EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Název projektu	Rozvoj vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě
Registrační číslo projektu	CZ.02.2.69/0.0./0.0/16_015/0002400

Robotika a drony

Studijní text

Petr Čermák

Opava 2019

SLEZSKÁ UNIVERZITA
FILOZOFICKO-PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA V OPAVĚ

Studijní opora k předmětu

ROBOTIKA A DRONY

Petr Čermák

Toto dílo podléhá licenci:
Creative Commons Uveďte původ-Zachovejte licenci 4.0
Znění licence dostupné na:
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Filozoficko-přírodovědecká fakulta SU

Opava 2019

Obsah

1 Základy robotiky **2**
1.1 Stroj, robot, historie . . . 2
1.2 Kybernetika a umělá inteligence . . . 8
1.3 Strojové učení . . . 12

2 Využití robotů v praxi **15**
2.1 Bezpečnostní a vojenské aplikace . . . 15
2.2 Medicína . . . 18
2.3 Astronautika . . . 19
2.4 Roboty pro vědu a vzdělání . . . 21

3 Senzory a aktuátory robotů **25**
3.1 Klasifikace senzorů . . . 25
3.2 Externí senzory . . . 26
3.2.1 Infračervené senzory přiblížení . . . 26
3.2.2 Ultrazvukové senzory . . . 27
3.2.3 Laserové snímače . . . 28
3.2.4 Kompasy . . . 29
3.2.5 Kamerové senzory . . . 30
3.3 Vnitřní senzory . . . 31
3.3.1 Tachometry . . . 31
3.3.2 Akcelerometr . . . 31
3.3.3 Optické enkodéry . . . 31
3.3.4 Inkrementální optické snímače . . . 32
3.3.5 Absolutní optické snímače . . . 32
3.3.6 GPS . . . 33
3.3.7 Gyroskopy . . . 34
3.3.8 Mechanický model . . . 34
3.4 Aktuátory . . . 35
3.4.1 Elektrické motory . . . 35
3.4.2 Regulátor otáček elektromotoru (ESC) . . . 36
3.4.3 Spalovací motory . . . 37
3.4.4 Servopohony . . . 38
3.4.5 Inteligentní servopohony . . . 40

4 Základní procesorové desky s příslušenstvím **41**
4.1 Vestavěný systém . . . 41
4.2 Mikroprocesor . . . 41
4.3 Von Neumannova architektura . . . 41
4.3.1 Intel Compute Stick STK . . . 41
4.4 Harvardská architektura . . . 42
4.5 AVR . . . 43
4.6 Programátor . . . 44
4.7 Vývojové kity . . . 44
4.8 Vývoj softwaru . . . 45
4.9 Elektronicky programovatelný HW. . . . 47

5 Napájení a dálkové ovládání robotů **49**
5.1 Akumulátory . . . 49
5.1.1 NiCd, NiMH . . . 49
5.1.2 Li-Ion, Li-Pol . . . 50
5.2 Dálkové ovládání robotů . . . 51

5.2.1 RC vysílač . . . 52
5.2.2 Frekvence a modulace . . . 53
5.2.3 Moderní RC soupravy a FHSS . . . 54
5.2.4 Kódování a dekódování . . . 54

6 Humanoidní roboti 56
6.1 Kyborgové vs. humanoidi . . . 56
6.2 ASIMO . . . 57
6.3 Nao . . . 58
6.4 Kokoro . . . 59
6.5 Robotis . . . 60
6.6 Vojenské aplikace v humanoidní robotice . . . 60
6.7 Požadavky na technologie pro rozvoji humanoidních robotů . . . 61

7 Automotivní roboti 63
7.1 Kolová platforma mobilních robotů . . . 63
7.1.1 Diferenciální uspořádání . . . 63
7.1.2 Synchronní uspořádání . . . 64
7.1.3 Pohon s konfigurací tříkolky . . . 65
7.1.4 Ackermanovo řízení . . . 65
7.1.5 Pohony se všesměrovými koly . . . 66
7.2 Pásové pohony . . . 68
7.3 Pohony limbed (končetinové s ohybem) . . . 68

8 Létající roboti 70
8.0.1 Historie . . . 70
8.0.2 Kolektiv . . . 73
8.0.3 Sklon cykliky . . . 75
8.0.4 Vertikální a horizontální ocasní plocha . . . 75
8.1 Další typy vrtulníků . . . 76
8.1.1 Koaxiální vrtulník se souosými rotory . . . 76
8.1.2 Quadro, hexa - helikoptéry . . . 76
8.1.3 Konvertibilní letecké systémy . . . 77
8.1.4 MAVs . . . 77
8.2 UAV, klasifikace UAV platforem . . . 78

9 Sestavení a programování robotů 82
9.1 Programování robotů třídy Arduino . . . 82
9.2 Sestavování a programování robotů se standardními servy . . . 86
9.2.1 Obecný postup konstrukce robota . . . 86
9.2.2 Řídicí jednotka pro pohyb robota . . . 87
9.2.3 Senzorový, komunikační a řídicí systém robota . . . 88
9.2.4 SW vybavení řídicího systému robota . . . 88
9.2.5 Algoritmy zpracování obrazů na robotovi pavouk . . . 90
9.3 Sestavování a programování robotů s inteligentními servy . . . 92
9.3.1 Obecný postup konstrukce robota . . . 92
9.4 Základní algoritmy používané v robotice . . . 95
9.4.1 Regulace a adaptivní regulace . . . 95
9.4.2 Multiagentové systémy pro modelování složitých systémů . . . 96
9.4.3 Zpracování obrazů . . . 99

Úvod

Robotika a Drony, předmět, který se snaží přiblížit umělou inteligenci, robotiku a drony. Součástí je rovněž výklad k existujícím robotickým platformám. Tyto platformy jsou využívány pro cvičení a umožňují přiblížit praktické aspekty robotiky, tj. konstrukce, zapojení el. systémů senzorů, řídících jednotek až po aktuátory. Následně je nutno robotické systémy programovat pro dosažení konkrétní úlohy v proměnném prostředí. Skriptum je určeno pro studenty profesního bakalářského studia. Skriptum je připraveno pro elektronickou distribuci, jelikož se stále bude rozšiřovat a doplňovat o nové poznatky, metody a nové algoritmy.

1 Základy robotiky



Po prostudování kapitoly budete umět:

Vysvětlit původ vzniku názvu robot;
reprodukovat historické pozadí robotiky;
vysvětlit základní pojmy kybernetiky,
popsat turingův test.



Klíčová slova:

robotika, kybernetika, umělá inteligence, turingův test, historie.

Od samého počátku lidské existence byla snaha přežít pomocí dostupných nástrojů. Nejprve jsme museli uspokojovat základní potřeby, abychom zůstali naživu, jako je získat jídlo, vodu a později i oheň[1].

V průběhu času začalo lidstvo tvořit komunity s různou hierarchii; se silnými a slabými jedinci. Tyto komunity chtěly víc než jen přežít; toužily po moci a realizaci s nějakým užitečným smyslem žití. Byla to éra, kdy vznikla první hierarchická společenství. V souladu s tímto vývojem lidstva a integraci do společnosti také vznikly první primitivní nástroje, které usnadnily např. lov zvěře, rozdělání ohně, orbu apod. Lidé také chtěli pochopit složitější kontexty a najít lepší nástroje. I přes uvedený vývoj, člověk stále pracoval velmi těžce, budoval fenomenální budovy, jako jsou pyramidy, hrady a mnoho dalších. Kromě toho byla postavena první města, vesnice a člověk pracoval více v komunitách.

1.1 Stroj, robot, historie

Pro lidskou rasu bylo primárním smyslem, jak si ulehčit práci. Přišly první myšlenky vytvořit mechanické stroje; přesněji ještě pouze nástroje, které mohou být užitečné pro zlepšení života. Termín „stroj“ nebyl definován. Jinými slovy, člověk chtěl vytvořit něco, co může fungovat efektivněji ve prospěch lepších výsledků a s menší fyzickou zátěží. V důsledku této touhy vznikla myšlenka vytvoření tvora, který je stejně inteligentní jako člověk a může člověka nahradit. Tato touha je stará jako lidstvo samo. Již ve středověku žili lidé, jako Descartes, Hobbes nebo Pascal, kteří chtěli zjistit, jestli stroj může myslet jako člověk. Ale tyto otázky a úvahy byly stále pouze v teoretické, filozofické rovině[5].

Jak již bylo uvedeno výše, termín „stroj“ nebyl ve středověku znám. Byla to myšlenka stvořit umělého tvora (homunkulus)[2]. Tato éra byla založena na alchymii, tajných receptech, proroctvích a dalších pokusech. Pojem „homunculus“ je zmíněn v české pohádce z roku 1951 v režii M. Friče: „Císařův Pekař pekařův císař“ o alchymistech Rudolfa II. Ale nejznámější homunculus je Golem, který byl vytvořen z hlíny židovským rabínem Jehuda Löw ben Bacalé, aby chránil židovské ghetto v Praze proti křesťanům. Legenda praví, že Golem byl posílen šémem („šemhamforáž“). Bylo to období mnoha legend a příběhů o nadpřirozených bytostech[3].



Obrázek 1.1: Golem [1].

Postupný rozvoj nástrojů a později strojů byl prvním krokem ke vzniku umělých bytostí a nástrojů založených na mechanickém principu. Již ve středověku existovala mechanická hlava, která mluvila. Tomuto stroji bylo velmi obtížné porozumět.

Další legenda vypráví o řeckém bohu Hefaistovi, který vyrobil umělé měchy kontrolované myšlenkami a rovněž mechanické pomocníky. Tito mechaničtí pomocníci pletli a mluvili.

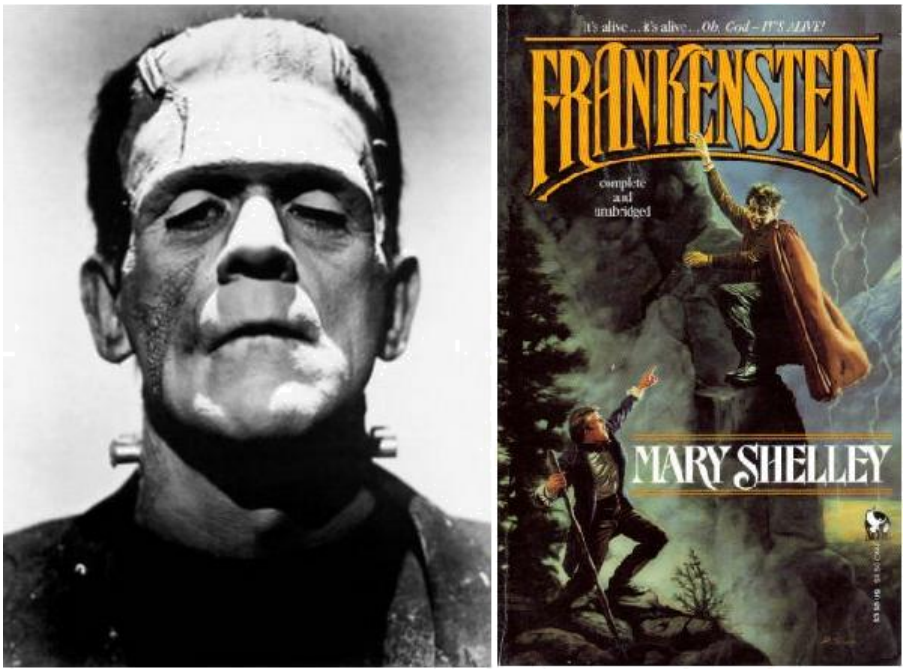
Ve středověku, stejně jako v dalších obdobích historického vývoje, dochází ke vzniku nedůvěry lidí k vynálezům a novým technologiím. Učení lidé, kteří se zabývali vývojem umělých bytostí (v dnešní době interdisciplinární rozsah umělé inteligence), byli považováni za lidi, kteří ovládají nadpřirozené síly s pomocí Boha a démonů. Tyto myšlenky a strach vedly k obavě, že umělé bytosti nebude možno kontrolovat.

Další éra vývoje a znalostí představuje dobu konstrukce malých mechanismů a strojů, jako jsou mechanismy, které pohání hodiny – hodinové strojky. 17. století bylo průlomovou zlatou érou pro konstrukce samočinných strojů. V té době nebyly samočinné stroje chápány jako matematické modely, jako např. Turingův stroj[5]. Tyto automaty jsou chápány jako mechanická zařízení a byla poháněna velmi primitivními zdroji energie, jako jsou pružiny, stlačený vzduch atd. Také vznikly první mechanické hračky - kvákání kachen, pochodující postavy atd. Tato lepší mechanická zařízení přinesla myšlenku vytvořit zařízení, které umí více, než např. hodinový strojek.

Později v důsledku průmyslové revoluce došlo k rychlému rozmachu přírodních a technických věd. Pohled na umělé stroje byly realističtější než kdykoli předtím. V roce 1798 italský anatom Luigi Galvani zjistil, že pohyb svalů lze stimulovat proudem. Díky tomu vznikla možnost vytvořit umělou bytost výhradně vědeckým způsobem. Bez nadpřirozené moci, bohů a alchymie. Je to skutečný krok k nové éře umělých bytostí. V souladu s novou myšlenkou byla napsána kniha Frankenstein[6, 7], Mary Shellyovou v roce 1818. Nová éra robotiky začala.

`Karel Čapek - Robot`

Teprve v roce 1920 český spisovatel a dramatik Karel Čapek napsal divadelní drama RUR[8]. Jde o Angličana s názvem Rossum, který vyráběl umělé bytosti v jeho továrně s názvem „Rossumovi univerzální roboti“. Tyto umělé bytosti byly určeny pouze k tomu, aby zastávaly tvrdou práci pro lepší život lidí. Karel Čapek nazval tyto umělé bytosti jako roboty. Je to odvození od slova, které popisuje nucené práce. Slovo „robot“ je synonymem



Obrázek 1.2: Frankenstein [6][7].

pro umělé bytosti a nejznámější české slovo na celém světě. Následující obrázek znázorňuje myšlenku robota Karla Čapka.

V lidech stále přetrvává strach, že stroje budou nekontrolovatelné. Bylo to velké téma pro sci-fi příběhy o nezničitelných strojích, které jsou inteligentnější než člověk. Hlavním tématem všech sci-fi příběhů bylo neopatrné zacházení a pokusy vytvořit bytost, která je mimo kontrolu a zničí lidskou rasu. To je skutečná hrozba. Lidé chtějí vytvořit stroj, který je inteligentnější než člověk - Vzpoura strojů. Hodně příkladů možných scénářů je k dispozici v publikacích Kevina Warwicka.

`Isaac Asimov`

Tento Američan ruského původu se díval na roboty jiným způsobem, než autoři sci-fi literatury. Asimov se domníval, že roboti by mohli být nebezpeční pro člověka[9, 10]. Také byl první, který usoudil, že vývoj autonomních robotů může být nebezpečný, proto musí být zavedeny bezpečnostní mechanismy, díky nimž mohou být zničeni, a chyby mohou být opraveny, tím robot získává nové zkušenosti. V roce 1939 Asimov napsal svůj první příběh s názvem „Robbie“ o robotovi, který byl vytvořen, dobře pracoval a nebyl nebezpečný pro lidi, ale pomáhal.

V dalším jeho díle s názvem „Hra na honěnou“ (Runaround)[9, 10] jsou zavedeny tři Asimovy robotické zákony:

- První zákon - Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby člověk přišel k újmě.
- Druhý zákon - Robot musí poslouchat rozkazy lidí, kromě případů, kdy by tyto příkazy byly v rozporu s prvním zákonem.
- Třetí zákon - Robot musí chránit svou vlastní existenci, pokud tato ochrana není v rozporu s prvním nebo druhým zákonem.

Tyto Asimovy zákony jsou nejznámější a nejvíce citované.

Příběhy Isaaca Asimova ovlivnily sci-fi literaturu po celém světě, a to změnilo globální chápání robotů. Spisovatelé a čtenáři začali vnímat roboty jako stroje, které mohou být užitečné. Tyto příběhy následně ovlivnily rozsah robotiky. Je známo, že první průkopníci



Obrázek 1.3: Isaac Asimov [11].

a vědci byli inspirovaní Asimovými příběhy; například Joseph F. Engelberger, George C. Devolem, Marvin Minsky a mnoho dalších.

`Dějiny technického pokroku v oblasti robotiky`

První výpočetní stroje, které byly schopny provést matematické operace, vznikly již v roce 1742. V tomto roce Blaise Pascal vytvořil první sčítací stroj[5]. V této době byly vyrobeny první modely humanoidů, přesněji androidi - roboti s lidským vzhledem. Leonardo da Vinci údajně vytvořil mechanického lva, který přivítal krále Ludvíka XII. v Miláně. Jacques de Vaucanson vyrobil stroj, který hrál na flétnu. V první polovině 20. století se pokračovalo v rozvoji robotiky. Po první světové válce vznikla první elektromechanická loutka i vojenský robot. Tento armádní robot byl schopen nakládat ostnaté dráty a jiné překážky. Po éře mechanických strojů se začala vyvíjet elektronika k těmto robotům.

V první polovině 40. let byly vyrobeny první elektronické počítače v USA, Německu a Velké Británii a v 70. letech byl vynalezen mikročip. Tyto důležité kroky přispěly k výrobě jednoduchých robotů. V 50. letech byly konstruovány roboti na manipulaci s velmi nebezpečným, radioaktivním materiálem, jedy, atd. V roce 1949 byl zahájen výzkum NC a v roce 1962 byl spuštěn první průmyslový robot Unimate 1900 firmy General Motors. V následujících letech proběhly tyto významné milníky robotiky:

- 1964 - byla otevřena laboratoř umělé inteligence na MIT,
- 1968 - robot Shakey vybaven čidlem vidění,
- 1979 - Roboty SCARA koncepce,
- 1980 - průmysloví roboti jsou vybaveni čidly vidění, doteku, které jsou podobné lidským smyslům,
- 1995 - první chirurgický robotický systém implementován pro minimální invazivní chirurgii,

- 1997 - robot Sojouner úspěšně na Marsu zkoumá povrch,
- 2000 - Honda zkonstruovala humanoida robota ASIMO a SONY zooidy AIBO (dále robotických pes);
- 2009 - Automobil Tesla se systémem Autopilot, prototyp;
- 2013 - Wildcat, PetMan a Altlas projekty firmy Boston dynamics (čtyřnohý robot, humanouidní roboti PetMan a Atlas);
- 2017 - Humanoidní robot Sophie občanem Saúdské Arábie.

Lidé chtějí vytvořit robota, stroj, který bude podobný člověku vzhledem i chováním. Kdysi dávno začaly pokusy o vytvoření nástroje, strojů, androidů a humanoidů. I přes velký rozvoj a vývoj v této oblasti, nebyl vytvořen robot, který se rovná člověku. Neuronová síť, která by mohla řídit chování, emoce, plánování a učení je velmi složitá a obtížně realizovatelná. Nicméně existují úspěšné konstrukce strojů, jako jsou průmysloví roboti, mobilní roboti. Tyto výsledky mohou být užitečné v dalších konstrukcích.

Například jednoduchý průmyslový robot usnadňuje práce v továrnách, v lékařství, v chemii a v jiných oblastech. Různé typy mobilních robotů a manipulátorů jsou používány v nebezpečném prostředí pro člověka, jako je radioaktivní záření, válečný konflikt, potopa, požár, oblasti po bombovém útoku, zamořené oblasti, atd.

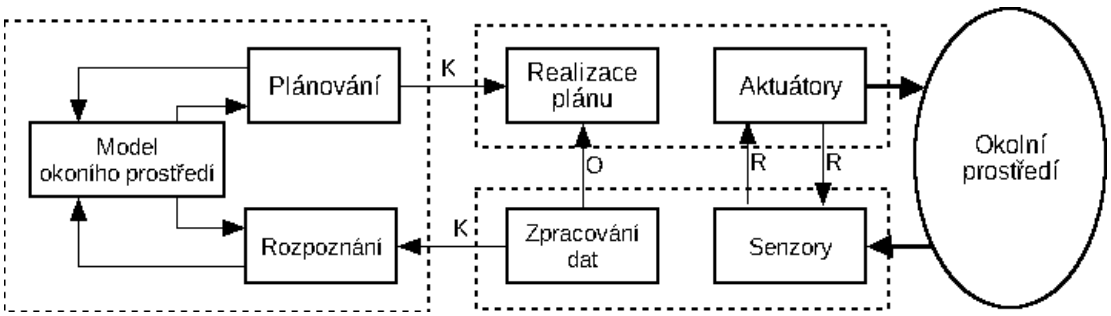
Důvody využívání robotů:

- roboti mohou dělat opakované úkoly průběžně,
- roboti nemají žádné choroby a nepotřebují dovolenou a spánek,
- roboti mohou dělat úkoly, které jsou velmi nebezpečné pro lidi (zejména v armádě),
- manipulace se zařízeními s vyšší přesností než lidé,
- práce může být v dlouhodobém horizontu levnější než lidé,
- roboti mohou dělat úkoly, které nemohou lidé (hmotnost, výkon, přesnost, atd).

`Robot`

Robot, přesněji robotika, je relativně nový interdisciplinární obor, který stále ještě nemá přesnou definici a přesné vymezení. V důsledku této skutečnosti existuje mnoho rozličných definic.

Robot je počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní a cílově orientované interakce s reálným prostředím v souladu s instrukcemi člověka[13].



Obrázek 1.4: Model robotického systému [13]

Robot, který by mohl být schopen nahradit člověka, musí ovlivňovat okolní prostředí fyzicky, existovat v okolním prostředí a pohybu. Tyto aktivity zabezpečuje pohybový subsystém, který má vliv na okolní prostředí, pohony (nazývané také aktuátory, aktuátory).

Prostřednictvím pohonů se Robot pohybuje v prostředí. Robot zjišťuje změny v prostředí senzory, čidly (optické, zvukové, atd.) Systém snímačů lze také nazvat senzorickým subsystémem. Kognitivní subsystém zabezpečuje rozhodování a řídicí činnosti, což určuje inteligenci robota. Senzorický subsystém je obecně rozdělen na 2 části.

- Senzory skenují fyzické signály z prostředí, a převádějí je na digitální úroveň.
- Systém pro zpracování senzorických dat dokáže rozpoznat například tvar a umístění v překážek v okolním prostředí.

Motorický subsystém je také rozdělen na 2 části.

- Aktuátory provádí zásahy do okolního prostředí na základě příkazů získaných z plánovacího subsystému.
- Kognitivní subsystém představuje nadřízený inteligentní řídicí subsystém, který provádí analýzu informací ze senzorického subsystému.

