

Diplomová práce

Mobilní komunikační brána

Bc. Martin Poláček



2017

Doc. Ing. Pavel Pačes, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická, Katedra měření

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Doc. Ing. Pavlu Pačesovi, Ph.D. za čas věnovaný pomoci s vypracováním práce a za cenné rady, které mi předával. Dále Ing. Alešovi Konrádovi, ze společnosti UpVision s.r.o., za spolupráci a testování HW. V neposlední řadě také mé rodině, kamarádům a přítelkyni Ireně za podporu a trpělivost během mého studia.

Prohlášení

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

V Praze dne 26.5.2017

Podpis:



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Martin Poláček**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Obor: **Letecké a kosmické systémy**

Název tématu česky: **Mobilní komunikační brána**
Název tématu anglicky: **Mobile Communication Gate**

Pokyny pro vypracování:

Cílem projektu je návrh elektronické jednotky, která bude obsahovat komunikační moduly WiFi a GSM a přijímač GPS signálu. Jednotka bude umožňovat předávat data přijatá pomocí GPS a rozhraní CAN přes WiFi a GSM. Servisní informace bude možné předávat pomocí rozhraní RS232. V rámci práce se předpokládá propojení komunikační jednotky s existujícím aerometrickým modulem a zobrazovačem EFIS s pohyblivou mapou.

Seznam odborné literatury:

- [1] Spitzer Cary R.: Digital Avionics Handbook, 2006, CRC Press, ISBN-10: 0849384419
- [2] Nedvěd, J.: Aerometrický systém pro malá letadla. Vydavatelství ČVUT, Praha 2009
- [3] Mazurek, P.: Realizace pilotážně/navigačního displeje EFIS s rozšířenými funkcemi pro podporu rozhodování pilota. Vydavatelství ČVUT, Praha 2015

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Pačes, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 16. ledna 2017

Platnost zadání do¹: 30. září 2018

L. S.

Prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 16. 1. 2017

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá realizací elektronické jednotky. Jednotka je schopná přenášet například data ze senzorů a GPS pomocí GSM modulu na server. Je možné nastavovat a vyčítat základní parametry komunikace pomocí SMS zpráv. Práce byla navržena ve spolupráci s firmou UpVision s.r.o., především pro monitorování bezpilotních prostředků, za účelem zvýšení bezpečnosti při jejich používání. Postupně byly vyvinuty čtyři verze zařízení, přičemž čtvrtá verze je finálním řešením.

Abstract

This diploma thesis deals with the realization of the electronic unit that contains e.g. GSM communication module and GPS receiver. The unit is capable to transfer data for example from sensors and GPS via the GSM module to the server. It is able to set and send the basic communication parameters by SMS. The work was designed in collaboration with company UpVision s.r.o. especially for monitoring and increasing safety of using unmanned aircrafts. Four versions of the device were developed and the fourth version is final solution.

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Popis systému MAIA	2
Příklad použití systému MAIA	4
1.2 Letecká legislativa upravující provoz bezpilotních systémů	5
1.2.1 Historie	5
1.2.2 Zákon o civilním letectví	6
1.2.3 Letecké předpisy řady L	6
2 Dostupná řešení	9
2.1 Existující diplomová práce	9
2.2 Trackimo GPS Tracker	9
2.3 Marshall GPS System	10
2.4 Flytrex Live 3G	10
2.5 Porovnání	11
3 Návrh řešení	12
3.1 Procesor	12
3.2 GPS a GSM modul	13
3.3 WiFi modul	15
3.4 Aerometrický modul	16
3.5 Zobrazovač EFIS s pohyblivou mapou	17
3.6 Komunikační rozhraní systému avionických modulů	17
3.7 Závěr	18
3.7.1 Návrh řešení 1	18
3.7.2 Návrh řešení 2	19
4 Realizace	20
4.1 Prototyp 1	20
4.1.1 Hardware	20
Verze SIM800l v.1 a SIM800l v.2	20
Verze SIM5320e	23
Senzory	24
4.1.2 Program	25
Obsluha asynchronních zpráv	26
Hlavní smyčka programu	28
Struktura nastavení	29
Inicializace GSM modulu	29
Obsluha senzorů	31
Obsluha GPS modulu	31
Data určená k odeslání	33
Obsluha GSM modulu	34
Obsluha příjmu SMS zpráv	34
Párování zařízení s uživatelským účtem	38
4.1.3 Testy Prototypu 1	39
4.2 Prototyp 2	42
4.2.1 Hardware	42
Procesor	43

	SRAM	44
	Obvody napájení a baterie	44
4.2.2	Program	44
	Vytvoření ovladačů	45
	Data určená k odeslání	47
	Zjištění stavu nabití baterie	49
	Varovné hlášení nízké úrovně napětí baterie	49
	Zapnutí a vypnutí zařízení	50
	Získání polohy z GSM sítě	51
	Obsluha LED	51
4.2.3	Testy Prototypu 2	54
5	Závěr	56
	Použitá literatura	58
	A Rešerše dostupných GSM + GPS modulů	61
	B Ukázka přijatých dat na serveru	63

1 Úvod

Bezpilotní letadla (nazývaná také “drony”) jsou v současné době velice populární a dostupná široké veřejnosti. Většina uživatelů-pilotů však ani netuší, že se při létání s drony musí řídit leteckými předpisy. Předpisy definují lokality a výšky, ve kterých je povoleno létat. Dále definují, že za určitých podmínek je potřeba mít pro létání povolení od Úřadu pro civilní letectví (ÚCL), je nutné vést záznamy o jednotlivých letech, a další. Podrobněji jsou předpisy a podmínky pro létání s drony popsány v kapitole 1.2.

Ve chvíli, kdy pilot předpisy nezná, nebo je záměrně ignoruje, vystavuje sebe i ostatní potenciálnímu nebezpečí. Velmi nebezpečné je například létání v okolí letišť, kde hrozí střet drona s letadlem. Dron může být nasán do motoru letadla a způsobit leteckou nehodu.

Nezřídka jsou uživateli dronů děti, u kterých je mnohem větší riziko, že řízení drona nezvládnou a dron ztratí kontakt s dálkovým ovládním. Poté může být nekontrolovane unášen větrem, případně spadnout na zem a někoho při tom vážně poranit, nebo poškodit cizí majetek (střechu domu, auto, apod.).

Bezpečnost letů je v případě dopravních i menších letadel zajištěna velkým množstvím komplexních systémů, včetně monitorování řízením letového provozu, jejichž funkčnost je denně ověřována téměř 24 tisíci komerčními lety po celém světě [1]. U bezpilotních letadel tomu však není. Úřad pro civilní letectví nemá žádný systém, který by aktivně monitoroval a kontroloval dodržování leteckých předpisů. O případných přestupcích se dozvídá především na základě udání.

Prodejci dronů ani nemají povinnost upozornit zákazníka na platné předpisy. Malá bezpilotní letadla do 20 kg, která jsou využívána jen pro sportovní nebo rekreační účely dokonce nepodléhají evidenci ÚCL a předpisy v těchto případech nenařizují pilotovi mít povolení k létání.

Firma UpVision s.r.o. si vzala za cíl rozšířit povědomí o existenci leteckých předpisů a nutnosti jejich dodržování i při používání dronů, a tím zvýšit bezpečnost vzdušného prostoru. Za tímto účelem firma vyvíjí systém MAIA, jehož součástí je i výsledek této práce. Výsledkem je sledovací zařízení schopné přenášet souřadnice a další data zejména přes GSM modul na server, kde se data zpracují a poskytnou uživateli. Celý systém by mohl být velkým krokem ke zlepšení aktuálního stavu.

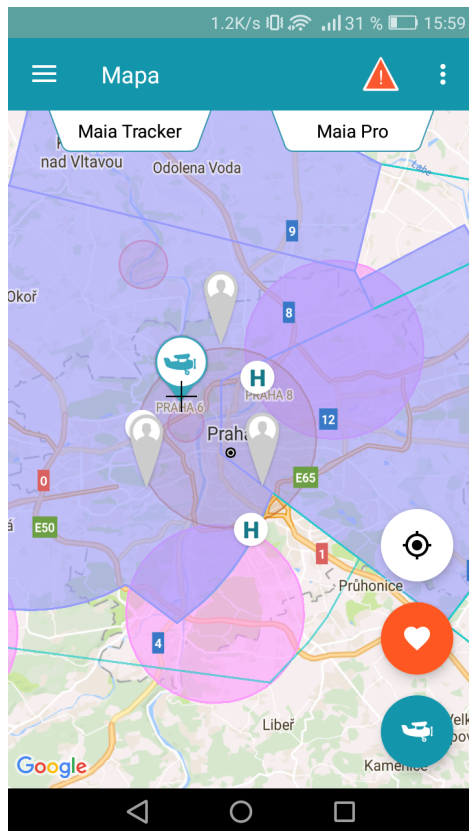
1.1 Popis systému MAIA



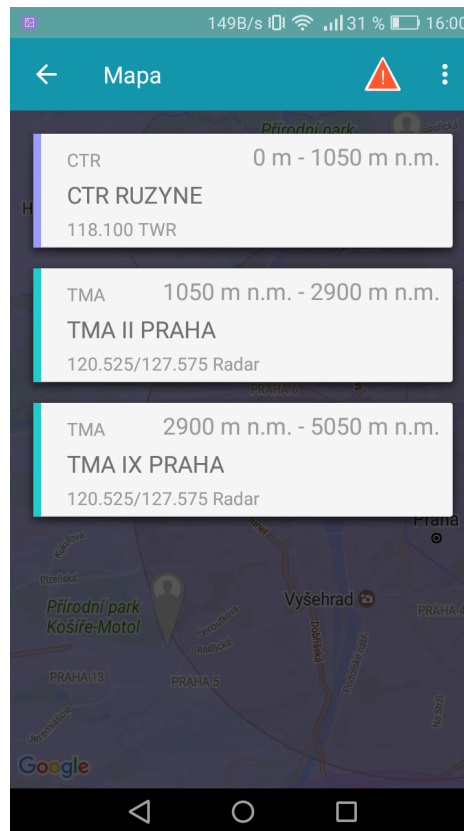
Systém MAIA má splňovat úlohu asistenta při létání s bezpilotními letadly (UA). Jeho hlavním cílem je zvýšit bezpečnost a zároveň zjednodušit používání UA a tím umožnit dodržování předpisů.

Skládá se z těchto částí:

1. Mobilní aplikace
2. Webová aplikace
3. HW pro sledování UA
4. Další služby



a) Mapa

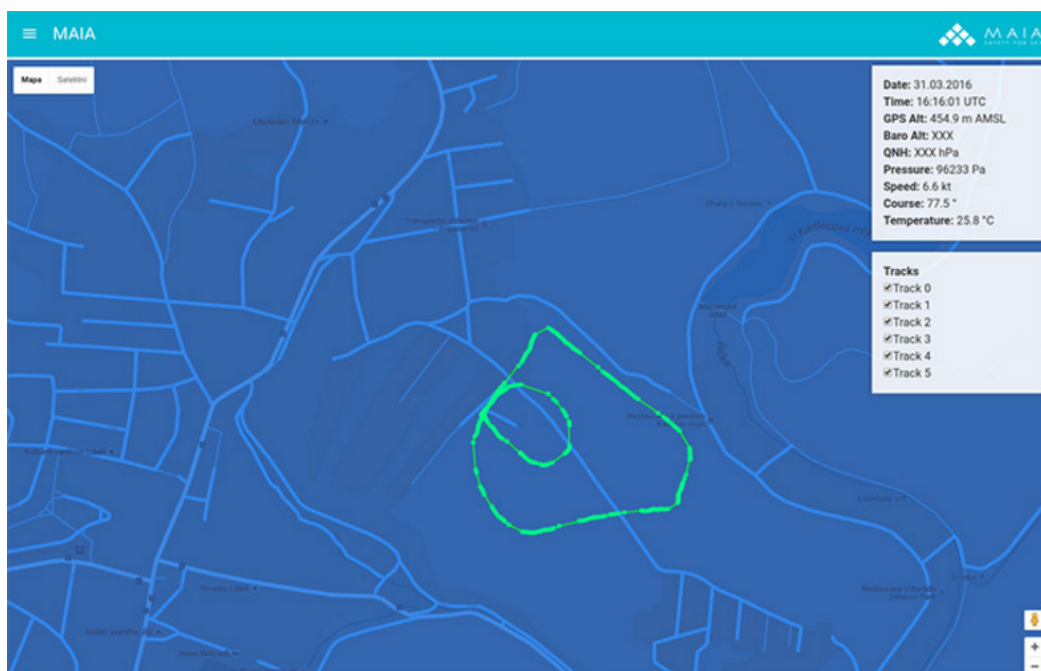


b) Oblasti, ve kterých se uživatel nachází

Obr. 1 Mobilní aplikace

V tuto chvíli je již vytvořena mobilní aplikace pro Android a iOS, která umí na mapě ukázat aktuální polohu a zakázané vzdušné prostory (viz Obr. 1a). Pokud se uživatel nachází v zakázané zóně, v aplikaci se objeví výstražný trojúhelník. Po jeho rozkliknutí se zobrazí informace o všech omezeních v dané lokalitě. (viz Obr. 1b). Uživatel tedy může snadno zjistit, kde smí dle předpisů létat. Je možné si vytvářet záznamy do deníku letadla, který se automaticky synchronizuje s webovou aplikací, což ocení zejména piloti komerčních UA. Dále se zobrazuje pozice ostatních pilotů používajících tuto aplikaci. Piloti si mohou navzájem posílat zprávy a například sdílet oblíbené prostory k létání.

Webová aplikace slouží pro jednoduchou správu zaznamenaných dat (například průběh letu) na jakémkoliv zařízení, které má připojení k internetu. (viz Obr. 2)



Obr. 2 Webová aplikace - záznam průběhu letu [2]

HW pro sledování UA, systému MAIA, byl vyvíjen v rámci této práce a je popsán v kapitole 4.

Další služby a řešení jsou zatím ve fázi vývoje. Patří mezi ně mimo jiné systém pro zabránění kolizím (obdoba systému TCAS), nebo rozšíření pro správu vícero UA pro větší firmy.

Společnost UpVision nabízí několik variant systému MAIA:

1. Free
2. Pro
3. Tracker
4. Enterprise

1 Úvod

Ve verzi Free je dostupná pouze základní funkcionalita mobilní aplikace. Jedná se o mapu s oblastmi, chat, záznam do letového deníku (popis, místo a doba letu, popis letadla, poznámka, aj.) a zjednodušené znění předpisů.

Varianta Pro zpřístupňuje další funkce mobilní aplikace a webovou aplikaci.

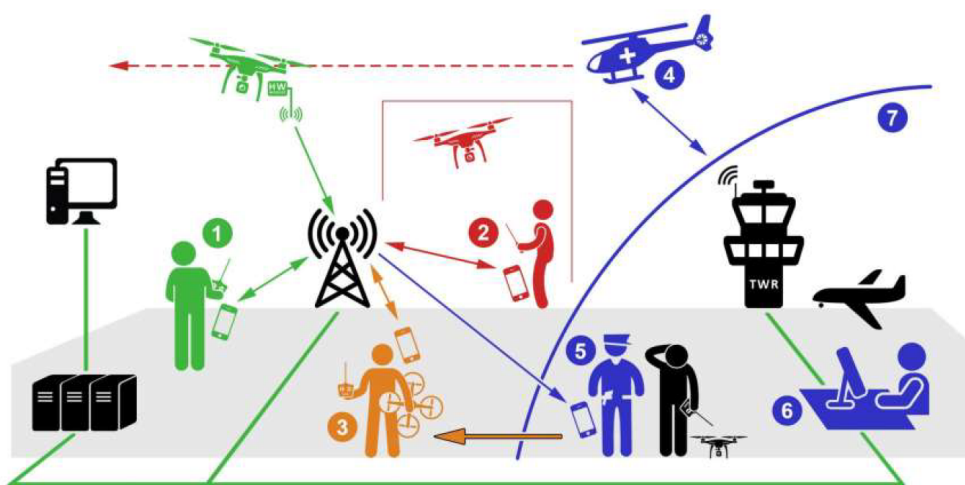
Varianta Tracker má všechny výhody verze Pro a navíc sledovací zařízení.

Enterprise je volbou především pro velké firmy, které mají větší množství UA. Obsahuje vše výše zmíněné a k tomu další pokročilé služby.

Díky systému MAIA se může uživatel informovat o tom, kde smí a nesmí létat, a tím, v případě nekomerčních UA do 20 kg, splňovat jedinou podmínku pro jeho provoz. Zároveň si může vytvářet záznamy do letového deníku, které se následně dají předložit při případné kontrole ÚCL. V případě použití systému se sledovacím zařízením je možné spárovat letový záznam se záznamem v deníku, nebo například díky poslední známé poloze vystopovat ztracené UA.

Příklad použití systému MAIA

Obr. 3 znázorňuje různé situace, které mohou nastat. Uživatel, který plánuje začít létat s bezpilotním prostředkem (3.3), použije mobilní aplikaci MAIA, kde může vidět další uživatele v okolí (např. 3.1 a 3.2). Můžou si mezi sebou posílat textové zprávy a sdílet tak své záměry. V momentě, co se pilot rozhodne začít létat, vymezí si okolo sebe prostřednictvím aplikace letový prostor, ve kterém jeho dron létá (3.2). Velikost vymezeného prostoru závisí na možnostech drona a záměrech pilota. Osoba, určená ÚCL ke kontrole dodržování předpisů, si může zobrazit seznam pilotů a tím rychle zkontrolovat povolení a licence jednotlivých uživatelů (3.5). Data o poloze pilotů s jejich drony jsou také dostupná operátorům řízení letového provozu (3.6, 3.7), kteří mohou na tyto skutečnosti reagovat. Například v případě potřeby nízkého průletu záchranných, či policejních složek (3.4) jsou tyto složky předem varovány a operátoři mohou prostřednictvím aplikace odeslat příkaz všem pilotům v dané lokalitě (3.1, 3.2 a 3.3) okamžitě přistát a tím umožnit tento průlet. [3]



Obr. 3 Příklad použití systému MAIA [3]

1.2 Letecká legislativa upravující provoz bezpilotních systémů

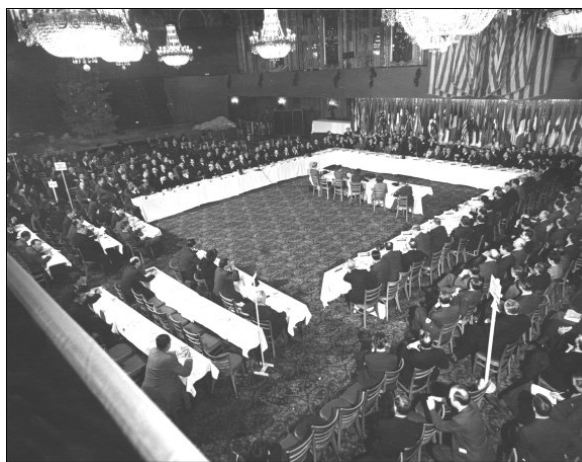
Provoz bezpilotních systémů v České republice upravují především tyto dva zákony [4]:

1. **Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví** a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů (dále jen "Zákon o civilním letectví") a **prováděcí vyhláška č. 108/1997 Sb.** k tomuto zákonu
2. Letecké předpisy řady L, především **Doplněk X - Bepilotní systémy** leteckého předpisu L2 - Pravidla létání

Jejich stručný přehled je uveden v následujících kapitolách.

1.2.1 Historie

V americkém městě Chicago se v roce 1944 (1.listopadu - 7.prosince) konala mezinárodní konference civilního letectví, kde se sešli zástupci 54 zemí z celého světa, včetně zástupců tehdejšího Československa. Šlo o jednu z historicky nejúspěšnějších mezinárodních konferencí civilního letectví, které se kdy konaly. Společně s dalšími dokumenty se zde 7. prosince 1944 podepsala Úmluva o mezinárodním civilním letectví (Convention on International Civil Aviation), známá také jako "Chicagská úmluva". Poskytla celkovou modernizaci veřejného mezinárodního leteckého práva. Deklaruje například i úplnou a výlučnou svrchovanost státu nad vzdušným prostorem jeho území (Článek 1.). V platnost vstoupila 4. dubna 1947 a zcela nahradila starší Pařížskou úmluvu z roku 1919. Úmluva je označena jako ICAO Doc. 7300, v ČR byla vydána pod č. 147/1947 Sb. Na základě úmluvy zároveň vznikla Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO, International Civil Aviation Organization). Ta spolupracuje s dnes již 191 členskými státy Chicagské úmluvy za účelem vytvoření norem a doporučených postupů mezinárodního civilního letectví (SARP). Členské státy využívají tyto normy a doporučení k tvorbě místních předpisů, což umožňuje bezpečné a spolehlivé fungování letecké dopravy v každé oblasti světa. ICAO doposud vydalo 19 norem a předpisů (ICAO Annex 1 - 19) jako přílohu k Chicagské úmluvě. [5], [6], [7], [8]



Obr. 4 Chicagská konference [9]

1.2.2 Zákon o civilním letectví

Tento právní předpis vznikl na základě Chicagské úmluvy a zpracovává předpisy Evropské unie. Je účinný od 1. dubna 1997.

Pro bezpilotní systémy je důležitý zejména § 52, který definuje podmínky provozu a nutnost získání povolení k létání letadla bez pilota na palubě. [10]

Tab. 1 Struktura zákona o civilním letectví [10]

Část první	Základní ustanovení
Část druhá	Letecký rejstřík, způsobilost výrobků, letadlových částí a zařízení k použití v civilním letectví
Část třetí	Letecký personál
Část čtvrtá	Letiště a letecké stavby
Část pátá	Užívání vzdušného prostoru České republiky a letecké služby
Část šestá	Letecké činnosti
Část sedmá	Sportovní létající zařízení
Část osmá	Ochrana civilního letectví před protiprávními činy
Část devátá	Státní správa a správní delikty v civilním letectví
Část desátá	Společná, přechodná a závěrečná ustanovení
Část jedenáctá	Změna a doplnění zákona č. 455/1991 sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů
Část dvanáctá	Účinnost zákona

1.2.3 Letecké předpisy řady L

"Letecké předpisy řady L jsou v České republice uveřejňovány Ministerstvem dopravy ČR prostřednictvím Letecké informační služby (LIS) státního podniku Řízení letového provozu ČR (ŘLP ČR, s.p.). Úřad pro civilní letectví připravuje návrhy jejich znění, a to převážně na základě standardů a doporučených postupů ICAO." [11]

Součástí předpisu L2 je jeho Doplněk X, který je hlavním předpisem pro provoz bezpilotních systémů. Pokud není uvedeno jinak, následující text byl vypracován z Doplněku X leteckého předpisu L2, dostupného na [12].

