zprava-16-11-22>)
- [4] Drony SIT. [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://dronysitmp.cz/o-nas/>
- [5] MIHULKA, Stanislav. Postřikovací dron zvládá svou práci lépe a levněji než tradiční helikoptéry: Na vinice se chystá lotyšský autonomní postřikovací dron Argo. 100+1 [online]. Extra Publishing, 2019, 28.02.2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/postrikovaci-dron-zvlada-svou-praci-lepe-levneji-nez-tradicni-helikoptery>
- [6] AirBoard Inc. [online]. 2018 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.airboard.co/agro/>
- [7] DJI . [online]. 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/mg-1>
- [8] Aerobo: Drones vs. Helicopters: Which to Use for Your Aerial Shots. [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.aerobo.com/drones-vs-helicopters-which-to-use-for-your-aerial-shots/>

- [9] WIRED: British teen wins \$250,000 in world's biggest drone race. [online] 4.3.2016 K.G Orphanides, WIRED.com. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.wired.co.uk/article/british-teenager-luke-bannister-wins-worlds-biggest-drone-race>
- [10] Julia Layton. "How Remote Controls Work" 10 November 2005. HowStuffWorks.com. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <<https://electronics.howstuffworks.com/remote-control.htm>>
- [11] Spektrum RC. [online]. spektrumrc.com. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.spektrumrc.com/default.aspx>
- [12] Rotorama. [online]. rotorama.cz. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.rotorama.cz>
- [13] NFCtech. [online]. nfctech.cz. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.nfctech.cz/>
- [14] JANDORA, Radek. Elektromagnetická indukce [online]. 2000 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f16.htm>
- [15] IMPINJ. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.impinj.com>
- [16] AtlasRFIDstore: A GUIDE TO RFID TYPES AND HOW THEY ARE USED. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.atlasrfidstore.com/a-guide-to-rfid-types-and-how-they-are-used/>
- [17] RFID4U: How to Select a Correct Tag – Frequency. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://rfid4u.com/rfid-basics-resources/how-to-select-a-correct-tag-frequency/>
- [18] Card House: 10 KREATIVNÍCH ZPŮSOBŮ VYUŽITÍ NFC... CHYTRÉ PŘIPOJENÍ ČEHOKOLIV. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://cardhouse.cz/cs/blog/10-kreativnich-zpusobu-vyuziti-nfc-chytre-pripojeni-cehokoliv>
- [19] Bartech: Technologie RFID. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://bartech.cz/reseni/technologie-rfid/>

- [20] GS1: EPC UHF Gen2 Air Interface Protocol. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.gs1.org/standards/epc-rfid/uhf-air-interface-protocol>
- [21] Fujitsu: Readers and a Printer for the RFID and Sensor Solution. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.fujitsu.com/global/solutions/business-technology/intelligent-society/ait/readers/>
- [22] Český telekomunikační úřad: Využívání vymezených rádiových kmitočetů. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovych-kmitoctu>
- [23] ElektriKa.cz: Frekvence, kmitočet, hertz. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://elektriKa.cz/data/clanky/kmit980515>
- [24] Wikipedia: Elektromagnetické spektrum. [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické\\_spektrum](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické_spektrum)
- [25] TAOUFIK, Sanae, Pascal DHERBECOURT, Ahmed EL OUALKADI a Farid TEM-CAMANI. Reliability and Failure Analysis of UHF RFID Passive Tags Under Thermal Storage. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability [online]. 2017, 17(3), 531-538 [cit. 2019-05-04]. DOI: 10.1109/TDMR.2017.2733519. ISSN 1530-4388. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7997768/>
- [26] Vizinex RFID: How long can I expect RFID tags to last in an industrial environment?. [online]. 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.vizinexrfid.com/ask-rfid-expert-tag-lifespan-industry/>
- [27] Metal Craft: Motorola RFID Tool Tracking Case Study. [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.idplate.com/product/motorola-tool-tracking-rfid-tags-case-study/rfid-tags-and-labels-case-studies-articles>
- [28] Tech Depot: RFID-based Laundry Counting & Tracking System (Tunnel Gantry). [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.smeportal.sg/content/tech-depot/en/tech-solutions/quality-assurance/rfid-based-laundry-counting-and-tracking-system-tunnel-gantry.html>



- [29] HL: UHF RFID Heat Resistant Tag up to 400°C. [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.hl-rfidtag.com/product/uhf-rfid-heat-resistant-tag-up-to-400c/>
- [30] GAO RFID Inc. [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://gaorfid.com/devices/rfid-tags-by-feature/long-range-rfid-tags/>
- [31] ROBERTI, Mark. How Is RFID Used in Shipping Containers?. In: RFID Journal [online]. 01.23.2015 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.rfidjournal.com/blogs/experts/entry?11307>
- [32] RFID Portal: Co je RFID. [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: [https://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid\\_obecne](https://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne)
- [33] ESP: Jak fungují RFID čtečky. [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://esp.cz/cs/blog/funguji-rfid-ctecky>
- [34] Beyond Logic. [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb2.shtml>
- [35] Multi GP. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.multigp.com>
- [36] The Drone Racing League. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://thedroneracingleague.com>
- [37] Youtube: DCL Paris | Race Magazine. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=phjd3T3vOmg>
- [38] DCL. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.dcl.aero>
- [39] FPVDRONE, Štěpán Šonský. FUTUREPORT PRAGUE – HOLEŠOVICE. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://fpvdrone.cz/zavody/futureport-prague-holesovice/>
- [40] FPVDRONE, Štěpán Šonský. DCL PARIS. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://fpvdrone.cz/zavody/dcl-paris/>
- [41] Jakub Steiner: Rotorama at Drone Champions League Paris. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://youtu.be/r4rWh8K4QH4>

[42] SpaglFPV. [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://spaglfpv.com>

[43] 2019 MultiGP Full Rules and Regulations - FINAL. [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: [https://docs.google.com/document/d/15j376RlK\\_yghkFvqU4Adi5JK9swBdfz5xvdOsldSRnA/edit#](https://docs.google.com/document/d/15j376RlK_yghkFvqU4Adi5JK9swBdfz5xvdOsldSRnA/edit#)

[44] OscarLiang: 5.8GHz frequency bands. [online]. 2015 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/5-8ghz-frequency-bands-b-e-f-different-brand/>

[45] MYLAPS. [online]. [cit. 2019-04-27]. <https://www.mylaps.com>

[46] Immersion RC. [online]. [cit. 2019-04-27]. <https://www.immersionrc.com>

[47] JANDORA, Radek. Elektromagnetické spektrum. [online]. 2000 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f16.htm>