Robot musí obsahovat rovněž model okolního prostředí, musí umět rovněž rozpoznat, analyzovat a plánovat. Plánováním pro splnění cíle vznikne plán akcí, které následně robot provede. Pro analýzu lze využít různé matematické, umělo-inteligentní metody. Kognitivní systém ukončí nejvyšší smyčku zpětné vazby K, která je nezbytná pro inteligentní chování. Mezi senzory a motorickým subsystémem existují také smyčky zpětné vazby z nižší úrovně (smyčka O do plánování úkolů). Tyto smyčky O představují například servomechanismy, které se pohybují s pohony. Nejnižší úroveň řízení bezpečné reflexní smyčky R, řeší triviální problémy podobně reakci na vypalování pro člověka. Jinými slovy, R smyčka zajišťuje základní reakce, pokud není zjištěn žádný problém. Například, pokud robot v prostředí udeřil do bariéry. Všechny subsystémy musí být v rovnováze s efektivním plánováním, strategiemi, řešeními a reakcemi robota.

Nejsložitější robotické systémy jsou často vybaveny jen základními prvky kognitivního řízení.

`Robotika`

Je to jeden z nejnovějších technických oborů. Tento progresivní interdisciplinární rozsah obsahuje znalosti z mechaniky, elektrotechniky, automobilového průmyslu, lékařství, biologie, umělé inteligence, soft computing a další disciplíny. Robotiku lze rozdělit do následujících skupin:

- teoretická - najít principy, možnosti a omezení v oborech, jako je biologie, psychologie, matematiky, fyziky, lékařství, automobilový průmysl, atd.
- experimentální - aplikovat principy kybernetiky, umělé inteligence, biologie, výpočetní technika, atd. Testování a verifikace.
- průmyslová - vývoj a využití průmyslových robotů (elektronika, stroje, automatizace, organizace a plánování, atd.
- Jiné - různé typy robotů, zařízení pro aplikace ve vojenství, medicíně, kosmonautice apod.

`Průmysloví roboti a manipulátory`

Manipulátor – technické periferní zařízení, které provádí technologické cykly díky pevném programu. Ovládání pomocí dálkového ovládání ze strany operátora nebo jiným strojem. Manipulátor má 2 nebo více stupňů volnosti.

Průmyslový robot - podobný obecnému robotu, ale hlavní rozdíl je, že jde o flexibilní programovatelný stroj a zavádění do výroby nebo výrobní linky. Podle integrace můžeme

rozdělit průmyslové roboty do generací. Níže je citována definice průmyslového robota dle Prof. Beljanina.

Průmyslový robot je plně autonomní stroj, automatizace, který se používá pro reprodukci vybraných pohybů a základních průmyslových procesů bez přímé lidské kontroly a je vybaven několika schopnostmi člověka (paměť, zrak, sluch, atd) samoorganizace a adaptace na prostředí. (Definice prof. PN Beljanin)

`Mobilní roboti`

Mobilní roboti, kteří se také nazývají nestacionární roboti, se liší v mobilitě. Tyto roboti jsou obvykle samostatní a také pohyb provádí samostatně. Jsou vybaveny čidly a dalšími prvky pro sdílení informací o poloze, pohybu, rychlosti a jiné informace, které jsou závislé na okolním prostředí. Druhou možností je dálkové ovládání mobilních robotů. Roboti získávají informace od hlavního operátora. Také jsou vybaveny vlastním podvozkem a napájecím zdrojem (baterie, akumulátor) k vytváření provozu a pohybu. K pohybu se obvykle používá elektromotor. Na jednoduché používání můžeme použít motor s komutatorem, pro výkonnější systém je používán asynchronní motor. V robotice jsou obvykle používány servomotory, které jsou schopné otáčet výstupní hřídel do příslušné polohy a získat tuto pozici.

1.2 Kybernetika a umělá inteligence

`Automatizace`

Jak jsme se zmínili v předchozích kapitolách, lidé chtěli pracovat efektivněji, bez rutiních postupů a tvrdé práce. A tak vytvořili jednoduchá mechanická zařízení. Postupem času byla tato zařízení ještě efektivnější a výkonnější. Lidé chtěli nahradit vlastní práci pomocí mechanických strojů. Toto období se nazývá mechanizace.

Z pohledu industrializace, po mechanizaci nastala éra automatizace. Automatizace může být definována jako aktivita nebo způsob použití zařízení, jako jsou počítače, skenery, regulátory pro ovládání dalších zařízení a související procesy bez účasti člověka. Stroj nahradil většinu fyzické práce a rutiny. Automatizace eliminuje rutinní fyzickou práci a také může být rychlejší, levnější a efektivnější než v případě člověka.

Automatizace zejména eliminuje negativní vlivy, které jsou typické pro člověka, jako je nemoc, vyčerpání, bolesti, stres, handicap a další. Vzhledem k této eliminaci rizika lidských vlivů vznikly automaty, které jsou schopné dělat činnosti, které jsou pro člověka fyzicky nebo psychicky velmi těžké. Stroje mohou také usnadnit práci v nebezpečném prostředí. Informační technologie jsou jedním z hlavních prvků automatizace s vysoce efektivními algoritmy. Po automatizaci nastupuje robotizace.

MECHANIZACE => AUTOMATIZACE => ROBOTIZACE

Pravděpodobně nejvíce používaným automatizovaným zařízením je programovatelný logický automat (PLC1). Jde o programovatelný systém (průmyslový mikropočítač) k ovládání průmyslových a technologických procesů. Programovatelné automaty jsou zařízení pro průmyslové použití v pevném prostředí. Jejich konstrukce musí být robustní, odolná vůči prostředí, funkce spolehlivá, v závislosti na požadavcích a úkolech.

`Kybernetika`

Kybernetika je obor, který zkoumá obecné principy řízení a přenosu informací ve strojích a biologických organismech. Za zakladatele tohoto oboru je považován americký matematik Norbert Wiener, který použil slovo „kybernetika“ ve své publikaci s názvem „Cybernetics or the Control and Communication in the Animal and the Machine“[16]. Kybernetika je relevantní pro studium mechanických, fyzikálních, biologických, kognitivních a sociálních systémů.

Vzhledem k šíři záběru sdružuje kybernetika mnoho podoborů, jako je teorie řízení, kognitivní vědy, atd.

Obecně byly stanoveny základní Principy kybernetiky:

- Zpětná vazba - princip zpětné vazby byl znám již v regulační technice. Zjednodušeně se jedná o proces, kdy výstup systému ovlivňuje vstup tohoto systému. Je obdobou reálného života. Dobrým příkladem je orientace pomocí zraku. Například naše chůze k objektu je upravena podle vzdálenosti od tohoto objektu. Zpětná vazba je důležitá a má vliv na chování; rychlost chůze podle vzdálenosti.

- Informace - v kybernetice jsou informace používány jako něco, co se změnilo mezi předmětem řízení a způsobem kontroly. Informace se stala, pokud byly použity prostředky přenosu informací a když objekt posílal informace o stavu zpětnou vazbou. Informace je nejdůležitější termín v kybernetice. Všeobecné informace odstraňují nejasnosti systému. Antonymum informací je entropie.

- Model - uměle vytvořené simulace reálného světa. Systémy s jinou fyzikální podstatou mohou mít podobné chování. Chování systému můžeme zkoumat prostřednictvím jiného systému, který je jednodušší. Například, časem bylo prokázáno, že různé systémy, jako je hydraulický, pneumatický, atd. lze vyjádřit stejně tak pomocí diferenciálních rovnic, jako u elektrických obvodů.

`Umělá inteligence`

Největší rozvoj oboru umělé inteligence byl ve 20. století, kdy byly vytvořeny technické prvky, jako jsou trubky, polovodiče, relé s teoretickými základy algoritmů, matematické logiky, soft computing, atd. Rychlý technický pokrok umožnil vyvinout účinnější algoritmy, důkazy, metody a metodiky. Rok 1950 můžeme považovat za oficiální zahájení vývoje oboru umělé inteligence (zkráceně UI), kdy britský matematik Alan Mathison Turing představil mnoho argumentů UI, které později ale vyvrací i formulované testy umělé inteligence (Turingova testu)[12, 4, 5, 14]. Ve stejném roce 1950 John von Neumann vyjádřil myšlenku, že počítač se bude rovnat lidskému intelektu nebo snad bude lepší. Kromě toho, Von Neumannovo schéma počítače založené na vstupním zařízení, ALU (aritmeticko-logická jednotka), ovladačích, paměťí a výstupní zařízení je více či méně používané dodnes.

John von Neumann a Alan Turing se stali zakladateli nové éry výpočetní techniky a algoritmů. Pojem „umělá inteligence“ byl nejprve vytvořen v roce 1956 Johnem McCarthym jako téma malé interdisciplinární konference v Dartmouth College (New Hampshire, USA)[5, 4]. Byla to malá konference, kde se představilo mnoho odborníků z různých oborů, jako je neurologie, matematika, lingvistika, elektrotechnika apod. Bylo řečeno, že UI obsahuje různé prvky z reálného života, jako je hraní her, plánování problémů a řešení, predikce, vzužití expertních systémů, uznávání a mnohem víc.

Pro UI je typické, že se nejedná o obor s přesně pevnými omezeními a mantinely, naopak jde o interdisciplinární obor, vychází z oborů jako biologie, kognitivní vědy, soft computing, matematika, programování, robotika, genetika a další. UI lze chápat jako soubor metod, algoritmů, [5] přístupů, u kterých lze řešit velmi obtížné problémy, podobající se myšlením a chováním člověku.

Chceme-li definovat termín „umělá inteligence“, měli bychom si představit, co znamená „inteligence“. Avšak inteligence ještě není přesně definována, ale existují definice pro úroveň inteligence. Možné definice podle různých autorů jsou následující[4, 5, 12]:„Systematický sběr schopností a funkcí pro zpracování informací z různých druhů v různých oblastech.“ (JPGuilford)

„Inteligence je globální schopnost jedince jednat cílevědomě, myslet racionálně a efektivně řešit problémy ve svém prostředí.“ (D.Wechsler)

UI byla definována mnoha různými způsoby. Následující definice jsou např.:

Dle Minského ”... umělá inteligence je věda o vytváření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takového postupu, který - kdyby ho dělal člověk - bychom považovali za projev jeho inteligence.” (1967)[5].

„Umělá inteligence (UI) je studie o tom, jak učinit počítače, aby byly stejně dobré nebo lepší na řešení věcí, než jsou v současné době lidé.“ (E. Rich, 1993)

Turingův test

Jak již bylo zmíněno, definice UI je uvedena řadou odborníků. Alan Turing definoval inteligenci pomocí experimentu, který je založen na testování, že systém, který je považován za inteligentní, opravdu má rysy inteligentního chování. Tento test byl nazýván jako Turingův test.

Turingův test[4, 5]. V první místnosti se nachází předměty testování, například počítač a člověk, a ve druhém pokoji je jen člověk. Člověk musí rozpoznat, zda komunikoval s jiným člověkem nebo s počítačem. Tester dá otázky do druhé místnosti, kde jsou zodpovězeny na počítači nebo člověkem. Odpovědi se vrací zpět do testeru. Pokud ve druhé místnosti nelze rozpoznat, zda byly odpovědi na otázky zodpovězeny člověkem nebo strojem, pak je stroj považován za inteligentní. Tento typ testování je velmi subjektivní a nejasný, protože vyhodnocení odpovědí se bude lišit u „zdravé“ osoby a psychicky narušené osoby.

Čínský pokoj argumentem

Americký filozof John Searle v roce 1980 představil argument čínského pokoje[14], jako argument, částečně vyvracející Turingův test.

Předpokládáme, že uvnitř místnosti, která je plná čínských knih se nachází člověk, který nemluví čínsky, ale je schopen nalézt adekvátní odpovědi na základě předložených dotazů s použitím knihovny. Vnější pozorovatel má dojem, že osoba v místnosti mluví čínsky velmi dobře. Ve skutečnosti jeho inteligence je jen iluzorní, protože nechápe, co v čínštině daný text znamená. Jeho inteligence je simulována apriorně popsanými reakcemi na všechny otázky (srovnej např. s ELIZA). Takovouto simulací s bezkontextovým zpracováním informace můžeme zařadit do třídy tzv. „slabé umělé inteligence“. Třída „Silné umělé inteligence“ sdružuje metody a algoritmy, které analyzují kontext, snaží se porozumět komunikaci s člověkem, stroje se snaží porozumět tomu, co člověk říká. Obor umělé inteligence má za cíl návrh metod a algoritmů realizující stroj s vědomou inteligencí.

Expertní systémy

Expertní systémy jsou počítačové programy[5, 12], které simulují odborníka (odborný pracovník) pro různá odvětví pro řešení velmi složitých problémů a simulují skutečného lidského experta. Kromě toho, expertní systémy jsou také schopny vysvětlit, proč je takto odvozený předložený závěr (řešení, odpověď). Hlavním cílem těchto expertních systémů je nahradit lidské odborníky a dostat se na stejnou kvalitu závěrů. Je založen na znalostní databázi – bázi pravidel vytvořené pomocí odborníka (člověka). Na základě znalostí expertního systému lze odvodit nejpravděpodobnější výstup. Účinnost a kvalita expertních systémů je velmi ovlivněna kvalitou znalostní báze. Tato báze musí být zakódována do formy přijatelné pro počítač. Vývoj kvalitního expertního systému může být velmi dlouhý v závislosti na požadované funkci.

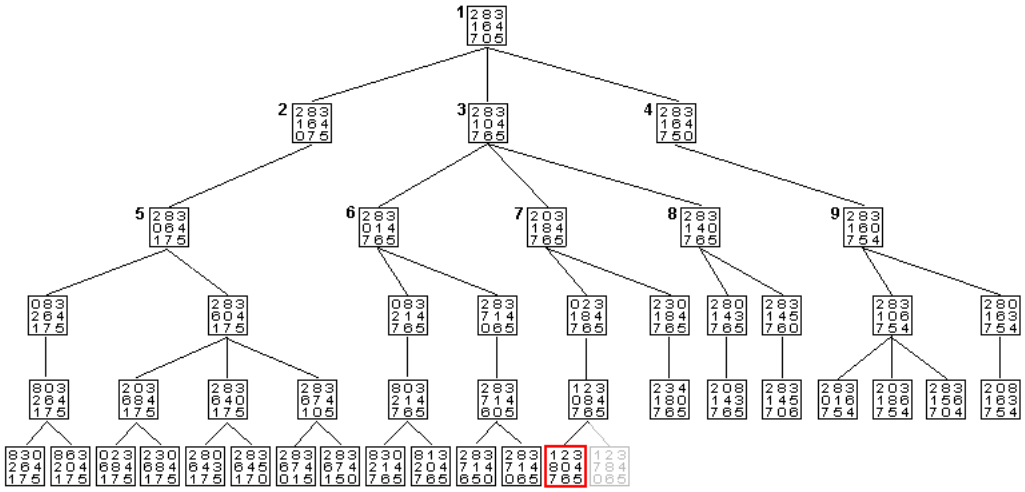
Expertní systémy se používají v medicíně, rozpoznávání řeči, financování, předpovědi počasí, atd. Například lékařské expertní systémy jsou schopné rozpoznat nemoci na základě příznaků, etiologie a dalších prvků uložených do znalostní báze.

Prohledávání stavového prostoru

Princip prohledávání stavového prostoru je skupina metod, přesněji řečeno algoritmy, které jsou založeny na efektivním průchodu stavu řešeného problému, tak aby bylo dosaženo optimálního požadovaného cíle. Prohledávání stavového prostoru je nutné řídit. Můžeme ho rozdělit do řešení dílčích problémů a uvádíme; definovat počáteční stav, konečný stav a všechny možné přechody mezi stavy. Stavový prostor je definován stavy a přechody. To může být vizuálně reprezentováno pomocí orientovaného grafu, kde uzly představují stavy a hrany představují přechod a představují opatření, jak tranzitní mezi stavy. Mezi nejznámější a běžně používané algoritmy prohledávání stavového prostoru patří[5]:

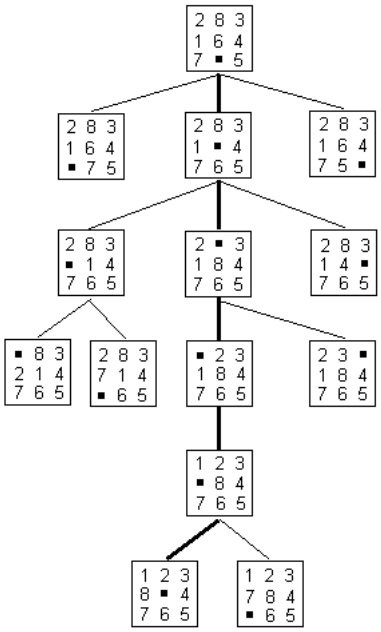
- neinformované metody (nemá apriorní znalosti o prohledávaném prostoru):

- prohledávání do šířky (BFS);
- prohledávání do hloubky (DFS);
- hloubkou omezené vyhledávání (DLS);
- iterativní prohlubování vyhledávání (IDS);
- vyhledávání do šířky i do hloubky.



Obrázek 1.5: Vyhledávání do šířky

- informované metody (apriorní informace o prostoru, který mohou být užitečné pro nalezení optimálního řešení s minimální časovou a prostorovou složitostí, že je založeno na heuristických algoritmech):
  - uspořádané prohledávání;
  - vyhledávání s heuristickou funkcí;
  - A Star;
  - hledání stejných cen;
  - lokální vyhledávání;
  - horolezecký algoritmus;
  - simulované žíhání.



Obrázek 1.6: Algoritmus A-Star [5]

1.3 Strojové učení

`Umělé neuronové sítě`

Je to poměrně nový obor, který je inspirován biologickými neurony a neuronovými sítěmi v mozku[5, 15]. Umělé neuronové sítě jsou adaptabilním systémem, který může naučit vztahy přes opakovanou prezentaci dat a je schopný zobecnění - generalizaci nových, dosud neznamých dat. Základními prvky umělých neuronových sítí (zkráceně UNS) jsou umělé neurony, které jsou vzájemně propojeny do sítě. Na obr. 1.1 Model umělého neuronu se vstupy a hmotností Je to dynamický systém v čase. Algoritmy pro umělé neuronové sítě (UNS) se inspirují v biologii a psychologii. Vzhledem ke složitosti lidského mozku jsou umělé modely neuronových sítí stále velice jednoduché, nicméně byly dosaženy některé zajímavé výsledky.

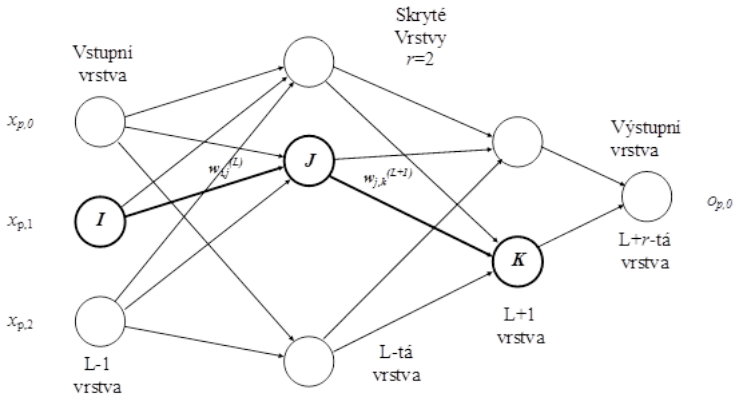
Obecně platí, že umělé neuronové sítě se používají pro rozpoznávání textu (OCR) rukopisu, rozpoznávání řeči, nelineární klasifikaci, predikci, zpracování dat, časových řad, zpracování obrazu, extrakce příznaků, datové sdružování atd. UNS jsou velmi zajímavou oblastí, která je interdisciplinární. Hlavní myšlenkou UNS je učení se pomocí nových neviditelných dat z předchozích příkladů. Navíc UNS lze naučit generalizaci, predikci a odvození, podobně jako u člověka. Obecně můžeme přístup UNS učení rozdělit do 2 základních principů:

- učení s učitelem - a priori víme, co je žádoucí cíl učení,
- učení bez učitele – UNS zhodnotí výstup z podobnosti, derivace a dalších pravidel (výstup není přesně definován a priori). Obvykle dochází ke shlukování a zobecňování, hledání podobných rysů v datovém souboru.

Základní model jednoduché UNS je založen na perceptronu. Vícevrstvé sítě s učením s učitelem, který je nejčastěji používán a je nazýván algoritmus zpětného šíření chyby. To je založeno na výpočtu chyby mezi vstupem a požadovanou odezvou a učení se opakuje, dokud tato vypočtená chyba není menší než zvolená prahová hodnota. Je obdobou lidského učení a opakování s pamětí. Jiné modely neuronových sítí jsou samoorganizující se mapy (Kohonenovy mapy, SOM) do clusterů nebo auto / hetero asociativní paměť, která se opírá o sdružení z předchozích modelů. Následující obrázek znázorňuje základní topologii UNS

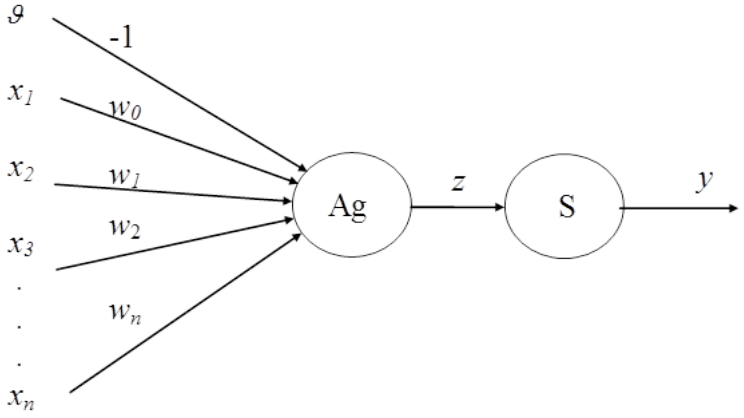
- MLP. Topologie UNS se vstupní vrstvou, skrytou vrstvou (konečná množina skrytých vrstvách) a výstupní vrstvou.

Na obr. 1.2 topologie MKP UNS 2 skrytých vrstvách (2-4-3-1 modelu)



Obrázek 1.7: Příklad vícevrstvé neuronové sítě [15]

První modely UNS byly vyvinuty v první polovině 20. století. Umělý neuron má obecně mnoho vstupů a jeden výstup a obsahuje také aktivační funkci, která popisuje učení UNS. Spojení mezi neurony jsou nazývány jako váhy a tyto váhy jsou přizpůsobeny v procesu učení UNS pro dosažení požadované odezvy na výstupu. První UNS modely mají jen jeden neuron (perceptron), který vyřešil jednoduché logické funkce jako například AND, OR, NOT. Funkce XOR (exkluzivní OR) nemůže být vyřešena jedním neuronem; XOR není lineárně separovatelný problém.