V Doplněku X jsou definovány tyto výrazy:

- Autonomní letadlo
- Bepilotní letadlo
- Bepilotní systém
- Model letadla

Bepilotním letadlem (UA, Unmanned aircraft; UAV, Unmanned aerial vehicle; dron) je nazýváno letadlo určené k provozu bez pilota na palubě. V tomto pojmu jsou zahrnuta všechna bepilotní letadla kromě modelů letadel s maximální hmotností nepřesahující 20 kg.

1.2 Letecká legislativa upravující provoz bezpilotních systémů

Autonomní letadlo je bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.

Bezpilotní systém (UAS, Unmanned aircraft system) je "systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bepilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více".

A nakonec model letadla označuje letadlo, které není schopné nést člověka na palubě a zároveň splňuje následující podmínky:

1. je používané pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely
2. není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo
3. je řízené pilotem v jeho dohledu prostým zrakem

Z této definice vyplývá, že model letadla, který se používá ke komerčním a jiným účelům než jsou vyjmenovány výše, je označen jako bezpilotní letadlo. Stejně tak tomu je i pokud má hmotnost vyšší než 20 kg. Model letadla může či nemusí být dálkově řízený.

Tab. 2 Struktura leteckých předpisů řady L [12]

L1	O způsobilosti leteckého personálu civilního letectví
L2	Pravidla létání
L3	Meteorologie
L4	Letecké mapy
L5	Předpis pro používání měřících jednotek v letovém a pozemním provozu
L6	Provoz letadel
L7	Poznávací značky letadel
L8	Letová způsobilost letadel
L9	Zjednodušení formalit
L10	O civilní letecké telekomunikační službě
L11	Letové provozní služby
L12	Předpis o pátrání a záchraně v civilním letectví
L13	Předpis o odborném zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů
L14	Letiště a heliporty
L15	Předpis o letecké informační službě
L16	Ochrana životního prostředí
L17	Bezpečnost - Ochrana mezinárodního civilního letectví před protiprávními činy
L18	Bezpečná přeprava nebezpečného zboží vzduchem
L19	Řízení bezpečnosti

Osoba, která řídí bezpilotní letadlo, případně model letadla, je odpovědná za předletovou přípravu i celý let. V případě dálkově neřízeného modelu letadla je odpovědná ta osoba, která jej vypustila do vzdušného prostoru (dále jen "pilot").

1 Úvod

Pro užívání bezpilotního letadla je potřeba zajistit následující:

1. evidovat UA na ÚCL
2. evidovat pilota na ÚCL
3. prokázat:
 - a) základní schopnosti bezpečně řídit bezpilotní letadlo
 - b) teoretické znalosti, které stanoví ÚCL
4. získat povolení k létání od ÚCL
5. sjednat pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem UA
6. označit UA ohnivzdorným identifikačním štítkem se jménem a tel. číslem provozovatele a poznávací značkou, byla-li přidělena
7. bezpilotní letadlo musí být vybaveno vestavěným bezpečnostním systémem
8. zaznamenávat informace o letu do deníku letadla

Tyto podmínky jsou povinné jen pro provozování bezpilotních letadel; pro provozování modelů letadla jsou pouze doporučením.

Provoz UA a modelů letadel je obecně umožněn ve vzdušném prostoru třídy G, který sahá od země do výšky 300 m nad zemí. Let ve větších výškách je možný provádět v rámci prostorů definovaných v Doplňku X. Výjimkou jsou zakázané zóny, kde se nesmí létat vůbec. Let musí být prováděn v bezpečné vzdálenosti od osob, staveb a hustě osídleného prostoru a zároveň v trvalém nezprostředkovaném vizuálním kontaktu (nestačí vidět vlastní UA pouze jako bod na obloze). [13] (více informací viz Doplňek X, dostupný na [12])

Lety nemohou být prováděny nad lidmi ani v místech, ve kterých má pilot povolení létat.

Za porušení předpisů může ÚCL udělit pokutu až 5 000 000 Kč.

2 Dostupná řešení

Následující porovnání je především s nejnovějším zařízením, jehož software byl řešen v rámci této práce (Prototyp 2, popsán v Kapitole 4.2). Dle dostupných informací v České republice existuje jedna diplomová práce, která se zabývá podobným problémem. Nalezena byla také 3 zařízení, vznikem mimo ČR, s podobnou funkcionalitou:

2.1 Diplomová práce: *Realizace online systému sledování letadel v průběhu plachtařských závodů*

Jak již název napovídá, cílem této diplomové práce je vytvoření systému pro sledování větroňů, především v průběhu plachtařských závodů. Souřadnice z GPS přijímače jsou přenášeny pomocí radiového vysílače na frekvenci 155,725 MHz. Příjemací stanice data odesílá na server. Let je možný 3D vizualizovat prostřednictvím simulátoru CONDOR a současně se může zobrazit průběh letu na mapě. [14]

2.2 Trackimo GPS Tracker

Jedná se o GPS sledovač dronů navržený americkou firmou Trackimo. Své souřadnice přijaté GPS modulem odesílá na server prostřednictvím GSM modulu. Uživatel má přístup k datům z mobilní aplikace, která je poskytována zdarma (Android, iOS).



Obr. 5 Trackimo GPS Tracker [15]

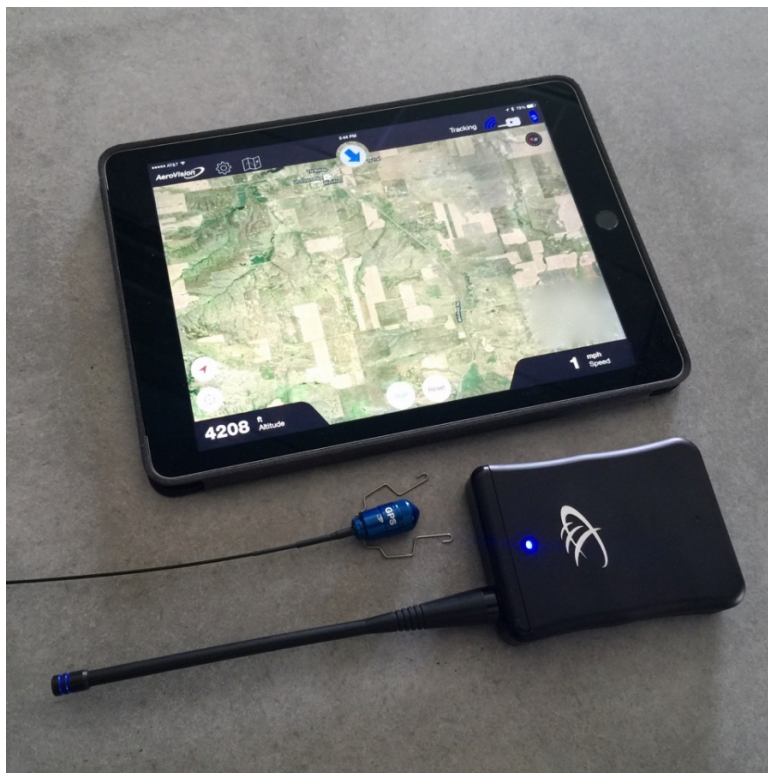
Tab. 3 Cena systému [Kč]

Zařízení	Poštovné	Celková suma
3450	470	3920

Součástí balení je sledovací zařízení, pás pro uchycení na dron a roční předplatné mobilních služeb platných po celém světě. Po uplynutí předplatného je cena za mobilní služby 1476 Kč / rok. Cena je převzata z oficiálních webových stránek výrobce [15].

2.3 Marshall GPS System

Zařízení vyrobené americkou firmou Marshall Radio Telemetry. Primárně je určeno pro sledování ptactva, zejména sokolů, nicméně své využití může najít i ve sledování dronů. Firma má v Evropě své zastoupení ve Velké Británii. Data z GPS odesílá radiovými vlnami v UHF pásmu na frekvenci 433 nebo 434MHz a jsou přijímány přijímačem PocketLink, který je pomocí Bluetooth odesílá do aplikace AeroVision, která je zdarma (pouze iOS). Ta polohu zobrazuje na mapě.



Obr. 6 Marshall GPS System [16]

Tab. 4 Cena systému [Kč]

Zařízení	Poštovné	Celková suma
27000	1450	28450

Součástí balení je sledovací zařízení (vysílač), přijímač PocketLink a aplikace AeroVision. Cena je převzata z oficiálních webových stránek výrobce [16].

2.4 Flytrex Live 3G

Poslední ze seznamu je logovací zařízení firmy Flytrex (firma má distributora i v ČR). Data, která získá z řídicí jednotky dronu, odesílá pomocí GSM modulu na server. Funguje pouze s určitými typy řídicích jednotek (dronů). Není vybaveno interní baterií a potřebuje ke svému chodu SIM kartu s dostupným datovým balíčkem. Má však velké množství funkcí: umožňuje online sledování letu v Google mapách; archiv letů a jejich analýzu; nabízí sociální síť, kde může uživatel porovnávat své výkony s ostatními uživateli. Data jsou dostupná přes mobilní aplikaci, která je zdarma (Android, iOS)



Obr. 7 Flytrex Live 3G [17]

Tab. 5 Cena systému [Kč]

Zařízení	Poštovné	Celková suma
1990	100	2090

Součástí balení je pouze logovací zařízení. Cena je převzata od lokálního distributora.

2.5 Porovnání

Porovnání všech dostupných řešení se zařízením MAIA Tracker (Prototyp 2, viz Kapitola 4.2) je v Tab. 6.

Marshall GPS System má současně nejmenší hmotnost a rozměry, nicméně nevyhovuje lokálním pokrytím jeho služeb a nejvyšší cenou mezi porovnávanými zařízeními. Flytrex Live 3G má nejnižší cenu, nicméně není vhodný díky závislosti zařízení na externím napájení a pouze úzké množině podporovaných dronů. Hlavním konkurentem MAIA Trackeru je tedy TrackimoGPS Tracker, který disponuje podobnými parametry. Výhodou použití systému MAIA je však skutečnost, že nabízí komplexní řešení. Tedy nejenom samotné zařízení pro sledování, ale i další služby.

Tab. 6 Porovnání všech řešení

Název	Váha	Pokrytí	Nezávislost zařízení	Rozměry	Cena
MAIA Tracker	48 g	Globální (GSM)	Ano	48 × 48 × 19 mm	~5000
TrackimoGPS Tracker	42 g	Globální (GSM)	Ano	47 × 40 × 17 mm	~4000
Marshall GPS System	8,4 g	8 - 50 km	Ano	~ 14 × 14 × 28 mm	~28500
Flytrex Live 3G	31 g	Globální (GSM)	Ne	45 × 48 × 11 mm	~2100

3 Návrh řešení

Vedle zadání této práce jsou hlavními, společností UpVision stanovenými, požadavky na finální řešení:

- Soběstačnost (obsahuje vše potřebné pro svoji funkci)
- Uživatelská přívětivost
- Globální pokrytí poskytované služby
- Vnitřní paměť (pro uchování dat při výpadku spojení)
- Malý rozměr
- Malá hmotnost
- Velká výdrž baterie
- Nízká cena

Ze zadání práce je zřejmé, že zařízení musí obsahovat GPS modul pro získání informace o poloze; GSM a WiFi modul pro odesílání dat; a podporovat rozhraní RS232 a CAN, na které se bude moci připojit další zařízení. Z výše uvedených požadavků musí navíc obsahovat baterii pro splnění podmínky soběstačnosti. Globálnímu pokrytí se nejvíce blíží právě odesílání dat přes GSM modul. Vnitřní paměť může být zajištěna použitím procesoru s dostatečnou pamětí. Podmínka malého rozměru a hmotnosti bude řešena až po úspěšném vytvoření funkčního prototypu. Menší verze prototypu bude navržena na společnou desku plošných spojů. Nízká cena může být dodržena volbou správných součástek.

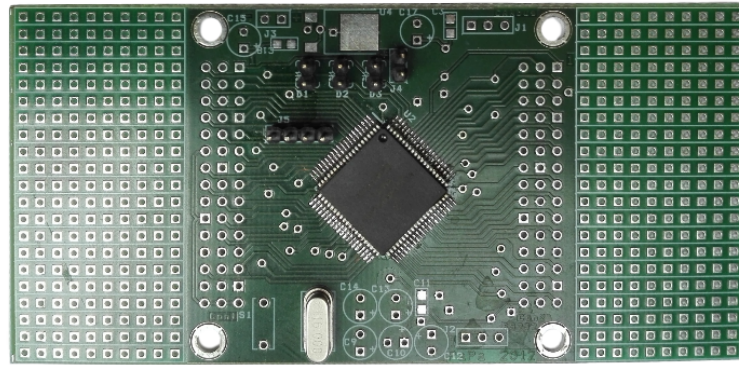
Návrh možného řešení je popsán dále.

3.1 Procesor

K dispozici je univerzální deska s procesorem MC9S12XEQ512 (dále jen MCU) od firmy Freescale (dnes již firma NXP) a nezbytnými součástkami pro jeho správný chod. (viz Obr. 8)

MCU disponuje 512 KB Flash, 32 KB RAM a 4 KB EEPROM (Emulated Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, Emulovaná elektronicky mazatelná a programovatelná paměť pouze pro čtení) a podporuje sběrnice CAN, I2C, SPI a UART. Porovnáním parametrů se zadáním je zřejmé, že MCU může být pro účely této práce využit.

Dále bylo třeba najít a porovnat přijímače GPS a zařízení pro komunikaci (GSM a WiFi).



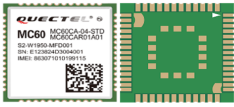


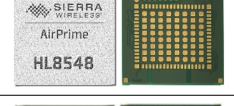


Obr. 8 Univerzální MCU deska

3.2 GPS a GSM modul

Z důvodů miniaturizace a zároveň snížení nákladů byla rovnou vybírána zařízení, která sdružují GSM a GPS moduly do jednoho pouzdra. V Tab. 14, přílohy A této práce, je podrobnější seznam dostupných modulů.

Tab. 7 obsahuje moduly, které nejvíce vyhovují výše uvedeným požadavkům. Zvýrazněná políčka v tabulce představují nejlepší hodnoty konkrétního parametru. Uvedené informace a obrázky byly získány z webových stránek jednotlivých výrobců.

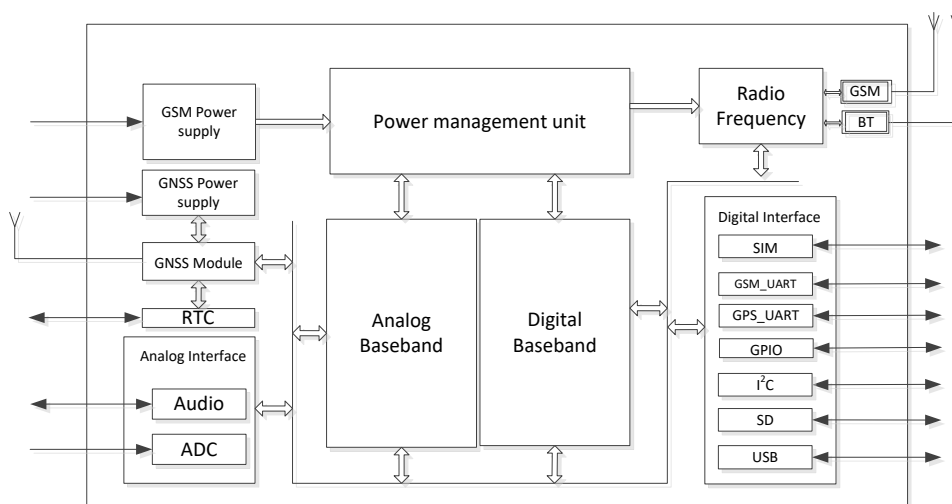
Tab. 7 Vybrané GSM + GPS moduly

Foto	Název	Výrobce	Rozměry	Podporovaný GNSS	Hmotnost	Cena
	MC60	Quectel	18.7 × 15.8 × 2.3 mm	GPS, Glonass	1.3 g	388,- Kč
	SIM808	SIMCom	24 × 24 × 2.6 mm	GPS	3.3 g	448,- Kč
	SIM868	SIMCom	17.6 × 15.7 × 2.3 mm	GPS	1.5 g	370,- Kč
	HL8548	Sierra Wireless	22 × 23 × 2.5 mm	GPS, Glonass	3.5 g	1641,- Kč
	HL6528RD	Sierra Wireless	22 × 23 × 2.5 mm	GPS, Glonass	2.25 g	441,- Kč
	MG2618	ZTE Welink	20 × 22 × 2.0 mm	GPS	1.9 g	není známá

Z tabulky je vidět, že nejlepší volbou jsou moduly MC60 a SIM868. Oba jsou dostupné u českého prodejce za podobnou cenu, pohybující se okolo 380,- Kč. Výhodou

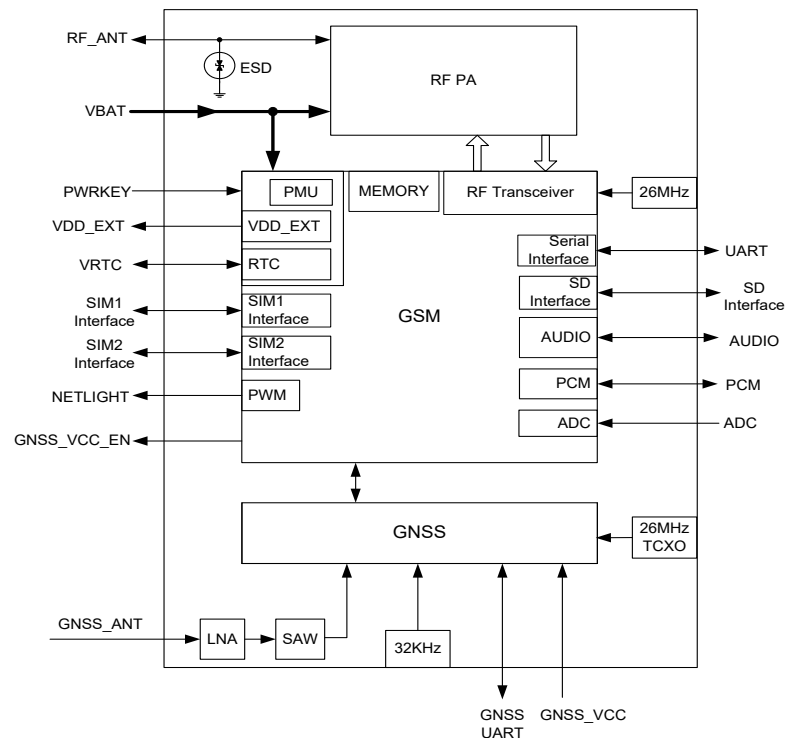
MC60 je jeho malá váha a podpora dvou družicových navigačních systémů (GPS a Glonass). SIM868 má oproti tomu nejmenší rozměry ze všech porovnávaných modulů.

Blokové schéma SIM868 (Obr. 9) ukazuje jeho základní parametry. Má dva interní regulátory - jeden pro GSM a druhý pro GNSS část (GNSS = Global Navigation Satellite System, globální družicový navigační systém; v tomto případě tedy GPS). Rozsah napájecího napětí pro GSM část je 3,4 – 4,4 V a pro GPS část 2,8 – 4,4 V. Dále vyžaduje externí napájení pro RTC (Real Time Clock - hodiny reálného času) GPS části v rozsahu 2,3 – 4,4 V. Dle jeho technické specifikace by to měla být baterie, příp. kondenzátor s velkou kapacitou. Obsahuje ADC (Analog to Digital Converter, převodník z analogového signálu na digitální), analogové rozhraní Audio, jenž zahrnuje vstup z mikrofону a výstup na reproduktor, digitální rozhraní pro komunikaci se SIM a SD kartou a GPIO. Podporuje sběrnice USB, I2C a UART pro každou část modulu (GPS_UART, GSM_UART). Kromě GSM a GPS modulu podporuje i komunikační rozhraní Bluetooth (blok BT).



Obr. 9 Blokové schéma SIM868 [18]

Na Obr. 10 je blokové schéma modulu MC60. Stejně jako modul SIM868 má dva interní regulátory pro část GNSS a GSM. Rozsah vstupního napětí pro GNSS je 2,8 – 4,3 V a pro GSM 3,3 – 4,6 V. Má také vstup napájení RTC GNSS části (rozsah 2,8 – 3,3 V) pro záložní mód GNSS (v tomto módu se uchovávají potřebné informace k rychlejšímu startu GNSS), nicméně, externí napájení RTC části není nutné pro správný chod modulu. Obsahuje také analogové rozhraní Audio, ADC a digitální rozhraní pro SD a dvě SIM karty. Podporuje pouze přepínání SIM karet, ne současné používání obou najednou. Pro komunikaci používá sběrnice UART pro každou část (GNSS UART, UART). Dále je v blokovém schématu uvedeno: PWRKEY, což je vstup určený k vypnutí a zapnutí GSM části modulu; GNSS_VCC_EN má stejnou funkci jako PWRKEY, jen je určený pro GNSS; NETLIGHT je výstup na LED, ukazující aktuální stav modulu; a VDD_EXT je výstup 2,8 V z regulátoru napětí (určeno pro napájení externích součástek). Blok PCM (Pulse-code modulation, pulzně kódová modulace) označuje digitální rozhraní pro Audio, nicméně dle datasheetu není v této verzi podporováno.






Obr. 10 Blokové schéma MC60 [19]

3.3 WiFi modul

V Tab. 8 je seznam vybraných WiFi modulů. Všechny pracují na frekvenci 2,4 GHz a podporují standard IEEE 802.11 b/g/n. Na základě výše uvedených požadavků byly vybrány moduly s nízkou spotřebou, současně však s malým rozměrem, vestavěnou anténou a s co nejnižší cenou.

