

# Řídící systém humanoidního robota MGR-K2017

Bc. Karel Ročák

---

Diplomová práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky  
akademický rok: 2005/2006

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Karel ROČÁK**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Řídicí systém humanoidního robota MGR-K2017**

Zásady pro vypracování:

1. Zhodnocení současného stavu technických prostředků v oblasti robotiky se zřetelem na roboty určené na výuku - rozsah nasazení ve výuce na univerzitách u nás i ve světě a směry dalšího rozvoje.
2. Oživení robotického systému Humanoid Robot Kit MGR-K2017 - mechanické a elektronické sestavení. Zprovoznění komunikace pomocí sběrnice RS232.
3. Rozbor možností implementace bezdrátového přenosu řídicích instrukcí pomocí technologií Bluetooth a Wifi.
4. Návrh a ověření programového vybavení včetně uživatelského aplikačního manuálu pro sestavu AI Motor-1001.
5. Návrh řídicího systému robota, na programování základních pohybů robota a návrh parametrů pohybových trajektorií, vytvoření programových segmentů pro pohybové celky, například pro chůzi.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- 1) MEGAROBOT: AI MOTOR-701 MANUAL
- 2) MEGAROBOT: MGR-CA128 MANUAL
- 3) Maňas, Miroslav: Základy robotiky, VUT, Brno, 1991
- 4) Dumek, V., Roupec, J.: Programování v jazyku C, VUT, Brno, 1992
- 5) Prata, Stehen: Mistrovství v C++, Computer Press, Praha, 2001
- 6) Kadlec, Václav: Učíme se programovat v Borland C++ Builder a jazyce C++, Computer Press Brno, 2004

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Mgr. Milan Kvasnica, CSc.**  
Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*pověřený děkan*



  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je návrh a implementace řídicího systému humanoidního robota MGR-K2017. Teoretická část práce seznamuje čtenáře s vybranými projekty v oblasti robotiky se zaměřením na školní robotické systémy určené pro laboratorní výuku. Dále je uveden rozbor možností použití bezdrátových komunikačních technologií. Praktická část se zaměřuje na popis mechanické i elektronické sestavy robotického systému, včetně implementace vybrané bezdrátové komunikační technologie pro přenos řídicích instrukcí. Jádro diplomové práce tvoří návrh a implementace řídicího systému. Obsažen je popis vlastností vytvořeného programového vybavení a podrobnější rozbor podstatných částí zdrojového kódu s ohledem na jeho použití pro výuku v robotické laboratoři.

Klíčová slova: Robot, humanoid, GSM, WiFi, DECT, řídicí systém, servomotor.

## **ABSTRACT**

The aim of this master thesis is the proposal and implementation of the control system of a robot-humanoid MGR-K2017. The theoretical part of this thesis deals about selected projects in the field of the robotics oriented on the school education system, namely for the laboratories. There is also introduced analyse of possibilities for the application of wireless communication technologies. Practical part is focused on the description of mechanical and electronic assembly of the robot system including the implementation of selected wireless communication technologies. Essential part of this work describes an implementation of the control system. Both, description of particular characteristics of developed software and analysis of essential parts of source code with regard to the application for education are included.

Keywords: Robot, humanoid, GSM, WiFi, DECT, control system, servo.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Mgr. Milanu Kvasnicovi, Csc. za odbornou pomoc a vedení při řešení technických problémů spojených s touto prací.

Janě Červinkové a celé mé rodině, především za trpělivost a morální podporu a pomoc nejen při tvorbě této práce, ale i v průběhu celého studia.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 VÝUKOVÉ ROBOTICKÉ SYSTÉMY</b> .....	<b>10</b>
1.1 EDUTAINMENT .....	10
1.2 AMATÉRSKÉ ROBOTICKÉ PROJEKTY .....	11
1.2.1 Autonomní vysavač Cecilka .....	12
1.2.2 Nanner .....	12
1.2.3 ROBONOVA-I.....	13
1.3 UNIVERZITNÍ VÝZKUMNÉ PROJEKTY ROBOTICKÝCH SYSTÉMU .....	14
1.3.1 Mobilní robot ORPHEUS .....	15
1.3.2 Robotická kopaná.....	16
1.3.3 Humanoidní roboti .....	16
1.4 VÝVOJ V OBLASTI VÝUKOVÝCH ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ .....	19
<b>2 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE</b> .....	<b>20</b>
2.1 RADIOVÉ VLNY.....	20
2.1.1 Rozdělení kmitočtového spektra radiových vln.....	21
2.1.2 Specifikace kmitočtových pásem.....	22
2.2 RADIOVÉ KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE .....	25
2.2.1 Bluetooth .....	25
2.2.2 WiFi.....	27
2.2.3 DECT .....	33
2.3 OSTATNÍ KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE .....	36
2.3.1 IrDA .....	36
2.4 VÝBĚR KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE.....	37
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
<b>3 ROBOTICKÝ SYSTÉM MGR-K2017</b> .....	<b>40</b>
3.1 ZÁKLADNÍ DESKA MGR-CA128 .....	40
3.1.1 Popis vybraných komponent desky MGR-CA128.....	41
3.2 AI MOTOR - 1001.....	45
3.2.1 Mechanické propojovací příslušenství AI motoru 1001 .....	47
3.2.2 Elektronické propojovací příslušenství AI motoru 1001 .....	48
3.3 MECHANICKÉ SESTAVENÍ SYSTÉMU MGR-K2017 .....	50
3.4 ELEKTRICKÉ SESTAVENÍ SYSTÉMU MGR-K2017 .....	57
3.5 SW VYBAVENÍ SYSTÉMU MGR-K2017 .....	60
<b>4 IMPLEMENTACE BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE</b> .....	<b>62</b>
4.1 ARCHITEKTURA BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU .....	62
4.1.1 Zhodnocení implementací bezdrátové komunikace.....	63

4.2	RADIOMODUL HW86010 .....	64
4.2.1	MAX232 .....	65
4.2.2	Implementace převodníku 3,3V CMOS / ±12V RS232.....	66
4.3	RÁDIOVÝ MODEM HW8612 .....	67
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTACE ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU.....</b>	<b>68</b>
5.1	PROGRAMOVÝ MODUL AI CLIENT .....	68
5.2	PROGRAMOVÝ MODUL AI CONTROL .....	70
5.3	PROGRAMOVÝ MODUL TRAJECTORY EDITOR.....	71
5.4	BÁZOVÁ KNIHOVNA .....	74
5.4.1	Funkce pro obsluha sériového portu .....	74
5.4.2	Softwarové rozhraní systému MGR-K2017.....	76
5.4.3	Řídící instrukce systému MGR-K2017.....	77
5.4.4	Instrukce pro nastavení systému MGR-K2017.....	82
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>98</b>

## ÚVOD

Když v roce 1920 Josef Čapek vytvořil slovo robot a jeho bratr Karel ho ve svém románu R.U.R. popsal jako nenáročný, výkonný a myslící stroj, který nahrazuje lidskou práci, asi netušili, jak brzy se tato myšlenka stane skutečností. Robotické systémy od těch nejjednodušších až po ty nejsložitější během minulého století pronikly nejen do velkých průmyslových firem a výzkumných laboratoří, ale i do domácností a běžného života každého z nás. Nedá se předpokládat, že by se tento trend zastavil, robotika má proto před sebou slibnou perspektivu. S ohledem na tuto skutečnost roste i význam studijních prostředků v oblasti robotiky. Mezi tyto prostředky patří i sada humanoidního robota MGR-K2017, pro který je v rámci této diplomové práce navržen řídicí systém.

Robotická sada MGR-K2017 je tvořena sedmnácti servomotory AI-MOTOR 1001 a základní deskou MGR-CA128 od firmy Megarobotics co. Ltd. a dále je doplněna o bezdrátovou komunikační technologii DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) realizovanou modulem HW86010 a modemem HW8612 od společnosti Hóft & Wessel. Navržené řídicí a ovládací programové vybavení je rozděleno do tří částí, kdy první a druhá část umožňuje správu a nastavení konfigurace jednotlivých AI motorů, řízení a monitorování systému. Třetí částí je nástroj, který umožňuje offline učení a vytváření pohybových trajektorií přímo uživatelem. Komunikace řídicího software s robotickou sadou je realizována prostřednictvím sériového rozhraní RS232, po kterém jsou přenášeny řídicí pakety směrem k robotickému systému a paket odezvy směrem k řídicímu software. Programové vybavení je navrženo pro systém Windows a je kompatibilní s verzí 95 a novějšími. Jako programovací jazyk byl zvolen objektově orientovaný C++.

Se zřetelem k dalšímu použití robotické sady MGR-K2017 pro výuku je vyvinuté programové vybavení strukturováno tak, aby mohly být vybrané fragmenty použity samostatně, například v rámci laboratorních cvičení. Nedílnou součástí je přehledný rozbor těchto částí, včetně komentářů přímo ve zdrojovém kódu.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VÝUKOVÉ ROBOTICKÉ SYSTÉMY

Uplatnění robotických systémů v posledních letech výrazně roste a do jisté míry lze tvrdit, že nezávisle na oblasti jejich využití. Neprosazují se již pouze mohutné průmyslové stroje, roboti a manipulátory, či ve špičkových technologiích vyvinuté vojenské a vesmírné robotické systémy. Robotické systémy od těch nejjednodušších až po ty nejsložitější začali pronikat i do běžného života a vznikla nová skupina tzv. servisních robotů a robotizovaných služeb, kterou zastupují například domácí roboti (vysavače, sekačky), inspekční roboti (kanalizační inspekce), asistenční systémy pro tělesně postižené, lékařští roboti (samostatně operující systémy) a další. Se stoupající poptávkou po robotických systémech logicky stoupá poptávka po odborných pracovnících pro jejich vývoj. Účelem této kapitoly je zhodnotit současný stav technických prostředků v oblasti výukových robotů a poskytnou přehled o jejich nasazení u nás i v zahraničí. Vzhledem k obsáhlosti dané problematiky se omezíme jen na vybrané ukázkové projekty.

### 1.1 Edutainment

Slovo edutainment složené z education (vzdělání) a entertainment (zábava) je nepřeložitelné a znamená něco jako škola hrou od Jana Amose Komenského. Robotika je velmi náročná multi-disciplinární technická disciplína a snaha přiblížit ji novým studentům a tedy i potenciálním vědeckým pracovníkům, stejně jako široké veřejnosti vede k vývoji zábavně vzdělávacích robotů různých úrovní technické náročnosti. Příkladem zábavně vzdělávacích robotů je neohrabaný pejsek Aibo firmy Sony, vybavený kamerou, infračervenými a otřesovými senzory, mikrofonom a inteligencí, kterou poskytují programy vyvíjené klubovými fanoušky. Ukázka jak lze využít průmyslové roboty pro zábavu je na Obr. 1. Jedná se o jednoramenný montážní robot firmy KUKA. Místo nástroje jsou namontovány dvousedáčky pro návštěvníky, kteří se nechají podle programu řídicího robota otáčet ve všech směrech až do výše 6,7 m. Dalším zajímavým použitím autonomních mobilních robotů je průvodcovství v muzeích. Do oblasti Edutainment také náleží např. fotbalové roboty a dětské stavebnice robotických hraček od firmy Fischertechnik, případně od známější firmy LEGO [1].

Dále se budeme zaměřovat na dvě oblasti uplatnění výukových robotů:

- amatérské projekty (kapitola 1.2)
- univerzitní výzkumné a výukové projekty (kapitola 1.3)



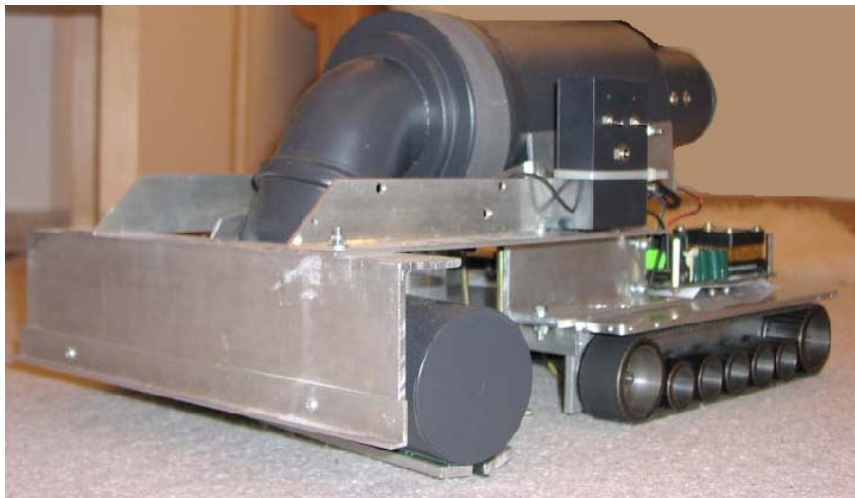
*Obr. 1 Netradičně upravený montážní robot KUKA na výstavě Automatica 2004*

## 1.2 Amatérské robotické projekty

Amatérská robotika se stává postupně populárním koníčkem u nás i ve světě a především pak v asijských zemích. Amatéři pracují s roboty na vlastní náklady pro vlastní potěšení, účastní se různých soutěží, případně se sdružují do spolků, které jsou podporovány sponzory. Účelem takové práce však není dosažení zisku. Přesto se tato velmi nákladná zábava velmi dynamicky rozvíjí a značnou měrou přispívá k popularizaci a osvětě robotiky. Amatérské projekty je možné zařadit mezi výukové roboty neboť svoji jednoduchostí a ovladatelností k tomuto účelu většinou slouží. Nejsnadněji dosažitelným robotickým systémem jsou robotické stavebnice, které poskytují potřebné HW a SW prostředky pro sestavení a ovládání robota. Technicky náročnější variantou jsou pak systémy navržené zcela od základu, tedy včetně HW vybavení. Příklady amatérských projektů jsou uvedeny a popsány v následujících kapitolách.

### 1.2.1 Autonomní vysavač Cecilka

Robot Cecilka reprezentoval Českou Republiku na uklízací soutěži Cleaning contest v Lausanne. Systém se skládá ze dvou BLDC (Brushless DC) motorů (každý o výkonu 600W), základní desky s procesorem AMD K6 500MHz, 128MB RAM se 128MB CompactFlash kartou, video vstupem a 100Mb Ethernet vstupem. Lokální navigace je založena na odometrii, obrazu z kamery a laserové triangulaci (aktivní vidění). Dalším senzorem je nárazník, jehož účelem je zachytit to, co laserová triangulace "přehlédne".

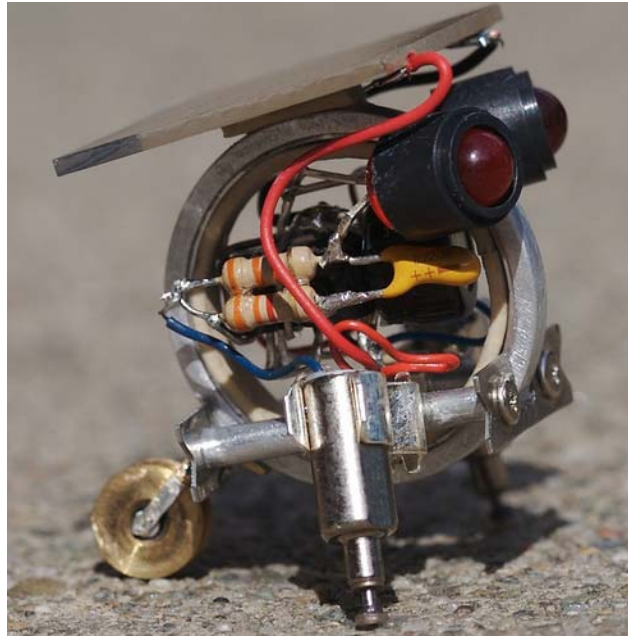


*Obr. 2 Autonomní vysavač Cecilka*

Podobné automatické vysavače a jiní domácí roboti jsou dnes již v mnohem estetičtějším provedení běžně dostupní.

### 1.2.2 Nanner

Nanner je miniaturní 2,5 centimetru velký a pouze 3,5 gramu vážící robot. Je vybaven fotovoltaickým článkem a je energeticky soběstačný. Dva motory umožňují pohyb rychlostí až 0,5 metru za sekundu. Robot se dokáže pohybovat za světlem a je vybaven senzory, které ho chrání proti nárazu.



Obr. 3 Nanner – miniaturní robot

### 1.2.3 ROBONOVA-I

ROBONOVA-I je sada humanoidního robota určena pro amatérské účely a vzdělávání. Jedná se o 30 centimetrů vysokou postavu ovládanou šestnácti digitálními servomotory HSR-8498HB. Každý servomotor umožňuje nastavení vlastní adresy, nastavení polohy motoru. Poskytuje ochranu proti přepětí a zajišťuje zpětnou vazbu. Sada obsahuje základní desku s mikroprocesorem ATMEL ATmega 128. Součástí sady je též bluetooth modul pro bezdrátovou komunikaci. Sestavený systém je na obrázku Obr. 4. Podporovány jsou jednoduché příkazy pomocí nichž lze programovat pohybové trajektorie. ROBONOVA-I je přímou konkurencí systému MGR-K2017.



*Obr. 4 Robotická sada Robonova-1*

### **1.3 Univerzitní výzkumné projekty robotických systémů**

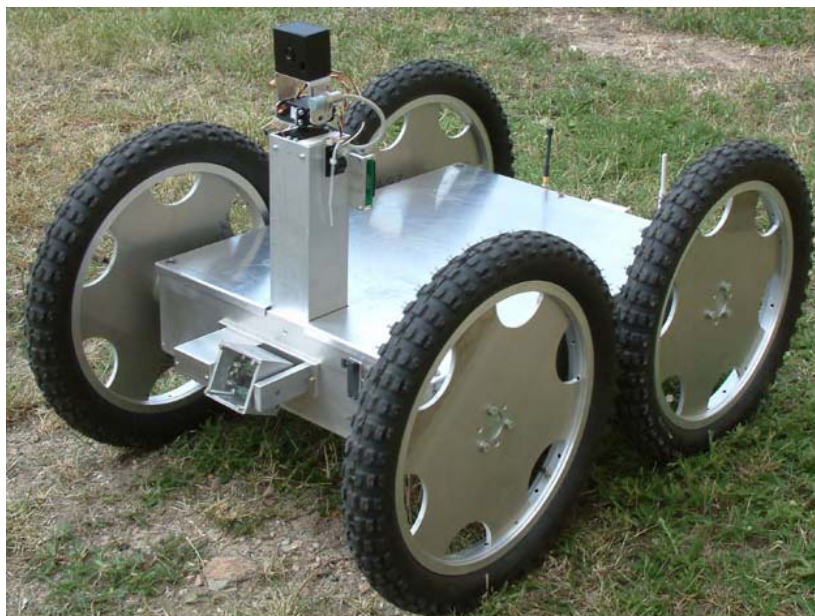
Robotika a příbuzné vědní disciplíny se postupně dostávají mezi studijní programy téměř každé technické univerzity u nás i v zahraničí. Strojní fakulty se zaměřují převážně na konstrukci robotů a na jejich mechanické i kinematické vlastnosti. Fakulty elektrotechnické pak vyvíjejí většinou nezbytné HW prostředky a řídicí elektronické obvody. A konečně fakulty softwarového inženýrství a fakulty informačních technologií se soustředí na vývoj SW a řídicích systémů. Vývoj je realizován v rámci výzkumných projektů, případně v rámci studentských prací. Studentské práce pak slouží především pro výukové účely. V oblasti robotiky bych v rámci české republiky vyzdvihl například Fakultu elektrotechniky při ČVUT, Fakultu elektrotechniky a komunikačních technologií při VUT Brno a fakultu strojní při TU Ostrava. Významné je též Centrum aplikované kybernetiky CAK, které



vzniklo v roce 2002 pod záštitou Ministerstva školství jako centrum aplikovaného výzkumu. Toto centrum provádí teoretický a aplikovaný výzkum v oborech automatického řízení, strojového vnímání, řídicích systémů a umělé inteligence. Pod záštitou tohoto centra jsou nejvýznamnější univerzity a výzkumné laboratoře v rámci české republiky. Ze zahraničních univerzit bych vyzdvihl například Massachusetts Institute of Technology MIT, The University of Manchester nebo University of Tokyo a samozřejmě mnoho dalších po celém světě. Mezi zajímavé projekty patří též Robotics Alliance Project RAP, organizovaný americkým Národním ústavem pro letectví a kosmonautiku NASA. Jedná se o mezinárodní vzdělávací program pro rozvoj robotiky. Vybrané univerzitní projekty s oblasti robotiky jsou uvedeny v následujících kapitolách.

### 1.3.1 Mobilní robot ORPHEUS

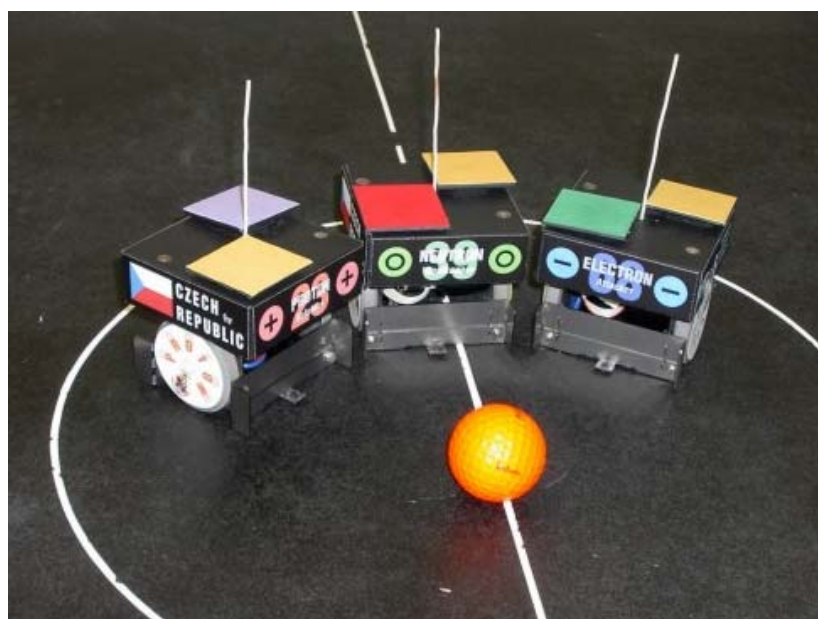
Orpheus je dálkově ovládaný mobilní průzkumný robotický systém. Systém sestává ze dvou základních částí - mobilního robotu samotného a vzdáleného řídicího či operátorského stanoviště. Řízení robotu je prováděno operátorem v reálném čase, a to pomocí tzv. teleprezenčních vizuálních technik. Datový přenos je obousměrný a bezdrátový. Systém je vyvíjen od února 2003 na VUT v Brně. Typické aplikace pro takový stroj: robot záchranář, pyrotechnický robot, vojenský průzkumný robot. Systém Orpheus je zobrazen na Obr. 5.



*Obr. 5 Robotický systém ORPHEUS*

### 1.3.2 Robotická kopaná

Celý systém funguje tak, že hrací plocha je snímána kamerou, připojenou do řídicího počítače. Ten má za úkol ze snímaného obrazu získat informace o poloze jednotlivých hráčů (vlastních i soupeřových) a míče. Roboty jsou řízeny pomocí programu, který se skládá ze třech hlavních modulů - počítačového vidění, strategie a komunikace. Strategický modul určí požadované rychlosti koleček pro všechny roboty a předá jej modulu komunikace, který sestaví paket a vyšle jej robotům přes vysílač připojený ke standardnímu sériovému portu (RS-232C). Spojení mezi roboty a řídicím počítačem je bezdrátové rádiové. Samotný robot je robustní pojízdný mechanismus na kolečkách vybavený vlastní řídicí elektronikou, komunikačním zařízením a napájením. Robotická kopaná patří asi k nejoblíbenějším studentským projektům. Nejznámější české týmy jsou RoBohemia při VUT Brno a tým VŠB - TU OSTRAVA, druhý jmenovaný je na Obr. 6.



Obr. 6 Tým robotické kopané VŠB - TU Ostrava

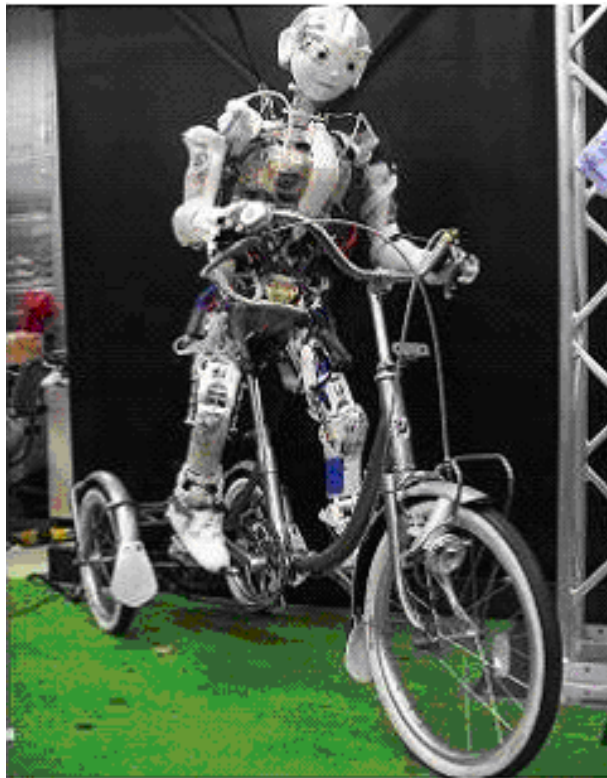
### 1.3.3 Humanoidní roboti

Existuje řada důvodů, proč člověk konstruuje roboty, které se podobají jemu samotnému. Jedním z nich je, že stroj s lidskou tváří je prostě přijatelnější, zvláště má-li sloužit jako pomocník v domácnosti, při ošetřování starých lidí nebo jednoduše pro zábavu v rodině. Na celém světě se intenzivně pracuje na vývoji humanoidů a výsledky jsou již zřejmé.