Obrázek 1.8: Perceptron [15]

V současné době existují výkonné softwarové nástroje UNS simulací a jejich přípravu a učení; například NeuroSolution, EasyNN-plus, atd.. Navíc software pro UNS simulace jsou k dispozici také ve formě sad nástrojů pro MATLAB nebo Scilab.

`Umělá evoluce, Genetické programování`

Genetické programování je relativně nový obor, jako umělé neuronové sítě a genetické algoritmy[5], které jsou inspirovány v biologii. Základní principy jsou inspirovány genetikou a umělou evolucí. Techniky používané v genetickém programování jsou založeny na principech DNA a RNA. Základním prvkem genetického programování je gen, chromozom a fitness funkce, která popisuje optimalizaci a proces optimalizace (ideálně konvergenci) vývoje navrženého algoritmu. V průběhu výpočtu se používají genetické operátory, jako

například, křížení, mutace, délka života jedince. Postupuje se po generacích, kde se současně z jedinců a jejich chromozomů určuje velikost fitness funkce. Ty nejlepší chromozomy se použijí jako genetická výbava pro další generaci. Genetické a DNA-algoritmy lze velmi dobře paralelizovat.

Genetické a DNA-algoritmy lze velmi dobře paralelizovat. Učení UNS a genetické algoritmy spadají do oblasti strojového učení, které obsahuje mnoho dalších přístupů[5, 12]. Mezi další oblasti UI patří např .:

- fuzzy logika,
- data mining,
- shlukování a funkce extrakce,
- sémantické analýzy (latentní sémantické analýza).



Kapitola popisuje historii konstrukce strojů, dále popisuje vznik pojmu robot. Fundamentální jsou rovněž tři Asimovy zákony robotiky. Další pasáže: historické pozadí robotiky, automaizace, kybernetika, umělá inteligence, strojové učení.



1. Definujte pojem kybernetika.
2. Jak vznikl pojem robot, kdo stál u zrodu?
3. Definujte šíři záběru Umělé inteligence, vyjmenujte základní obory z kterých čerpá?

2 Využití robotů v praxi



Po prostudování kapitoly budete umět:

základní klasifikaci robotů, příklady;
robotické systémy pro vojenství;
robotické systémy pro medicínu;
robotické systémy pro školu a výzkum.



Klíčová slova:

automotivní roboti, astronautika, vojenství, medicína, výzkum.

2.1 Bezpečnostní a vojenské aplikace

Používání zejména mobilních robotů v armádě má široké využití. Technologie použité v těchto zařízeních můžeme kategorizovat jako nejvýkonnější a progresivní. Roboti jsou využitelní především pro přepravu materiálu, střežení objektů, prozkoumávání nebezpečné oblasti, mise, útoky, městský boj, nalezení požadovaného cíle, vyhledávání kontaminovaných nebo vytěžených ploch a tak dále. Hlavním cílem robotů je chránit lidské vojáky, jejich zdraví a život. Některé situace, zejména při městském boji jsou velmi riskantní a používání strojů je velmi užitečné. Stroje jsou odolné vůči hořlavým materiálům, raketám, minám a jiným nebezpečným situacím pro člověka[17].

Roboti, kteří se používají v oblasti bezpečnosti, můžeme rozdělit podle prostředí, ve kterém působí. Nejznámější jsou bezpilotní letecké prostředky, námořnické stroje nebo řízené střely.

Níže jsou uvedeny příklady robotů, které jsou skutečně používané armádou v různých zemích pro válečné operace, bombardování, nebo na průzkumných misích po celém světě.

`WHEELBAROW Mk9`

Robot, který může být kvalifikován jako UGV (pozemní vozidlo bez osádky) a navíc má modulární teleskopické rameno s maximálním dosahem až 6 metrů[17, 18]. Tento robot je schopen se pohybovat v jakémkoli terénu, zdolat schodiště 45° a prozkoumat podezřelé zařízení. Maximální rychlost robota MK9 je 5 km / h. Navíc je vybaven chapadlem se třemi prsty, které může zvedat hmotnost až 150 kg. Robot Mk9 také obsahuje kolébkový podvozek, systém pro vyhýbání se překážkám a umožňuje rotaci věže v rozsahu +/- 215 °. Také je vybaven převodovkou s dvojnásobnou rychlostí a 6 kamerami, může pracovat s baterií až 6 hodin. Následující obrázek znázorňuje robota Mk-9 v akci.



Obrázek 2.1: Wheelbarrow Mk9 [18]

CRUSHER

Jedná se o autonomní off-road UGV (pozemní vozidlo bez osádky)[17, 19]. Konstrukci tohoto UGV navrhla a realizovala firma Boston Dynamics. Tento UGV stroj je určen pro pojezd v drsném kamenitém terénu, do svahů, přes potoky. Dalšími výhodami je otáčení o 180 ° a možnost nesení až 3600 kg zbraní a materiálu. Vzhledem ke kamerovému systému může sledovat nepřátelské jednotky ze vzdálenosti 3,2 km; má možnost použití 6 párů kamer se systémem stereo vidění. Robot je znázorněn v reálné akci na následujícím obrázku.



Obrázek 2.2: Crusher [19]

BIGDOG

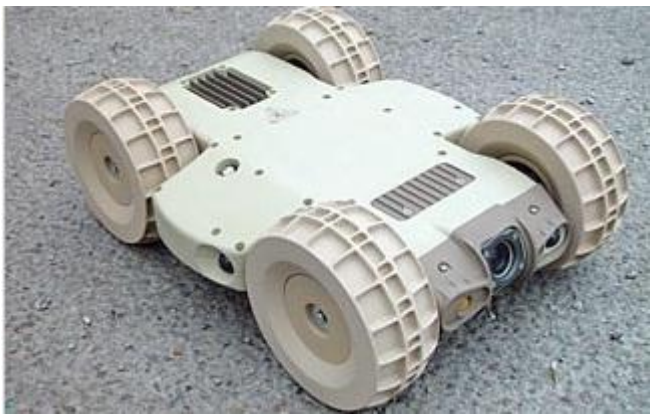
Tento robot je zvláštní tím, že se pohybuje na 4 nohách, může se procházet i běžet, stoupá na nerovném terénu a také nese těžká břemena[20]. BigDog je vybaven laserovým gyroskopem a stereo-systémem vidění. Rozměry jsou 0,91 m (délka), 0,76 m (výška) a váží 109 kg. Maximální rychlost běhu až 6,4 km / h a může zvedat 150 kg s lezením se sklonem 35 stupňů. (BigDog vytvořil světový rekord pro nízkonohá vozidla tím, že cestuje 12,8 mil bez zastavení nebo tankování). Následující obrázek ukazuje robota BigDog:



Obrázek 2.3: BigDog [21]

`Dragon runner`

Tento armádní robot je určen pro městský boj, kde je velké riziko zranění civilistů[17, 22]. Váží pouze 4 kg, což znamená, že jej může mít voják v batohu. Tento čtyřkolový robot má 0,38 m délku a 0,13 výšku, a tak je velmi robustní a minimalistický, což je potřeba pro městský boj. Kromě toho, Dragon runner může být vyslán přes plot, na schodištích nebo z vozu při rychlosti 70 km / h. Dragon Runner má nainstalovány kamery na předním panelu pro video, které má bezdrátový přenos. To je velmi užitečné pro vojáky, protože robot může vidět mimo skrytá zákoutí a jiné překážky, které jsou rizikové pro člověka. Robot je vybaven infračervenými systémem pro noční provoz a infračervenými senzory pro vyhýbání se překážkám. Cílem tohoto zařízení je minimalizovat ztráty na lidských životech a přesně zničit požadovaný cíl.



Obrázek 2.4: Dragon [17]

Robot může být použit v pro sledování řízené operátorem, nebo v rámci hlídky při zachycení aktivity zastaví a posílá obrázek, nebo video operátorovi.

`RQ1 / MQ-1 Predator`

Tryskové bombardéry k ničení nepřátelského cíle jsou výhodné vzhledem k neexistenci lidských pilotů. Robotické systémy mohou být schopny vykonávat manévry bez rizika ztrát na životech. Lidský život má větší hodnotu než zničení stroje. Velkou nevýhodou je

reakce na neplánované situace, které by měly být řešitelné systémy, které používají prvky umělé inteligence[17].

UAV stroje řady Predator. Tyto stroje byly velmi úspěšné a užitečné během válečných misí v Bosně, Iráku a Afghánistánu, zejména při městském boji a zničení hořlavých předmětů[17].

MQ-1 Predator byl poprvé použit v roce 1994 a byl určen především pro sledování a zkoumání. Později byl dodatečně vybaven zbraněmi. Motor Rotax 914 Turbo 86 kW je primárním zdrojem energie. V roce 2001 byl použit jako bezpilotní prostředek pro vystřelení řízené rakety. Maximální rychlost během letu je 129 km / h. Rozměry: 8 m délky, 2,1 m výšky, hmotnost 512 kg a maximální vzletové hmotnosti (MTOW) až do 1043 kg. RQ-1 / MQ-1 Predator letí až do 7620 m nm s maximální rychlostí 218 km / h. Na obrázku níže je znázorněn RQ-1 / MQ- Predátor v letu.



Obrázek 2.5: RQ1 Predator [24]

Tento UAV stroj je také nazýván jako Predator B nebo Guardian a je nástupcem Predatora MQ-1, ale MQ-9 Reaper je přísně určen jako stroje a útoky ve velkých výškách; má obecně větší rozměry a vyšší výkon, který je přiváděn od motoru Honeywell TPE331-10 s 712 kW výkonu. To mu dovoluje letět až do maximální rychlosti 482 km / h, s doletem 1850 kilometrů. MQ-9 Reaper je schopen zvedat 15x více munice než Predator a s maximální rychlostí vyšší než 450 km / h. S maximálním zatížením může být schopen pracovat ve vzduchu až 14 hodin. MQ-9 Reaper měl první úspěšnou operaci v průběhu války v Iráku v roce 2007. Robot se pohybuje autonomně s apriorní definovánou trajektorií, ale je stále pod dohledem lidského operátora.

2.2 Medicína

V poslední době je to v současnosti jedno z odvětví, ve kterém roboti mají velké pracovní využití. V lékařství se používají expertní systémy pro diagnostiku, automatizaci a roboti, kteří by měli nahradit lékaře při těžkých operacích. Robotické systémy mají významnou účast na operacích a diagnostice. Hlavními výhodami robotické operace je menší prostor chirurgického řezu a vyšší přesnost oproti lékaři, eliminace náhodného nebo nechtěného pohybu. Lékař je jen člověk a může být unavený, nervózní, atd., roboti jsou stroje bez emocí. Robotické operace jsou velmi podobné laparoskopickým operacím, kdy řez je velmi malý a přesný. Obecně se hovoří o minimální invazivní chirurgii. V současné době existují příklady robotů, které úspěšně kontrolují lidské svaly a jsou využívány pro rehabilitaci. Čidly robot zjistí, kdy jsou svaly uvolněné a zastaví rehabilitaci.

Jedná se o relativně nový, ale velmi úspěšný robotický systém vybavený nejpokrokovějšími technologiemi[25]. Zásahy prováděné tímto systémem podstatně usnadňují laparoskopické operace. Je to nejen manipulátor, který přenáší lidské pohyby, ale je to komplexní systém, který zasahuje interaktivně do chirurgovy aktivity. Základem DaVinci je mechanismus řízený lékařem, který sedí vedle konzole a s touto konzolou je schopen řídit celou operaci, monitoruje polohu nástrojů uvnitř lidského těla s nejvyšší přesností, která přesahuje lidské limity. Konzola má integrované zařízení, které umožňuje 3D Full HD zobrazení v reálném čase s možností až 15x zoomu. Toto zvětšení je nejvíce užitečné pro eliminaci třesu rukou operátora. daVinci je systém, který pracuje s větší přesností a odstraňuje omezení lékaře, jako nechtěný třes, únava. Jinými slovy se daVinci používá při operacích s mnohem větší přesností díky 15x zoomu a 3D Full HD zobrazení se zvýšenou obratností a kontrolou. Velkou výhodou je 3D pohled do břišní dutiny, která není přístupná v tradiční laparoskopii. Pokud daVinci detekuje chvění nebo nežádoucí pohyb, provoz se zastaví.

Při provozu s daVinci vkládají troacas do lidského těla, který je spojen s optickým systémem a rameny robota. Chirurgovy pohyby jsou přenášeny z DaVinci konzole přesně do přístroje. Systém daVinci se skládá z konzole, vozíku pacienta, kostry robota a 4 interaktivních robotických paží, k dispozici je i další robotické rameno. Kontrola na konzole je realizována pomocí spousty senzorů. Lékař řídí operaci pomocí nástrojů a nožů prsty a zápěstím. K přepínání mezi noži a optickým systémem slouží pedály. Všechny operační nástroje mají 7 stupňů volnosti. Na následujícím obrázku je znázorněn DaVinci během skutečného chirurgického zákroku.



Obrázek 2.6: daVinci [17]

Robot, který také pomáhá v medicíně, přesněji ve stomatologii se jmenuje CEREC[17]. Hlavním cílem tohoto robota je vytvořit korunky na zuby. CEREC ofotí obraz vyčištěného defektu zubu. Tyto obrazy jsou následně zpracované, je navržen model korunky a předloží řešení stomatologovi. Erudovaný stomatolog může měnit model korunky v závislosti na pacientově anamnéze. Následně stomatolog vysílá tyto informace do obráběcího stroje, který umožňuje vyrobit korunku v závislosti na nastavených parametrech stomatologa. Korunka je vyrobena z porcelánu a je dokončena během několika minut. Hlavní výhodou oproti tradičnímu přístupu je vysoká úroveň hygieny a přesnosti.

2.3 Astronautika

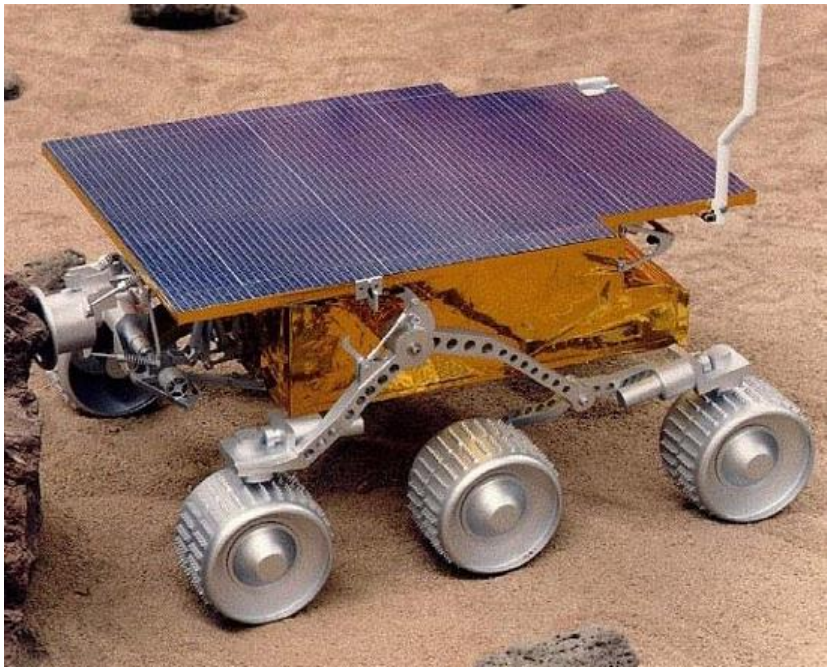
V kosmonautice je primární vývoj mobilních robotů, robotických ramen, manipulátorů apod. Hlavním cílem robotů je zkoumání neznámé planety a povrchů v prostoru. Roboti v kosmonautice se také používají k analýze hornin, manipulaci s materiálem, vyhledávání pramenů, dalších známek života, odběru vzorků hornin, půdy, vody, atd. Tato zařízení musí

splňovat velmi přísná kritéria (spolehlivost, přesnost, vytrvalost, atd.) a musí být schopna pracovat v extrémních teplotách, tlaku, ve větru a s přihlédnutím na další aspekty ve vesmíru. Například, na Marsu je průměrná denní teplota nižší než -50 ° C[17, 26].

Astronautika je celosvětově primárním oborem při vývoji nových, dosud neznámých materiálů a technologií a strojů. Ukazuje, jak splnit velmi přísná kritéria a limity robotiky. Roboti, kteří byli vyvinuti nejprve pro kosmonautiku, jsou úspěšně používáni v medicíně, v armádě, kybernetice, vzdělávání, automobilovém průmyslu a dalších oborech.

`Sojouner`

Tento typ průzkumného mobilního robota byl použit v misi 6. 7. 1996 [26]. Je to stroj se šesti koly, používá podvozek kolébkového systému, což znamená, že robot se může otáčet na místě; přední a zadní kola jsou otočná. Vozidlo bylo řízeno operátorem ze Země. Robot měl za cíl analyzovat půdu a skály na Marsu, jinými slovy analyzovat povrch Marsu. Má rozměry 0,65 x 0,48 x 0,30 m s hmotností 10,6 kg. Rychlost pohybu je 1 cm / s a v misi cestoval téměř 80 m do maximální vzdálenosti 100 m od MARS Pathfinder. Energie Sojouner je realizována ze 0,22 m2 solárních panelů a také má primární baterie jako zdroj napájení. Sojouner během mise na Marsu je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 2.7: Sojouner [26]

`Rocky 7`

Tento typ mobilního robota byl postaven v roce 1996 jako další generace mobilních robotů[27], které jsou nástupcem Sojouner. Rozměry jsou pouze 0,60 x 0,40 x 0,25 m a robot váží 16 kg a má 3 páry kamer se stereo viděním. Jeden pár má širokoúhlé vidění v přední i zadní části a jeden pár je s úzkým zorným polem upevněným na tyči. Mobilní systém používá kolébkový podvozkový mechanismus, který je k dispozici pro Rovers (JPL). Pouze přední kola jsou poháněna, zadní podvozková kola nejsou poháněna. Pole se nachází přes otvor na solárním panelu. Pevná tyč nese navigační kamery do výšky 1,4 m nad terénem.



Obrázek 2.8: Rocky 7 [27]

2.4 Roboty pro vědu a vzdělání

`Khepera, Khepera II, Khepera III`

Tito roboti jsou skvělými nástroji pro studium robotiky a vědy. První verze Khepery byla postavena již v roce 1992. Výhodou je, že Khepera má minimalistické rozměry - průměr 55 mm, a jen výška 30 mm. Jedná se o miniaturního robota. Vzhledem k malým rozměrům je Khepera vhodná pro studium a praktické experimenty, jako je vyhýbání se překážkám, box tlačení, spolupráce v minimálním prostoru, často menší než na stole. V průběhu času byl robot Khepera vyvinut ve 3 verzích. Tyto tři generace modelu Khepery jsou kompatibilní. K programování používá IDE LabView, ale můžeme použít i jiný IDE (sériový port). Khepera má také realizované infračervené senzory (IR) a Khepera III je navíc vybaven 5 ultrazvukovými snímači. Khepera roboti jsou charakterizovány jejich modularitou a minimalistickými rozměry a každý robot může být vybaven dalšími moduly pro konkrétní použití. Khepera robot s čidly je znázorněn na následujícím obrázku.

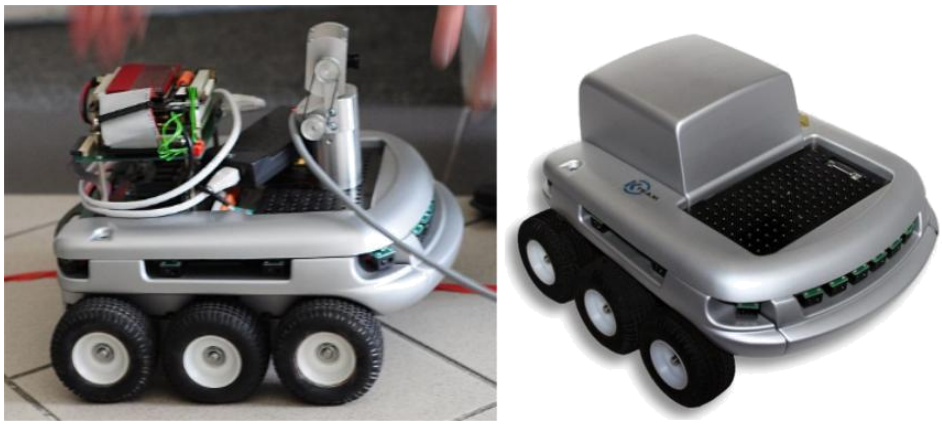


Obrázek 2.9: Khepera III

`Koala, Koala II`

Koala je středně velký robot vyvinutý stejnou společností K-Team Corporation jako Khepera. Je určený pro studium a vědu stejně jako bylo uvedeno výše u robota Khepera. Ale Koala je fyzicky větší než Khepera a je také silnější. V praxi je Koala také používán pro

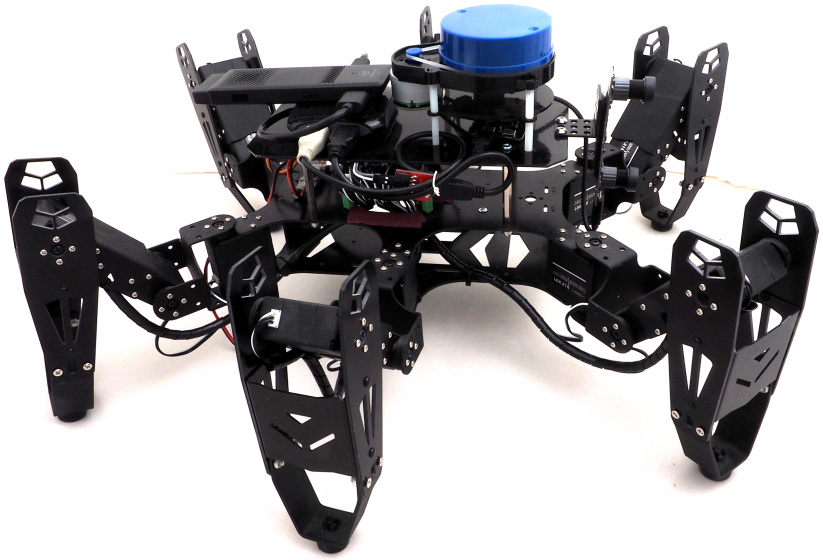
podobné úkoly jako Khepera, ale kvůli větších rozměrů ve větším prostředí, například stůl, podlahy apod. Jinými slovy můžeme říct, že Koala je větší a silnější verze Khepery. Běžné úlohy pro Koalu jsou vyhýbání se překážkám, tlačení boxu, počítačové vidění aplikace, jako je rozpoznávání znaků pomocí integrované kamery, atd. a také je více modulární než Khepera[34]. Koala má funkci nezbytnou k použití v praktických pokusech, jako je sofistikované řízení baterie. Koala je vybaven tříosou nápravou pro použití v interiéru terénní, a infračervenými senzory. Obě verze mají kompatibilní BIOS, a tak je možné sestavit a upravit programy mezi Koala a Koala II. Pro Koala programování existuje podpora mnoha IDE (Integrated Development Environment), jako standardní vývoj cross-C a více sofistikovaný software, jako je LabVIEW®18 , MATLAB®19 nebo SysQuake20. Jakýkoliv IDE může být použit, zda je schopen komunikovat přes sériový port. Koala může být dodatečně vybavena různými moduly a 1 nebo 2 kamerami (stereo-vidění). Následující obrázky ukazují specifikace Khepera II, III a Khepera Koala robotů. Na následujícím obrázku vidíte Koala robot v akci během rozpoznávání značek a vyhýbání se překážkám.