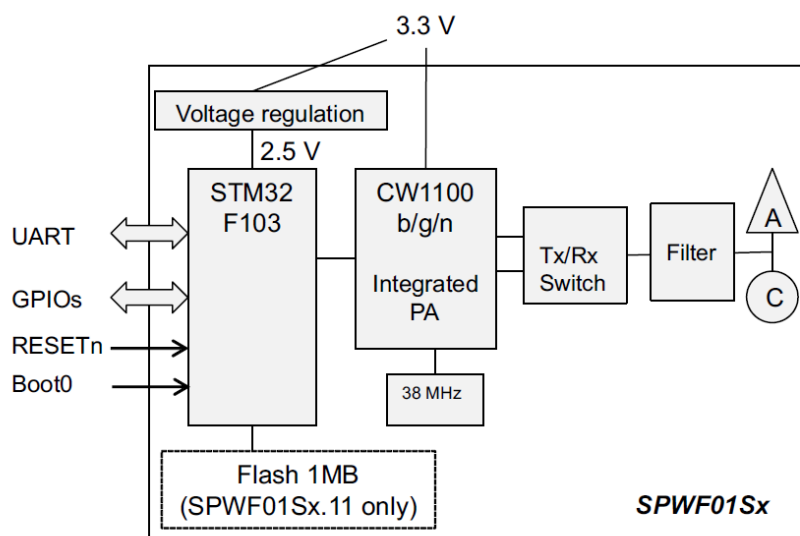
Tab. 8 Vybrané WiFi moduly

Foto	Název	Výrobce	Rozměry	Max. Spotřeba Vysílání	Max. Spotřeba Příjem	Cena
	RN1810	Microchip	26.7 × 17.8 × 2.2 mm	211 mA	64 mA	520,- Kč
	SPWF01SA.21	STMicroelectronics	26.92 × 15.24 × 2.35 mm	250 mA	90 mA	413,- Kč
	XPCW1003100B	Lantronix	30.1 × 18.3 × 3 mm	330 mA	125 mA	620,- Kč

Parametrově nejlepší výsledek má Wifi modul SPWF01SA od firmy STMicroelectronics, který má z porovnávaných modulů nejmenší rozměr a zároveň také nejnižší cenu.

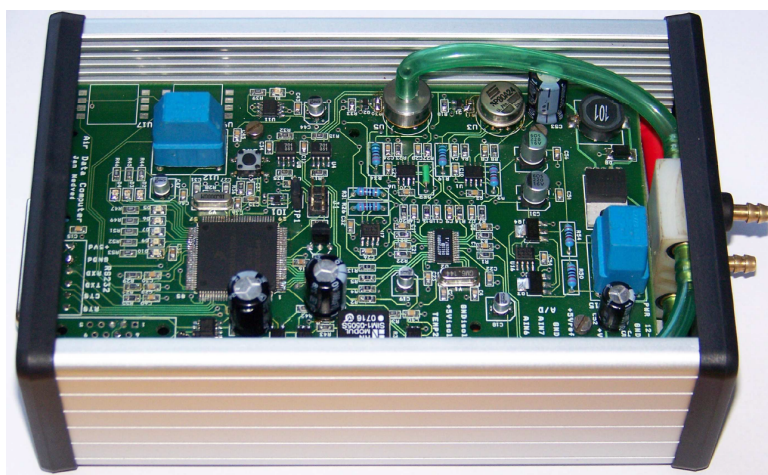
3 Návrh řešení

Z blokového schématu tohoto modulu na Obr. 11 vyplývá, že hlavními prvky jsou procesor STM32F103 a integrovaný obvod CW1100 b/g/n. Procesor má jádro ARM-Cortex M3 a zajišťuje řízení všech funkcí modulu prostřednictvím AT příkazů. Modul je napájen napětím 3,3 V, které se pro procesor reguluje interním stabilizátorem na 2,5 V. Některé vstupy/ výstupy tedy nejsou kompatibilní s napájecím napětím desky. Pro účely této práce je však potřeba pouze sběrnice UART, jejíž rozhraní je v tomto případě 5V kompatibilní. Verze SPWF01SA.11 obsahuje navíc 1 MB Flash paměť. "A" označuje anténu a "C" je konektor (u.fl).



Obr. 11 Blokové schéma SPWF01SA [20]

3.4 Aerometrický modul



Obr. 12 Aerometrický modul [21]

Jedná se o aerometrický systém vytvořený v rámci diplomové práce Jana Nedvěda.

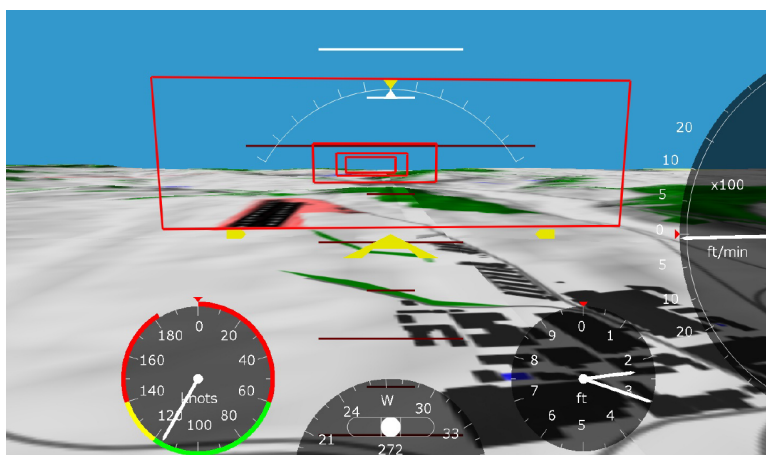
Pomocí tlakových senzorů Memsap SP82 bylo umožněno měření:

- Barometrické výšky
- Kalibrované vzdušné rychlosti (CAS, calibrated airspeed)
- Pravé vzdušné rychlosti (TAS, true airspeed)
- Teploty vnějšího vzduchu

Přesnosti výstupních dat vyhovují platnému leteckému předpisu CS23. Komunikace probíhá prostřednictvím sběrnice CAN, v souladu se standardem CANaerospace. [21]

3.5 Zobrazovač EFIS s pohyblivou mapou

Zobrazovač EFIS (Electronic Flight Instrument System) s pohyblivou mapou je diplomovou prací Petra Mazúrka. Na displeji se zobrazují základní letecké přístroje (výškoměr, rychloměr, variometr, zatáčkoměr a kompas) a na pozadí je promítána mapa okolí (viz Obr. 13). V mapě se také zobrazuje trojrozměrně terén a zvýrazňují se vysoké, přírodní i člověkem vytvořené, útvary. [22]



Obr. 13 Zobrazovač EFIS s pohyblivou mapou [22]

Data se na zobrazovač EFIS posílají pomocí rozhraní WiFi.

3.6 Komunikační rozhraní systému avionických modulů

Zařízení (viz Obr. 14) slouží především ke sběru dat. Podporuje komunikaci prostřednictvím rozhraní CAN, USB1.1, Ethernet RJ45, WiFi a další. Dále je zařízení schopno ovládat svoje digitální vstupy a výstupy a umožňuje připojení senzorů přes sběrnice SPI, I2C, SCI a LIN.

Je dostupná DLL knihovna, která umožňuje modul ovládat z různých prostředí (například Matlab).

Toto dostupné řešení je možné použít místo WiFi modulu. Komunikace by mohla probíhat prostřednictvím sběrnice CAN. Zařízení je schopné odesílat data přijatá po sběrnici CAN přes modul WiFly, firmy Rowing Networks (firma dnes nese název Microchip Technology), na server.



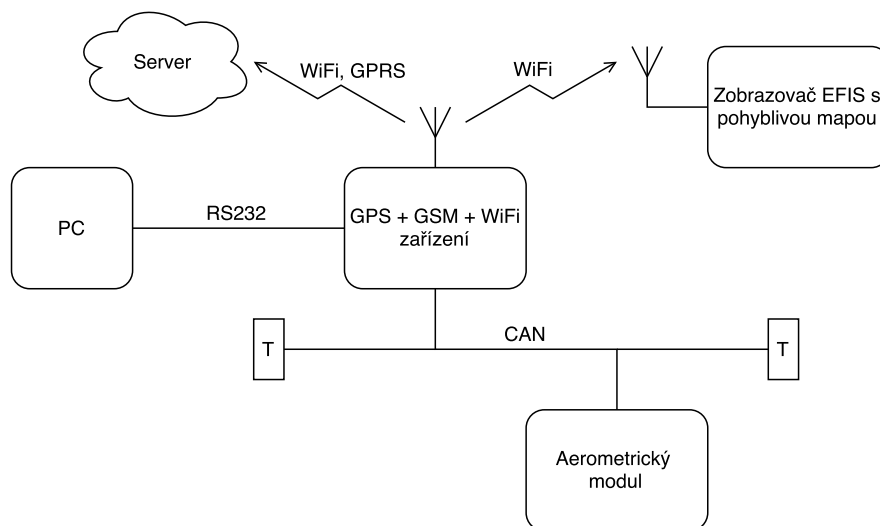
Obr. 14 Komunikační rozhraní systému avionických modulů

3.7 Závěr

Z výše uvedených informací se nabízejí dvě řešení.

3.7.1 Návrh řešení 1

Zařízení obsahuje univerzální desku s procesorem MC9S12XEQ512, Wifi modul SPWF01SA a modul MC60, případně SIM868, sdružující GSM a GPS. Komunikace mezi zařízením a Aerometrickým modulem bude probíhat prostřednictvím sběrnice CAN. Data na zobrazovač EFIS se odesílají pomocí Wifi modulu SPWF01SA. Procesor získaná data z GPS a Aerometrického systému odesílá na server prostřednictvím Wifi nebo GSM modulu. Stejně tak musí poskytovat servisní informace pomocí sériového rozhraní RS232. Blokové schéma komunikace systému je na Obr. 15.

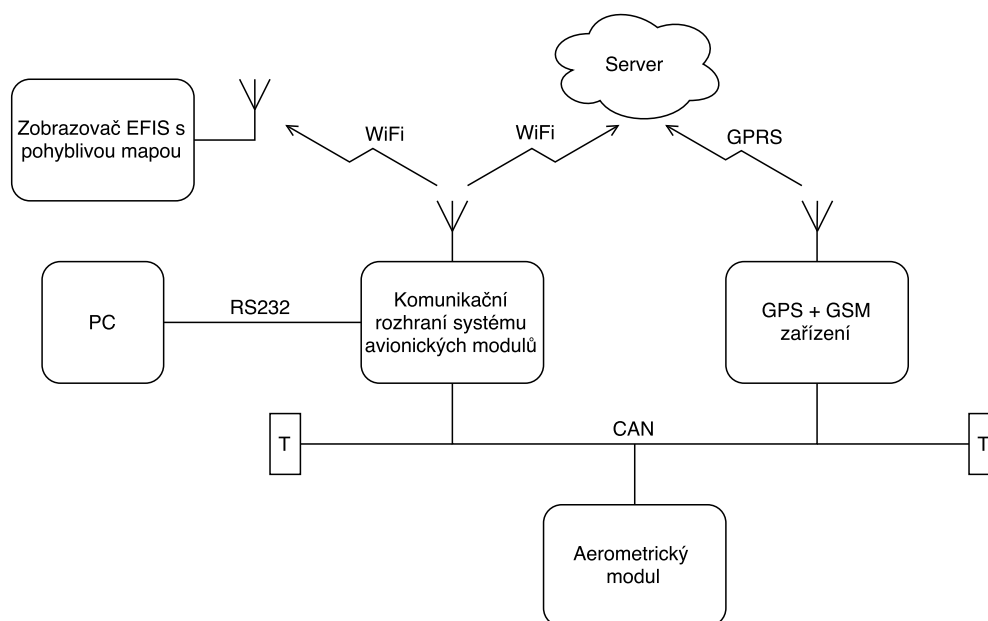


Obr. 15 Blokové schéma Řešení 1

Blok T (Terminátor), v blokovém schématu, je zakončovací odpor (120 Ω) sběrnice CAN.

3.7.2 Návrh řešení 2

Řešení 2 obsahuje také univerzální desku s procesorem MC9S12XEQ512 a modulem MC60, případně SIM868. Řešení 2 již nemá WiFi modul SPWF01SA. Ten je nahrazen Komunikačním rozhraním systému avionických modulů (zařízení KR). Zařízení KR odesílá všechna přijatá data dále přes WiFi a sběrnici RS232 a tím přejímá některé povinnosti procesoru. Procesor tedy v tomto řešení pouze sbírá informace z GPS modulu a Aerometrického modulu, a odesílá je přes sběrnici CAN do zařízení KR, a prostřednictvím GSM modulu na server. Blokové schéma komunikace systému je na Obr. 16.



Obr. 16 Řešení 2

Blok T (Terminátor), v blokovém schématu, je opět zakončovací odpor sběrnice CAN.

4 Realizace

4.1 Prototyp 1

Prototyp 1 vznikl na základě práce Jindřicha Mráčka, který vytvořil a naprogramoval první verzi zařízení (HW). První verze obsahovala základní funkcionalitu. To zahrnuje sběr dat z GPS modulu a ze senzorů, a následné odeslání těchto dat na server prostřednictvím GSM modulu. Zařízení i program však obsahovaly několik nedostatků. Program byl poté z větší části přepsán Doc. Pavlem Pačesem. Součástí programu byly ovladače (knihovny) procesoru, stavové automaty pro odesílání dat přes GSM modul, přijímání a analýzu dat z GPS modulu, a vyčítání dat ze senzorů. Tato práce vychází z první verze řešení, kterou dále upravuje a rozšiřuje.

Firma UpVision požadovala v Prototypu 1 použití rozšíření odesílaných dat o data ze senzorů (akcelerometr, senzor úhlové rychlosti, teploměr a tlakoměr).

4.1.1 Hardware

Postupně vznikly tři verze Prototypu 1. Všechny verze používají procesorovou desku, zmíněnou v kapitole 3 (Obr. 8). Obsahují však různé GPS a GSM moduly. Podle použitého GSM modulu jsou verze pojmenovány:

1. Verze SIM8001 v.1
2. Verze SIM8001 v.2
3. Verze SIM5320e

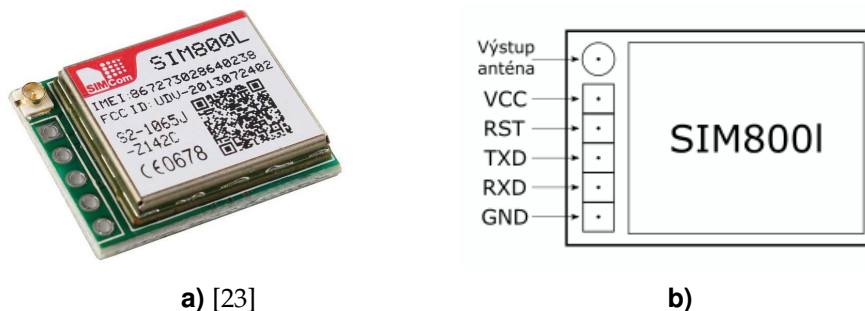
Všechny verze obsahují tlačítko pro ovládání zařízení (párování, viz sekce **Párování zařízení s uživatelským účtem** na straně 38) a tři barevné LED (zelená, žlutá, červená).

Verze SIM8001 v.1 a SIM8001 v.2

První verze zařízení J. Mráčka byla právě verzí SIM8001 v.1. V rámci této práce vznikla druhá verze SIM8001 v.2 v době, kdy s verzí SIM8001 v.1 probíhalo základní testování v zahraničí. Největší rozdíl mezi Verzí SIM8001 v.1 a SIM8001 v.2 je absence senzorů v SIM8001 v.2 (nestihly se přidat). Sensory jsou popsány v sekci **Senzory** na straně 24. Další text popisuje Verzi SIM8001 v.2.

Na místo GSM jednotky byla vybrána vývojová deska s modulem SIM8001 (Obr. 17a) a GPS přijímač byl tvořen vývojovou deskou GY-GPS6MV2 (Obr. 18). Modul SIM8001 využívá technologii 2G (2. generace), podporuje tedy GSM a GPRS (General Packet Radio Service). Tyto desky byly vybrány oproti původnímu návrhu jako dočasné řešení z důvodu okamžité dostupnosti a existence základního kódu. Změna použitých modulů však nemá na program žádný vliv. Jak je vidět z blokového schématu na Obr. 9, SIM868, který integruje GPS a GSM do jednoho modulu, také obsahuje dvě sériové linky (UART) - jedna pro GSM a druhá pro GPS část. Oba moduly navíc odesílají GPS data asynchronně, nezávisle na řídicím procesoru. Optimalizace rozměrů měly být

vyřešeny v dalším prototypu.



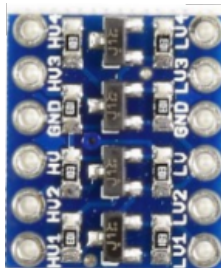
Obr. 17 Vývojová deska s modulem SIM800L

Vývojová deska s modulem SIM800L obsahuje jen modul SIM800L, pouzdro na mikro SIM, jednu LED a má pouze několik I/O (input/output, vstupů/ výstupů). Jsou jimi piny napájení (VDD a GND), resetovacího vstupu a sériového rozhraní UART (RXD, TXD), a konektor u.fl pro připojení antény. Rozložení pinů je na Obr. 17b. Modul SIM800L je ovládán pomocí AT příkazů popsaných v dokumentaci [24].



Obr. 18 Vývojová deska GY-GPS6MV2 [25]

Vývojová deska GY-GPS6MV2 obsahuje GPS modul NEO-6M firmy U-blox, 3,3 V LDO regulátor pro napájení GPS modulu, vlastní EEPROM a stejně jako předchozí deska jen několik vstupů/výstupů. Opět jimi jsou piny napájení (VDD a GND) a sériového rozhraní UART (RXD, TXD), a konektor u.fl pro připojení antény. Schéma zapojení desky je na Obr. 20.

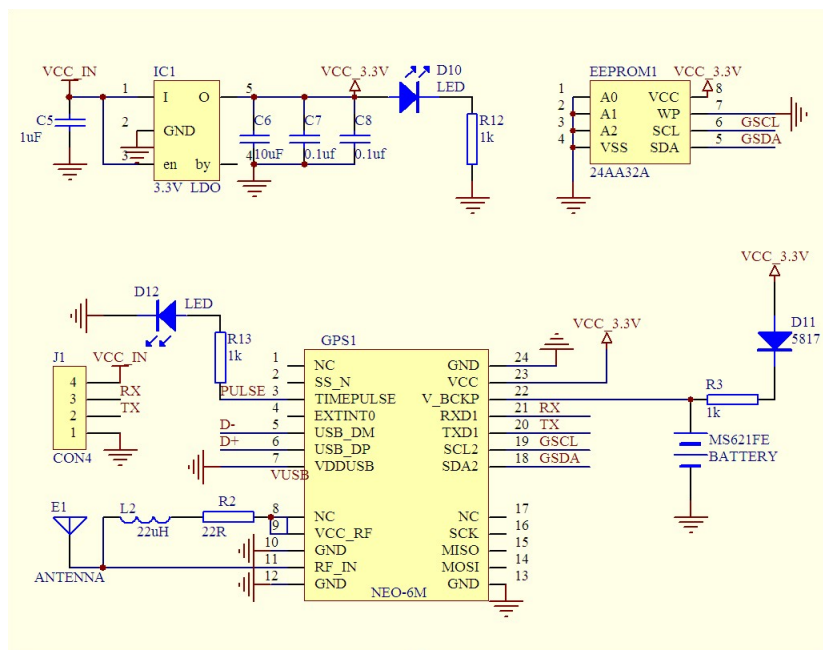


Obr. 19 Obousměrný převodník úrovně napětí

Jelikož je modul NEO-6M napájen 3,3 V, ale ostatní prvky Prototypu 1, včetně jeho procesoru, jsou napájeny 4 V, bylo potřeba použít obousměrný převodník úrovně napětí (level shifter) pro přizpůsobení sériového rozhraní mezi touto deskou a proce-

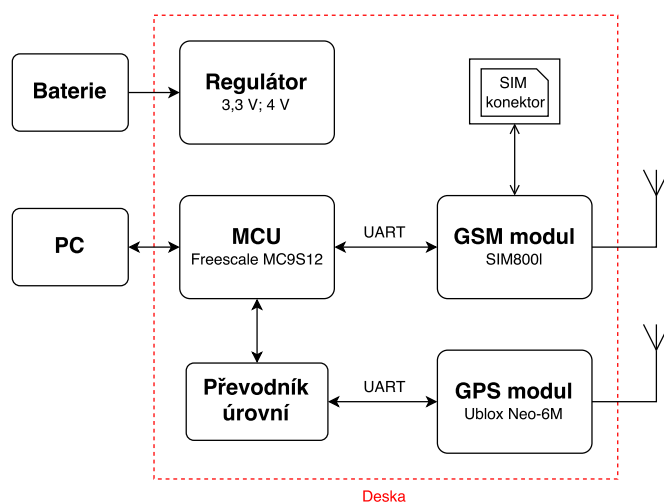
4 Realizace

sorem. Tento převodník (Obr. 19) byl dostupný v laboratoři a nenese žádné označení. Jedná se ale nejspíše o zapojení 4 unipolárních tranzistorů BSS138.



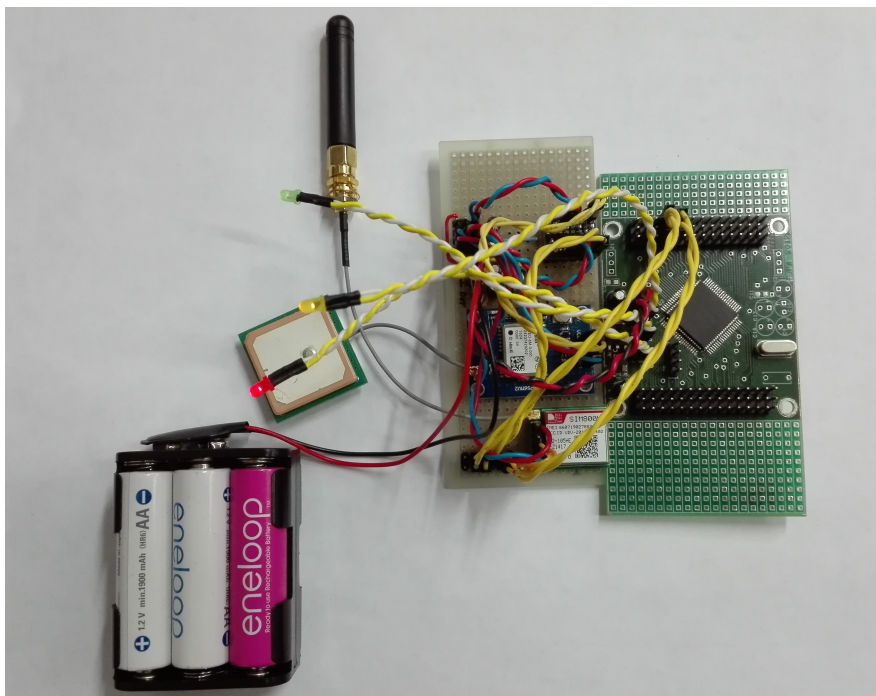
Obr. 20 Schéma zapojení desky GY-GPS6MV2 [26]

Pro účely napájení komponent byly použity dva napěťové stabilizátory. LM217 od firmy STMicroelectronic pro napětí 4 V a LF33 od stejné firmy pro napětí 3,3 V. Zapojení obou regulátorů bylo provedeno dle doporučených zapojení v technické specifikaci příslušného integrovaného obvodu (regulátoru).



