

Anotace

Stále častěji se setkáváme s mnohými typy robotů od ručně ovládaných strojů až po autonomní mobilní roboty či výrobní linky. Samostatnou kategorií představují bezpilotní letouny, ponorky nebo jiné stroje s možností pohybu ve všech rozměrech. Pokud vyvíjíme nebo již vlastníme zařízení s podobným účelem, potřebujeme lehkou, výkonnou a mechanicky odolnou elektroniku, která bude náš stroj řídit.

Elektronika Yunifly je dvouprocesorová programovatelná řídicí elektronika, jejímž primárním účelem je stabilizace a řízení letuschopných robotů. Prioritou je nejen nízká pořizovací cena, ale i schopnost práce v nouzovém režimu, který je spuštěn při selhání řízení nebo ztrátě signálu. Je tak sníženo riziko poškození či zničení celého letounu.

Podařilo se navrhnout, zkonstruovat a odzkoušet celou řídicí elektroniku. Byl navrhnut stabilizační software a knihovna, která obsahuje základní funkce pro autonomní softwarově řízený let.

Elektroniku můžeme použít nejen jako stabilizační prvek letounu, ale i jako miniaturní vývojový kit pro účely vývoje bezpilotního létání. Může být součástí standardních RC modelů, kterým umožňuje autonomní softwarové řízení.

Klíčová slova: letoun, stabilizace letu, řídicí elektronika, vývojový kit, procesor

Annotation

Increasingly, we see many types of robots from a manually operated machines to autonomous mobile robots or production lines. A separate category is an unmanned aircraft, submarines and other equipment can be moved in all dimensions. If you are developing or already own a device with a similar purpose, you need a light, powerful, and mechanically durable electronics that will drive our machine.

Electronics Yunify is a dual processor programmable electronic controller, whose main purpose is to stabilize and control airworthy robots. The priority is in low cost and in the ability to work in safe mode, which is running when the plane lose control or signal. It reduced the risk of damage or destruction of the aeroplane.

We managed to design, construct and test all the control electronics. It was drafted the stability software and library, which contains basic functions for autonomous software-controlled flight.

Electronics can be used as a stabilizing element in an aeroplane and also as a development kit for unmanned aircraft. It may be a part of the standard RC models, which allows autonomous software control.

Key words: aircraft, flight stabilization, control electronics, development kit, processor

Obsah

1	Úvod	4
2	Stabilizace řízeného letu	5
2.1	Stabilizační funkce	5
3	Vývojová deska	8
3.1	Řízení a příjem signálu z RC přijímače	8
3.2	Architektura řídicí elektroniky	9
3.3	Součásti elektroniky	11
3.4	Funkce hardwaru	11
3.4.1	Komunikace desky Basic a Main	11
3.4.2	Příklady extreních zařízení	11
3.5	Náklady na pořízení elektroniky Yunify	13
4	Shrnutí	14
A	Podrobná specifikace hardwaru	16
A.1	Hmotnost a rozměry	16
A.2	Pinová konfigurace	17
A.3	Schéma zapojení elektroniky	20
B	Návrh API pro řídicí elektroniku	20
B.1	Firmware pro desku Basic	20
B.1.1	Nouzový režim	20
B.2	Knihovna základních funkcí	22
B.2.1	Ovládání konektorů	22
B.2.2	Komunikace s deskou Basic	24
B.2.3	Komunikace s externími moduly	24

Seznam obrázků

1	Příklad řízení směru letu pomocí naklápění	6
2	Schéma stabilizace letounu	7
3	Fotografie řídicí elektroniky	8
4	Schéma stabilizovaného dálkově řízeného letu pomocí RC přijímače	9
5	Architektura řídicí elektroniky	10
6	Schéma připojení externích modulů	13
7	Řídicí elektronika v rozloženém a složeném stavu	16
8	Rozměry celé elektroniky Yunify	17
9	Schéma konektoru, kterým je spojena deska Main s deskou Basic	17
10	Pinová konfigurace elektroniky	18
11	Elektronické schéma zapojení desky Main	21
12	Elektronické schéma zapojení desky Basic	21
13	Obraz tištěného spoje desky Main bez součástek	22
14	Obraz tištěného spoje desky Basic bez součástek	22

1 Úvod

Stále častěji se setkáváme s mnohými typy robotů od ručně ovládaných strojů až po autonomní mobilní roboty či výrobní linky. Samostatnou kategorií představují bezpilotní letouny, ponorky nebo jiné stroje s možností pohybu ve všech rozměrech. Pokud vyvíjíme nebo již vlastníme zařízení s podobným účelem, potřebujeme lehkou, výkonnou a mechanicky odolnou elektroniku, která bude náš stroj řídit.

Elektronika Yunifly je dvouprocesorová programovatelná řídicí elektronika, která je primárně určená pro řízení lehkých, nízkonákladových letounů. Hmotnost i rozměry desky jsou minimalizovány (viz příloha A.1). Pořízovací cena Yunifly je srovnatelná s cenou běžného RC přijímače. Můžeme ji využít jako rozšiřující autonomní řízení standardních RC modelů nebo pro létání v režimu učitel/žák, neboť k řídicí desce můžeme připojit až čtyři na sobě nezávislé RC přijímače. Vzhledem k tomu, že Yunifly je možné libovolně programovat dle vlastního uvážení, můžeme celou elektroniku považovat také za vývojový kit pro účely bezpilotního létání.

Elektronika je primárně určena pro stabilizaci dálkově řízeného letounu. Přijímá signál z RC přijímače a umožňuje ovládání PWM regulátorů, serv a připojení externích zařízení, jako jsou například akcelerometry. Externí zařízení lze připojit přes sériovou linku USART, I²C sběrnici a SPI linku. Pro řízení stability je navrhnout software, který je schopen na základě signálu z RC přijímače, dat z akcelerometrů a kompasu řídit letoun požadovaným směrem po požadované trajektorii.

Pokud Yunifly srovnáme s již existujícími vývojovými kity, jako například Arduino [1], nebo jednoúčelovými modelářskými moduly, shledáme mnoho zásadních výhod.

1. Autorovi není znám žádný finančně dostupný vývojový modul nabízející real-time ochranu proti selhání či poškození, které může náš letoun nevratně zničit.
2. Rozměry a hmotnost Yunifly je minimalizována tak, aby mohla být použita i v malých RC modelech.
3. Desku je možné libovolně přeprogramovat vlastním programem bez jakýchkoliv omezení. Díky vestavěnému bootladeru je možné oba čipy programovat přes sériovou linku například bezdrátově pomocí technologie bluetooth.
4. Pokud používáme podporu nouzového režimu, můžeme jeden z procesorů přeprogramovat dokonce za letu.
5. Díky technologii bluetooth může Yunifly komunikovat s mobilním telefonem nebo být řízena přes mobilní internet.

Součástí hardwaru je i návrh knihovny základních funkcí v jazyce C++, která je určená pro obsluhu připojených zařízení, a návrh řídicího programu pro základní desku, který podporuje létání v nouzovém režimu. Nouzový režim je automaticky spuštěn v případě hardwarového nebo softwarového výpadku řídicího procesoru. Pokud je letoun řízen ze země, nouzový režim je spuštěn právě v době detekovatelné ztráty signálu.

K Yunifly je možné připojit řadu dalších zařízení, některá z nich jsou otestována a do knihovny Yunifly budou přidány funkce, které tato zařízení obsluhují. Podrobný popis těchto zařízení nalezneme v sekci 3.4.2.

2 Stabilizace řízeného letu

Systém stabilizace pilotem řízeného letu reaguje na okamžité výchylky od pilotem nebo systémem plánované trajektorie letu. Tohoto faktu využijeme například při řízení letounu bez vizuálního kontaktu nebo jako pomoc začínajícím pilotům.

Stabilizační systém je řízen softwarově, díky tomu můžeme využívat dalších možností procesorového řízení. Letoun může přijímat více navigačních signálů z více RC přijímačů, nebo naopak využívat softwaru k plně autonomnímu letu.

K úspěšné stabilizaci letounu potřebujeme znát aktuální údaje o poloze vůči zemi, zrychlení letounu a data určující změnu rychlosti a směru letu. Na základě těchto dat můžeme regulovat nastavení řídicích klapek či výkonu motorů. K určení polohy letounu vůči zemi je použit trojosý elektronický kompas komunikující s procesorem pomocí sběrnice I²C. Aktuální akceleraci letounu poskytne trojosý akcelerometr komunikující po téže sběrnici. Data o změně směru letu a výkonu motorů získáme z výstupního signálu RC přijímače nebo jiného komunikačního zařízení.

Aby bylo možné stabilizovat let na základě výše uvedených požadavků, potřebujeme procesorem řízený hardware, který zajistí obsluhu všech zařízení. Elektronika Yunifly byla navržena jako douprocesorový komplex dvou spojených elektronických desek, který zvyšuje odolnost elektroniky vůči hardwarovému poškození, neboť nejdůležitější součásti jsou ukryty uvnitř spojených desek. Vzhledem ke standardizovanému připojení PWM regulátorů byly desky navrženy jako kompaktní celek nabízející tři řady konektorů na svých bočních stranách. Spojení desek zajišťuje konektor, díky kterému lze desky od sebe odjímat i přes jejich pevné spojení.

Řídicí elektronika se dělí na desku Basic a Main. Tato dvouprocesorová technologie umožňuje nezávislý chod stabilizačního systému na desce Basic a řídicího programu na desce Main. Elektronika je koncipována jako kompromis mezi velmi lehkou ryze stabilizační jednotkou a plně funkční autonomní řídicí elektronikou, ke které můžeme připojit řadu externích modulů. Vzhledem k předpokládanému častému přeprogramování desky Main byl zvolen procesor, který je možné programovat bezdrátově pomocí sériové linky. Na základě dřívějších zkušeností autora s procesory Atmel bylo zvoleno CPU Atmel ATmega128 [2] pro obě desky elektroniky. Volba totožného procesoru umožňuje použití totožného programu jak pro desku Basic, tak pro desku Main.