Obrázek 2.10: Koala

`Pavouk s pokročilými senzory`

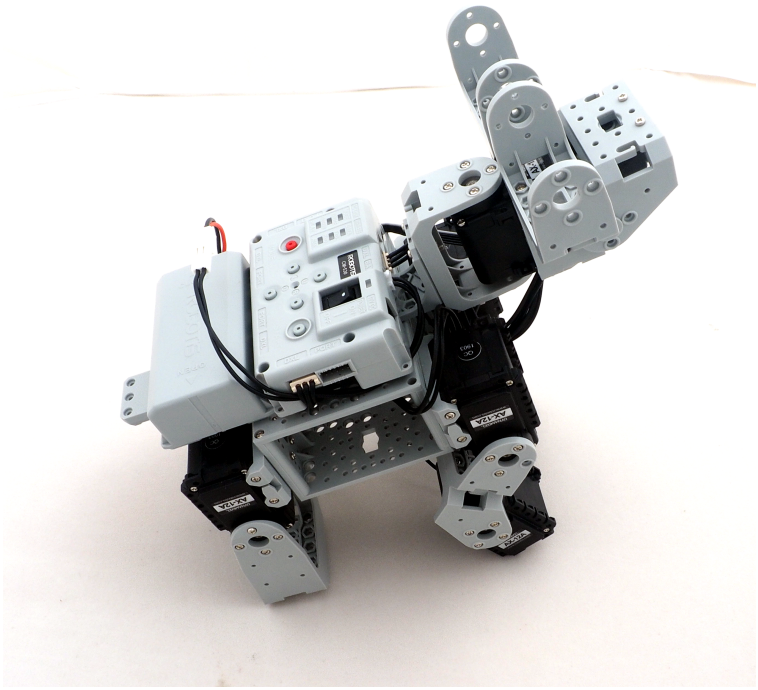
Robotický pavouk je zástopcem robota inspirovaného biologickým vzorem. Pohyb pavouka má svá specifika oproti klasickým automotivním robotům, nebo bipedickým robotům. Vyniká především stabilitou a dostupem do těžce přístupných lokalit. Nejmenší počet nohou pro stabilní postoj je tři (tříbodový). Níže uvedený robot má 6 noh. Tedy tři mohou stát a další tři zaujmount nové postavení. Po té následuje přehoupnutí do nové pozice. Robot má nainstalován 360-stupňový laserový skener a kamery. Nevýhodou více nohých robotů je spotřeba servopohonů, zde celkem 18.



Obrázek 2.11: Robot pavouk s pokročilými senzory [30]

`Robotická stavebnice Robotis`

Robotická stavebnice Robotis je celosvětově používána stavebnice pro výukové a výzkumné účely. Celkem je možno sestavit 29 sestav robotů. Obsahuje rovněž řídicí jednotku, senzory a komunikační interface, drátový a bezdrátový.



Obrázek 2.12: Sestavený robot ze stavebnice Robotis



Robotické systémy jsou často používány v oblastech vojenství, kosmonautice, medicíně, přesun objemných nákladů a ve školství a výzkumu. Současné aplikace jsou dány jednak technologickou úrovní a finanční náročností v dané oblasti. V současné době enormní vzrůst výkonů počítačových systémů vede k využití náročnějších metod a algoritmů. Tím se zvyšuje i přesnost robotických systémů, jako např. robotický systém daVinci. Nové materiály a technologie jsou především využívány ve vojenství a kosmonautice.



1. Ve kterých oblastech vznikají nejvýznámnější aplikace robotiky?
2. Co je to UGV, jakého zástupce znáte?
3. Existuje robotický chirurg? pokud ano, v čem je jeho výhoda?
4. Existují i vojenské aplikace UAV?

3 Senzory a aktuátory robotů



Po prostudování kapitoly budete umět:

klasifikaci senzorů v robotice;
taktilní senzory;
vnější a vnitřní senzory;
aktuátory;
inteligentní servopohony.



Klíčová slova:

senzor, aktuátor, IR, ultrazvuk, laser, kompas, kamera, termovize, GPS, enkodér, inkrementální, akcelerometr, gyroskop, motor, servo, inteligentní servopohon.

Senzory jsou obecně velmi důležité součásti robotů. S pomocí senzorů jsou roboti schopni vnímat, zjistit užitečné informace o okolním prostředí a vnitřní informace o sobě samém. Po zjištění informací ze senzorů může robot reagovat a změnit stav pomocí pohonů nebo aktuátorů, případně odeslat informaci.

Senzory mohou být upevněny na robotické paži nebo jako periferie. V případě mobilních robotů se snímače obvykle nachází v obvodovém směru nebo směrech, které jsou společné s pohybem robota.

3.1 Klasifikace senzorů

Senzory mohou být klasifikovány podle různých hledisek[28].

`To, co je měřeno`

- Vnitřní - umožňují odhalit vnitřní stav robota. Jinými slovy, vnitřní senzory jsou použitelné pro detekci parametrů, jako je rychlost, sledování komunikace, stav baterie, atd. Interní čidla se dělí na:
  - diagnostické senzory (například teplota motoru, stav baterie, atd.)
  - navigační senzory (zjištění informace, jako je pozice, rychlost, přímý pohyb, atd .; robot může být schopen vytvořit mapu cesty)
- Externí - umožňují zjistit informace v okolí robota (prostředí), jako je intenzita světla, vzdálenost, zvuk, teplota, atd, a také mohou být použity pro detekci fyzikálních polí (magnetické, elektromagnetické). Externích snímače jsou rozděleny do:
  - dotykové, kontaktní (mikrospínač, hladina pomocí plováku a kontaktu),
  - bezkontaktní (sonar, infračervené snímače, dálkoměry, IR senzory nebo kamery).

`Způsob měření`

- Aktivní - aktivní senzory vyzařují energii do prostředí. Je nutné toto vyzařování energie do prostředí, aby mohla být detekována odražená energie od předmětů prostředí.

Obvykle se jedná o nějaké fyzikální vlnění, ať elektromagnetické, nebo mechanické (například laserem u laserového dálkoměrem, který vyzařuje laserový paprsek a jeho čas vyslání-detekce dává vzdálenost, u ultrazvuku se jedná o Dopplerův jev, kde lze zjistit i rychlost pohybu).

- Pasivní - pasivní snímače energií pouze přijímají. Důležitou roli hrají fyzikální vlastnosti prostředí, ve kterém, se snímače nachází. Jednoduše řečeno se měří forma energie přijatá z okolního prostředí (fotoaparáty, akcelerometr, magnetometr (kompas) atd.)

`Externí senzory`

Jak bylo popsáno výše, vnější senzory umožňují sledovat interakci s prostředím, například překážky, určení vzdálenosti od překážky, apod. Známe 3 základní metody měření[28]:
- měření času (TOF) - senzory měří dobu mezi vysláním pulzu a přijetím.
- měření fázového posunu - tyto senzory měří změny fáze signálu,
- radar s FM.

`Taktilní senzory`

Taktilní senzory umožňují chránit robota, elektro-mechanické části aktuátorů, případně zjištění ohybu mechan. částí, zjištění překážky, atd. Tento typ je realizován kontaktním spínačem. Pokud robot je v kolizi s překážkou, přepínač reaguje pro zapnutí / vypnutí a následně elektrický obvod se otevře/ zavře a dojde ke změně logické úrovně. Pokud chceme připojit více přepínačů, musíme použít multiplexer vzhledem k omezenému počtu binárních vstupů mikropočítačů.

Mezi hmatové snímače můžeme uvést odporové tenzometry a tenzometry na bázi piezoelektrického jevu. Tento typ snímače může reprodukovat i kontinuální signál. Tyto senzory se používají např. při konstrukci 3D rukavic. Tenzometry mohou být využity k detekci zátěže, sevření chapadlem, identifikace kolize s překážkou, atd.

Taktilní senzory jsou běžně používány tam, kde může robot přijít do kontaktu s jinými předměty v prostředí; v případě mobilních robotů jsou taktilní senzory implementovány na přední, nebo zadní části robota.

3.2 Externí senzory

3.2.1 Infračervené senzory přiblížení

Infračervené senzory (IR), nazývané také senzory přiblížení, mohou pracovat ve 2 režimech. V prvním režimu pro binární detekci objektů, které se nacházejí v blízkosti kolem robota. Zde prahová hodnota určuje vzdálenost. V druhém - aktivním režimu na omezenou vzdálenost (desítky centimetrů) k určení vzdálenosti (např. v cm) od objektu. IR aktivní senzory pracují na základě emitace infračerveného paprsku, který se odrazí od objektu/ů a je následně detekován. Zdroj infračerveného světelného světla je obvykle infračervená LED dioda. Jako detektor se použije fototranzistor, který je citlivý v infračervené spektrum. Kvalita detekce, intensita odraženého infračerveného paprsku závisí na typu povrchu, barvě překážky a úhlu robota k překážce.

Pokud robot pracuje ve znečištěném prostředí, jako jsou prašné továrny, funkce fotoelektrických senzorů nejsou použitelné a jsou nespolehlivé. V tomto případě je nutné použít ultrazvukové senzory.

Příklady infračervených senzorů (infračerveného dálkoměr Sharp IR GP2Y0A21YK0F [28]):

Infračervený dálkoměr – měří v rozmezí od 10 cm - 80 cm, má analogové rozhraní, výstupní napětí je funkcí vzdálenosti, rozhraní senzoru je 3-drátové s napájecí, zemnicí a výstup. Tento snímač vyžaduje JST 3-pinový konektor RB-Lyn-164. Tento dálkoměr je znázorněn na obrázku níže.



Obrázek 3.1: IR senzor [28]

Sharp GP2D120 IR Dosah senzoruSestavený Velmi podobné jako u výše popsaného čidla, ale rozsah v omezení na 4 cm - pouze 30 cm. Stejné vlastnosti a uživatelské rozhraní. Na dalším obrázku je zobrazen senzor na robotu.



Obrázek 3.2: Senzor na robotu „srnec“

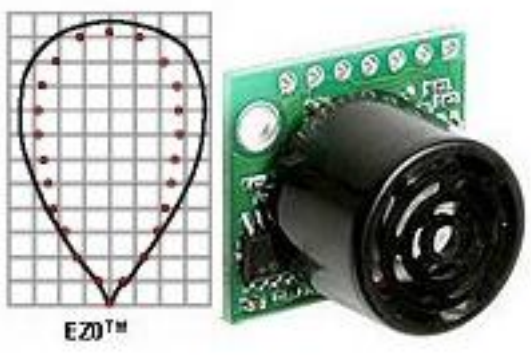
3.2.2 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory pracují na bázi ultrazvuku a odraženého ultrazvukového signálu. Frekvence ultrazvuku je nad 20 kHz, která přesahuje práh lidského citlivost na zvuk. Nejběžnější využití ultrazvuku v medicíně je u diagnostického lékařského (US modality) ultrazvukového zobrazení. Obecně ultrazvuk může pracovat s frekvencí až 40 MHz. Zobrazování ultrazvukem je založeno na odrazu zvukových vln od materiálu a je závislé na hustotě materiálu a teplotě. Použití ultrazvukového zobrazování je velmi široké - například chirurgie, osteosyntéza, v očním lékařství, atd. Ultrazvukové snímače jsou používány místo dříve popsaných IR senzorů. Vzhledem k nízké rychlosti zvuku můžeme dosáhnout poměrně velké přesnosti, ale naopak vzhledem k velkému útlumu signálu je řada ultrazvukových snímačů omezena od 0,2 m do 20 m. Nejlepší odražený signál je místo, kde se odráží od pevných předmětů s hladkým povrchem, které jsou směrovány kolmo k ultrazvukovému poli. Přes všechny zmíněné plusy mají ultrazvukové detektory 3 hlavní nevýhody:

- změna rychlosti signálu - rychlost zvuku je ovlivněna typem prostředí, teplotou, tlakem a vlhkostí (při změně teploty o 1 ° C, se může vyskytnout chyba 30 cm na vzdálenost 10 m.; Everett, 1985),
- povrch překážky- pro korekci detekce a měření vzdálenosti překážky je velmi důležitá odrazivost. Velké problémy jsou překážky, které pohlcují zvuk, např textil,

- pozice a odrazy - v případě, že plocha překážky není kolmá na šíření ultrazvukového signálu, nevrátí se signál přímo do senzoru, ale vznikají mnohočetné odrazy,
- tvar signálu a charakteristika vyzařování ultrazvuku se skládá z několika „laloků.“. Vzhledem k této skutečnosti může nastat situace, že nebude detekován objekt, který se nachází v ose senzoru. Je třeba zmínit, že tvar laloku je trojrozměrný a sonar proto může detekovat objekt, který je umístěn mimo rovinu snímače. To je užitečné pro objekty, které mění tvar v závislosti na výšce, jako například stůl, židle, atd.

V rozmezí od 15 cm do 6,45 m s rozlišením 2,54 cm (1”) a velmi malé rozměry - 22,1 x 19,9 x 16,4 mm, tak. Tento ultrazvukový senzor je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 3.3: Ultrazvukový senzor Maxbotix LV-MaxSonar-EZ0 High Perf. [31]

3.2.3 Laserové snímače

Laserové snímače nazývané také jako LIDARy snímají profil ve 2D, nebo 3D prostoru. Vzdálenost od překážky je dána dvěma režimy. První z nich je založen na měření doby šíření světla od senzoru k překážce a zpět. Druhý režim je založen na detekci fázového posunu mezi příchozím a odchozím paprskem. Laserové snímače mohou detekovat mnoho pouze pasivním objektem v širokém rozsahu úhlů.

Laserové snímače mají důležité výhody - jsou rychlejší než ultrazvukové senzory a měření není ovlivněno vlastnostmi okolního prostředí, jako je teplota, vlhkost, atd. Pomocí laserových snímačů lze také detekovat objekty jakéhokoliv povrchu. Částečné nevýhodou je skutečnost, že laserové senzory ve 2D rozmítají paprsek v jedné rovině (instalace čidla), což znamená špatnou detekci objektů, které se nacházejí pod, nebo nad rovinou detekce.

Rozsah je omezen na 20 mm do 4000 mm, pracovní napětí 5V, oblast snímacího rozsahu 240 °, úhlovým rozlišením 0,36 °. Obsahuje USB port. Hokuyo skenovací laser s portem USB portem je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 3.4: Hokuyo URG-04LX laserový dálkoměr s USB portem [35]

Senzor integrován do robotického pavouka:



Obrázek 3.5: Laserový dálkoměr na těle robota [30]

3.2.4 Kompasy

Pro orientaci v prostředí lze použít magnetické pole Země. Tím můžeme měřit magnetické pole hodnotou azimutu (je úhlové měření ve sférickém souřadnicovém systému). K měření magnetického pole se používá magnetometr. Pro mobilní roboty jsou využívány elektronické kompasy, které umožňují měřit malé magnetické pole Země. Průměrná síla magnetického pole je 0,5 Gauss. Tato zařízení vyžadují přesné ustanovení horizontální úrovně. Hodnota azimutu může být ovlivněna úhlem stejně jako úhlová odchylka od osy x (nazývané jako chyba náklonu). Kompasy můžeme rozdělit podle způsobu měření magnetického pole do následujících skupin[28]:

- mechanické magnetické kompasy;
- magnetoinduktivní kompasy;
- magnetorezistivní kompasy;
- magnetoelastické kompasy;

- Hallovy kompasy.

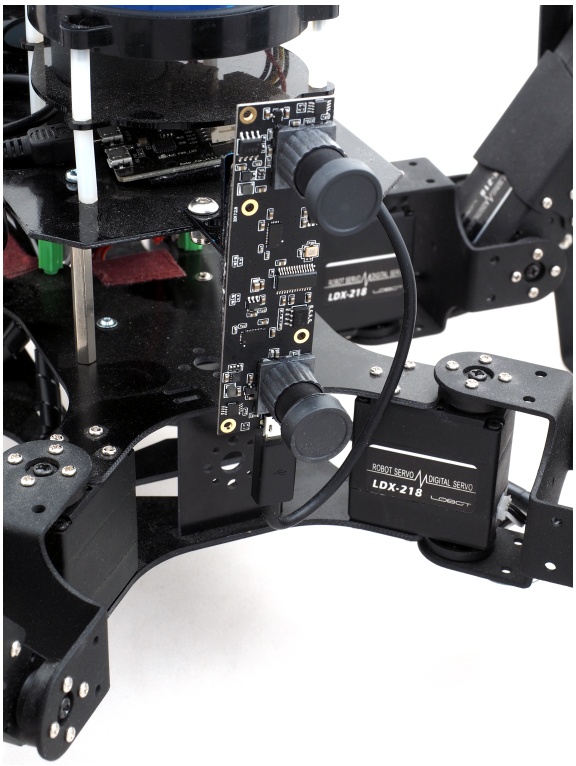
Kompasy mají typické problémy spojené s magnetickým polem Země, protože magnetické pole je často rušeno elektrickým vedením, což jsou zařízení, která vysílají magnetické pole a železnými konstrukcemi. Popsaný problém je velmi často hlavně uvnitř budov. Roboti mají také kovovou konstrukci a vydávají vlastní magnetické pole; navíc pomocí elektromagnetických částí uvnitř robota, jako je baterie, motor, apod. Pokud robot má statické magnetické pole, tento účinek může být eliminován kalibrací kompasu.

3.2.5 Kamerové senzory

Kamerové senzory jsou velmi důležitou součástí robotů pro analýzu objektu a překážek v prostředí, kde se robot pohybuje. Počítačové vidění a zpracování obrazu je relativně nová oblast s mnoha praktickými aplikacemi a studiemi. Počítačové vidění je nedílnou součástí robotiky. V poslední době je počítačové vidění použito v mnoha aplikacích v robotice, medicíně, biomedicínském inženýrství, rozpoznávání obrazu a rekonstrukce, CAD / CAM systémech, atd. Také se používá pro mnoho softwarových simulací. Kamerové senzory jsou důležitou součástí řídicích systémů (například průmyslových robotů), 3D konstrukce a vizualizaci, řízení montáž, OCR rozpoznávání obrazu podle tvaru a barvy a následně počítačové analýzy, jako je segmentace obrazu, apod. Kamerové senzory jsou realizovány pomocí kamer instalovaných na robotech. Hlavním cílem těchto kamer je přeměna světla, které projde optickou soustavou na elektrický signál. V praxi se používají 2 různé základní typy:

- CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) - špatná citlivost na světlo (problém s málo osvětlenými místy, jako jsou chodby, tunely, atd), ve výsledku dostaneme obrázky se šumem.
- CCD (Charge Coupled Device) Tento typ se používá v kamerách více než 20 let. Má lepší světelnou citlivost v tmavém prostředí. V porovnání s CMOS kamerami jsou dražší. Tento typ kamer má problémy s protisvětlem (slunce, reflektor, atd.), výsledkem je obrázek se světlými pruhy.

V dnešní době se používá vice kamer se synchronizací, např pro stereovidění.



Obrázek 3.6: Kamery pro stereoviděni na těle pavouka [30]

3.3 Vnitřní senzory

3.3.1 Tachometry

Otáčkoměry jsou senzory, které se používají k detekci rychlosti otáček. V robotice se nejčastěji používají induktivní a impulzní tachometry. Mezi induktivní tachometry patří elektrodynamické tachometry. Kromě toho jsou tachometry také rozděleny na tachodynama, které používají stejnosměrný proud a tachoalternátory, které používají střídavý proud. Impulzní tachometry pracují na principu měření četnosti definovaného pulsu. Tachodynama pracují na základě indukce elektrického napětí ve vedení, které se otáčí v magnetickém poli.

3.3.2 Akcelerometr

Senzory tohoto typu se používají k měření statického a dynamického zrychlení. Akcelerometry jsou také užitečné pro měření odstředivé a setrvačné síly, kromě toho detekce, vibrace, atd.

V prvním případě se měří síla, která je založena na změně rychlosti, který vzniká změnou rychlosti objektu (v tomto případě robot), v druhém případě vzniká gravitace. Dynamickou akceleraci můžeme měřit.

3.3.3 Optické enkodéry

Zařízení v mobilní robotice, která zjišťují otáčky kola robota, nebo jeho rychlost pohybu využívají optické snímače – optické encodéry. V současné době se používají enkodéry, které jsou realizovány téměř uzavřeným optickým válcem, ve kterém jsou otvory. Těmito otvory je možné provést kódování pozice válce. Tato pozice bývá obvykle vyjádřena úhlem. Enkodéry mohou mít různý počet bitů. Počet odečítaných bitů dává počet kombinací, tedy i přesnost odečtu úhlu. Obecně jsou kodéry rozdělených na dvě skupiny, na relativní a absolutní. Relativní enkodér pouze zjišťuje rychlost nebo otáčky. Relativní snímače se stejným rozlišením jsou levnější a dostupnější. Vyhodnocení informací je rovněž jednodušší.