Obr. 21 Blokové schéma zapojení Prototypu 1, Verze SIM8001 v.2

Výše zmíněné elektronické prvky byly zapojeny na univerzálním pájivém poli dle blokového schématu zapojení na Obr. 21. GSM i GPS modul je připojen k MCU pomocí sériového rozhraní UART. Komunikaci je možné zobrazit na terminálu PC pomocí externího převodníku UART->USB. Tato data jsou určena především pro ladění. Foto výsledného nezapouzdřeného zařízení je na Obr. 22



Obr. 22 Prototyp 1, Verze SIM800l v.2

Verze SIM5320e

Tato verze HW byla vytvořena J. Mráčkem. Vznikla na základě požadavků firmy UpVision, která vyžadovala použití integrovaného GSM a GPS modulu s podporou 3G sítě (3. generace). Tato technologie umožňuje rychlejší přenosy dat oproti předchozí 2G verzi.

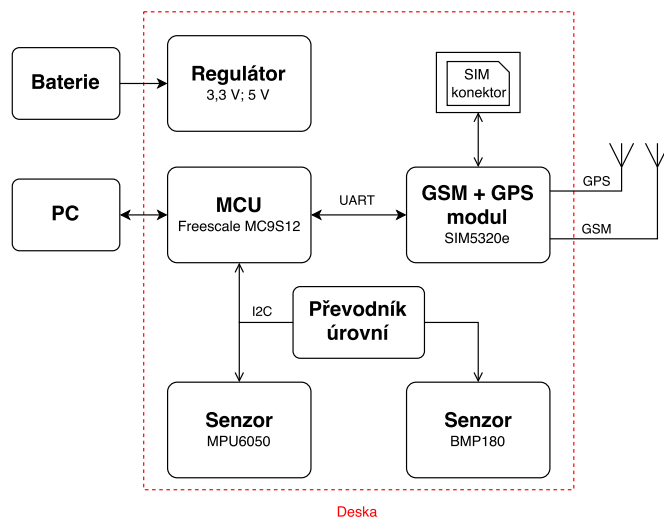
Byla použita vývojová deska SIM5320e shield (Obr. 23), která využívá technologii 3G (3. generace). Podporuje 3G (WCDMA), 2.5G (EDGE) a 2G (GSM/GPRS) sítě. Integruje GPS a GSM do jednoho modulu. Obsahuje pouze jednu sériovou linku (UART), přes kterou komunikuje GSM i GPS část modulu. To vyžadovalo mírnou úpravu kódu - obsah přerušení z GPS modulu se musel vhodně vložit do obsluhy GSM modulu. K činnosti potřebuje napájení 5V a má rozměry 41 × 50 mm. Modul SIM5320 je řízen pomocí AT příkazů popsanych v dokumentaci [27].



Obr. 23 Deska SIM5320e shield [28]

Zařízení bylo zapojeno na univerzálním pájivém poli, dle blokového schématu za-

pojení na Obr. 24. Modul SIM 5320e je připojen k MCU pomocí sériového rozhraní UART. Komunikaci je možné opět zobrazit na terminálu PC pomocí externího převodníku UART->USB. Zařízení je napájeno baterií a regulováno na napětí 5 V a 3,3 V. Napětím 3,3 V se napájí pouze senzor BMP180, který tedy pro přizpůsobení rozhraní I2C musí využívat obousměrný převodník úrovně napětí (Obr. 19). Použité senzory jsou popsány v sekci **Senzory** na straně 24.



Obr. 24 Blokové schéma zapojení Prototypu 1, Verze SIM5320e

Verze SIM5320e byla zapouzdřena v kovové krabici (viz Obr. 25).



Obr. 25 Prototyp 1, Verze SIM5320e

Senzory

Součástí verze SIM8001 v.1 a verze SIM5320, Prototypu 1, byly senzory popsané níže. Jedná se o MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) senzory, vyznačující se především malými rozměry a nízkou spotřebou. Komunikují s procesorem prostřednictvím I2C sběrnice.

- BMP180

Tento senzor, firmy Bosch Sensortec, sdružuje tlakoměr (16 - 19 bitový) a teploměr (16 bitový) v jednom pouzdře. V jeho vnitřní EEPROM jsou uložena kalibrační data, která je nutno na začátku programu vyčíst a poté s nimi při každém měření provádět přepočítání z hrubých dat na kalibrované.

Pro zjednodušení návrhu byla použita vývojová deska GY-68, obsahující senzor BMP180 (viz Obr. 26). Deska má rozměry 21 × 18 mm a pouhé 4 vstupy/výstupy. Jsou jimi piny napájení (VCC, GND) a sběrnice I2C (SCL, SDA). Vyžaduje napájení 3,3 V.

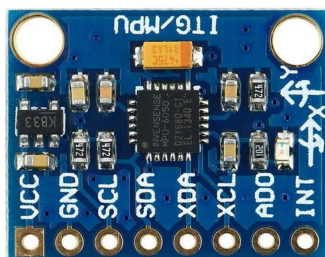


Obr. 26 Vývojová deska GY-68 [29]

- MPU6050

Jedná se o 6osý senzor (akcelerometr a senzor úhlové rychlosti) firmy InvenSense. Oba senzory jsou 16 bitové a mají programovatelný rozsah. V programu se však používá pouze akcelerometr.

Ze stejného důvodu, jako u senzoru BMP180, byla použita vývojová deska obsahující senzor MPU6050 (viz Obr. 27). Deska má rozměry 20.3 × 15.6 mm. Rozsah vstupního napětí je 3 - 5 V. Mezi vstupy/výstupy patří piny napájení (VCC, GND); sběrnice I2C (SCL, SDA); sběrnice I2C pro komunikaci s dalším senzorem (XDA, XCL); výstup přerušení (INT); a pin, kterým se nastavuje poslední bit I2C adresy modulu (AD0).



Obr. 27 Vývojová deska se senzorem MPU6050 [30]

4.1.2 Program

Jak bylo řečeno na začátku kapitoly 4, program byl upravován z již existujícího kódu. V rámci této práce byly do programu implementovány funkce ukládání a načítání dat z emulované EEPROM procesoru; funkce pro detekci asynchronní zprávy o příjmu SMS a dat ze serveru; a stavový automat pro odeslání a příjem párovací a SMS zprávy (popsáno dále).

Program je napsaný v programovacím jazyce C. Byl psán v textovém editoru PSPad, poté kompilován v programu ImageCraft a do procesoru byl nahrán, a následně laděn (debugován), pomocí programu NoICE a programátoru USB BDM Multilink Cable od firmy P&E Microcomputer Systems (PEmicro).

V rámci přechodu z Verze SIM800l na SIM5320 bylo třeba upravit stavový automat pro komunikaci s GSM modulem z důvodu odlišnosti instrukční sady (AT příkazů) a odlišného chování modulu.

Celý program je řešen pomocí několika stavových automatů, které zajišťují dílčí funkcionality. V jednotlivých stavech se vykonávají funkce, dle stavových diagramů, popsané v následujících kapitolách.

Při bezchybném vykonání funkce ve stavu se při další iteraci přechází na následující stav. Pokud při kterémkoliv stavu automatu nastane chyba, ať už v podobě neočekávané odpovědi, případně vypršení daného času, za který by se měla funkce stavu vykonat, inkrementuje se hodnota proměnné, udávající počet za sebou jdoucích chyb daného příkazu a v další iteraci se stav opakuje. Po překročení tří chyb se u většiny stavových automatů celý průchod resetuje.

Obsluha asynchronních zpráv

Při přijetí znaku z obou sběrnic UART, pomocí kterých moduly GSM a GPS posílají zprávy, se generuje přerušení, v jehož obsluze se daný znak uloží do příslušného pole (bufferu).

Znaky z GPS modulu se ukládají do bufferu a po přijetí počátečního a koncového znaku NMEA zprávy se dekoduje její typ. Získané hodnoty se uloží do příslušných proměnných, které se poté odesílají na server. Více v sekci **Obsluha GPS modulu** na straně 31.

V případě zpráv z GSM modulu se část přijatých znaků kontroluje, aby se mohl po přijetí asynchronní zprávy o přijetí SMS, příp. dat ze serveru, nastavit příslušný příznak. Ukázka detekce je v Kódu 1, kde proměnné `btSMSReceived` a `btMsgReceived` jsou příznaky přijetí příslušné zprávy a `bRecvA` je proměnná obsahující přijatý znak (velikost 8 bitů). Datový typ `_U32` je jen substitucí datového typu `unsigned long` (velikost tedy 32 bitů).

```
_U32 uTmp1;
_U32 uTmp2;
_U32 uTmp;
:
uTmp2 = uTmp2 << 8;
uTmp2 &= 0xFFFFFFFF00;
uTmp2 |= ((uTmp1 >> 24) & 0x000000FF);
uTmp1 = uTmp1 << 8;
uTmp1 &= 0xFFFFFFFF00;
uTmp1 |= ((uTmp >> 24) & 0x000000FF);
uTmp = uTmp << 8;
uTmp &= 0xFFFFFFFF00;
uTmp |= bRecvA;
```

```

if( uTmp == cMAIN_CMTI_MSG )
{
    // SMS received
    glb_oSCI_Context.btSMSReceived = 1;
} else if( uTmp2 == cMAIN_RECV_MSG2 && uTmp1 == cMAIN_RECV_MSG1 && uTmp ==
cMAIN_RECV_MSG0 )
{
    // Message from server received
    glb_oSCI_Context.btMsgReceived = 1;
}

```

Kód 1 Detekce asynchronních zpráv v obsluze přerušení

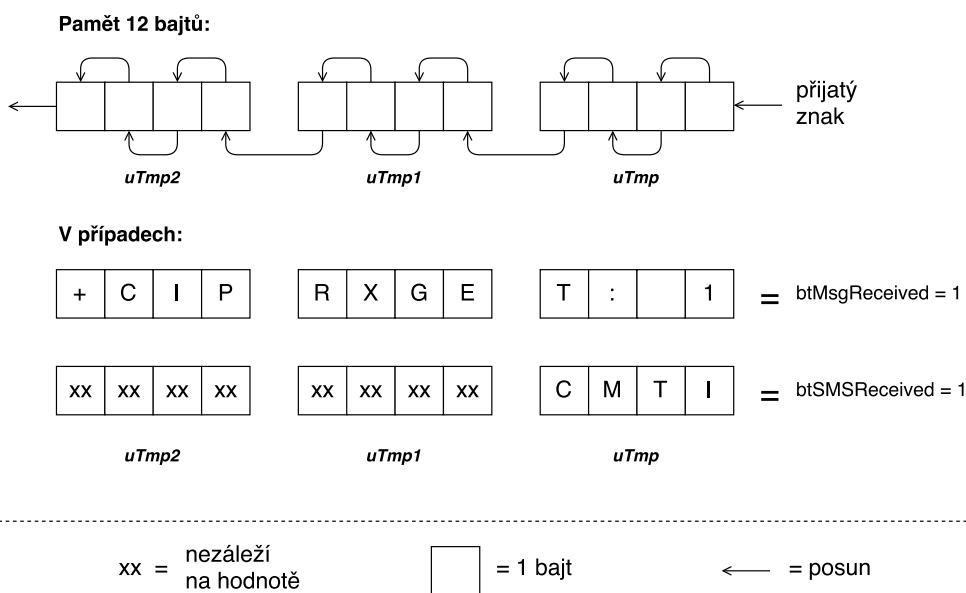
Detekce přijetí asynchronní zprávy je prováděna porovnáváním celočíselné hodnoty definovaných řetězců s hodnotou globálních proměnných, které v principu fungují jako FIFO (First In First Out) paměť vstupních znaků. Paměť o 12 bajtech, kterou proměnné představují, se po přijetí nového znaku posouvá o 8 bitů vlevo a nový znak se přidá zprava. Princip je ilustrován na Obr. 28. Jak je z definic v Kódu 2 vidět, při přijetí zprávy ze serveru je na sběrnici z GSM modulu vyslána zpráva obsahující řetězec "+CIPRXGET: 1" a při přijetí SMS obsahuje řetězec "CMTI".

```

#define cMAIN_RECV_MSG2 (_U32)( ((_U32)'+') << 24 | ((_U32)'C') << 16 |
(((_U32)'I') << 8 | (_U32)'P')
#define cMAIN_RECV_MSG1 (_U32)( ((_U32)'R') << 24 | ((_U32)'X') << 16 |
(((_U32)'G') << 8 | (_U32)'E')
#define cMAIN_RECV_MSG0 (_U32)( ((_U32)'T') << 24 | ((_U32)':' ) << 16 |
(((_U32)' ') << 8 | (_U32)'1')
#define cMAIN_CMTI_MSG (_U32)( ((_U32)'C') << 24 | ((_U32)'M') << 16 |
(((_U32)'T') << 8 | (_U32)'I')

```

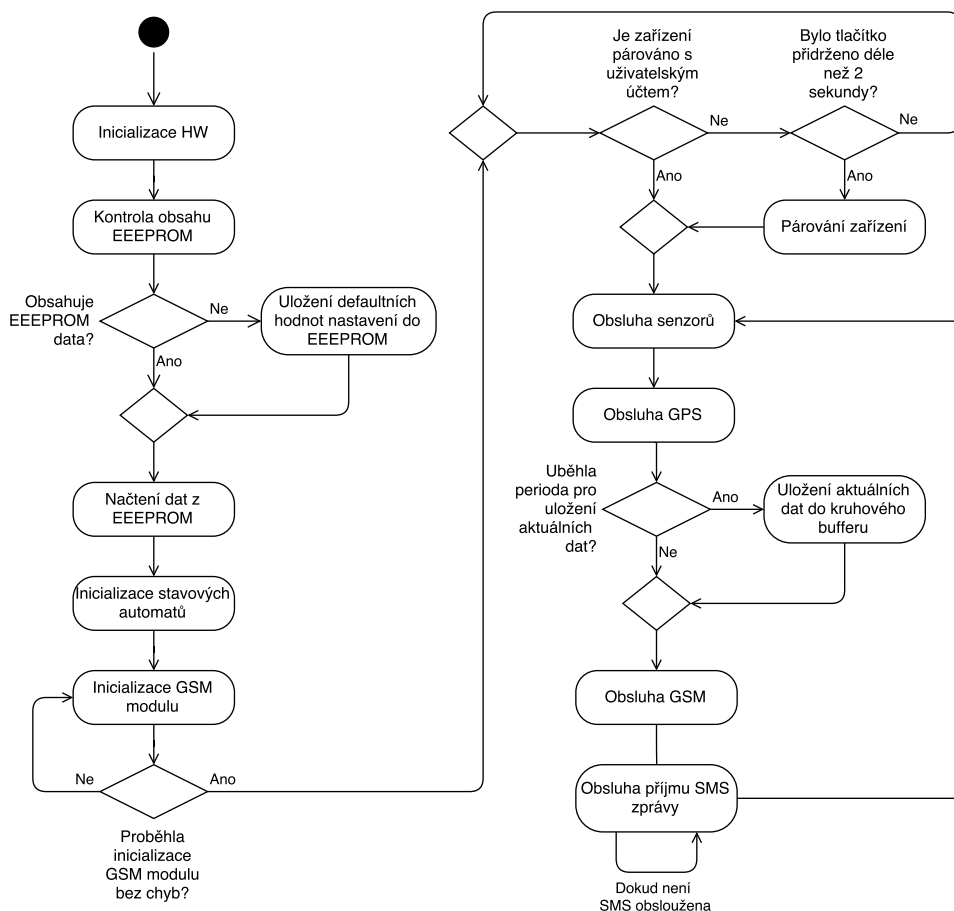
Kód 2 Definice začátků asynchronních zpráv pro detekci



Obr. 28 Ilustrace principu detekce přijetí zpráv

Hlavní smyčka programu

Stavový diagram hlavní smyčky včetně inicializací na začátku programu v souboru main.c je na Obr. 29.



Obr. 29 Stavový diagram hlavní smyčky

Po startu programu se v rámci inicializace HW například povolí generování přerušování, spustí se hlavní časovač a provede se inicializace od něj odvozených softwarových (SW) časovačů. Ty jsou použity z důvodu potřeby většího množství časovačů, než má procesor interně k dispozici. Hlavní časovač každých $512\mu\text{s}$ generuje přerušování na jehož základě se inkrementuje každý SW časovač o příslušnou hodnotu.

Po inicializaci HW se provede kontrola dat v emulované EEPROM procesoru.

Inicializace stavových automatů spočívá pouze v nastavení jejich počátečních hodnot.

Inicializace GSM modulu je stavový automat, který ověří dostupnost samotného modulu a služeb, které poskytuje. Provede jeho základní nastavení a získá informace k jeho identifikaci.

Po úspěšném průchodu inicializacemi se provádí kontrola párování zařízení s uživatelským účtem. Pokud je zařízení spárováno, stavový automat pokračuje. Pokud však zařízení není spárováno, ověří se, zdali bylo přidrženo uživatelské tlačítko. To musí být drženo minimálně 2 s. Pokud bylo přidrženo déle než 2 s, provede se proces párování. Pokud nebylo drženo déle než 2 s, stavový automat se vrátí do stavu kontroly párování.

Po úspěšném spárování, případně kladné kontroly spárování, program vstupuje do těla hlavní smyčky. Ta je složena ze stavových automatů pro obsluhu senzorů, GPS modulu, GSM modulu a asynchronního příjmu SMS zprávy. Je zde také funkce pro uložení aktuálních dat do kruhového bufferu pro data k odeslání na server.

Jednotlivé bloky jsou popsány níže.

Struktura nastavení

Data, která je třeba uchovat dlouhodobě, je nutno uložit mimo paměť RAM, kam se ukládají klasické proměnné programu. RAM po vypnutí napájení data ztrácí. Řešením je použít paměti EEPROM, případně Flash, které tuto vlastnost nemají. V zařízení bylo využito paměti EEPROM (Emulovaná EEPROM), která má navíc oproti Flash větší počet cyklů zápisu.

Obsahuje strukturu `tSettings_Context`, ve které jsou základní parametry nastavení komunikace GSM modulu (viz Kód 3). Jsou jimi unikátní ID; příznak, ukazující zda-li je modul spárován s účtem na serveru; IP adresa serveru; port modulu a serveru; telefonní číslo - pro budoucí použití; textový řetězec PDP kontextu a perioda odesílání dat. Struktura se ukládá jako blok dat, který je obklopen určitou posloupností čísel. Tato posloupnost slouží právě k detekci absence dat v EEPROM. Pokud se nepovede načíst tuto posloupnost čísel, pak se nejpravděpodobněji jedná o první spuštění tohoto programu v novém procesoru, případně to značí chybně uložená data.

V takovém případě se do EEPROM uloží celý blok struktury s defaultními hodnotami parametrů.

```
typedef struct tSettings_Context
{
    char chModul_id[cSET_MODUL_ID_LENGTH];           // Modul ID
    char chModul_paired[cSET_MODUL_PAIRED_LENGTH];   // Modul paired (flag)
    char chIp_adress[cSET_IP_ADRESS_LENGTH];        // IP Adress
    char chPort_modul[cSET_PORT_MODULE_LENGTH];     // Port of modul
    char chPort_server[cSET_PORT_SERVER_LENGTH];    // Port of server
    char chPhone_num[cSET_PHONE_NUM_LENGTH];       // Phone number
    char chPdp_context[cSET_PDP_CONTEXT_LENGTH];    // PDP context
    char chDataOut_period[cSET_DOUT_PERIOD_LENGTH]; // Period of data sending
} tSettings_Context;
```

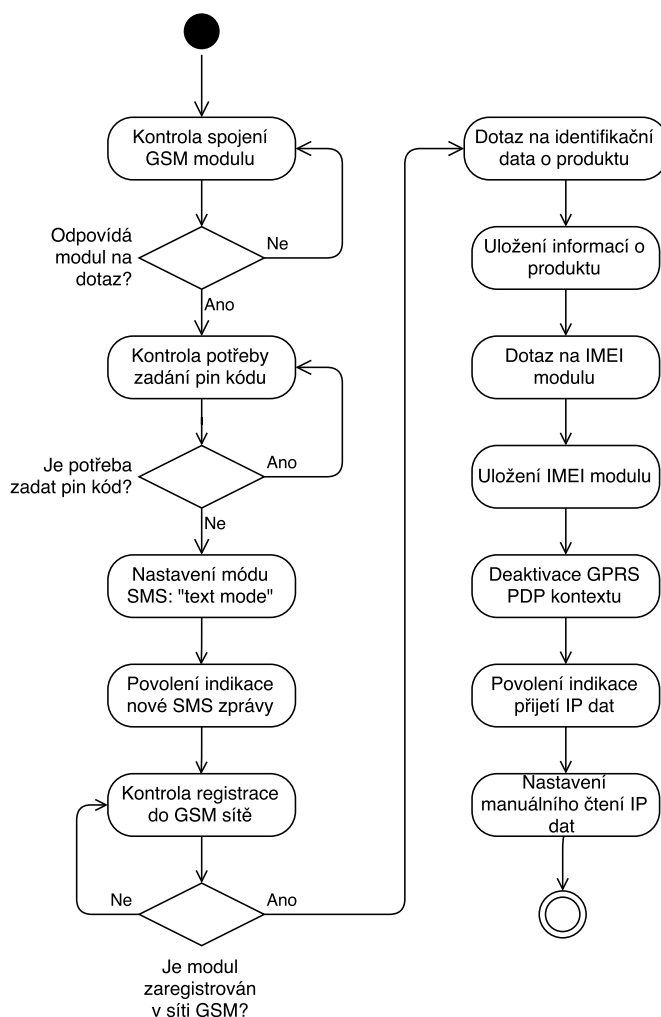
Kód 3 Struktura `tSettings_Context`

Funkce pro ukládání dat do EEPROM vychází z dokumentu AN3743 [33] firmy Freescale.

Inicializace GSM modulu

Inicializace GSM modulu je řešena pomocí stavového automatu a probíhá podle diagramu na Obr. 30.

Nejprve se odešle příkaz "AT\r\n", na který by měl modul odpovědět "AT\r\n OK\r\n". To je příznakem připravenosti a správného připojení UART sběrnice GSM modulu. Znaky "\r" a "\n" představují tzv. Carriage return a Line feed (nebo také CR a LF), což jsou netisknutelné řídicí znaky, posunující kurzor na začátek dalšího řádku.



Obr. 30 Stavový diagram inicializace GSM modulu

Následuje kontrola, zda-li SIM karta vyžaduje zadání PIN kódu. Pokud ano, SIM kartu nelze bez odemknutí použít a program by nemohl pokračovat. To může nastat např. pokud by uživatel vložil do zařízení svoji SIM kartu, která je PIN kódem uzamčena.

