

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

## Modulární stavba soutěžních robotů

Tomáš Rohlínek

Brno 2020

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

## MODULÁRNÍ STAVBA SOUTĚŽNÍCH ROBOTŮ

MODULAR CONSTRUCTION OF COMPETITIVE  
ROBOTS

AUTOR	Tomáš Rohlínek
ŠKOLA	Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace
KRAJ	Jihomoravský
ŠKOLITEL	Mgr. Miroslav Burda
OBOR	10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Brno 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Modulární stavba soutěžních robotů* jsem vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Miroslava Burdy a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Drásově dne: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Tomáš Rohlínek

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu Mgr. Miroslavu Burdovi za pomoc, podnětné připomínky a hlavně nekonečnou trpělivost.

## **Anotace**

Cílem této práce je vytvořit ekosystém univerzálních senzorových modulů pro soutěžní roboty tak, aby jejich instalace, využívání a případná tvorba nových modulů byla uživatelsky co nejprívětivější.

## **Klíčová slova**

robotika; senzory; komunikace; modulární konstrukce; protokoly

## **Annotation**

The goal of this work is to create an ecosystem of universal sensor units for competitive robots, while their installation, usage and creation of new ones, is as user friendly, as possible.

## **Keywords**

robotics; sensors; communication; modular construction; protocols

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>1 Běžně používané sběrnice</b>	<b>8</b>
1.1 I <sup>2</sup> C . . . . .	9
1.2 UART . . . . .	9
1.2.1 RS-232 . . . . .	10
1.2.2 RS-485 . . . . .	10
1.3 SPI . . . . .	11
1.4 1-Wire . . . . .	12
1.5 Nesběrníková komunikace . . . . .	12
<b>2 Běžně používané senzory na soutěžních robotech</b>	<b>13</b>
2.1 Senzory vzdálenosti . . . . .	14
2.1.1 Ultrazvukové senzory . . . . .	14
2.1.2 IR senzory . . . . .	15
2.1.3 Lidar/Radar/Sonar . . . . .	16
2.2 Senzory barvy . . . . .	16
2.2.1 Black-white senzory . . . . .	16
2.2.2 RGB senzory . . . . .	17
2.2.3 Kamery . . . . .	17
2.3 Pohybové senzory . . . . .	17
2.3.1 Akcelerometry . . . . .	18
2.3.2 Gyroskopy . . . . .	18
2.3.3 Enkodéry . . . . .	18

2.3.4	Kompasy . . . . .	19
2.4	Komplexní polohové senzory . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Volba parametrů</b>	<b>20</b>
3.1	Sběrnice . . . . .	20
3.2	Protokol . . . . .	20
3.3	Zpracované senzory . . . . .	20
3.4	Procesory . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Janus protocol</b>	<b>23</b>
4.1	Základní specifikace . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Senzory</b>	<b>25</b>
5.1	Všesměrový ultrazvukový senzor . . . . .	25
5.1.1	Singleplayerové řešení . . . . .	25
5.1.2	Janus omni-ultra . . . . .	26
5.2	Sběrač ultrazvukových senzorů . . . . .	27
	Závěr . . . . .	29
	<b>Literatura</b>	<b>30</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>30</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>31</b>

# Úvod

V poslední době se robotické soutěže těší stále většímu zájmu jak veřejnosti, tak konstruktérů. Mezi v česku známé robotické soutěže patří například Pražský robotický den[1], Sensory dosahují různé kvality a používají různé komunikační protokoly a sběrnice, což může být problémem pro začínající konstruktéry, kteří se díky nejednotné nabídce musí starat o věci jako duplicitní adresy na sběrnici, kolize dvou knihoven řídících jednu sběrnici a hardwarové problémy dané sběrnice.

Cílem této práce je těmto začínajícím konstruktérům poskytnout nástroj, který většinu problémů se sensorikou vyřeší za ně, pro pokročilejší konstruktéry pak nabízí úsporu času. Tito konstruktéři nemusí již senzory, které se neustále opakují, stavět, zapojovat a programovat vždy znovu, ale dostanou do rukou téměř plug-n-play řešení.



# Kapitola 1

## Běžně používané sběrnice

Sběrnice dávají jednotlivým modulům možnost vzájemné komunikace. Často dochází k záměně pojmu sběrnice a protokol, což je pochopitelné, neboť se mohu v různých mírách překrývat. Sběrnici většinou rozumíme hardwareovou složku komunikace, ta definuje například počet vodičů, napěťové úrovně na těchto vodičích, atd. Protokolem pak rozumíme formát dat posílaných po sběrnici. V oboru amatérské stavby robotů se v praxi používá několik sběrnic a protokolů pro získávání dat:

- I<sup>2</sup>C
- UART
  - RS-232
  - RS-485
- SPI
- 1-Wire
- Nesběrníková komunikace