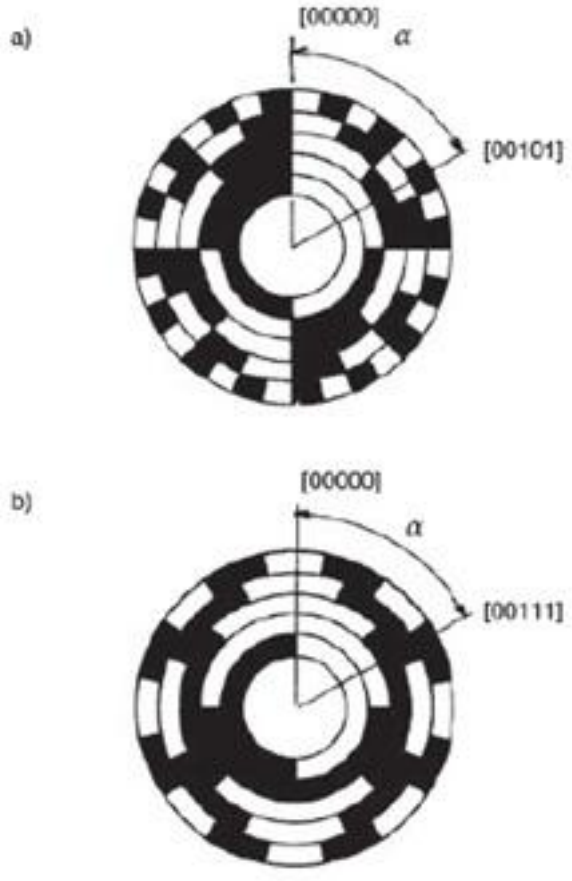
Relativní snímače lze rovněž využít pro absolutní měření polohy natočení. K tomu je třeba přidat další kanál, nebo kontakt pro detekci. Tento kontakt hraje roli referenčního bodu. V praktické aplikaci jsou použity relativní snímače s referenčními.

3.3.4 Inkrementální optické snímače

Nejjednodušší typ snímače je snímač s 1 kanálem Jedná se o snímač, který vytváří pevný počet obdélníků nebo sinusových impulsů pro jednu otočku. Tyto snímače jsou velmi vhodné jako zpětnovazební snímače v systémech, které se pohybují vysokou rychlostí. V důsledku chyb kvantizace nejsou použity pro systémy při extrémně nízkých otáčkách. Typické maximální rozlišení pro kodér o průměru 5 cm je 2540 pulsy. Nevýhodou 1 - kanálového snímače je nemožnost detekce směru. Tento problém detekce směru řeší fázový kvadraturní inkrementální snímač[29], kde se použijí 2 optické snímače s fázovým posunem 90 °, viz obrázek níže. Vzhledem k této technice je schopen snímač detekovat i směr. K určení referenčního bodu jsou snímače vybaveny třetím kanálem. Tento kanál má pouze jeden otvor a generuje 1 impuls po celou otáčku.

3.3.5 Absolutní optické snímače

Absolutní snímače se obvykle používají v aplikacích s pomalejšími rotacemi, kde může být tolerováno ztracení informací o poloze v případě výpadku napájení. Optický válec, jak bylo řečeno výše obsahuje několik bitů kódovaných do výsledné hodnoty. Počet poloh je dán 2ˆn, kde n je počet bitů, nebo počet kanálů snímače. Obecně se uvádí, že přidáním jednoho bitu na paralelní kód, tedy zvýšení rozlišení dvakrát, zvýší cenu čtyřnásobně. Výstup ze snímače je jistě paralelní příliš, což komplikuje konstrukci vstupního rozhraní. Jak jsme vysvětlili výše, absolutní enkodéry mají lepší použití při pomalejším pohybu - obecně pro snímání úhlu, sklonu. Zároveň musíme brát v úvahu nižší odolnost vůči vibracím a pádům a nižším rozsahu teplot. V ceně snímače absolutních hodnot je nižší než v případě relativních snímačů.



Obrázek 3.7: Inkrementální čidlo [29]

3.3.6 GPS

Jedná se o navigační technologii, také nazývanou systém globální navigace, který byl nejprve určen pro armádu USA (NAVSTAR). V současné době je přístupná pro běžné civilní použití a je široce používána. V robotice je GPS používán k navigaci mimo objekty. GPS je určen pro určení polohy a času na Zemi. Tento systém můžeme rozdělit do 3 podsystémů (segmentů). Prostor segmentu v plné kapacitě obsahuje 24 satelitů (obsahuje 3 výměny), které obíhají kolem Země každých 12 hodin ve výšce asi 20,190 km. Čtyři satelity na každé z 6 drah s úhlem 55 ° od rovníku[32]. Uživateli segmentu jsou navigační přístroje pro běžné uživatele. Toto zařízení kromě určování polohy může určit další veličiny, jako je nadmořská výška, rychlost, plánování trasy atd. Plánování trasy je nejčastější důvod, proč si kupují navigace běžní uživatelé. GPS přijímače nelze najít, protože nekomunikují s družicemi; přijímače přijímají pouze signál ze všech satelitů. Přesnost GPS můžeme rozdělit do 2 hlavních kategorií - pro civilní a armádní použití. GPS pro civilní použití má přesnost asi 5 až 10 m. GPS pro armádu má lepší přesnost. GPS jsou dnes používány v osobní navigaci v automobilech, v turistice, na lodích apod. Stále častěji jsou GPS moduly integrovány v mobilních telefonech s mapovou aplikací pro silnice a turistické navigace. GPS je primární systém pro venkovní roboty. Hlavními výhodami systému GPS je vysoká přesnost a spolehlivost pro obyčejné uživatele. Mezi nevýhody můžeme dát nemožnost měření v místech, kde není dobrá viditelnost na satelity, například lesní, podzemní prostory, jeskyně, údolí, atd. Existují další navigační systémy, například Glonass, Galileo, Beidou, IRNSS, QZSS které pracují na stejném principu. GSM10/ GPRS11 Modul GM862-GPS Je to čtyřpásmový modul GSM / GPRS s 20-ti kanálový přijímač, integrovaná SIM karta, ovládání pomocí Python skriptů a AT příkazů, které jsou známy z telefonního spojení s modemem. Tento modul je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 3.8: GPS/GPRS modul

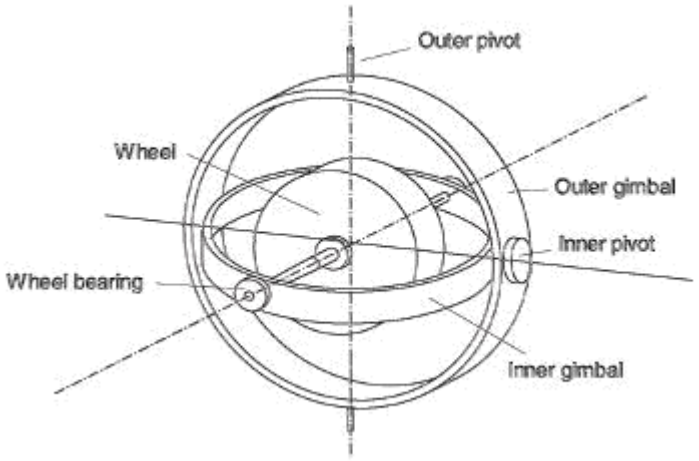
3.3.7 Gyroskopy

Snímače úhlové rychlosti (gyroskopy také nazývané jako gyrokompasy), jsou zařízení určená pro navigaci a určování směru. Jinými slovy, gyroskop je rotační mechanismus, podobně jako hračka káča, která při dostatečné rotaci odolnost proti vychýlení osy. Pomocí gyroskopu můžeme získat informace o natočení robota. Níže jsou uvedeny některé běžné metody pro měření úhlové rychlosti[28]:

- mechanické,
- Optické (FOG - Fiber Optic Gyroskop),
- MEMS (MicroElectroMechanical Systems).

3.3.8 Mechanický model

Je to nejstarší a nejjednodušší model gyroskopu, která se skládá z kotouče, který působí jako setrvačník (setrvačník nemění polohu během otáčení, a proto získává informace o orientaci v prostoru). Části gyroskopu musí být ve stejné vzdálenosti od středu. Obvykle se používá disk s velkým kruhem, uspořádání viz. následující obrázek. Každý objekt, který se otáčí, má tendenci se dostat do polohy s minimálním momentem setrvačnosti. Tento typ pohybu se nazývá precese; pokud se setrvačník pohybuje rychleji, precese je silnější a je větším problémem vychýlit osu setrvačníku z jeho rotačního pohybu. Použití gyroskopu bylo v torpédech, u stabilizace helikoptér, apod.



Obrázek 3.9: Mechanický model gyroskopu [28]

3.4 Aktuátory

3.4.1 Elektrické motory

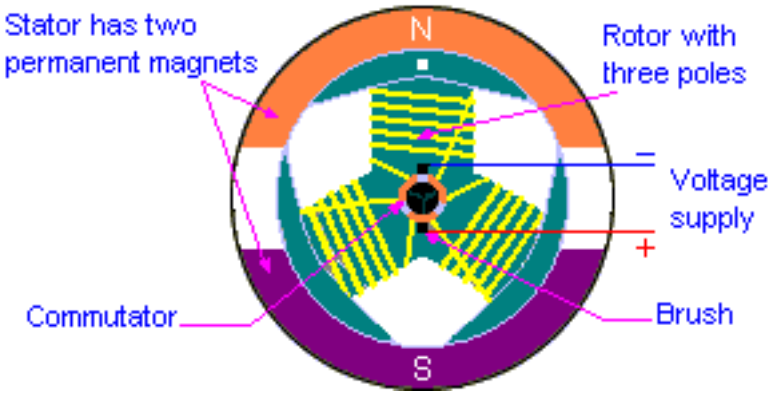
V dnešní době modelů letadel a vícevrtulových helikoptér je nejpopulárnější pohon elektrickým motorem.

Klasifikace elektrických motorů může být následující[32]:

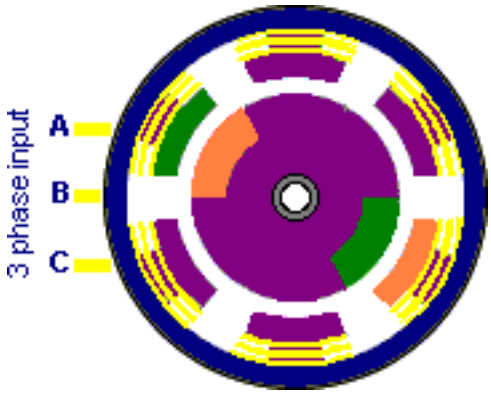
- stejnosměrné motory,
  - kartáčové
- střídavé motory,
  - synchronní
  - asynchronní
- krokové.

Stejnosměrné motory obvykle obsahují kartáče pro převod el. napětí a mechanický komutátor. Problémem je kratší výdrž kartáčů, zahřívání. Pohyb je vyvolán interakcí permanetního magnetu a cívky, která je pod napětím. Na následujícím obrázku je ilustrována struktura kartáčového motoru:

- stator - magnet,
- rotor s třemi cívkami,
- komutátor,
- kartáče připojené na zdroj el. energie.



Obrázek 3.10: Schema elektromotoru kartáčového [32]

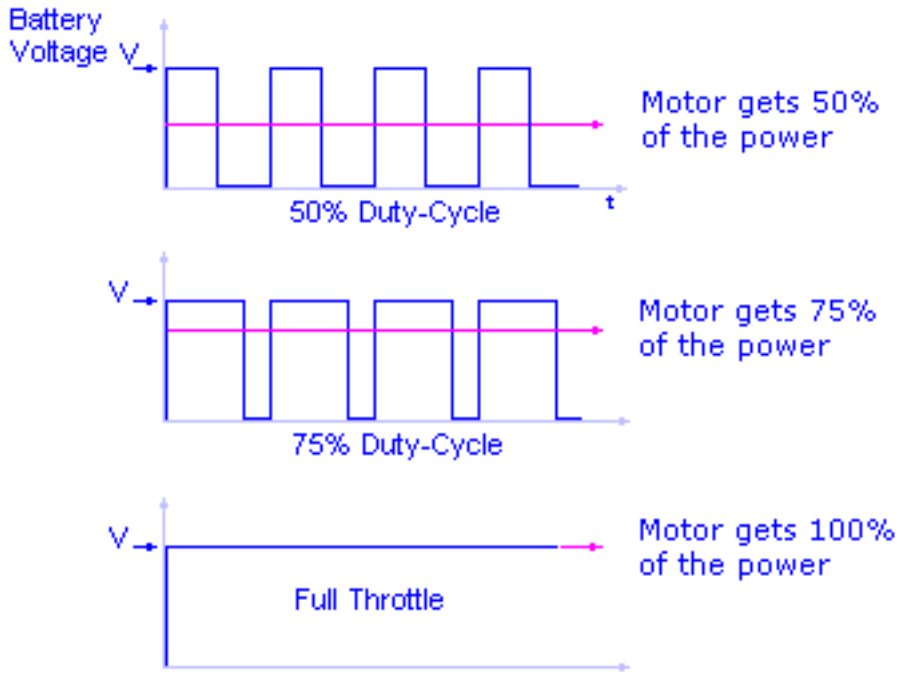


Obrázek 3.11: Schema bezkartáčového elektromotoru [32]

Oproti kartáčovým motorům, bezkártačové motory netrpí neduhy kartáčových. Kartáčové motory se nesmí používat ve výbušných prostorech. Rychlost otáčení bezkartáčových motorů může být podstatně větší a údržba je téměř minimální. Cívky u bezkartáčového motoru jsou pevné/statické, hýbe se magnet.

3.4.2 Regulátor otáček elektromotoru (ESC)

U elektrických motorů regulujeme otáčky regulátorem ESC. Ve většině případů se řídí otáčky pomocí pulsní šířkové modulace (PWM). Šířka pulsu určuje otáčky motoru. Příklad PWM signálu spolu s procentuální hodnotou výkonu je uveden na následujícím obrázku.



Obrázek 3.12: Příklad PWM signálů s procentuálními hodnotami výkonu [32]

Mnoho regulátorů ESC má bezpečnostní funkci pro zapnutí. Páčka vysílače musí být na nule aby se motor rozběhl, jinak se ozve varovný signál. Toto znemožní, aby se při připojení napájení neroztočil hlavní rotor helikoptéry. Většina ESC má rovněž obvod nazývaný jako BEC. Je to stabilizátor napětí pro přijímač a serva. ESC regulátory dále obsahují funkce:

- kontrola stavu baterie;
- identifikace typu baterie a počtu článku;
- kontrola pozice ovladače plynu;
- ochrana proti blokování rotorů.

3.4.3 Spalovací motory

Existují dva hlavní pohonné systémy používané v R / C modelech a malých UAV:

- spalovací motory,
- elektromotory.

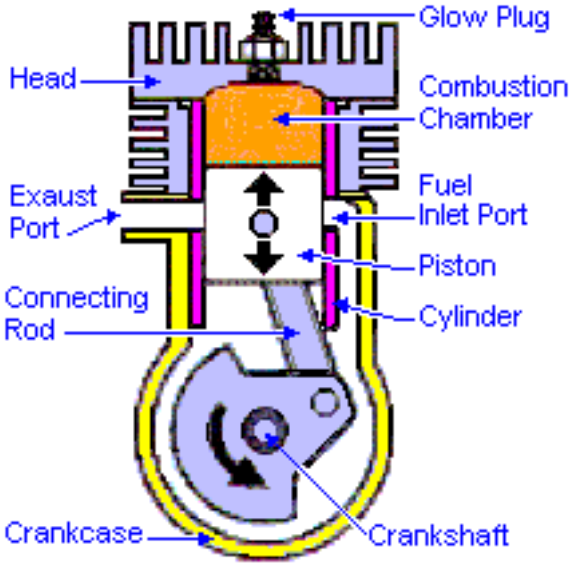
Spalovací motory mají stále vyšší poměr energie / hmotnosti, než baterie používané k napájení elektromotorů. Nicméně, spalovací motory jsou obvykle více hlučnější a náchylnější k úniku ropy, než elektromotory. Existují dva typy spalovacích motorů: čtyřdobé a dvoudobé. Dvoudobé motory jsou nejpoužívanější, hlavně proto, že se jedná o jednoduché, lehké, snadno ovladatelné. Tyto motory se snadno udržují. Dvoutaktní motory pracují při vysokých otáčkách, a proto jsou hlučné. Je třeba je vybavit tlumičem.

Čtyřdobé motory v porovnání s dvoudobými mají nižší otáčky a nižší výkon, ale větší točivý moment a jsou technicky složitější.

Spalovací motor se skládá v podstatě z částí [32]:

- zapalovací/žhavící svíčka,
- kliková skříň - pouzdro motoru,
- hlava s žebry chladiče,

- výfukový ventil,
- výfuk,
- karburátor - mix paliva a vzduchu,
- kliková hřídel.



Obrázek 3.13: Schema spalovacího motoru [32]

U dvoudobých motorů obvykle mísíme palivo s olejem v poměru 1:50. Pro zvýšení výkonu motorů RC heli používáme nitromethan.

3.4.4 Servopohony

Servopohony jsou dnes hojně využívány v RC, robotických a UAV systémech. Jsou obvykle řízeny speciálními deskami, nebo RC přijímačem. Servopohony se řídí např.:

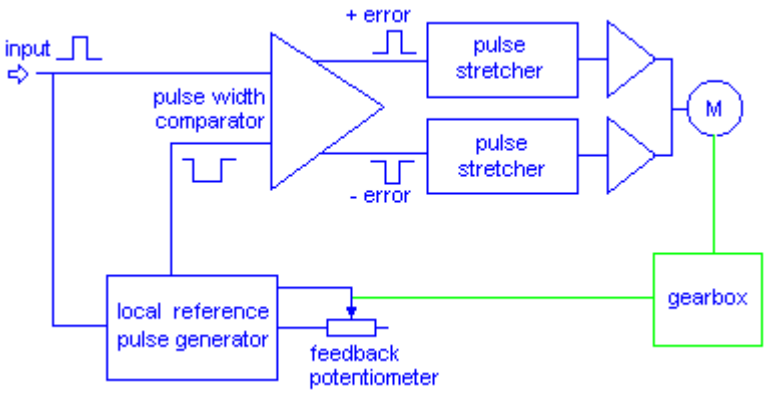
- křidélka u letadla,
- plynová klapka u spalovacích motorů,
- podvozek RC letadel,
- cyklika i helikoptér,
- části robota.

Servo se skládá z motorku, převodovky, potenciometru, řídící desky, páky na hřídelce serva.



Obrázek 3.14: RC mikro servo

Klasická RC serva se řídí PWM signálem. Tedy úhel páky serva je závislý na šířce impulzu. Vzhledem k tomu, že na servo působí vnější síly, je nutné udržet stejnou pozici. Využívá se zpětnovazební systém, kdy ke hřídeli serva je připojen potenciometr. Potenciometr mění odpor dle pozice, tedy i pozice páky. Řídící deska serva kontroluje šířku pulsu a porovnává ji s šířkou pulsu závislou na odporu potenciometru(pulsní generátor). V případě nesouhlasu vstupního pulsu a pozice, provede se korekce motorem do požadované pozice, kdy budou pulzy stejné. Rychlost serva závisí na převodu, rychlosti motoru a komparátoru.



Obrázek 3.15: Zpětnovazební systém řízení pozice serva [32]

V řídicí desce serva je nastaveno pásmo necitlivosti, je to proto, aby servo stále nevyrovnávalo pozici, i když je v toleranci nastavené hodnoty. Serva mají obvyklé časy vzorkování šířky impulsu na vstupu 20 ms, či 3,3 ms. Serva mají obvykle různé velikosti a tím i sílu momentu:

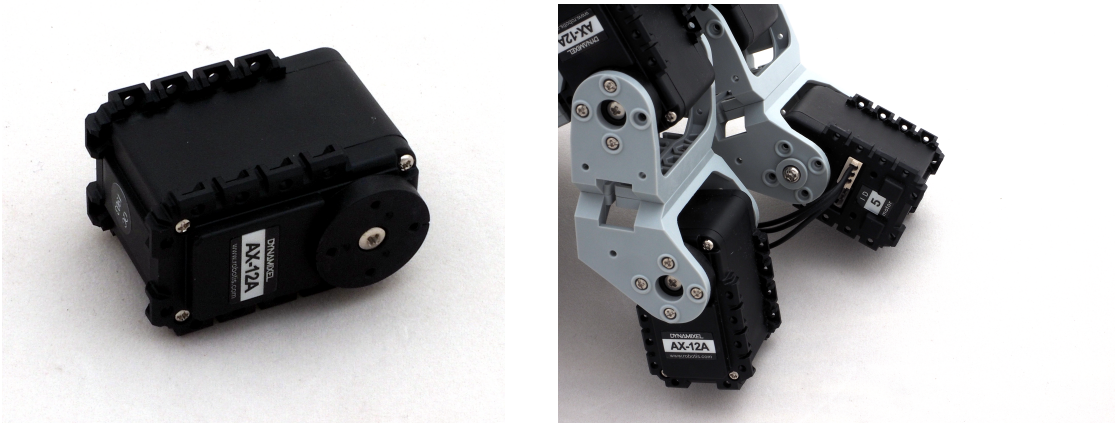
- velká - hmotnost kolem 100 g,
- standardní - 45 g,
- mini - 20 g,
- micro - 8 g,
- pico - 5.5 g.

3.4.5 Inteligentní servopohony

Inteligentní servopohony vznikly z požadavku robotiky, nejen nastavit konkrétní polohu, ale i zjistit aktuální veličiny serva, jako např.:

- aktuální pozici serva,
- teplota vnitřku serva,
- napětí, či proud,
- otáčivý moment serva,
- rychlost serva.

Tato serva většinou obsahují mikroprocesor, který lze konfigurovat. Komunikace je obvykle sériová, kdy každé servo má svoji identifikaci a jsou zapojeny do série.



Obrázek 3.16: Inteligentní serva Robotis, vpravo ID serva „5“



Senzory jsou obecně velmi důležité součásti robotů. S pomocí senzorů jsou roboti schopni vnímat, zjistit užitečné informace o okolním prostředí a vnitřní informace o sobě samém(taktilní senzory). Klasifikovat senzory můžeme podle měřené veličiny a způsobu měření. Pro pohyb robota a změnu prostředí se používají aktuátory. Aktuátory mohou být různě řízeny a mohou spotřebovávat různý typ energie, nebo chem. látky. Některé aktuátory mohou mít i zabudované senzory pro zjištění provozních hodnot



1. Klasifikujte senzory podle způsobu měření.
2. Vyjmenujte senzory s aktivním měřením.
3. Klasifikujte elektromotory dle spotřeby, mechanické výdrže a typu napětí.
4. Jaké inteligentní aktuátory znáte?

4 Základní procesorové desky s příslušenstvím



Po prostudování kapitoly budete umět:

charakterizovat Von Neumannovu architekturu;
vysvětlit vhodnost Harwardské architektury;
vysvětlit pojem programátor(mikroprocesoru);
popsat základní funkce IDE pro procesory.