Dále se nastaví formát SMS na text mód, povolí se automatické generování zprávy na sběrnici v momentě přijetí SMS a kontroluje se registrace do GSM sítě.

Poté nastává část dotazů na informace o produktu (návrátová hodnota je řetězec se jménem modulu a jeho revizí, tedy např. "SIM800 R11.08") a IMEI (International Mobile Equipment Identity), což je unikátní patnáctimístné identifikační číslo GSM jednotky. Zjištěné hodnoty se uloží a později, po navázání spojení, odešlou na server.

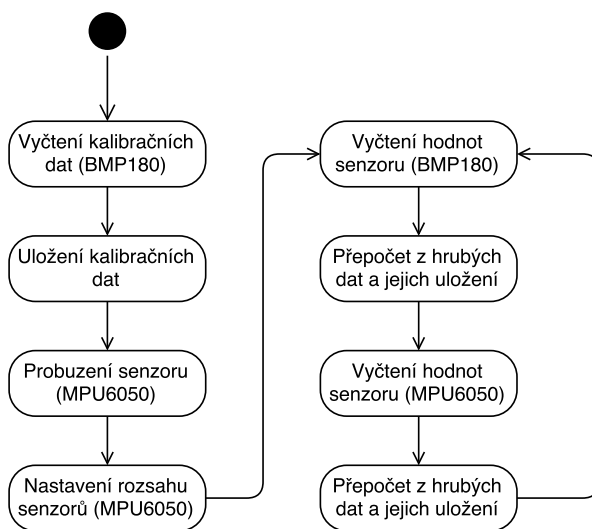
Na závěr inicializace GSM modulu se deaktivuje PDP kontext, povolí se automatické generování zprávy na sběrnici o přijetí dat ze serveru a nastaví manuální vyčítání těchto zpráv (jinak by se posílala na sběrnici automaticky celá zpráva ihned po přijetí a tím by mohlo dojít k její ztrátě).

Obsluha senzorů

Obsluha senzorů je prováděna jednoduchým stavovým automatem, jehož stavový diagram je vidět na Obr. 31. V každém stavu je v závorce uveden senzor, pro který daná funkce platí.

Na začátku se vyčtou a uloží kalibrační data ze senzoru BMP180. Jedná se o jedenáct 16bitových koeficientů. Probudí se senzor MPU6050 a nastaví se jeho rozsah (full scale). Rozsah je nastavován jak pro senzor úhlové rychlosti ($\pm 1000^\circ/s$), tak pro akcelerometr ($\pm 8\text{ g}$). Předchozí funkce byly pouze inicializační a provádějí se pouze na začátku programu.

Následuje tělo hlavní smyčky vyčítání dat ze senzorů. Zde se provádí vyčtení teploty a poté tlaku, ze senzoru BMP180. Hodnoty se následně přepočítají dle vzorců v technické specifikaci [31] na kalibrovaná data, která se uloží do příslušných proměnných. Poté se vyčítají data ze senzoru MPU6050 (specifická síla, úhlové zrychlení a teplota). Hrubá data z akcelerometru a senzoru úhlové rychlosti se přepočítávají na základě nastavené hodnoty rozsahu. V technické specifikaci [32] se poté dohledá citlivost (sensitivity), kterou se hrubá data vydělí. Pro nastavený rozsah $\pm 1000^\circ/s$ senzoru úhlové rychlosti je citlivost 32,8 a pro rozsah $\pm 8\text{ g}$ akcelerometru je citlivost rovna 4096. V případě teploměru se hrubá data přepočítávají vydělením hodnoty citlivosti (340) a přičtením teplotního offsetu (36.53).



Obr. 31 Stavový diagram obsluhy senzorů

Obsluha GPS modulu

Jedná se o jednoduchý stavový automat, který má za úkol analyzovat a roztřídit informace NMEA zpráv, které posílá GPS modul asynchronně s frekvencí 1 Hz.

NMEA, v tomto případě přesněji standard NMEA 0183, označuje standardizovaný formát zpráv, původně určený pro komunikaci mezi elektronickými zařízeními lodí, který byl vytvořen asociací National Marine Electronics Association. Samotný standard definuje nejenom formát zpráv, ale i fyzickou vrstvu přenosu. Nejčastěji je dnes využíván přijímači GNSS signálů, které v tomto formátu posílají data dalším zařízením. Existuje velké množství typů zpráv NMEA, které se liší především v informacích, které nesou. [34]

4 Realizace

Formát NMEA zpráv od GNSS modulů:

$\$XXYYY,p1,p2,\dots,pn*xx$

kde:

- **XX** jsou dva znaky označující typ GNSS, např.:
 - GP = GPS
 - GL = Glonass
 - GA = Galileo
- **YYY** označuje typ zprávy
 - RMC = Recommended minimum data
 - VTG = Vector track an Speed over the Ground
 - GGA = Fix information
 - GSA = Overall Satellite data
 - GSV = Detailed Satellite data
 - GLL = Lat/Lon data
- **p1, p2, . . . , pn** jsou parametry (data) zprávy
- **xx** je kontrolní součet

V každé zprávě je tedy informace o tom, který družicový navigační systém zprávu vyslal, jaké informace nese - podle typu zprávy, příslušná data oddělena čárkou a kontrolní součet, který je po znaku "*".

GPS modul NEO-6M odesílá několik druhů těchto zpráv. Příklad jednoho bloku zpráv odeslaného z modulu v rámci jedné periody:

```
$GPRMC,164607.00,A,5004.60227,N,01425.04655,E,0.037,,150517,,A*71
$GPVTG,,T,,M,0.037,N,0.068,K,A*29
$GPGGA,164607.00,5004.60227,N,01425.04655,E,1,06,2.13,225.1,M,44.4,M,,*58
$GPGSA,A,3,29,20,18,10,26,31,,,,,3.21,2.13,2.39*0D
$GPGSV,2,1,08,07,,31,10,05,173,40,18,25,153,43,20,37,073,35*48
$GPGSV,2,2,08,21,,26,26,71,234,38,29,30,088,35,31,10,209,33*4C
$GPGLL,5004.60227,N,01425.04655,E,164607.00,A,A*6B
```

Příklad dekódování NMEA zprávy typu GPGGA je v Tab. 9 (použita zpráva z příkladu výše). Tato zpráva nese následující informace:

- Čas (UTC) je 16:46:07
- Pozice je 50 °04.60227' severní šířky, 14 °25.04655' východní délky
- Data jsou platná
- Je viditelných 6 satelitů
- HDOP = 2.13
- Výška nad střední hladinou moře je 225.1 m
- Výška geoidu (střední hladiny moře) nad elipsoidem WGS84 je 44.4 m

Tab. 9 Rozbor NMEA zprávy (typ GPGGA)

Pořadí	Data	Formát	Informace
1	164607.00	hhmmss.ss	Čas UTC, pro který platí další údaje
2	5004.60227	ssmm.mmmmm	Zeměpisná šířka
3	N	z	Indikátor (severní [N] a jižní [S] šířka)
4	01425.04655	sssmm.mmmmm	Zeměpisná délka
5	E	z	Indikátor (východní [E] a západní [W] délka)
6	1	d	Kvalita spojení: 0 = neplatná data 1 = GPS data OK 2 = GPS data OK (diferenční GPS = DGPS)
7	06	dd	Počet viditelných satelitů
8	2.13	d.dd	HDOP (Horizontal dilution of position)
9	225.1	d.d	Výška nad střední hladinou moře
10	M	z	Jednotka (metry)
11	44.4	d.d	Výška geoidu (střední hladiny moře) nad elipsoidem WGS84
12	M	z	Jednotka (metry)
13	-	d.d	Čas v sekundách od poslední aktualizace DGPS
14	-	dddd	Identifikační číslo DGPS stanice
15	*58	*XX	Kontrolní součet (vždy začíná znakem *)

WGS84 (World Geodetic System 1984) je referenční elipsoid modelu Země.

Zpráva je detekována po přijetí počátečního ("\$") a koncového ("*") znaku (kontrolní suma je zahozena).

Rozpoznání typu zprávy je založeno na porovnávání řetězce mezi počátečním znakem a oddělovačem "," (tedy `XXYYY` část) se jmény typů NMEA zpráv (např. GPGGA). V programu se pracuje pouze se dvěma typy zpráv: GPGGA a GPRMC, které obsahují všechna potřebná data.

Obsah zprávy je dekodován a uložen do příslušných lokálních proměnných představujících daný parametr.

Data určená k odeslání

Po uplynutí určité periody (defaultně 5 s) se hodnoty lokálních proměnných, obsahujících především data z GSM modulu, zkopírují do struktury kruhového bufferu, jehož obsah se odesílá na zvolený server.

Jedná se o tato data:

- Datum a čas
- Zeměpisná šířka a délka
- Rychlost
- Výška
- Počet viditelných satelitů
- Kvalita GPS signálu
- Síla GSM signálu

4 Realizace

Kromě síly GSM signálu jsou všechna data získána z NMEA zpráv GPS modulu.

Každá zpráva, odeslaná na server začíná znakem "@" a končí "#". Jednotlivá data jsou od sebe oddělena znakem ";". Za počátečním znakem je vždy uvedeno ID modulu a označení, o jaký druh zprávy se jedná (T = text, D = data). Za touto informací je pak vždy čas vysílaný systémem GPS.

Po startu zařízení se uloží do struktury kruhového bufferu řetězec "PowerOn", který bude na server po navázání spojení odeslán jako první. Dále se odesílají data, získaná při inicializaci GSM modulu, tedy revize modulu a jeho IMEI. IMEI, spolu s ID slouží k identifikaci modulu.

Příklad zpráv odesílaných na server:

```
"@11;T;00:00:01;PowerOn#"
"@11;T;00:00:01;Modem: SIM868 R14.18; IMEI 861510030034504.#"
"@11;D;28.03.17;18:44:26.0;5004.5442N;01425.0326E;0.00;357.40;146.2;6;1;
23;-1.0;-1.0;#"
```

Formát datových zpráv se v rámci programu s každou verzí měnil. Poslední formát je tento:

```
@I;Z;dd.mm.rr;hh:mm:ss.s;ssmm.mmmmmX;ssmm.mmmmmX;r.r;v.v;s.s;S;F;r;t.t;p.p;#
```

Význam je uveden v Tab. 10.

Pokud některá hodnota není známa (například při výpadku GPS signálu, případně ihned po spuštění, kdy GPS ještě není dostupná), odesílá se na jejím místě ve zprávě prázdné pole, znak "x", případně jejich kombinace. Chybí-li hodnota z některého senzoru, použije se místo ní hodnota -1. Příklad:

```
@11;d;x;x;x;x;x;x;x;x;x;-1;-1;#
```

Obsluha GSM modulu

Obsluha GSM modulu je obstarána stavovým automatem (Obr. 32), který zároveň zajišťuje přenos dat na server.

Nejprve proběhne kontrola registrace do GSM sítě. Je-li modul registrován, odešle se dotaz na sílu GSM signálu, jejíž hodnota se uloží do lokální paměti a později se odesílá s dalšími daty.

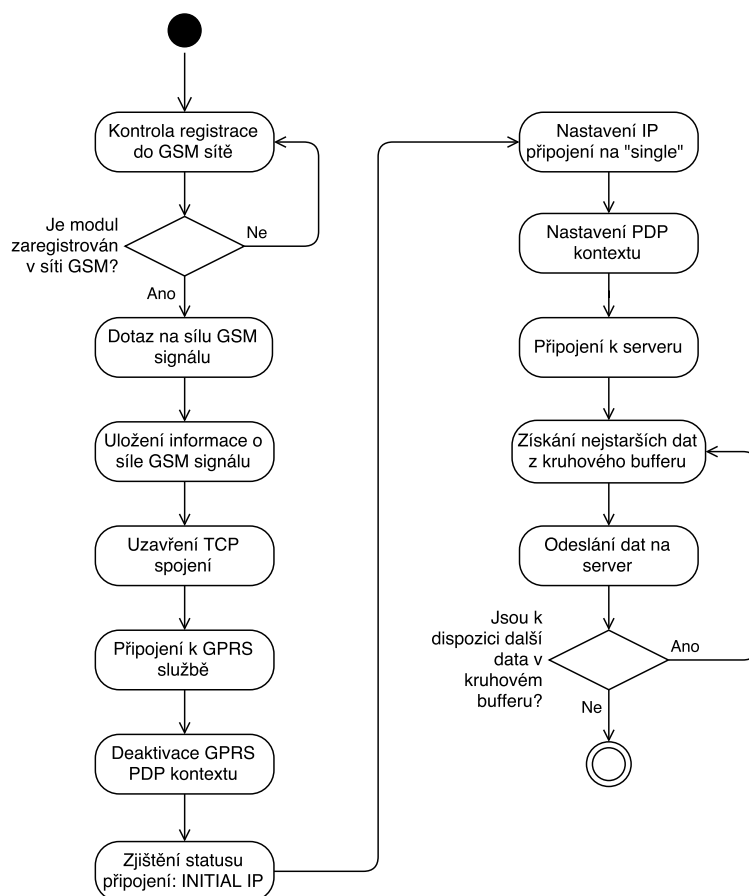
Odesílání probíhá po dávkách, tedy se vytvoří TCP spojení, odešle se celý obsah kruhového bufferu a poté se spojení opět uzavře. Je tomu tak z historických důvodů, kdy bez uzavření spojení docházelo k zamrzání modulu.

Obsluha příjmu SMS zpráv

Na začátku stavového automatu se provádí kontrola, zdali byla přijata SMS. Je kontrolována hodnota proměnné `btSMSReceived`, která se při detekování zprávy nastaví na `btSMSReceived = 1` v obsluze přerušení (viz sekce **Obsluha asynchronních zpráv**

Tab. 10 Popis formátu datových zpráv odesílaných na server

Pozice	Formát	Informace
1	I	ID modulu
2	Z	Znak druhu zprávy (T = text, D = data)
3	dd.mm.rr	Datum [d: den, m: měsíc, r: rok]
4	hh:mm:ss.s	Čas [h: hodina, m: minuta, s: sekunda]
5	ssmm.mmmmX	Zeměpisná šířka [s: stupně, m: minuty, X: znak (N = sever, S = jih)]
6	sssmm.mmmmX	Zeměpisná délka [s: stupně, m: minuty, X: znak (E = východ, W = západ)]
7	r.r	Rychlost [uzel]
8	v.v	Výška [metr]
9	s.s	Kurz [stupeň]
10	r	RSSI [dB] (Received Signal Strength Indicator, síla GSM signálu)
11	S	Počet viditelných GNSS satelitů
12	F	Kvalita GPS spojení
13	t.t	Teplota (není dostupná v tomto HW)
14	p.p	Tlak (není dostupný v tomto HW)



Obr. 32 Stavový diagram obsluhy GSM modulu

na straně 26). Pokud dojde k vypnutí zařízení před obslužením přijatých zpráv, SMS zprávy zůstanou uloženy v paměti SIM800. Proto se při startu programu proměnná nastaví také na hodnotu 1 a tím dojde k obslužení uložených zpráv.

Dále se posílá příkaz k výpisu celého seznamu zpráv. Pokud je paměť SMS zpráv prázdná, návratová hodnota je pouze potvrzení ("OK\r\n"). Při detekci této skutečnosti se automat resetuje. Naopak, pokud paměť SMS zpráv obsahuje jednu a více zpráv, je modulem odeslán celý jejich seznam. Ten obsahuje informaci o indexu zprávy v paměti modulu; zdali je zpráva již přečtena, či nikoliv; telefonní číslo odesílatele; datum a čas přijetí zprávy a text samotné zprávy. Ukončen je opět potvrzením ("OK\r\n").

Příklad seznamu SMS zpráv v paměti modulu:

```
AT+CMGL="ALL",1
+CMGL: 1,"REC UNREAD","+420123456789","", "17/05/19",17:06:37+04"
GETALL?
+CMGL: 2,"REC UNREAD","+420123456789","", "17/05/19",17:06:41+06"
ID "11"
```

OK

Zde nastává problém s detekcí těla zprávy. V momentě, kdy by se tělo bralo například mezi řetězcem "+CMGL" a "OK", a navíc počet znaků seznamu byl delší než vstupní buffer, nikdy by se tělo nebylo schopno detekovat z důvodu absence řetězce "OK". Z toho důvodu byla zvolena jednodušší cesta, a to zjistit ze seznamu pouze index první zprávy.

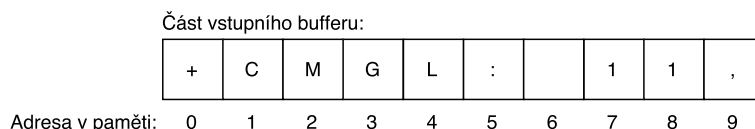
K získání indexu zprávy byla napsána funkce `getIndex_RecvSMS`, která je ukázána v Kódu 4. Základem této funkce je funkce `strstr` knihovny `string.h`. Její deklarace je:

```
char *strstr(const char *haystack, const char *needle)
```

Tato funkce vrací ukazatel na první výskyt podřetězce `needle` v řetězci `haystack`. Definice `cGSM_SMS_CMGL` použitého v Kódu 4 je následující:

```
#define cGSM_SMS_CMGL ((const char *) "+CMGL: ")
```

Funkci `getIndex_RecvSMS` se předávají parametry: ukazatel na vstupní buffer a ukazatel na proměnnou indexu zprávy. Kód bude popisován na příkladu se smyšlenými adresami (pouze pro lepší pochopení) na Obr. 33. Výsledky z ilustrativního příkladu jsou v popisu v hranatých závorkách.



Obr. 33 Ukázkový příklad vstupního bufferu

Nejprve se zjistí první výskyt řetězce "+CMGL: " v bufferu. Adresa paměti začátku tohoto řetězce v bufferu, je uložena do proměnné `pSubstr` [`pSubstr = 0`]. Tato adresa

inkrementovaná o délku řetězce "+CMGL: " (tedy o 7 bajtů) se uloží do proměnné pMsg [pMsg=7]. Proměnná pMsg v tuto chvíli ukazuje na index zprávy. Dále se zjistí adresa v paměti znaku ",", který je hned za indexem. Tato adresa se uloží do proměnné pSubstr [pSubstr = 9]. Odečtením adresy znaku "," od adresy prvního znaku indexu zprávy se dostane počet číslic indexu [9-7=2].

Funkce strncpy zkopíruje index z bufferu do pomocné proměnné tmp. Nakonec se pomocí funkce atoi převede index typu char (znak) na typ uint8_t (číslo) a uloží se do proměnné index.

```
int getIndex_RecvSMS( const char *pMsg, uint8_t *index )
{
    char *pSubstr;
    char tmp[5];

    pSubstr = strstr(pMsg, cGSM_SMS_CMGL);
    if( pSubstr == NULL )
    {
        return 1;    // list is empty
    }

    pMsg = pSubstr + strlen(cGSM_SMS_CMGL); // skip "+CMGL: " string

    pSubstr = strstr(pMsg, ",");
    if( pSubstr == NULL )
    {
        return -1;   // error
    }

    if( (pSubstr - pMsg) < sizeof(tmp) )
    {
        strncpy(tmp, pMsg, (pSubstr - pMsg));
        *index = (uint8_t)(atoi(tmp));
    }
    else
    {
        return -1;   // error
    }

    return 0;
}
```

Kód 4 Funkce pro získání indexu SMS zprávy

Po získání indexu se odesílá příkaz na vyčtení zprávy s daným indexem. Poté se podobným principem vyčtou data (datum, čas, telefonní číslo odesílatele a obsah zprávy), která se uloží do příslušných lokálních proměnných. Provede se kontrola správnosti čísla (obsahuje bez předvolby "+420" devět číslic) a poté se detekuje, zda v obsahu zprávy není některý ze známých příkazů.

V programu byly naimplementovány funkce pro SMS příkazy ovlivňující nastavení (hodnoty struktury tSettings_Context - viz Kód 3). Jedná se o tuto množinu příkazů:

- "ID" = ID modulu
- "SRV:IP" = IP adresa serveru
- "SRV:PORT" = port serveru

4 Realizace

- "MDL:PORT" = port modulu
- "PHONE" = telefonní číslo (budoucí použití)
- "PDP" = PDP kontext
- "DSP" = DPS (Data sampling period, perioda odesílání dat)

Jsou dva formáty příkazu - pro vyčtení a pro zápis. Pro čtení hodnoty se za řetězec uvedený výše přidá znak "?"; pro zápis znak " " (mezera) a nová hodnota příslušného nastavení. Například pokud zařízení přijme SMS s příkazem: "SRV:IP?", odešle zpět odesílateli SMS s IP adresou serveru; a s příkazem: "ID 11" uloží hodnotu "11" do nastavení ID modulu a odešle zpět odesílateli SMS zprávu o úspěšném nastavení. Odpověď odesílateli také obsahuje datum a čas příjmu příkazu.

Byly také přidány příkazy se speciálním významem a funkcí:

- "GETALL?" = dotaz na hodnotu všech nastavení zařízení
- "SAVE" = uložení aktuálního nastavení zařízení do EEPROM
- "RESET" = reset zařízení
- "DEFAULT" = hodnoty aktuálního nastavení se změny na defaultní

V případě, že zpráva obsahuje příkaz, tento příkaz se vykoná a vytvoří se odpověď pro odesílatele zprávy. Když ve zprávě není žádný příkaz, zpráva se smaže.

Vytvořená odpověď se odešle pomocí funkce pro odesílání řetězce, který byl předán jako parametr.

I tato zpráva se nakonec smaže a v další iteraci se opět přejde k stavu vypisujícímu seznam všech přijatých zpráv.

Párování zařízení s uživatelským účtem

Párování spočívá v odeslání speciálního textového řetězce, který obsahuje ID a IMEI modulu. Uživatel současně vyplní na webovém rozhraní své identifikační údaje s ID modulu. Tím dojde k jednoznačnému přiřazení zařízení k uživatelskému účtu. Odeslání zprávy se vyvolá přidržetím tlačítka na začátku programu.