Samotnou stabilizaci letu zajišťuje deska Basic, která na základě PID regulace nastavuje vychýlení řídicích klapek. Změnu směru letu sdělí buď signál z RC přijímače, nebo deska Main, která zasílá informace o změně směru letu. Pokud deska Main přestane komunikovat s deskou Basic, je spuštěn nouzový režim (viz příloha B).

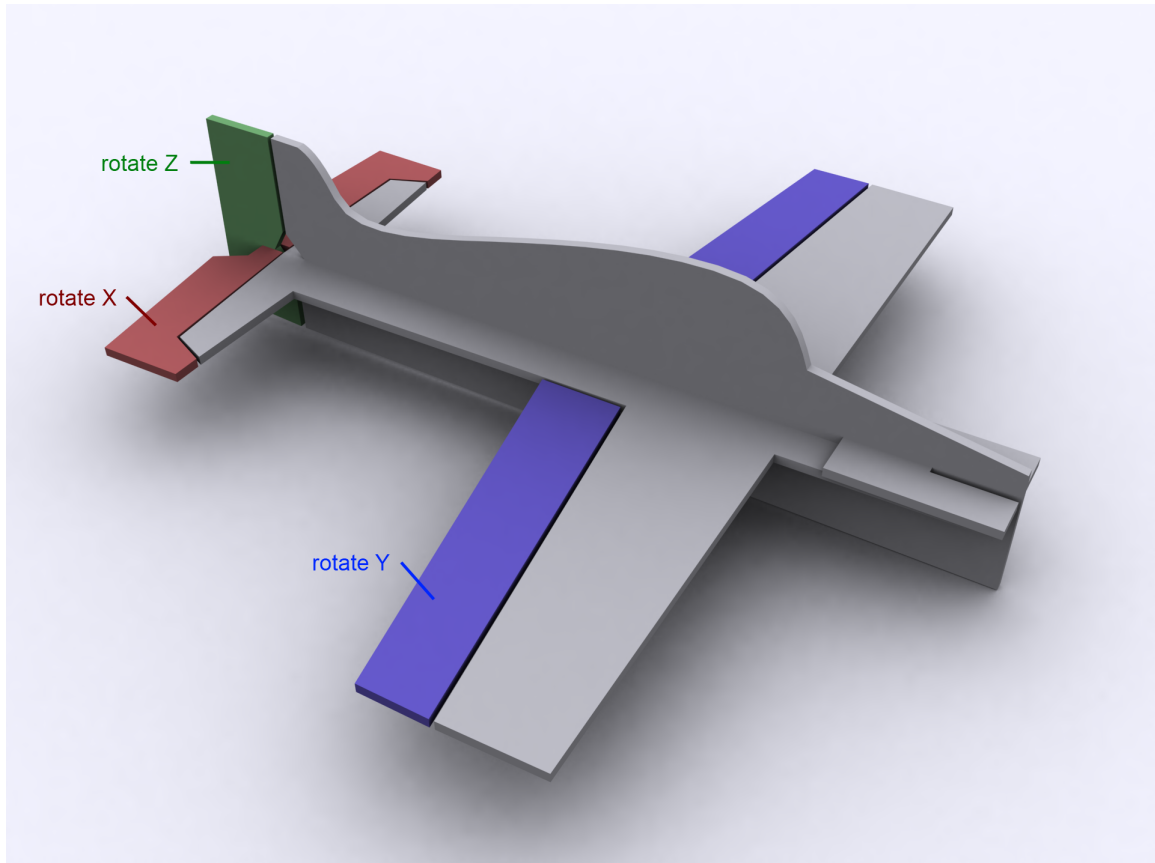
2.1 Stabilizační funkce

Stabilizaci předáváme sedm hodnot, které reprezentují aktuální stav letu.

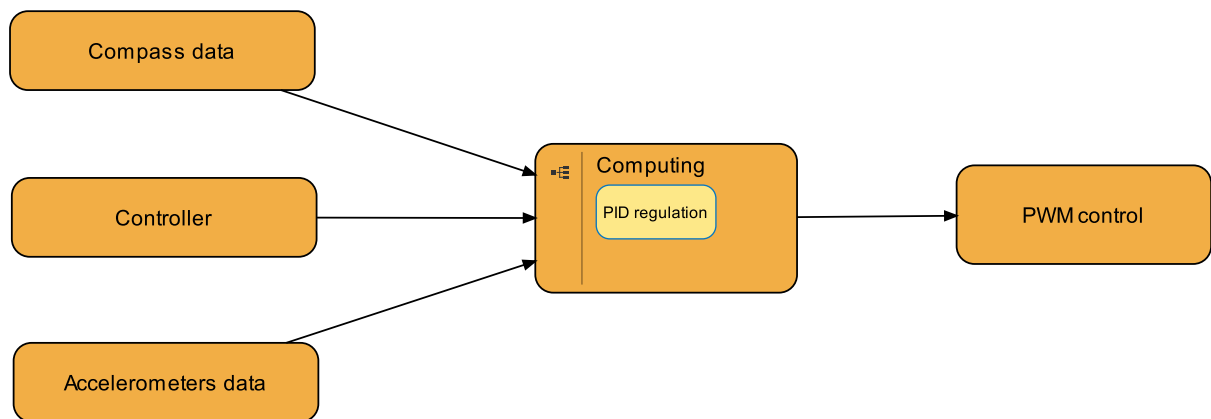
1. Výkon motoru, který není dále regulován.
2. Naklonění ve směru osy X, Y, Z.
3. Akcelerace ve směru osy X, Y, Z.

Na základě hodnot z kompasu je určena aktuální poloha letounu vůči směru magnetického pole Země. Na základě magnetického pole a zeměpisné šířky je vypočítán vektor gravitačního zrychlení. Akcelerometry poskytují vektor aktuálního zrychlení celého letounu. Na základě vektoru gravitace a zrychlení je vypočítán vektor vztlakového zrychlení letounu. Následuje PID regulace, která na základě výše zmíněných dat nastaví polohy příslušných řídicích klapek.

```
void stabilization(  
    unsigned int power,  
    signed int rotX,  
    signed int rotY,  
    signed int rotZ,  
    signed int accelerometerX,  
    signed int accelerometerY,  
    signed int accelerometerZ,  
    signed int compassX,  
    signed int compassY,  
    signed int compassZ,  
    signed int & PWMpower,  
    signed int & PWMrotX,  
    signed int & PWMrotY,  
    signed int & PWMrotZ,  
);
```



Obrázek 1: Příklad řízení směru letu pomocí naklápění



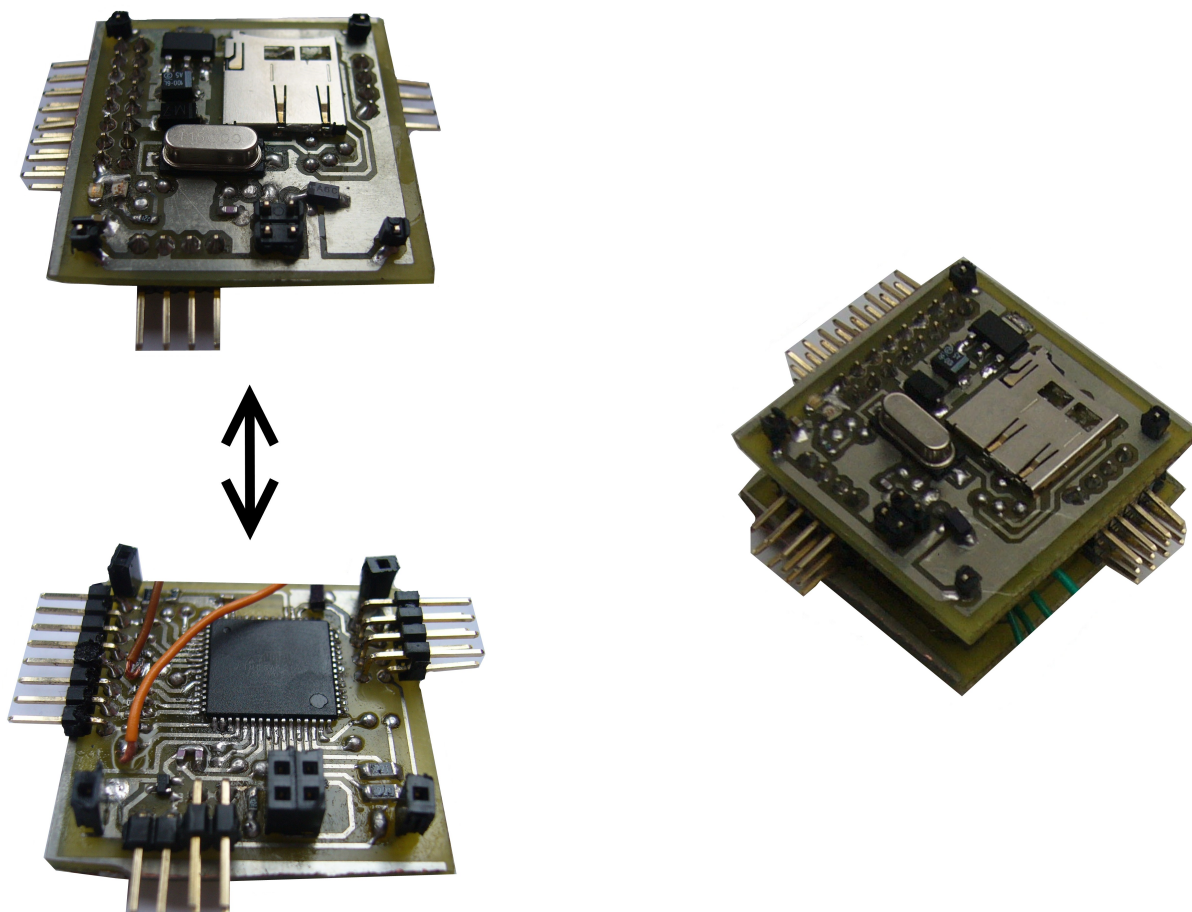
Obrázek 2: Schéma stabilizace letounu

3 Vývojová deska

Elektronika Yunifly se skládá ze dvou částí, z desky Basic a desky Main. Obě desky jsou na sobě nezávislé a lze je použít jak samostatně, tak v níže znázorněném propojení. Desky mezi sebou mohou komunikovat pomocí rozhraní I²C [10] nebo USART [11].