Klíčová slova:

Vestavěný systém, embedded, mikroprocessor, Von Neumanova architektura, Harwardská architektura, IDE, FPGA.

4.1 Vestavěný systém

Jedná se o řídicí systém, který je zpravidla uvnitř ovládaného zařízení. Tento systém provádí pouze nezbytné funkce pro a priori definovaný úkol. Vzhledem k této skutečnosti, vestavěný systém má nižší nároky na hardware. Vestavěné systémy najdeme v běžně používaných zařízení, jako jsou PDA, smartphone, atd. S ohledem na hardwarové vlastnosti, vložené systémy jsou rozšiřitelné a použitelné jako běžné PC. Software pro vestavěný systém je obecně nazýván jako firmware. Tento systém obvykle počítá s omezenými zdroji v zařízení. Vestavěný systém je konstruován a testován velmi přesně s cílem pracovat bez chyb, autonomně nebo se schopností dělat automatické opravy.

4.2 Mikroprocesor

Mikroprocesor je elektrická součástka ve formě integrovaného obvodu (čipu), který provádí definované úlohy. Mnoho výrobců vyrábí různé typy mikroprocesorů. Stejně jako u vestavěných systémů, se setkáváme s mikroprocesory v automobilech, mobilních telefonech, MP3 přehrávačích a dalších běžně používaných elektronických zařízeních.

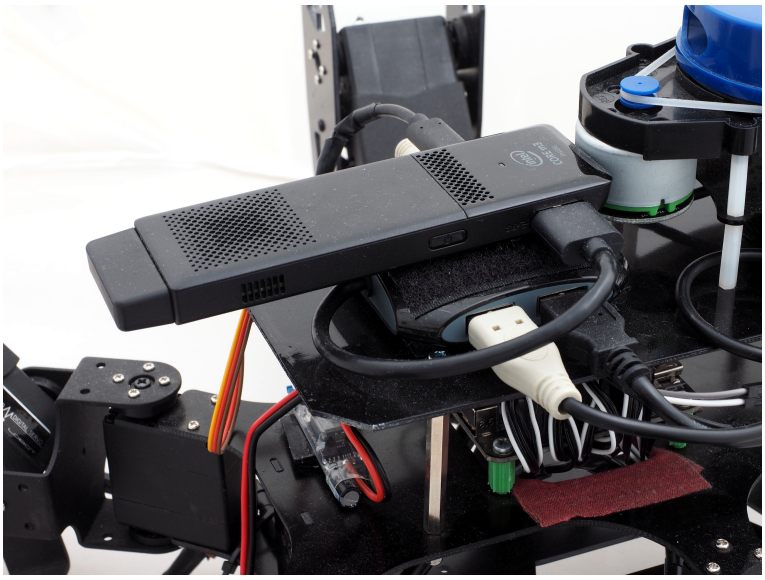
Mikroprocesory mohou nahradit velké a drahé elektronické zapojení složené z diskrétních součástek a jednoduchých integrovaných obvodů. Architektury mikroprocesorů dělíme na Von Neumannovu a Harvardskou architekturu.

4.3 Von Neumannova architektura

Tato počítačová architektura je založena na „jedné paměti“, ve které je obsah schopen se interpretovat jako programový kód nebo data podle aktuálního kontextu. V případě, že programový kód obsahuje instrukce a „skoky“ do paměti dat, počítač se snaží interpretovat instrukce z uložených dat. Toto vede k fatální chybě systému. Rovněž je zde možnost, aby kód modifikoval sám sebe, což může být rovněž nebezpečné (bezpečnost).

4.3.1 Intel Compute Stick STK

Vzhledem k výkonostním parametrům se mohou používat malé počítače Intel Stick [33]. Jsou to malé výkonné počítače, jejichž ekvivalenty můžeme najít v nettopech, nebo slabších noteboocích. Obvykle založené na platformě Atom nebo M verze.

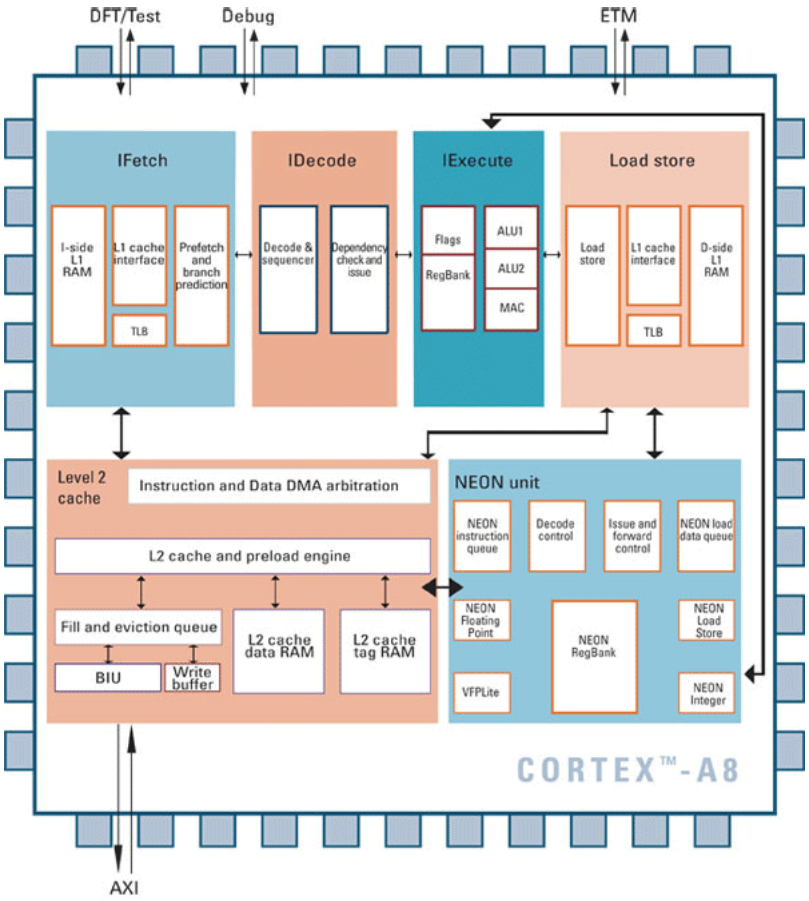


Obrázek 4.1: výpočetní systém na robotovi pavouk [30]

4.4 Harvardská architektura

Je to architektura počítače, ve které jsou programové instrukce a data uloženy v různých pamětech. Data nemohou být zaměněna za instrukce. Každý typ paměti je zajištěn prostřednictvím samostatné paměti a sběrnice, což rovněž umožňuje načítat instrukce a data paralelně. Významnou nevýhodou je náročná úprava stávajícího programu a naopak výhodou je vysoká bezpečnost uložených programů. Tato architektura předpokládá použití 2 sběrnic, což na jedné straně zvyšuje složitost zařízení, na druhé straně, šířky sběrnice mohou být odlišné a optimalizovány pro různý rozsah adres. Navíc procesor může číst z obou sběrnic zároveň. Další dělení mikroprocesorů na CISC (Complex Instruction Set Computer) a RISC1(Reduced Instruction Set Computer) procesory. CISC procesory jsou vybaveny plnou instrukční sadou, RISC s omezenou instrukční sadou. Výhoda menší instrukční sady je v jednodušším dekodéru instrukcí a větší rychlosti dekódování instrukce, než je možné u architektury CISC.

ARM (Advanced RISC Machine)



Obrázek 4.2: ARM Cortex 8 s blokem Neon [36]

Tato procesorová architektura byla vyvinuta firmou ARM Limited v roce 1984. ARM procesory jsou založeny na RISC architektuře. ARM procesory můžeme najít v běžně používaných přístrojích spotřební elektroniky (mobilní telefony, PDA, multimediální přehrávače, kalkulačky, přenosné herní konzole, routery, atd.) Desítky výrobců mají procesory ARM ve svém výrobním programu. ARM architekturu nejčastěji používají ve vestavěných systémech. ARM obsahuje 44 základních instrukcí s konstantní bitovou šířkou 32 bitů. Více informací o architektuře ARM procesorů [37].

4.5 AVR

AVR je druh RISC mikroprocesoru založený na Harvardské architektuře od Atmel Corporation. U AVR byly odděleny paměť a sběrnice pro data a programy.

AVR mikroprocesory mohou být naprogramovány mimo aplikaci zasunutím do programátoru (paralelní) nebo v aplikaci - zapojení, kde se programuje přímo (sériově)[38]. V případě paralelního programování je obvod navržen tak, aby spojení programovatelného napětí bylo na konkrétním kolíku obvodu. Následně se provádí přepínání pinů z normálního režimu I / O portů pro prog. a datových terminálů vnitřní paměti. Po naprogramování je přepojování obvodů zpět. V případě sériového programování, kdy mikroprocesor zůstává v aplikaci a prostřednictvím některých signálů připojených k programátoru, může být jednoduše programovatelný. Toto programování se nazývá ISP. Schopnost některých mikroprocesorů a programovatelných logických obvodů je taková, že mohou být naprogramovány uvnitř okruhu bez nutnosti vyjmutí a následně se vloží do speciálního zařízení určené speciálně pro tento účel.

Velmi známé AVR mikroprocesory jsou ATTiny, ATmega. ATmega mikroprocesory jsou vybaveny JTAG qRozhraní navrženým tak, aby měl softwarové ladění v aplikaci. PIC jsou 8 nebo 16 - bitové CISC procesory založené na architektuře Harvard s instrukční

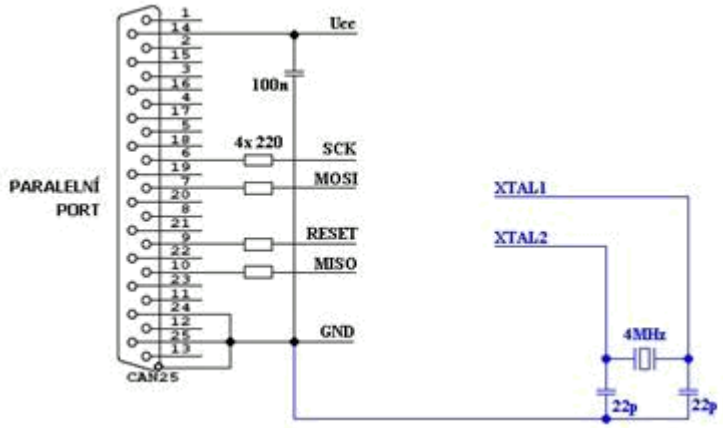
sadou, ve které je pouze 35 až 70 instrukcí v závislosti na modelu procesoru.

4.6 Programátor

Jedná se o el. obvod, který komunikuje mezi mikroprocesorem a PC. Programátor je schopen načíst (export) program nebo data do obvodu, který je určen pro ITS. Tento obvod je ve formě mikrořadiče, paměti nebo programovatelného hradlového pole.

Nejjednodušší model programátoru ISP je jen LPT konektor s kabelem, 4 odpory a 5V napájení [43]. Hardware lze jednoduše sestavit například pomocí univerzálního plošného spoje a několika součástek. Následující schéma znázorňuje zapojení obvodu níže.

Na obr. 1.2 Schéma jednoduchého programátoru



Obrázek 4.3: Programátor [43].

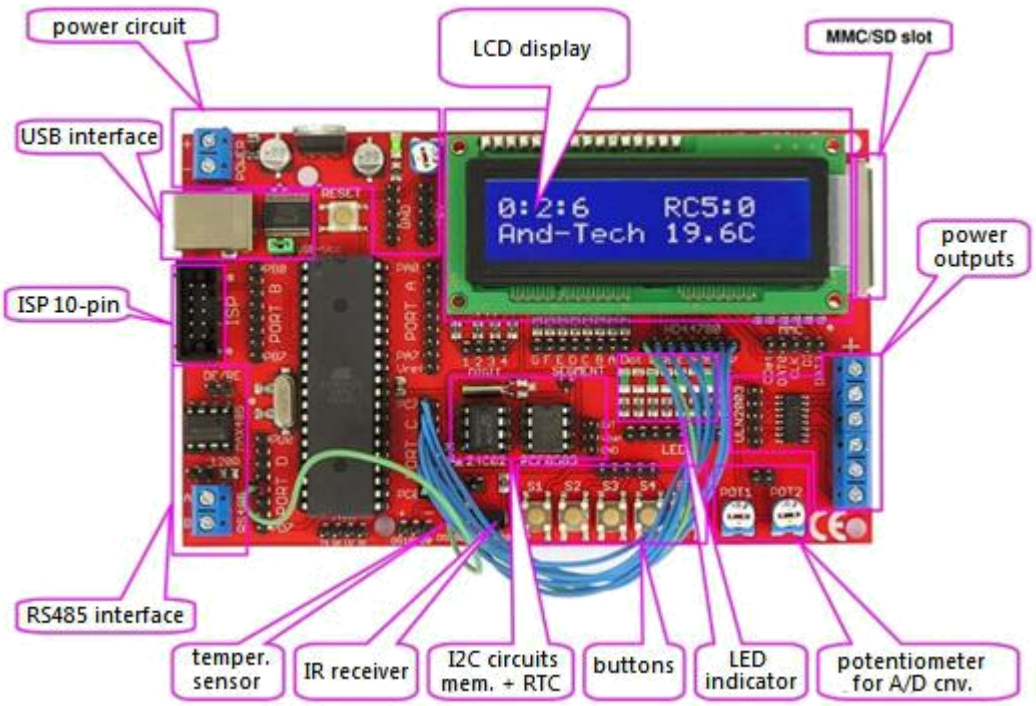
Některé typy programátorů:

- STK200;
- STK500;
- AVR Prog;
- USBasp;
- The Dragon (USB);
- JTAG (IEEE 1149,1).

4.7 Vývojové kity

Vývojový kit je zařízení, které obsahuje důležitou součást, například mikrokontrolér, řídicí obvod napájení se spínacím režimem a další podpůrné komponenty k programování a správné funkčnosti kitu. Obvodové řešení je v drtivé většině podle doporučeného zapojení výrobce mikrokontroléru. Vývojový kit může být připojen jako typická aplikace, pro konkrétní řešení. Vývojové kity jsou dodávány s mikroprocesory - Atmel, Microchip, ST, Texas Instruments.

Vývojové kity jsou také vyvinuty nezávisle na výrobci, protože výrobce ne vždy poskytuje optimální řešení.



Obrázek 4.4: Vývojová deska platforma AVR [41]

Mikroprocesor může být naprogramován v základním jazyku, což je assembler a ve vyšších programovacích jazycích (C, Basic, Fortran, atd), máme-li kompilátor, který převádí tento zdrojový kód do strojového kódu použitého mikroprocesoru.

Programování pomocí C, C++ nebo jiného vyššího programovacího jazyka má některé výhody, ale samozřejmě i nevýhody. Vzhledem k vyšší úrovni jsou transparentní programové konstrukty a logické součásti, jako jsou bloky, smyčky, podmínky, než v případě použití assembleru. Takže díky vyššímu programovacímu jazyku můžeme efektivně rozdělit program do bloků. Mnoho vývojových prostředí formou IDE poskytují zvýraznění syntaxe barvou (základní příkazy pro cykly, podmínky, prohlášení, funkce, atd.). Na druhou stranu jsme odkázáni na kvalitu kompilátoru, přesněji, jak kompilátor sestaví výsledný program z instrukcí instrukční sady použitého procesoru. Musíme čekat, že v průběhu provádění programu, který je naprogramován v programovacím jazyce na vysoké úrovni, potřebuje více

paměti a tak výkon bude obecně pomalejší. Tato nevýhoda není příliš významná pro jazyky, které mají blízko k hardwaru, jako je například C nebo C ++.

V případě použití assembleru máme největší kontrolu nad tím, co má mikrořadič dělat. Zároveň máme přímou kontrolu nad vstupy a výstupy, můžeme ovládat celou paměť.

4.8 Vývoj softwaru

Vývoj softwaru v prostředí IDE je velmi důležitou součástí programování mikroprocesoru. IDE umožňuje vytvářet, simulovat a ladit projekty před přenosem do hardwaru. Ladění je velmi důležité a užitečné; můžeme simulovat chování zařízení. Některé běžně používané IDE:

AVR Studio - IDE od Atmel Corporation pro tvorbu, simulaci a ladění projektů. AVR Studio je primárně určeno pro programování v assembleru, ale je schopno pracovat s jinými kompilátory (C nebo C ++). Podporuje také hodně známý GCC překladač pro programovací jazyk C.

PonyProg - velmi známý a oblíbený GUI nástroj pro Windows a Linux pro programování mikroprocesorů a pamětí. Mnoho typů bylo testováno a PonyProg poskytuje velkou hardwarovou podporu od různých výrobců.

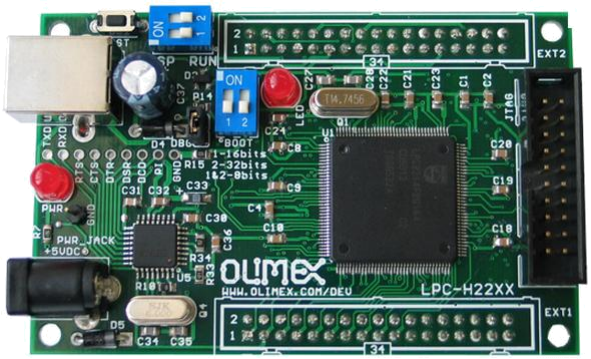
Eclipse - univerzální IDE pro programování v jazyce Java, C, C ++. Eclipse je naprogramován v jazyce Java a je použitelný pro programování AVR, ARM nebo x86 (PC); Eclipse lze použít pro platformy FPGA např. Xilinx, Altera.

Základní desky s procesory

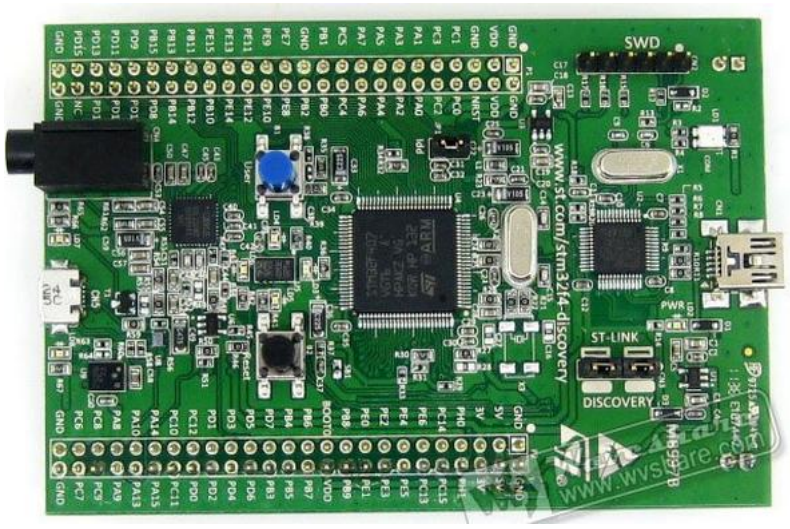
Následující tři obrázky ukazují příklady některých běžně používaných základních desek.



Obrázek 4.5: LPC 1798-H s mikrokontrolérem Cortex M3



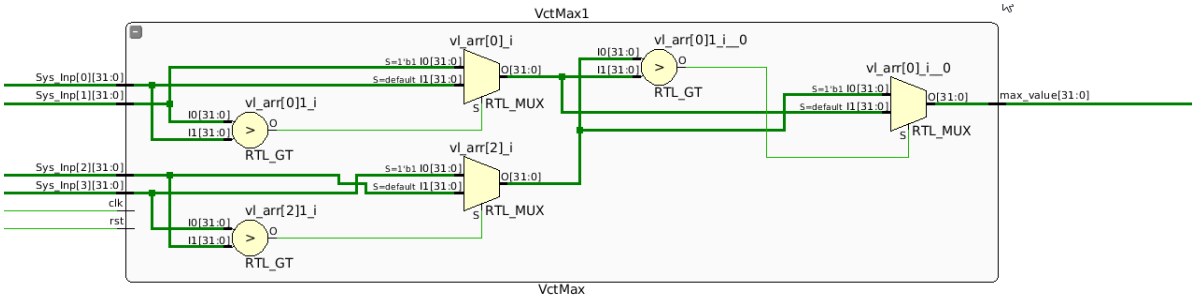
Obrázek 4.6: Olimex LPC-H2214



Obrázek 4.7: STM32F4-Discovery

4.9 Elektronicky programovatelný HW.

Při reálném návrhu robotických systémů, kde je třeba modelovat jednoduchý, nebo komplexní systém v reálném čase, je nutné provést implementaci na hradlovém poli - FPGA. Hradlové pole obsahuje několik primitivních prvků, jako např. DSP(digitální signálový procesor), bloky, logické bloky, bloky paměti RAM, budiče, multiplexory, programovatelné cesty mezi bloky. Z daných prvků je možné postavit vlastní procesor, či interface pro senzory/aktuátory. Je rovněž možné navrhnout a elektronicky naprogramovat funkcionalitu části robota fungující v řádech mikrosekund. Příkladem je implementovaná funkce VctMax [40, 30]hledající maximum ze čtyř 32 bitových čísel. Rychlost výpočtu v desítkách nanosekund.



Obrázek 4.8: Funkce VctMax v grafické podobě implementovaná na hradlovém poli [40].

Srdcem robota je řídicí systém. Tento systém může být vestavěný-embedded systém. Součástí vestavěného systému je obvykle mikroprocesor, který reflektuje Von Neumannovu, nebo Harvardskou architekturu. Oproti klasickému stolnímu počítači vestavěný systém obsahuje velké množství interface, analogových vstupů a výstupů. Digitální vstupy a výstupy jsou rovněž důležité. Pro vývoj SW/firmware se používájí integrované vývojové systémy (IDE) ve kterých je možno ladit SW/firmware, i vzdáleně. V případě nutnosti velmi rychlých odezev je potřeba využít programovatelné elektroniky, jako FPGA.



1. Popište Von Neumannovu architekturu.
2. Vysvětlete vhodnost Harwardské architektury,
   proč se používá častěji než Von Neumannova?
3. K čemu se používá IDE? Popište hlavní funkce.
4. Jakou technologii použijete v případě nutnosti velmi rychlých odezev systému?

5 Napájení a dálkové ovládání robotů



Po prostudování kapitoly budete umět:

klasifikovat základní typy nabíjecích baterií;
vysvětlit základní postupy při nabíjení baterií;
popsat základní konfiguraci RC vysílací soupravy;
zabezpečení přenosu.