Příklad odesílané párovací zprávy:

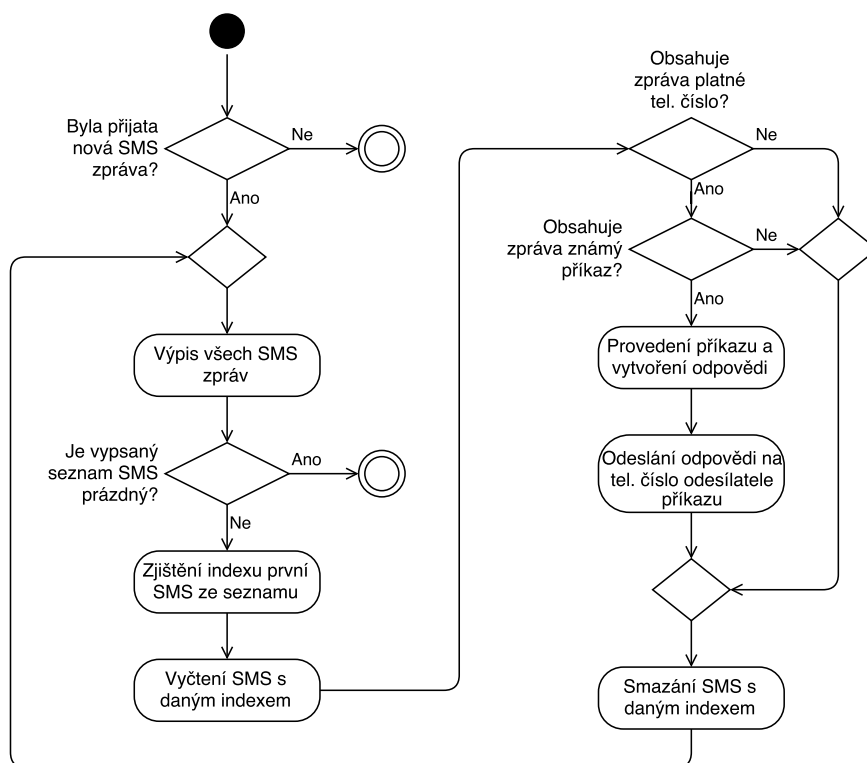
```
"@p;11;861510030034504#"
```

Formát je podobný textové, či datové zprávě odesílané ze zařízení. Obsahuje tedy počáteční ("@") a koncový ("#") znak, mezi kterými je obsažen text párovací zprávy.

Znak "p" označuje, že jde o druh párovací zprávy. Za ním je ID a poté IMEI modulu, oddělené opět znakem ";".

Po zpracování párovací zprávy je ze strany serveru odeslána odpověď ve tvaru:

```
@pairok;11;861510030034504#
```

Obr. 34 Stavový diagram obsluhy příjmu SMS

Ta obsahuje v případě úspěšného spárování odpověď "pairok", ID a IMEI modulu, který párovací zprávu odesílal. Když server potvrzující zprávu neodešle, značí to, že párování se nezdařilo.

Přijatá odpověď ze serveru je v programu značena proměnnou `btMSGReceived`, která se při detekování zprávy nastaví na `btMSGReceived = 1` v obsluze přerušení (viz sekce **Obsluha asynchronních zpráv** na straně 26).

4.1.3 Testy Prototypu 1

Funkcionalita Prototypu 1 byla testována v laboratoři, ve městě i ve vzduchu. V této kapitole je ukázáno několik testů a výsledků.

V rámci testování bylo odzkoušeno odesílání dat na server ČVUT (server 2), který vznikl v rámci dalších projektů ČVUT. Změna serveru s sebou nesla i úpravu formátu výstupních dat. K serveru 2 je možné se připojit přes webové rozhraní a zobrazit mapu s přijatými daty.

Nejdůležitější funkce zařízení je odesílání jeho pozice, získané z GPS modulu. Snímek obrazovky přijatých dat na serveru je na Obr. 35. Datové zprávy obsahují další přidaná data, oproti popsanému základu v sekci **Data určená k odeslání** na straně 33. Jsou to data určená pro server 2.

Ukázka přijetí párovací zprávy na serveru je na Obr. 36. Funkcionalita párování není ze strany serveru zcela dokončená. V tuto chvíli pouze přijme zprávu, počká 10 sekund a odešle odpověď.

Příklad testu v terénu je vidět na Obr. 37. Jedná se o zobrazení souřadnic odeslaných na server 2 v mapách Google.


```

+CMTI: "SM",1
AT+CIPSTART="TCP", " ", " "
OK

CONNECT OK
AT+CIPSEND=94
> @11;D;19.01.17;16:06:39.50;5006.17106x;01423.59055x;0.294;103.00;213.7;5;0;15;modul;3G;-1;-1;#
SEND OK
AT+CIPSEND=93
> @11;D;19.01.17;16:06:44.0;5006.17116x;01423.59770x;0.389;103.00;212.2;5;0;15;modul;3G;-1;-1;#
SEND OK
AT+CIPSEND=93
> @11;D;19.01.17;16:06:49.0;5006.17080N;01423.59503E;0.938;288.54;216.4;5;1;15;modul;3G;-1;-1;#
SEND OK
AT+CIPSEND=91
> @11;D;19.01.17;16:06:54.0;5006.17074N;01423.59212E;0.024;4.84;216.7;5;1;15;modul;3G;-1;-1;#
SEND OK
AT+CIPSEND=91
> @11;D;19.01.17;16:06:59.0;5006.17030N;01423.59114E;0.015;4.84;216.7;5;1;15;modul;3G;-1;-1;#
SEND OK
AT+CMGL="ALL",1
+CMGL: 1,"REC UNREAD", "+420 ", "", "17/01/19,17:06:37+04"
GETALL?

OK
AT+CMGR=1
+CMGR: "REC UNREAD", "+420 ", "", "17/01/19,17:06:37+04"
GETALL?

OK
+CREG: 0,1

OK
AT+CMGS="+420 "
> 19.01.2017, 17:06:37; ID: 11, SRV:IP: , SRV:P: , MDL:P: , PN: +420
, PDP: internet, DSP: 5000.
>
+CMGS: 208

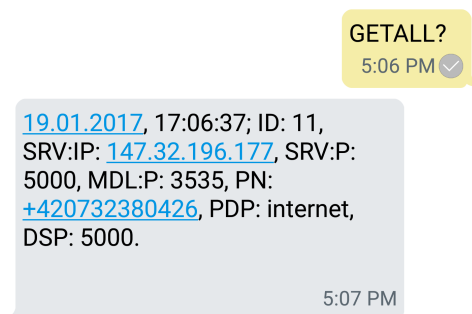
OK
AT+CMGD=1
OK
AT+CMGL="ALL",1
OK

```

Obr. 38 Ukázka terminálu připojeného na výstup GSM modulu

1 příkazuje GSM modulu neměnit status přečtení zprávy (pro budoucí použití). Poté se přečte zpráva s příslušným indexem a proběhne kontrola, zda-li text zprávy obsahuje známý SMS příkaz. "GETALL?" je příkaz (dotaz) na výpis všech nastavení. Odesílateli se tedy odešle zpráva s odpovědí, která obsahuje všechna nastavení zařízení. Přijatá zpráva se nakonec maže z paměti pomocí příkazu "AT+CMGD=i", kde i je index zprávy. Po opětovném výpisu seznamu přijatých zpráv je návratová hodnota pouze "OK", což značí, že je paměť prázdná a obsluha přijetí SMS tím skončila.

Na Obr. 39 je ukázáno odeslání SMS příkazu a úspěšné přijetí odpovědi s požadovanými hodnotami. Jedná se o snímek obrazovky mobilního telefonu při příjmu odpovědi, která byla zpracována v rámci Obr. 38.



Obr. 39 Odeslání SMS příkazu a příjem odpovědi (mobilní telefon)

Firma UpVision provedla několik testových letů Prototypu 1 s drony i v letadle. Snímek z testového letu v letadle je na Obr. 40.



Obr. 40 Testový let [2]

4.2 Prototyp 2

Prototyp 2 byl vyroben společností UpVision s.r.o, která současně s ním pozměnila požadavky. Po bližším průzkumu Prototypu 2 je zřejmé, že s ním není možné dodržet zadání z hlediska připojení CAN zařízení a použití WiFi. Jedná se totiž o finální produkt, na kterém se plánují provádět jen minimální změny a to jen při přidání nových funkcí, případně opravách chyb HW.

Nové požadavky vyžadovaly rozšíření těch původních (Kapitola 3, strana 12) o následující:

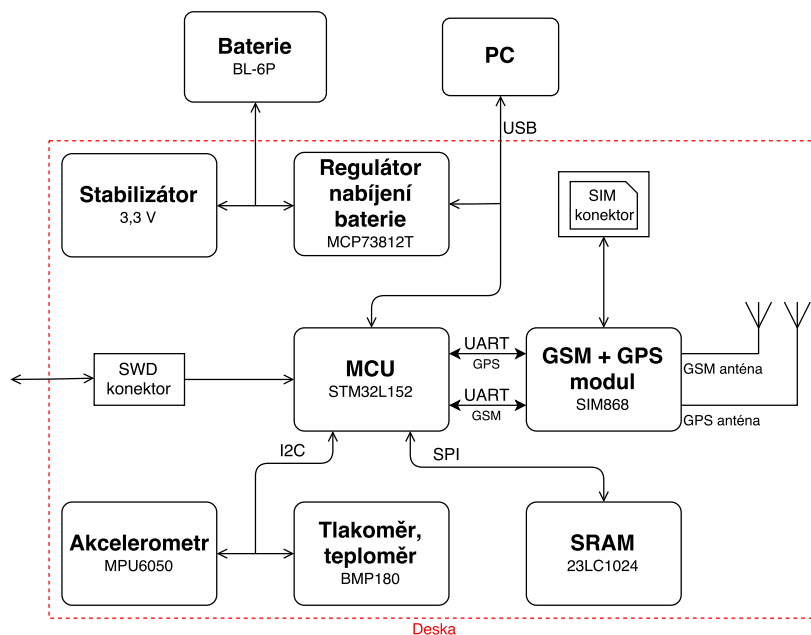
- Rozšířit vnitřní paměť a výkon procesoru
- Možnost jednoduchého dobíjení baterie

Navíc bylo vyžadováno navrácení se k technologii 2G (GSM/GPRS), z důvodu většího pokrytí služby, menších rozměrů a nižší ceny modulu.

4.2.1 Hardware

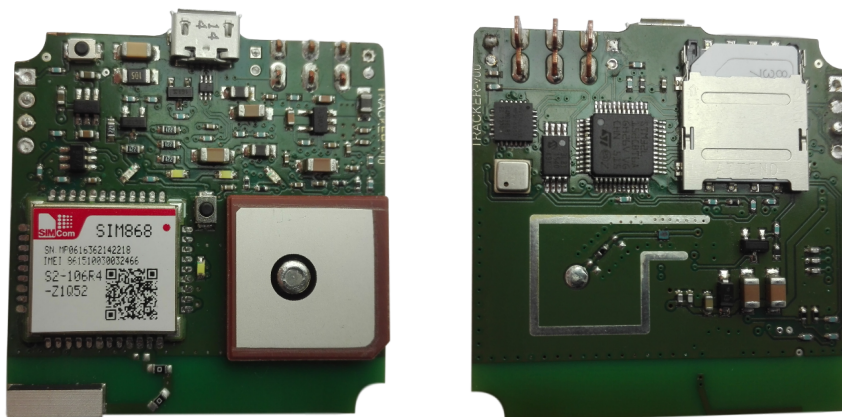
Toto zařízení nechala společnost UpVision vyrobít pro rychlé splnění všech podmínek. Prototypu 2 má rozměry 48 × 48 × 19 mm. Na Obr. 41 je jeho blokové schéma zapojení.

Srdcem je procesor (dále jen MCU), ke kterému je přes sběrnice UART (UART_GPS, UART_GSM) připojen modul SIM868, sdružující GSM a GPS do jednoho pouzdra, popisovaný v Kapitole 3. Dále jsou k MCU přes sběrnici I2C připojeny dva senzory. Jsou jimi MCU6050 a BMP180, popsané v sekci **Senzory** na straně 24. Nicméně v tomto případě nebyly použity vývojové desky. MCU má rozšířenou paměť RAM o externí SRAM komunikující po sběrnici SPI. O napájení desky se starají baterie a stabilizátor na 3,3 V. Je zajištěna regulace nabíjení baterie přes sběrnici USB. Součástí desky jsou také konektor (držák) SIM karty; konektor SWD, který slouží pro programování procesoru; a dvě antény - pro GSM a GPS část modulu SIM868.



Obr. 41 Blokové schéma zapojení Prototypu 2

K MCU jsou připojena dvě tlačítka pro ovládání a 5 LED (3 bílé, 2 červené) pro signalizaci. Bílé LED jsou připojeny k pinu MCU dohromady, svítí tedy vždy všechny najednou. Červené se mohou rozsvítit zvlášť. Pohled na spodní i vrchní stranu desky Prototypu 2 je na Obr. 42.

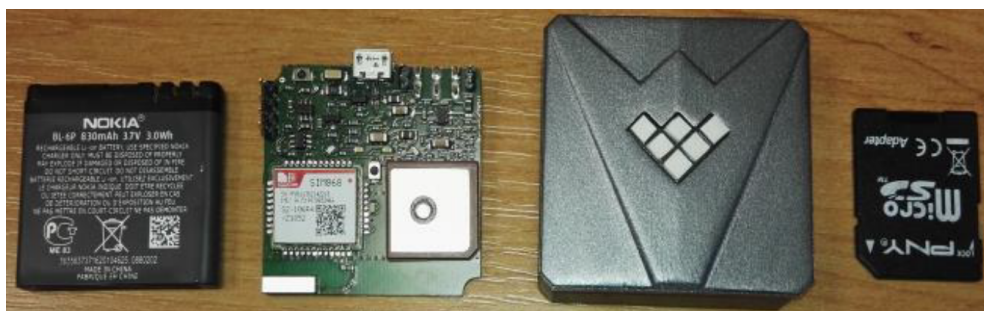


Obr. 42 Prototyp 2

Kompletní soběstačný hardware (tedy baterie, zařízení a kryt) je vidět na Obr. 43. Pro dobrou představu o velikosti zařízení je tento HW porovnán s velikostí SD karty.

Processor

Je použit procesor STM32L152, v pouzdru LQFP-48, od firmy ST Microelectronics s jádrem ARM Cortex-M3. Jeho maximální rychlost je 32 MHz. Procesory řady L mají velmi nízkou spotřebu. Má hardwarovou podporu sběrnic USB, 3x USART, 2x SPI a 2x I2C. Disponuje 128 KB Flash, 4 KB EEPROM a 16 KB RAM.



Obr. 43 Baterie, zařízení a kryt v porovnání s SD kartou [3]

Může být programován pomocí SWD programovacího/debugovacího konektoru, který se nachází na desce, případně pomocí USB bootladeru.

SRAM

Paměť RAM procesoru je rozšířena statickou RAM (SRAM) 23LC1024 firmy Microchip Technology. Jedná se o paměť velikosti 1 Mbit komunikující po sběrnici SPI. Podporuje navíc rozhraní SDI (Serial Dual Interface) a SQI (Serial Quad interface).

Prototyp 2 je HW připraven i na režim komunikace po rozhraní SQI. Program však tuto možnost zatím nepodporuje.

Paměť SRAM slouží zejména k ukládání dat, která nemohla být odeslána na server z důvodu dlouhodobého výpadku GSM signálu.

Obvody napájení a baterie

Zdrojem zařízení je 3,7 V Li-Ion baterie Nokia BL-6P s kapacitou 830 mAh. Její rozměry jsou $37 \times 37 \times 6$ mm.

Napětí z baterie je regulováno na 3,3 V spínaným stabilizátorem (nábojová pumpa) REG710NA-3.3/250 firmy Texas Instruments. Regulované napětí není použito pro modul SIM868, který například při vysílání dat odebírá nárazově velké množství proudu (až 500 mA). Proto je modul napájen přímo z baterie.

Prototyp 2 umožňuje nabíjení baterie přes USB konektor. Plné nabití baterie v co nejkratším čase zajišťuje regulátor nabíjení MCP73811/2 firmy Microchip Technology.

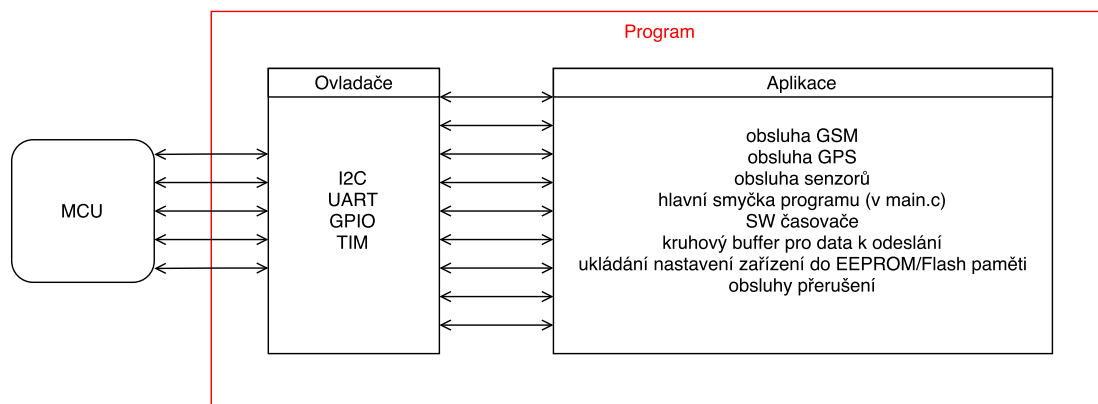
4.2.2 Program

Z důvodu použití jiného procesoru než v Prototypu 1, bylo třeba vytvořit strukturu kódu, která odděluje program na část záviselou na použitém procesoru (Ovladače) a část nezáviselou na procesoru (Aplikace). Takové rozdělení je vidět na Obr. 44.

Program Prototypu 2 (dále Program 2) vychází z programu Prototypu 1 (dále Program 1), který musel být upraven tak, aby bylo možné jednoznačně rozlišit tyto dvě části.

Část označená jako Aplikace, obsahující například funkce a stavové automaty obsluhy GPS a GSM modulu, může být zachována z Programu 1. V této části se změny procesoru neprojevují. Používají se zde funkce z části Ovladače.

V části označené jako Ovladače jsou funkce přímo spojené s procesorem. Jsou jimi například obsluha sběrnice I2C a UART, obsluha časovače (TIM = timer), případně obsluha GPIO (General purpose input/output). Celou tuto část je třeba změnit pokaždé, kdy se změní procesor.



Obr. 44 Struktura programu

Program je opět v programovacím jazyce C. Byl psán, kompilován a debugován ve vývojovém prostředí IAR Embedded Workbench for ARM (IAR EWARM). Jako programátor sloužil ST-LINK/V2-1 na vývojové desce NUCLEO-L476RG, jenž byl připojen k Prototypu 2 přes SWD konektor.

Aplikační část se mohla převzít téměř bez úprav z Programu 1. Program 1 byl před transformací do Programu 2 zrevidován a bylo odstraněno několik chyb. Bylo třeba přizpůsobit funkce novému GSM modulu. Tyto změny byly ale minimální, protože modul SIM868 je téměř totožný s modulem SIM800L.

Byly implementovány nové funkce jako zjištění stavu baterie, varovné hlášení nízkého stavu baterie, určení přibližné aktuální polohy pomocí GSM sítě a další. Tyto funkce jsou popsány v následujících kapitolách.

Vytvoření ovladačů

Pro základ části Ovladače byl použit program STM32CubeMX. Ten umožňuje grafické nastavení funkcí jednotlivých pinů procesoru (viz Obr. 45).

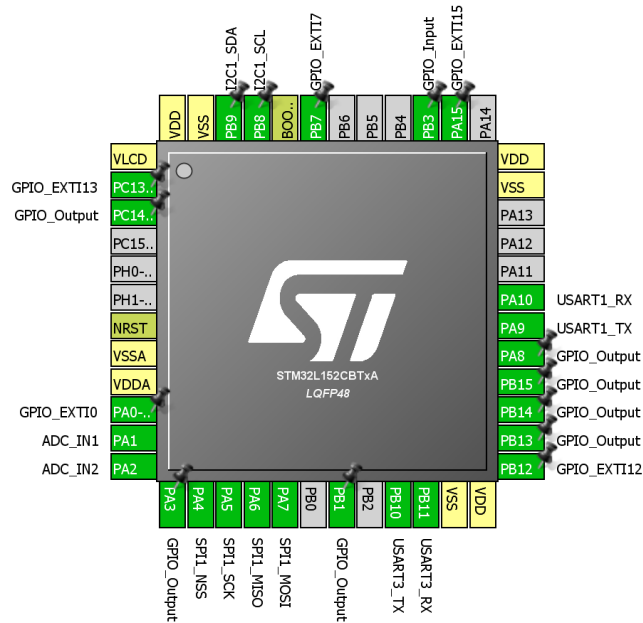
Je možné také měnit nastavení hodin procesoru. Prototyp 2 používá jako zdroj hodinových pulzů HSI (High Speed Internal) RC oscilátor s frekvencí 16 MHz. Pro násobení výstupní frekvence oscilátoru je použit PLL (Phase Locked Loop, fázový závěs). Schéma konfigurace hodin procesoru je na Obr. 46.

Po celkovém nastavení byl programem STM32CubeMX vygenerován projekt, který obsahoval všechny potřebné knihovny (HAL) k procesoru Prototypu 2, včetně navolené konfigurace periférií a GPIO. Takto vytvořený projekt tvořil základ programu.

Pro větší srozumitelnost a přehlednost kódu byly vytvořeny definice, které provádějí substituci názvů z knihovny HAL na názvy funkcí daného GPIO. Tedy například definice červené LED 1 (LEDR1) jsou:

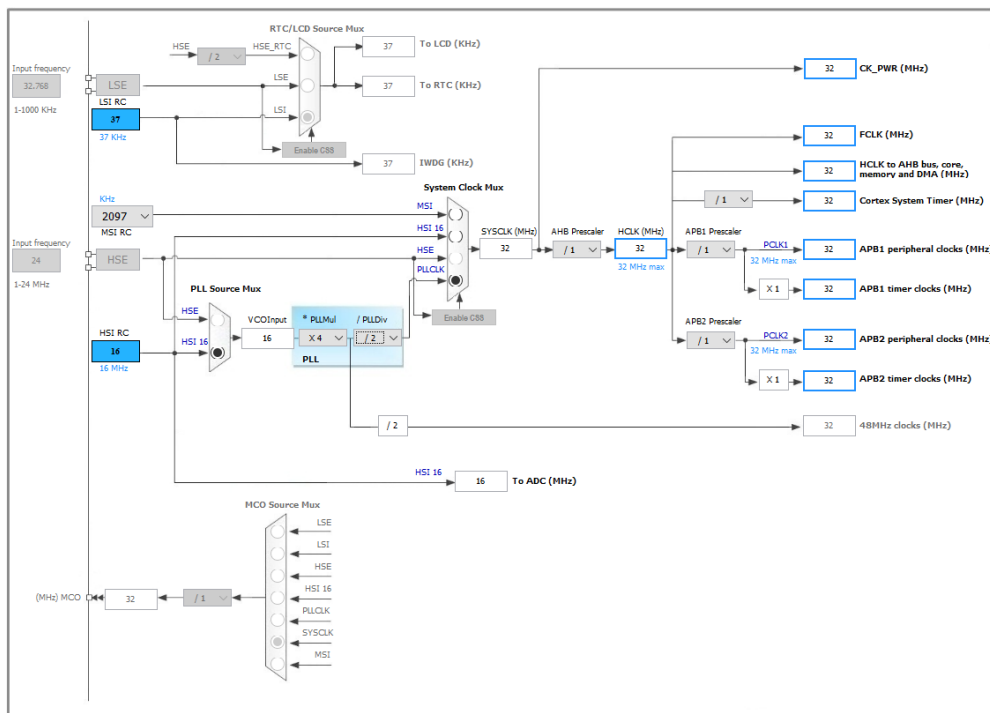
```
#define LEDR1_PIN          GPIO_PIN_3
#define LEDR1_GPIO_PORT   GPIOA
#define LEDR1_GPIO_CLK_ENABLE()  __GPIOA_CLK_ENABLE()
```

4 Realizace



Obr. 45 Nastavení pinů procesoru v programu STM32CubeMX

```
#define LEDR1_GPIO_CLK_DISABLE() __GPIOA_CLK_DISABLE()
```



Obr. 46 Konfigurace hodin procesoru v programu STM32CubeMX

Na základě definic se poté upravily vygenerované inicializační funkce jednotlivých GPIO a periférií. V případě GPIO byly vytvořeny funkce pro jejich ovládání (nastavování logických hodnot).

