

Česká zemědělská univerzita v Praze
Provozně ekonomická fakulta
Katedra informačního inženýrství



Bakalářská práce

**Návrh komunikačního rozhraní pro robota osazeného
řídící jednotkou Arduino**

Josef Kolář

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Josef Kolář

Informatika

Název práce

Návrh komunikačního rozhraní pro robota osazeného řídicí jednotkou Arduino

Název anglicky

Communication interface design for robots controlled by Arduino

Cíle práce

Cílem práce je vytvoření softwarové aplikace pro stolní počítač (mobilní telefon, server) umožňující ovládání robota s řídicí jednotkou Arduino, nebo jinou, řešerší zjištěnou platformou. Komunikace bude probíhat přes komunikační rozhraní Bluetooth nebo Wifi. Robot bude osazen optickou jednotkou (web kamerou). Tato jednotka umožní načítat data okolí a zasílat je na server.

Vytvořte a navrhňte:

- protokol pro přenos dat z kamery a ovládání pohybu robota
- implementujte protokol
- vytvořte robota schopného pohybu na základě přijatých dat

Metodika

Metodika bakalářské práce je založena na podrobné analýze existujících řídicích jednotek robotů a již existujících softwarových řešení. Znalosti nabyté studiem budou zhodnoceny a na jejich základě bude definován současný stav, klady a nedostatky. Porovnáním rozdílů a nedostatků současných řešení vznikne seznam funkcionalit, které by nový řídicí systém měl umožnit. Systém realizujte a otestujte.

Doporučený rozsah práce

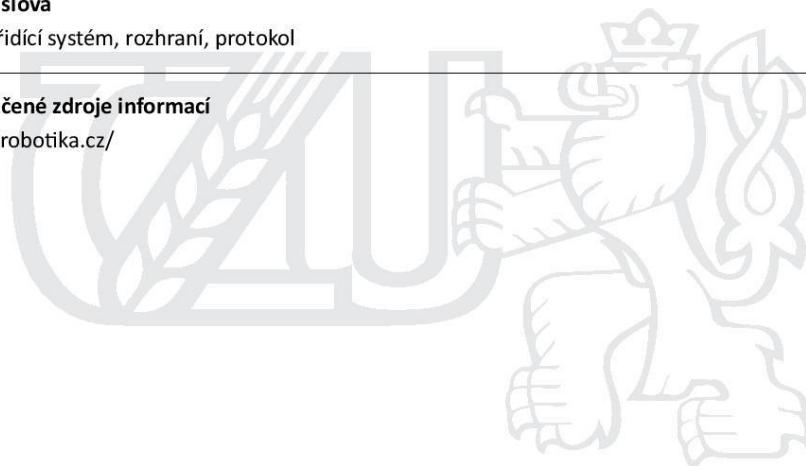
43

Klíčová slova

Robot, řídicí systém, rozhraní, protokol

Doporučené zdroje informací

<https://robotika.cz/>



Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Josef Pavlíček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

Elektronicky schváleno dne 1. 11. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 11. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Návrh komunikačního rozhraní pro robota osazeného řídicí jednotkou Arduino“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2016

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Josefu Pavlíčkovi, Ph.D. za odborné konzultace, užitečné rady a motivující přístup. Také chci poděkovat svým rodičům, kteří mě vytrvale podporují po dobu mých studií. Děkuji.

Návrh komunikačního rozhraní pro robota osazeného řídící jednotkou Arduino

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje návrh a implementaci komunikačního rozhraní a stavbu mobilního robota. Práce se zabývá možnostmi bezdrátového přenosu dat a jejich protokoly. Dále zachycuje realizaci mobilního robota a jeho programové vybavení. Poslední část popisuje úspěšnost realizace a náměty ke zlepšení systému.

Klíčová slova: Raspberry Pi, Arduino, robot, bezdrátová komunikace, protokol, Android

Communication interface design for robots controlled by Arduino

Abstract

This thesis describes the design and implementation of communication interface and the construction of a mobile robot. The work deals with the possibilities of wireless data communications and their protocols. There is also captured the realization of a mobile robot and its software. The last part describes the success of implementation and suggestions to improve the system.

Keywords: Raspberry Pi, Arduino, robot, wireless communication, protocol, Android

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Cíl práce a metodika	14
2.1 Cíl práce	14
2.2 Metodika	14
3 Teoretická východiska	15
3.1 Technologie pro bezdrátový přenos dat	15
3.1.1 Wi-Fi.....	16
3.1.2 Mobilní sítě.....	17
3.1.3 Bluetooth.....	17
3.1.4 ZigBee.....	18
3.1.5 Analogový přenos videa	19
3.1.6 Radiové moduly	20
3.2 Protokoly	20
3.2.1 Příklady protokolů	21
3.2.2 TCP/IP	23
3.2.3 Sériová komunikace.....	24
3.3 Řídící jednotka	24
3.3.1 Mikrokontrolery	25
3.3.2 Mini počítače	26
4 Vlastní práce	27
4.1 Komponenty	28
4.1.1 Raspberry Pi.....	28
4.1.2 Arduino	29
4.1.3 Můstek	30
4.1.4 Měnič	31
4.1.5 Převodník USB UART	32
4.1.6 Kamera.....	32
4.1.7 Wi-Fi modul.....	33
4.1.8 Motory	34
4.1.9 Podvozek.....	34
4.1.10 Baterie	35
4.2 Software	36
4.2.1 Android	36
4.2.2 Raspbian.....	37

4.2.3	OpenCV	37
4.2.4	Řídící aplikace	37
4.2.5	Palubní aplikace	38
4.2.6	Arduino aplikace	38
4.2.7	Komunikační protokol	39
5	Výsledky a diskuse	40
5.1	Výsledné parametry	40
6	Závěr.....	42
7	Seznam použitých zdrojů	43
8	Přílohy	45

Seznam obrázků

Obrázek 1	Ukázka robota	12
Obrázek 2	Teslova loď.....	15
Obrázek 3	XBee modul.....	19
Obrázek 4	IQRF modul.....	20
Obrázek 5	Řídící protokol.....	22
Obrázek 6	Protokol s identifikátorem	22
Obrázek 7	Zapouzdření dat v síti TCP/IP	23
Obrázek 8	Mikrokontroler ATmega328	25
Obrázek 9	Intel Compute Stick.....	26
Obrázek 10	Blokové schéma elektroniky	27
Obrázek 11	Raspberry Pi 2 B	28
Obrázek 12	Energetická náročnost Raspberry Pi	29
Obrázek 13	Arduino UNO	30
Obrázek 14	Duální H-můstek	31
Obrázek 15	Měnič stejnosměrného napětí.....	31
Obrázek 16	Převodník USB UART	32
Obrázek 17	Kamerový modul.....	33
Obrázek 18	Wi-Fi modul	33

Obrázek 19 Motor s převodovkou	34
Obrázek 20 Podvozek MOB-03.....	35
Obrázek 21 Olověná baterie	35
Obrázek 22 Schéma řídicího protokolu	39
Obrázek 23 mapa se vzdáleností 500 metrů	40
Obrázek 24 mapa se vzdáleností 563 metrů	41

Seznam tabulek

Tabulka 1 Dosahy Wi-Fi standardů	16
Tabulka 2 Dosahy Bluetooth zařízení.....	18
Tabulka 3 Porovnání XBee modulů.....	19
Tabulka 4 Zpoždění obrazu v závislosti na rozlišení.....	41

Seznam použitých zkratk

PWM - Pulse Width Modulation

UART - universal asynchronous receiver/transmitter

MIMO - Multiple-input multiple-output

SPI - Serial Peripheral Interface

I²C - Inter-Integrated Circuit

FPV - First-person view (radio control)