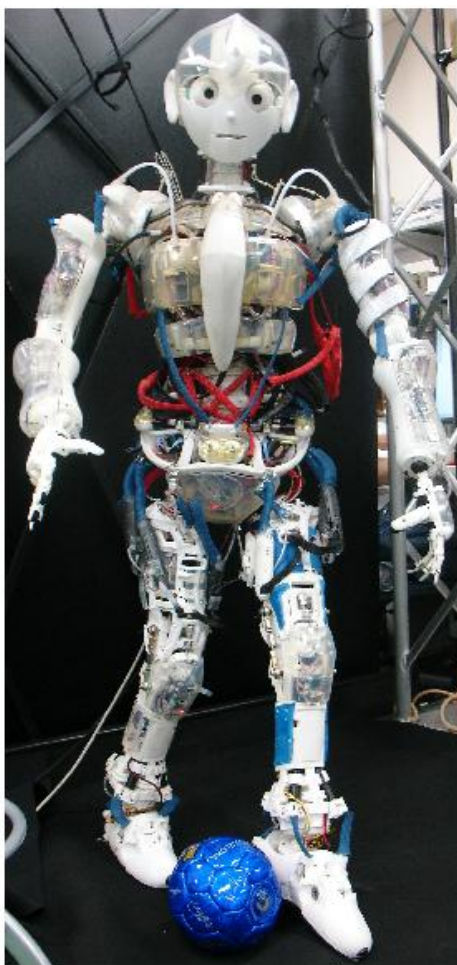


Zdaleka nejpokročilejší jsou v tomto směru Japonské vývojové týmy. Jedním z mnoha možných příkladů je humanoidní robot Kotaro.

Robot o rozměrech 500mm (šířka) x 1330mm (výška) x 350mm (hloubka) a váze 20kg je napájen 24V, jeho logické obvody 5V. Systém má 91 stupňů volnosti a je složen ze 120 servomotorů. Dokonalé systémy senzorů obohacují tohoto robota téměř o všechny vnější lidské vjemy. Ukázky dovedností robotického systému Kotaro jsou na Obr. 7 jízda na kole a na Obr. 8 robot fotbalista. Dalším zajímavým projektem je domácí robot HRP-2W. Na Obr. 9 je tento robot zachycen při průběhu online učení, kdy člověk ve speciálním obleku, který umožňuje přenášet jeho pohyby do paměti řídicího počítače robota, předvádí robotickému systému pohyby, které tento systém opakuje a naučené pohybové trajektorie ukládá do paměti.



*Obr. 7 Robot Kotaro při jízdě na kole*



*Obr. 8 Fotbalový robot Kotaro*



*Obr. 9 Ukázka online učení systému HRP-2W*

## 1.4 Vývoj v oblasti výukových robotických systémů

Zvyšující se poptávka po robotech a automaticky řízených systémech klade neustále vyšší nároky na jejich tvůrce a v technické praxi i na samotnou obsluhu těchto systémů. Tento stav se logicky projevuje zvyšujícím se významem výuky robotiky na univerzitách, případně i na středních specializovaných školách. Pro účely vzdělávání slouží a nadále budou sloužit výukové robotické systémy. Vzhledem ke klesajícím nákladům elektronických a elektromechanických součástí je možné vyrábět stále dokonalejší a dostupnější výukové roboty. V budoucnu budou stále více využívány robotické sady jakou jsou ROBONOVA-I či sada MGR K20-17. Dále se bude rozšiřovat podpora integrovaných senzorů, které takto vybaveným robotům umožní základní vnímání. Se zdokonalováním výpočetní techniky přijde též možnost implementovat složitější řídicí algoritmy s podporou umělé inteligence.

## 2 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE

Komunikaci lze definovat jako formu sdělování a výměny informací mezi dvěma, či více objekty. Za účelem porozumění sdělovaných informací musí zúčastněné strany definovat pravidla dorozumívání. Omezíme-li se na neživé objekty jsou tato pravidla stanovena především pomocí norem a standardů, jejichž význam stoupá vlivem globalizace současného světa. I pro spojení s řídicím systémem humanoidního robota MGR-K2017 je zapotřebí zvolit vhodný způsob komunikace. Základní výrobcem implementovaný způsob komunikace systému MGR-K2017 využívá sériové rozhraní RS232, k němuž je zapotřebí kabelové propojení s řídicím počítačem. Propojení pomocí kabelu značně omezuje mobilitu robota, z čehož vyplývá požadavek na realizaci komunikace bezdrátovým způsobem.

### 2.1 Radiové vlny

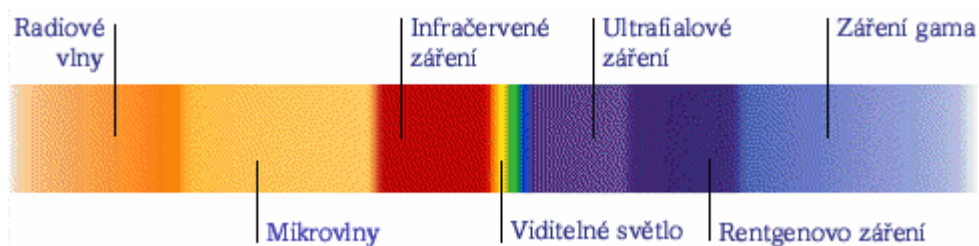
Bezdrátový přenos informací umožňuje jistá část elektromagnetického spektra. Elektromagnetické spektrum, někdy zvané též Maxwellova duha, která zahrnuje elektromagnetické záření všech možných vlnových délek. Každé elektromagnetické záření má svou vlnovou délku  $\lambda$  (ve vakuu), frekvenci  $f$  a jemu připisovaný foton má energii  $E$ . Vztah mezi nimi vyjadřují rovnice (1) a (2) [5]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

a

$$E = h \cdot f \quad (2)$$

, kde  $c$  je rychlost světla ( $3 \times 10^8$  m/s) a  $h = 6.65 \times 10^{-34}$  J·s = 4.1  $\mu$ eV/GHz Planckova konstanta. Základní rozdělení elektromagnetického spektra je zobrazeno na Obr. 10.



Obr. 10 Elektromagnetické spektrum

Asi nejvyužívanější část elektromagnetického spektra pro realizaci bezdrátové komunikační technologie je oblast radiových vlny (též Hertzovy vlny). Jsou to elektromagnetické vlny o kmitočtech nižších než 3000 GHz (dohodnutá mez), jež se šíří prostorem bez umělého vedení [3].

Kmitočtové spektrum radiových vln je možné považovat za přírodní bohatství, se kterým je nutné pečlivě hospodařit. Jedná se o omezený, ale obnovitelný přírodní zdroj. Poněvadž se rádiové vlny šíří volným prostředím, je nezbytná včasná a důkladná koordinace všech uživatelů volného prostředí, a to nejen uvnitř státu, ale i mezi státy navzájem. Tato potřeba vedla k dohodě mezi členskými státy OSN (Organizace spojených národů), vyjádřené v Mezinárodní úmluvě o telekomunikacích. Na základě této úmluvy byla vytvořena Mezinárodní telekomunikační unie ITU (International Telecommunications Union), jejímiž členy jsou všechny členské země OSN. Jejím úkolem je vytvářet podmínky pro účelné využívání kmitočtového spektra. Tato pravidla jsou shrnuta v dokumentu nazvaném Radiokomunikační řád (Radio Regulations), který tvoří přílohu k Mezinárodní úmluvě o telekomunikacích [4]. V rámci České republiky odpovídá za přidělení kmitočtových pásem Český telekomunikační úřad, který v souvislosti s touto povinností vydal Plán přidělení kmitočtových pásem 2004.

### 2.1.1 Rozdělení kmitočtového spektra radiových vln

Plán přidělení kmitočtových pásem 2004 [3] rozděluje kmitočtové pásmo podle tabulky Tab. 1. Jednotlivá pásma jsou rozdělena podle způsobu jejich použití do těchto skupin: Amatérská služba, Družicová amatérská služba, Pomocná meteorologická služba, Služba kosmického provozu, Služba družicového průzkumu Země, Pevná služba, Družicová pevná služba, Služba kmitočtových normálů a časových signálů, Družicová služba kmitočtových normálů a časových signálů, Mezidružicová služba, Družicová meteorologická služba, Pohyblivá služba, Radioastronomická služba, Rozhlasová služba, Družicová rozhlasová služba, Radiolokační služba, Družicová radiolokační služba, Radionavigační služba, Družicová radionavigační služba, Služba kosmického výzkumu, Bezpečnostní služba. K těmto skupinám jsou pak přidělovány konkrétní rozsahy kmitočtů. Nejdostupnější skupinou je Amatérská služba, která je určena pro vzdělávání, vzájemná spojení, technická studia a technická spojení prováděná amatéry, tj. řádně oprávněnými osobami, zajímajícími se o radiotechniku pouze z osobní záliby a nevýdělečně.

Tab. 1 Rozdělení radiového spektra na kmitočtová pásma

Číslo pásma N	Symbol	Rozsah kmitočtů (dolní mez mimo, horní mez včetně)	Název pásma	Metrická zkratka
4	VLF – Very Low Frequency	3 až 30 kHz	myriametrové	Mam
5	LF - Low Frequency	30 až 300 kHz	kilometrové	km
6	MF - Medium Frequency	300 až 3000 kHz	hektometrové	hm
7	HF - High Frequency	3 až 30 MHz	dekametrové	Dm
8	VHF - Very High Frequency	30 až 300 MHz	metrové	m
9	UHF - Ultra High Frequency	300 až 3000 MHz	decimetrové	dm
10	SHF - Super High Frequency	3 až 30 GHz	centimetrové	cm
11	EHF - Extremely High Frequency	30 až 300 GHz	milimetrové	mm
12	---	300 až 3000 GHz	decimilimetrové	----

### 2.1.2 Specifikace kmitočtových pásem

Pro komunikaci pomocí radiových vln je nutné zvolit některé z uvedených pásem a následně také vhodného komunikačního zařízení. Tato volba významně ovlivňuje vlastnosti celé komunikace. Posoudit vhodnost některého z pásem pro konkrétní účely by měla pomoci následující specifikace jednotlivých pásem, která je popsána odbornou literaturou [4].

#### *Velmi dlouhé vlny*

V pásmech velmi dlouhých a dlouhých vln se rádiové vlny šíří s malým útlumem a na velké vzdálenosti od vysílače. Pomocí vysílače s relativně malým vyzářeným výkonem lze tedy pokrýt poměrně velké území. Nevýhodou těchto pásem je celkově malý počet rádio-

vých kanálů, vysoká úroveň průmyslového a atmosférického rušení a nutnost použití rozměrných antén. Proto byla tato pásma přidělena námořním a radionavigačním službám.

### ***Střední vlny***

U pásma středních vln se nejvíce projevuje rozdíl mezi šířením povrchovou (přízemní) a prostorovou vlnou. Povrchová vlna se šíří kolem zemského povrchu ve výšce srovnatelné s délkou vlny a je zemským povrchem tlumena. V době od východu do západu Slunce se rádiové vlny v pásmu středních vln šíří pouze povrchovou vlnou, a to do vzdálenosti asi 100 km od vysílače. Tato vzdálenost je nepřímo úměrná kmitočtu vlny a přímo úměrná druhé mocnině vyzářeného výkonu. Prostorová vlna je v této době zcela pohlcena spodní vrstvou ionosféry. V noci, kdy spodní vrstva ionosféry zcela mizí, se prostorová vlna od ionosféry odráží a dopadá zpět na zemský povrch. Délka její dráhy je delší než délka dráhy povrchové vlny, navíc se s časem mění, takže do místa příjmu přichází s časovým zpožděním. Na vstupu přijímače dochází k vektorovému sčítání obou vln, což má za následek kolísání vstupního signálu přijímače, tzv. únik (fading). I přes uvedenou nevýhodu je pásmo středních vln vyhrazeno pro rozhlasovou službu s amplitudovou modulací.

### ***Krátké vlny***

V pásmu krátkých vln se rádiové vlny šíří několikanásobným odrazem od ionosféry a zemského povrchu, v závislosti na kmitočtu a hustotě ionosféry. Hustota ionosféry závisí na intenzitě záření dopadajícího z kosmu na vnější část atmosféry (světelné záření Slunce, kosmické záření a korpuskulární záření – dopad jemných hmotných částic) a mění se tedy podle denní doby, ročního období a fáze jedenáctiletého cyklu sluneční činnosti. Závislost na kmitočtu se projevuje tak, že vlny s příliš nízkými kmitočty (vzhledem k dané hustotě ionosféry) se v ionosféře tlumí, zatímco vlny s příliš vysokými kmitočty propouští ionosféra do volného prostoru. Pouze vlny s úzkým pásmem středních kmitočtů se od ionosféry odráží a mohou po několikanásobných odrazech umožnit spojení prakticky s libovolným místem na Zemi. S jedním odrazem od ionosféry lze uskutečnit spojení na vzdálenost asi 4000 km. Velice obtížně lze však uskutečnit spojení mezi dvěma místy na zemském povrchu, kde je různá denní doba i roční období (např. Jižní Amerika, aj.). Přesto je pásmo krátkých vln určeno pro spojení na velké vzdálenosti. V době, kdy nebylo možné komunikovat pomocí družicových systémů, poskytovalo pásmo krátkých vln jako jediné spojení s námořními loděmi a se zaoceánskými kontinenty.

### ***Velmi krátké vlny***

V pásmu velmi krátkých vln se rádiové vlny šíří do vzdálenosti rádiového horizontu tzv. přímou vlnou. Rádiový horizont je ve větší vzdálenosti než optický horizont, neboť přímé vlny se kolem zemského povrchu částečně ohýbají. Pouze na spodním okraji pásma se mohou za určitých podmínek šířit vlny i odrazem od ionosféry. Teplotní změny prostředí mají vliv na změnu dielektrické konstanty prostředí, což má za následek ohyb elektromagnetické vlny buď směrem nahoru (vlna se šíří na větší vzdálenost) nebo naopak směrem dolů (dosah se zmenšuje). Šíření rádiových vln je ovlivňováno odrazy od vodivých překážek a lze pozorovat i ohyb vln na hřebenech vysokých hor. Pásmo velmi krátkých vln je určeno pro rozhlasové vysílání s kmitočtovou modulací, televizní vysílání a další služby (letecká, pozemní pohyblivá, aj.).

### ***Ultra krátké vlny***

V pásmu ultra krátkých vln se rádiové vlny šíří také přímou vlnou do vzdálenosti rádiového horizontu, avšak šíření je výrazně ovlivňováno četnými odrazy od překážek, jejichž rozměry jsou srovnatelné s délkou vlny. Zvláště v městské zástavbě musí být voleno místo pro umístění vysílací antény s ohledem na možný výskyt odrazů. Pásmo ultra krátkých vln je určeno pro televizní vysílání, letecké systémy, družicové námořní systémy a v posledních letech je dominantně využíváno i různými mobilními systémy (GSM 900, GSM 1800, IS-95, DECT, aj.).

### ***Centimetrové a kratší vlny***

V pásmech centimetrových a kratších vln se šíření rádiových vln podobá šíření světla. Za překážkami se vytvářejí ostré stíny a na útlum šíření má vliv i lesní porost a počasí (hustý déšť, mlha, sníh). V případě, kdy vysílaný signál je soustředěn anténním systémem do úzkého paprsku a směřován k přijímací anténě (např. radioreléové spoje), musí být přenosová trasa plánována i s ohledem na výstavbu domů a jiných výškových staveb. Tato pásma jsou vyhrazena především pro družicové systémy, včetně družicového rozhlasu a televize, a pevné služby (radioreléové spoje, aj.).



## 2.2 Radiové komunikační technologie

Pro komunikační systém humanoidního robota se s ohledem na specifikaci kmitočtových pásem v kapitole 2.1.2 jeví jako nejpoužitelnější pásmo ultra krátkých vln UHF, s rozsahem frekvencí 300 až 3000 MHz. K dispozici je několik komunikačních technologií. Popsány budou tři z nich, které byly vyhodnoceny jako nejdostupnější. Jsou to Bluetooth, WiFi a DECT (význam jednotlivých označení bude popsán níže).

### 2.2.1 Bluetooth

V 10. století našeho letopočtu dánský král Harold Bluetooth proslul svou promyšlenou diplomacií, když dokázal přivést znepřátelené strany k mírovým jednáním a naučil je vzájemné komunikaci. Tím se o několik století později inspirovali tvůrci standardu bluetooth a vyvinuli technologii, která umožnila vzájemnou komunikaci zařízení.

Bluetooth byl navržen jako průmyslový standard bezdrátových lokálních sítí WLAN (Wireless local-area network), pro vzdálenosti řádově několika metrů. Prosadil se však především v oblasti bezdrátových personálních sítí WPAN a dnes se hojně používá k propojení zařízení jako jsou PDA (personal digital asistence), mobilní telefony, počítače, tiskárny, digitální kamery a další. K jeho rozšíření přispěla především nízká cena a dostupnost bez licenční radiové frekvence.

Původní technologie byla vyvinuta společností Ericsson. 20. května 1999 a byla formálně založena společnost SIG (Special Interest Group), k jejímž zakladatelům patřily společnosti Sony Ericsson, IBM, Toshiba, Nokia a další. Záhy se přidávaly i další významné společnosti a celosvětový standard byl na světě. Bluetooth je dnes znám jako IEEE 802.15.1.

Klíčovým požadavkem pro bezdrátovou technologie je schopnost systému pracovat celosvětově. Pásmo splňující tyto požadavky, je pásmo 2.4 GHz mezinárodně známé jako Industrial-Scientific-Medical – ISM, u nás pak jako amatérské pásmo. Jedná se o nelicencované volné pásmo, určené pro kterýkoliv rádiový systém. Šířka pásma je 2,400 – 2,4835 GHz.

### *Vývojová stádia technologie*

Bluetooth prošel několika vývojovými stádii. Původní verze 1.0 a 1.0B měly značné množství chyb a výrobci nedokázali produkovat vzájemně kompatibilní zařízení. Naštěstí rychle

následovala verze 1.1, která většinu chyb dokázala odstranit. Navíc byl přidán indikátor intenzity přijímaného signálu a implementována podpora nešifrovaných kanálů.

Zatím asi nejrozšířenější se stala verze 1.2. Je zajištěna zpětná kompatibilita s předchozí verzí. Vzhledem k velkému rozšíření bezdrátových technologií a dostupnosti ISM pásma byla do této verze přidána technologie kmitočtových skoků (frequency hopping) s nominální rychlostí 1600 skoků za sekundu. Vysílač mění frekvenci po každém přenosu a příjmu a tím je zajištěna větší kvalita spojení a odolnost vůči rušení. Nově implementovaná technologie extended Synchronous Connections (eSCO) zvyšuje hlasovou kvalitu audio kanálů tím, že umožňuje preposílání poškozených paketů.

Poslední verzí je 2.0. Zajištěna je kompatibilitami se všemi verzemi 1.x. Přenosová rychlost dosahuje 2.1 Mbit/s. Je snížena spotřeba energie. Zavedena větší podpora vícenásobného propojování kanálů. Implementována byla technologie BER (bit error rate).

### ***Budoucnost bluetooth***

Následující vývojová verze s pracovním názvem „Lisabon“ počítá z řadou dalších vylepšení. Bude zvýšeno zabezpečení pomocí technologie Atomic Encryption Change, která umožní periodické změny šifrovacích klíčů. Dotazovací procedury Extended Inquiry Response umožní během navazování spojení shromáždit informace o připojovaném zařízení a je možné o jeho připojení rozhodnout. Bude snížena spotřeba energie zavedením technologie Sniff Subrating, využitelné především pro asymetrické datové toky, díky čemuž dochází k minimálnímu odběru energie v době, kdy nejsou přijímána žádná data. Pro zařízení jako je myš, či klávesnici to znamená více než trojnásobné zvýšení doby provozu bez nutnosti výměny baterií. Bude zaveden pojem QoS (Quality of Service) - kvalita služby, který vyjadřuje jeden z trendů vývoje technologií a služeb počítačových sítí, a to poskytovat uživatelům služby s definovanou kvalitou.

Ačkoliv se stále ještě vyvíjí verze „Lisabon“, objevili se již první zprávy o další pokročilejší bluetooth specifikaci označené pracovním názvem jako „Seattle“. Tato verze by měla k přenosu dat využívat širokopásmovou vysokorychlostní technologii UWB (UltraWideBand). UWB slibuje na krátké vzdálenosti přenosové rychlosti 110-300 Mb/s a robustní bezporuchové spojení. Podle analytiků společnosti Park Associates se má do konce roku 2008 využívat technologie UWB ve 150 milionech zařízeních.

### *Technická specifikace*

Pro řídicí systém humanoidního robota je z hlediska dostupnosti nejvhodnější specifikace 1.2. Zde je shrnutí toho co nám tato specifikace nabízí:

- Synchronní přenos hlasu rychlostí 64 kbit/s
- Asymetrický přenos dat s rychlostmi 723 kbit/s v jednom směru a 57,6 kbit/s ve směru opačném
- Alternativní symetrický přenos dat s rychlostí 432,6 kbit/s
- Zabezpečení pomocí veřejného adresování a 128 bitových zabezpečovacích klíčů
- Dosah signálu až 100 metrů viz. Tab. 2.

*Tab. 2 Rozdělení bluetooth zařízení podle výstupního výkonu*

Class	Power (mW)	Power (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

### **2.2.2 WiFi**

Wi-Fi (nebo také Wi-fi, WiFi, Wifi, wifi) je standard pro lokální bezdrátové sítě (Wireless LAN, WLAN) a vychází ze specifikace IEEE 802.11. Název Wi-Fi je slovní hříčka vůči Hi-Fi a znamená wireless fidelity – „bezdrátová věrnost“, název však ve skutečnosti zkratkou není. Za vznikem normy stojí Mezinárodní standardizační institut IEEE, evropský regulátor ETSI (European Telecommunications Standards Institute) a jeho americký protějšek FCC (Federal Communications Commission).

Původní standard pro bezdrátové sítě IEEE 802.11 vznikl v červenci roku 1997, využívá nelicencované pásmo od 2,4 do 2,4835 GHz. Standardem definovaná maximální přenosová rychlost 2 Mbit/s začala být brzy nedostačující a stejně tak se ukázalo být nedostačující i zabezpečení přenosu. K relativně mladému standardu tak již brzy vzniklo několik nových doplňků, které jeho nedostatky upravují. Dá se předpokládat, že dynamický vývoj technologie neustane, spíše se bude ještě zrychlovat. Překotné tempo ve vývoji sítí WLAN bohužel způsobuje jistou nepřehlednost a výběr správné komunikační technologie se stává značně problematickým. Za nepřehledností v oblasti schválených norem a standardů stojí

do jisté míry i sám mezinárodní standardizační institut IEEE, který přístup k normám mladším půl roku zpoplatňuje.

O patřičný výklad standardů těchto bezdrátových zařízení se stará certifikační autorita WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), která také testuje schopnost WiFi zařízení spolupracovat. Tato instituce, která se pro zvýšení transparentnosti své činnosti v roce 2003 přejmenovala na WiFi Alliance, uděluje vyhovujícím výrobkům logo WiFi, zaručující kompatibilitu. Tato loga jsou na obrázku zobrazena na Obr. 11. Barevné oválné značky s písmeny dále upřesňují, které standardy zařízení splňuje. Příčinou vzniku této organizace byly problémy s prvními sériemi výrobků, kdy mezi sebou často nebylo možné jednotlivé výrobce a výrobky kombinovat.



Obr. 11 Loga aliance WiFi

Dále jsou popsány nejpoužívanějších standardy IEEE 802.11x, stručný kompletní přehled je uveden v tabulce Tab. 3. Jednotlivá označení IEEE 802.11x jsou označením pracovní skupiny, která vyvíjí a spravuje daný standard.

Tab. 3 Přehled standardů IEEE 802.11x

Označení normy / doplňku	Rok zavedení	Popis
IEEE 802.11	1997	První standard, pásmo 2,4 GHz, rychlost 1 a 2 Mb/s.
IEEE 802.11a	1999	Rychlost až 54 Mbit/s v pásmu 5 GHz.
IEEE 802.11b	1999	Rychlost až 11 Mbit/s v pásmu 2,4 GHz.
IEEE 802.11c	2003	Mosty (Bridge) mezi přístupovými body.
IEEE 802.11d	2001	Pro země, kde pásmo 2,4 GHz není přístupné.
IEEE 802.11e	2005	Podpora pro QoS na MAC vrstvě.
IEEE 802.11F	2003	Spolupráce přístupových bodů od různých výrobců.
IEEE 802.11g	2003	Rychlost až 54 Mbit/s v pásmu 2,4 GHz.
IEEE 802.11h	2003	Dynamický výběr kanálu a regulace výkonu.