Klíčová slova:

NiCd, NiMH, Li-Ion, Li-Pol, článek, nabíjení, kapacita, balancér, teplota, dálkové ovládání, RC souprava, FHSS, FASST, DSSS, PPM, CRC.

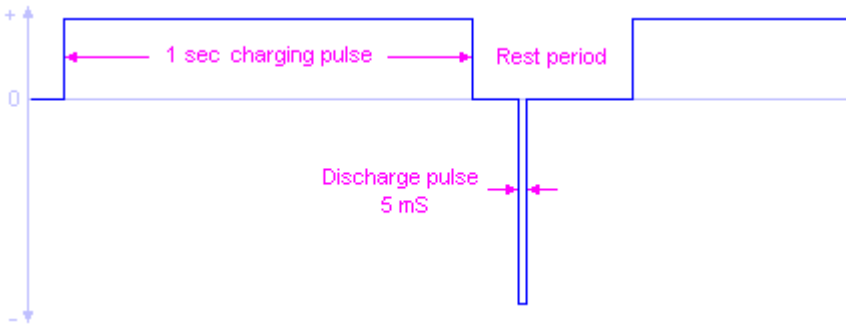
5.1 Akumulátory

Baterie jsou k dispozici v různých velikostech, hmotnostech, napětích a kapacitě C. Kapacita se uvádí v ampér hodinách Ah nebo miliampér hodinách mAh. Jako příklad, baterie s kapacitou 500mAh by měly poskytovat 500mA v průběhu jedné hodiny. Dnes jsou na trhu dobíjecí typy baterií:

- NiCd,
- NiMH,
- LIPO,
- LiFe,
- Olověné akumulátory.

5.1.1 NiCd, NiMH

Nikl-kadmiové (NiCd) baterie byly vytlačeny metal hydridovými (NiMH) bateriemi, které netrpí tak velkým paměťovým efektem. U obou variant dochází k samovybíjení. Rychlost samovybíjení se zvětšuje se zvyšující teplotou. Počet nabíjecích cyklů je 600-800. Nabíjení jmenovaných typů akumulátorů se provádí proudem rovnajícím se 1/10 kapacity (0.1C) v čase cca. 14 hodin. Nominální napětí u jmenovaných článků je 1.2 V. V případě rychlonabíjení je třeba sledovat změnu napětí a změnu teploty. Změna napětí se sleduje jako diference dvou hodnot obvykle v rozmezí rozmezí10 - 20 mV na článek NiCd a 5 - 10 mV u NiMH. Některé nabíječky umožňují baterie vybít před nabitím, což formuje baterii. Další možností je pulsní nabíjení, kdy se akumulátor nabíjí a ustálí, případně krátkým pulsem vybíjí. Proces ustálení, nebo krátkého vybití umožňuje zmenšit tlak v baterii a lepší difuzi kyslíku.



Obrázek 5.1: Pulzní nabíjení NiCd akumulátorů [32]

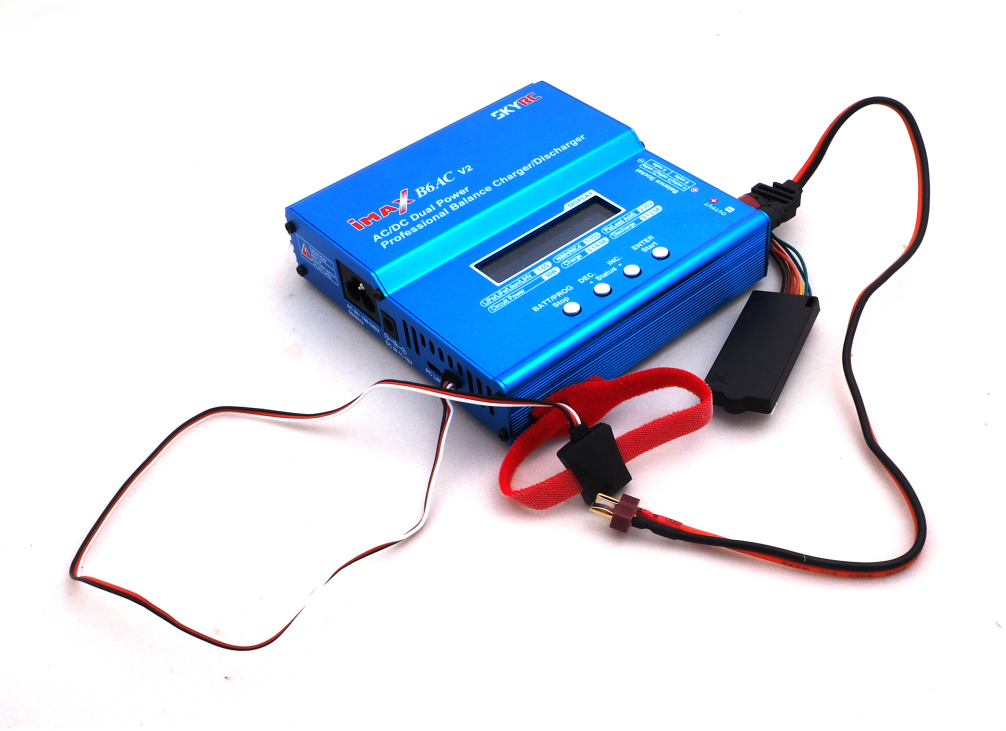
5.1.2 Li-Ion, Li-Pol

Nové typy akumulátorů vzešly z RC modelářství. Tyto akumulátory mají podstatně větší hustotu energie než NiCd a NiMH baterie. Označujeme jako Li-Ion (tekutý elektrolyt), Lithium-Ion Polymer (gel plochý elektrolyt) a zejména Li-Pol (pevný polymerní elektrolyt). Jeden článek (Li-pol nebo Lipo) má napětí 3,7 V, 4,2 V maximálně a minimální 3.0 V. Pod 3.0 V dochází obvykle k degradaci článku.



Obrázek 5.2: Baterie LiPO v plastovém pouzdře [30]

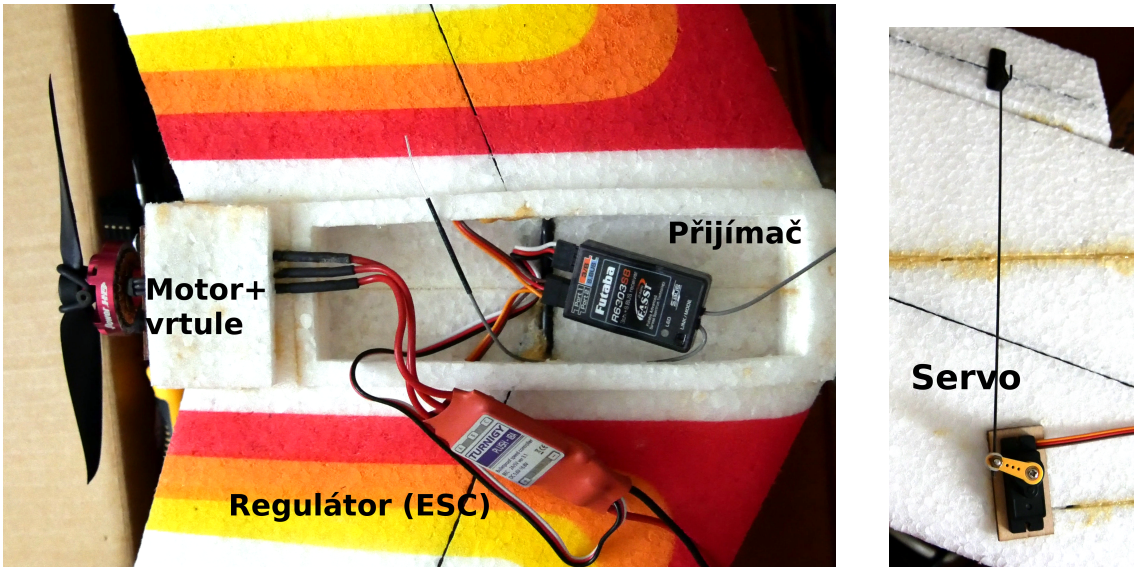
Maximální rychlost nabíjení se doporučuje 1C - 3 C, zatímco vybíjení je možné kolem 30 až 50 C. Tyto baterie mají velmi malý vnitřní odpor, což umožňuje lepší převod energie. Dnešní postupy nabíjení umožňují nabití i do 1 hodiny. U Li-Po akumulátorů se obvykle sčítají napětí na článcích, a to jednočlánková 3.7 V, dvojčlánková 7.4 V, tříčlánková 11.1 V až po šestičlánkovou 22.2 V. Z důvodu nesymetrického napětí na článcích je třeba použít balancér. Tím je umožněno nabití všech článků v řetězci. Na obrázku je dvoučlánková baterie se dvěma konektory. Jeden konektor je výkonový, připojený na sériové zapojení, druhý konektor zpřístupňuje jednotlivé články. Ten menší, s menšími průřezy, je použit na přesné dobíjení jednotlivých článků pomocí balancéru. Důležitou funkcí nabíječek je časovač náboje, kde se počítá proud a náboj, který baterie absorbuje. Pro konkrétní baterii z obrázku je mez 50C. Při procesu rychlonabíjení se rovněž kontroluje teplota, čidlo teploty s páskem na opásání baterie měří teplotu v rozmezí 10-80'C.



Obrázek 5.3: Nabíječka s balancérem a měřením teploty [30]

5.2 Dálkové ovládání robotů

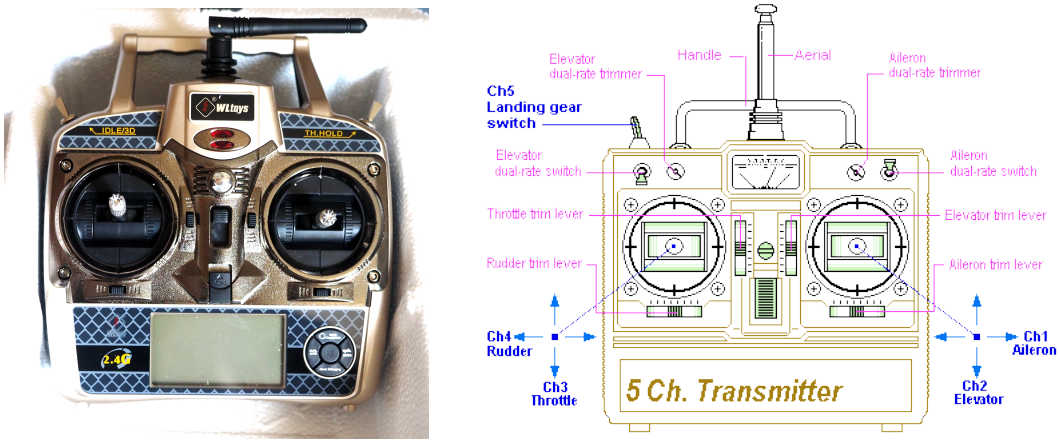
V minulosti, kdy nebyl pojem robotika tak znám, vznikali různé systémy na dálkové ovládání, především rádiově řízené modely a vojenské aplikace. Tento systém se obecně skládá z vysílače, přijímače, akčních členů, regulátorů a motorů. Na následujícím obrázku je vidět část deltového samokřídla. Toto křídlo obsahuje přijímač povelů, regulátor otáček (ESC) střídavého bezkartačového motoru a serva pro řízení křidélek. Regulátor otáček pomocí BEC dodává napájení 5V přijímači a servům. Baterie LiPol se připojuje na regulátor otáček.



Obrázek 5.4: RC výbava delta samokřídla [30]

U této konfigurace deltového samokřídla si vystačíme se třemi nezávislými kanály. U složitějších modelů může narůstat počet kanálů podle počtu akčních členů. Typický RC

Vysílač má asi 4 až 8 kanálů. Jednotlivé kanály může mixovat, aby se dosáhlo požadovaného řízení letadla pomocí ovládacích prvků z vysílače.



Obrázek 5.5: 5-kanálový RC vysílač, schema [32]

5.2.1 RC vysílač

RC vysílače musí umožnit řízení letadla, nebo helikoptéry jednoduchým a rychlým způsobem. Na vysílači jsou dva hlavní ovladače, a to vlevo ovladač plynu a řízení letu vlevo, či vpravo. Pravý ovladač umožňuje řídit klonění vpravo, vlevo a klopení dopředu, nebo dozadu. další důležité ovládací prvky jsou trimování přesné nulové pozice serv pro stabilizaci modelu. Další přepínače mohou ovládat křivky dual rate, exponenciální. Další ovladač je použit pro vytahování podvozku a dalších uživatelských funkcí. Důležité jsou rovněž informace o parametrech modelu zasílaných telemetrií, tedy z paluby modelu. Tato telemetrická data mohou informovat o:

- teplotě motoru;
- aktuální spotřebě;
- množství paliva, nabití akumulátoru;
- otáčkách motoru;
- pozici modelu;
- zapnutém fail safe stavu;
- scéně před modelem z kamery;
- výměně vysílacího a přijímacího modulu, nebo krystalu;
- výběru nezarušené frekvence.

Z pohledu učení pilotáže je podstatná další funkce, a to mód učitel - žák. Podobně jako v autoškole může učitel zasáhnout do řízení auta, u RC modelů je propojen vysílač žáka s vysílačem instruktora. Instruktor může přepnutím ovladače převzít kontrolu na RC modelem a korigovat manévr žáka, nebo přistát. V současné době jsou RC vysílače vybaveny mnoha dalšími funkcemi:

- nastavení mixu pro letadlo, delta samokřídlo, helikoptéru;
- změna charakteristik na uživatelské;
- přepínaní konfigurace, např. akro mód;

- bezpečnostní pojistka rozběhu motoru;
- lcd display s grafickým vyobrazením modelu a funkcí;
- křížový ovladač pro konfiguraci parametrů;
- zobrazení telemetrických dat;
- zobrazení visuální informace před modelem.

Z popisu, co vše zajišťuje RC souprava je jasné, že nároky kladené jsou vysoké v oblasti spolehlivosti a bezpečnosti. Podstatný je tedy způsob modulace informací posílaných, přijímaných (telemetrických) a zabezpečení.

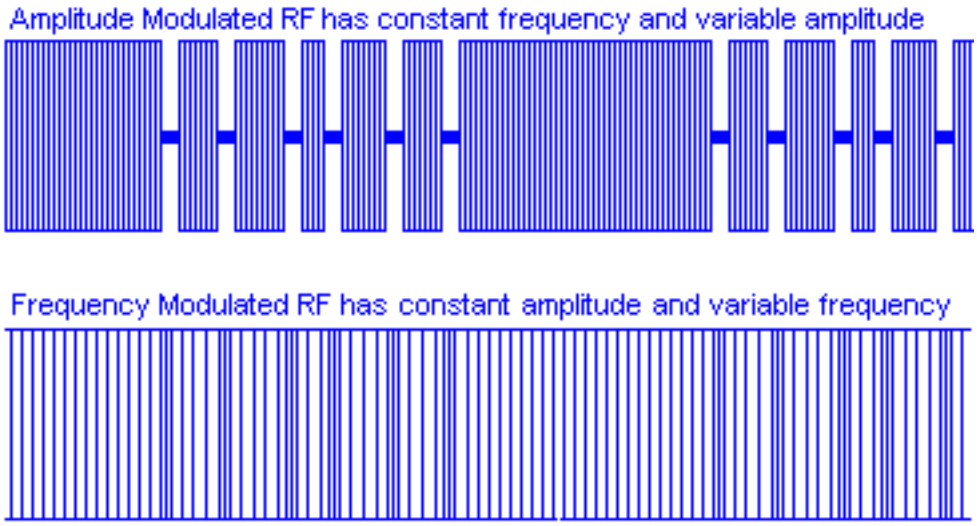
5.2.2 Frekvence a modulace

Vysílací frekvence, na které mohou vysílače RC souprav vysílat, jsou dány nadřízenou autoritou, např. v ČR Českým telekomunikačním úřadem ČTU. Frekvenční pásma v USA jsou pro létající modely 72MHz na kanálech 11 až 60 s dělením 20 kHz. U pozemních modelů (auta, lodě, roboty atd.) 75 MHz na kanálech 61 až 90. Ve většině evropských zemí je frekvenční pásmo pro létající modely 35MHz na kanálech 55 až 90. U pozemních modelů je 40MHz (od 40,665 do 40,995) MHz. Používat můžeme pouze schválené kmitočty. Předstartovní postup pro přípravu RC soupravy je následující:

1. ověřit, že v blízkosti neoperuje vysílač na stejné frekvenci, měříme detektorem frekvencí a kanálů;
2. v případě, že jsme nedetekovali stejnou frekvenci, nebo kanál, pokračuj bodem 4;
3. v případě, že ano, zvolit jinou frekvenci, nebo kanál z krystalů, které jsou k dispozici, pokračovat bodem 1;
4. krystaly shodné ve vysílači i přijímači? pokud ano, pokračuj bodem 6;
5. zasunout stejný krystal do vysílače i přijímače, bod 6;
6. můžeme provozovat RC soupravu+
7. vždy nejprve zapnout vysílač a potom přijímač.

Případ, kdy máme RC soupravu s vyhledáváním volného kanálu, popíšeme dále v podkapitole Moderní RC soupravy a FHSS.

Z hlediska modulace jsou využívány dvě, a to amplitudová a frekvenční. Následující obrázek ilustruje oba typy modulací.



Obrázek 5.6: Amplitudová a frekvenční modulace [32]

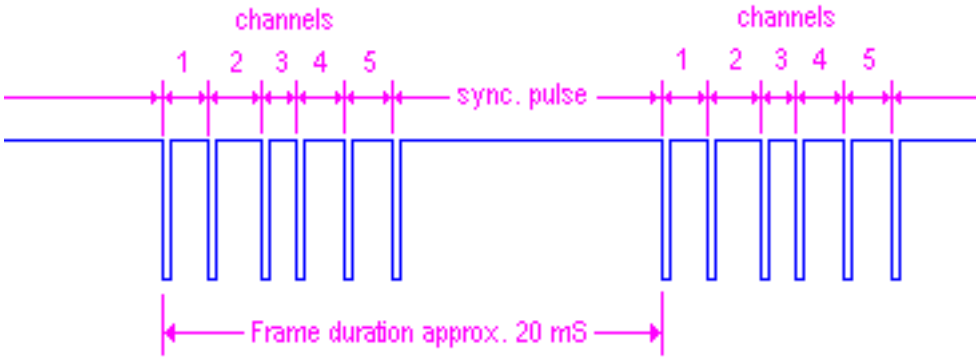
Amplitudová modulace moduluje amplitudu vysílaného signálu. Frekvenční modulace znamená, že vysílač vysílá data změnou jeho nosné frekvence s odchylkou +/- 1,5kHz z její nominální hodnoty. Výstupní výkon VF vysílače v kombinaci s citlivostí přijímače a selektivitou jsou hlavními faktory, které ovlivňují kvalitu a dosah vysílání. Nedílnou součástí je i VF anténa. Vzhledem k tomu, že na frekvenci 35MHz při odpovídající vlnové délce, je délka antény cca. 8,6 metrů, konstruktéři zvolili alternativní antény jako násobek 1/2 nebo 1/4 vlnové délky. Vzhledem k vyzařovací charakteristice prutové antény by neměl pilot směrovat osu antény k RC modelu.

5.2.3 Moderní RC soupravy a FHSS

V současné době je technologie bezdrátových sítí běžnou součástí života. Její základ byl položen ve druhé světové válce, kdy německá armáda vyvíjela dálkově řízené torpédo. Řešení bylo jednodušše odposlouchatelné a poruchové. S řešením tohoto problému přišli Markey Hedy Kiesler a Antheil George, navrhli systém FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Tento systém byl v 80-tých letech uvolněn pro civilní užití. Systém umožňuje vyřešit problém volby nejlepšího kanálu, komunikaci pouze s jedním přijímačem kvůli unikátnímu identifikačnímu číslu. Vysílač je třeba před funkcí RC soupravy spárovat s přijímačem. Nejznámějšími výrobci komunikačních systémů pro RC modely jsou Futaba, Spectrum. Futaba používá systém FASST, jehož základem je FHSS a Spectrum používá DSM - „Direct Sequence Spread Spectrum systém (DSSS), které se rychle přepíná mezi dvěma frekvencemi.

5.2.4 Kódování a dekódování

Abychom mohli poslat nastavení serv, rychlost motorů a další nastavení (kanálů), je třeba navrhnou kódovací a dekódovací algoritmus. Základní kódovací systém je systém PPM (pulzní šířková modulace) se skládá z rámce, který obsahuje pulsy synchronizace a pulzy v počtu přenášených kanálů. Délka přenášeného rámce je 20ms, což znamená, že data jsou odeslána při frekvenci 50 Hz.



Obrázek 5.7: PPM kódování kanálů [32]

PCM je druhá možnost kódování/dekódování. Hodnota z vysílače je binárně zakódována do 8-10 bitů, což odpovídá 256-1024 možnostem. Zde je možné základní zabezpečení např. paritou. Moderní systémy využívají i kontrolu cyklickým kódem CRC. V případě, že dojde ke ztrátě signálu v době zadané na přijímači, přijímač přejde do failsafe módu. Tento mód má za úkol pomocí kontinuálního nastavování serv a řízení motorů docílit, pokud možno bezpečného přistání.



Kapitola seznamuje s různými typy nabíjecích baterií, jejich vlastnostmi. Každý typ má kladné stránky, ale i jisté nedostatky. Dnešní univerzální počítačem řízené nabíječky umí minimalizovat problémy různých typů baterií. Například u LI-Pol baterií je výhodné použití balancéru, který normalizuje charakteristiky článků v baterii. Nabíječky monitorují nejen nabíjecí proces po elektrické stránce, ale umí monitorovat teplotu článku. Druhá část kapitoly pojednává o RC soupravách a dálkovém ovládání robotů. Dnešní RC soupravy neumožňují jen řídit robota, ale umožňují pomocí telemetrie přijímat informace senzorů robota, zároveň zabezpečit komunikaci a hledat optimální frekvence tak, aby se předešlo rušení.



1. Klasifikujte nabíjecí baterie v robotických aplikacích.
2. Vysvětlete hlavní klady a zápory jednotlivých typů baterií.
3. K čemu se používá balancér?
4. Popište hlavní součásti RC dálkového ovládání.
5. Jaké techniky se používají pro zabezpečení a omezení rušení?

6 Humanoidní roboti



Po prostudování kapitoly budete umět:

pojmy antropomorfismus, android, humanoid, kyborg;
popsat rozdíly mezi pojmy android, humanoid, kyborg;
popsat nejznámější humanoidní robotické systémy;
vysvětlit požadavky na technologie pro rozvoji humanoidních robotů.