Dále byly implementovány funkce pro obsluhu ADC, časovačů a sběrnic SPI, I2C a

UART. Všechny používají funkce HAL knihovny. Výjimku tvoří pouze obsluha sběrnice UART.

Funkce HAL knihovny pro příjem zpráv přes sběrnici UART nepodporuje přijímání zprávy o neznámé délce. Tato funkce vyžaduje parametr s hodnotou délky přijímané zprávy v bajtech (1 bajt = 1 znak). Při volání této funkce se povolí přerušování ze sběrnice UART a nastaví se příznak používání sběrnice na `HAL_UART_STATE_BUSY_RX` (probíhá čtení). Vyčítání zpráv je řešeno přes přerušování, které se vygeneruje při příjmu každého znaku. Dané přerušování je však automaticky obslouženo funkcemi knihovny HAL. Teprve při načtení všech znaků (bajtů), tzn. po dokončení příjmu zprávy z UART, je volána naprogramovaná neknihovnovní obsluha přerušování. Na závěr se zakáže přerušování od sběrnice UART a nastaví se příznak používání sběrnice na `HAL_UART_STATE_READY` (sběrnice připravena).

V případě zpráv od modulu SIM868 však není velikost zpráv (počet bajtů/znaků) známa. Jednou z možností bylo nastavit délku zprávy na 1 bajt. To by generovalo přerušování při přijetí každého znaku tak, jako tomu bylo v případě Programu 1. Celý proces obsluhy přerušování je ale zdoluhavý a pro účely Programu 2 zbytečný. Při testu takového nastavení se navíc některé znaky ztrácely. Bylo tedy nutné tuto funkci přepsat.

Správné funkce přijímání znaku ze sběrnice UART bylo docíleno trvalým povolením přerušování z této sběrnice a nastavením příznaku používání sběrnice na `HAL_UART_STATE_BUSY_RX` (probíhá čtení). Dále musela být upravena i funkce obsluhy přerušování HAL knihovny, kde se namísto volání funkce knihovny HAL, pro zpracování znaku, provádí volání neknihovnovní obsluhy přerušování.

Data určená k odeslání

Princip funkce odesílání dat na server je stejný jako tomu bylo u Prototypu 1. Byl však změněn formát dat určených k odeslání.

Základní odesílaná data v rámci Prototypu 2:

- Datum a čas
- Zeměpisná šířka a délka získaná z GPS a GSM modulu
- Rychlost
- Výška
- Počet viditelných satelitů
- Kvalita GPS signálu
- Síla GSM signálu
- Napětí baterie
- Data ze senzorů

Stejně jako u Prototypu 1 platí, že zpráva odeslaná na server začíná znakem "@" a končí "#". Jednotlivá data jsou od sebe oddělena znakem ";". Za počátečním znakem je vždy uvedeno ID modulu a označení, o jaký druh zprávy se jedná (T = text, D = data,

4 Realizace

I = informační zpráva). Za touto informací je pak vždy čas vysílaný systémem GPS.

Formát zprávy:

@I;Z;c;x;dd.mm.rr;hh:mm:ss.s;ss.ssssss;ss.ssssss;h.h;v.v;x;x;a;a;a;t.t;p.p;
S;F;s;x;x;x;ss.ssssss;ss.ssssss;dd.mm.rr;hh:mm:ss;v.v#

Význam je uveden v Tab. 11.

Zpráva Prototypu 2 obsahuje více informací než tomu bylo u Prototypu 1. Jedná se o aktuální napětí baterie, data z akcelerometru, tlakoměru a teploměru. Dále se nově odesílají data získaná ze sítě GSM. Jsou jimi poloha, datum a čas.

Tab. 11 Popis formátu zpráv odesílaných na server (Prototyp 2)

Pozice	Formát	Informace
1	I	ID modulu
2	Z	Znak druhu zprávy
3	c	Číslo zprávy
4	x	Rezervováno
	dd.mm.rr	Datum [d: den, m: měsíc, r: rok]
	hh:mm:ss.s	Čas [h: hodina, m: minuta, s: sekunda]
	ss.ssssss	Zeměpisná šířka [°]
	ss.ssssss	Zeměpisná délka [°]
	h.h	Výška [metr]
	v.v	Rychlost [uzel]
	x	Rezervováno
	x	Rezervováno
	a	Specifická síla (osa x) [g]
	a	Specifická síla (osa y) [g]
	a	Specifická síla (osa z) [g]
	t.t	Teplota [° C]
	p.p	Tlak [hPa]
	S	Počet viditelných GNS satelitů
	F	Kvalita GPS spojení
	s	RSSI [dB] (Received Signal Strength Indicator, síla GSM signálu)
	x	Rezervováno
	x	Rezervováno
	x	Rezervováno
	ss.ssssss	Zeměpisná šířka (GSM) [°]
	ss.ssssss	Zeměpisná délka (GSM) [°]
	dd.mm.rr	Datum (GSM) [d: den, m: měsíc, r: rok]
	hh:mm:ss	Čas (GSM) [h: hodina, m: minuta, s: sekunda]
	v.v	Napětí baterie [V]

Příklad serverem přijaté zprávy:

```
@7;D;12;x;19.04.17;14:46:23.0;50.068531;14.377155;215.0;39.74;x;x;133;-109;
-903;34.20;1226.84;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.7#
```

Data o poloze z GSM sítě jsou většinou dostupná dříve než data o poloze z GPS. Používají se pro kontrolu a pro rychlý odhad pozice zařízení.

Zjištění stavu nabití baterie

Pro zjištění stavu nabití baterie bylo třeba implementovat funkci pro měření napětí pomocí AD převodníku procesoru STM32L152. Bylo využito funkcí knihovny HAL. Výsledná implementace je v Kódu 5.

```
float getBatteryVolt( void )
{
    float retVal = -2;

    if (HAL_ADC_Start(&ADC_Handle) != HAL_OK)
    {
        /* Conversion Error */
        retVal = -1;
    }

    if (HAL_ADC_PollForConversion(&ADC_Handle, 500) != HAL_OK)
    {
        /* End Of Conversion flag not set on time */
        retVal = -1;
    } else
    {
        /* ADC conversion completed */
        retVal = (2*(3.3/4095))*((float)HAL_ADC_GetValue(&ADC_Handle));
    }

    HAL_ADC_Stop(&ADC_Handle);

    return retVal;
}
```

Kód 5 Funkce pro měření napětí pomocí AD převodníku

Návratová hodnota této funkce (`retVal`) je napětí baterie, případně definovaná chybová hodnota, kterou je možné detekovat. Zobrazení úrovně nabití baterie je popsáno v sekci **Obsluha LED** na straně 51.

Varovné hlášení nízké úrovně napětí baterie

Modul SIM868 automaticky, po překročení prahu nízké úrovně jeho napájecího napětí, generuje zprávu "UNDER-VOLTAGE WARNING". Tato zpráva je detekována v obsluze přerušování stejným způsobem, jako je prováděna například detekce příjmu SMS zpráv, která je popsána v sekci **Obsluha asynchronních zpráv** na straně 26. Proměnná, která slouží jako příznak detekce, je v tomto případě `btUnderVoltWarn`.

Bylo nutné upravit podmínku v obsluze přerušování. Ta je vidět v Kódu 6.

4 Realizace

```
if( uTmp == cMAIN_CMTI_MSG )
{
    // SMS received
    glb_oSCI_Context.btSMSReceived = 1;
} else if( uTmp2 == cMAIN_VOLT_WARN_MSG2 && uTmp1 == cMAIN_VOLT_WARN_MSG1 &&
uTmp == cMAIN_VOLT_WARN_MSG0 )
{
    // Under-Voltage Warning MSG received
    glb_oSCI_Context.btUnderVoltWarn = 1;
} else if( uTmp2 == cMAIN_RECV_MSG2 && uTmp1 == cMAIN_RECV_MSG1 && uTmp ==
cMAIN_RECV_MSG0 )
{
    // MSG from server received
    glb_oSCI_Context.btMsgReceived = 1;
}
```

Kód 6 Pozměněná podmínka v detekci asynchronních zpráv v obsluze přerušení

Definice části obsahu zprávy jsou vidět v Kódu 7.

```
#define cMAIN_VOLT_WARN_MSG2 (uint32_t)( ((uint32_t)'U') << 24 |
((uint32_t)'N') << 16 | ((uint32_t)'D') << 8 | (uint32_t)'E')
#define cMAIN_VOLT_WARN_MSG1 (uint32_t)( ((uint32_t)'R') << 24 |
(uint32_t)'-' << 16 | ((uint32_t)'V') << 8 | (uint32_t)'0')
#define cMAIN_VOLT_WARN_MSG0 (uint32_t)( ((uint32_t)'L') << 24 |
(uint32_t)'T') << 16 | ((uint32_t)'A') << 8 | (uint32_t)'G')
```

Kód 7 Definice obsahu asynchronní zprávy varovného hlášení nízké úrovně napětí baterie

V případě, že je hlášení nízkého stavu baterie detekováno, odešle se příslušná zpráva na server. Formát zprávy je:

```
@i;I;n;UNDER-VOLTAGE WARNING!#
```

kde i je ID modulu a n je číslo zprávy.

Zapnutí a vypnutí zařízení

Zařízení se vypíná přidržetím tlačítka na déle než 3 sekundy. Po této době se volá funkce, která uzavře spojení se serverem, vypne senzory a část modulu GSM i GPS, a volá funkce HAL knihovny, připravující procesor na přechod do Standby módu. V tomto módu je napájen pouze LSI (low speed internal) oscilátor a záložní registry, všechna data v RAM jsou vymazána a procesor má velmi nízkou spotřebu (0,3 μ A) [35]. Tělo funkce je vidět v Kódu 8.

```
glb_oGSM_Context.btStateMachine = 0;
while( GSM_Disconnect( &glb_oGSM_Context ) != 1 );

GPS_Disable();
GSM_GPS_PowerSwitch();

glb_oIIC_Context.iIIC_StateMachine = 0;
while( IIC_SensorsPD( &glb_oIIC_Context ) != 1 );
```

```

/* Disable all used wakeup sources: WKUP pin */
HAL_PWR_DisableWakeUpPin(PWR_WAKEUP_PIN1);

/* Clear all related wakeup flags */
/* Clear PWR wake up Flag */
__HAL_PWR_CLEAR_FLAG(PWR_FLAG_WU);

/* Enable WKUP pin */
HAL_PWR_EnableWakeUpPin(PWR_WAKEUP_PIN1);

/* Request to enter STANDBY mode */
HAL_PWR_EnterSTANDBYMode();

```

Kód 8 Funkce zajišťující vypnutí zařízení

Procesor opustí Standby mód se vzestupnou hranou Wakeup pinu, ke kterému je připojeno právě tlačítko. Zařízení se tedy zapíná stisknutím tlačítka.

Získání polohy z GSM sítě

Modul SIM868 po příkazu AT+CIPGSMLOC=1, 1 vrací odpověď, která obsahuje hodnotu polohy získané z GSM sítě. Odpověď má tvar:

```
+CIPGSMLOC:c,ss.ssssss,sss.ssssss,rrr/mm/dd,hh:mm:ss
```

Jednotlivá data jsou oddělena čárkou a jejich význam je uveden v Tab. 12.

Tab. 12 Význam formátu přijaté odpovědi na příkaz AT+CIPGSMLOC=1, 1

Pozice	Formát	Informace
1	c	Status přenosu (0 = úspěch)
2	ss.ssssss	Zeměpisná délka (s:stupně)
3	sss.ssssss	Zeměpisná šířka (s:stupně)
4	rrrr/mm/dd	Datum (r:rok, m:měsíc, d:den)
5	hh:mm:ss	Čas (h:hodina, m:minuta, s:sekunda)

Příklad odpovědi:

```
+CIPGSMLOC:0,50.076614,014.415920,2017/04/13;18:02:09
```

Data z odpovědi se ukládají do příslušných proměnných a později se odesílají na server.

Obsluha LED

Jak již bylo řečeno v kapitole 4.2.1, Prototyp 2 má k dispozici 5 LED (2 červené a 3 bílé). Dle požadavků firmy UpVison byla implementována funkce pro obsluhu LED. Ta má za úkol zobrazovat, za pomoci dvou dostupných barev, různé stavy ve kterých se zařízení nachází. Bylo rozhodnuto rozsvěcet všechny LED stejné barvy vždy najednou.

4 Realizace

Jedná se o příznaky těchto stavů:

1. Inicializace
2. Dokončené párování
3. Dokončená inicializace
4. Odesílání
5. Stav nabití baterie

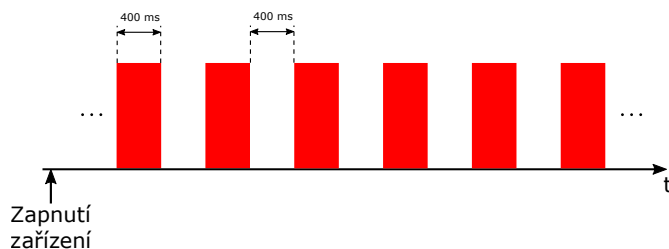
V následující části budou jednotlivé zobrazované stavy popsány. Na obrázcích je ilustrováno příslušné blikání LED. Jedná se o grafy, kde na ose x je vynesen čas a na ose y je diskretní hodnota LED: svítí/nesvítí. Význam jednotlivé barvy v grafech je uveden v Tab. 13.

Tab. 13 Význam barev v obrázcích obsluhy LED

Barva	Význam
Červená	Svítí červená LED
Bílá	Svítí bílá LED
Prázdná	Nesvítí žádná LED

1. Inicializace

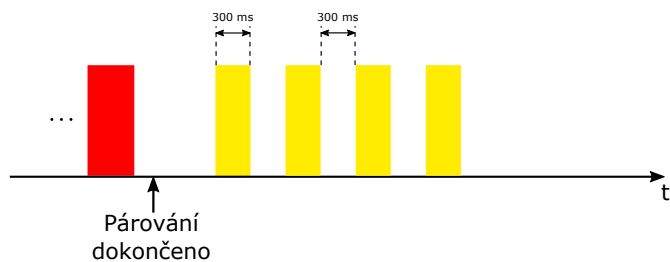
Po zapnutí napájení blikají červené LED s periodou 800 ms a střídou 50 % (viz Obr. 47). Značí to inicializaci zařízení. Zařízení setrvává v tomto stavu do té doby, než jsou data z GPS k dispozici a GSM modul úspěšně navázal spojení se serverem.



Obr. 47 Inicializace

2. Dokončené párování

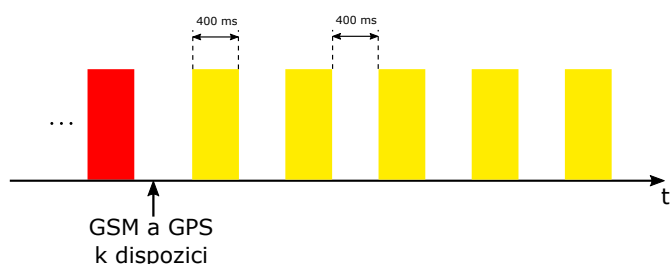
Po celou dobu párování může být zařízení v inicializačním stavu. Tedy blikají červené LED (červená v grafu). Po úspěšném dokončení párování se 4 krát rozsvítí bílé LED s periodou 600 ms a střídou 50 % (viz Obr. 48).



Obr. 48 Dokončené párování

3. Dokončená inicializace

Po úspěšném dokončení inicializace zařízení zablikají bílé LED 5 krát a přejde se do stavu Odesílání. LED blikají s periodou 800 ms a střídou 50 % (viz Obr. 49).

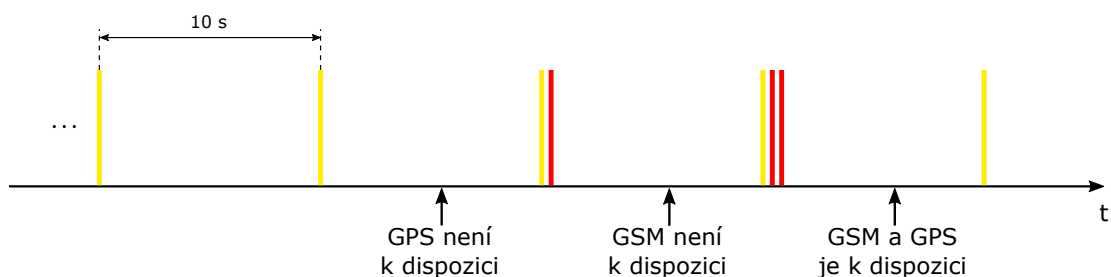


Obr. 49 Dokončená inicializace

4. Odesílání

Ve stavu Odesílání blikají bílé LED 1 krát za 10 sekund, s dobou svícení rovnou 400 ms (viz Obr. 50). Toto značí správnou funkci zařízení.

V tomto stavu se detekují chyby (výpadky) GSM a GPS dat. Pokud dojde k výpadku GPS dat (nejsou k dispozici), po bílých LED 1 krát zablikají červené LED. Pokud dojde k výpadku GSM, případně GPS i GSM, po bílých LED zablikají červené LED 2 krát.



Obr. 50 Odesílání

5. Stav nabití baterie

Pokud kdykoliv uživatel stiskne krátce tlačítko (do 1 sekundy doby stlačení), zařízení zjistí stav nabití baterie a zobrazí jej pomocí LED. Na začátku se rozsvítí bílé LED a poté blikají červené LED. Počet bliknutí červených LED závisí na změřeném napětí baterie. Podmínky k rozhodnutí počtu bliknutí jsou vidět v Kódu 9. Po ukončení posloupnosti blikání červených LED se

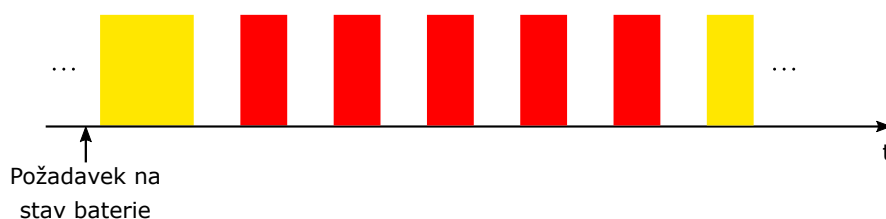
blikne 1 krát bílými LED a přejde se do stavu, ve kterém se zařízení nacházelo před zobrazením Stavů nabití baterie.

```

if( batVolt > 3.8 )
{
  numBlinks = 5;
} else if( batVolt > 3.7 )
{
  numBlinks = 4;
} else if( batVolt > 3.6 )
{
  numBlinks = 3;
} else if( batVolt > 3.5 )
{
  numBlinks = 2;
} else
{
  numBlinks = 1;
}

```

Kód 9 Podmínky definující počet bliknutí červených LED



Obr. 51 Stav nabití baterie

4.2.3 Testy Prototypu 2

Mimo ukázky funkcionalit (jako je například párování) a testy v terénu Prototypu 1, které byly ukázány v kapitole 4.1.3, byly provedeny také testy nových funkcí Prototypu 2.

Mezi ně patří například detekce varovného hlášení nízké úrovně napájecího napětí modulu SIM868. Zobrazení zprávy na serveru je vidět na Obr. 52.

```

"@11;D;180;x;04.05.17;16:59:58.0;49.177429;16.499552;266.5;54.12;x;x;281;14
"@11;D;181;x;04.05.17;17:00:02.0;49.177830;16.498831;266.1;58.60;x;x;372;16
"@11;I;182;UNDER-VOLTAGE WARNING!#"
"@11;D;183;x;04.05.17;17:00:07.0;49.178368;16.497919;264.4;63.51;x;x;302;91
"@11;D;184;x;04.05.17;17:00:12.0;49.178875;16.496960;264.0;64.52;x;x;309;36
"@11;D;185;x;04.05.17;17:00:17.0;49.179382;16.495991;268.1;65.08;x;x;335;51
"@11;D;186;x;04.05.17;17:00:22.0;49.179905;16.495008;270.5;65.63;x;x;295;56

```

Obr. 52 Zpráva hlášení nízké úrovně napětí baterie na serveru

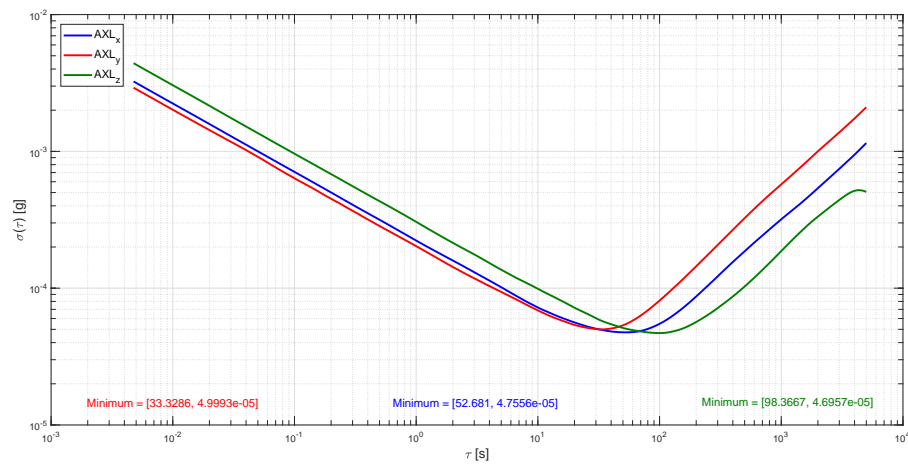
Byla provedena analýza šumových vlastností akcelerometru MPU6050 pomocí "Allan Variance" metody (AVAR) na základě dokumentu [36]. Sběr statických dat probíhal přibližně 4 hodiny s frekvencí sběru dat 210 Hz. Graf analýzy je na Obr. 53. Analýza byla počítána pro všechny 3 osy akcelerometru.