IEEE 802.11i	2004	Zabezpečovací a ověřovací mechanismy na MAC vrstvě.
IEEE 802.11j	2004	Využití pásma 4,9 a 5 GHz v Japonsku.
IEEE 802.11k	2006?	Měření rádiových prostředků (optimalizace kvality spojení).
IEEE 802.11m	2006?	Revize standardů.
IEEE 802.11n	2007?	Vysoká propustnost (zvýšení přenosové rychlosti).
IEEE 802.11p	2007?	Bezdrátový přístup pro mobilní zařízení.
IEEE 802.11r	2007?	Rychlý roaming.
IEEE 802.11s	2008?	Multi-hopping - klient bude zároveň přístupovým bodem a naopak.
IEEE 802.11u	2007?	Spolupráce s externími sítěmi.
IEEE 802.11v	2008?	Management bezdrátových zařízení.
IEEE 802.11w	2008?	Podpora integrity, autenticity, utajení a ochrany dat.

### **802.11b**

Standard 802.11b se vysílá v pásmu 2,4 GHz. Nabízí přenosovou rychlost max. 11 Mb/s a dané frekvenční pásmo poskytuje tři nepřekryté kanály. Nevýhodou je absence odpovídajícího zabezpečení přenosů. Není zajištěna kvalita služeb (QoS). Oba nedostatky platí samozřejmě i pro 802.11a. Systémy pracující se standardem 802.11b využívají tzv. přímé sekvence DSSS2. Existuje i modifikace normy 802.11b+. Je to zavádějící označení používané výrobci a znamená, že zařízení podporuje technologii paketového binárního konvolučního kódování PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) vyvinutého společností Texas Instruments.

### **802.11a**

Využívá nově uvolněného nelicencovaného pásma 5 GHz a dosahuje rychlosti až 54 Mb/s. 802.11a bohužel plně neodpovídá platným předpisům ETSI. Pásmo 5 GHz bylo původně vyhrazeno organizací ETSI technologiím pokročilejším než 802.11a, nabízejícím automatickou regulaci vysílacího výkonu TPC (Transmitter Power Control) a dynamickou volbu frekvence DFS (Dynamic Frequency Selection) – pro konkurenční technologie. Velkou výhodou 802.11a je fakt, že pásmo 5 GHz je daleko méně zarušené než pásmo 2,4 GHz a díky velké šířce tohoto pásma je možno využít více nepřekrývajících se kanálů. Pochopitelně rozdílná pásma 802.11a a 802.11b znemožňují jejich spolupráci.

**802.11g**

V roce 2003 vznikl zatím nejpoužívanější standard 802.11g. Stejně jako 802.11b pracuje v pásmu 2,4 GHz (3 kanály bez překryvu), ovšem nabízí rychlost až 54 Mb/s, bohužel za cenu snížení dosahu na cca 30m. Zaručena je zpětná kompatibilita s 802.11b. Komunikace na úrovni fyzické vrstvy probíhá s využitím OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), při komunikaci se zařízeními 802.11b se využívá technologie DSSS. 802.11g obsahuje mechanismus pro koexistenci 802.11b a 802.11g klientů v jedné síti. Ten se v tomto případě spustí v okamžiku přidružení klienta 802.11b k síti 802.11g. Síť 802.11g bez klientů 802.11b bude mít lepší výkonnost zejména s rostoucím počtem uživatelů připojených k síti.

V předchozích odstavcích jsme si vysvětlili základní normy týkající se bezdrátových lokálních sítí. Dají se považovat za stěžejní a na jejich základě se vyvinuly nebo jsou připravovány další normy. Jejich vzájemné srovnání nabízí Tab. 4.

*Tab. 4 Porovnání standardů pro bezdrátové lokální sítě*

Typ	802.11b	802.11g	802.11a
Frekvence [GHz]	2,412 - 2,484	2,412 - 2,484	5,150 - 5,350 5,725 - 5,825
Přenosová rychlost [Mbit/s]	11	54	54
Reálná uživatelská rychlost [Mbit/s]	až 6	až 22	až 25
Typ rozptřené spektra	DSSS	OFDM/DSSS	OFDM

**802.11e**

Norma 802.11e je poměrně důležitým rozšířením standardu 802.11. Zavádí podporu pro kvalitu služeb QoS a opravu chyb do podvrstvy MAC (Media Access Control). Norma umožní realizovat multimediální přenosy, pořádat videokonference, telefonovat po internetu, případně používat jiné interaktivní služby citlivé na zpoždění nebo ztrátu paketů. Stávající specifikace 802.11 to dostatečně spolehlivě neumožňují. Existují sice různá firemní řešení (např. Symbol Technologies, SpectraLink a Vocera Communications), ale jsou vzájemně nekompatibilní a to právě z toho důvodu, že norma 802.11e ještě nebyla schválena.

Připravovaná norma musí zajistit, aby byly garantovány všechny uvedené parametry a zároveň musí zajistit také zpětnou slučitelnost se zařízeními nevybavenými podporou pro QoS. Jelikož je poptávka po QoS v bezdrátových sítích vysoká, vznikla technologie WME (Wireless Multimedia Extensions), která se dá označit jako dočasné řešení. Podporuje pouze některé prvky pro QoS z budoucí normy, jako označování rámců podle priorit a odpovídající řazení do front.

### **802.11f**

V polovině roku 2003 byla schválena poměrně užitečná norma 802.11f s názvem Inter Access Point Protocol (IAPP), která má umožnit bezproblémový roaming. Stávající specifikace 802.11 totiž nezahrnují standardizaci komunikace mezi jednotlivými přístupovými body pro zajištění přechodu uživatele od jednoho přístupového bodu k druhému. Z toho důvodu bylo do uvedení této normy velmi problematické stavět bezdrátové sítě bez využití síťových prvků od jednoho výrobce. Protokol IAPP tedy specifikuje informace, které si musí přístupové body vyměňovat při přechodu klienta od jednoho bodu k dalšímu.

### **802.11h**

Norma 802.11h je pravděpodobně nejproblematičtější mezi ostatními normami 802.11. Je to z toho důvodu, že specifikuje vysílání v pásmu 5 GHz a Evropští normalizátoři se nemohou sjednotit. K problémům přispívá ještě konkurenční technologie HIPERLAN/2, která je postavena také na pásmu 5 GHz a donedávna byly snahy, aby toto pásmo zůstalo pouze jí.

Norma zavádí použití dynamického výběru kanálu (DCS) pro venkovní i vnitřní komunikaci a řízení vysílacího výkonu (TPC). Pásmo 5 GHz je v Evropě velmi nepřehledné, dělí se totiž na několik subpásem a ty mají nebo budou mít odlišnou regulaci. Jedná se tyto subpásma:

- 5150-5250 MHz - Povoleno v Americe i Evropě, avšak pouze pro vnitřní sítě s max. 200 mW. Toto pásmo je podporováno standardy IEEE 802.11a a 802.11h.
- 5250-5350 MHz - Povoleno v Americe i Evropě, avšak pouze pro vnitřní sítě s max. 1 W (Amerika) a max. 200 mW EIRP (Evropa). Toto pásmo je podporováno standardy IEEE 802.11a a 802.11h.

- 5470-5725 MHz - V Americe se připravuje uvolnění tohoto pásma, v Evropě se tak již stalo - pro venkovní i pro vnitřní sítě s max. výkon 1 W. Toto pásmo nespécifikuje žádný IEEE standard.
- 5725-5825 MHz - V Americe je v tomto pásmu možno vysílat venku i uvnitř budov s max. 4 W, v Evropě včetně ČR jen v rámci nespécifikovaných stanic s maximálním vyzářeným výkonem 25 mW. Opět není podporováno IEEE standardy.
- 5825-5875 MHz - Povoleno v Evropě včetně ČR jen v rámci nespécifikovaných stanic s maximem 25 mW vyzářeného výkonu. Není podporováno IEEE standardy.

### **802.11i**

Norma definující doplňkové bezpečnostní mechanismy bezdrátových sítí 802.11a/b/g. Jejím velkým přínosem je odstranění známých problémů s šifrováním WEP, zdokonaluje autentizaci i šifrování. Standardy 802.11b ani 802.11g v sobě neměli doposud implementováno žádné zabezpečení. Za nejpodstatnější přínos této normy se považuje šifrovací mechanismus AES, který se zdá být dostatečný i pro vládní účely. Dříve útočníkovi pouze stačilo, aby odposlechnul dostatečný objem zpráv, aby mohl prolomit klíč WEP, v 802.11i se však šifrovací klíče mění automaticky. Nevýhodou protokolu je, že je poměrně náročný na výkon zařízení a za další od nich vyžaduje takové schopnosti, které většina z nich dnes ještě nemá. Nová technologie šifrování je označována jako WPA2 a specifikuje povinnou "výbavu" zařízení pro zajištění bezpečnosti.

### **802.11k**

Připravovaná norma 802.11k s názvem Radio Resource Measurement má sloužit k měření a správě radiových zdrojů tak, aby vyhovovaly novým bezdrátovým sítím. Norma se snaží optimalizovat WLAN v závislosti na jejich okamžitých parametrech – vzájemném rušení mezi jednotlivými sítěmi, šumem, zahlcením – aby výsledná výkonnost sítě byla co nejvyšší.

### **802.11n**

Připravovaná norma 802.11n má přinést zcela průlomové zvýšení rychlosti ve WLAN. Cílem je nabídnout uživatelům reálnou rychlost 100 Mb/s a hovoří se dokonce o rychlostech až 320 Mb/s.



### **IEEE 802.11.2**

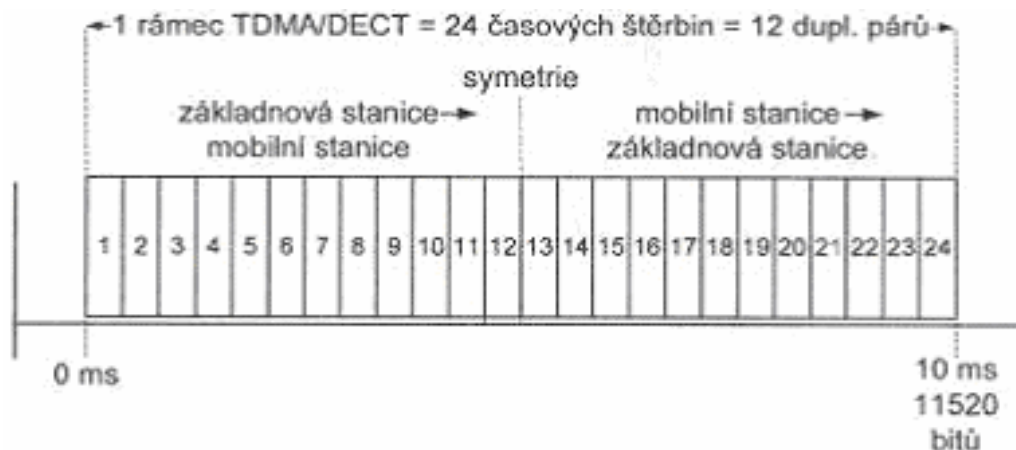
Návrh pro vytvoření souboru metrik, metodik pro měření a podmínek pro testování zařízení bezdrátových lokálních sítí.

### **2.2.3 DECT**

Standard DECT byl publikován ETSI v červnu roku 1992 a komerčně použitelné produkty se na trhu objevily v roce 1993. Tento systém je koncipován pro bezdrátovou telefonii s přihlédnutím ke stávajícímu standardu GSM. Systém je též možné použít k bezdrátovému přenosu dat. DECT může spolupracovat se širokým spektrem dalších sítí. Následující odstavce poskytují základní popis technologie založený na informacích uvedených v dokumentu [6].

#### ***Technická specifikace***

Standard DECT pracuje v rozsahu 1880 až 1900 MHz, výhledově se očekává rozsah 1880 až 1920 MHz. V tomto rozsahu je založeno celkem 10 nosných vln, se vzájemným odstupem 1728 kHz. K oddělení účastnických kanálů se využívají principy multiplexu FDM, kdy kanály neustále dynamicky mění obsazení jednotlivých nosných vln podle okamžité situace. Dále zde jsou uplatněny principy přístupu TDMA (Time Division Multiple Access) a to tak, že v pásmu o šířce necelých 2 MHz, symetricky rozloženém po stranách každé nosné vlny, je přenášen vždy po dobu 10 ms jeden časový rámeček TDMA. Uspořádání rámečků je zobrazeno na Obr. 12. Časový rámeček TDMA obsahuje celkem 24 časových slotů TDMA. Každý slot má dobu trvání přibližně 0,417 ms a přenáší 480 bitů, takže rámeček obsahuje celkem  $480 \text{ bitů} \times 24 = 11\,520 \text{ bitů}$ . Za 1 sekundu se vystřídá na této nosné vlně 100 rámečků, tedy celková bitová rychlost modulačního signálu zde je  $11\,520 \text{ bitů} \times 100 = 1,152 \text{ Mbit/s}$ . Standard DECT aplikuje časové sdružování duplexních párů tj. časový duplex TDD (Time Division Duplex). Ve slotech 1 až 12 rámeček vysílají základnové stanice ve slotech 13 až 24 vysílají mobilní stanice. Vzniká tedy 12 duplexních párů pro každou nosnou vlnu, celkově si systém s 10 nosnými vlnami vytváří  $10 \times 12 = 120$  plně duplexních provozních kanálů.



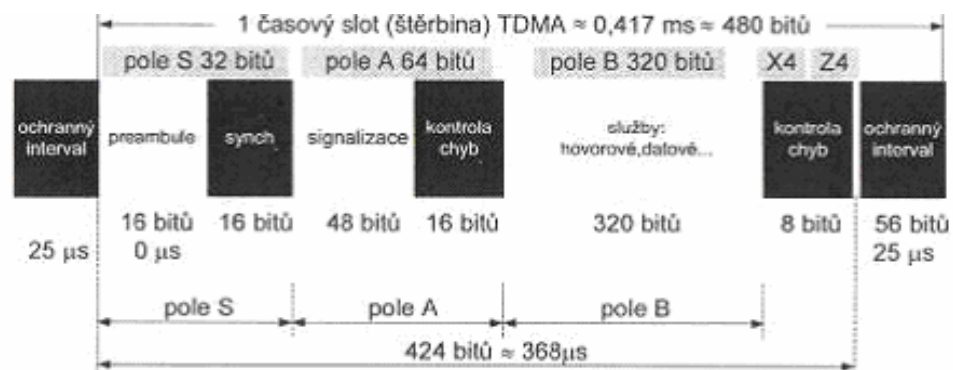
Obr. 12 Časový rámeček TDMA

### ***Výkon, dosah a spolehlivost***

Standard DECT má v obsluhovaných oblastech buňkovou strukturu. Mikrobuňky mají rozměr kolem 100 m, pikobuňky jsou ještě podstatně menší. Vlivem těchto malých buněk je dosaženo vyšší spektrální účinnosti, tedy mobilní a základnové stanice mohou vysílat na nižší výkonové úrovni. Základnová stanice má maximální výkon kolem 250mW oproti 20W u GSM. Vlivem celkově nižší spotřeby je možno podstatně zmenšit rozměry i hmotnost mobilních stanic. Přenos dat vzduchem je možný přibližně do vzdáleností kolem 50 metrů v budovách a 300 metrů na otevřeném prostranství. Pro větší systémy je zajištěna podpora tzv. Handover. Jedná se o přepojení během přenosu na jinou základnovou stanicí. Další důležitou částí standardu DECT je definice GAP (Generic Access Profile). Definice GAP zajišťuje, že zařízení jednotlivých výrobců mohou vzájemně komunikovat. Spolehlivost standardu je zajištěna výběrem nejkvalitnějšího kanálu. Tento princip se nazývá CDCS (Continuous Dynamic Channel Selection) a funguje tak, že každé DECT zařízení má přístup k libovolnému kanálu a přijde-li požadavek na sestavení spojení, toto přenosné zařízení vybere kanál, který nabízí nejvyšší kvalitu pro spojení. Během spojení je zároveň přenosným zařízením procházeno rádiové spektrum a pokud je nalezen kanál, jenž poskytuje lepší podmínky, spojení je přesunuto na tento kanál. Závěrem je vhodné podotknout, že DECT je od prvopočátku koncipován jako digitální bezšňůrový systém s vysokou kvalitou poskytovaných služeb.

### Chybovost

V základním tzv. nechráněném formátu se přenáší v jednom časovém slotu celkově 480 bitů. Z nich prvních 32 bitů vytváří úvodní synchronizační skupinu (pole S), skládající se ze 16 bitů preamble („teplý“ start přijímače) a ze 16 bitů paketového synchronizačního slova. Další následuje skupina 48 bitů přenášejících signalizaci (řídící slovo obsahující 8 bitů záhlaví a 40 a bitů vlastních signalizačních dat a signálů tzv. rozhlasového majáku) a skupina 16 bitů cyklického redundantního kódu CRC; těchto 48 + 16 bitů = 64 bitů vytváří pole A. Kód CRC se využívá pro kontrolu chyb v řídícím slově, s případným následujícím opakovaným vysíláním řídící informace. Za polem A je situováno pole B, obsahující 320 bitů určených k přenosu užitečného signálu (digitalizovaného hovoru, nechráněných dat), a to rychlostí až 32 kbit/s. Následují 4 paritní bity vytvářející zabezpečovací pole X4, sloužící pro hrubou kontrolu chyb v poli B. Korekce chyb se však v poli B neprovádí. Pole (A + B + X4) se souborně označují jako datové pole D. Následující pole Z4 o čtyřech bitech přispívá rovněž ke kontrole chyb. Časový slot zakončuje 56 bitů ochranného intervalu, kompenzujícího chyby v časování. Popis časového slotu TDMA názorně doplňuje Obr. 13. Za 1 sekundu se opakuje celkem 100 časových rámců TDMA a tedy i 100 slotů přidělených jednomu ze dvou kanálů určitého duplexního páru. Tomu odpovídá celková „čistá“ bitová rychlost pro přenos hovoru nebo nechráněných dat  $100 \times 320 = 32$  kbit/s na jeden kanál, resp. 72 kbit/s na duplexní pár.



Obr. 13 Časový slot TDMA

V některých aplikacích (přenosy dat s malou chybovostí atd.) se uplatňuje přenos v tzv. chráněném formátu, kdy například z uvedených 320 bitů jich je k přenosu užitečného signálu využíváno jen 256 a zbývajících 64 bitů je určeno ke kódování CRC (ve čtyřech skupinách po 64 datových a 16 CRC bitech). Čistá bitová rychlost potom bude v tomto režimu

pouze 25,6 kbit/s. Časové sloty TDMA obsažené v jednom rámci je možné vhodně kombinovat a tím vytvářet jediný kompozitní kanál s vyšší bitovou rychlostí. Její horní hranice  $12 \times 32 = 384$  kbit/s poskytuje možnost přenášet například počítačové soubory s vysokým stupněm zabezpečení proti chybovosti.

## 2.3 Ostatní komunikační technologie

Existuje celá řada alternativních bezdrátových komunikačních technologií, které nejsou příliš rozšířené. Pod pojmem alternativní jsou zde uváděny technologie nepracující v pásmu radiových vln. Uživatele při výběru komunikačního zařízení zajímá dnes především cena, dostupnost a spolehlivost technologie, a tedy i dobrá povědomost o ní. V ideálním případě by měla být tato technologie podporována nějakým významným konsorciem nebo normalizačním výborem. Jednu nebo více výše uvedených vlastností většínou alternativní komunikační technologie nesplňují a proto se nepřepokládá jejich významné rozšíření. Mezi alternativní technologie patří například optické laserové spoje, které pro přenos dat používají neviditelné laserové světlo, kterým se dá přemostit maximálně několik kilometrů s přenosovou kapacitou řádově v rozsahu Gb/s. Další technologií je tzv. magneticko-indukční systém, který realizuje přenos dat po elektromagnetických vlnách pole vytvořeného magnetickou indukcí. Tyto systémy jsou určeny pro přenos na krátkou vzdálenost řádově v metrech, nabízejí bezpečnost přenosu, minimální rušení a nízkou spotřebu elektrické energie. Asi nejznámější technologií nepracující v pásmu radiových vln je tzv. IrDa (Infrared Data Association), která bude podrobněji popsána v kapitole 2.3.1.

### 2.3.1 IrDA

Bezdrátové sítě nemusejí zcela nezbytně využívat pásma řádu GHz. Vysílání v oblasti THz spadá do infračerveného pásma, tedy mimo radiové vlny. Tento přenos je definován standardem IrDA vytvořeným konsorciem Infrared Data Association. IrDA ve svých specifikacích definuje standardy jak fyzických koncových zařízení tak protokolů jimiž komunikují koncová zařízení. Standard vznikl z potřeby mobilně propojit různé zařízení mezi sebou.

### *Fyzická vrstva*

IrDA zařízení komunikují pomocí infračervených LED diod s vlnovými délkami vyzařovaného světla cca 875 nm. Na tuto vlnovou délku jsou citlivé i mnohé CCD kamery. Příjímače jsou PIN fotodiody, které pracují v generačním režimu. Existuje přímá úměra mezi energií dopadnutého záření a nábojem, který optická část přijímače vygeneruje.

### *Dosah a používané rychlosti IrDA*

IrDA zařízení dle normy pracují do vzdálenosti cca 1.0 m při bitové chybovosti BER 10<sup>-9</sup> a maximální úrovni okolního osvětlení 10klux (denní svit slunce). Tyto hodnoty jsou definovány pro nesouosost vysílače a přijímače 15 stupňů, pro jednotlivé optické prvky se měří výkon do 30 stupňů. Rychlosti jsou pro IrDA verze 1.0 od 2400 do 115200 kbps, používá se pulsní modulace 3/16 délky původní doby trvání bitu. Formát dat je stejný jako na sériovém portu, tedy asynchronně vysílané slovo uvozené startbitem. IrDA verze 1.1 definuje navíc rychlosti 0.576 a 1.152 Mbps s pulsním kódováním 1/4 délky doby trvání původního bitu. Při těchto rychlostech je již základní jednotka (paket) vysílán synchronně uvozen startovní sekvencí. Zatím nejvyšší definovaná rychlost je 4 Mbps, pro kterou se používá takzvaná 4PPM (Four Pulse Position Modulation) modulace se střídou 1/4, v níž se 2 bity informace zakódují do pulsu v jednom ze čtyř možných časových pozic, nositelem informace je zde tedy pozice pulsu v čase. Důvodem použití 4PPM modulace je zdvojnásobení přenosové rychlosti. Kromě toho se přijímači lépe udržuje úroveň ostatního osvětlení[7].

## **2.4 Výběr komunikační technologie**

Při výběru vhodné komunikační technologie bylo přihlíženo k následujícím vlastnostem jednotlivých technologií, tyto vlastnosti jsou řazeny sestupně podle priority:

- Spolehlivost přenosu
- Rušení signálu
- Dostupnost technologie, HW zařízení a dokumentace
- Cena komunikačního zařízení, dostupnost zákaznické podpory
- Zabezpečení přenosu

- Rychlost přenosu

Na základě těchto parametrů se jeví jako nejvhodnější technologie DECT. Zvolené technologii a její implementaci se věnuje kapitola 4.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 ROBOTICKÝ SYSTÉM MGR-K2017

MGR-K2017 je systém dvounohého humanoidního robota o 17 stupních volnosti. Systém se skládá ze základní desky MGR-CA128, 17 AI motorů 1001 a příslušenství. Níže je uvedena technická specifikace systému MGR-K2017:

- Výška: 260 mm
- Váha: přibližně 1240 g
- Stupně volnosti: 17
- Napájení: 7.2V 2300mAh Ni-MH sada baterií nebo 7.5V adaptér
- Rychlost chůze: dopředu a dozadu až 2 m/min, doleva a doprava až 1 m/min
- Rychlost rotace: přibližně 15 °/sec
- Spotřeba energie při chůzi: přibližně 20.16W
- Výdrž baterie: až 35 min

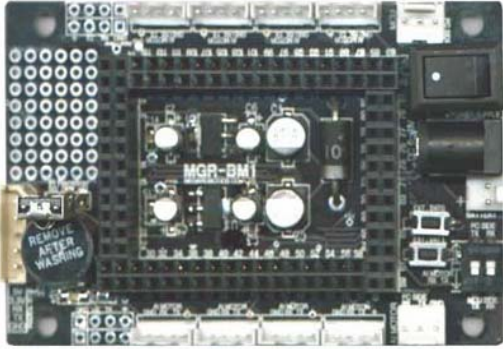
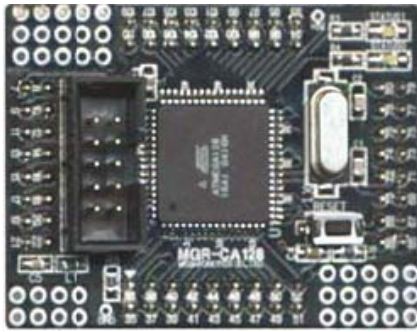
Účelem této kapitoly bude poskytnout dostatek informací potřebných k mechanickému i elektrickému oživení systému.

#### 3.1 Základní deska MGR-CA128

Technická specifikace základní desky MGR-CA128 je uvedena v Tab. 5. Popis vybraných komponentů je uveden v kapitole 3.1.1.