IP - Internet Protocol

TCP - Transmission Control Protocol

UDP - User Datagram Protocol

SRAM - Static Random Access Memory

EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

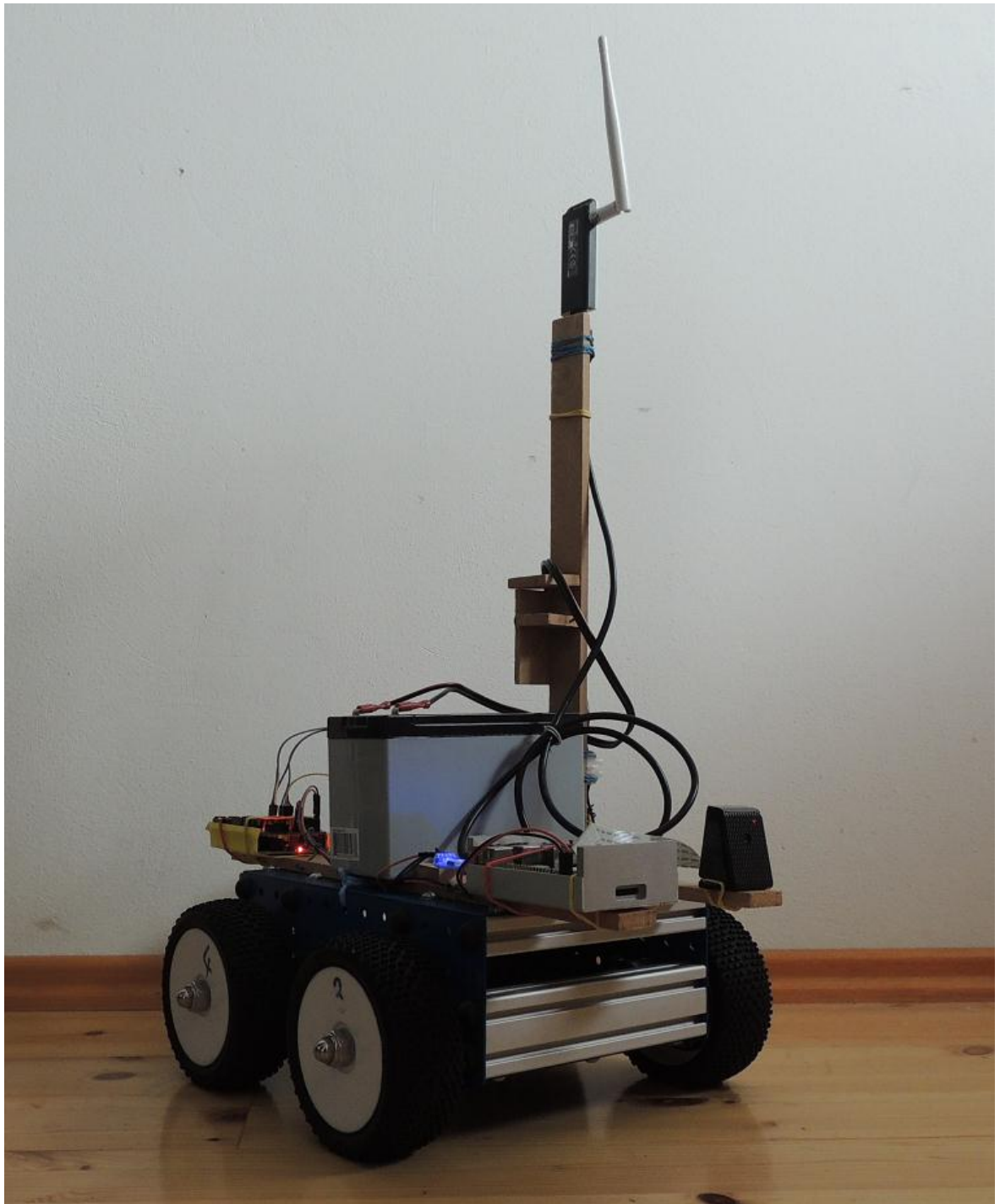
TTL - transistor-transistor logic

V4L - Video4Linux

API - Application Programming Interface

CSI - Camera Serial Interface

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineer
IDLE - Integrated Development and Learning Environment
IDE - Integrated Development Environment
LXDE - Lightweight X11 Desktop Environment
ARM - Advanced RISC Machine
RISC - Reduced Instruction Set Computing
HDMI - High-Definition Multimedia Interface
GPIO - General-purpose input/output
SD - Secure Digital
USB - Universal Serial Bus



Obrázek 1 Ukázka robota

1 Úvod

Komunikační rozhraní je velmi důležité pro jakoukoliv komunikaci v informačních technologiích. Jde o standardy, které nám definují způsob, jakým bude komunikace probíhat a to jak po stránce hardwarové, tak po stránce softwarové. Definování komunikačního protokolu nám dovoluje připojit se do komunikace s různým ať již softwarovým nebo hardwarovým řešením. Na hardwarové úrovni můžeme protokol definovat úrovněmi signálů, tvary konektorů, použitou modulací a další. Na softwarové úrovni definujeme formát přenášených dat, jako je počet bitů, způsob navázání komunikace, způsob ukončení komunikace, nastavení parametrů spojení, způsob zabezpečení a další. Cílem projektu je navrhnout protokol pro přenos obrazových a řídicích dat mobilnímu robotu. Dále pak implementovat tento protokol a sestavit robota schopného pohybu na základě řídicích dat. Sestavení robota vyžaduje vhodně zvolené komponenty, které k sobě budou pasovat. Musíme například zajistit, aby konstrukce robota poskytla dostačující nosnost komponent. Regulátor by měl být dostatečně dimenzovaný k regulaci motorů, aby nedošlo k jeho přetěžování. Tyto příklady a mnoho dalších podmínek je třeba vzít v úvahu.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

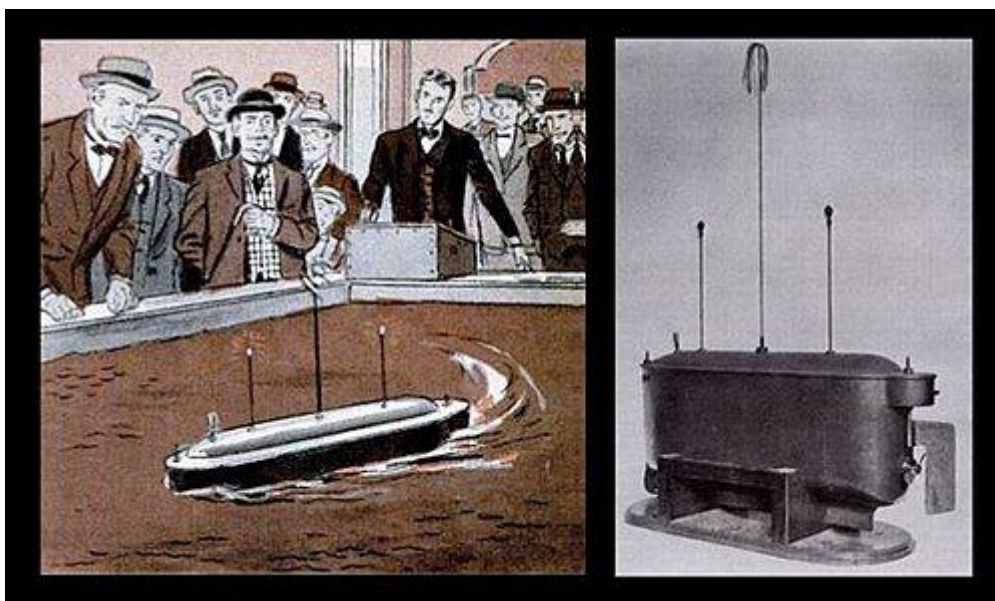
Cílem práce je vytvoření softwarové aplikace pro stolní počítač (mobilní telefon, server) umožňující ovládání robota s řídicí jednotkou Arduino, nebo jinou, rešerší zjištěnou platformou. Komunikace bude probíhat přes komunikační rozhraní Bluetooth nebo Wi-Fi. Robot bude osazen optickou jednotkou (web kamerou). Tato jednotka umožní načítat data okolí a zasílat je na server.

2.2 Metodika

Metodika bakalářské práce je založena na podrobné analýze existujících řídicích jednotek robotů a již existujících softwarových řešení. Znalosti nabyté studiem budou zhodnoceny a na jejich základě bude definován současný stav, klady a nedostatky. Porovnáním rozdílů a nedostatků současných řešení vznikne seznam funkcionalit, které by nový řídicí systém měl umožnit. Systém realizujte a otestujte.

3 Teoretická východiska

Už geniální vynálezce Nikola Tesla, který jako první představil bezdrátové ovládání lodi a roku 1898 tímto předpověděl příchod robotů. Jde o patent US613809, který představuje model lodi, která je schopna pohybu a manévrování na základě příjmu bezdrátových vln. Tesla svůj vynález nazval „teleautomaton“. (1)



Obrázek 2 Teslova loď

Zdroj: <https://img-s2.onedio.com/id-55bcfba83ed8875e63494745/rev-0/w-500/s-1a96e941d62e1b15cde72e5c420f908df9a6b92b.jpg>

3.1 Technologie pro bezdrátový přenos dat

Bezdrátový přenos dat je dnes velmi rozšířený a existuje mnoho technologií, které přenos umožňují. Mezi nejznámější způsoby přenosu dat patří satelitní přenos dat, Wi-Fi, Bluetooth, mobilní sítě, ZigBee, RC souprava, WiMax, analogový bezdrátový přenos videa nebo jiná implementace radiového modulu. Každá technologie má svoje klady a zápory, dále také svoje primární použití.