Hodnoty minima jednotlivých os jsou:

$$AXL_x : \sigma(33) \approx 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ g}$$

$$AXL_y : \sigma(53) \approx 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ g}$$

$$AXL_z : \sigma(98) \approx 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ g}$$



Obr. 53 Výsledek metody "Allan Variance" akcelerometru MPU6050

Na Obr. 54 přílohy B je ukázka dat odesílaných Prototypem 2 na server. Je na něm vidět například změřené napětí baterie; nebo pozice, datum a čas získaný z GSM modulu.

5 Závěr

Cílem této práce byl návrh elektronické jednotky, která umožní odesílat na server data přijatá z GPS modulu a sběrnice CAN. Odesílání dat mělo být prováděno pomocí GSM a WiFi modulů. Mělo být možné předávat servisní informace přes rozhraní RS232. Současně se mělo komunikovat s existujícím aerometrickým modulem a některá data zobrazovat na displeji EFIS s pohyblivou mapou.

Zadání práce vzniklo na základě požadavků firmy UpVision s.r.o., jejímž cílem bylo vyvinout pro svůj systém MAIA sledovací zařízení, sloužící k monitorování bezpilotních prostředků.

Na začátku byl proveden rozbor možného řešení zadání a rešerše dostupných modulů, potřebných pro tuto práci. Na základě těchto informací vznikly 2 návrhy řešení splňující zadání. Návrh řešení 1 využíval Wifi modul SPWF01SA pro komunikaci se zobrazovačem EFIS a obsahoval modul MC60, případně SIM868, sdružující GSM a GPS. Návrh řešení 2 zahrnoval Komunikační rozhraní systému avionických modulů, které by výrazně zjednodušilo celý postup. To je schopné odesílat všechna přijatá data dále po rozhraní RS232, WiFi a další. Tento návrh také obsahoval modul MC60, případně SIM868.

Dále byla vyhledána dostupná komerční zařízení s podobným využitím a na závěr porovnána s výsledkem této práce.

Práce vycházela z již existujícího řešení (Prototypu 1), které měla za úkol rozšířit a upravit. V rámci práce vznikla druhá verze Prototypu 1 a byly přidány nové funkce a prováděny opravy stávajícího kódu. Mezi implementované funkce patří následující. Ukládání vytvořené struktury dat nastavení komunikace zařízení, kterou je třeba za běhu programu měnit. Struktura je ukládána do EEPROM, která byla zvolena z důvodu zachování dat i po odpojení napájení. Data je možné vyčítat, případně nastavovat pomocí SMS příkazů. Z tohoto důvodu byla napsána funkce pro přijímání a odesílání SMS. SMS zprávy, stejně jako zprávy ze serveru, jsou přijímány asynchronně a jsou detekovány v obsluze přerušování příjmu znaku z GSM modulu. V neposlední řadě byla implementována funkce pro párování.

Z důvodu nových požadavků, které stanovily použití modulu sdružujícího GSM a GPS do jednoho pouzdra a podporu 3G sítě, bylo třeba vytvořit novou verzi Prototypu 1. V této verzi byl použit GSM modul s odlišnou sadou AT příkazů. Byla proto nutná úprava kódu pro nový typ použitého GSM modulu.

Při testování třetí verze Prototypu 1 bylo firmou zjištěno, že je vhodnější navrátit se k použití 2G modulů z důvodu většího pokrytí služby, menších rozměrů a nižší ceny. Firma proto nechala vyrobit Prototyp 2 pro rychlé splnění všech podmínek. Prototyp 2 představuje jedno z finálních řešení. V rámci této práce byly vygenerovány ovladače procesoru v programu STM32CubeMX. V Prototypu 2 byly také implementovány nové funkce. Patří mezi ně zjištění stavu nabití baterie (měření jejího napětí), detekce hlášení nízké úrovně napájecího napětí, získání polohy z GSM sítě, zobrazování stavu zařízení

pomocí LED a vypínání zařízení.

Primární funkcí zařízení vyvíjeného v rámci této práce mělo být především odesílání pozice na server. Další body v zadání byly plánované jako rozšíření této základní funkcionality s předpokladem, že budou pro účely použití zařízení užitečné. Jak je popsáno výše, v průběhu vývoje se však ukázalo, že pro splnění všech podmínek finálního řešení pro komerční účely bylo potřeba vytvořit jiné podstatné funkce (viz opakované změny zadání ze strany firmy). Prototyp 2 zadané požadavky firmy splňuje.

Servisní informace jsou předávány pomocí SMS, aby je bylo možné získávat i v terénu (bezdrátově).

V průběhu práce byly zjištěny a firmě doporučeny dvě úpravy HW. První změnou je připojení externího 24 MHz krystalu (HSE, High Speed External) k procesoru. V této verzi Prototypu 2 nemohl být využíván konektor USB k přenosu dat, právě kvůli nesplnění podmínky použití HSE. Druhá změna je připojení STATUS pinu k procesoru. Tento pin se nachází v log. 1 v případě, že je GSM část modulu SIM868 zapnuta. Pokud je v log. 0, GSM část je vypnuta. Připojením tohoto pinu se zjednoduší kód.

Programovou část je možné také dále vylepšovat. Například implementovat komunikaci po USB, USB bootloader (tj. nahrání kódu do procesoru přes USB), GSM bootloader, aj.

Tím, že je Prototyp 2 soběstačným zařízením, tedy že obsahuje vše podstatné pro svoji funkci, může být použit jako sledovací zařízení nejen pro drony. Své uplatnění může najít například i v automobilové a lodní dopravě.

Použitá literatura

- [1] Air Traffic By The Numbers [online]. Federal Aviation Administration. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z: https://www.faa.gov/air_traffic/by_the_numbers/
- [2] Tracking details. In: UpVision s.r.o. [online]. UpVision s.r.o., © 2017. [cit. 30.4.2017]. Dostupné z: <https://flymaia.com/>
- [3] PAČES Pavel, KONRÁD Aleš a ROLLO Milan. Independent Global Monitoring System for Remotely Piloted Aircrafts [přijato k publikaci]. In: AUVSI XPONENTIAL 2017: Konference bezpilotních systémů a robotiky, 8.-11. května 2017, Dallas, USA. [cit. 19.5.2017].
- [4] Podle kterého předpisu se řídí provoz bezpilotních letadel/systémů? [online]. Úřad pro civilní letectví, © 2011. [cit. 7.4.2017]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/proc-byly-pozadavky-na-ua-stanoveny-a-podle-ktereho-predpisu>
- [5] Convention on International Civil Aviation - Doc 7300 [online]. International Civil Aviation Organization, © 2011. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z: <http://www.icao.int/publications/Pages/doc7300.aspx>
- [6] Introduction [online]. International Civil Aviation Organization, © 2011. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z: <http://www.icao.int/ChicagoConference/Pages/chicago-conference-introduction.aspx>
- [7] About ICAO [online]. International Civil Aviation Organization, © 2011. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z: <http://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>
- [8] Úmluva č. 147/1947 Sb., o mezinárodním civilním letectví. In: Sbírka zákonů. [cit. 27.4.2017]. Dostupná také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=242>
- [9] The Chicago Conference [fotografie]. International Civil Aviation Organization [online]. Dostupné z: http://www.icao.int/ChicagoConference/html/photo_4.html
- [10] Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpis. Portál veřejné správy. [cit. 27.4.2017] Dostupný také z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=45184&nr=49~2F1997&rpp=15#local-content>
- [11] Letecké předpisy [online]. Úřad pro civilní letectví, © 2011. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/predpisy/letecke-predpisy>
- [12] Předpisy [online]. Řízení letového provozu ČR, s.p. - Letecká informační služba, [cit. 27.4.2017]. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

- [13] Kde je možné bezpilotní letadla (UA) provozovat? [online]. Úřad pro civilní letectví, © 2011. [cit. 27.4.2017]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/kde-je-mozne-ua-provozovat>
- [14] MLEJNEK, Jiří. Realizace online systému sledování letadel v průběhu plachtařských závodů. Praha, 2009. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická, Katedra měření.
- [15] Trackimo Drone GPS Tracker with Drone attachment kit. In: Trackimo [online]. Trackimo, © 2017. [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <https://buytrackimo.myshopify.com/collections/frontpage/products/trackimo-drone-gps-tracker?aff=15>
- [16] Marshall GPS System. In: Marshall Radio Telemetry [online]. Marshall Radio Telemetry. [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://marshallradio.com/eu/european-falconry-products/european-falconry-gps-systems/item/619-marshall-gps-system-eu>
- [17] Flytrex Live 3G. In: Flytrex [online]. Flytrex, © 2017. [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://www.flytrex.com/shop/flytrex-live-3g-drone-tracker/>
- [18] SIM868 Hardware Design datasheet. [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: http://simcom.ee/documents/SIM868/SIM868_Hardware_Design_V1.03.pdf
- [19] MC60 Hardware Design datasheet. [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: https://www.codico.com/shop/media/datasheets/Quectel_MC60_Hardware_Design_V1.0_Preliminary_20160602.pdf
- [20] DS10078: Serial-to-Wi-Fi b/g/n intelligent modules. In: STMicroelectronics [online]. [cit. 14.5.2017]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/wireless-connectivity/wi-fi/spwf01sa.html
- [21] NEDVĚD, Jan. Aerometrický systém pro malá letadla. Praha, 2006. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická, Katedra měření.
- [22] MAZŮREK, Petr. Realizace pilotážně/navigačního displeje EFIS s rozšířenými funkcemi pro podporu rozhodování pilota. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická, Katedra měření.
- [23] SIM800L GPRS Module. In: DealExtreme [online]. [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: <http://www.dx.com/p/sim800l-gprs-module-w-pcb-antenna-bomb-slot-automatic-micro-sim-card-435777>
- [24] SIM800 Series_AT Command Manual_V1.09. In: SIMCom [online]. [cit. 24.5.2017]. Dostupné z: http://simcom.ee/documents/SIM800/SIM800%20Series_AT%20Command%20Manual_V1.09.pdf
- [25] GY-GPS6MV2. In: Autobotic [online]. [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: <https://www.autobotic.com.my/gy-neo6mv2-gy-gps6mv2-neo-6m-gps-module-with-flight-control-apm2-5>

- [26] GY-GPS6MV2 schematics. In: ChiOSZ robots [online]. [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: <https://chioszrobots.files.wordpress.com/2014/05/gps-neo6m-chiosz-robots.jpg>
- [27] SIM5320 AT Command Set. In: SIMCom [online]. [cit. 24.5.2017]. Dostupné z: http://simcom.ee/documents/SIM5320/SIMCOM_SIM5320_ATC_EN_V2.02.pdf
- [28] SIM5320E module. In: Hobbyking [online]. [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: https://hobbyking.com/en_us/sim5320e-v3-8-2-3g-module-gsm-gprs-sms-development-board-for-arduino.html
- [29] GY-68 BMP180. In: Arduino Learning [online]. [cit. 23.5.2017]. Dostupné z: <http://arduinolearning.com/code/bmp180-barometric-pressure-sensor-example.php>
- [30] MPU6050. In: AliExpress [online]. [cit. 23.5.2017]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item-img/Mogoi-Brushless-Gimbal-Controller-V3-Module-TAPR-Martinez-PTZ-FPV-with-IMU-6050-Sensor/32337743434.html>
- [31] BMP180 Datasheet. [cit. 23.5.2017]. Dostupné z: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP180-DS000-121.pdf
- [32] MPU6050 Datasheet. [cit. 23.5.2017]. Dostupné z: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [33] AN3743 (Emulated EEPROM Quick Start Guide) [online]. [cit. 24.5.2017]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/application-notes/AN3743.pdf>
- [34] NMEA data [online]. [cit. 16.5.2017]. Dostupné z: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
- [35] STM32L152 datasheet [online]. [cit. 24.5.2017]. Dostupné z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l151c6-a.pdf>
- [36] Allan Variance: Noise Analysis for Gyroscopes [online]. [cit. 25.5.2017]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN5087.pdf

Příloha A

Rešerše dostupných GSM + GPS modulů

Data v Tab. 14 byla získána z webových stránek jednotlivých prodejců.

Tab. 14 Parametry modulů

Název	Technologie	Max. přenosová rychlost	Rozměry	Pouzdro	Teplotní rozsah	Podporovaný GNSS	Napájení	Hmotnost
Quectel								
MC60	GSM / GPRS	85.6/85.6 Kbps (DL / UL)	18.7 × 15.8 × 2.3 mm	68-pin LCC	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.3 – 4.6 V	1.3 g
UC20	UMTS / HSPA+	14.4/5.76 Mbps (DL / UL)	29.0 × 32.0 × 2.5 mm	112-pin LCC	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.3 – 4.3 V	4.9 g
EC21	LTE Cat1	10/5 Mbps (DL / UL)	29.0 × 32.0 × 2.4 mm	144-pin LCC	-40°C to +85°C	GPS, Glonass, Beidou, Galileo	3.3 – 4.3 V	4.2 g
EC25	LTE Cat4	150/50 Mbps (DL / UL)	29.0 × 32.0 × 2.4 mm	144-pin LCC	-40°C to +85°C	GPS, Glonass, Beidou, Galileo	3.3 – 4.3 V	4.9 g
Gemalto								
AGS2-E	GPRS	85.6/42.8 Kbps (DL / UL)	33 × 29 × 2.2 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass, Galileo	3.3 – 4.5 V	není dostupná
AHS2 / AHS3	HSPA+	14.4/5.7 Mbps (DL / UL)	33 × 29 × 2.4 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.3 – 4.2 V	není dostupná
ALS3	LTE	100/50 Mbps (DL / UL)	33 × 29 × 2.3 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass, Galileo	3.3 – 4.2 V	není dostupná
PHS8	HSPA+	14.4/5.7 Mbps (DL / UL)	33 × 29 × 2.0 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.3 – 4.2 V	není dostupná
PXS8	CDMA/ HSPA+	3.1/1.8 Mbps (DL / UL)	33 × 29 × 2.0 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.3 – 4.2 V	není dostupná
PLS8	LTE	100/50 Mbps (DL / UL)	33 × 29 × 2.3 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass, Galileo	3.3 – 4.2 V	není dostupná
SIMCom								
SIM808	GSM/GPRS	85.6/85.6 Kbps (DL / UL)	24 × 24 × 2.6 mm	LCC	-40°C to +85°C	GPS	3.4 – 4.4 V	3.3 g
SIM868	GSM/GPRS	85.6/85.6 Kbps (DL / UL)	17.6 × 15.7 × 2.3 mm	LCC	-40°C to +85°C	GPS	3.4 – 4.4 V	1.5 g
SIM908	GSM/GPRS	85.6/85.6 Kbps (DL / UL)	30 × 30 × 3.2 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS	GPS: 3.0 – 4.5 V GPRS: 3.2 – 4.8 V	5.2 g
SIM968	GSM/GPRS	85.6/85.6 Kbps (DL / UL)	30 × 30 × 3.0 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass, Galileo	GNSS: 2.8 – 4.3 V GSM: 3.2 – 4.8 V	5.3 g
SIM5320	HSDPA/ WCDMA, GSM/ GPRS/ EDGE	3.6/3.6 Mbps (DL / UL)	30 × 30 × 2.9 mm	LGA	-30°C to +85°C	GPS	3.4 – 4.2 V	5.6 g
SIM5360	HSPA+/WCDMA, GSM/GPRS/EDGE	14.4/5.76 Mbps (DL / UL)	30 × 30 × 2.9 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.4 – 4.2 V	5.7 g
SIM7100E	LTE, WCDMA, GSM/ GPRS/ EDGE	100/50 Mbps (DL / UL)	30 × 30 × 2.9 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS	3.4 – 4.2 V	5.8 g
SIM7500E	LTE, GSM/GPRS/EDGE	10/5 Mbps (DL / UL)	24 × 27 × 2.75 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS	3.4 – 4.2 V	4.0 g
Sierra Wireless								
HL8548	HSPA/ GSM/ GPRS/ EDGE	7.2/5.76 Mbps (DL / UL)	22 × 23 × 2.5 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.2 – 4.5 V	3.5 g
HL6528RD	GSM/ GPRS/ EDGE	236.8/236.8 Kbps (DL / UL)	22 × 23 × 2.5 mm	LGA	-40°C to +85°C	GPS, Glonass	3.35 – 4.3 V	2.25 g
ZTE Welink								
MG2618 (PID: V2C)	GSM/ GPRS	85.6/42.8 Kbps (DL / UL)	20 × 22 × 2.0 mm	LCC	-35°C to +75°C	GPS	3.3 – 4.2 V	1.9 g
ME3630 (PID: CIA)	LTE/ WCDMA/ CDMA/ GSM	150/50 Mbps (DL / UL)	30 × 30 × 2.3 mm	LCC	-40°C to +85°C	GPS, Glonass, Beidou	3.3 – 4.25 V	4.0 g

Příloha B

Ukázka přijatých dat na serveru

```
"@7;I;0;Var. Init.;SM:MaPo,Cv0.1;HW:MaPo,STM32,SIM868...#"
"@7;I;1;Modem init done.#"
"@7;I;2;PowerOn#"
"@7;I;3;Modem: SIM868 R14.18; IMEI 861510030034504.#"
"@7;D;4;x;x;x;x;x;-1.00;x;x;21;60;-1075;33.80;1227.63;-1;-1;0;x;x;x;00.00.0000;00:00:00;3.6#"
"@7;D;5;x;x;x;x;x;-1.00;x;x;23;56;-1063;33.80;1227.65;-1;-1;20;x;x;x;00.00.0000;00:00:00;3.6#"
"@7;D;6;x;x;x;x;x;-1.00;x;x;27;57;-1068;33.90;1227.51;-1;-1;20;x;x;x;50.069912;14.378784;19.04.2017;14:45:49;3.6#"
"@7;D;7;x;x;x;x;x;-1.00;x;x;88;23;-1091;33.90;1227.48;-1;-1;20;x;x;x;50.069912;14.378784;19.04.2017;14:45:49;3.6#"
"@7;D;8;x;19.04.17;14:46:03.0;50.070057;14.377335;222.0;19.56;x;x;3;44;-1046;33.90;1227.70;5;1;21;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:00;3.6#"
"@7;D;9;x;19.04.17;14:46:08.0;50.069790;14.377771;219.1;22.85;x;x;57;49;-1210;34.00;1227.71;5;1;24;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:05;3.6#"
"@7;D;10;x;19.04.17;14:46:13.0;50.069458;14.377624;219.1;36.43;x;x;227;63;-1126;34.10;1227.53;8;1;24;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.6#"
"@7;D;11;x;19.04.17;14:46:18.0;50.069023;14.377335;217.2;40.08;x;x;143;-691;-1016;34.10;1227.32;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.6#"
"@7;D;12;x;19.04.17;14:46:23.0;50.068531;14.377155;215.0;39.74;x;x;133;-109;-903;34.20;1226.84;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.7#"
"@7;D;13;x;19.04.17;14:46:28.0;50.067993;14.377205;216.1;46.43;x;x;78;-203;-1002;34.20;1226.40;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.7#"
"@7;D;14;x;19.04.17;14:46:33.0;50.067406;14.377562;218.7;53.99;x;x;-2;-54;-1001;34.20;1225.97;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.6#"
"@7;D;15;x;19.04.17;14:46:38.0;50.066895;14.378083;222.0;48.82;x;x;131;-77;-964;34.20;1225.20;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.6#"
"@7;D;16;x;19.04.17;14:46:43.0;50.066414;14.378736;226.6;52.41;x;x;151;143;-968;34.20;1225.20;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.6#"
"@7;D;17;x;19.04.17;14:46:48.0;50.065773;14.379038;233.1;46.82;x;x;139;0;-842;34.20;1224.99;8;1;19;x;x;x;50.070248;14.379083;19.04.2017;14:46:11;3.6#"
"@7;D;18;x;19.04.17;14:46:52.0;50.065350;14.379270;238.7;43.63;x;x;275;214;-933;34.20;1224.75;8;1;19;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:46:49;3.6#"
"@7;D;19;x;19.04.17;14:46:57.0;50.064983;14.378863;243.4;41.39;x;x;61;44;-1089;34.20;1224.58;8;1;19;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:46:49;3.6#"
"@7;D;20;x;19.04.17;14:47:02.0;50.064724;14.378304;247.2;18.80;x;x;21;17;-1065;34.20;1224.50;9;1;15;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:46:59;3.6#"
"@7;D;21;x;19.04.17;14:47:07.0;50.064701;14.378259;248.9;16.11;x;x;230;-107;-1023;34.30;1224.44;9;1;18;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:05;3.6#"
"@7;D;22;x;19.04.17;14:47:12.0;50.064556;14.377918;250.2;34.78;x;x;14;-49;-1154;34.30;1223.98;9;1;20;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:09;3.6#"
"@7;D;23;x;19.04.17;14:47:17.0;50.064220;14.377260;250.7;50.91;x;x;5;-100;-1009;34.40;1223.63;9;1;20;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:14;3.6#"
"@7;D;24;x;19.04.17;14:47:22.0;50.063717;14.376475;249.7;161.69;x;x;-49;9;-1146;34.50;1223.33;9;1;18;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:19;3.6#"
"@7;D;25;x;19.04.17;14:47:27.0;50.063229;14.375644;249.6;55.58;x;x;109;-29;-923;34.50;1222.77;9;1;18;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:24;3.6#"
"@7;D;26;x;19.04.17;14:47:32.0;50.062862;14.374819;249.8;42.47;x;x;-10;-146;-954;34.50;1222.69;9;1;13;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:29;3.6#"
"@7;D;27;x;19.04.17;14:47:37.0;50.062492;14.374498;248.2;36.02;x;x;138;-83;-998;34.60;1222.27;9;1;13;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:29;3.6#"
"@7;D;28;x;19.04.17;14:47:42.0;50.062012;14.374632;245.9;41.95;x;x;49;-79;-1092;34.60;1221.94;9;1;13;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:29;3.6#"
"@7;D;29;x;19.04.17;14:47:47.0;50.061485;14.375076;245.5;48.02;x;x;26;16;-1154;34.60;1221.62;9;1;13;x;x;x;50.069447;14.380442;19.04.2017;14:47:29;3.6#"

```

Obr. 54 Přijátá data na serveru