## 1.1 I<sup>2</sup>C

Snad nejpoužívanější sběrnice a protokol zároveň je I<sup>2</sup>C [2], také známá jako Inter-Integrated Circuit<sup>1</sup>. Tato sběrnice byla vyvinuta firmou Philips primárně pro připojení periferií, které nevyžadovaly vysoké komunikační rychlosti. Sběrnice podporuje jak multi-master, tak multi-slave. Běžná rychlost je 100 kbit/s, ve Fast modu je 400 kbit/s. Novější revize pak umožňují až 5 Mbit/s, s touto verzí však nemusí být kompatibilní starší zařízení. I<sup>2</sup>C používá 7-bitovou adresu, což teoreticky znamená, že je na každé sběrnici možno provozovat až 127 zařízení, prakticky je toto číslo značně nižší. I<sup>2</sup>C využívá TTL. Maximální délka sběrnice je 1 metr na 100 kBd, sběrnice však nebyla designovaná na provoz po kabelu, jak je zvyklá ji používat většina amatérských nadšenců.

Maximální počet zařízení	127
Maximální délka	1 metr
Běžná rychlost	100 kbit/s
Maximální teoretická rychlost	5 Mbit/s
Minimální počet vodičů	3 (SDA, SCL, GND)

Tabulka 1.1: Shrnutí hlavních parametrů I<sup>2</sup>C

## 1.2 UART

Další hojně používanou sběrnici je UART, mezi amatérskou komunitou známá též jako sériová linka. UART ve skutečnosti není sběrnice jako taková, jedná se spíše o něco mezi sběrnici a protokolem. UART definuje pouze posílaná data (0 a 1), nikoli však způsob jejich posílání či napěťové úrovně sběrnice.

---

<sup>1</sup>Protože je značka I<sup>2</sup>C chráněna, použili ostatní výrobci název TWI, jedná se o prakticky stejnou sběrnici, pouze pod jiným názvem.

O to se starají právě jednotlivé implementace<sup>2</sup>. Nejběžněji používané implementace UARTu jsou:

### 1.2.1 RS-232

RS-232 [3] je implementace UART. Používá napěťové úrovně +5 V až +15 V pro logickou 1 a -5 V až -15 V pro logickou 0, toto platí pro vysílací část. Příjímací část přidává dvouvoltovou hysterezi kvůli rušení, což znamená +3 V až +15 V pro logickou 1 a -3 V až -15 V pro logickou 0. RS-232 potřebuje společnou GND.

Maximální počet zařízení	2
Běžná rychlost	115200 baud/9600 baud
Maximální teoretická rychlost	10 Mbit/s
Minimální počet vodičů	3 (Tx, Rx, GND)

Tabulka 1.2: Shrnutí hlavních parametrů RS-232

### 1.2.2 RS-485

RS-485 [4] je další implementace UARTu. Nepoužívá ale napěťové úrovně oproti společné GND, nýbrž využívá rozdílu napětí na linkách A a B, ten musí být alespoň 200mV. To způsobuje několik věcí:

- Pokud vedou obě linky podél sebe, nejlépe jsou-li kroucené, je prakticky nemožné komunikaci zarušit, což je v prostředí motorů na robotu značná výhoda.<sup>3</sup>
- Není potřeba společná GND.

---

<sup>2</sup>I přesto se dá UART používat sám o sobě na TTL (Transistor-Transistor-Logic), v tom případě je definice napěťových úrovní ponechána jednotlivým zařízením, což může způsobit vzájemnou nekompatibilitu.

<sup>3</sup>Zároveň to výrazně zvyšuje maximální možnou délku linky, při nižších rychlostech až na 1200 m. Doporučení:  $\text{rychlost}[\text{baud}] \cdot \text{vzdálenost}[\text{m}] < \pm 10^8$ .

- Pro plný duplexní mód (jedna linka na vysílání a jedna na přijímání) je potřeba dvojnásobný počet vodičů, tedy 4.

V závislosti na použitém převodníku z UART na RS-485 může být počet zařízení na sběrnici 32 nebo až 128.

Maximální počet zařízení	32/128
Běžná rychlost	115200 baud/9600 baud
Minimální počet vodičů	2 (A, B)
Maximální vzdálenost	1200 m

Tabulka 1.3: Shrnutí hlavních parametrů RS-485

## 1.3 SPI

SPI [5], neboli Serial Peripheral Interface, je dvoukanálová synchronní multi-slave<sup>4</sup> sběrnice. Pro komunikaci využívá 4 vodiče:

- MOSI (Master Output Slave Input) – výstup z master a vstup do slave
- MISO (Master Input Slave Output) – výstup ze slave a vstup do master
- SCK – hodinový signál
- SS (Slave Select) – tímto pinem nastavujeme, který slave je momentálně aktivní

Na straně masteru může pak díky tomu být počet použitých pinů větší (3 + počet slave zařízení).

Další možná konfigurace je tzv. Daisy-chain, kdy je MOSI masteru připojeno na MOSI prvního slave zařízení a MISO prvního slave zařízení je připojeno na MOSI dalšího slave zařízení, až MISO posledního slave zařízení je připojeno

---

<sup>4</sup>Na sběrnici je naráz připojen pouze jeden master (řídící jednotka) a typem sběrnice omezené množství slave (řízených) zařízení.

na MISO masteru. Tato konfigurace poskytuje snížení počtu vodičů, zároveň ale snižuje i komunikační rychlost, protože informace od prvního slave zařízení musí obejít celý kruh, než se dostanou zpět k master zařízení.