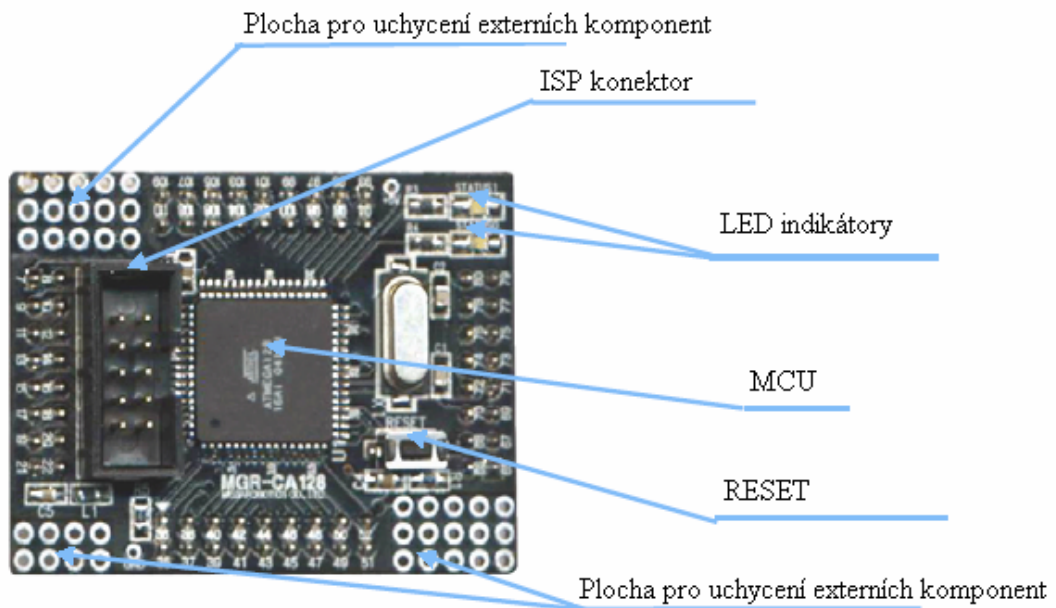


Tab. 5 Specifikace desky MGR-CA128

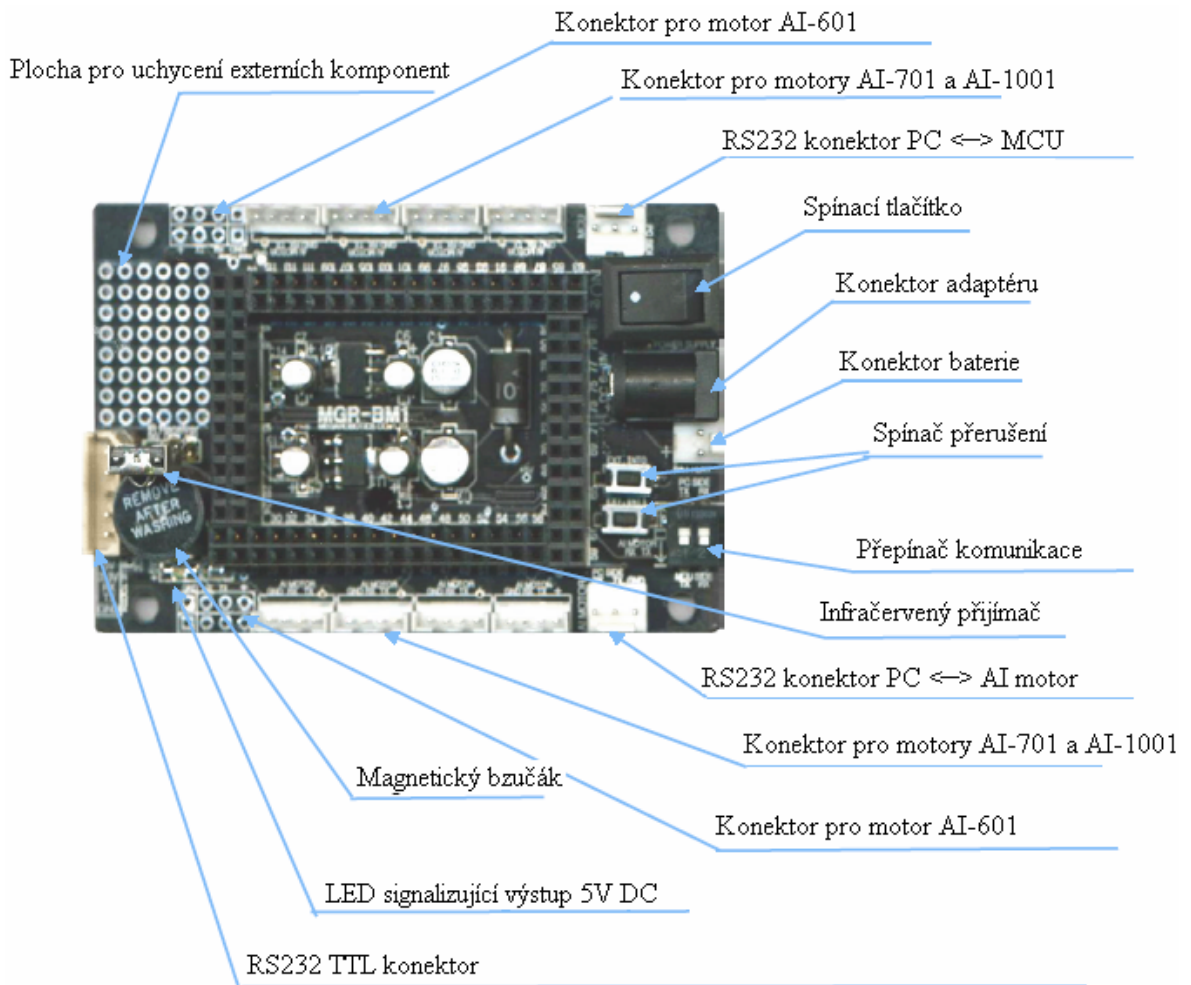
Deska	Základní deska MGR-BM1	Přídavná deska MGR-BD128
Ukázka		
Váha	42g	16g
Napájení	Vstup: DC +6V~11V Výstup: DC +5V (Max. 1.5A) Výstup: DC +3.3V (Max. 1.5A)	+5V ze základní desky
MCU	není	Atmega128-16AI (14.7456Mhz)
Rozhraní	8 x konektor pro AI Motor 701 a 1001 4 x konektor pro AI Motor 601 2 x RS232 konektor 2 x RS232 TTL konektor	1 x ISP konektor
Další vlastnosti	2 x spínač přerušení (vstup) 1 x IR modul (výstup) 1 x magnetický bzučák (výstup) Plocha pro externí modul 6 x 8	1 x reset spínač (vstup) 2 x LED indikátor (výstup) Plochy pro externí modul 4x2, 5x3, 5x3
Uchycení	Otvory pro šrouby M3.0	Speciální konektory základní desky

### 3.1.1 Popis vybraných komponent desky MGR-CA128

Na Obr. 14 je přídavná deska MGR-BD128 a popis jejích součástí. Na Obr. 15 je základní deska MGR-BM1 a popis jejích součástí. V následujících odstavcích jsou pak podrobněji popsány vybrané součásti. Kompletní popis je uveden v uživatelském manuálu [9].



Obr. 14 Deska MGR-BD128



Obr. 15 Deska MGR-BM1

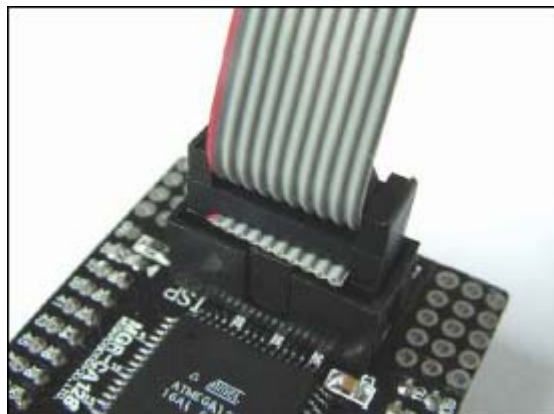
### *MCU*

Mikroprocesor Atmega je výkonným jádrem desky a má tyto parametry:

- Vnitřní Flash paměť 128 kB
- 4 kB vnitřní EEPROM paměti
- 4 kB vnitřní SRAM paměti
- Podpora ISP konektoru pro obsluhu FLASH a EEPROM paměti



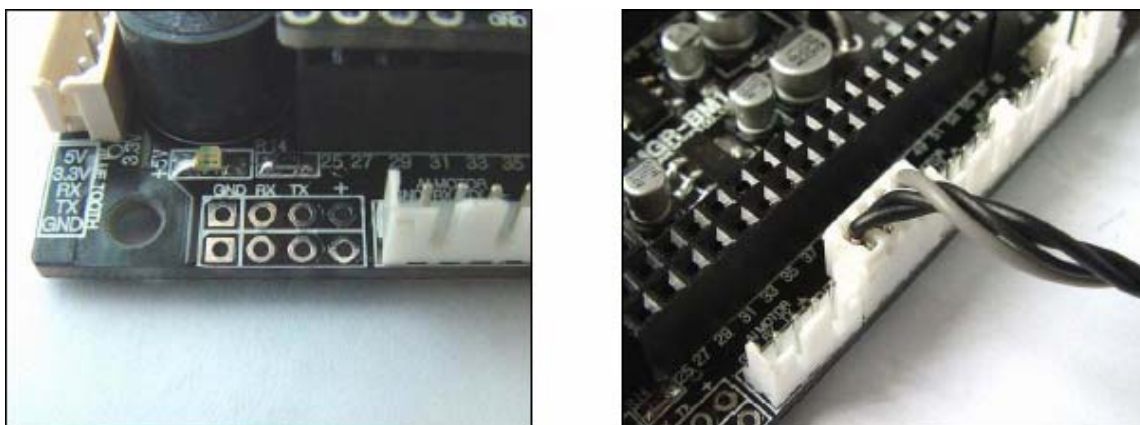
*Obr. 16 Mikroprocesor Atmega 128-16AI*



Obr. 17 ISP konektor

### ***Konektory AI motorů***

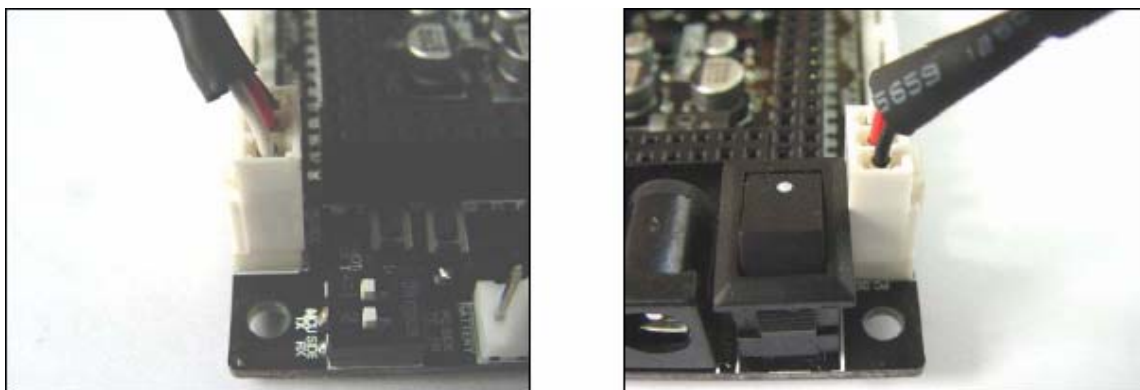
Na Obr. 18 vlevo je místo pro konektor motoru AI 601, na tomtéž obrázku vpravo jsou konektory pro motory AI 701 a AI 1001. K jedné desce může být naráz připojeno maximálně 31 AI motorů. Libovolný motor může být připojen přímo k desce a za ním mohou následovat další sériově zapojené motory až do maximálního počtu. Připojení na jednotlivé konektory lze dle potřeby libovolně kombinovat.



*Obr. 18 Konektor pro motory AI 601, AI 701 a AI 1001*

### ***RS232 konektor***

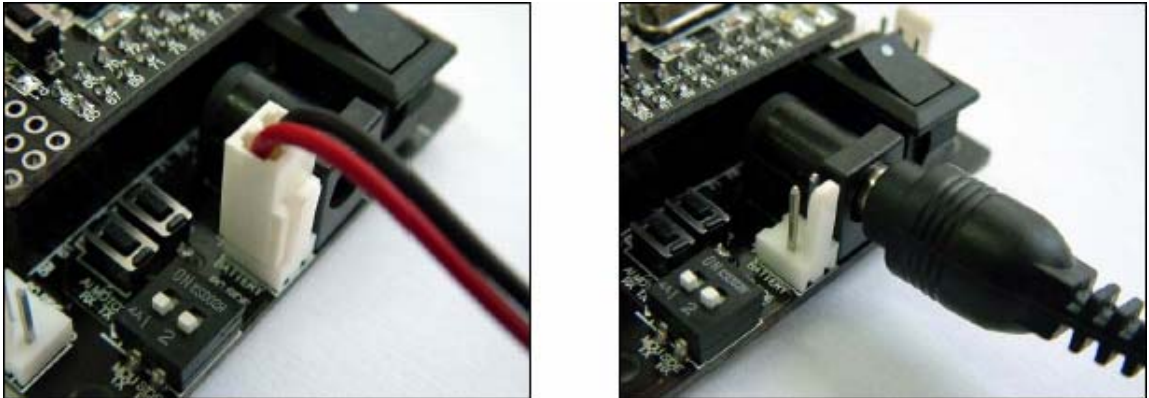
Na Obr. 19 vlevo je RS232 konektor na propojení PC a AI motoru(ů), vpravo je RS232 konektor na propojení MCU (Microcontroller Unit) a PC. V našem případě je komunikace vždy realizována pomocí konektoru RS232 propojujícího počítač s AI motory, nezávisle na použité komunikační technologii. Před zapnutím je nutné příslušným kabelem propojit desku s použitým komunikačním rozhraním.



*Obr. 19 RS232 konektor*

### *Napájení*

Napájení desky a AI motorů je možné realizovat připojením speciální baterie nebo pomocí adaptéru. V obou případech musí být vstupní napětí v rozmezí +6V~11V DC (Direct current). Připojení baterie je zobrazeno na Obr. 20 vlevo a na tomtéž obrázku vpravo je pak připojení pomocí adaptéru.



*Obr. 20 Konektor napájení*

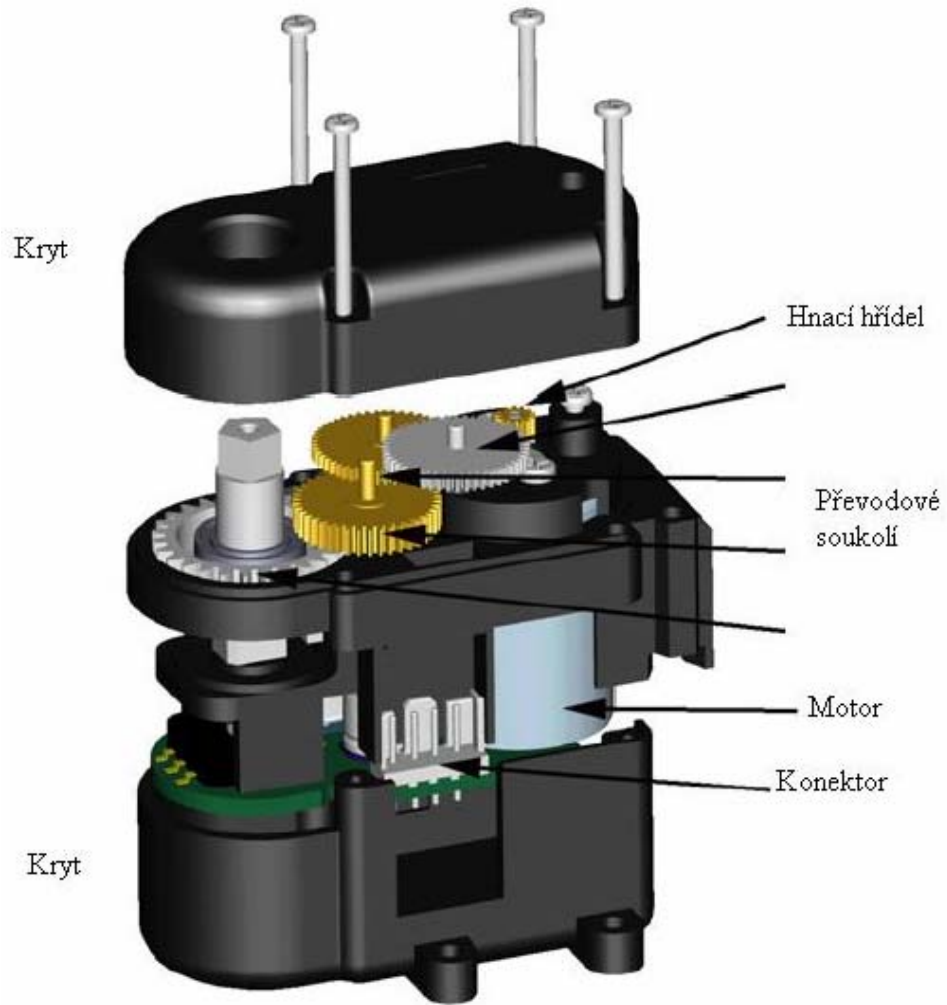
### **3.2 AI motor - 1001**

AI motor je elementárním stavebním prvkem a může být použit k sestavení nejrůznějších robotických systémů, dle požadavků uživatele. Každá sada AI motoru obsahuje:

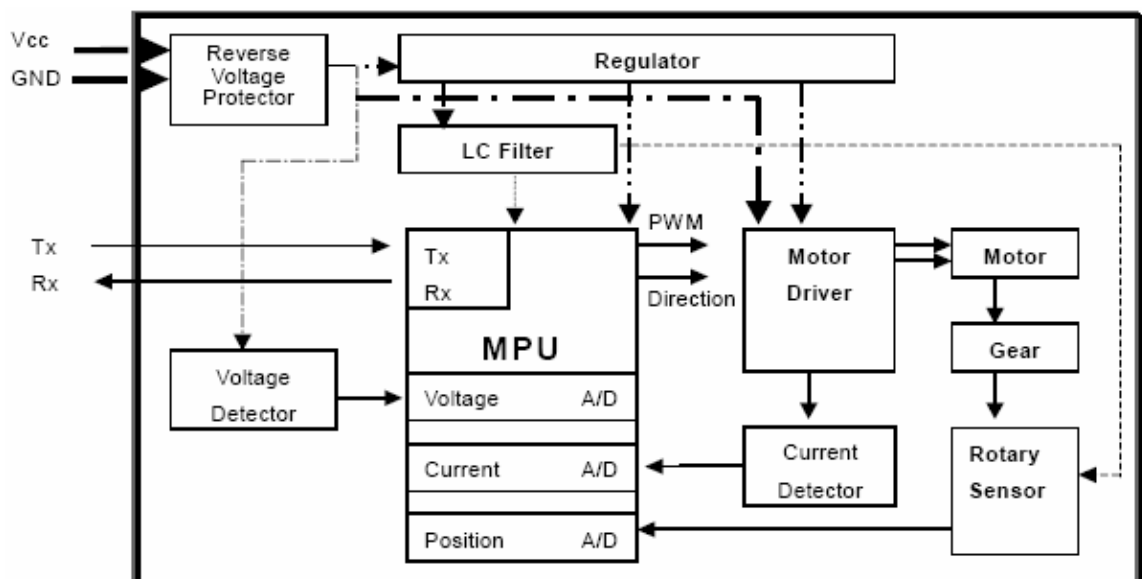
- AI motor
- Propojovací kabel 100 mm a propojovací kabel 150 mm
- 11 spojovacích částí
- Šroub M1,7 x 8 mm
- 2 šrouby M2,0 x 12 mm
- 2 šrouby M2,0 x 16 mm
- 4 matice M2,0

Zvětšený model AI motoru 1001 je na Obr. 21. Blokové schéma vnitřního elektronického obvodu je na Obr. 22, tento obrázek je původní v anglickém jazyce a je převzatý z materiálů výrobce [8].





Obr. 21 Model AI motoru 1001








Obr. 22 Schéma elektronického obvodu AI motoru 1001

### 3.2.1 Mechanické propojovací příslušenství AI motoru 1001

K dispozici je celkem 11 propojovacích součástí sloužících ke spojení dvou AI motorů, jako koncové součástky, případně pro jiné speciální funkce. Každý AI motor má pohyblivý a statický připojovací bod, ke kterému je možné propojovací součástky upevnit. Jednotlivé propojovací součástky a jejich stručný popis jsou uvedeny v Tab. 6.

Tab. 6 Popis propojovacích součástí

Označení	Popis	Obrázek
MGR-JFF01-AC	Umožňuje Těsné spojení dvou statických bodů. Profil 1.	
MGR-JFF02-AC	Umožňuje propojení dvou součástí s pevným připojením.	
MGR-JFF03-AC	Umožňuje delší spojení dvou statických bodů. Profil 2.	
MGR-JMF01-AC	Propojení pohyblivého a statického bodu. Pohyblivá část umožňuje pohyb kolmý k ose uchycení. Profil 1.	
MGR-JMF02-AC	Propojení pohyblivého a statického bodu. Pohyblivá část umožňuje pohyb kolmý k ose uchycení. Profil 2.	
MGR-JMM01-AC	Propojení dvou pohyblivých bodů. Obě pohyblivé části umožňují pohyb kolmý na osu uchycení.	

MGR-JME01-AC	Propojení dvou pohyblivých bodů. Je umožněn pohyb součásti kolem osy připojení a zároveň pohyb kolmý na osu připojení.	
MGR-JEF01-AC	Propojení pohyblivého a statického bodu. Pohyblivá část umožňuje pohyb kolem osy uchycení.	
MGR-JER01-AC	Koncová část napojená na pohyblivý bod. Umožňuje pohyb kolem osy uchycení.	
MGR-JFT01-AC	Koncová část napojená na pohyblivý bod. Umožňuje pohyb kolem osy uchycení.	
MGR-JFT02-AC	Koncová část napojená na pevný bod.	

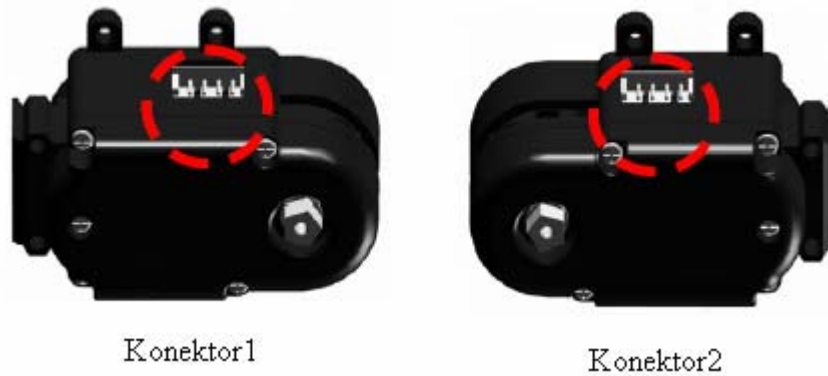
### 3.2.2 Elektronické propojovací příslušenství AI motoru 1001

K elektronickému spojení dvou AI motorů, případně AI motoru a základní desky slouží propojovací kabely. Ty jsou standardně dodány ke každému AI motoru v délce 100 a 150 mm. Oba kabely jsou na Obr. 23. Každý AI motor je pak vybaven dvěma konektory pro zapojení propojovacích kabelů. Konektory jsou vzájemně propojeny a je možné vytvořit sériové spojení více AI motorů. Ty konektory jsou na Obr. 24.

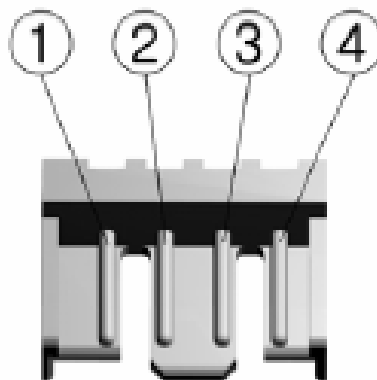




*Obr. 23 Propojovací kabely MGR-LWW-10 a MGR-LWW-15*



*Obr. 24 Připojovací konektory AI motoru 1001*



*Obr. 25 Detail připojovacího konektoru AI motoru 1001*

Na Obr. 25 je detail připojovacího konektoru. Pin 1 je zem GND, pin 2 je datový vstup RXD, pin 3 datový výstup TXD a pin 4 je napájení Vcc.

V tabulkách Tab. 7 a Tab. 8 jsou uvedeny elektrické charakteristiky AI motoru 1001.