Připojení externích zařízení k Yunifly není povinné. Nutné je pouze napájení a komunikace s deskou ovládanými zařízeními.

Podrobná specifikace připojování je uvedena v příloze A.



Obrázek 3: Fotografie řídicí elektroniky

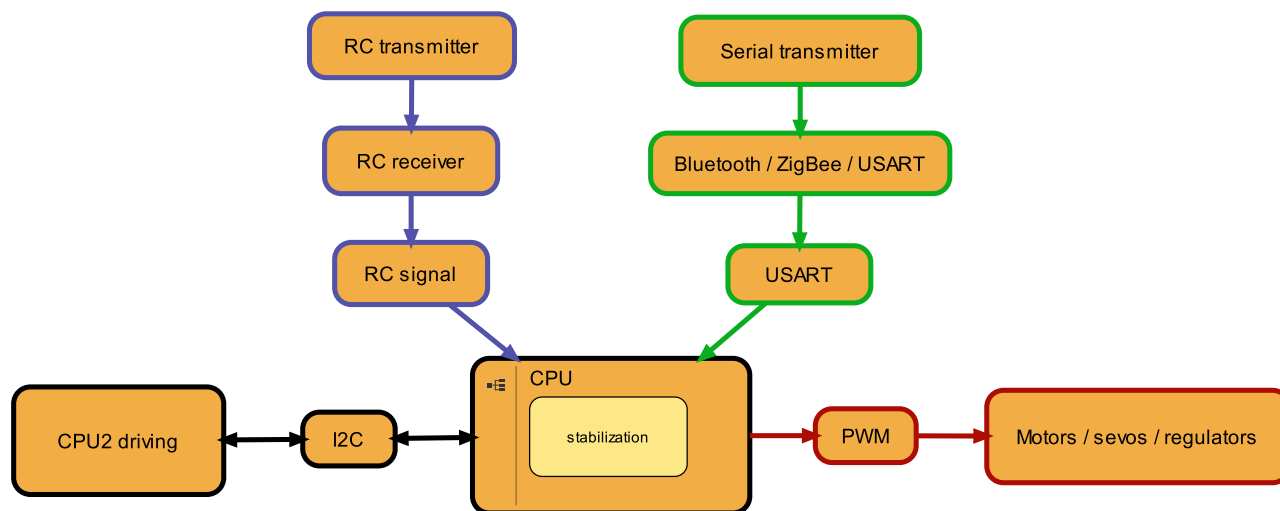
3.1 Řízení a příjem signálu z RC přijímače

standardní ze země řízené letouny nezpracovávají přijatý signál a přímo se jím řídí. Aby bylo možné přijatý signál dále zpracovávat nebo létat bez pozemní navigace, je nutné, aby byl letoun řízen vlastním procesorem.

Nízkonákladové bezpilotní letouny a standardní modelářské výrobky využívají k řízení RC signál, který je vyslán pilotem ze země a přijímán RC přijímačem na palubě letounu. Elektronika Yunifly může přijímat signál od libovolného 3V nebo 5V modelářského RC přijímače. Přijímaný signál je k procesoru přiveden přes tranzistor.

Elektronika Yunifly očekává příjem RC signálu jako posloupnost PWM pulsů pro jednotlivá serva. Tento signál je procesorem dekodován a lze jej dále zpracovávat. Dekodování probíhá podle standardního přenosového protokolu. (Délka pulsu pro jedno servo 1-2ms, kde 1.5ms označuje střední hodnotu. Tyto pulsy jsou sériově seskládány podle pořadí serv a odeslány.)

Ve schématu 4 jsou ukázány možnosti přijímání signálu pro řízení letounu. Jednotlivé barvy označují nezávislé celky, které zajišťují příjem signálu nebo samotné řízení. Červeně je znázorněn výstup, který je reprezentován sadou PWM výstupů pro serva a regulátory. Informace o řízení letu můžeme zasílat nejen pomocí RC přijímače, ale také pomocí libovolného bezdrátového digitálního sériového zařízení. Elektronika nutně nevyžaduje dálkové řízení, neboť autonomitu letounu může poskytnout druhý procesor s řídicím programem.



Obrázek 4: Schéma stabilizovaného dálkově řízeného letu pomocí RC přijímače

3.2 Architektura řídicí elektroniky

Celá řídicí elektronika je primárně navržena pro vyrovnávání stability letounu. Další schopnosti elektroniky jsou chápány jako sekundární účel. Pro řízení stability potřebujeme moduly, které jsou popsány v sekci 2.

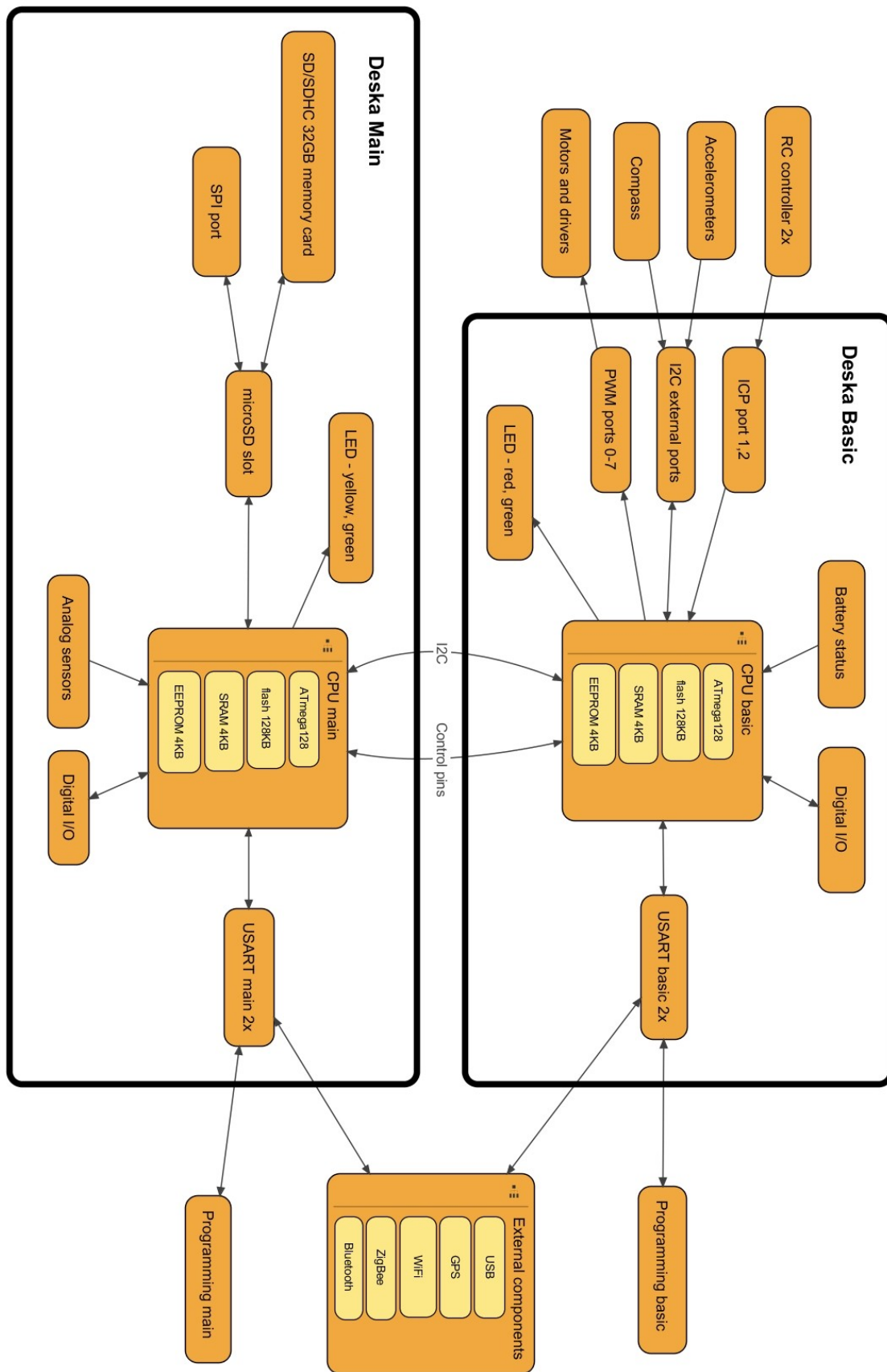
Elektronika je rozdělena na dvě základní části, na desku Basic a desku Main. Tyto desky jsou k sobě rovnoběžně přiloženy a za provozu tvoří kompaktní celek, jehož konektory jsou vyvedeny po bočních stranách. Toto rozložení umožňuje vyvedení tří řad pinů nad sebou, které upotřebíme například při připojování PWM regulátorů a serv. Celá elektronika je zároveň kryta ze všech stran a díky tomu je sníženo riziko poškození řídicí elektroniky.

Dvouprocesorová technologie byla zvolena ke snížení rizika výpadku elektroniky a následného poškození nebo zničení celého letounu. Další výhodou je možnost nezávislého řízení stability jedním procesorem a zpracovávání řídicích požadavků druhým procesorem. Druhý procesor může též sloužit k autonomnímu řízení celého letounu.