Nespornou výhodou SPI je její rychlost. Maximální rychlost není definovaná, aplikace běžně jdou až přes 10 Mb/s. Nevýhodou může být velký počet vodičů, při použití standardního zapojení.

## 1.4 1-Wire

1-Wire [6] je sběrnice (a protokol zároveň), která, jak již její název napovídá, potřebuje pouze jeden vodič. K tomu potřebuje ještě společnou GND, ale i tak to jsou pouze 2 vodiče, které obsáhnou napájení i komunikaci<sup>5</sup>. Této typologie se využívá třeba u kontaktních přístupových čipů. Sběrnice je také poměrně známá pro svůj CRC součet, který umožňuje kontrolu odeslaných dat. 1-Wire je kompatibilní s TTL. Každé zařízení na sběrnici má unikátní neměnnou adresu.

## 1.5 Nesběrníková komunikace

Některé senzory nepotřebují posílat velké množství dat, a proto může být lepší nepoužít sběrnici. Příkladem takového senzoru může být třeba obyčejné tlačítko. Některé senzory zmíněné v další kapitole také používají tento způsob předávání dat. Hlavní problém tohoto řešení je především náročnost na čas procesoru a počet vodičů.

---

<sup>5</sup>Sběrnici je možno provozovat i na třílinkovém módu.

## Kapitola 2

# Běžně používané senzory na soutěžních robotech

Každý robot potřebuje mít způsob interakce s okolím. Tuto interakci zajišťují právě senzory. Naprostá většina amatérských týmů nemá prostor ani prostředky vytvářet vlastní senzory. Používání průmyslových senzorů je znemožňováno několika faktory. Zřejmě nejzásadnějším je cena, dále pak jejich velikost a hmotnost způsobená jejich robustností a kvalitou provedení. Týmy jsou tedy nuceny používat hotové sensorové moduly, o nichž často nevědí, jaké komponenty obsahují a jak fungují. Senzory se dají rozdělit do několika kategorií:

- Senzory vzdálenosti
  - Ultrazvukové senzory
  - IR senzory
  - Lidar/Radar/Sonar
- Senzory barvy
  - Black-white senzory
  - RGB senzory
  - Kamery

- Senzory pohybu
  - Akcelerometry
  - Gyroskopy
  - Enkodéry
  - Kompasy
- Komplexní polohové senzory

## 2.1 Senzory vzdálenosti

Senzory pro zjišťování vzdálenosti dodávají robotovi poměrně primitivním způsobem schopnost přibližně určit svou polohu na základě vzdáleností od okolních objektů. Podmínky pro jejich použití jsou však často velmi specifické a nedají se proto samy o sobě použít pro přesnější lokalizaci.

### 2.1.1 Ultrazvukové senzory

Asi nejpoužívanějšími senzory vzdálenosti jsou senzory ultrazvukové. Ty fungují na principu vyslání ultrazvukového pulzu a čekání na jeho návrat.

Nejběžněji používaný z nich je HC-SR04 [7]. Ten obsahuje ultrazvukový přijímač a vysílač, spolu s dodatečnou elektronikou. Má čtyři vývody:

GND	společná zem/-
VCC/5 V	napájení 5 V/+
Echo	Návrat měřené vzdálenosti
Trig	Spouštění měření

Tabulka 2.1: Vývody HC-SR04

Měření započne posláním logické 1 na pin Trig po dobu alespoň 10  $\mu$ s. Poté, co Trig opět přepneme na logickou 0, vyšle senzor 8 40-ti kHz pulzů,

zároveň nastaví na pinu Echo logickou 1. Po přijetí odraženého ultrazvukového signálu je na pinu Echo opět nastavena logická 0. Mikrokontroleru poté pouze zbývá měřit, jak dlouho byla na pinu Echo logická 1, tento čas pak dosadí do rovnice:

Senzor je schopen měřit vzdálenosti od 2 cm do 4 m, dělá to při 15° úhlu. Senzor má nevalnou přesnost (+/- 2 cm). Největší úskalí při používání tohoto senzoru nastává, pokud je na hřišti více robotů, nebo nesynchronizovaných senzorů, kdy se senzory mohou navzájem rušit. Další problém může vyvstat při používání pouze jednoho mikroprocesoru a několika ultrazvukových senzorů, kdy čas potřebný na změření všech senzorů přesáhne únosnou mez, čímž se zásadně prodlouží reakční čas robota. Tento problém se řeší použitím sekundárního procesoru pro obsluhu měření.