3.1.1 Wi-Fi

Bezdrátový ethernet nebo WLAN vychází ze standardů IEEE 802.11. Pracuje v bezlicenčních pásmech 2,4GHz a 5GHz. Je to jedna z nejrozšířenějších technologií pro bezdrátový přenos dat mezi počítači a dalšími zařízeními. Technologie je využívána řadu let a mezi nejpoužívanější standardy patří 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac. Přenosové rychlosti jsou od 11Mb/s a maximální rychlosti lze stanovit v závislosti na standardu a použitém anténním systému (MIMO). Přibližné vzdálenosti dosahů jednotlivých standardů jsou popsány v tabulce Dosahy Wi-Fi standardů. Vzdálenosti plynou z maximálního vysílacího výkonu, který je v Evropě 100mW a citlivostí přijímače, která zpravidla nepřesáhne -90dBm. Další nevýhodou zejména pro 2,4GHz pásmo je jeho zarušenost. Nejen všudypřítomné Wi-Fi sítě ale i mikrovlnné trouby, Bluetooth, některé bezdrátové periferie k počítači, včetně mnoha dalších zařízení operujících v tomto pásmu, mají negativní vliv na kvalitu a délku spoje. Obrovskou výhodou je rozšířenost této technologie, najdeme ji ve většině mobilních telefonů, tabletů a notebooků. Co se bezpečnosti týče, tak zabezpečení WPA2 je stále při dostatečně silném hesle současnou technikou téměř neprolomitelné. Na trhu je široké množství hardwaru s různými funkcemi. Mezi nejběžnější se řadí Wi-Fi routery, přístupové body a síťové karty. (2) (3) (4)

Tabulka 1 Dosahy Wi-Fi standardů

802.11 Protocol	Freq (GHz)	Bandwidth (MHz)	Approximate indoor range	Approximate outdoor range
-	2.4	20	20 m / 66 ft	100 m / 330 ft
a	3.7/ 5	20	35 m / 115 ft	120 m / 390 ft
b	2.4	20	35 m / 115 ft	140 m / 460 ft
g	2.4	20	38 m / 125 ft	140 m / 460 ft
n	2.4/5	20 - 40	70 m / 230 ft	250 m / 820 ft
ac	5	20/40/80/160	35 m / 115 ft	
ad	60	2,160	60 m / 200 ft	100 m / 300 ft
ah	0.9			
aj	45/60			
ax	2.4/5			
ay	60	8000	60 m / 200 ft	1000 m / 3000 ft

Zdroj: <https://www.geckoandfly.com/10041/wireless-wifi-802-11-abgn-router-range-and-distance-comparison/>

3.1.2 Mobilní sítě

Mobilní sítě umožňují komunikaci zejména mobilních telefonů a dalších zařízení. Současné technologie, tedy druhá, třetí a čtvrtá generace, pracují na rozdíl od generace první pouze s digitálními daty. Druhá generace je primárně určená pro hovory a malé objemy dat. Třetí a čtvrtá je už vhodná pro větší objemy dat, jako jsou multimédia. Maximální rychlosti jsou 225Mb/s pro stahování a 50Mb/s pro odesílání. Používaná pásma jsou 800MHz, 900MHz, 1800MHz, 2100MHz a 2600MHz. Technologie je zastavěná do mobilních telefonů a lze také pořídit modemy. Mezi hlavní výhodu patří pokrytí signálem, tedy dostupnost služeb na naprosté většině našeho území. Mezi nevýhody pak patří vyšší provozní náklady, které plynou z plateb operátorovi za poskytnuté služby, oproti bezlicenčním pásmům, kde s využitím vlastního hardwaru zpravidla neplatíme nic. Další nezanedbatelnou nevýhodou je fakt, že využíváme službu třetí strany, tedy se na ni nemůžeme spolehnout do takové míry, jako na vlastní systém. Ten může být navržen tak, aby lépe eliminoval možné výpadky. (4)

3.1.3 Bluetooth

Bluetooth je technologie pro bezdrátový přenos dat, tentokrát primárně určená pro úspornější a méně datově náročné aplikace oproti Wi-Fi. Jednou z nejrozšířenějších oblastí použití jsou elektronická zařízení jako je handsfree, fitness náramky, chytré hodinky, reproduktory a klávesnice. Maximální dosah je 100 metrů (třída 1), ale většina zařízení zpravidla používá třídu 2, která má dosah pouze 10 metrů. Tato vzdálenost je však pro taková zařízení dostačující. Snižuje se tím také potřebný vysílací výkon (2.5mW), který je šetrný k baterii v případě mobilního zařízení. Maximální přenosová rychlost Bluetooth verze 4.0 je 25Mb/s, nicméně průměrné modely na trhu mají rychlosti nižší. Běžné modely nedisponují vnějšími anténami, což může mít negativní vliv na dosah a celkovou kvalitu bezdrátového spoje. (5)

Tabulka 2 Dosahy Bluetooth zařízení

Device Power Class	Maximum Permitted Power mW(dBm)	Range (approximate)
Class 1	100 mW (20 dBm)	~100 meters
Class 2	2.5 mW (4 dBm)	~10 meters
Class 3	1 mW (0 dBm)	~1 meter

Zdroj: <http://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-08ss-bluetooth-Ingo-Puy-Crespo.pdf>

3.1.4 ZigBee

ZigBee je bezdrátová technologie pro přenos malého množství dat na standardu IEEE 802.15.4. Jedná se o relativně novou technologii určenou pro průmyslovou automatizaci nebo přenos dat ze vzdálených senzorů. Technologie pracuje v pásmu 2,4GHz a 868MHz (Evropa). Poskytuje velmi úsporný přenos dat v maximálních rychlostech 250kb/s. Maximální vzdálenosti pro komunikaci jsou velmi variabilní od 10m do 40km. Dostupné modely mají širokou škálu vysílacích výkonů a citlivostí přijímačů. Tato technologie má implementovanou aplikační vrstvu, která dovoluje tvořit síť a směřovat data prostupující touto sítí. K dispozici je mód koordinátor, který je kořenem sítě a jakýmsi mostem do jiných sítí. Mód router, který data v síti směřuje. Posledním módem je režim koncového zařízení, což může být třeba senzor napájený solárním panelem nebo baterií. O bezpečnost se stará šifrování AES se 128 bitovým klíčem. Zařízení mohou komunikovat pomocí sériového rozhraní SPI nebo UART. (6) (7)

Tabulka 3 Porovnání XBee modulů

Model	Protocol	Frequency	txPower	Sensitivity	Range *
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4GHz	1mW	-92dB	500m
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4GHz	100mW	-100dBm	7000m
XBee-ZB	ZigBee-Pro	2.4GHz	2mW	-96dBm	500m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4GHz	50mW	-102dBm	7000m
XBee-868	RF	868MHz	315mW	-112dBm	40km
XBee-900	RF	900MHz	50mW	-100dBm	10km
XBee-XSC	RF	900MHz	100mW	-106dBm	24km

Zdroj: http://pandatron.cz/?1226&senzorova_sit_zigbee_s_dosahem_40_km



Obrázek 3 XBee modul

Zdroj: https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/2/2/3/xbee-wire.jpg

3.1.5 Analogový přenos videa

Bezdrátový přenos videa je velmi oblíbený u modelářů na FPV létání, tedy ovládání stroje pomocí obrazu z kamery. Zařízení pracují v pásmu 2,4GHz a 5,8GHz (Evropa) a vyrábí se v mnoha alternativách. Klíčový je vysílací výkon, který udává vzdálenost spoje, ten se pohybuje od 25mW s průměrnou vzdáleností 300 metrů do 1W, kde se vzdálenost pohybuje v kilometrech. Velký význam zde také sehrávají antény. Vysílání je simplexní, komunikace probíhá v jednom směru, lze tedy využít zejména pro příjem větší zisk antény a tím prodloužit vzdálenost spoje. Mezi hlavní nevýhody patří skutečnost, že jde o analogové vysílání, které je snadno zarušitelné a kvalita obrazu je pak velmi proměnlivá. Největší výhodou má tento systém ve velmi malých latencích oproti digitálnímu přenosu, který se musí kódovat na vysílající straně a následně dekodovat na straně přijímající. (8)

3.1.6 Radiové moduly

Existuje mnoho různých implementací bezdrátové komunikace, která nemá standardy Wi-Fi nebo ZigBee. Jde o jiný způsob komunikace, který je většinou zjednodušený a postrádá možnost tvorby sítí. Jeho výhodou je pak jednoduchost. Tyto systémy se používají v komunikacích typu bod-bod, příkladem mohou být moduly APC220. Může jít o přenos v bezdrátovém teploměru nebo o dálkové ovládání. Existuje však mnoho složitějších implementací, které tvorbu sítí podporují, příkladem může být LoRa nebo IQRF. Všechny tyto technologie zpravidla pracují v bezlicenčních pásmech, nejpoužívanější pásma v Evropě jsou 433MHz, 868MHz a 2,4GHz. Jsou koncipované na malý datový tok a tím mají zpravidla menší spotřebu energie oproti zařízením s větší datovou propustností. Ty vyžadují vyšší hardwarové nároky a většinou i vyšší spotřebu energie. Příkladem takového zařízení může být například Wi-Fi (9) (10)