K elektronice je možné připojit mnoho externích zařízení, některá z nich jsou popsána v sekci 3.4.2. K připojení stabilizačních sensorů potřebujeme konektory sériové linky a sběrnice I²C. K těmto konektorům můžeme připojit mnohem širší spektrum externích zařízení. Schéma 5 ukazuje možné připojení externích modulů ke konektorům desky Basic a desky Main.

Volba dalších zařízení a architektury je ovlivněna požadavky primárního účelu řízení stability. Méně prioritní konektory, jako například AD převodníky, jsou z kapacitních a hmotnostních důvodů vyvedeny pouze jako pady, které lze vyvést jako samostatné konektory. Pro zesílení mechanické odolnosti je napájecí a propojovací konektor obou desek rozmístěn do jejich rohů. Díky tomu jsou obě desky k sobě uchyceny celkem v pěti bodech. Propojovací konektor umožňuje odpojení desky Basic od desky Main i přes jejich pevné spojení. Napájení se primárně připojuje k výstupu regulátoru od hlavního motoru, který toto napájení poskytuje na PWM konektoru.

Avšak elektroniku můžeme připojit například přímo k bateriím nebo ke stabilizovanému zdroji 3,3V.



Obrázek 5: Architektura řídicí elektroniky

3.3 Součásti elektroniky

Baterie – napájení Každá deska je napájena 3,3V a odebírá za provozu 100mA. Napájení můžeme připojit buď přímo, nebo přes vestavěný stabilizátor TS1117CW33 [3], který lze napájet maximálním napětím 12V. Maximální protékající proud je stanoven na 1A.

Motory, serva, regulátory Všechna zařízení ovládaná pulsní šířkovou modulací (PWM) jsou připojena k jednomu z šesti 16 bitových PWM konektorů nebo k jednomu 8 bitovému konektoru. Zařízení je možné ovládat ve dvou režimech, jako serva nebo jako PWM zařízení s libovolnou délkou pulsů.

Analogové vstupy Analogové piny měří na svém vstupu napětí v rozsahu od nuly do napájecího napětí. Lze takto měřit například stupeň vybití baterií a závčas tak varovat před jejich vybitím. Dále tyto konektory můžeme využít pro čtení analogových sensorů a podobných zařízení.

Digitální vstupy/výstupy Každý datový konektor na desce je možné naprogramovat jako standardní digitální vstup nebo výstup. V programu nastavíme, zda budeme daný konektor používat v přednastaveném režimu nebo jako digitální vstup/výstup.

Komunikace Desky podporují komunikaci pomocí dvou nezávislých linek USART, jedné linky SPI a sběrnice I²C . Maximální podporovaná rychlost komunikace je 512 kb/s.

3.4 Funkce hardwaru

Základní elektronika Yunifly je navržena tak, aby bylo možné připojit co nejvíce komponent. Níže je uveden seznam testovaných komponent, které úspěšně spolupracovaly s elektronikou Yunifly. Softwarová implementace jednotlivých komponent je popsána v příloze B.

3.4.1 Komunikace desky Basic a Main

Komunikace mezi oběma deskami probíhá po sběrnici I²C . Tato sběrnice je také vyvedena na desce jako konektor. Je tedy možné do komunikace zapojovat i další zařízení podporující tuto sběrnici.

Deska Basic může používat pro svou funkci firmware, který umožňuje podporu nouzového režimu. Jedná se o program Yunifly, který je schopen autonomně řídit celý stroj, případně zpracovávat příkazy desky Main. Basic desce zasíláme veškeré požadavky a příkazy z desky Main přes sběrnici I²C .

3.4.2 Příklady extreních zařízení

MicroSD/SDHC karta Slot pro vložení microSD karty se nachází na desce Main. Je připojen k SPI portu, který umožňuje komunikaci nejen s SD kartou, ale s libovolným zařízením, které podporuje tuto sériovou linku. Komunikace byla testována s kartou microSD 2GB a kartou microSDHC 4GB [9]. Maximální rychlost čtení i zápisu je omezena rychlostí CPU na 512 kb/s.

Serva a regulátory řízené pomocí PWM Deska obsahuje 8 PWM výstupů, které umožňují řízení serv a regulátorů motorů či jiných zařízení. Regulátory můžeme ovládat buď v režimu servo nebo v celém rozsahu hodnot. Nemusíme ručně přepočítávat hodnoty ekvivalentní pro řízení serv. Při testování byla využita modelářská serva „Hitec 8.0g HS-55 Feather Standard Micro RC Servo“ [4].

RC přijímač Obě desky podporují připojení až dvou RC přijímačů. Yunifly postupně čte data, která jsou přijímačem zaslána a může je dále libovolně zpracovávat. Může přímo na základě dat z přijímače ovládat další zařízení nebo tato data dále upravovat.

Díky tomu deska Yunifly nabízí létání v režimu učitel/žák, ve kterém jsou připojeny dva přijímače. Jeden přijímač je veden jako prioritní. Pokud žák udělá při létání nějakou chybu nebo řízení přestane zvládat, učitel může jedním pohybem převzít kontrolu nad celým letounem, aniž by si s žákem vyměňoval ovládací zařízení.

Yunifly může data z RC přijímače využívat za úplně jiným účelem. Můžeme například ovládat aktuální pohled externí kamery při autonomním letu, což by bez procesorem řízené elektroniky bylo zcela nemyslitelné.

GPS Kompatibilita Yunifly byla testována s GPS modulem „GPS smart antenna module, LS20032“ [5]. GPS je k Yunifly připojena přes universal asynchronous receiver/transmitter (USART). V knihovně Yunifly je implementována třída GPS, která umožňuje komunikaci s výše uvedeným GPS modulem.

Akcelerometr Kompatibilita Yunifly byla testována s trojosým akcelerometrem „CHR-6d Digital Inertial Measurement Unit“ [6], který komunikuje po sběrnici I²C . V knihovně Yunifly je implementována třída „accelerometer“, která umožňuje čtení aktuálního zrychlení a přepínání citlivosti akcelerometru.

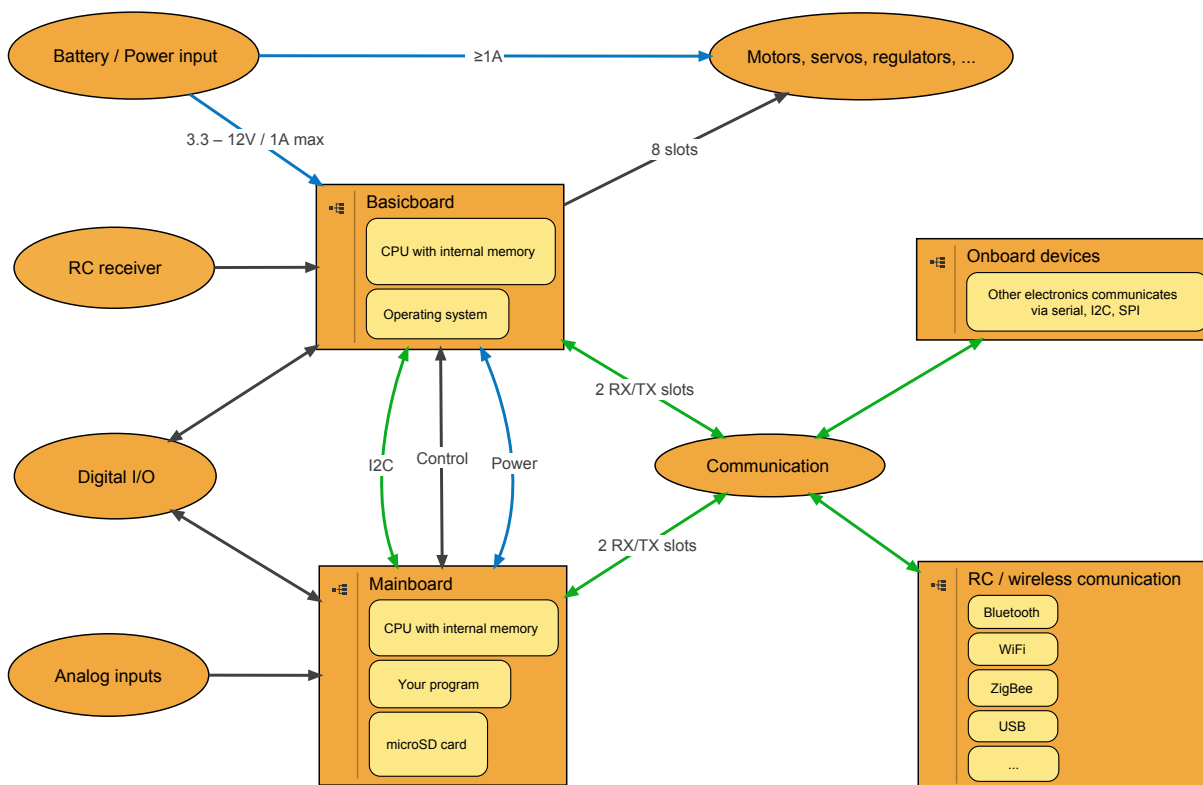
Kompas Při testování byl použit elektronický kompas „CMPS03 - Compass Module“ [7] komunikující po sběrnici I²C . Knihovna Yunifly umožňuje čtení aktuálního směru pomocí třídy „compass“, která uživateli vrací úhel odklonu od severního směru.

Bluetooth S deskou Yunifly je možné komunikovat pomocí bluetooth modulu například s počítačem, který umožňuje nové naprogramování elektroniky nebo přepsání interní paměti. Díky tomu můžeme s Yunifly pracovat bezdrátově včetně programování. Pokud používáme obě desky s podporou nouzového režimu, můžeme desku Main přeprogramovat dokonce za letu.

Dále bluetooth modul umožňuje standardní komunikaci, avšak nevýhodou jeho použití je krátký dosah signálu. Pokud chceme naše zařízení ovládat například mobilním telefonem, můžeme bluetooth modul použít pro vzájemnou komunikaci. Deska Yunifly může být díky tomu řízena přes internet, ke kterému se připojí pomocí mobilního telefonu.