### 2.1.2 IR senzory

Infračervené senzory fungují vesměs na stejném principu jako ty ultrazvukové, pouze ultrazvukové pulzy jsou nahrazeny infračerveným paprskem. To s sebou nese oproti ultrazvuku své výhody i nevýhody. Hlavní výhodou oproti ultrazvuku je menší pravděpodobnost zarušení ambientním signálem, pokud senzor používá modulovaný signál pro měření. Nevýhodou je, že stejně jako ultrazvukové senzory mohou být i infračervené senzory přehlaceny, v tomto případě ale spíše silným ambientním zdrojem, například sluncem, než ostatními senzory.

Nejpoužívanější IR senzor vzdálenosti je FC-51 [8], který má oproti HC-SR04 výrazně větší měřicí úhllel 35° a výrazně menší rozsah měřitelných vzdáleností, konkrétně 2 cm až 30 cm. Na rozdíl od HC-SR04, který měří plynule na celém rozsahu, měří FC-51 pouze přiblížení pod nastavenou mez, podle toho vrací na výstupu 0 a 1. Hranice přiblížení je nastavitelná pomocí potenciometru nacházejícím se přímo na senzoru.



### 2.1.3 Lidar/Radar/Sonar

Tato zařízení obsahují běžné senzory vzdálenosti a pouze přidají možnost pohybu těchto senzorů. Místo jednosměrného měření pak vytváří v podstatě mapu prostoru. Lidar používá k měření laserový, většinou IR, paprsek. Radar používá rádiové vlny, které mohou částečně pronikat materiály, což umožňuje „vidět“ skrz zdi. Sonar používá k měření zvukové vlny, což je s výhodou využíváno hlavně pod vodou, kde se tyto vlny velmi dobře šíří. Bohužel zatím neexistuje spolehlivá a levná iterace těchto senzorů, která by se dala použít na soutěžních robotech.

## 2.2 Senzory barvy

Senzory barvy jsou použitelné pouze v některých soutěžních disciplínách. Dávají našemu robotovi možnost zjišťovat barvu herních objektů a podložky, což může pomoci jak s orientací, tak s plněním herních úkolů.

### 2.2.1 Black-white senzory

Tyto senzory využívají světelný zdroj, zpravidla IR nebo bílý, v kombinaci s plynulým světelným senzorem citlivým na vlnovou délku světla zdroje. Každá látka v závislosti na své barvě pohlcuje a odráží světlo jinak, nám poté zbývá pouze změřit, kolik světla se odrazilo. Senzory tedy defakto neměří, jestli je povrch černý nebo bílý, ale spíše jestli je světlý či tmavý. Existuje obrovské množství iterací tohoto senzoru – některé plynulé, jiné digitální s nastavitelnou hranicí překlpení. B-W senzory se nejčastěji používají v soutěžích jako line follower<sup>1</sup>, kde není potřeba kompletní RGB detekce.

---

<sup>1</sup>Soutěž, ve které se robot pokouší co nejrychleji projet dráhu vyznačenou nejčastěji černou čarou na podložce. V poslední době se do cesty přidávají také překážky, kterým se robot musí vyhnout.

### 2.2.2 RGB senzory

RGB senzory kombinují více B-W senzorů do jednoho celku. Existují dvě možnosti, jak toho dosáhnout.

První možnost používá jeden bílý zdroj světla a více senzorů citlivých na specifické vlnové délky, zpravidla 3 senzory pro RGB, občas se také přidává IR a UV. Všechny senzory přitom mohou měřit naráz.

Druhá možnost používá jeden senzor se širokým spektrem a více zdrojů světla s různými barvami vyzařovaného světla, opět se nejčastěji používá RGB a případně se k tomu přidává UV a IR. Tato možnost má o něco pomalejší měření oproti první metodě, neboť zdroje světla se musí ve svícení střídát.

### 2.2.3 Kamery

Zvláštní případem barevných senzorů jsou kamery. Ty však vyžadují v závislosti na způsobu použití poměrně velký výpočetní výkon. To řeší použití samostatného procesoru pro zpracování obrazu, jako to dělá třeba populární Pixy[9]<sup>2</sup>.

Kamery poskytují výhodu hlavně co se zorného pole a vzdálenosti od povrchu týká, nemusí totiž být na rozdíl od dvou předchozích připevněny do několika milimetrů od měřeného povrchu.

## 2.3 Pohybové senzory

Senzory pohybu poskytují robotu schopnost určit, jak se v prostoru pohybuje, některé přímo a některé nepřímo. Všechny však vyžadují nějaký způsob přepočtu. Tyto senzory neposkytují vždy přesné údaje, což není způsobeno přímo senzory, ale spíše typem a nedokonalostmi pohybu, který mají měřit. Polohové senzory, vyjma enkodérů, se zpravidla nepoužívají samostatně, ale

---

<sup>2</sup>Nebo můžeme použít aplikaci ve smartphonu, ty pro podobné aplikace mají výpočetního výkonu dostatek. Některé novější by mohly dokonce spustit nějaké Deep learning algoritmy pro zpracování obrazu.

v celcích. Například běžně používaný senzor mpu-6050 [10] spojuje dohromady akcelerometr a gyroskop, zároveň má možnost připojit přímo na sebe kompas, což umožňuje vytvořit 9-osý systém.