Obrázek 4 IQRF modul

Zdroj: <http://www.iqrf.org/images/imgvisage/tr.jpg>

3.2 Protokoly

Každá komunikace v informatice je řízena určitým protokolem, což je norma, kterou každá jednotka, která se chce účastnit nějaké komunikace, musí implementovat. Tím je zaručeno, že různá zařízení nebo aplikace spolu dokáží komunikovat. Pro zajištění komunikace na aplikační úrovni, tedy pro zajištění komunikace softwaru, je třeba nejprve zajistit komunikaci na fyzické úrovni, tedy hardwaru, který nám komunikaci zprostředkuje. (11)

3.2.1 Příklady protokolů

Existuje mnoho komunikačních protokolů. Většina konstruktérů si vytváří vlastní protokol, který je napsán na míru danému zařízení. Jsou jednoduché protokoly, které přenáší pouze jeden byte, v němž je přenášena informace, zda se má robot pohybovat dopředu, dozadu, vlevo, vpravo nebo zastavit. Můžeme mít velmi komplexní protokoly, které dokáží nejen řídit a pracovat se senzory, ale kompletně nastavit režim komunikace jako například rychlost přenosu. Příkladem složitějšího protokolu, který umí plynule regulovat motory, je například protokol pro WIFIBOT od Nexter Robotics. Ten přenáší pro řízení robota 9 bytů a 21 bytů pro základní údaje z robota. Řídící zpráva je popsána na obrázku Řídící protokol. Existují také protokoly, které na svém začátku mají identifikátor a dále jednu nebo více hodnot. Identifikátor říká, čeho se zpráva týká, například levý motor. Hodnota pak může sloužit k nastavení rychlosti motoru. Struktura tohoto protokolu je popsána na obrázku Protokol s identifikátorem.

Ke konfiguraci nejrůznějších zařízení jako jsou například GSM moduly, ZigBee moduly nebo Wi-Fi moduly se používají AT příkazy. Tyto příkazy jsou v textové podobě a zajišťují přenos nastavení nebo plnohodnotnou práci s modulem. Příkladem může být příkaz připojující Wi-Fi modul k přístupovému bodu `AT+CWJAP="název sítě","heslo"`.

Pro přenos obrazu se velmi často využívá M-JPEG. Jde o stream jednotlivě komprimovaných JPEG snímků, které nejsou tak náročné na komprimaci jako například H.264 a mají proto obvykle menší zpoždění. To je klíčová vlastnost pro řízení robota pomocí obrazu z kamery. (12) (13) (14) (15)

Char 1 is 255

Char 2 is size (here is 0x07)

Char 3-4 is the left speed 0 -> 240 tics max

Char 5-6 is the right speed 0 -> 240 tics max

Char 7 is the Left / Right speed command flag : Forward / Backward and speed control left & right ON / OFF.

Char 7 is decomposed as follow (1 byte char -> 8 bits):

(128) Bit 7 Left Side Closed Loop Speed control :: 1 -> ON / 0 -> OFF

(64) Bit 6 Left Side Forward / Backward speed flag :: 1 -> Forward / 0 -> Reverse

(32) Bit 5 Right Side Closed Loop Speed control :: 1 -> ON / 0 -> OFF

(16) Bit 4 Right Side Forward / Backward speed flag :: 1 -> Forward / 0 -> Reverse

(8) Bit 3 Relay 4 On/Off (DSUB15 POWER Pin 13 and 14)

(4) Bit 2 Relay 3 On/Off (DSUB15 POWER Pin 11 and 12)

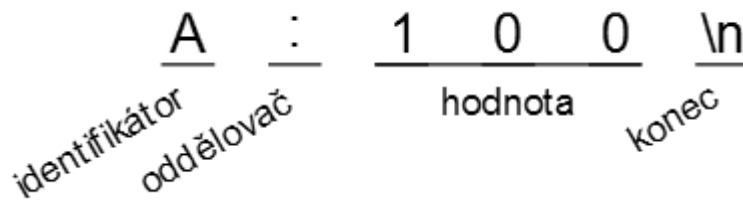
(2) Bit 1 Relay 2 On/Off (DSUB15 POWER Pin 4 and 5)

(1) Bit 0 Relay 1 for Sensors. On/Off: 0 is OFF 1 is ON (DSUB15 POWER Pin 3)

Char 8-9 is the CRC 16 bits (char 7 low char 8 high, see end of document for details)

Obrázek 5 Řídící protokol

Zdroj: http://www.wifibot.com/download/2012/Raw_Ethernet_Wifi_protocol_V4.pdf

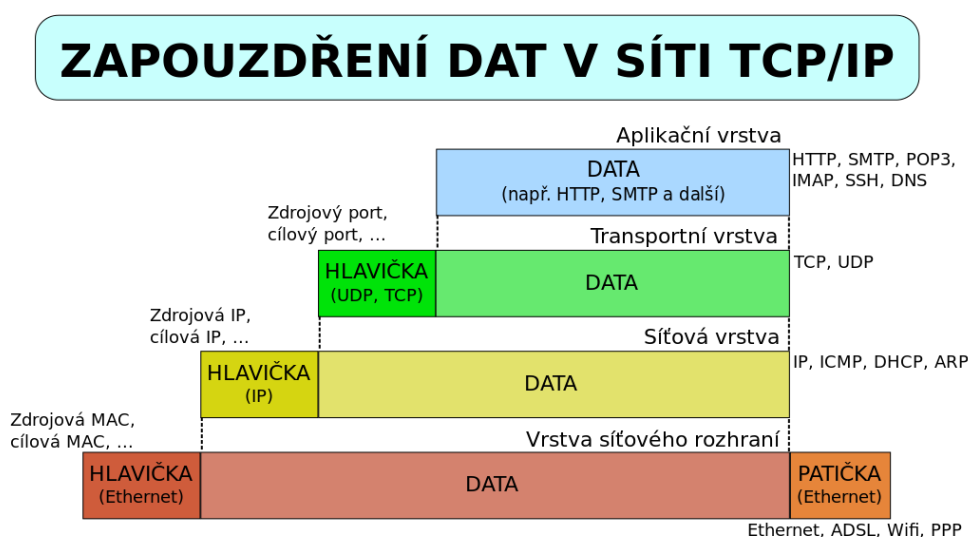


Obrázek 6 Protokol s identifikátorem

Zdroj: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61104/F3-BP-2015-Jarolimek-Martin-bp.pdf>

3.2.2 TCP/IP

TCP/IP je rodina protokolů, která se používá v síti internet pro přenos dat. Dělí se do čtyř vrstev. Vrstva síťového rozhraní nám definuje hardware a protokoly ke komunikaci ve fyzické síti mezi sousedními uzly. Síťová vrstva nebo také IP vrstva se stará o přenos dat, tedy paketů mezi vzdálenými uzly. Transportní vrstva se stará o komunikaci koncových uzlů a nabízí nám dva protokoly ke komunikaci. První je TCP, který se stará o spolehlivou komunikaci, tedy zajišťuje, že všechna data jsou přenesena ve správném pořadí a kompletní. Druhý z protokolů je UDP, který nám spolehlivost ani pořadí nezaručí. Díky tomu je ale rychlejší, nepotřebuje totiž čekat na potvrzení o doručení. Zároveň je také nespojitý, což znamená, že mezi uzly netvoří spojení. (11)



Obrázek 7 Zapouzdření dat v síti TCP/IP

Zdroj:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c0/Tcpip_zapouzdeni.svg/1039px-Tcpip_zapouzdeni.svg.png

3.2.3 Sériová komunikace

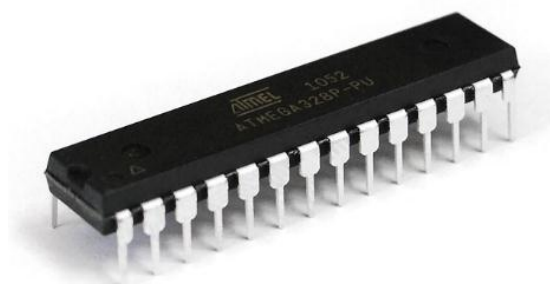
Sériová komunikace slouží k přenosu dat pomocí sběrnice. Jde o přenos po jednotlivých bitech a rozlišujeme dva hlavní způsoby přenosu. Asynchronní přenos předpokládá, že na základě start bitu, který je přítomen v každém přenosu dat, synchronizuje svoje hodiny. Ty pak jdou dostatečně přesně s hodinami vysílající strany a v rámci časových intervalů, které jsou dané rychlostí přenosu, dokáže data číst. Synchronní přenos obsahuje oproti asynchronnímu další vodič nebo sadu vodičů, které řídí přenos a místo synchronizace jsou zde signály na těchto dodatečných vodičích. (2) (17)

3.3 Řídící jednotka

Každý robot potřebuje pro svou funkčnost řídicí jednotku, která řídí jednotlivé komponenty jako jsou motory, serva a senzory. Řídící jednotka shromažďuje data ze sensorů, které může posílat dále, například operátorovi. Může také na základě těchto dat sama rozhodovat a robota ovládat. Jako řídicí jednotka může být použit mikrokontroler, který je určený k řízení hardwaru. V případě složitějšího robota, který by měl být schopen například rozpoznávat obraz, je potřeba výkonnějších komponent. Mezi komponenty, které jsou schopny složitějších funkcí patří například mini počítače, notebooky a další. Zde jsme omezeni jen velikostí a energetickými nároky robota.