Kompatibilita Yunifly byla testována s bluetooth modulem „SERIAL PORT ADAPTER OEM 310I – CB-OEMSPA310I-04“ [8].

Typ zařízení	Název zařízení	Komunikační protokol	Datasheet
GPS	GPS smart antenna module, LS20032	USART	[5]
Akcelerometr	CHR-6d Digital Inertial Measurement Unit	I ² C	[6]
Kompas	CMPS03 - Compass Module	I ² C	[7]
Bluetooth	SERIAL PORT ADAPTER OEM 310I – CB-OEMSPA310I-04	USART	[8]
RC přijímač	Spektrum DSM2 AR6100	PWM	
Servo	Hitec 8.0g HS-55 Feather Standard Micro RC Servo	PWM	[4]
MicroSD karta	KINGSTON Micro Secure Digital (Micro SD) 2GB	SPI	[9]



Obrázek 6: Schéma připojení externích modulů

3.5 Náklady na pořízení elektroniky Yunionfly

Jedním z cílů vývoje Yunionfly bylo udržet co nejnižší pořizovací náklady. Výhodou nízkých pořizovacích nákladů je také větší dostupnost programovatelné elektroniky pro modeláře a jiné aktivity zabývající se stavbou malých mobilních strojů.

Pořizovací cena obou desek elektroniky Yunionfly je srovnatelná s pořizovací cenou běžného RC přijímače. Do ceny nejsou zahrnuty externí komponenty jako například GPS, akcelerometry, bluetooth modul a další.

4 Shrnutí

Úspěšně se podařilo navrhnout, vyrobit a odzkoušet prototyp elektroniky Yunifly. Deska byla otestována na RC modelu akrobatického letounu. Jako součást elektroniky je plánováno odladění a odzkoušení firmwaru pro desku Basic, který usnadňuje spolupráci obou desek s podporou nouzového režimu. Nouzový režim je spuštěn při hardwarovém nebo softwarovém selhání řídicí elektroniky. Součástí je také návrh knihovny v jazyce C++, která obsahuje základní funkce pro řízení elektroniky, konektorů a některých externě připojených zařízení. Ladění firmwaru a knihovny je plánováno na jarní nebo letní období, které umožňuje létání se standardními RC modely.

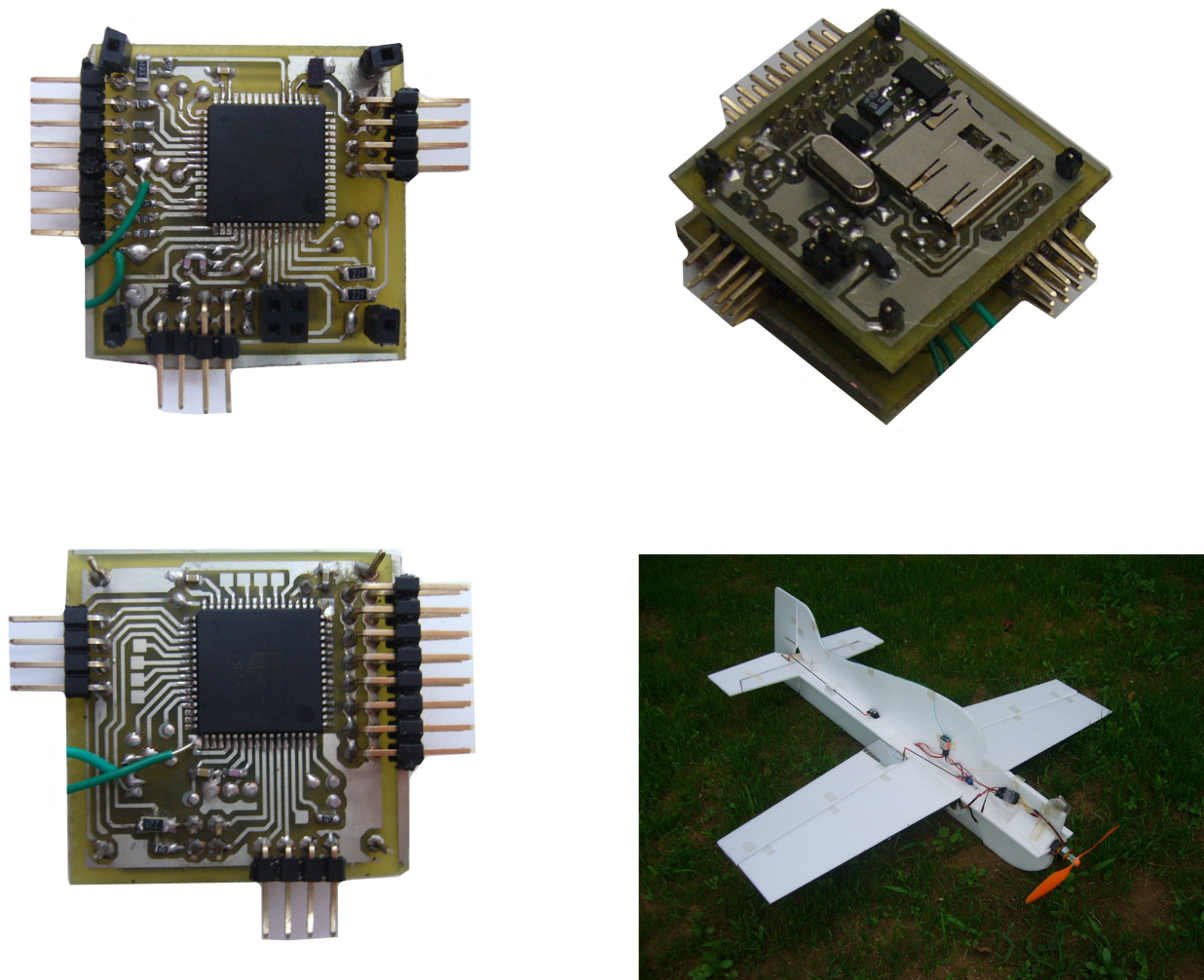
Další vývoj elektroniky Yunifly předpokládám zejména v širším spektru softwarové podpory externě připojených zařízení a v implementaci funkcí umožňujících plně autonomní let. V neposlední řadě zmíním i možnost podpory autonomního synchronního létání více strojů najednou.

Reference

- [1] Arduino [online]. 2010 [cit. 2011-03-01]. Home page. Dostupné z WWW: <http://www.arduino.cc/>
- [2] Atmel.com [online]. 02.2011 [cit. 2011-03-01]. 8-bit Microcontroller with 128KBytes In-System Programmable Flash ATmega128, ATmega128L. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod-documents/doc2467.pdf>
- [3] GM electronic [online]. B07. 2010 [cit. 2011-03-01]. TS1117 datasheet. Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/dokumentace/dokumenty/934/934-140/dsh.934-140.1.pdf>
- [4] Rctoys.com [online]. 2010 [cit. 2011-03-01]. Hitec 8.0g HS-55 Feather Standard Micro RC Servo. Dostupné z WWW: <http://www.rctoys.com/rc-toys-and-parts/HIT-HS55/RC-PARTS-HITEC-SERVOS.html>
- [5] Embeddedartists.com [online]. 1.0. 2010 [cit. 2011-03-01]. GPS smart antenna module, LS20032. Dostupné z WWW: <http://www.embeddedartists.com/projects/lpcexpresso-ls20031/LS20030-3-datasheet-v1.0.pdf>
- [6] Pololu.com [online]. 1.1. 2010 [cit. 2011-03-01]. CHR-6d Digital Inertial Measurement Unit. Dostupné z WWW: <http://www.pololu.com/file/0J276/chr6d-datasheet.pdf>
- [7] Krause-robotik.de [online]. 15.10.2007 [cit. 2011-03-01]. CMPS03 - Robot Compass Module. Dostupné z WWW: <http://www.krause-robotik.de/service/download/doku/cmeps3docRel14.pdf>
- [8] Spezial.com [online]. 1.4. 2008 [cit. 2011-03-01]. OEM Serial Port Adapter™. Dostupné z WWW: <http://www.spezial.com/doc/conblu/em-ds-oemspa-310.pdf>
- [9] Alldatasheet.com [online]. 2010 [cit. 2011-03-01]. MicroSDHC Card series datasheet. Dostupné z WWW: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/330195/TRANSCEND/MICROSDHC.html>
- [10] Wikipedia.org [online]. 23.1.2011 [cit. 2011-03-01]. I2C. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/I2C>
- [11] Wikipedia.org [online]. 25.8.2010 [cit. 2011-03-01]. USART. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/USART>

A Podrobná specifikace hardwaru

Zde je uvedena specifikace celé řídicí elektroniky Yunifly. Na obrázku 7 jsou uvedeny fotografie elektroniky v rozloženém stavu (vlevo) a ve složeném stavu s příkladem letounu, který tuto desku používá (vpravo).