### 2.3.1 Akcelerometry

Akcelerometry měří lineární zrychlení. Ve větším provedení se jedná o závaží na pružině, která je na druhé straně uchycená k pouzdru. Lineární zrychlení zjistíme změřením a přepočtem změny délky pružiny, neboli o kolik se pružina zmáčkla/roztáhla, aby uvedla závaží do stejné rychlosti jako má pouzdro. V menším provedení se využívá piezoelektrického jevu pro měření. Senzor může měnit hodnoty v závislosti na teplotě, to je potřeba buď kompenzovat ve výpočtu, nebo zanedbat – v případě nepotřeby superpřesných údajů [11].

### 2.3.2 Gyroskopy

Gyroskopy měří úhlovou rychlost, případně úhel náklonu. Ve velkém provedení se jedná o setrvačnick připevněný k pouzdru způsobem, který umožňuje rotaci v měřených osách. Rotující setrvačnick si zachová nezávisle na pohybu pouzdra svůj počáteční náklon. Díky tomu máme referenční objekt, od kterého můžeme měřit náklon. V menším provedení se používá několik principů, jeden z nich je Disk Resonator Gyroscope, který využívá pro měření Coriolisovy síly. Pro měření všech 3 os je potřeba více gyroskopů [12] [13].

### 2.3.3 Enkodéry

Enkodéry slouží k převádění mechanického pohybu kol na elektronický signál. Enkodéry se dají rozdělit na ty, co se používají přímo na pohonu a na vlečné enkodéry.

Enkodéry umístěny na pohonu zabírají méně místa než ty vlečné. Na druhé stranu, pokud proklouzne kolo, či část převodu, nemají to tyto senzory jak zjistit.

Vlečné enkodéry mohou mít problém se změnou směru pohybu. Nejsou však ovlivněny možným proklouznutím hnacího kola, to proto, že měří pohyb relativně k podložce, na rozdíl od těch umístěných na pohonu, které měří pohyb relativně k robotovi.

### **2.3.4 Kompasy**

Stejně jako běžné kompas se elektronické kompas používají k zjištění natočení robota v magnetickém poli Země.

## **2.4 Komplexní polohové senzory**

Když potřebujeme přesné měření polohy, nestačí nám samostatné senzory, musíme vytvořit větší komplexní celek. Příklad takového systému je Global Positioning System, nebo jeho alternativy jako GLONASS a Galileo. Tento systém využívá sadu satelitů, které neustále vysílají svou pozici společně s časem odeslání zprávy. Pokud přijme přijímač data od alespoň 4 satelitů, může pomocí těchto zpráv triangulovat svoji polohu s vysokou přesností.

Další lokalizační systém používá HTC Vive [14], sada pro virtuální realitu, využívající Steam VR [15] tracking. Ta je pomocí 2 majáčků schopna s přesností na milimetr určit polohu senzoru v prostoru. Nástroje pro tvorbu vlastních přijímačů jsou navíc volně dostupné, což z tohoto systému činí perfektní způsob lokalizace objektů v trojdimenzionálním prostoru. Jediná problematická věc je cena majáčků (199\$), které je potřeba koupit, neboť zatím nebyly uvolněny podklady, na základě nichž by bylo možné vytvořit vlastní iteraci majáčků.

# Kapitola 3

## Volba parametrů

### 3.1 Sběrnice

Pro svou práci jsem zvolil sběrnici RS-485. Hlavní důvody pro toto rozhodnutí jsou:

- Odolnost proti rušení
- Počet zařízení 32/128 ( viz kapitola 1.2.2)
- Malý počet vodičů – 2
- Celková robustnost

### 3.2 Protokol

Rozhodl jsem se nevyužít již existující protokol, nýbrž sepsat protokol vlastní, tak, aby byl jednoduchý a přizpůsobitelný mým potřebám. Více v kapitole ??

### 3.3 Zpracované senzory

Senzory plánované pro implementaci do této sady zahrnují:

- Všesměrový ultrazvukový senzor
- Sběrač<sup>1</sup> pro ultrazvukové senzory HC-SR04
- Senzor pro Line follower
- RGB senzor

Kromě senzorů mají být součástí sady i další jednotky:

- Battery pack – inteligentní baterie
- Co-processing unit – přídatná výpočetní jednotka
- Rozbočovač – v případě potřeby možnost rozšířit sběrnici o více zařízení
- Buffer – kombinace co-processing unit a rozbočovače

## 3.4 Procesory

Rozhodl jsem se použít pro všechny senzory i řídicí jednotku procesory z řady ESP32. Některé z důvodů:

- Built-in podpora pro RS-485 přímo v UART driveru ESP32
- Built-in podpora CRC<sup>2</sup>
- Kompletní podpora C++v14 a STL na rozdíl od běžně používaných ATMEGA čipů, používaných například v Arduino deskách
- Kompatibilita se spoustou rozhraní a sběrnic – může sloužit jako převodník mezi ostatními sběrnici a Janus protocol/RS485
- OTA – možnost nahrávání programu přes internet<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup>Viz kapitola 5.2

<sup>2</sup>Cyklický redundantní součet. Kontrolní prvek využívaný ke kontrole správnosti přijatých dat, běžně používaný mimo jiné na sběrnici 1-Wire, nebo protokolu Modbus.