3.3.1 Mikrokontrolery

Mikrokontrolery jsou malé integrované obvody, které obsahují procesor, operační paměť, paměť programu, generátor hodinového signálu a periferní obvody. Mikrokontrolery jsou programovatelné nejčastěji v jazyku C, který se následně přeloží do jazyka symbolických adres. Zvládají mnoho funkcí, mezi hlavní patří komunikace přes rozhraní I²C, UART a SPI, generování PWM signálů, měření analogových signálů nebo příjem a vysílání logických stavů na určitý pin kontroleru. Mezi nejznámější patří řady AVR a ARM firmy Atmel a řada PIC firmy Microchip Technology. Pro výuku na školách vznikly dva významné projekty PICAXE a Arduino. Ty se následně rozšířili mezi nadšence, hlavně díky zjednodušení programování těchto kontrolerů. Projekt PICAXE se skládá z přeprogramovaného mikrokontroleru PIC, který se chová jako interpret pro příkazy speciálního programovacího jazyka. Projekt Arduino se skládá z mikrokontroleru AVR nebo ARM, na kterém je nahrán bootloader, programování jazyk je založený na jazyce Wiring. Obě platformy mají svoje programovací prostředí a není třeba programátor k nahrání programu. (16) (17) (18) (19)



Obrázek 8 Mikrokontroler ATmega328

Zdroj:

https://store.arduino.cc/bmz_cache/9/9a9b5c9e479e1a5b237b41a173d34dcf.image.472x354.jpg

3.3.2 Mini počítače

Mini počítače už nejsou zpravidla schopny přímo řídit nižší funkce robota. Mohou nám však poskytnout dostatečný výkon pro aplikace, které mikrokontroler z důvodu své omezené výpočetní kapacity nezvládne. Mezi zástupce těchto funkcí je například rozpoznání obrazu nebo složitější webové rozhraní. Existuje celá řada různých počítačů použitelných do robotů. Může jít o klasické mini počítače jako je Intel Compute Stick. O speciální jednodeskové počítače jako Raspberry Pi, UDOO nebo LattePanda. Lze použít také notebooky a další, ale vždy je nutné brát v úvahu velikost, váhu a energetickou náročnost počítače a zvolit vhodný kompromis. Při využití plnohodnotného počítače by se velmi pravděpodobně rychle vybila baterie, nebo by jej robot ani nevezl.



Obrázek 9 Intel Compute Stick

Zdroj:

http://www.zive.cz/getthumbnail.aspx?crop=1&w=600&h=300&q=60&id_file=54334250

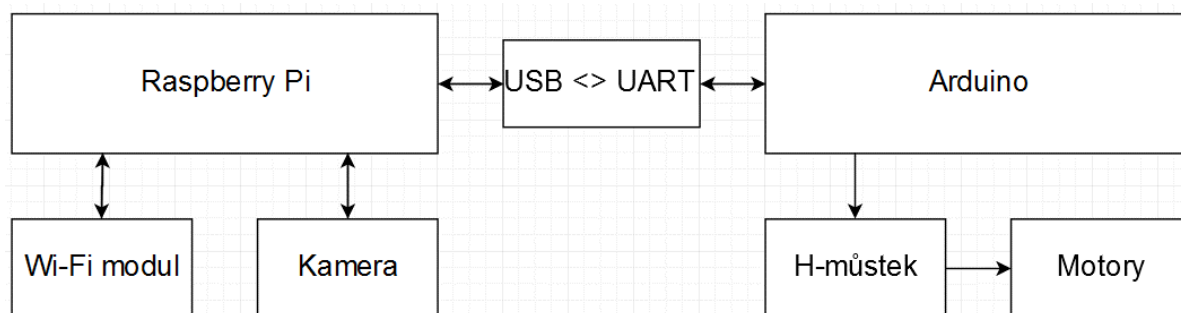
[6](#)

4 Vlastní práce

Komponenty jsou vybírány s ohledem na nižší energetickou náročnost a jednoduchost. Programové a síťové technologie jsou vybírány s ohledem na jejich rozšíření. Pro přenos bezdrátových dat byla zvolena technologie Wi-Fi, zejména pro její široké rozšíření, datovou propustnost a dosah. Všechny vybrané komponenty jsou běžně dostupné, není použit žádný „po domácku“ vytvořený modul.

Všechny komponenty jsou umístěné na podvozku MOB-3, který je kompletně dodáván s motory, převodovkami a koly. Na podvozku je umístěna dřevěná konstrukce, na které jsou připevněny další komponenty. Mezi ně patří duální H-můstek, klon Arduino UNO s podpůrnou deskou pro senzory, baterie, měnič napětí a Raspberry Pi s kamerou a Wi-Fi modulem.

Robot se pohybuje velmi pomalu, má však vysoký moment síly, který mu usnadňuje vstup terénem s převýšením.



Obrázek 10 Blokové schéma elektroniky

4.1 Komponenty

4.1.1 Raspberry Pi

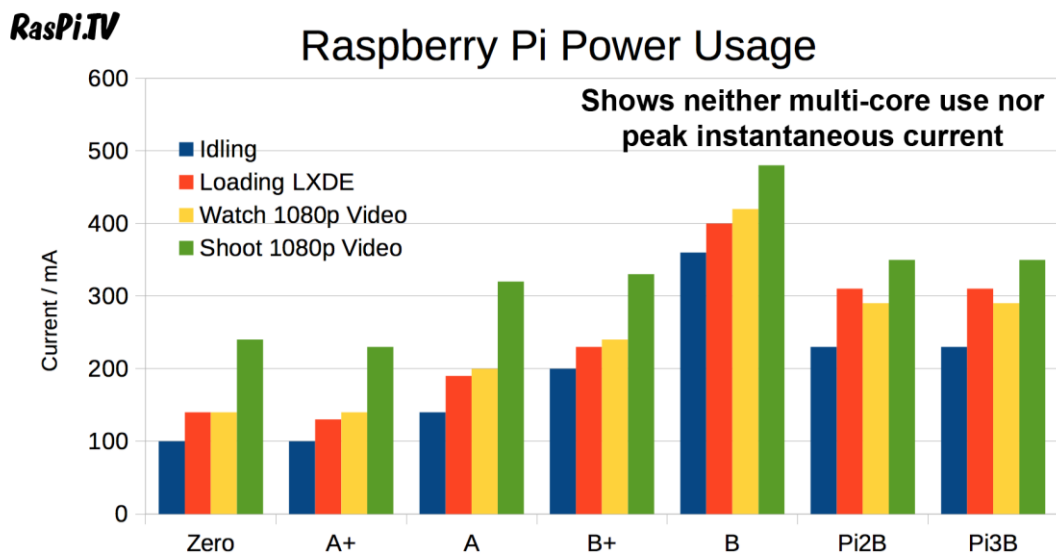
Byl vyvinut Britskou nadací Raspberry Pi Foundation založenou v roce 2009, která chtěla podpořit počítačové vědy na školách. Počítač není výkonný, nabízí ale široké možnosti pro vývoj a testování. Další výhodou je minimální energetická náročnost.