Obrázek 7: Řídicí elektronika v rozloženém a složeném stavu

A.1 Hmotnost a rozměry

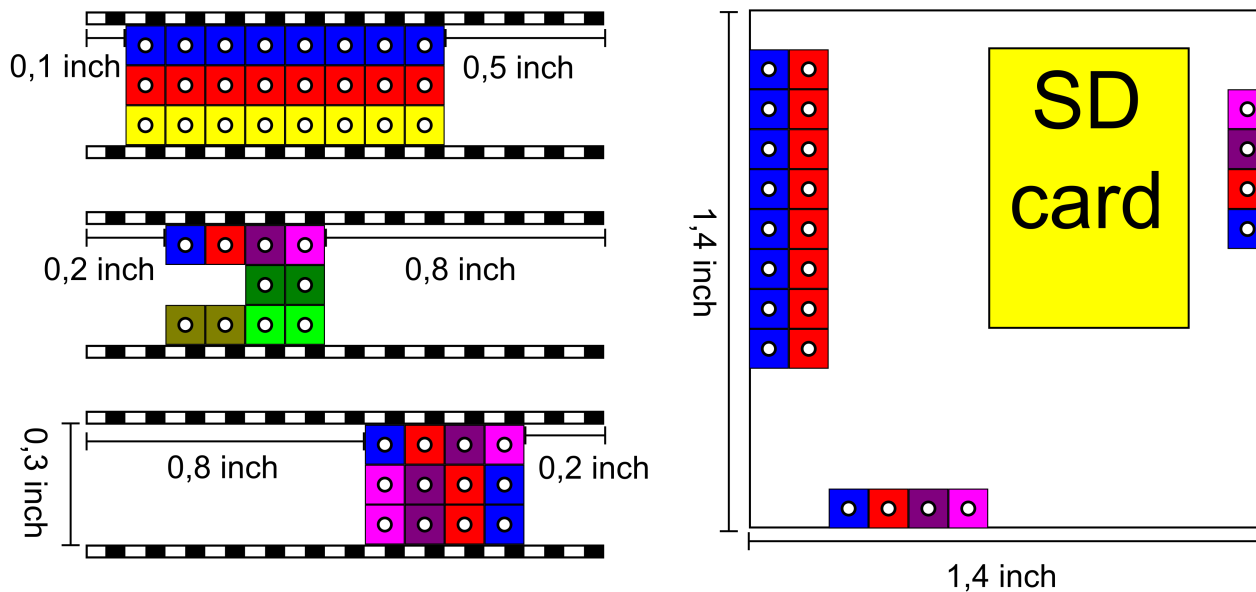
Elektronika Yunifly je složena ze dvou samostatných částí, které můžeme použít jako jeden dvouprocesorový celek. V tabulce jsou uvedeny hmotnosti jednotlivých částí elektroniky.

Hmotnost elektroniky Yunifly	
Název součásti	Hmotnost [g]
Deska Basic	9g
Deska Main	9g
Yunifly celá	18g

Obě desky jsou navrženy tak, aby jejich vzájemné propojení bylo co nejvíce kompaktní. Desku Main můžeme nasadit na konektor desky Basic a získáme tak dvě propojené desky

stejných rozměrů, které se dohromady uzavírají do kvádrů (viz obrázek 9). Jsou tak odolnější vůči vnějšímu mechanickému poškození.

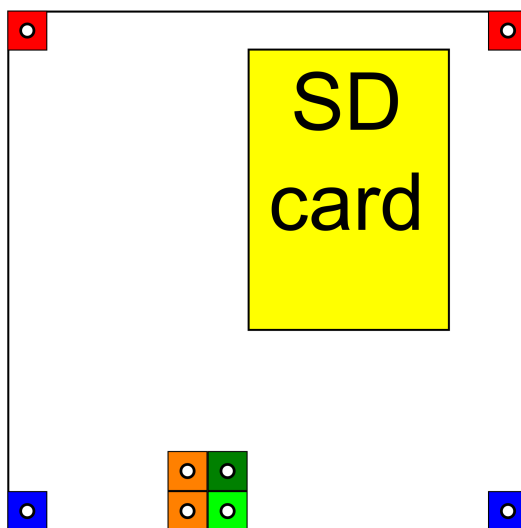
Rozměry celé elektroniky nalezneme na obrázku 8.



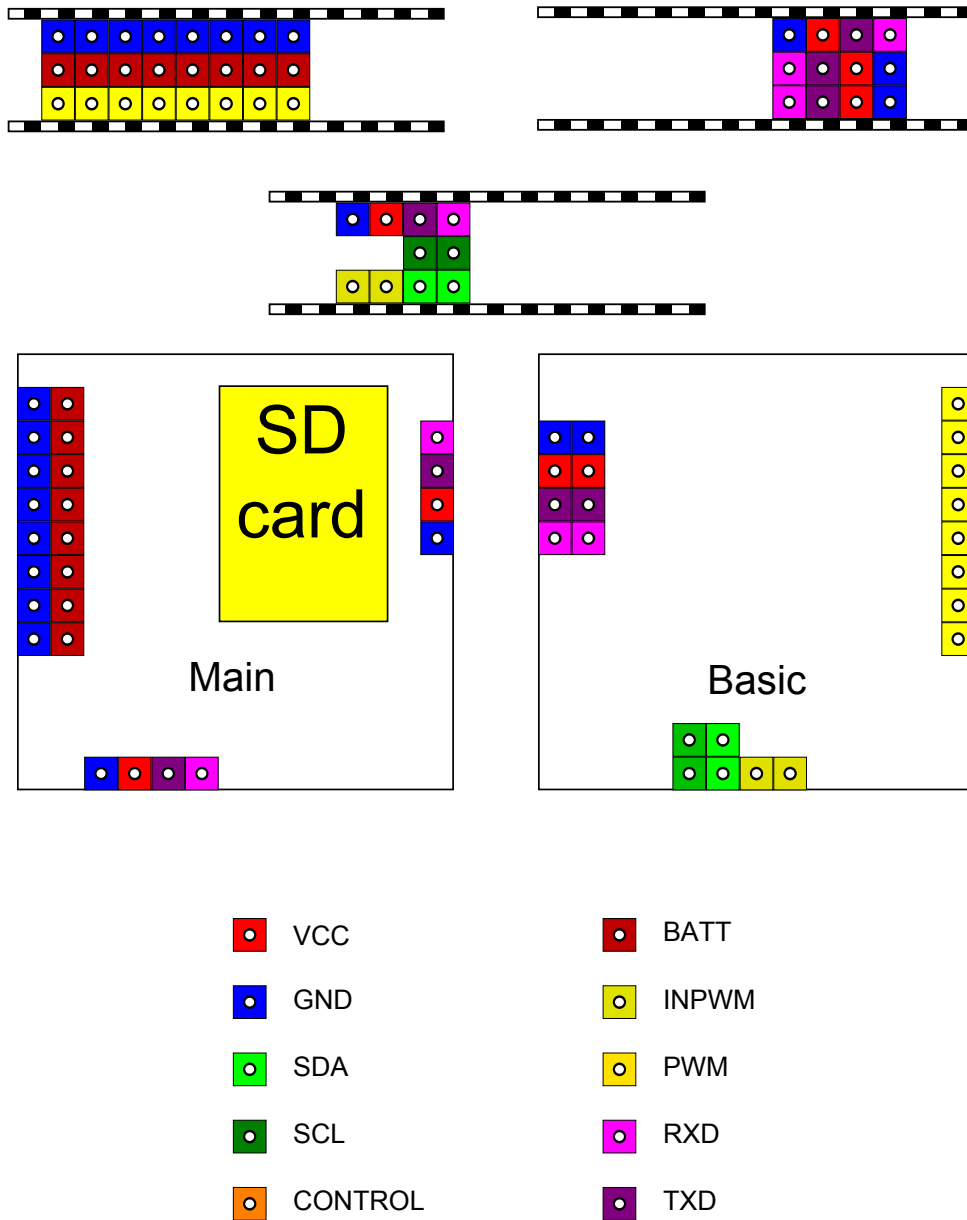
Obrázek 8: Rozměry celé elektroniky Yunify

A.2 Pinová konfigurace

Na obrázku 9 a 10 je znázorněna poloha jednotlivých konektorů na obou deskách. Desky jsou znázorněny v perspektivě a dále jsou zobrazeny tři boční strany s jednotlivými konektory.



Obrázek 9: Schéma konektoru, kterým je spojena deska Main s deskou Basic



Obrázek 10: Pinová konfigurace elektroniky

Propojovací konektor	
Pin	Popis
VCC	Napájení 3.3V, které je rozvedeno po celé desce od stabilizátoru. Konektor je možné využít pro napájení dalších zařízení do 500mA.
GND	0V
SDA, SCL	I ² C linka, která je využita ke komunikaci mezi deskou Basic a deskou Main.
CONTROL_AID	Pin, kterým je propojena deska Main s deskou Basic. Pokud nastane selhání desky Main, nabyde tento pin hodnoty LOW a deska Basic je přepnuta do nouzového režimu.
CONTROL_IO	Pin, kterým je propojena deska Main s deskou Basic. Tímto pinem předáváme desce Basic informaci o jednom ze dvou stavů, jejichž výběr nastavíme programově.
RESET	Reset procesoru dané desky.

Deska Basic	
Pin	Popis
BATT	Napájení desky 5-12V a detekce stavu vybití baterií.
VCC	Napájení 3.3V, které je rozvedeno po celé desce od stabilizátoru. Konektor je možné využít pro napájení dalších zařízení do 500mA.
GND	0V
PWM0..7	Konektory pulsní šířkové modulace (PWM), ke kterým je možné připojit serva a jiné regulátory.
ACC_RXD, ACC_TXD	Konektor sériové linky, primárně určený k připojení akcelerometrů. (Lze připojit libovolné zařízení s podporou USART.)
FREERX_RXD, FREERX_TXD	Konektor sériové linky. Lze připojit libovolné USART zařízení, například bluetooth modul.
KOMPAS_SDA, KOMPAS_SCL	Konektor I ² C sběrnice. Primárně určený pro připojení kompasu.
OTHER_SDA, OTHER_SCL	Druhý paralelní konektor I ² C sběrnice.
INPWM1..2	Dva nezávislé konektory pro zpracování multi PWM signálu od RC přijímače nebo jiného zařízení totožného protokolu.
START	Pad, ke kterému lze připojit programově detekovatelné tlačítko.