*Tab. 7 Krajní provozní podmínky*

Symbol	Parametr	Min.	Max.	Jednotka
VCC	Napětí	4,5	10,5	V
ICC	Provozní proud	11,6	1015,0	mA
VIL	Nejnižší vstupní napětí	-0,5	0,9	V
VIH	Nejvyšší vstupní napětí	2,6	5,2	V
VOL	Nejnižší výstupní napětí	0,0	0,6	V
VOH	Nejvyšší výstupní napětí	3,3	4,7	V
TO	Provozní teplota	0,0	70,0	°C
TS	Skladovací teplota	-40,0	120,0	°C

*Tab. 8 Doporučené provozní podmínky*

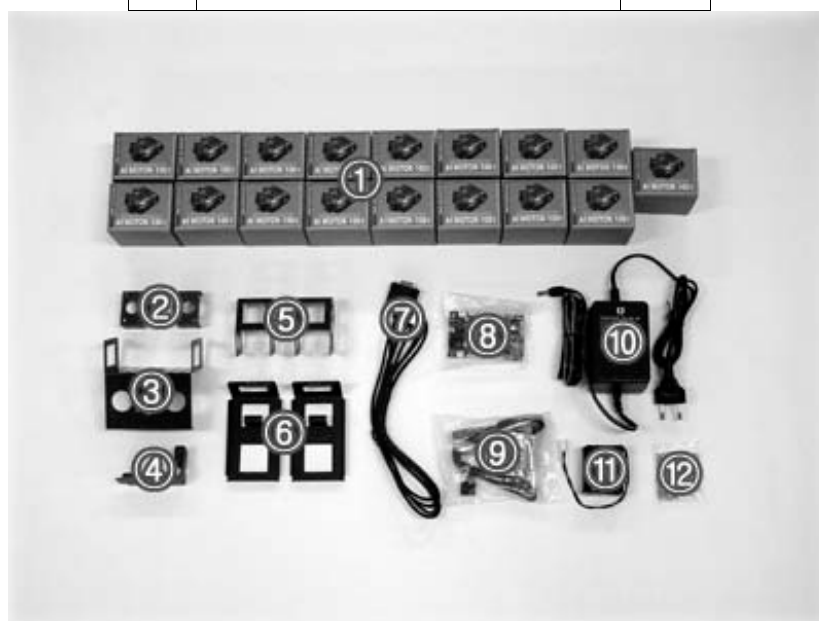
Symbol	Parametr	Min.	Max.	Jednotka
VCC	Provozní proud	5,5	9,0	V
ICC	Nejnižší vstupní napětí	-	600,0	mA
VIL	Nejvyšší vstupní napětí	-0,5	1,2	V
VIH	Nejnižší výstupní napětí	3,3	5,2	V
VOL	Nejvyšší výstupní napětí	0,0	0,6	V
VOH	Provozní teplota	4,0	4,7	V
TO	Skladovací teplota	10,0	40,0	°C
TS	Provozní proud	-40,0	80,0	°C

### 3.3 Mechanické sestavení systému MGR-K2017

Tato kapitola popisuje postup sestavení robotického humanoidního systému. Potřebné komponenty jsou uvedeny v Tab. 9 a na Obr. 26. Tyto komponenty jsou standardně obsahem sady MGR-K2017. Sestavení systému je popsáno výrobcem v dokumentu [10].

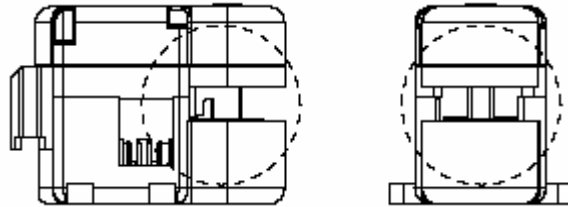
Tab. 9 Obsah sady MGR-K2017

	Označení	kusů
1	Motor AI -1001	17
2	Díl MGR-F005A-AL03A	2
3	Díl MGR-F003B-AL03A	1
4	Díl MGR-F004B-AL03A	1
5	Díl MGR-F002A-AL03A	2
6	Díl MGR-F001A-AL03A	2
7	RS-232 kabel MGR-L232-2	1
8	Základní deska MGR-CA128	1
9	ISP kabel MGR-LAISP-15	4
10	Adaptér MGR-A75-25	1
11	Baterie MGR-P72-23A	1
12	Plochý šroub M3x 6L	4
	Šroub M2.6 x 6L	50
	Šroub M3 x 5L	4
	Šroub M3 x12L	1
	Matice M3	2
	Matice M3 x 10L	4



Obr. 26 Obsah sady MGR-K2017

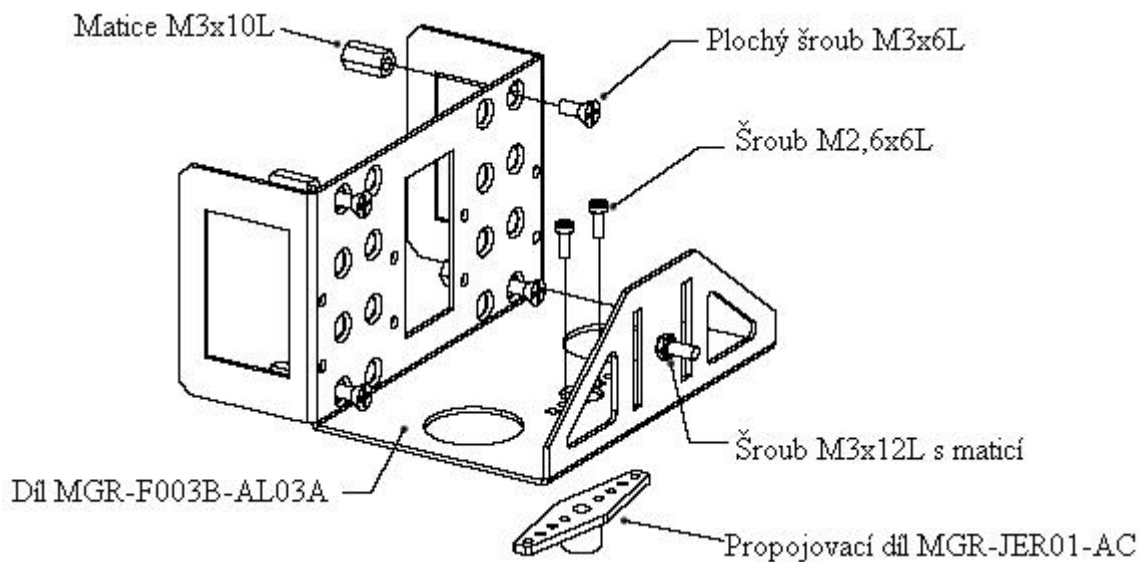
Základní poloha osy AI motoru před připojením jakékoliv součástky je zobrazena na Obr. 27. Dodržení tohoto nastavení je nezbytné pro správné sestavení celého systému.



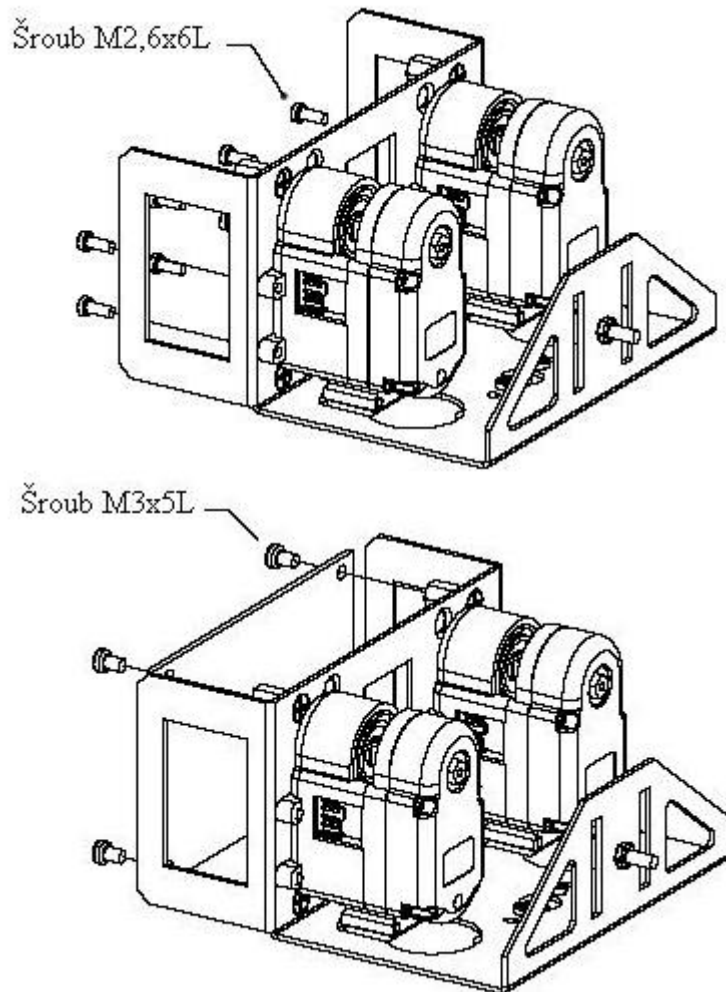
Obr. 27 Základní poloha osy AI motoru

### ***Tělo systému MGR-K2017***

K dílu MGR-F003B-AL03A připevníme pomocí plochých šroubů M3x6L matice M3x10L podle Obr. 28. Dále pomocí dvou šroubů M2,6x6L připevníme propojovací díl MGR-JER01-AC a nakonec i šroub M3x12L s maticí, který bude sloužit k uchycení přídatné baterie MGR-P72-23A. Podle Obr. 29 pak upevníme dva AI motory 1001, každý pomocí čtyřech šroubů M2,6x6L. Na připravené matice M3x10L nasadíme základní desku MGR-CA128 a připevníme pomocí čtyřech šroubů M3x5L.



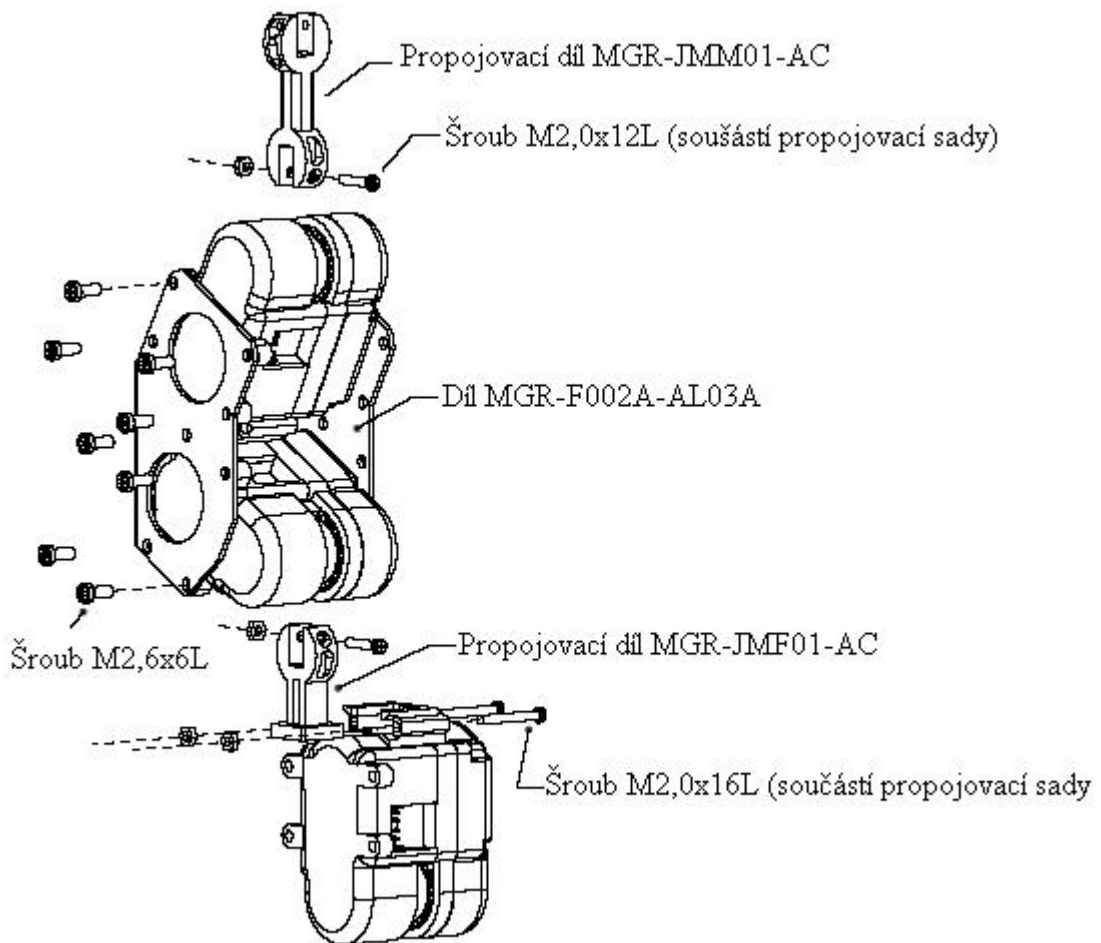
Obr. 28 Připevnění pomocných částí k dílu MGR-F003B-AL03A



Obr. 29 Kompletace těla systému MGR-K2017

### *Nohy systému MGR-K2017*

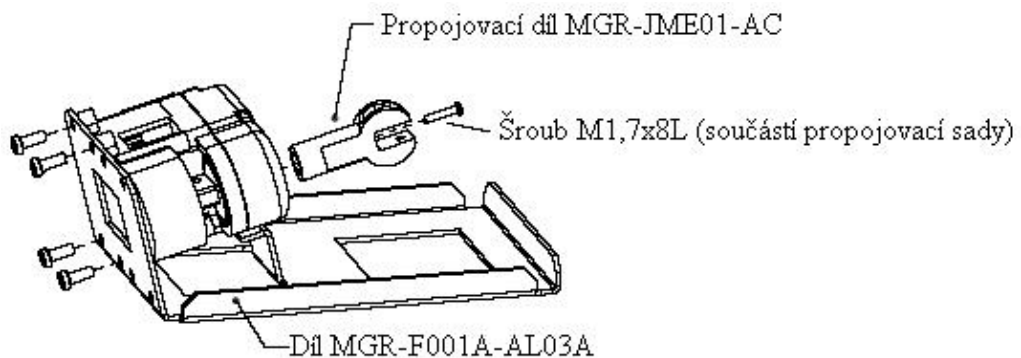
Na kolení rám MGR-F002A-AL03A připevníme dva AI motory pomocí šroubů M2,6x6L podle Obr. 30. K vrchní části pomocí šroubu M2,0x12L upevníme propojovací díl MGR-JMM01-AC a zajistíme odpovídající maticí. Ze spodu připojíme další AI motor pomocí propojovacího dílu MGR-JMF01-AC. Díl je k pohyblivé části motoru připojen šroubem M2,0x12L a ke statické části dvěma šrouby M2,0x16L. Stejným způsobem lze sestavit obě dolní končetiny.



Obr. 30 Kompletace nohou systému MGR-K2017

### Chodidla systému MGR-K2017

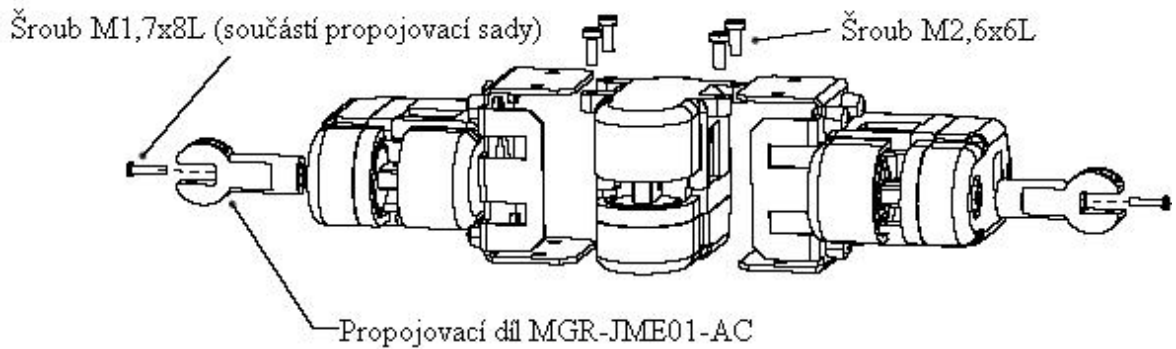
K dílu MGR-F001A-AL03A připevníme AI motor podle obrázku Obr. 31. K tomuto motoru upevníme propojovací díl MGR-JME01-AC šroubem M1,7x8L. Stejným způsobem lze sestavit obě chodidla.



Obr. 31 Kompletace chodidla systému MGR-K2017

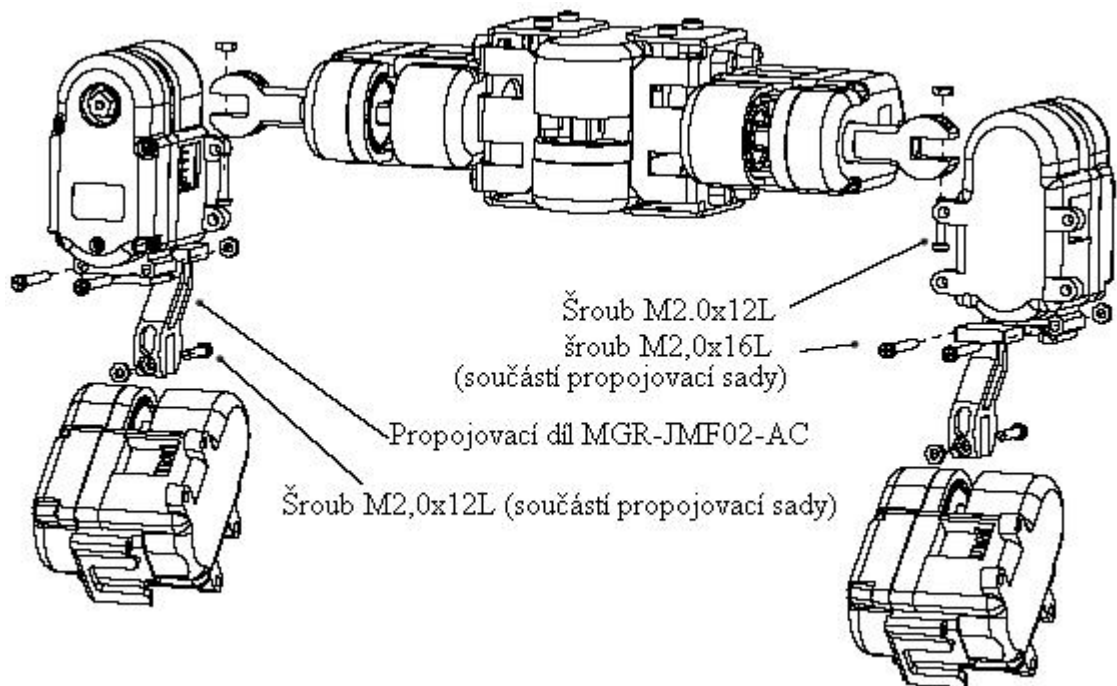
**Ramena a paže systému MGR-K2017**

Ke každému dílu MGR-F002A-AL03A připevníme AI motor podle Obr. 32. Dvěma šrouby M2,6x6L na každé straně je pak možné připevnit prostřední AI motor. Na obě ramena upevníme pomocí šroubu M1,7x8L propojovací díl MGR-JME01-AC.



*Obr. 32 Upevnění ramen systému MGR-K2017*

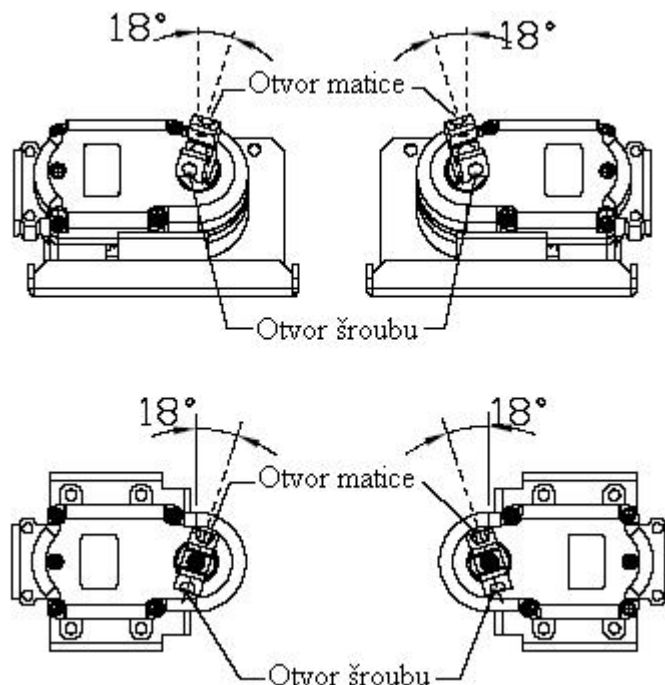
Po sestavení ramen upevníme na obou stranách k připravenému dílu MGR-JME01-AC šroubem M2,0x12L AI motor a šrouby zajistíme odpovídající maticí podle Obr. 33. Koncovou část paže upevníme pomocí dílu MGR-JMF02-AC shora připojeného dvěma šrouby M2,0x16L a zespoda jedním šroubem M2,0x12L. Všechny tři šrouby zajistíme maticí.



*Obr. 33 Upevnění paží systému MGR-K2017*

### *Vzájemná poloha končetin*

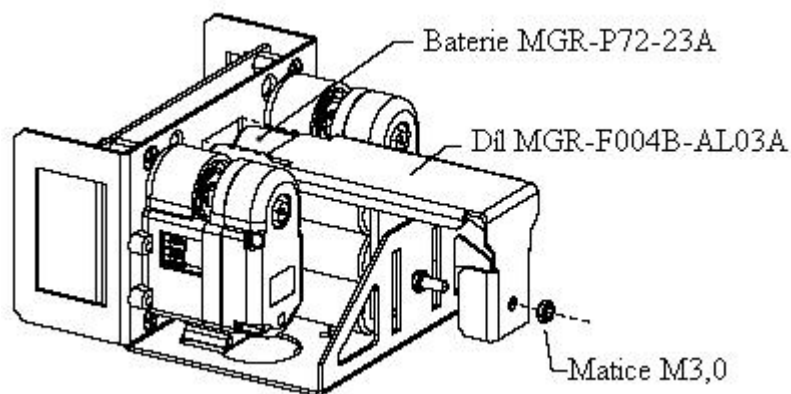
Pro připojení chodidel a paží je nutné dodržet zvláštní požadavek na vzájemnou polohu obou končetin. Připojení je nutné provést podle Obr. 34.



*Obr. 34 Vzájemné poloha končetin*

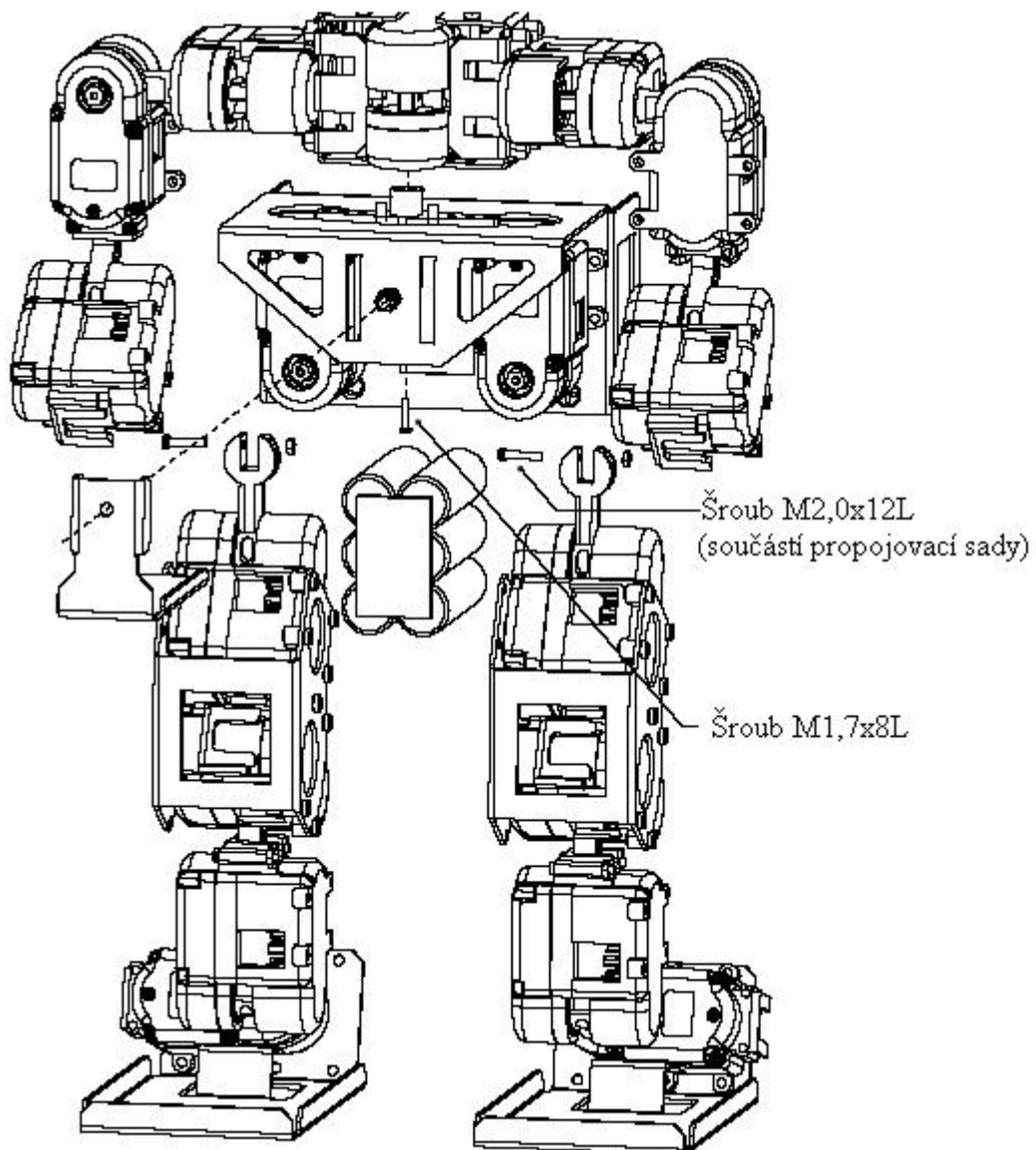
### *Kompletace systému MGR-K2017*

Vrchní část těla připevníme na propojovací díl MGR-JER01-AC šroubem M1,7x8L podle Obr. 36. Obě spodní končetiny připojíme šroubem M2,0x12L a zajistíme odpovídající maticí. Volitelně lze připojit přídatnou baterii, postupujte podle Obr. 35.