<sup>3</sup>Snaha o co nejjednodušší dodatečné opravy systému, kdy si senzory budou samy schopny dostahovat nejnovější firmware, a na obalu nebudou muset být vyvedené programovací konektory.

- WiFi a Bluetooth – v případě nutnosti bezdrátové komunikace
- Kompatibilita s Arduino<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup>Přestože samotný kód protokolu nevyžaduje Arduino a je postaven čistě na ESP-IDF, je Arduino prostředí pro mnoho začátečníků příjemnější pro práci než většina ostatních. Jeho jednoduchost a kompatibilita s jinými čipy však může zásadně limitovat jeho funkce, proto není obsluha protokolu napsaná právě v něm.

# Kapitola 4

## Janus protocol

Na sběrnici RS-485 se nabízela možnost použít protokol Modbus [16], což je průmyslový standard. Byla to původně i moje volba, ale v době, kdy jsem s prací začínal, nebyl ještě Modbus na ESP32 oficiálně podporován. Rozhodl jsem se proto vytvořit vlastní protokol, pracovně pojmenovaný Janus protocol. Nyní, i přestože je Modbus na ESP32 již podporován, jsem se rozhodl u Janus protocol zůstat, protože je oproti Modbus jednodušší. Zároveň se díky tomu nebudu muset starat o udržení kompatibility s Modbusem. Další z důvodů byla neexistence některých parametrů v hlavičce Modbusové zprávy, jako například adresa odesílatele.

Janus protocol je snaha o vytvoření uživatelsky co nejpřívětivějšího a zároveň robustního protokolu. Tento protokol je postavený z velké části na Avakar protokolu<sup>1</sup>. Přidává k němu adresaci zpráv a CRC16.

### 4.1 Základní specifikace

- Multi-slave
- Podpora zpráv různých délek – při zachování minimální délky/hlavičky
- Až 254 zařízení (limitováno RS-485 na 32/128 zařízení – bez použití

---

<sup>1</sup>Avakar je protokol vytvořený Martinem Vejnárem pro potřeby Robotics Brno.



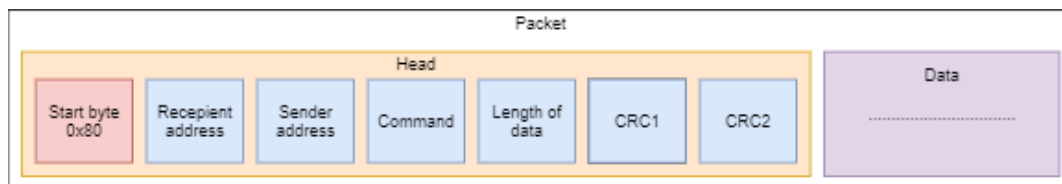
rozbočovačů)

- Jednoduché přidání dalšího senzoru do již zavedeného systému

Janus protocol používá 7-bytovou hlavičku následovanou datatovými byty, těch může být teoreticky až 255. Viz obrázek 4.1.

Hlavička sestává ze startovacího bytu, ten je statický a má hodnotu vždy 0x80. Následuje adresa adresáta, zařízení, pro které je správa určena. Pokud je tato adresa rovna 0xFF, jedná se o broadcastovou zprávu. To znamená, že ji přijmou všechna zařízení, odpovědět na ni však může pouze jedno. Na třetí pozici je adresa odesílatele zprávy. Na pozici čtvrté je číslo příkazu, ten říká zařízení jak má se správou naložit. Následuje byte určující počet datových bytů. Na šesté a sedmé pozici se nachází 16-bitové CRC.

Datové byty přenáší parametry pro příkaz určený číslem příkazu v hlavičce. Datové byty přenáší parametry, pro příkaz určený čísle příkazu v hlavičce. To mohou být jak nastavovací hodnoty pro senzory, tak hodnoty vracené ze senzorů do řídicí jednotky.



Obrázek 4.1: Diagram protokolu

Kompletní implementace protokolu pro ESP32 je dostupná na serveru Github [17].

# Kapitola 5

## Senzory

Ke dni odevzdání práce je funkční všesměrový ultrazvukový senzor, a to ve dvou iteracích. Dále je funkční také sběrač ultrazvukových senzorů. Další senzory jsou ve vývoji.

### 5.1 Všesměrový ultrazvukový senzor

Obě iterace tohoto senzoru používají 8 senzorů HC-SR04 uspořádaných do osmiúhelníku. Hlavní rozdíl mezi nimi je v možnosti použití. Zatímco první iterace je nachystaná pro singleplayerové disciplíny, druhá iterace pracovním pojmenovan Janus omni-ultra vyžaduje buď soupeře na hřišti, nebo možnost umístění majáčků okolo hřiště. Na Pražském robotickém dni tomuto odpovídá disciplína Roadside Assistance Advanced, ve světě jsou však tyto disciplíny rozšířenější.