Deska Main	
Pin	Popis
BATT	Napájení desky 5-12V a detekce stavu vybití baterií.
VCC	Napájení 3.3V, které je rozvedeno po celé desce od stabilizátoru. Konektor je možné využít pro napájení dalších zařízení do 500mA.
GND	0V
GPS_RXD, GPS_TXD	Konektor sériové linky, primárně určený k připojení GPS. (Lze připojit libovolné zařízení s podporou USART.)
ZEM_RXD, ZEM_TXD	Konektor sériové linky. Lze připojit libovolné zařízení s podporou USART.
ADC0..3	10 bitové analogové vstupy. Naměřené napětí je programu předáno jako 10 bitové číslo v rozsahu od GND po hodnotu VCC.
SD	Slot microSD karty. Lze použít microSD/SDHC karty.
OC0..3	Pady, které lze použít pro připojení dalších zařízení ovládaných pomocí PWM.
INPWM3	Pad, který lze použít jako přijímač PWM signálu.
START2	Pad, ke kterému lze připojit programově detekovatelné tlačítko.

Každý z výše uvedených pinů lze použít jako digitální vstup nebo výstup. Použití každého pinu je dáno programem. Pokud chceme použít jednotlivé piny jako digitální vstupy nebo výstupy, použijeme označení PORT A..G (PA0..PA7..PF0..PF7..PG0..PG4). Viz datasheet Atmel ATmega128 [2].

A.3 Schéma zapojení elektroniky

Na schématech 11 a 12 je uvedeno vnitřní zapojení elektroniky Yunify. Schémata 13 a 14 znázorňují tištěný spoj desek Main a Basic bez součástek. První schéma znázorňuje celou desku, druhé vrchní stranu desky a třetí schéma znázorňuje spodní stranu desky.

B Návrh API pro řídicí elektroniku

Yunify je možné naprogramovat libovolným programem určeným pro procesory Atmel řady ATmega. V této sekci jsou popsány funkce, které můžeme použít k usnadnění tvorby našeho programu pro elektroniku Yunify.

B.1 Firmware pro desku Basic

Firmware pro desku Basic je určen zejména pro létání s podporou nouzového režimu. V opačném případě zpracovává pokyny a požadavky desky Main, které jsou uvedeny v sekci B.2.2.

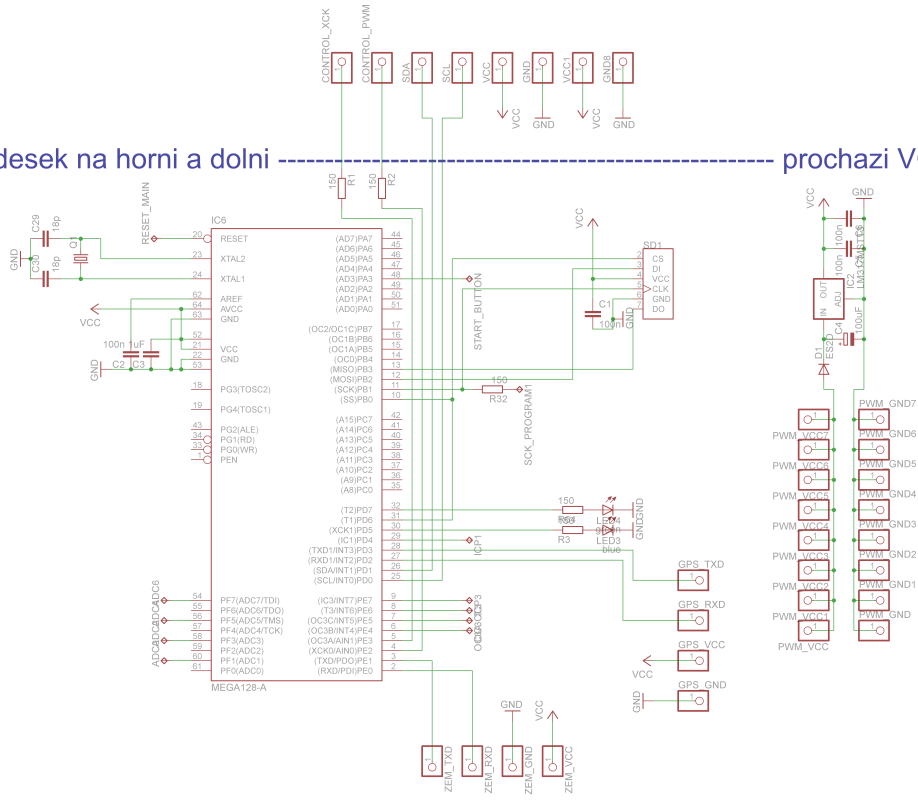
B.1.1 Nouzový režim

Nouzový režim primárně zamezuje poškození nebo zničení letounu v případě selhání některých součástí elektroniky. Může být spuštěn na příkaz programu desky Main vypnutím portu CONTROL_AID. Dále lze nastavit spuštění režimu pomocí RC přijímače nebo jiného komunikačního zařízení.

Nouzový režim je spuštěn právě v těchto případech:

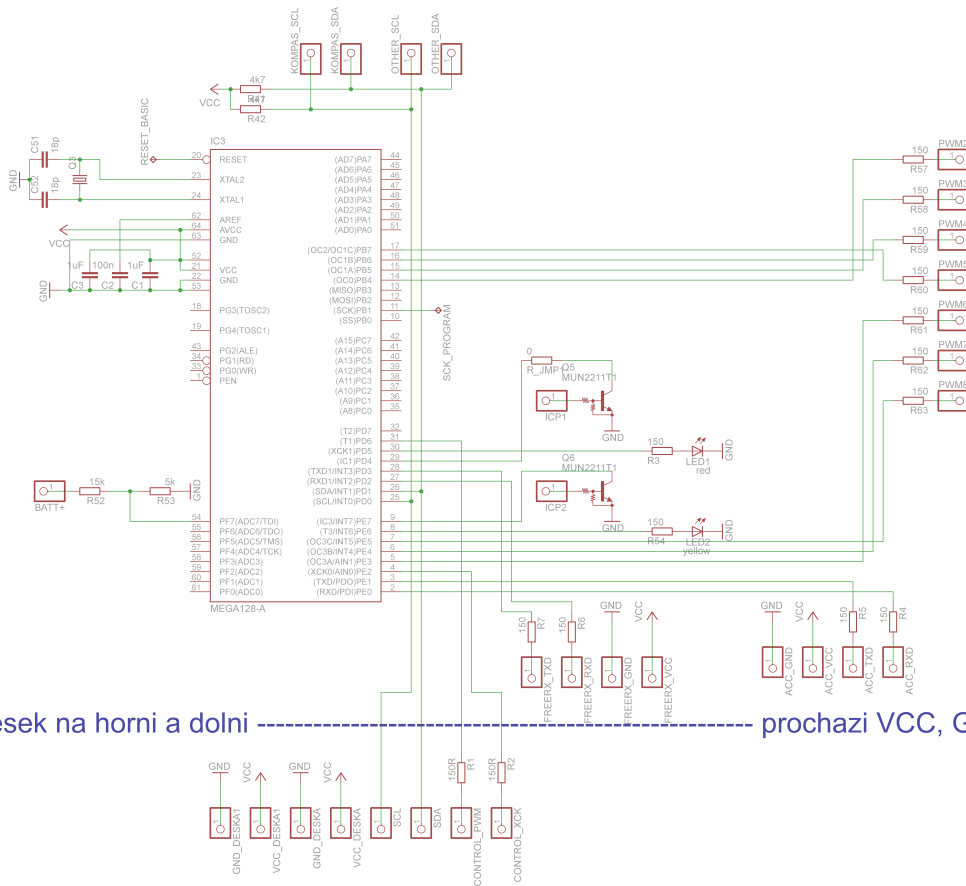
1. Port CONTROL_PWM je nastaven na hodnotu LOW.

rozdeleni desek na horni a dolni ----- prochazi VCC, GND, SDA, SCL

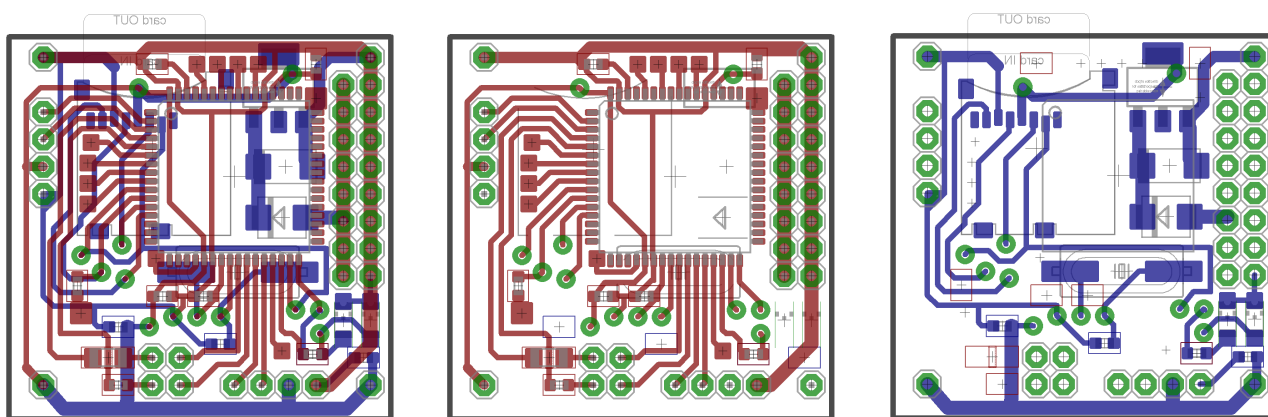


Obrázek 11: Elektronické schéma zapojení desky Main

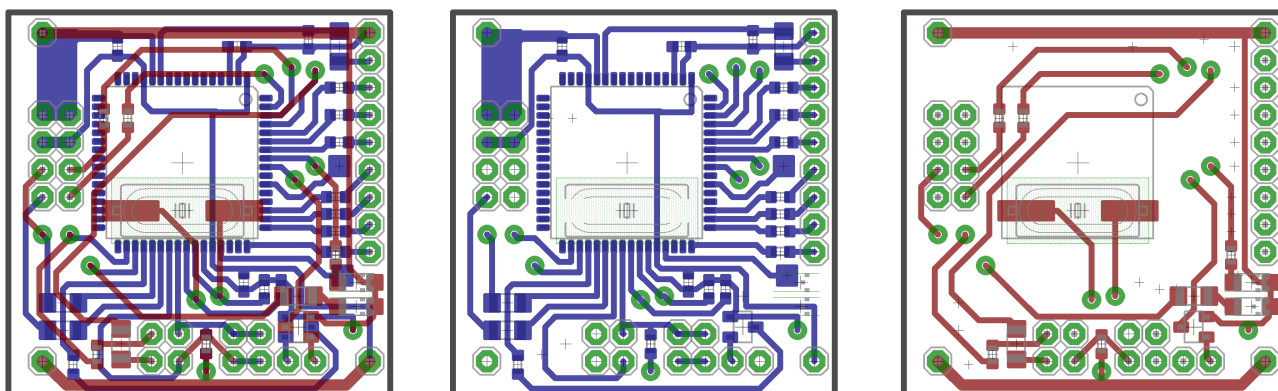
rozdeleni desek na horni a dolni ----- prochazi VCC, GND, SDA, SCL