*Obr. 35 Připojení baterie MGR-P72-23A*

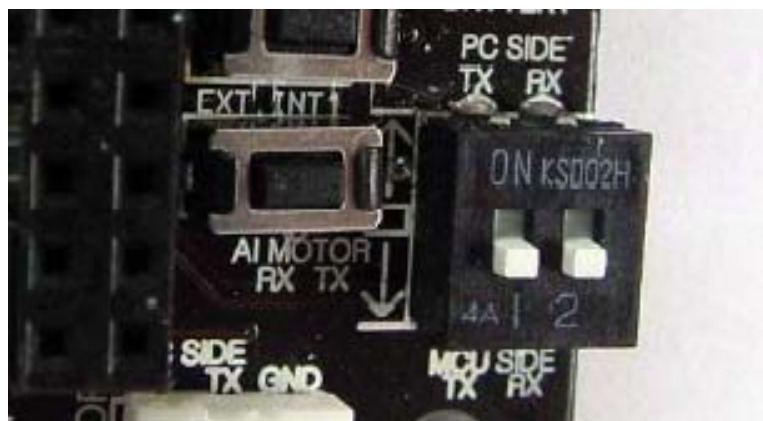




Obr. 36 Kompletace systému MGR-K2017

### 3.4 Elektrické sestavení systému MGR-K2017

Propojení systému s PC provedeme kabelem MGR-L232-2. Na straně počítače připojíme kabel na zvolený sériový port a na straně desky MGR-CA128 ho připojíme podle Obr. 19 vlevo, tedy ke konektoru označeného „PC SIDE“. Aby komunikace fungovala je nutné oba přepínače komunikace z Obr. 15 uvést do polohy „ON“. Pro přehlednost je na Obr. 37 zobrazen detail obou komunikačních přepínačů v poloze „OFF“. Po připojení napájecího kabelu a sepnutí spínacího tlačítka zobrazeného na Obr. 15 je deska zapnuta a připravena k provozu. Připojení jednotlivých AI motorů k základní desce a jejich nastavení je uvedeno níže.



Obr. 37 Detail komunikačního přepínače v poloze „OFF“

### ***Nastavení parametrů AI motoru 1001***

Dříve než propojíme jednotlivé AI motory je nutné provést jejich inicializaci. Ta probíhá tak, že k desce připojíme vždy maximálně jeden AI motor kabelem MGR-LWW-1x a nastavíme jeho parametry. Povinně je nutné nastavit pouze ID motoru a to tak aby k jedné desce nebyly připojeny dva motory se stejným ID. Nastavení dalších parametrů je volitelné. Pro systém MGR-K2017 je vhodné dodržet doporučené nastavení uvedené v Tab. 10. Inicializační proceduru je nutné zopakovat pro všechny AI motory.

### ***Propojení AI motorů***

Jsou-li jednotlivé motory nastaveny je možné je vzájemně propojit. Každý motor musí být propojen buď přímo nebo skrze jiný motor k základní desce. Zde je pro tento účel celkem osm konektorů viz. Obr. 18 vpravo. Je jen na uživateli zda připojí celý systém k jednomu konektoru nebo několika konektorům, žádné speciální požadavky nejsou na propojení kladeny. Kabele by ovšem neměly omezovat pohyblivost systému MGR-K2017, a proto se doporučené zapojení skládá ze čtyřech nezávislých větví složených následovně:

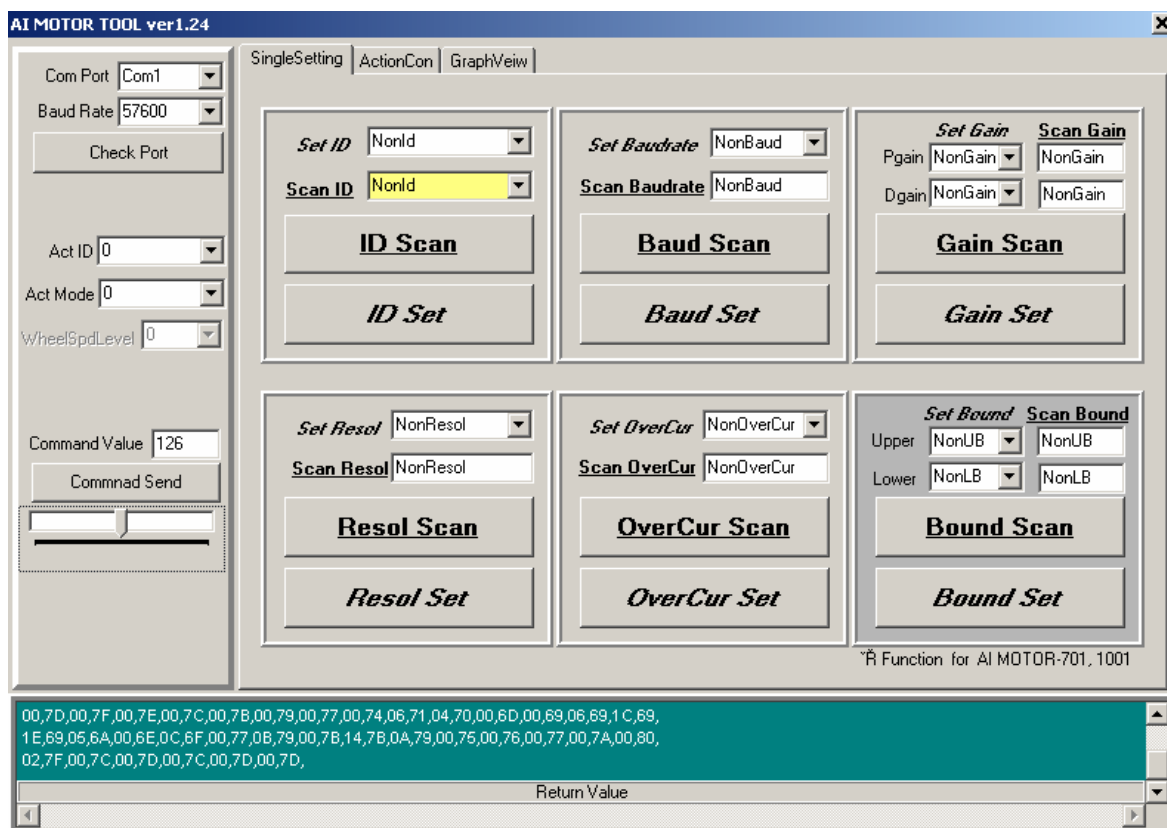
- Větev 1: AI motory ID 0 - 4
- Větev 2: AI motory ID 5 - 9
- Větev 3: AI motory ID 10 – 12 a AI motor ID 16
- Větev 4: AI motory ID 13 - 15

Tab. 10 Doporučené nastavení AI motorů systému MGR-K2017

Část	ID	Komunikační rychlost	Proporcionální zesílení	Derivační zesílení	Rozlišení	Prahový proud	Min. pozice	Max. pozice
Levý kyčel (osa y)	0	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	65	200
Levé stehno(osa x)	1	57600bps	12	15	Nízké	800mA	65	200
Levé koleno (osa x)	2	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	0	254
Levý kotník (osa x)	3	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	0	254
Levé chodidlo (osa y)	4	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	0	254
Pravý kyčel (osa y)	5	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	65	200
Pravé stehno (osa x)	6	57600bps	12	15	Nízké	800mA	65	200
Pravé koleno (osa x)	7	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	0	254
Pravý kotník (osa x)	8	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	0	254
Pravé chodidlo (osa y)	9	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	0	254
Levé rameno osa x)	10	57600bps	12	15	Nízké	800mA	0	254
Levá paže (osa y)	11	57600bps	12	15	Nízké	800mA	82	220
Levý loket (osa x)	12	57600bps	12	15	Nízké	800mA	82	220
Pravé rameno (osa x)	13	57600bps	12	15	Nízké	800mA	0	254
Pravá paže (osa y)	14	57600bps	12	15	Nízké	800mA	82	220
Pravý loket (osa x)	15	57600bps	12	15	Nízké	800mA	82	220
Hlava (osa z)	16	57600bps	12	15	Vysoké	800mA	0	254

### 3.5 SW vybavení systému MGR-K2017

Výrobce dodává k systému MGR-K2017 obslužný program AI MOTOR TOOL, který je aktuálně distribuován ve verzi 1.24. Hlavní okno programu je na Obr. 38.



Obr. 38 AI MOTOR TOOL ver1.24

AI MOTOR TOOL verze 1.24 umožňuje následující operace:

- Otevření sériového portu s požadovanou komunikační rychlostí.
- Nastavení parametrů AI motoru (ID, komunikační rychlost, proporcionální a derivační zesílení, rozlišení, prahový proud, minimální a maximální pozici).
- Odesílání příkazu zvoleného v boxu „Act Mode“ na AI motor s ID zvoleným v boxu „Act ID“. Parametr zvoleného příkazu se zadává v boxu „Command value“ a odešle se tlačítkem „Command Send“, případně pomocí pohyblivé páky pod tlačítkem „Command Send“, přičemž hodnoty jsou odesílány při posuvu automaticky.
- Provádění a definice jednoduchých skriptů pod záložka „ActionCon“.
- Omezené možnosti vizualizace nabízí záložka „GraphView“.

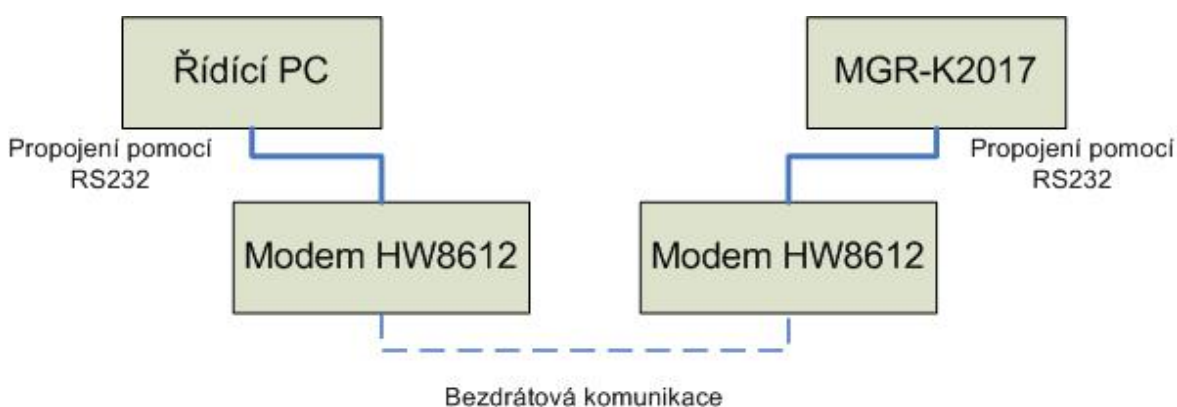
Popsaný software AI MOTOR TOOL ver1.24 nabízí jen velmi omezené možnosti řízení systému MGR-K2017 a je nevhodný pro ovládání většího počtu AI motorů . Program je použitelný pro nastavení základních parametrů, případně pro testování jednotlivých motorů při sestavování systému. Předmětem této diplomové práce je návrh a vypracování dokonalejšího softwarového nástroje, který veškerou funkčnost program AI MOTOR TOOL ver1.24 nahradí, takže další používání standardně dodaného programu je irelevantní. Vyvinutý řídicí SW popisuje kapitola 5.

## 4 IMPLEMENTACE BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE

Jak bylo řečeno v kapitole 2.4, pro bezdrátovou komunikaci robotického systému MGR-K2017 byla zvolena technologie DECT. Z konkrétních HW prostředků byly vybrány produkty společnosti Hőft & Wessel a to rádiový modul HW86010 a dva rádiové modemy HW8612. Popis těchto výrobků a jejich implementace do řídicího systému jsou popsány v následujících kapitolách. Podrobné technické data jsou součástí manuálů k jednotlivým výrobkům a jsou obsahem příloženého CD.

### 4.1 Architektura bezdrátové komunikace řídicího systému

Implementovány jsou dva způsoby bezdrátové komunikace. První možnost jejíž schéma je na Obr. 39 využívá dvou rádiových modemů HW8612. Jeden z modemů je připojen pomocí sériového rozhraní RS232 přímo k portu řídicího počítače. Druhý modem je pak za pomoci redukce DB9 M/M zobrazené na Obr. 40 propojen přímo s robotickým systémem MGR-K2017 pomocí kabelu MGR-L232-2, který je součástí této sady. Připojení k základní desce MGR-CA128 je patrné z Obr. 19.

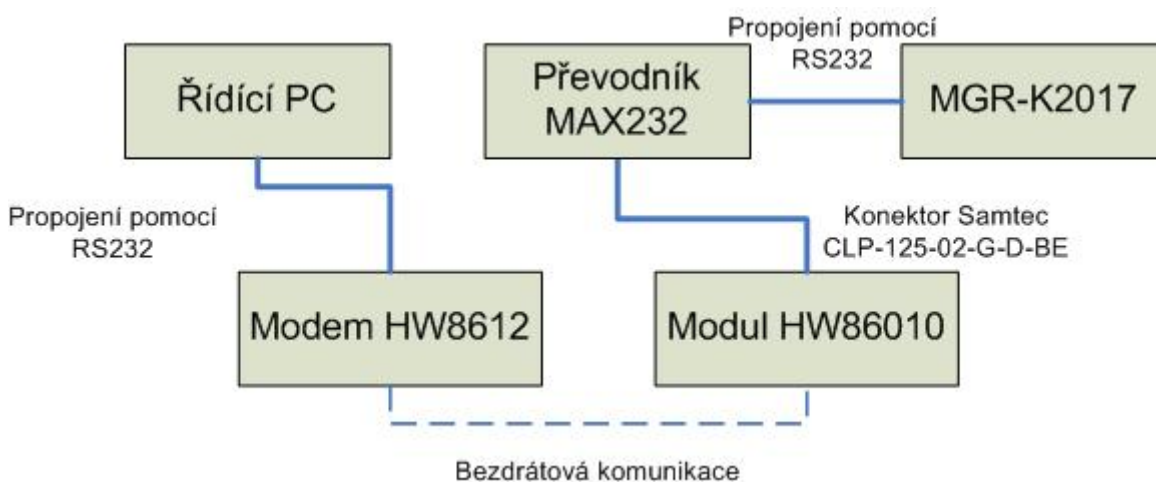


Obr. 39 Architektura bezdrátové komunikace – dva modemy HW8612



Obr. 40 Redukce DB9 M/M

Druhý způsob implementace je znázorněn na Obr. 41. Místo modemu HW8612 je na straně systému MGR-K2017 použit rádiový modul HW86010. Připojení k základní desce robotického systému je realizováno stejným způsobem jako v prvním případě, s tím rozdílem že je použit kabel s konektorem CD3pin(F), jenž je neoddělitelnou součástí převodníku MAX232. Napájení modulu je zajištěno přímo deskou robotického systému. Pro tyto účely byla základní deska MGR-CA128 doplněna o dva napájecí kabely, které musí být pro správné fungování komunikace vzájemně propojeny. Spojují se způsobem bílý-bílý a červený-červený. Implementace modulu HW86010 je podrobněji popsána v samostatné kapitole 4.3.



Obr. 41 Architektura bezdrátové komunikace - modem HW8612 a modul HW86010

#### 4.1.1 Zhodnocení implementací bezdrátové komunikace

Implementace dvou modemů:

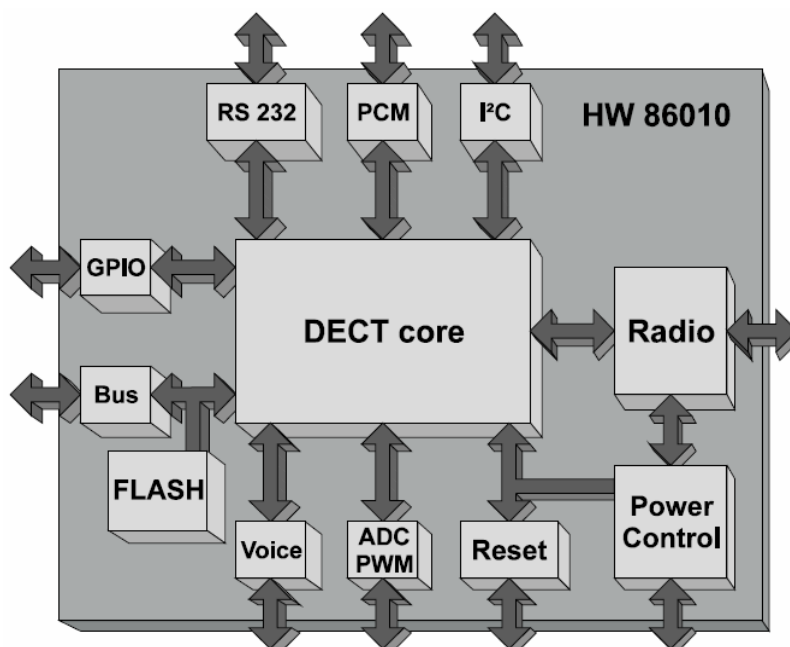
- Snadná konfigurace pomocí firemního SW
- Jednoduché připojení k PC i k řídicímu systému, napájení pomocí transformátoru
- Omezená mobilita systému

Implementace modemu a modulu:

- Potřeba zajistit napájení a převod řídicích signálů na požadovanou úroveň
- Nesnadná konfigurace modulu (nutné připojení ke speciálnímu terminálu a použití konfiguračních příkazů nebo zapojení do jednoho z modemů)
- Systém není omezen připojeným kabelem

## 4.2 Radiomodul HW86010

HW86010 je rádiový modul od firmy Hóft & Wessel pracující v DECT pásmu 1880,064 - 1898.208MHz. Jeho vnitřní architekturu je zobrazena na Obr. 42.



Obr. 42 Architektura rádiového modulu HW86010

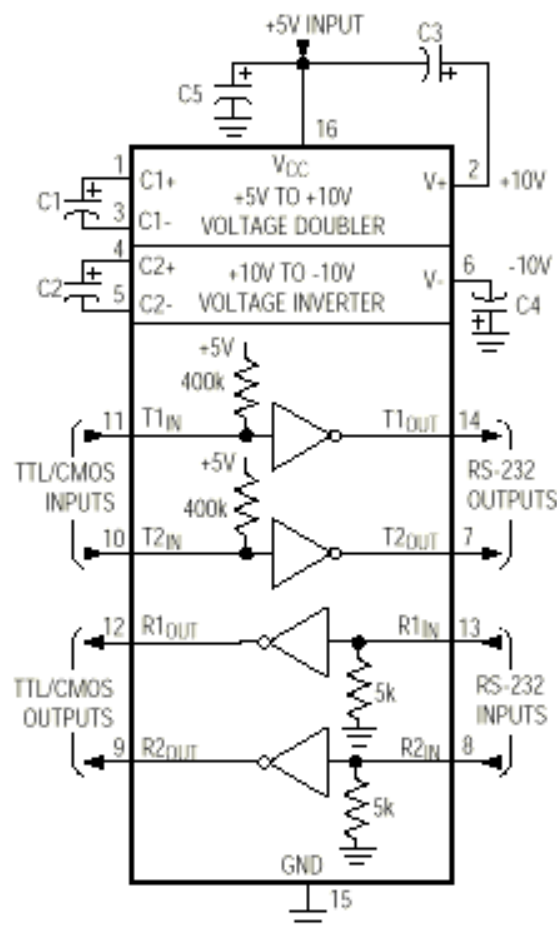
Modul obsahuje rozhraní RS232 pro plně duplexní přenos dat přenosovou rychlostí až 115200 bit/s, PCM rozhraní k připojení standardních ISDN a PBX systémů, I<sup>2</sup>C rozhraní k pomocným funkcím a analogové vstupy a výstupy k přenosu hlasu. Modul automaticky vyhledává volnou nosnou a volný time slot a navazuje spojení se svým protějškem, je-li dostupný. Radiofrekvenční výkon je 250mW, navíc je možnost využít dvou interních nebo jedné externí antény. Dosah je cca 300m ve volném prostoru, 60m v zástavbě a za jistých okolností až 5km. Napájecí napětí se pohybuje v rozmezí 3,3V až 4,7V (5.5V).

Rozhraní RS232 rádiového modulu HW86010 používá signály pracující na úrovni 3,3V CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). Konektor základní desky ke kterému připojujeme komunikační kabel podporuje RS232 signály úrovně  $\pm 12V$ , z tohoto důvodu bylo nutné tyto signály stabilizovat, jinak by došlo ke zničení modulu. Nejjednodušším řešením se ukázalo využití integrovaného obvodu MAX232, který tyto vlastnosti beze zbytku splňuje a převádí signály RS232 na úroveň TTL/CMOS (Transistor-transistor logic). Převodník MAX 232 je popsán v kapitole 4.2.1.



#### 4.2.1 MAX232

Integrovaný obvod MAX232 je převodníkem TTL na RS232, jeho vnitřní zapojení je znázorněno na Obr. 43. MAX232 má integrované dvě nábojové pumpy. Výstupní napětí proto značně závisí na použitých kondensátorech, je tedy nutné použít kondensátory kvalitní, bohužel u elektrolytických kondensátorů tato kvalita časem klesá, proto je výhodnější použít tantalové. Z první nábojové pumpy se získává napětí pro RS232. Napětí, které je možné získat z druhé pumpy na pinech 2 a 6, pohybuje se v rozmezí  $\pm 10V$ , lze použít pro napájení dalších obvodů. Obvod je pro svou jednoduchost a univerzálnost velmi oblíbený mezi uživateli. Lze jej nebo jeho různé modifikace od firmy MAXIM nalézt téměř ve všech zařízeních připojovaných na RS232.



Obr. 43 Vnitřní schéma integrovaného obvodu MAX232

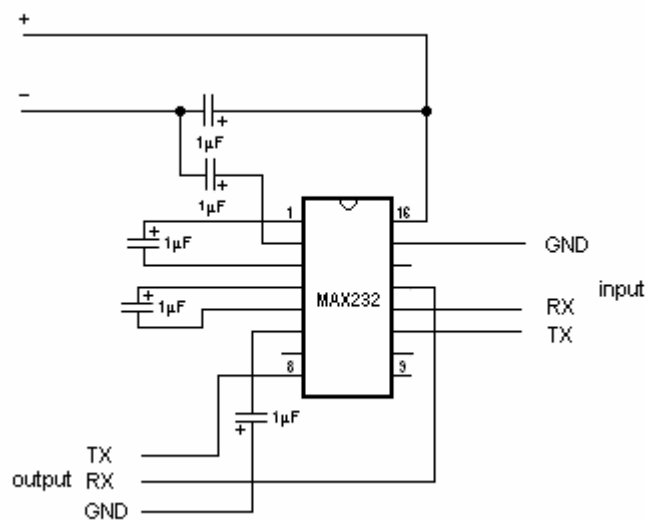
#### 4.2.2 Implementace převodníku 3,3V CMOS / $\pm 12V$ RS232

Převodník je s radiovým modulem HW86010 propojen speciálním konektorem Samtec CLP-125-02-G-D-BE. Zapojení jednotlivých pinů je uvedeno v Tab. 11.

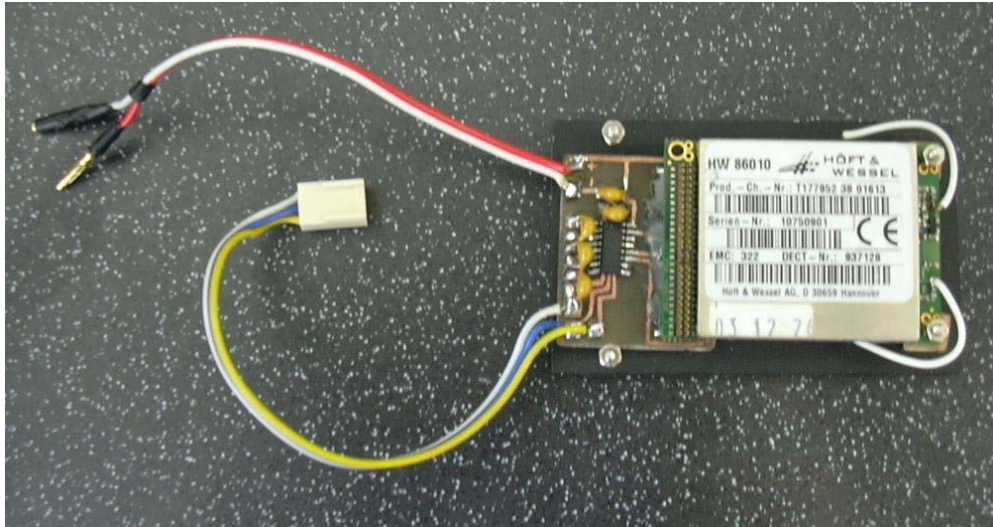
Tab. 11 Zapojení pinů radiového modulu HW86010

Pin	22	25	26	28
Signál	GND	RX	TX	3,3V

Schéma externího převodníku je na Obr. 44. Křehký radiový modul je nutné chránit i proti mechanickému poškození, z tohoto důvodu byl celý radiový modul opatřen plastovým krytem. Upravený radiový modem HW86010 ve své finální podobě je zobrazen na Obr. 45.