Raspberry pi je srdcem robota, které zajišťuje přenos dat mezi řídicím stanovištěm, kamerou a Arduinem. Použitý model je Raspberry Pi 2 Model B, který disponuje čipem Broadcom BCM2836, jež hlavně integruje čtyřjádrový 32 bitový mikroprocesor ARM Cortex-A7 taktovaný na 900MHz a dvoujádrový grafický čip VideoCore IV taktovaný na 400MHz. V počítači se dále nachází 1GB LPDDR2 paměti. O napájení se stará micro USB konektor. Počítač je vybaven ethernet portem, HDMI, 3.5mm jackem pro zvuk a kompozitní video, 4x USB, kamerovým konektorem, konektorem pro micro SD kartu a GPIO. Jako operační systém je použit Raspbian. Jde o upravenou linuxovou distribuci Debianu, navíc je to oficiální a doporučená distribuce pro tento počítač. Připojené periferie jsou USB Wi-Fi adaptér TP-Link TL-WN7220N, jeden převodník USB na UART a kamerový modul. Převodník zajišťuje komunikaci s Arduinem pomocí sériové sběrnice. Tento počítač je vyráběn v mnoha variantách, které se od sebe liší jak velikostí a výkonem tak porty. (20) (21)



Obrázek 11 Raspberry Pi 2 B

Zdroj: https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2015/01/Pi2ModB1GB_comp.jpeg



Obrázek 12 Energetická náročnost Raspberry Pi

Zdroj: <http://raspi.tv/wp-content/uploads/2016/05/Pi-Zero-1.3-Power-Usage-Chart.png>

4.1.2 Arduino

Arduino je open-source platforma založená na počítačové desce s mikrokontrolerem a vývojovým prostředím, která má obrovskou komunitu a nepřehledné množství rozšiřujících modulů a senzorů. Je dostupná široká škála hotových nebo testovacích programů. Oproti klasickému mikrokontroleru jde Arduino programovat upraveným jazykem Wiring, který nás oddálí od jazyka C do abstraktnějších rovin. Tato vlastnost je příznivá zejména pro lidi se zájmem o mikrokontrolery, které odrazovala nutnost jejich hlubší znalosti. Množství knihoven a senzorů stále narůstá a s ním se rozrůstá i komunita.

Pro přímé řízení robota je použit klon desky Arduino UNO, která je osazena mikrokontrolerem ATmega328P, který pracuje na frekvenci 16MHz. Deska má 14 digitálních vstupních nebo výstupních pinů, z toho 6 lze použít pro PWM. Dále pak 6 analogových vstupů. Mikrokontroler disponuje třemi druhy paměti: Flash paměť, SRAM a EEPROM. Flash paměť má velikost 32KB a obsahuje bootloader a program. SRAM je paměť, ve které jsou uloženy proměnné. EEPROM je paměť na dlouhodobější uchování dat. (18)



Obrázek 13 Arduino UNO

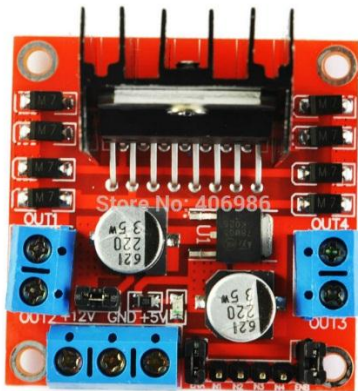
Zdroj:

https://cdn.shopify.com/s/files/1/0775/1525/products/A000066_featured_1024x1024.jpg?v=1460564034

4.1.3 Můstek

Pro ovládání stejnosměrného motoru, který má mít regulovatelnost otáček a možnost opačného chodu, se využívá H-můstek. Velmi rozšířený je H-můstek s integrovaným obvodem firmy ST Mikroelektronik L293 nebo L298. Jsou to modely integrující dva H-můstky, které se dají ovládat logickými signály. Pro regulaci rychlosti se používá PWM signál. Ten slouží pro přenos analogového signálu pomocí diskrétního dvoustavového signálu, který je zpravidla generován mikrokontrolerem.

V robotu je použit modul s duálním H-můstkem s obvodem L298N, rozsah vstupního napětí je 5 až 35V a maximální špičkový proud může být 2A. Modul má napájecí a řídicí vstupy a dva výstupy pro stejnosměrné motory, nebo jeden pro krokový motor. (21)



Obrázek 14 Duální H-můstek

Zdroj: <https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1TxleLpXXXXaTXpXXq6xXFXXX3/Stepper-Motor-Drive-Controller-Board-Module-L298N.jpg>

4.1.4 Měníč

Stejnoseměrný měnič je prostředek pro změnu vstupního napětí na požadované výstupní napětí. Existují měniče lineární, které mají malou účinnost, nebo spínané, které mají účinnost mnohem vyšší. Měníče umí z určitého rozsahu vstupního napětí vytvořit pevné výstupní napětí, které lze nastavit nebo je dané.

Použitý měnič FOXY je 3A spínaný stabilizátor napětí, který má volitelné výstupní napětí 5 nebo 6V. Vstupní napětí se může pohybovat od 6 do 25V a špičkově může poskytnout proud až 6A. Slouží k napájení desky Arduino a Raspberry Pi. (22)



Obrázek 15 Měníč stejnosměrného napětí

Zdroj: http://www.pelikandaniel.com/products/1RC21505/b_0.jpg

4.1.5 Převodník USB UART

Jedná se o převodník pro sériovou komunikaci mezi počítačem a zařízením schopným sériové komunikace. V počítači, který je vybaven potřebným ovladačem, vytvoří virtuální sériový port, na kterém pak lze se zařízením komunikovat.

Použitý model je založený na integrovaném obvodu PL2303TA, na základě ovladače v počítači tvoří virtuální sériový port, který je na výstupu realizován signály v TTL úrovních.



Obrázek 16 Převodník USB UART

Zdroj: <http://www.satistronics.com/images/1/1257/3373.jpg>

4.1.6 Kamera

Kamera pořizuje snímky, které mění na proud dat, který se zpravidla kóduje do nějakého standardu, jakým může být JPEG obrázek nebo se také může kódovat do video streamu.

Použitá kamera je oficiální kamerový modul, který disponuje rozlišením 5Mpx a podporuje video v rozlišení 1080p při 30 snímcích za sekundu. Modul také podporuje 90 snímků za vteřinu v rozlišení 640 x 480 pixelů. Připojuje se přes speciální CSI port. K modulu se lze připojit pomocí MMAL a V4L API. (20)



Obrázek 17 Kamerový modul

Zdroj: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41vGRDyVq6L. SX425 .jpg>

4.1.7 Wi-Fi modul

Wi-Fi moduly slouží pro bezdrátový přenos dat. USB moduly se používají zejména při absenci integrovaného modulu v zařízení, nebo při nějakém jeho omezení, jako je například malý dosah nebo absence požadovaného standardu.

Použitý modul nese označení TL-WN722N a je vyroben firmou TP-Link. Model disponuje standardy IEEE 802.11b, IEEE 802.11g a IEEE 802.11n. Maximální rychlost přenosu dat je 150Mb/s. Maximální citlivost je -90dBm. Velkou výhodou je odnímatelná 4dBi anténa, která má pozitivní vliv na příjem signálu. (23)



Obrázek 18 Wi-Fi modul

Zdroj: <http://www.autechnologies.com/Images/Products/TLWN722N.jpg>

4.1.8 Motory

Motory zajišťují mobilitu robota. Pro tyto účely se dají použít stejnosměrné motory s převodovkou, která snižuje otáčky motoru. Lze použít i krokové motory, které se dají velmi dobře regulovat.

Robot je vybaven čtyřmi motory s převodovkou GM37-20. Napájecí napětí je 12V, odběr bez zátěže je 90mA a 1,1A při nulových otáčkách. Rychlost otáčení je 20 otáček za minutu bez zátěže. Maximální kroutící moment je 1,5Nm. (24)



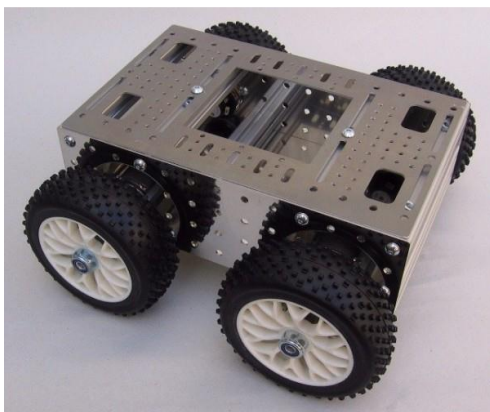
Obrázek 19 Motor s převodovkou

Zdroj: http://www.snailshop.cz/2108-thickbox_default/gm37-20.jpg

4.1.9 Podvozek

Podvozek robota drží všechny komponenty. Existují různé druhy podvozků u pohyblivých pozemních robotů, které lze dělit hlavně podle rozložení a počtu kol nebo ramen. Kolové roboty můžeme dělit na diferenciální podvozky, synchronní podvozky, trojkolové podvozky nebo Ackermanův podvozek. Krácející roboty můžeme dělit podle počtu noh. Poslední kategorií jsou pásové roboty.