#### 5.1.1 Singleplayerové řešení

Jedná se o osm senzorů HC-SR04 uspořádaných do osmiúhelníku, všechny senzory jsou svedeny do procesoru tak, aby se každý dal číst a aktivovat samostatně. Senzor musí být na robotovi uchycen nad úrovní všech ostatních jednotek, potřebuje mít 360° výhled. Druhý požadavek na použití tohoto senzoru je výškový rozdíl měřených objektů a objektů, které se na hřišti

nacházejí, ale vzdálenost od nich k robotovi měřit nechceme. Senzor musí být umístěn tak, aby jeho vrchní plocha byla maximálně na úrovni vrchní plochy měřených objektů, ale zároveň tak, aby při měření nezabíraly nechtěné objekty, což už je ovšem potřeba vyzkoušet na každém hřišti samostatně.

### 5.1.2 Janus omni-ultra

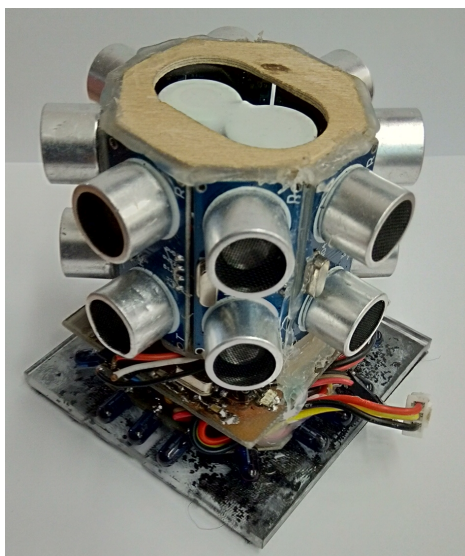
Tento senzor, nebo lépe řečeno uspořádání, potřebuje ke svému fungování dvě stanice. Jedna ze stanic je umístěna na robotovi, nazveme ji přijímačem. Druhá stanice je umístěna na soupeři, případně na pozici pro majáček na okraji hřiště, nazveme ji vysílačem. Obě stanice jsou založeny na singleplayerovém řešení.

#### Vysílač

Vysílač sestává ze singleplayerové verze, kruhu synchronizačních IR LED, baterie a řídicí desky. Jako baterie je zde použit dvoučlánek baterií 18650. Řídicí deska sestává ze dvou DPS umístěných nad sebou, propojených šestipinovým konektorem.

Na horní desce se nachází procesor a náležitosti potřebné k jeho fungování. Jako procesor je zde zvolen ATMEGA328[18], není zde totiž potřeba komunikace po Janus protocol, není tedy nutné používat dražší ESP32. Pro toto použití je ATMEGA dostačující. Úkolem procesoru je poslat na 40 kHz modulovaný puls ze synchronizačních IR LED společně s vysláním ultrazvukového signálu ze všech HC-SR04 naráz. Není třeba měřit návratový čas, protože na vysílači nás nezajímá. Procesor má zároveň dvě signalizační LED a umožňuje měření baterií, v případě vybití signalizuje tuto skutečnost.

Na spodní desce se nachází kruh synchronizačních IR LED, spojených na jeden tranzistor. Dále se zde nachází stabilizátor AMS1117 5V [19], ten upravuje napětí z baterií pro potřeby procesoru.



Obrázek 5.1: Vysílač

### Přijímač

Přijímač sestává ze singleplayerové verze, kruhu osmi IR přijímačů TSOP4840 a řídicí jednotky. Všechny HC-SR04 mají znefunkčnený vysílač. Když procesor přijme z IR přijímačů signál, započne měřit čas a odešle vysílací puls do HC-SR04, poté již jen čeká než se změní hodnota některého z Echo pinů na HC-SR04. V okamžiku, kdy se tak stane, procesor ukončí měření času a zaznamená si, ze kterého HC-SR04 změna přišla. Díky tomu je schopen senzor zjistit nejen vzdálenost od vysílače, ale i přibližný směr k němu. Cokoliv, co přijde po první změně nás nezajímá, protože se jedná o náhodný odraz od objektů v prostředí.

## 5.2 Sběrač ultrazvukových senzorů

Tento senzor používá řídicí elektroniku singleplayerového řešení všesměrového senzoru. Hlavní rozdíl oproti němu je možnost libovolného umístění senzorů HC-SR04 na robota. Důvodem tvorby tohoto senzoru je časová náročnost měření jednotlivých senzorů, která může razantně ovlivnit reakční dobu ro-

bota. Senzor je navíc oproti singlplayerovému řešení schopen po softwarovém zapnutí této funkce odesílat interrupt signál při překročení nastavené meze přiblížení pro některý z HC-SR04.