Obrázek 12: Elektronické schéma zapojení desky Basic



Obrázek 13: Obrázek tištěného spoje desky Main bez součástek



Obrázek 14: Obrázek tištěného spoje desky Basic bez součástek

2. Procesor desky je resetován.
3. Pilot dá pokyn ke spuštění pomocí RC vysílače.
4. Deska Basic obdrží požadavek od externího zařízení - je nastavena událost, která uvede nouzový režim v aktivitu.

V nouzovém režimu je obsluhován pouze RC přijímač, který je přímo propojen s PWM regulátory. Pokud je RC přijímač nedostupný, tak je primárně vypnut motor a letoun je stabilizován do předvolené polohy. Uživatel může desce Basic předat funkci, která je cyklicky volána při spuštění nouzového režimu. Funkce má k dispozici ovládání PWM regulátorů a dalších funkčních zařízení připojených k desce Basic.

B.2 Knihovna základních funkcí

Knihovna základních funkcí slouží k obsluze elementárních požadavků. V této sekci je popsán návrh knihovny včetně popisu jednotlivých funkcí.

B.2.1 Ovládání konektorů

Digitální porty Digitální porty jsou ovládány totožným způsobem, jako je uvedeno v datasheetu ATmega128 [2]. Každý z pinů můžeme použít v režimu čtení a v režimu zápisu. V režimu čtení můžeme číst hodnotu vybraného pinu jako LOW (0V) nebo HIGH (3.3V) a v režimu zápisu můžeme nastavit vybranému pinu hodnotu LOW nebo hodnotu HIGH.

USART, I²C Vzhledem k tomu, že obě desky využívají totožný procesor, je možné pomocí jedné knihovny ovládat porty na obou deskách. Každá deska má vyvedeny dvě sériové linky USART (USART0 a USART1), dále jednu I²C sběrnici (I²C) a jednu SPI linku, která poskytuje komunikaci s microSD kartou. Knihovna nabízí komunikaci pomocí tříd, které obsluhují jednotlivé linky. Níže je uvedena ukázka použití třídy USART0. Každá třída obsahuje tyto funkce:

Funkce	Popis
<code>char C = USART0.read();</code>	Přečte první příchozí znak ve frontě. Pokud je příchozí fronta prázdná, čeká se na přijetí nového znaku.
<code>bool A = USART0.peek(char & C);</code>	Pokud je fronta prázdná, A==false, jinak A==true a do proměnné C je uložen první znak ve frontě.
<code>USART0.write(c);</code>	Znak v proměnné C je odeslán.
<code>USART0.write("any_string");</code>	Odesláno pole znaků. Funkce je obdobná jako cyklické volání funkce USART0.write(c).
<code>USART0.writeNumber(int I);</code>	Odesláno 32 bitové číslo, které je převedeno na pole odpovídajících znaků v dekadickém zápisu.

Ovládání PWM zařízení PWM zařízení ovládáme nastavením hodnoty, která je převáděna na signál PWM. Nastavená hodnota je zasílána až do jejího dalšího přepsání programem. Signál PWM je generován hardwarově, není tedy třeba další softwarová obsluha. Pro obsluhu použijeme funkci

```
setPWM(int value, int id);
```

kde proměnná id označuje zařízení, pro které nastavujeme aktuální hodnotu v proměnné value.

Příjem signálu PWM z RC přijímače Procesor disponuje dvěma ICP porty (ICP0 a ICP1), které jsou na sobě nezávislé. Knihovna Yunifly poskytuje totožné struktury ICP0 a ICP1, které obsluhují příjem PWM signálu přes ICP port. Běžné RC přijímače mají vyvedeny PWM konektory v počtu podporovaných kanálů. Některé přijímače mají navíc vyvedenu sériovou linku nebo jeden port, který nese informace o nastavení všech kanálů. Běžný RC přijímač můžeme upravit tak, že vyvedeme konektor poskytující informace o všech kanálech ručně.

```
struct ICP0
{
    int value = getChannelValue(int id);
};
```

MicroSD karta Připojenou microSD kartu můžeme číst, pokud je naformátována jako FAT32. Knihovna Yunifly podporuje čtení a zápis do souboru, vytvoření nového souboru, smazání souboru, naformátování microSD karty a získání jmen souborů ve složce. Dále je možné microSD kartu číst a zapisovat po jednotlivých blocích fyzické paměti.

AD převodníky Procesor ATmega128 má 8 vyvedených AD převodníků. Elektronika Yunifly má z kapacitních důvodů vyvedeny pouze 4 piny. Je vyveden každý sudý AD převodník. Softwarově ale můžeme číst všech 8 převodníků pomocí funkce

```
int getSensorValue(int id);
```

kde proměnná `id` udává identifikační číslo daného AD převodníku. Funkce vrací 10 bitová čísla.

Ovládání LED na desce Každá deska obsahuje dvě LED, které můžeme programově ovládat. K dispozici máme funkce pro rozsvícení a zhasnutí červené a zelené LED. Dále potom funkce ke zjištění aktuálního stavu obou LED.

```
void setRedLED(bool light);  
void setGreenLED(bool light);  
bool getRedLED();  
bool getGreenLED();
```

Stav baterií Aktuální stav baterií je na desce Basic měřen na ADC7 (AD převodník). Baterie je k ADC7 připojena přes rezistorový dělič $15k\Omega$ na $5k\Omega$. Stav baterií můžeme číst jako 10 bitové číslo, kde 0 odpovídá 0V a 1023 odpovídá $3.3 \cdot 4 = 13.2V$.

B.2.2 Komunikace s deskou Basic

Obě desky spolu komunikují pomocí I²C linky a pinů `CONTROL_AID` a `CONTROL_IO`. Knihovna `Yunifly` obsahuje funkce pro desku `Main` určené ke komunikaci s firmwarem na desce `Basic`.

Nouzový režim Pokud nechceme, aby deska `Basic` pracovala v nouzovém režimu, musí deska `Main` držet pin `CONTROL_AID` na hodnotě `HIGH`. Pokud deska `Basic` zaznamená změnu na hodnotu `LOW`, je automaticky přepnuta do nouzového režimu. Dále je možné nastavit spuštění nouzového režimu jako reakci na konkrétní stav RC přijímače nebo detekovatelnou ztrátu signálu.

Nastavení PWM PWM zařízení obsluhuje deska `Basic` z důvodu možnosti řízení při výdudku desky `Main`. Přes I²C zašle deska `Main` zprávu, jak se má změnit nastavení PWM regulátorů. Použijeme funkci

```
bool sendBasicPWM(int value, int id);
```

kde `id` je identifikátor PWM regulátoru, který nastavujeme na 10 bitovou hodnotu `value`. Funkce vrací `false` v případě neobdržení odpovědi od desky `Basic`.

Příjem dat od RC přijímače Funguje obdobně, jako nastavování hodnot PWM. První funkce nastaví počet kanálů, které jsou naslouchány na vstupním portu PWM (ICP portu) desky `Basic`. Druhá funkce získá aktuálně přijatou hodnotu na kanále v proměnné `id`.

```
bool sendBasicICPPorts(int count);  
int getBasicICP(int id);
```

B.2.3 Komunikace s externími moduly

Zde jsou popsány funkce, které slouží pro obsluhu konkrétních zařízení uvedených v sekci 3.4.2.

GPS Pro komunikaci s GPS je podporována funkce pro získání souřadnic severní šířky a východní délky jako celé číslo v desetimiliontinách stupně (v případě jižní šířky a západní délky jsou hodnoty záporné), dále funkce pro získání nadmořské výšky v metrech, přesnosti měření v metrech a čas v počtu uplynulých sekund od 1.1.1970. Poslední funkce zjistí, zda je GPS připojena a připravena na zaslání aktuálních souřadnic.

```
int GPSgetNorth ();
int GPSgetEast ();
int GPSgetAltitude ();
int GPSgetAccuracy ();
int GPSgetTime ();
bool GPSrunning ();
```

Při selhání GPS jsou všechny návratové hodnoty nulové.

Akcelerometr Použitý trojosý akcelerometr komunikuje s deskou Main pomocí sběrnice I²C . Pomocí tří funkcí můžeme získat aktuální akceleraci. Vždy je vrácena hodnota akcelerace v ose X, Y nebo Z v rozlišení 16 bitových čísel do přetížení 60G.

```
int ACCgetXValue ();
int ACCgetYValue ();
int ACCgetZValue ();
```

Kompas Kompas elektronice Yunifly vrací odchylku od severního směru v ose X, Y a Z jako 8 bitové signed int číslo, kde kladná hodnota značí odchylku v kladném směru. Hodnota ± 255 značí jižní směr.

```
int COMPASgetX ();
int COMPASgetY ();
int COMPASgetZ ();
```