Použit je čtyřkolový podvozek se čtyřmi motory MOB-03. Rozměry podvozku jsou 240 x 270 x 115mm a rozchod je 227mm. Má velmi pevnou duralovou konstrukci a jeho nosnost je přibližně 4kg. (25)



Obrázek 20 Podvozek MOB-03

Zdroj: http://www.snailshop.cz/1878-thickbox_default/mob-03.jpg

4.1.10 Baterie

Baterie je nejrozšířenější způsob napájení robotů. Existuje celá řada typů, mezi nejznámější patří nikl-kadmiové akumulátory, nikl-metal hydridové akumulátory, olověné akumulátory, lithium-iontové akumulátory a lithium-polymerové akumulátory. Každý akumulátor má své jedinečné vlastnosti. Největší předností olověných akumulátorů je jednoduchost jejich nabíjení.

Použitá baterie je 8Ah 12V olověná baterie od firmy Westinghouse o hmotnosti 2,26kg a rozměrech 151 x 65 x 94mm. (26) (27)



Obrázek 21 Olověná baterie

Zdroj: https://www.gme.cz/data/product/1024_1024/pctdetail.540-537.1.jpg

4.2 Software

Software pro počítačové aplikace je napsaný v programovacím jazyce Java. Java je velmi rozšířený a relativně jednoduchý objektově orientovaný jazyk s velkou komunitou a jeho velkou výhodou je multiplatformnost. Možnou alternativou je programovací jazyk C#, který lze díky projektu Mono provozovat na mnoha operačních systémech i procesorových architekturách. Nejlepší volbou, co se rychlosti týče, by byl jazyk C nebo C++. Oba však vyžadují velkou znalost, obezřetnost a vyšší časovou náročnost z důvodu nízké úrovně jazyka z hlediska abstrakce.

4.2.1 Android

Platforma Android je velmi rozšířená na mobilních telefonech a tabletech. Tato zařízení jsou sama o sobě velmi rozšířená a mají dobré předpoklady pro řízení robota, například dotykový displej, malé rozměry, dostatečný výkon či vestavěnou bezdrátovou konektivitu. Zařízení má obvykle dostatečně velký displej k zobrazení údajů ze senzorů, obrazu z kamery nebo ovládacích prvků. Jistou nevýhodou může být dotyková plocha, kde nemáme zpětnou vazbu oproti fyzickým páčkám a tlačítkům. V případě řízení přes Wi-Fi nebo Bluetooth máme velmi omezený dosah. Velkým nebezpečím je také například hovor, který řídící aplikaci přenesení do pozadí a tím znemožní řízení. Všechny zmíněné nevýhody jdou však do jisté míry potlačit. Dotykovou plochu můžeme pro účely řízení nahradit například gamepadem. Problém dosahu se může řešit připojením mobilního zařízení do bezdrátové sítě a nakonec hovory můžeme potlačit vypnutím mobilních sítí. Platforma Android se nemůže rovnat RC soupravě pro řízení modelů. Na druhou stranu však její rozšíření a fakt, že si lze z tabletu nebo telefonu jen pomocí softwaru vytvořit platformu pro řízení robotů, do jisté míry vyvažuje její zápory.

4.2.2 Raspbian

Raspbian je operační systém dělaný na míru použitému počítači, jde o upravenou verzi svobodné Linuxové distribuce Debian. Debian má širokou škálu podporovaných architektur procesorů, jeho historie sahá do roku 1993 a stále se vyvíjí. Raspbian je upraven tak, aby podával větší výkon na procesorech ARM. Standardní verze obsahuje mnoho vývojových a výukových programů jako je Wolfram Language, Mathematica, Scratch, Python IDLE, BlueJ a mnoho dalších. Dále obsahuje prostředí PIXEL, což je upravená verze LXDE. Odlehčená verze systému nemá grafické prostředí a mnoho programů, což jí činí ideální k instalaci balíčků, které opravdu potřebujeme a využijeme. (20)

4.2.3 OpenCV

OpenCV je svobodná knihovna pro práci s obrazem a strojové učení. Podporuje jazyky C, C++, Python a Java, i mnoho platform. Knihovna je konstruována na rychlost a efektivitu kódu, zaměřuje se na aplikace pracující v reálném čase. Knihovna podporuje standard OpenCL, který umí využívat kromě procesoru také například grafické karty, které jsou pro mnohé výpočty efektivnější a rychlejší než procesor. OpenCV také umí pracovat s webovými kamerami, což v kombinaci s možnostmi práce s obrazem dělá tuto platformu velmi vhodnou z hlediska dalšího vývoje robota. (28)

4.2.4 Řídící aplikace

Řídící aplikace je pro platformu Android, odesílá řídicí data přes Wi-Fi, přijímá a zobrazuje snímky z kamery robota. Po zapnutí se zobrazí obrazovka se dvěma textovými poli a tlačítkem. Do textových polí je třeba vyplnit IP adresu a port, na kterém robot naslouchá a připojit se. V případě otevření síťové komunikace se zobrazí další obrazovka, kde můžeme ovládat pohyb robota vertikálním a horizontálním posuvníkem. Obrazovka také obsahuje pole pro zobrazování snímků z kamery. Veškerá komunikace je prováděna protokoly UDP, které nezaručují spolehlivost, ale na tuto aplikaci jsou vhodné, protože výpadek paketu nijak zásadně neovlivní chod systému.

4.2.5 Palubní aplikace

Aplikace se stará o přenos dat mezi řídicím stanovištěm a Arduinem. Jde vlastně o jakýsi převodník mezi Wi-Fi a sériovou linkou. Data, která přijdou pomocí Wi-Fi, aplikace přijme a následně odešle sériovou linkou Arduinu. Aplikace se skládá z celkem čtyř tříd: IPosluchac, PalubniPocitac, SeriovyPort a UDP. IPosluchac je interface, který je použitý pro implementaci zjednodušeného návrhového vzoru Observer. PalubniPocitac je třída sloužící k vytvoření komunikačních kanálů, přijímání zpráv a následné odesílání. SeriovyPort je třída sloužící k obsluze sériového portu, stará se o otevření a uzavření sériového portu, příjmu a odesílání dat Arduinu. UDP je třída, která obsluhuje připojení a komunikaci přes Wi-Fi síť s řídicím stanovištěm. Aplikace nemá grafické rozhraní a pro její nastavení jsou použity parametry příkazové řádky.

Dále je zde aplikace, která vysílá snímky z kamery na zadanou IP adresu. Snímky jsou JPEG obrázky, které se zasílají v požadovaném rozlišení a kvalitě. Aplikace je bez grafického rozhraní a její nastavení probíhá použitím parametrů příkazové řádky.

4.2.6 Arduino aplikace

Program na desce Arduino zajišťuje příjem dat ze sériové linky a následné ovládání můstku na základě přijatých dat. Jde o velmi jednoduchý algoritmus, který čeká na řídicí data. V momentě přijetí se zkontrolují. V případě, že jde o řídicí zprávu pro motory, se tato data odešlou příslušné obslužné metodě. Metoda zajistí jejich interpretaci a následně nastaví požadovanou konfiguraci PWM výstupů. Je zde obsažen jeden bezpečnostní prvek v podobě intervalu, ve kterém musí dorazit další zpráva, jinak se robot zastaví.

4.2.7 Komunikační protokol

Komunikační protokol je zvolen tak, aby byla zaručena plynulá regulace motorů. Nelze tedy použít základní bytové protokoly, které nemají dostatečnou velikost pro zajištění plynulého řízení. Protokoly typu identifikátor - hodnota jsou již vhodné, ale stále by při výpadku datagramu mohli způsobovat potíže. Použitý protokol je navržený tak, že obsahuje všechny potřebné informace v jedné zprávě. Jedna zpráva tedy zastane kompletní řízení motorů. Toto řešení je odolné vůči výpadku řídicích datagramů. Datagramy jsou odesílány ve velmi malých intervalech, výpadek datagramu zásadně neovlivní plynulou regulaci řízení.

Pro komunikaci s robotem je použit velmi jednoduchý protokol obsahující 5 bytů. První byte je identifikátor, který udává čeho se bude zpráva týkat, pro ovládání motorů je hodnota rovna 255. Druhý byte obsahuje informaci o módu můstku, tedy smysl otáčení levé a pravé strany motorů. Třetí byte slouží k nastavení rychlosti levé strany motorů a čtvrtý zase pravé strany motorů. Poslední byte je vyhrazen pro vypnutí nebo zapnutí motorů. Tento protokol je možné minimalizovat, ale z důvodu přehlednosti a laditelnosti je v této podobě. Jisté vylepšení by mohla přinést změna posledního bytu na kontrolní součet, ale v průběhu testování k žádným významným chybám při přenosu nedošlo. Protokol pro přenos obrazu je pouze prosté odesílání JPEG snímku. Ten je odesílán v poli bytů proměnlivé velikosti, který je teoreticky omezen velikostí datagramu. Datagram ovšem sám spotřebuje zpravidla 20 bytů pro IP záhlaví a 8 bytů pro UDP záhlaví, dále může být omezen operačním systémem.