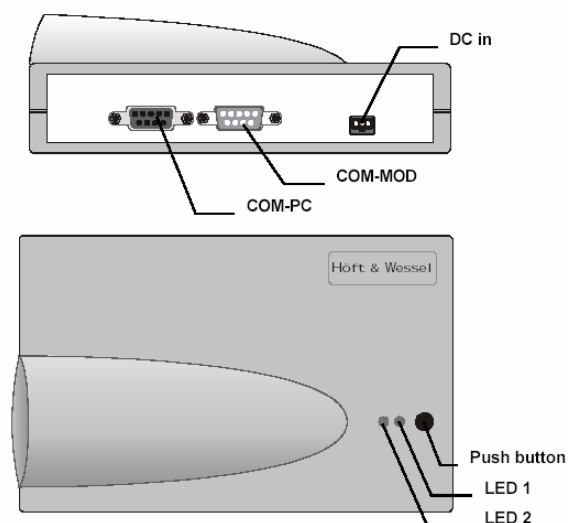
Obr. 44 Schéma převodníku CMOS / RS232



Obr. 45 Finální úprava rádiového modulu HW86010

### 4.3 Rádiový modem HW8612

HW8612 je rádiový modem s rozhraním RS232(V.24), jeho základem je modul HW86010. Tedy i všechny přenosové vlastnosti jsou společné. Jak je patrné z Obr. 46 modem je opatřen lehkým plastovým krytem, má vstupy k napájení, vstup ke spojení s PC a výstup k připojení externího zařízení. Jeho výhodou je, že výstupní signály není potřeba převádět na úroveň 3,3V. Proto je možné modem spojit přímo se základní deskou robotického systému. Samotný rádiový modem je použitelný i v jiných aplikacích a bude sloužit též pro výukové účely.



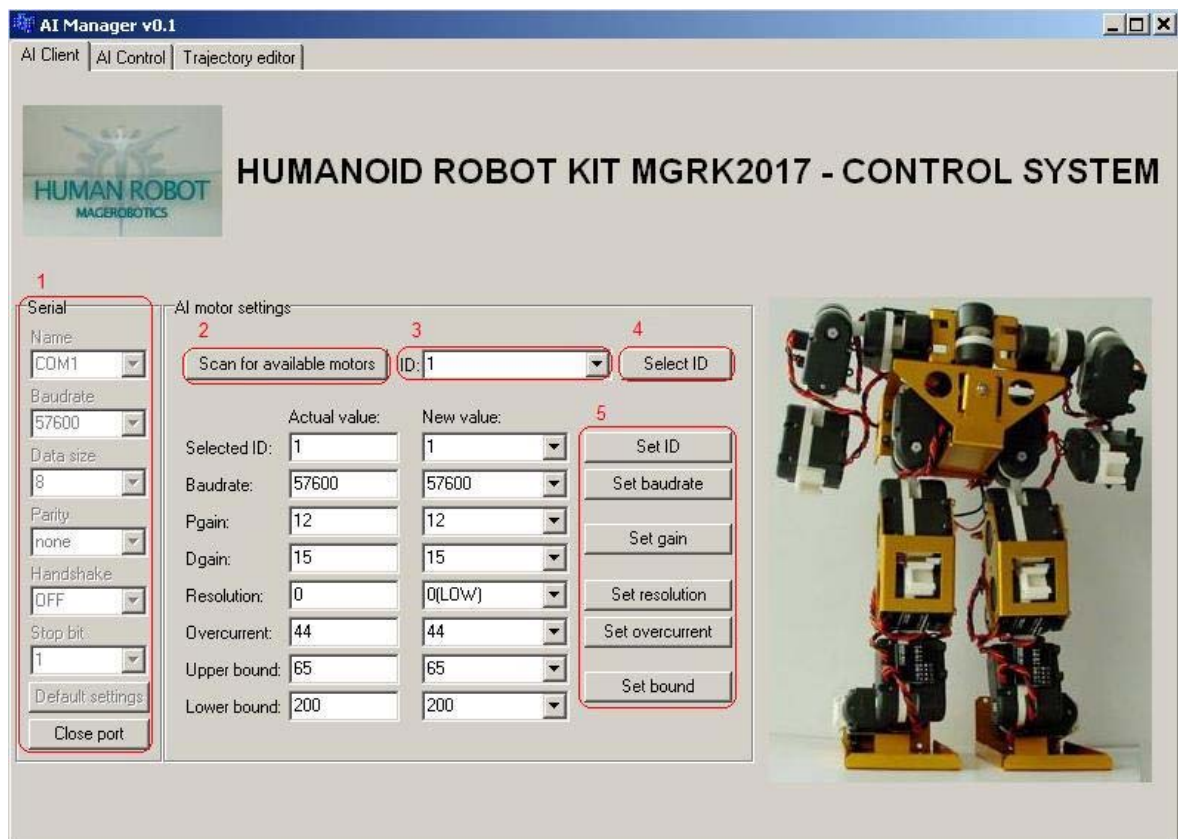
Obr. 46 Rádiový modem HW8612

## 5 IMPLEMENTACE ŘÍDÍCIHO SYSTÉMU

Hlavní náplní této práce je vytvoření lokomočního řídicího systému humanoidního robota MGR-K2017. Vzhledem k tomu, že robotická sada neobsahuje žádné senzorké prostředky a neposkytuje zpětnou vazbu řídicímu systému, bude se jednat o řízení s otevřenou zpětnovazební smyčkou s operátorem. K tomuto účelu byl vyvinut specializovaný software a účelem této kapitoly bude tento software přiblížit budoucímu uživateli. Zároveň bude v nezbytně nutné míře popsána jeho vnitřní stavba tak, aby bylo možné v rámci výuky s vytvořenými zdrojovými kódy pracovat, především pak s bázovou knihovnou.

### 5.1 Programový modul AI Client

Modul *AI Client* je primárně nastavená záložka a je zobrazen vždy po spuštění programu. *AI Client* umožňuje správu sériového portu a nastavení vlastností připojených AI motorů. Vzhled tohoto modulu je zobrazen na Obr. 47, následuje popis jednotlivých položek.



Obr. 47 Programový modul AI Client

### ***Položka 1 - skupinový rámeček Serial***

Zde je možné nastavit následující vlastnosti sériového portu: jméno (*Name*), komunikační rychlost (*Baudrate*), velikost bytu (*Data size*), paritu (*Parity*), handshake (*Handshake*), stop bit (*Stop bit*). Tlačítko *Default settings* nastaví uvedené vlastnosti na výchozí doporučenou úroveň, jsou to tyto hodnoty:

- Name: jméno otevíraného portu musí být vždy zadáno uživatelem, nabídnuty jsou jen ty sériové porty, které jsou v dané chvíli dostupné.
- Baudrate: 57600bps
- Data size: 8
- Parity: žádná
- Handshake: žádný
- Stop bit: 1

Tlačítko *Open port / Close port*, otevírá, respektive uzavírá sériový port s nastavenými vlastnostmi.

### ***Položka 2 - tlačítko Scan for available motors***

Stiskem tlačítka bude aktualizován seznam všech připojených AI motorů.

### ***Položka 3 - ID combo box***

Zde jsou uvedeny všechny aktuálně připojené AI motory. Tyto motory jsou označeny svoji ID adresou.

### ***Položka 4 - tlačítko Select ID***

Stiskem tlačítka bude načtena aktuální konfigurace zvoleného motoru. Tento motor je zároveň připraven ke konfiguraci jednotlivých vlastností.

### ***Položka 5 - tlačítka pro nastavení vlastností AI motoru***

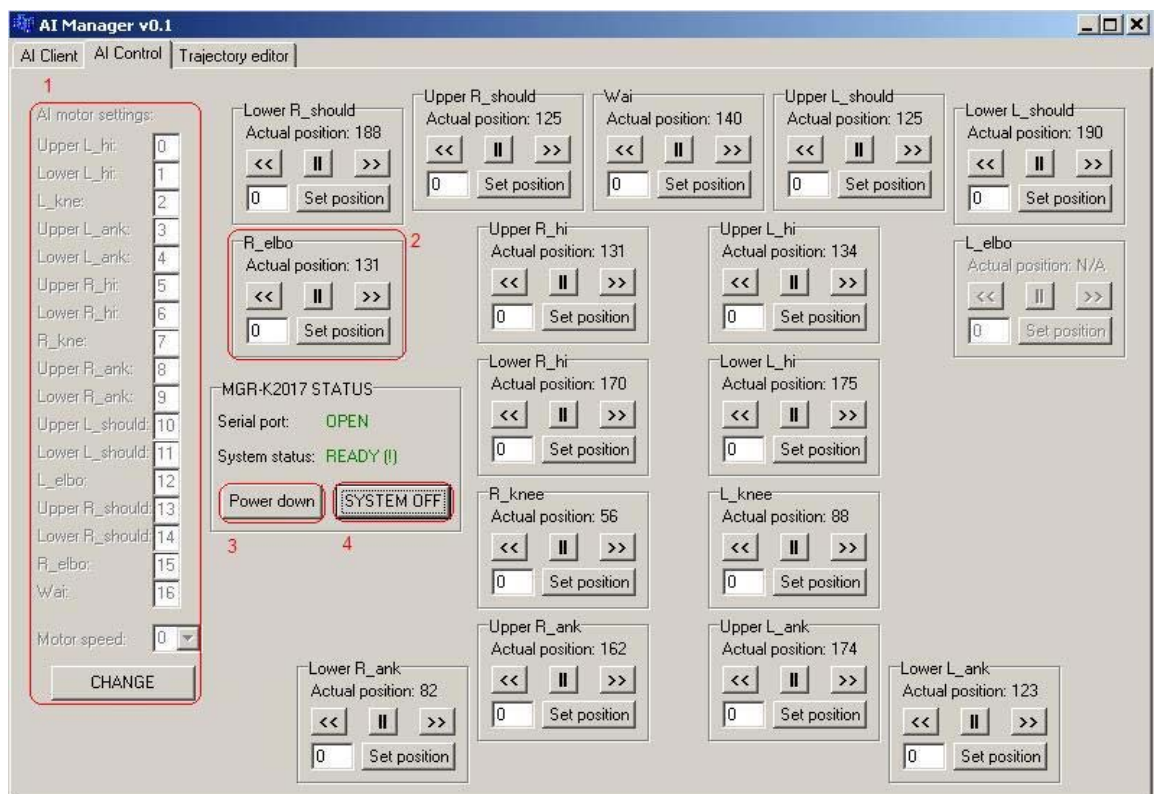
Zde jsou tlačítka pro nastavení jednotlivých vlastností AI motoru. Je-li hodnota v příslušném poli New value korektní, po stisku tlačítka bude tato hodnota nastavena na zvoleném AI motoru.

Jednotlivá tlačítka nastavují tyto vlastnosti:

- *Set ID:* Nastavení nové ID adresy
- *Set baudrate:* Nastavení nové komunikační rychlosti
- *Set gain:* Nastavení nového p-zesílení a d-zesílení
- *Set resolution:* Nastavení nového rozlišení
- *Set overcurrent:* Nastavení nového přepětí
- *Set bound:* Nastavení nových mezních pozic

## 5.2 Programový modul AI Control

Modul AI Control je aktivován při stisku záložky *AI Control*. Na této záložce je umístěn pro každý připojený motor samostatný ovládací panel. Modul je zobrazen na Obr. 48, následuje popis jednotlivých položek.



Obr. 48 Programový modul AI Control

### ***Položka 1 - skupinový rámeček AI motor settings***

Zde je možné k jednotlivým částem humanoidního robotického systému MGR-K2017 přidělit ID adresy odpovídajících AI motorů. Editace hodnot je zahájena stiskem tlačítka *CHANGE* a jejich uložení je zajištěno opětovným stiskem (tentokrát tlačítko *SAVE*). Zadány mohou být pouze validní čísla od 0 do 31. Ve spodní části rámečku je možné nastavit rychlost pohybu motorů, podporovány jsou hodnoty 0 (nejrychlejší) až 4 (nejpomalejší). Uložené hodnoty budou uplatněny až po opětovné inicializaci motorů viz. položka 4.

### ***Položka 2 – řídicí panel AI motoru***

Pomocí tlačítek na tomto panelu je možné ovládat příslušný AI motor. Na panelu je zobrazena aktuální pozice motoru, jednotlivými tlačítky je možné pohybovat motorem na obě strany, případně motor okamžitě zastavit. Stiskem tlačítka *Set position* přesně nastavíme zadanou hodnotu příslušnému motoru. Tento panel je implementován pro každý díl robotické sady MGR-K2017. Přidělení správných ID adres k jednotlivým částem systému je věcí uživatele.

### ***Položka 3 – tlačítko Power down***

Stiskem tlačítka dojde k resetování všech připojených AI motorů.

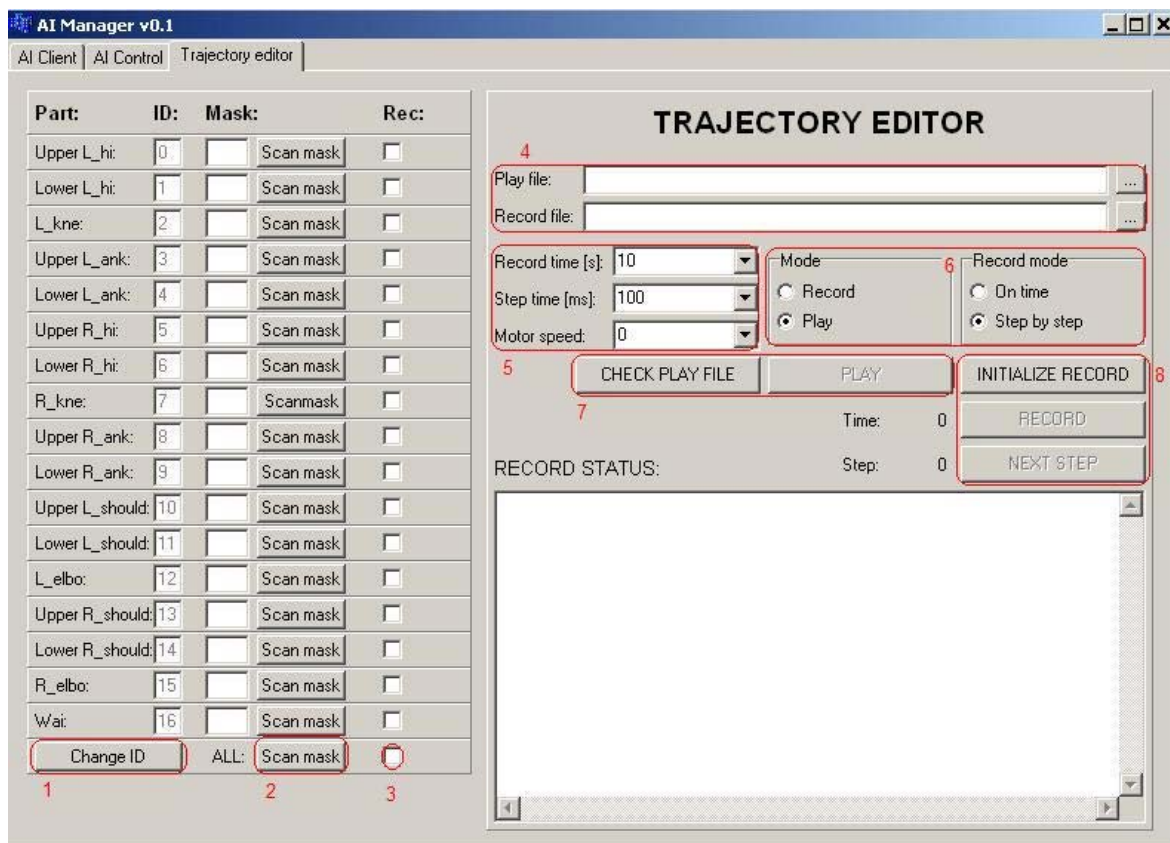
### ***Položka 4 – tlačítko INITIALIZE / SYTEM OFF***

Stiskem tlačítka *INITIALIZE* jsou aktivovány všechny řídicí panely jednotlivých AI motorů a je přečtena jejich aktuální pozice. Vypnutí je provedeno stejným tlačítkem (tentokrát z textem *SYSTEM OFF*).

## **5.3 Programový modul Trajectory editor**

Modul *Trajectory editor* je aktivován při stisku záložky Trajectory editor. Tento modul poskytuje prostředky pro offline učení robotického systému MGR-K2017, zaznamenané pohybové trajektorie mohou být ukládány na disk a později znovu přehrávány. Ukládané data jsou ve formátu XML (Extensible Markup Language), mají tedy svou sémantiku a je možné s nimi pracovat i mimo tento modul. Datové soubory mohou být editovány ručně nebo zpracovávány automaticky pomocí XSL transformací (Extensible Stylesheet Language). Modul je zobrazen na Obr. 49, následuje popis jednotlivých položek.





Obr. 49 Programový modul Trajectory editor

### ***Položka1 - tlačítko Change ID / Save ID***

Zde je možné k jednotlivým částem humanoidního robotického systému MGR-K2017 přidělit ID adresy odpovídajících AI motorů. Editace hodnot je zahájena stiskem tlačítka *Change ID* a jejich uložení je zajištěno opětovným stiskem (tentokrát tlačítko *Save ID*). Zadaný mohou být pouze validní čísla od 0 do 31.

### ***Položka2 - tlačítko Scan mask***

Tímto tlačítkem bude přečtena aktuální pozice všech připojených AI motorů. Tato hodnota bude použita jako výchozí pozice pro záznam pohybové trajektorie. Ostatní tlačítka *Scan mask* mají podobnou funkci, ale obsluhují vždy jen jeden přiřazený AI motor.

### ***Položka3 - ovládací rámeček***

Tento rámeček označí, případně odstraní označení hromadně ze všech rámečků ve sloupci *Rec*. Označené AI motory jsou zahrnuty do záznamu pohybové trajektorie, na hřidel těchto



motorů nepůsobí žádná vnitřní síla. Neoznačené motory jsou při záznamu udržovány v pozici, která je stanovena maskou daného motoru a nelze s nimi pohybovat.

#### ***Položka4 - nastavení používaných souborů***

Na řádku *Play file* je možné zadat soubor, ze kterého budou načtena data pohybové trajektorie a jsou-li tato data validní mohou být přehrána. Na řádku *Record file* je možné zadat soubor, do kterého budou uložena data zaznamenané pohybové trajektorie.

#### ***Položka5 - vlastnosti záznamu a přehrávání pohybových trajektorií***

Zde je možné nastavit následující hodnoty:

- *Record time*: Celkový čas záznamu, po jeho uplynutí bude záznam ukončen.
- *Step time*: Perioda vzorkování. Jsou zaznamenány aktuální pozice všech AI motorů, které jsou součástí záznamu.
- *Motor speed*: Rychlost pohybu motorů, podporovány jsou hodnoty 0 (nejrychlejší) až 4 (nejpomalejší).

#### ***Položka6 - nastavení režimu programu***

*Trajectory editor* podporují následující režimy:

- *Record - On time*: Záznam pohybové trajektorie po dobu stanovenou hodnotou *Record time* a s periodou vzorkování *Step time*.
- *Record - Step by step*: Záznam pohybové trajektorie krok za krokem. Celkový počet zaznamenávaných kroků bude dán násobkem hodnoty *Record time* a hodnoty *Step time*. Záznam bude proveden vždy při stisku tlačítka *NEXT STEP*.
- *Play*: Přehrávání zvoleného souboru se zaznamenanou pohybovou trajektorií.

#### ***Položka7 - obslužná tlačítka pro přehrávání pohybových trajektorií***

- *CHECK PALY FILE*: Inicializuje přehrávání zaznamenané trajektorie. Umožní přehrávání pouze v případě jsou-li načtená data validní.
- *PLAY / STOP*: Zahajuje a zastavuje přehrávání pohybové trajektorie.

***Položka8 - obslužná tlačítka pro záznam pohybových trajektorií***

- *INITIALIZE RECORD*: Inicializuje záznam pohybové trajektorie.
- *RECORD / BRAKE*: Zahájení a zastavení záznamu pohybové trajektorie.
- *NEXT STEP*: V režimu *Record - Step by step* zajišťuje přečtení dalšího záznamu.

**5.4 Bázová knihovna**

Bázová knihovna je nezávislá část řídicího software, která implementuje obsluhu sériového portu počítače a všechny podporované instrukce robotického systému MGR-K2017. Tato knihovna je umístěna samostatně v souborech `base.cpp` a `base.h`, díky tomu může být vložena do libovolného programu vytvářeného pro systém MGR-K2017, čehož je možné využít především ve výuce. Kromě funkcí pro obsluhu sériového portu, které mohou být snadno předefinovány, je tato knihovna platformově nezávislá a může být použita pod libovolným operačním systémem, případně bez něj.

**5.4.1 Funkce pro obsluhu sériového portu**

Funkce pro obsluhu sériového portu zajišťují jeho otevření, nastavení, uzavření a zápis instrukcí. V jednotlivých metodách jsou použity příslušné API funkce operačního systému MS Windows, jejichž popis není předmětem této práce, ale je součástí MSDN knihovny, která je volně dostupná na internetu. Následující odstavce tedy alespoň stručně popisují použití obslužných funkcí bázové knihovny.

***Otevření sériového portu***

K otevření sériového portu slouží funkce `OpenPort`, která má dva parametry. První parametr obsahuje název otevíraného portu. Druhý parametr obsahuje požadované nastavení sériového portu, které je reprezentováno polem symbolických konstant, které blíže popisuje Tab. 12.

**Zápis v programu:**

```
1 OpenPort(char *PortName, int Settings);
```

Tab. 12 Význam jednotlivých položek parametru *Settings*

Vlastnost	Settings[n] n	Symbolická konstanta	Hodnota
Komunikační rychlost	0	0	2400 bps
		1	4800 bps
		2	9600 bps
		3	19200 bps
		4	38400 bps
		5	57600 bps
		6	115200 bps
Velikost bytu	1	0	7
		1	8
Parita	2	0	žádná
		1	even
		2	odd
		3	mark
Handshake	3	0	žádný
		1	HW
		2	SW
Stop bit	4	0	1
		1	2

***Uzavření sériového portu***

K uzavření sériového portu slouží funkce `ClosePort`. Parametr `PortName` je název uzavíraného portu.

**Zápis v programu:**

```
2 ClosePort(const char *PortName);
```

### *Nastavení sériového portu*

Nastavení vlastností sériového portu zajišťuje funkce `SetCom`. Tato funkce je volána přímo při otevírání portu v rámci metody `OpenPort`. Její parametr je popsán výše.

#### Zápis v programu:

```
3 SetCom(int *SerialGUI);
```

Nastavení komunikačního přerušení je vnitřní záležitostí obslužných funkcí a musí být nastaveno, aby nedošlo v případě poruchy komunikace k zablokování programu. Pro řídicí instrukce je nastavována hodnota 35 ms a pro instrukce nastavení je hodnota jeho 155 ms. Tento čas představuje dobu, po kterou bude program čekat na odpověď robotického systému. Pokud odpověď ve stanoveném limitu nedorazí, řídicí software pokračuje v práci a nedoručení odpovědi považuje za chybu, na kterou příslušně reaguje.

#### Zápis v programu:

```
4 SetTimeOut(bool TimeOut);
```

### *Zápis instrukcí do sériového port*

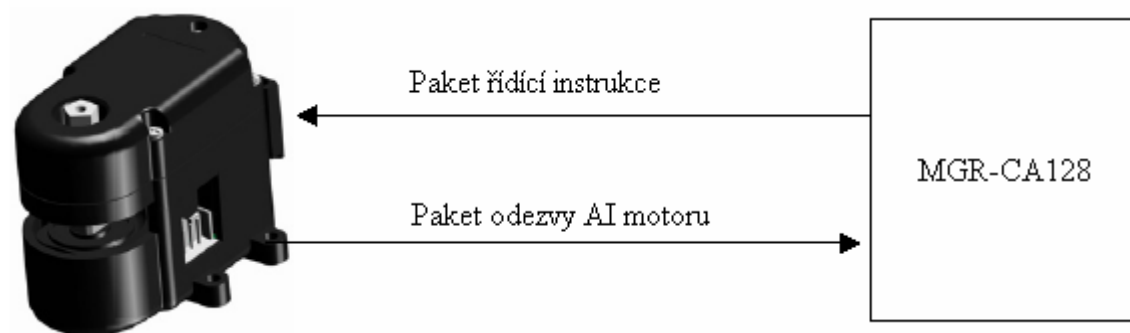
Pro zápis řídicích instrukcí na sériový port je používána funkce `ComOperation`, pro zápis instrukcí nastavení je určena funkce `SetOperation`. Obě instrukce se liší pouze velikostí zapisovaných dat. Parametrem `Data` je zapsána příslušná instrukce, parametrem `Response` je předávána odpověď systému. Význam těchto parametrů je součástí popisu jednotlivých instrukcí, uvedených v následujících kapitolách.

#### Zápis v programu:

```
5 ComOperation(unsigned char Data[4], unsigned char *Response);  
6 SetOperation(unsigned char Data[6], unsigned char *Response);
```

## **5.4.2 Softwarové rozhraní systému MGR-K2017**

Komunikační tok mezi počítačem a robotickým systémem probíhá pomocí sériové komunikace popsané v kapitole 5.4.1. Základní deska MGR-CA128 pak adresuje řídicí instrukce jednotlivým AI motorům. Schéma komunikačního toku je znázorněno na Obr. 50.



Obr. 50 Komunikační tok systému MGR-K2017

### 5.4.3 Řídící instrukce systému MGR-K2017

Řídící instrukce je blok 4B dat se specifickým významem pro cílový AI motor. Jsou podporovány tyto příkazy: nastavení pozice, načtení pozice, rotace, reset motoru a reset systému. Speciálním příkazem bez pevně stanovené délky je hromadné nastavení pozice. Podrobný popis jednotlivých řídicích instrukcí je uveden v následujících odstavcích.

#### *Nastavení pozice*

Instrukce nastaví pozici hřídele zvoleného motoru, požadovanou rychlostí. Paket odezvy obsahuje aktuální proud a pozici.