# Závěr

Ke dni odevzdání je funční Omni-ultra, všesměrový ultrazvukový senzor a Janus protocol jako takový. Ve vývoji se nachází knihovna pro práci s jednotlivými senzory. Začátečníkům z robotických kroužků na SPŠ Sokolské Brno[20] a pobočce DDM Helceletova Brno – Robotárně[21] se tak do rukou dostává, zatím omezené množství senzorů, se kterými mohou experimentovat.

I přesto asi nedjdůležitě výsledek, který si z práce odnáším já osobně jsou zkušenosti s většími komplexními projekty, v porovnání s mými dosavadními získané hlavně prací na samostatných malých projektech.

Janus protocol a hlavně jednotky, které na něm operují, se mají stále kam rozvíjet a to jak kvalitativně, tak i kvantitativně.

Do budoucna mám v plánu dodělat kompletní a jednoduše srozumitelnou dokumentaci jak pro celý protokol, tak pro jednotlivé senzory. Především kvůli tomu, aby si již zkušenější uživatelé mohli přidávat sami další senzory do ekosystému a poskytovali tím méně zkušeným uživatelům dostupnou sadu senzorů pro vlastní experimentování. Pro pohodlnost práce plánuji přidat modul pro Sigrok(program pro analýzu dat z logického analyzáru), určený k rychlé kontrole dat na sběrnici.

# Literatura

1. *Pražský robotický den*. Dostupné také z: <http://robotickyden.cz>.
2. *I<sup>2</sup>C-bus specification and user manual*. Dubna 2014. Č. UM10204. Dostupné také z: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>. Rev. 6.
3. *Fundamentals of RS-232 Serial Communications*. Března 1998. Application Note 83. Archived (PDF) from the original on 2017-03-05. Retrieved 2017-03-05.
4. *MAX481/MAX483/MAX485/MAX487-MAX491/MAX1487 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers*. Září 2014. Č. 19-0122. Dostupné také z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>. Rev 10.
5. SCOTT, Jenifer; EMERSON, Geoff. *Using the Serial Peripheral Interface (SPI) eTPU Function*. Října 2004. Č. AN2847. Dostupné také z: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN2847.pdf>. Rev. 0.
6. BERNHARD LINKE, Principal Member Technical Staff. *Overview of 1-Wire Technology and Its Use*. Června 2008. Č. TUTORIAL 1796. Dostupné také z: [https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/Overview\\_1wire\\_Technology\\_use.pdf](https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/Overview_1wire_Technology_use.pdf).
7. *Ultrasonic ranging module : HC-SR04*. Listopadu 2010. Dostupné také z: <https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2013/07/HC-SR04-datasheet-version-2.pdf>.

8. Dostupné také z: <https://artofcircuits.com/product/infrared-obstacle-avoidance-proximity-sensors-module-fc-51>.
9. Dostupné také z: <https://pixycam.com/pixy-cmucam5/>.
10. *MPU-6000/MPU-6050 Product Specification*. Srpna 2013. Č. PS-MPU-6000A-00. Dostupné také z: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Rev. 3.4.
11. JAMES, Doscher. *Accelerometer Design and Applications*. Prosince 2008. Dostupné také z: [https://web.archive.org/web/20081213001559/http://www.analog.com/en/technical-library/faqs/design-center/faqs/CU\\_faq\\_MEMs/resources/fca.html#2a](https://web.archive.org/web/20081213001559/http://www.analog.com/en/technical-library/faqs/design-center/faqs/CU_faq_MEMs/resources/fca.html#2a). Archived from the original on 13 December 2008.
12. *Gyroscope sensor*. Dostupné také z: <https://www.elprocus.com/gyroscope-sensor/>.
13. HOWARD, H Ge; CHALLONER, A Dorian. *Environmentally robust disc resonator gyroscope*. Google Patents, 2013. US Patent 8,393,212.
14. Dostupné také z: <https://www.vive.com/us/accessory/base-station2/>.
15. Dostupné také z: <https://partner.steamgames.com/vrlicensing#Tracking>.
16. *Modbus.org*. Dostupné také z: <http://www.modbus.org>.
17. *Janus decoder*. Dostupné také z: [https://github.com/haberturdeur/Janus\\_decoder\\_lib](https://github.com/haberturdeur/Janus_decoder_lib).
18. *8-bit AVR Microcontroller with 4/8/16/32 K Bytes In-System Programmable Flash*. Února 2009. Dostupné také z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATmega328.pdf>. Rev. 8025I-AVR-02/09.
19. *AMS1117, 1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR*. Dostupné také z: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>.
20. *Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace*. Dostupné také z: <http://www.spssbrno.cz/>.



21. *Robotárna, pobočka DDM Helceletova Brno*. Dostupné také z: <https://helceletka.cz/robotarna/>.

# Seznam obrázků

4.1	Diagram protokolu . . . . .	24
5.1	Vysílač . . . . .	27

# Seznam tabulek

1.1	Shrnutí hlavních parametrů I <sup>2</sup> C . . . . .	9
1.2	Shrnutí hlavních parametrů RS-232 . . . . .	10
1.3	Shrnutí hlavních parametrů RS-485 . . . . .	11
2.1	Vývody HC-SR04 . . . . .	14