1. byte	2. byte	3. byte	4. byte	5. byte
255	režim můstku	rychlost levé strany motorů	rychlost pravé strany motorů	motory zapnuty / vypnuty

Obrázek 22 Schéma řídicího protokolu

5 Výsledky a diskuse

Robot naplnil požadované cíle, je schopen pohybu na základě přijatých dat a rovněž je schopen odesílat obrazová data. Pohyb robota je plynulý, řídicí data jsou přenášena dostatečně rychle a bez zásadního zpoždění. Obrazová data mají při větším rozlišení znatelné zpoždění.

5.1 Výsledné parametry

Robot je velmi dobře použitelný pro prostup terénem. Baterie omezuje stoupavost, protože značně zvyšuje těžiště robota. Na přípojném vozíku dokáže táhnout přibližně 50 kilogramů.

Test dosahu byl proveden na okraji Prahy. Použit byl Wi-Fi modul TL-WN722N ve spojení s bezdrátovým routerem TL-WR841N. Měření bylo prováděno na přímou viditelnost, výška routeru a Wi-Fi modulu od země byla přibližně 1 metr. Spoj byl do 500 metrů relativně stabilní, výjimku tvořil průchod za keřem, který způsobil výkyv. Spojení bylo nenávratně ztraceno v přibližné vzdálenosti 563 metrů, kde byl Wi-Fi modul ve výšce 1,7 metru nad zemí.



Obrázek 23 mapa se vzdáleností 500 metrů

Zdroj: <https://mapy.cz>



Obrázek 24 mapa se vzdáleností 563 metrů

Zdroj: <https://mapy.cz>

Zpoždění mezi snímáním obrazu kamerou a jeho zobrazením na displeji je v následující tabulce. Vysoké hodnoty mohly být způsobeny zhoršenými světelnými podmínkami.

Tabulka 4 Zpoždění obrazu v závislosti na rozlišení

Rozlišení (px)	800 x 600	640 x 480	320 x 240
Zpoždění (ms)	820	560	170

Proudový odběr robota je při napájení nabitou 12V baterií 300 – 310mA. Odběr při plné rychlosti po rovině je 600mA. Odběr při plné rychlosti, ale nulových otáčkách je 3,2A. Výdrž robota v klidu na baterii je přes 25 hodin. Klidový stav jsou pouze vypnuté motory, obraz z kamery spolu s možností řízení jsou stále k dispozici.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření softwarové aplikace umožňující ovládní robota přes rozhraní Bluetooth nebo Wi-Fi a odesílat obrazová data na server. Dalším cílem bylo sestavení robota schopného pohybu přes navržené rozhraní.

V teoretické části práce jsou uvedeny dostupné technologie, které umožňují bezdrátový přenos dat. Dále jsou zde zastoupeny protokoly, které se pro řízení robotů využívají a uvedeny jsou i jejich příklady. Zastoupeny jsou také protokoly, které jsou součástí použitých komponent robota. Závěr teoretické části je věnován dostupným hardwarovým prostředkům k řízení robotů.

Praktická část se zabývá popisem a informacemi o komponentech použitých ke stavbě robota. Obsahuje informace o platformách pro aplikace. Nastíněny jsou funkce jednotlivých aplikací a je popsán využívaný protokol.

Následné hodnocení přináší naměřené hodnoty, upřesňuje jednotlivé testy a jejich provedení.

Výsledná konfigurace splňuje zadané požadavky. Je zde však také prostor k vylepšení systému, zejména přidáním senzorů. Další vylepšení by se mohlo týkat rozpoznání obrazu, které se pro tuto aplikaci přímo nabízí.

Cíle této bakalářské práce byly splněny.

7 Seznam použitých zdrojů

1. Childress, David. *Nikola Tesla a jeho tajné vynálezy*. Praha : DOBRA, 2008. ISBN 978-80-86459-57-8.
2. Peterka, Jiří. eArchiv. [Online] [Citace: 3. 3 2017.] <http://www.earchiv.cz>.
3. *GeckoandFly*. [Online] [Citace: 1. 3 2017.] <https://www.geckoandfly.com/10041/wireless-wifi-802-11-abgn-router-range-and-distance-comparison/>.
4. *Český telekomunikační úřad*. [Online] [Citace: 2. 3 2017.] <http://www.ctu.cz/>.
5. *CVUT*. [Online] [Citace: 18. 2 2017.] http://improvet.cvut.cz/project/download/C4CZ/Mobilni_site.pdf.
6. *hs-furtwangen*. [Online] [Citace: 4. 3 2017.] <http://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-08ss-bluetooth-Ingo-Puy-Crespo.pdf>.
7. *Pandatron*. [Online] [Citace: 5. 3 2017.] http://pandatron.cz/?1226&senzorova_sit_zigbee_s_dosahem_40_km.
8. *chiaraburatt*. [Online] [Citace: 5. 3 2017.] <http://www.chiaraburatti.org/uploads/teaching/ZigBee-Libro.pdf>.
9. *dronethusiast*. [Online] [Citace: 2. 3 2017.] <http://www.dronethusiast.com/wp-content/uploads/2015/05/The-Ultimate-FPV-System-Guide.pdf>.
10. *LoRa Alliance*. [Online] [Citace: 1. 3 2017.] <https://www.lora-alliance.org/>.
11. *IQRF*. [Online] [Citace: 1. 3 2017.] <http://www.iqrf.org/>.
12. Libor Dostálek, Alena Kabelová. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. Brno : Computer Press, a.s., 2008. ISBN 978-80-251-2236-5.
13. *wifibot*. [Online] [Citace: 11. 3 2017.] http://www.wifibot.com/download/2012/Raw_Ethernet_Wifi_protocol_V4.pdf.
14. *instructables*. [Online] [Citace: 11. 3 2017.] <http://www.instructables.com/id/Wireless-Robot-V2-Support-WiFi-Bluetooth/?ALLSTEPS>.
15. *pridopia*. [Online] [Citace: 11. 3 2017.] <http://www.pridopia.co.uk/pidoc/ESP8266ATCommandsSet.pdf>.
16. *axis*. [Online] [Citace: 11. 3 2017.] https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_latency_live_netvid_63380_external_en_1504_lo.pdf.

17. *ap.urpi.fei.stuba.sk*. [Online] [Citace: 10. 3 2017.] http://ap.urpi.fei.stuba.sk/ap/Prednasky/Chamraz/Pr_2014_09.pdf.
18. *atmel*. [Online] [Citace: 2. 3 2017.] <http://www.atmel.com/>.
19. *microchip*. [Online] [Citace: 1. 3 2017.] <http://www.microchip.com/>.
20. *arduino*. [Online] [Citace: 1. 3 2017.] <https://arduino.cz/>.
21. *picaxe*. [Online] [Citace: 1. 3 2017.] <http://www.picaxe.com/>.
22. *raspberrypi*. [Online] [Citace: 4. 3 2017.] <https://www.raspberrypi.org/>.
23. Creasey, Jack. *Raspberry Pi Essentials*. místo neznámé : Packt Publishing Ltd, 2015. ISBN 1784396923.
24. *RoboDoupě*. [Online] [Citace: 5. 3 2017.] <http://robodoupe.cz/2011/robotem-sem-robotem-tam-ii-%E2%80%93-elektronika-take-neni-k-zahozeni/>.
25. *rcgpodoli*. [Online] [Citace: 5. 3 2017.] <http://rcgpodoli.wz.cz/foxy.pdf>.
26. *tp-link*. [Online] [Citace: 3. 3 2017.] http://cz.tp-link.com/products/details/cat-11_TL-WN722N.html#specifications.
27. *snailshop*. [Online] [Citace: 8. 3 2017.] <http://www.snailshop.cz/prevodove-37-mm-ttmotor/659-gm37-20.html>.
28. *snailshop*. [Online] [Citace: 5. 3 2017.] <http://www.snailshop.cz/kolove/382-mob-03.html>.
29. *westinghousebattery*. [Online] [Citace: 8. 3 2017.] <http://www.westinghousebattery.com/czech/www.westinghousebattery.cz/pdf/wa-hlavni-parametry.pdf>.
30. *motola*. [Online] [Citace: 8. 3 2017.] http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf.
31. *opencv*. [Online] [Citace: 3. 3 2017.] <http://opencv.org/>.

8 Přílohy

Součástí práce jsou zdrojové kódy aplikací a knihovny. Vše je umístěno na přiloženém CD.