Paket řídicí instrukce:

Hlavička	Data1	Data2	Kontrolní součet
----------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

Rychlost			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

Rychlost = 0 (nejrychlejší) - 4 (nejpomalejší)

ID = 0 - 30

- Data2 = 0 - 254 (cílová pozice)

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2) AND 0x7F

Paket odezvy:

Proud	Pozice
-------	--------

- Proud = přibližně 18,4mA na jednotku
- Pozice = 0 - 254

Zápis v programu:

```

7 PosSend( unsigned char ServoID,      // ID motoru
8         unsigned char SpeedLevel,    // Rychlost přesunu
9         unsigned char Position,      // Cílová pozice
10        unsigned char *Response);    // Paket odezvy

```

***Hromadné nastavení pozice***

Instrukce nastaví pozici hřídele zvolených motorů, požadovanou rychlostí. Instrukce nemá paket odezvy.

Paket řídicí instrukce:

Hlavička	Data1	Poslední ID	Pozice posledního ID	Kontrolní součet
----------	-------	-------------	----------------------	------------------

- Hlavička = 0xFF
- Data1:

Rychlost	11111							
	7	6	5	4	3	2	1	0

Rychlost = 0 (nejrychlejší) - 4 (nejpomalejší)

- Poslední ID = 0 - 30 (ID posledního AI motoru)
- Pozice[0] = 0 – 254 (cílová pozice motoru s ID = 0)
- až Pozice[ poslední ID] = 0 - 254 (cílová pozice posledního motoru)
- Kontrolní součet = (Pozice[0] XOR Pozice[1] ... Pozice[poslední ID])

AND 0x7F

Zápis v programu:

```

11 PosMultiSend( unsigned char LastServoID,    // ID motoru
12                unsigned char SpeedLevel,    // Rychlost přesunu
13                unsigned char *Position,     // Cílové pozice
14                unsigned char *Response);    // Paket odezvy

```

***Načtení pozice***

Instrukce přečte aktuální pozici zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje aktuální pozici.

Paket řídicí instrukce:

Hlavička	Data1	Data2	Kontrolní součet
----------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

101			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = x

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2) AND 0x7F

Paket odezvy:

Proud	Pozice
-------	--------

- Proud = přibližně 18,4mA na jednotku

- Pozice = 0 - 254

Zápis v programu:

```

15 PosRead( unsigned char ServoID,           // ID motoru
16           unsigned char *Response);      // Paket odezvy

```

***Rotace***

Instrukce zahájí rotaci hřídele zvoleného motoru, požadovanou rychlostí a požadovaným směrem. Paket odezvy obsahuje směr rotace a aktuální pozici motoru.

Paket řídicí instrukce:

Hlavička	Data1	Data2	Kontrolní součet
----------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

Data1:

110			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2:

Směr			Rychlost				
7	6	5	4	3	2	1	0

Směr = 3 (CCW - směr), 4 (CW - opačný směr)

Rychlost = 0 (stop), 1 (minimum) – 15 (maximum)

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2) AND 0x7F

Paket odezvy:

Rotace	Pozice
--------	--------

- Rotace = 0 – 254 (rotace před spuštěním, + : CCW, - : CW)

- Pozice = 0 - 254

Zápis v programu:

```

17 Rotation360( unsigned char ServoID,           // ID motoru
18              unsigned char SpeedLevel,       // Rychlost
19              unsigned char RotationDir,      // Směr
20              unsigned char *Response);      // Paket odezvy

```

### ***Reset motoru***

Instrukce zajistí reset zvoleného motoru. Motor pak nepůsobí na hřídel žádnou silou a je možné s ním pohybovat silou vnější. Paket odezvy obsahuje aktuální pozici motoru.



Paket řídicí instrukce:

Hlavička	Data1	Data2	Kontrolní součet
----------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

110			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 – 30

- Data2:

0001				x			
7	6	5	4	3	2	1	0

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2) AND 0x7F

Paket odezvy:

Data2	Pozice
-------	--------

- Pozice = 0 - 254

Zápis v programu:

```
21 ActDown( unsigned char ServoID,      // ID motoru
22           unsigned char *Response);  // Paket odezvy
```

***Reset systému***

Instrukce zajistí reset všech připojených motorů. Motory pak nepůsobí na hřídel žádnou silou a je možné s nimi pohybovat silou vnější. Paket odezvy obsahuje ID a pozici náhodně vybraného aktivního motoru.

Paket řídicí instrukce:

Hlavička	Data1	Data2	Kontrolní součet
----------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

110			11111				
7	6	5	4	3	2	1	0

- Data2:

0001				x			
7	6	5	4	3	2	1	0

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2) AND 0x7F

Paket odezvy:

ID	Pozice
----	--------

Zápis v programu:

```
23 PowerDown(unsigned char *Response); // Paket odezvy
```

#### 5.4.4 Instrukce pro nastavení systému MGR-K2017

Instrukce pro nastavení jsou reprezentovány blokem 6B dat se specifickým významem pro cílový AI motor. Jsou podporovány tyto příkazy: nastavení komunikační rychlosti, nastavení zesílení, načtení zesílení, nastavení ID, nastavení rozlišení, načtení rozlišení, nastavení přepětí, načtení přepětí, nastavení mezní polohy, načtení mezní polohy. Podrobný popis jednotlivých instrukcí pro nastavení je uveden v následujících odstavcích.

##### *Nastavení komunikační rychlosti*

Instrukce nastaví zadanou komunikační rychlost zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu nově nastavené komunikační rychlosti. Doporučené rychlosti jsou 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 a 115200 bps. Dále jsou podporovány rychlosti 230400, 307200 a 460800 bps, pro tyto rychlosti je ovšem nutné speciální nastavení sériového portu, který je standardně nepodporuje. Řešení nabízí instalace driveru, který je součástí příloženého CD. Komunikační rychlost nad 115200 bps je podporována pouze určitými typy mikročipů. Seznam těchto mikročipů je uveden v příloze P I.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 – 30

- Data2 = 0x08
- Data3 = 0 (460800bps), 1 (230400bps), 2 (153600bps), 3 (115200bps), 7 (57600bps), 11 (38400bps), 23 (19200bps), 47 (9600bps), 95 (4800bps), 191 (2400bps)
- Data4 = Data3
- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

Rychlost	Rychlost
----------	----------

- Rychlost = 0 – 191

Zápis v programu:

```

24 BaudrateSet( unsigned char ServoID,          // ID motoru
25               unsigned char NewBaud,        // Nastavovaná rychlost
26               unsigned char *Response);     // Paket odezvy

```

***Nastavení zesílení***

Instrukce nastaví zadané zesílení (proporcionální P a derivační D) zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu nově nastavených zesílení.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF
- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x09
- Data3 = 1 - 50 ( P-zesílení)
- Data4 = 0 - 100 ( D-zesílení)
- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

P-zesílení	D-zesílení
------------	------------

- P-zesílení = 1 - 50
- D-zesílení = 0 – 100

Zápis v programu:

```

27 GainSet( unsigned char ServoID,      // ID motoru
28          unsigned char NewPGain,     // Nastavované P-zesílení
29          unsigned char NewDGain,     // Nastavované D-zesílení
30          unsigned char *Response);   // Paket odezvy

```

***Načtení zesílení***

Instrukce přečte aktuální zesílení (proporcionální P a derivační D) zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnoty aktuálně nastavených zesílení.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF
- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x0C
- Data3 = x
- Data4 = x
- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

P-zesílení	D-zesílení
------------	------------

- P-zesílení = 1 - 50
- D-zesílení = 0 – 100

Zápis v programu:

```

31 GainRead( unsigned char ServoID,      // ID motoru
32           unsigned char *Response); // Paket odezvy

```

***Nastavení ID***

Instrukce nastaví nové ID zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu nově nastaveného ID. Adresa ID slouží k rozlišení jednotlivých AI motorů a k jedné základní desce nesmí být připojeno více motorů se stejnou adresou. První nastavení ID každého z motorů je vhodné provést tak, že k desce bude připojen vždy právě jeden motor.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF
- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x0A
- Data3 = 0 – 30 (nová adresa ID)
- Data4 = Data3
- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

ID	ID
----	----

- ID = 0 – 30 (nově nastavené ID)

Zápis v programu:

```

33 IDSet( unsigned char ServoID,      // ID motoru
34        unsigned char NewID,      // Nově nastavované ID
35        unsigned char *Response); // Paket odezvy

```

***Nastavení rozlišení***

Instrukce nastaví zadané rozlišení zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu nově nastaveného rozlišení.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x0D

- Data3 = 0 (nízké) – 1 (vysoké)

- Data4 = Data3

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

Rozlišení	Rozlišení
-----------	-----------

- Rozlišení = 0 – 1

Zápis v programu:

```

36 ResolSet ( unsigned char ServoID,           // ID motoru
37             unsigned char NewResol,        // Nastavované rozlišení
38             unsigned char *Response);      // Paket odezvy

```

### ***Načtení rozlišení***

Instrukce přečte aktuální rozlišení zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu aktuálně nastaveného rozlišení.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x0E
- Data3 = x
- Data4 = x
- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

Rozlišení	Rozlišení
-----------	-----------

- Rozlišení = 0 (nízké) – 1 (vysoké)

Zápis v programu:

```
39 ResolRead ( unsigned char ServoID,           // ID motoru
40             unsigned char *Response);       // Paket odezvy
```

### ***Nastavení přepětí***

Instrukce nastaví zadané přepětí zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu nově nastaveného přepětí. Takto nastavené přepětí slouží jako ochrana proti poškození motoru. Pokud vnější síla působící na hřídel motoru přesáhne nastavenou hranici, motor se automaticky resetuje. Podporované hodnoty jsou v rozmezí 22 - 54, kdy tyto hodnoty jsou jen symbolické konstanty. Skutečnou hodnotu získáme když danou symbolickou konstantu vydělíme koeficientem 0,054468085. Skutečný rozsah přepětí je pak cca. 400 – 1000mA.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF
- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x0F

- Data3 = 22 – 54 (400 – 1000mA)
- Data4 = Data3
- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

Přepětí	Přepětí
---------	---------

- Přepětí = 22 - 54

Zápis v programu:

```

41 OverCurSet ( unsigned char ServoID,           // ID motoru
42               unsigned char NewOverCur,      // Nastavované přepětí
43               unsigned char *Response);      // Paket odezvy

```

***Načtení přepětí***

Instrukce přečte aktuálně nastavené přepětí zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu aktuálně nastaveného přepětí.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF
- Data1:

Rychlost			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x10
- Data3 = x
- Data4 = x
- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

Přepětí	Přepětí
---------	---------

- Přepětí = 22 - 54

Zápis v programu:



```

44 OverCurRead( unsigned char ServoID,          // ID motoru
45               unsigned char *Response);      // Paket odezvy

```

### ***Nastavení mezní polohy***

Instrukce nastaví zadanou maximální i minimální mezní polohu zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu nově nastavených mezních poloh. Nastavení těchto poloh je velmi důležité, vychýlení některé z částí robota do nežádoucí polohy by mohlo systém poškodit (například úder končetiny do základní desky). Výrobce doporučené nastavení pro robotický systém MGR-K2017 je uvedeno v Tab. 10.

#### Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x11

- Data3 = 0 – 254 (minimální mezní pozice)

- Data4 = 0 – 254 (maximální mezní pozice)

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

#### Paket odezvy:

Min. pozice	Max. pozice
-------------	-------------

- Minimální pozice = 0 - 254

- Maximální pozice = 0 - 254

#### Zápis v programu:

```

46 BoundSet( unsigned char ServoID,          // ID motoru
47           unsigned char NewLBound,       // Nastavovaná maximální pozice
48           unsigned char NewUBound,      // Nastavovaná minimální pozice
49           unsigned char *Response);     // Paket odezvy

```

***Načtení mezní polohy***

Instrukce přečte aktuálně nastavené přepětí zvoleného AI motoru. Paket odezvy obsahuje hodnotu aktuálně nastaveného přepětí.

Paket instrukce pro nastavení:

Hlavička	Data1	Data2	Data3	Data4	Kontrolní součet
----------	-------	-------	-------	-------	------------------

- Hlavička = 0xFF

- Data1:

111			ID				
7	6	5	4	3	2	1	0

ID = 0 - 30

- Data2 = 0x12

- Data3 = x

- Data4 = x

- Kontrolní součet = (Data1 XOR Data2 XOR Data3 XOR Data4) AND 0x7F

Paket odezvy:

Min. pozice	Max. pozice
-------------	-------------

- Minimální pozice = 0 - 254

- Maximální pozice = 0 - 254

Zápis v programu:

```
50 BoundRead( unsigned char ServoID,           // ID motoru
51             unsigned char *Response);      // Paket odezvy
```

## ZÁVĚR

Teoretická část této práce podává přehled o využití výukových robotů a vybraných projektech realizovaných u nás i v zahraničí. Dále poskytuje přehled o nejpoužívanějších bezdrátových komunikačních technologiích, popisuje jejich hlavní charakteristiky a následně popisuje volbu vhodné technologie pro robotický systém MGR-K2017. Teoretický úvod byl sestaven tak, aby umožnil snadné pochopení vlastní implementace řídicího systému.

V praktické části byla realizována mechanická i elektronická sestava systému a jeho oživení. Postup montáže je přehledně zdokumentován, usnadňuje pochopení vnitřní struktury celého systému a umožňuje jeho opětovné sestavení, například v rámci laboratorního cvičení. Robotická montážní sada byla doplněna o bezdrátovou komunikační technologii, zvyšující mobilitu systému. Pro implementaci bezdrátové komunikační technologie byly použity rádiové modemy HW8612 a rádiový modul HW86010, pracující v nelicencovaném pásmu 1880-1900MHz. Pro dosažení kompatibility přenášených signálů mezi řídicím počítačem a bezdrátovým modulem byl navíc použit převodník MA232, usměrňující RS232 signály úrovně  $\pm 12V$  na signály TTL/CMOS 3,3V.

Poslední část této diplomové práce byla zaměřena na implementaci programového vybavení. Byly vytvořeny tři funkční celky, *AI Client* pro inicializaci systémových prostředků a pro nastavení jednotlivých AI motorů, dále *AI Control* pro snadné řízení a monitoring systému a konečně *Trajectory editor* umožňující offline učení a správu namodelovaných pohybových trajektorií. Všechny tyto celky jsou založeny na báze knihovně. Báze knihovna zahrnuje všechny instrukce podporované robotickým systémem MGR-K2017 a může být použita v jakémkoliv programu navrhovaném pro systém využívající AI motory 1001, 701 a 601. Součástí popisu báze knihovny je i podrobný rozbor podporovaných instrukcí. Vyvinuté programové vybavení bylo odpovídajícím způsobem prověřeno a úspěšně otestováno.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HÁJEK. *Servisní roboty na vzestupu* [online]. 2005 [cit. 2006-05-18]. Dostupný z WWW: <[www.automatizace.cz/article.php?a=667](http://www.automatizace.cz/article.php?a=667)>.
- [2] *JSK Research Activities* [online]. c2003 [cit. 2006-05-18]. Dostupný z WWW: <[www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research.html](http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research.html)>.
- [3] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. *Plán přidělení kmitočtových pásem 2004* [online]. 2004 [cit. 2006-04-02]. Dostupný z WWW: <[www.ctu.cz/1/download/plan-prideleni-kmitoctovych-pasem\\_1114099610.pdf](http://www.ctu.cz/1/download/plan-prideleni-kmitoctovych-pasem_1114099610.pdf)>.
- [4] HANUS, CSC., Doc. Ing. Stanislav . *Rádiové a mobilní komunikace.* , [2002]. s. 83.
- [5] *Wikipedie* [online]. [2006] , 2006 [cit. 2006-04-02]. Dostupný z WWW: <[cs.wikipedia.org](http://cs.wikipedia.org)>.
- [6] BLÁHA, Jan. *DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone)* [online]. c2003 [cit. 2006-04-18]. Dostupný z WWW: <[http://www.rdc.cz/prilohy/hardware/152\\_DECT.pdf](http://www.rdc.cz/prilohy/hardware/152_DECT.pdf)>.
- [7] MYSLÍK, ŘEHÁK. *HW Server* [online]. c1997-2005 [cit. 2006-04-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.hw.cz/ART1407-Chcete-se-stat-autorem-HW-serveru.html>>.
- [8] *MEGAROBOTICS* [online]. c2005 [cit. 2006-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.megarobotics.com/>>.
- [9] MEGAROBOTICS Co. *MGR-CA128\_manual(english)Ver1.05* uživatelský manuál
- [10] MEGAROBOTICS Co. *MGR-K2017\_assembly\_manual(Eng)0.2* uživatelský manuál
- [11] MEGAROBOTICS Co. *AI\_MOTOR-1001\_manual\_v1[1].02\_english* uživatelský manuál
- [12] KADLEC, Václav: *Učíme se programovat v Borland C++ Builder a jazyce C++* 2.vyd. Brno: Computer Press, 2004. 387 s. ISBN 80-7226-550-4.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

4PPM	Four Pulse Position Modulation
BLDC	Brushless DC
BER	Bit error rate
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
DC	Direct current
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
FCC	Federal Communications Commission
FDM	Frequency division multiplexing
GAP	Generic Access Profile
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
eSCO	Extended Synchronous Connections
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
ITU	International Telecommunication Union
IrDa	Infrared Data Association
ISM	Industrial-Scientific-Medical
lux	Jednotka osvětlení
MAC	Media Access Control
MCU	Microcontroller Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSN	Organizace spojených národů
PDA	Personal Digital Assistant
QoS	Quality of Service
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access

- TTL Transistor-transistor logic
- WECA Wireless Ethernet Compatibility Alliance
- WLAN Wireless local-area network
- XML Extensible Markup Language
- XSL Extensible Stylesheet Language

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Netradičně upravený montážní robot KUKA na výstavě Automatica 2004 .....	11
Obr. 2 Autonomní vysavač Cecilka.....	12
Obr. 3 Nanner – miniaturní robot .....	13
Obr. 4 Robotická sada Robonova-I.....	14
Obr. 5 Robotický systém ORPHEUS .....	15
Obr. 6 Tým robotické kopané VŠB - TU Ostrava .....	16
Obr. 7 Robot Kotaro při jízdě na kole .....	17
Obr. 8 Fotbalový robot Kotaro .....	18
Obr. 9 Ukázka online učení systému HRP-2W .....	18
Obr. 10 Elektromagnetické spektrum .....	20
Obr. 11 Loga aliance WiFi .....	28
Obr. 12 Časový rámec TDMA.....	34
Obr. 13 Časový slot TDMA.....	35
Obr. 14 Deska MGR-BD128 .....	42
Obr. 15 Deska MGR-BM1.....	42
Obr. 16 Mikroprocesor Atmega 128-16AI .....	43
Obr. 17 ISP konektor .....	43
Obr. 18 Konektor pro motory AI 601, AI 701 a AI 1001 .....	44
Obr. 19 RS232 konektor .....	44
Obr. 20 Konektor napájení.....	45
Obr. 21 Model AI motoru 1001 .....	46
Obr. 22 Schéma elektronického obvodu AI motoru 1001 .....	46
Obr. 23 Propojovací kabely MGR-LWW-10 a MGR-LWW-15 .....	49
Obr. 24 Připojovací konektory AI motoru 1001 .....	49
Obr. 25 Detail připojovacího konektoru AI motoru 1001 .....	49
Obr. 26 Obsah sady MGR-K2017 .....	51
Obr. 27 Základní poloha osy AI motoru.....	52
Obr. 28 Připevnění pomocných částí k dílu MGR-F003B-AL03A.....	52
Obr. 29 Kompletace těla systému MGR-K2017.....	53
Obr. 30 Kompletace nohou systému MGR-K2017 .....	54
Obr. 31 Kompletace chodidla systému MGR-K2017.....	54

Obr. 32 Upevnění ramen systému MGR-K2017 .....	55
Obr. 33 Upevnění paží systému MGR-K2017.....	55
Obr. 34 Vzájemné poloha končetin .....	56
Obr. 35 Připojení baterie MGR-P72-23A.....	56
Obr. 36 Kompletace systému MGR-K2017 .....	57
Obr. 37 Detail komunikačního přepínače v poloze „OFF“ .....	58
Obr. 38 AI MOTOR TOOL ver1.24.....	60
Obr. 39 Architektura bezdrátové komunikace – dva modemy HW8612 .....	62
Obr. 40 Redukce DB9 M/M .....	62
Obr. 41 Architektura bezdrátové komunikace - modem HW8612 a modul HW86010 .....	63
Obr. 42 Architektura rádiového modulu HW86010 .....	64
Obr. 43 Vnitřní schéma integrovaného obvodu MAX232 .....	65
Obr. 44 Schéma převodníku CMOS / RS232 .....	66
Obr. 45 Finální úprava rádiového modulu HW86010 .....	67
Obr. 46 Rádiový modem HW8612 .....	67
Obr. 47 Programový modul AI Client .....	68
Obr. 48 Programový modul AI Control.....	70
Obr. 49 Programový modul Trajectory editor .....	72
Obr. 50 Komunikační tok systému MGR-K2017.....	77



**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Rozdělení radiového spektra na kmitočtová pásma .....	22
Tab. 2 Rozdělení bluetooth zařízení podle výstupního výkonu .....	27
Tab. 3 Přehled standardů IEEE 802.11x .....	28
Tab. 4 Porovnání standardů pro bezdrátové lokální sítě.....	30
Tab. 5 Specifikace desky MGR-CA128 .....	41
Tab. 6 Popis propojovacích součástí .....	47
Tab. 7 Krajiní provozní podmínky.....	50
Tab. 8 Doporučené provozní podmínky .....	50
Tab. 9 Obsah sady MGR-K2017 .....	51
Tab. 10 Doporučené nastavení AI motorů systému MGR-K2017 .....	59
Tab. 11 Zapojení pinů radiového modulu HW86010 .....	66
Tab. 12 Význam jednotlivých položek parametru Settings.....	75

## SEZNAM PŘÍLOH

PI Mikročipy podporující komunikační rychlost sériového portu vyšší než 115200bps

P II: Zdrojový kód bázové knihovny, třída TBase

## **PŘÍLOHA P I: MIKROČIPY PODPORUJÍCÍ KOMUNIKAČNÍ RYCHLOST SÉRIOVÉHO PORTU VYŠŠÍ NEŽ 115200 bps**

ALi M1543 @ až 460800 baud	SMSC FDC37C957FR @
ALi M1543C @ až 460800 baud	SMSC LPC47B27x @ až 460800 baud
ALi M5133 @ až 460800 baud	SMSC LPC47B37x @ až 460800 baud
ALi M1535 @ až 460800 baud	SMSC LPC47M10x @ až 460800 baud
ALi M1535D @ až 460800 baud	SMSC LPC47M14x @ až 460800 baud
ITE IT8761F @ až 460800 baud	SMSC LPC47M120 @ až 460800 baud
SMSC FDC37B72x @ až 460800 baud	SMSC LPC47M15x @ až 460800 baud
SMSC FDC37B77x @ až 460800 baud	SMSC LPC47M192 @ až 460800 baud
SMSC FDC37M77x @ až 460800 baud	SMSC LPC47N252 @ až 460800 baud
SMSC FDC37B78x @ až 460800 baud	SMSC LPC47S42x @ až 460800 baud
SMSC FDC37B80x @ až 460800 baud	SMSC LPC47S45x @ až 460800 baud
SMSC FDC37M70x @ až 460800 baud	SMSC LPC47U33x @ až 460800 baud
SMSC FDC37C67x @ až 460800 baud	SMSC LPC47U32x @ až 460800 baud
SMSC FDC37C68x @ až 460800 baud	SMSC FDC37C665IR @ až 460800 baud
SMSC FDC37C93x @ až 460800 baud	SMSC FDC37C666IR @ až 460800 baud
SMSC FDC37C93xAPM @	SMSC FDC37C669 @ až 460800 baud
SMSC FDC37C93xFR @	SMSC FDC37C669FR @
SMSC FDC37M60x @ až 460800 baud	SMSC FDC37N769 @ až 460800 baud
SMSC FDC37M61x @ až 460800 baud	SMSC FDC37N869 @ až 460800 baud
SMSC FDC37M81x @ až 460800 baud	SMSC FDC37N3869 @ až 460800 baud
SMSC FDC37N958FR @	SMSC LPC47N227 @ až 460800 baud
SMSC FDC37N971 @ až 460800 baud	SMSC LPC47N267 @ až 460800 baud
SMSC FDC37N972 @ až 460800 baud	National Semiconductor PC87317 @

National Semiconductor PC97317 @  
VIA VT82C686A/B @ až 460800 baud  
Winbond W83627GF-AW @  
Winbond W83627SF @ až 921600 baud  
Winbond W83627F @ až 921600 baud  
Winbond W83627HF @ až 921600 baud  
Winbond W83697HF @ až 921600 baud  
Winbond W83697SF @ až 921600 baud  
Winbond W83877ATF @  
Winbond W83877F @ až 115200 baud  
Winbond W83877TF @ až 921600 baud  
Winbond W83977AF @ až 921600 baud  
Winbond W83977ATF @  
Winbond W83977CTF @  
Winbond W83977EF @ až 921600 baud  
Winbond W83977TF @ až 921600 baud  
Winbond W83L517D @ až 921600 baud

## **PŘÍLOHA P II: ZDROJOVÝ KÓD BÁZOVÉ KNIHOVNY, TŘÍDA TBASE**

Zdrojový kód byl vytištěn přímo z vývojového prostředí Borland C++ Builder 6.0 a začíná na následující straně.