Klíčová slova:

antropomorfismus, android, humanoid, kyborg, robot,
ASIMO, Nao, Kokoro, Robotis, Atlas.

Před několika lety počal v robotice trend antropomorfismu. To je trend, který je založen na tom, že u neživého objektu a umělých strojů jsou použity lidské vlastnosti, nebo jejich části (kostry, chůze, pohyb, atd.). Tento trend vedl ke konstrukci humanoida, přesněji robota, který má pohony (aktuátory), podobné člověku - ruce a nohy. Tato bytost se nazývá anthropomorph.

Android je antropomorfní tvor založený na biochemické bázi, a to nejen na mechanické bázi jako klasický robot. Když Karel Čapek napsal RUR drama (uvedené v první kapitole definice robota), neuvažoval o robotech z mechanických částí z plastových nebo kovových dílů. Představoval si robota jako živý organismus s ohledem na ochranu lidstva. Karel Čapek nevěděl, že v dnešní době bude jeho robot označován jako android.

Humanoid je obecně nejvíce pokročilá forma robota. Humanoidé jsou roboti, kteří mají vzhled a pohyblivost podobnou člověku a mohou mít i stejnou velikost jako člověk, nebo mohou být i menší. Jejich pohony jsou vytvořeny jako lidské končetiny (ruce a nohy). Humanoidi jsou také vybaveni spoustou senzorů, zejména pro snímání a zpracování obrazu, zpracování a analýzu hlasu. Nejvyspělejší humanoidi mohou být použiti v medicíně a armádě. Ale v dnešní době jsou humanoidi především používáni pro vědu a vzdělání. Lidé se mohou setkat s humanoidy (nebo kyborgy) ve sci-fi filmech, např. Terminátor, Já, Robot, Spiderman, Star Wars (R2-D2) atd.

Dalším pojmem robotiky je gynoid, zastupuje ženské pohlaví. Příklad gynoidky je Kokoro nebo Repliee Q1, viz níže. Hlavním představitelem vývoje robotiky je Japonsko, uvedený gynoid má asijské rysy (obličej, oči, atd.). Japonsko je globálně nejpokrokovější zemí v oblasti rozvoje robotiky, v roce 2004 bylo použito v Japonsku 356 500 robotů (nejen humanoidů).

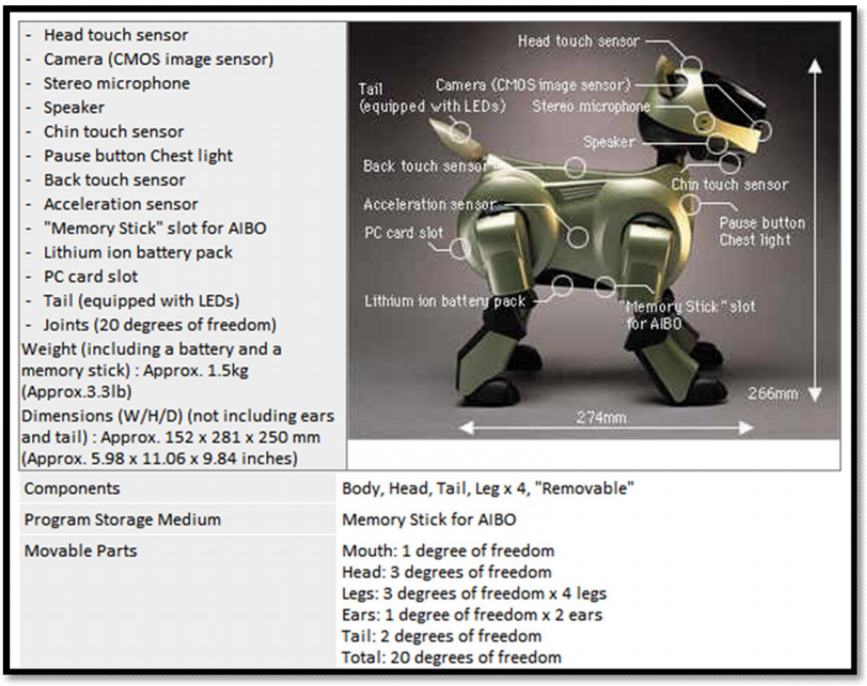
Humanoidi jsou často zaměňováni s dokonalými roboty. Humanoidi nejsou kyborgové! Kyborg je živý organismus (člověk nebo zvíře), který byl modifikován robotickými díly, ale humanoidní robot je jen neživý stroj bez biologického organismu. To je hlavní rozdíl mezi humanoidy a dokonalými roboty, které se běžně zaměňují.

6.1 Kyborgové vs. humanoidi

Jaký je skutečný kyborg? Klasický kyborg v dnešní době neexistuje, je to jen ve zmíněných filmech výše. Řekli jsme si, že kyborg je živý organismus, který má některé neživé části. Kyborg může být člověk, který má kardiostimulátor, naslouchátko nebo umělý kloub. Tyto případy plně vyhovují definici kyborga. V krajním případě můžeme považovat za kyborga

někoho, kdo měl injekci s umělým léčivem, například inzulín nebo intravenózní injekcí . Podobné je to u kontrastní látky, která se aplikuje před CT angiografii k vyšetření cév.

Nadmnožinou humanoidů jsou bioloidi. Bioloid je robot, který má vzhled podobný nejen člověku, ale i zvířeti, například pavouci, psi, kočky, atd. Nejznámějším příkladem bioloidu je pavouk, nebo pes. Obecně velmi známým příkladem bioloidu je robotický pes Aibo vyvinutý společností Sony Corporation. Obrázek dále ukazuje části Aibo, jejich rozměry a specifikaci pohonů.



Obrázek 6.1: Aibo [44]

Nejznámějším příkladem humanoidů je ASIMO Honda z roku 2000 (viz níže) nebo Kojiro, nicméně historie humanoidů je podstatně delší. Jeden z prvních humanoidů, který byl fyzicky vybudovaný, je Cog vyvinutý MIT (obrázek níže). Jak vidíte, první částí Cogu byla hlava a následně byly připojeny další části těla, jako jsou pohony (ruce a nohy). V současné době existují i humanoidi, kteří jsou běžně k dispozici pro uživatele. V následujících kapitolách jsou uvedeny některé příklady humanoidů, které se používají v praxi. Následující schéma ukazuje vztah mezi uvedenými typy: robot => bioloid => humanoid, gynoid.

6.2 ASIMO

Humanoid ASIMO - (Advanced Step in Innovative Mobility) byl postaven v Japonsku Hondou v roce 2000, je dalším krokem ve vývoji humanoidů. Již v roce 2000 ASIMO jednoduše komunikoval s lidmi. V roce 2003 přijel Japonský premiér Koizumi s ASIMO do Prahy, na počest Karla Čapka jako průkopníka v oblasti robotiky. Parametry robota ASIMO:

- výška: 1,2 m,
- vzhled: bílý kosmonaut,
- 34 stupňů volnosti ovládané servomotory,
- integrované obrazové snímače, lasery a infračervené senzory,
- jiné senzory: gyroskop a akcelerometr na vyhýbání se překážkám,

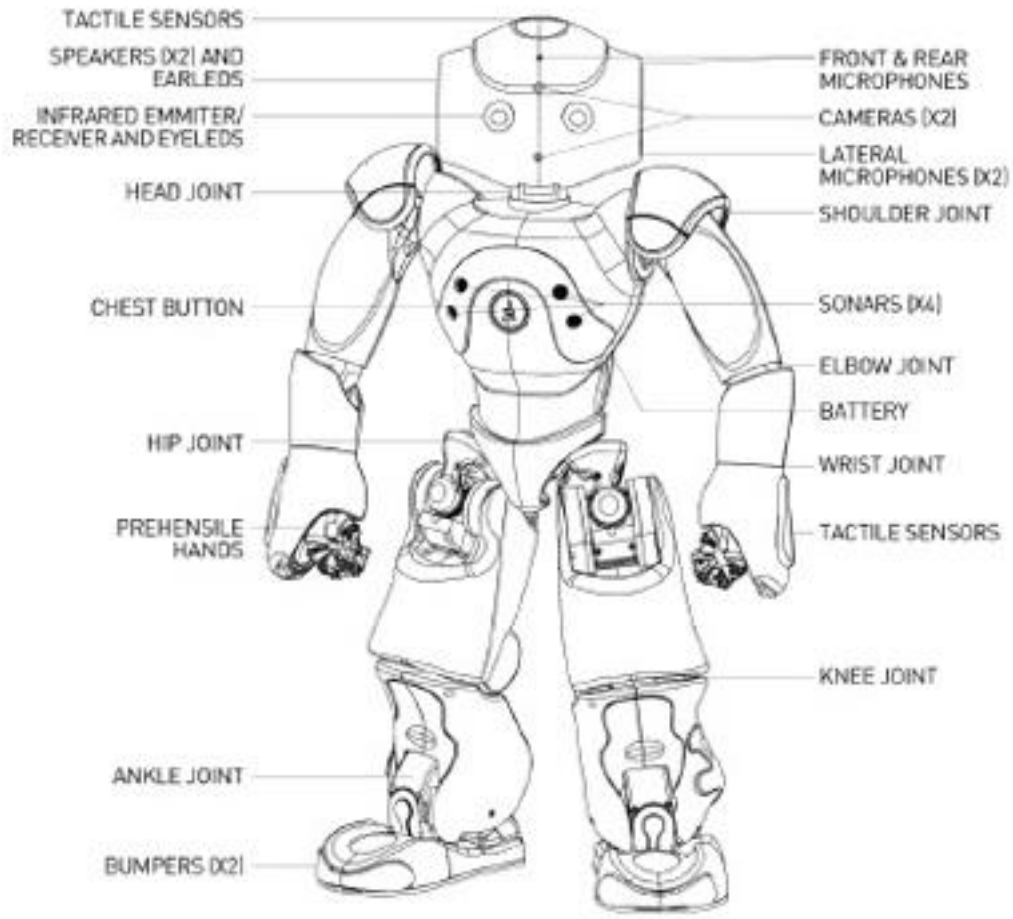
- poháněn 38.4V / 10Ah NiMH,
- maximální rychlost chůze: 6 km / h,
- rozpoznávání obličejů, rozpoznávání hostů a jejich opakování,
- zvuk, rozpoznání směru lidské řeči.



Obrázek 6.2: ASIMO [42]

6.3 Nao

Velkým příkladem plně vybaveného humanoida je Nao, který se „narodil“ v roce 2005 ve Francii. Nao je jen 56 cm vysoký a může tančit, chodit, hrát fotbal na RoboCupu (Mezinárodní vědecká iniciativa s cílem urychlit současný stav vývoje inteligentních robotů se vznikem v roce 1997), učit se a rozpoznávat obličeje a další. Nao může být použit pro komunikaci s autistickými dětmi. To proto, že Nao je „velmi podobný“ dítěti. Následující obrázek znázorňuje hlavní části Nao, může být použit pro výzkum humanoidní robotiky obecně.



Obrázek 6.3: Nao [44]

Nao H25 model je jedním z nejmodernějších humanoidů, je vybavený 2 kamerami, infračerveným emmiterem, 2 bočními mikrofony, předním a zadním mikrofonem, reproduktory a hmatovými senzory. Nao má tělo s 25 stupni volnosti, aby mohl realizovat skutečný pohyb podobný člověku.

- Hardware - Intel Atom 1,6 GHz,
- 2 kamery (oči) na rozpoznávání obrazu a učení tréninkové soupravy,
- taktilní senzory,
- baterie s životností do 6 hodin,
- druhé CPU uvnitř trupu,
- sonar a dálkoměry,
- software - linuxové jádro,
- konektivita - Eternet a Wi-Fi.

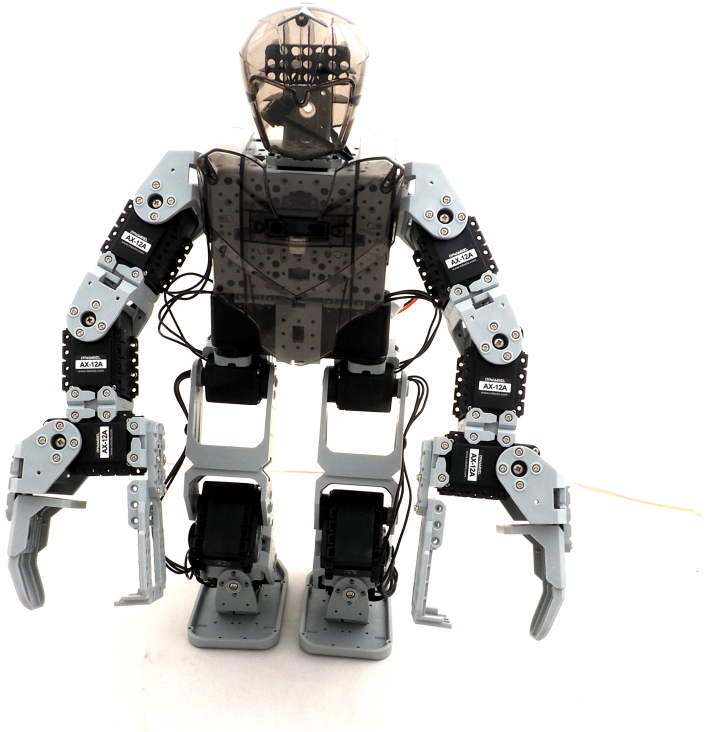
6.4 Kokoro

Humanoidi jsou výkonné, inteligentní stroje, ale často nejsou podobné člověku vnějším vzhledem. Příkladem „hezké dívky“ se „skutečným“ vzhledem je Kokoro [44]. Následující obrázek ukazuje Kokoro jako „opravdu hezkou dívku“. Humanoid v budoucnu bude nejen silný, ale také velmi podobný člověku. Je to další krok k realističtějším humanoidům.

Kokoro je vybavena 2 kamerami s pohybem očí na rozpoznávání obrazu. Kokoro má kovový skelet, na který se natahuje „povrch lidský“ (kůže, obličej, vlasy, atd). Jiným příkladem je gynoidní Repliee Q1. Dalším zajímavým příkladem humanoida je inteligentmí robot Sophie. V nedávné době Sophie obdržela občanství v Saúdské Arábii.

6.5 Robotis

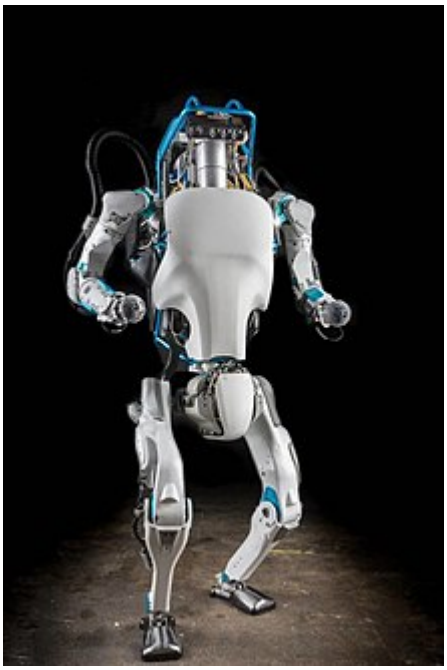
Robotické stavebnice jsou dnes využívány při výuce robotiky od středních škol po vysoké, obsahují rovněž možnost sestavení humanoidního robota s mnoha stupni volnosti. Na následujícím obrázku je uveden sestavený humanoidní robot ze stavebnice Robotis.



Obrázek 6.4: Robotis hum. robot

6.6 Vojenské aplikace v humanoidní robotice

V současné době vévodí dynamickou a statickou stabilitou robot Atlas z dílny firmy Boston dynamics. Tento robot je stále zdokonalován pro reálný prostup těžkým terénem. V současné době se zlepšuje jeho dynamika a stabilita do té míry, že je schopen autonomě provést salto ve vzduchu. Tento projekt je relizován jako příprava pro realizaci robotického vojáka. Videa a příklady jsou uvedeny na serveru Youtube.



Obrázek 6.5: Humanoid robot Atlas [45]

6.7 Požadavky na technologie pro rozvoji humanoidních robotů

Na vývoj robotů, zejména humanoidů, jsou kladeny velmi vysoké nároky pro úspěšný rozvoj. Za prvé musíme mít velmi výkonné počítače, přesněji CPU s výkonem 10000x vyšší než v současnosti. Je potřeba, aby rozpoznávání obrazu bylo v reálném čase, detekce objektů byla v perspektivě. El. mechanické systémy umožňovali plynulou chůzi. V budoucnu by měly být výpočetní systémy složené z DNA inspirovaných výpočetních prvků, nebo neuroprocesorů, které by měly být použitelné pro modelování emocí, plynulých pohybů, učení. Tyto nestandardní výpočetní prostředky již dnes existují v podobě simulátorů, jako NeuroSolutions nebo Easy-NN. Tyto programy jsou stále omezeny architekturou CPU na bázi křemíku. Bude tedy nutné hledat jiné technologie pro implementaci DNA výpočtů genetických algoritmů, neuronových sítí a jiných biologicky inspirovaných modelů. Dalším krokem k lepšímu modelu humanoida je používání umělých svalů namísto motorů. Umělý sval umožňuje přesný a plynulý pohyb robota.

Další podmínkou je větší výkon zdroje energie. Výkon baterie je jedním z hlavních problémů v robotice. V budoucnu se budou pravděpodobně používat zdroje energie na jiném principu, než dnes. Velkou výzvou jsou organické akumulátory na bázi fóliových materiálů, které lze implementovat do povrchu humanoidního robota, případě posílit solárním panelem.



Před několika lety započal v robotice trend antropomorfismu. Tento trend odstartoval tvorbu humanoidních robotů. Velké koncerny začaly více spolupracovat s výzkumnými centry při návrhu, konstrukci a softwarovém vybavení hum. robotů. Z mechanického hlediska jde o bipedické roboty. Obvykle nestabilní (nemají třetí bod), tedy řízení musí být na vysoké úrovni. Ke stabilizaci je třeba gyroskopy, akcelerometry. Další dnes velmi podporovanou oblastí je interakce člověk - stroj, tedy člověk - humanoidní robot. Humanoidní robot musí tedy reagovat na řeč člověka a umět se orientovat v prostředí. Příklady humanoidních robotů již toto do určité úrovně zvládají. Nicméně jsou stále otevřené oblasti, které je třeba vyřešit.



1. Vysvětlete pojmy: antropomorfismus, android, humanoid, kyborg.
2. Popište rozdíl mezi pojmy android, humanoid, kyborg.
3. Popište nejznámější humanoidní robotické systémy.
4. Jaké jsou požadavky na rozvoj technologií pro humanoidní robotiku?

7 Automotivní roboti



Po prostudování kapitoly budete umět:

klasifikovat podvozky automotivních robotů;
porovnat kolové a pásové podvozky z hlediska energetické náročnosti;
porovnat pásové podvozky a limbed z hlediska prostupnosti terénem;
diskutovat odlišnosti stability u limbed uspořádání s různým počtem nohou.



Klíčová slova:

podvozek, stupeň volnosti, kolo, noha, kloub, limbed, pás.

V současné době většina robotů jsou stacionární roboti. Stacionární robot je robot, který je pevně připevněný k podlaze, zejména ve výrobních halách. Primární použití těchto robotů je právě v průmyslu. Tito roboti představují třídu průmyslových robotů a manipulátorů (PRAM) a jejich pracovní oblast je omezena řadou pohonů. Průmysloví roboti, kteří jsou připevněni, se běžně používají v mnoha odvětvích průmyslu. Typickým příkladem jejich použití je pásová výroba. Třída mobilních robotů, která je vybavena pohybovým aparátem, nabízí nové využití a praktické aplikace.

Následující text popisuje druhy pohybových částí mobilních robotů pro pohyb ve 2-D prostoru následujícím způsobem:

- kolový;
- pásový;
- limbed, nohy s klouby.

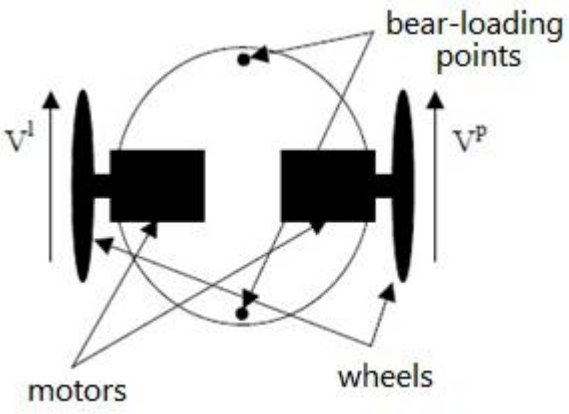
7.1 Kolová platforma mobilních robotů

Hlavní skupinou mobilních robotů jsou roboti, kteří používají jako pohon kola. Nejprve základní rozdělení typů kol. Kola mohou být aktivní nebo pasivní. Aktivní kola jsou hnací kola, pasivní jsou tažná kola (bez hnací síly).

Dalším důležitým parametrem kol je stupeň volnosti. Běžně používané kola mají 2 stupně volnosti. V 1 stupni volnosti se kolo otáčí kolem jedné osy, v případě 2. stupně volnosti kol se otáčí kolem 2 os (tento pohyb je znám v případě počítačové myši, kdy jsou jednotky místo snímačů, ale to je pouze pasivní pohyb ve srovnání s roboty). Další variantou je případ jedné osy rovnoběžné s rovinou povrchu a druhou osou kolmou k této rovině povrchu. Obě z uvedených variant výše se 2 stupněmi volnosti mohou používat aktivní a pasivní uspořádání.

7.1.1 Diferenciální uspořádání

Diferenciální pohon je nejjednodušší a nejpoužívanější variantou pro mobilní kolové roboty. Nejčastěji se používá u malých a levných robotů pro vnitřní použití, například pro vzdělávání. Jedná se de facto o stejný systém pohonu, který se používá v případě vozíku. V jedné ose jsou nezávisle řízená kola, která umožňují pohyb a rotaci. Následující obrázek znázorňuje kinematiku diferenciálního uspořádání:



Obrázek 7.1: Schéma diferenciální konfigurace [46]

Hnací kola jsou 2, každé z nich s 1 stupněm volnosti a 2 aktivní jednotky. Nejčastěji se používají malé stejnosměrné motory s enkodéry. Tento pohon musí být také konstruován se stabilizací bodů (třecí prvky nebo kola s pasivním pohonem s 1 nebo 2 stupně volnosti), protože robot musí být schopen se pohybovat. Příkladem je klasický vozík se dvěma koly, kde musíme držet rovnováhu při pohybu.

Výhody:

I přes nízké náklady na výrobu tohoto pohonu má jednoduchou a robustní konstrukci. Umožňují použít jednoduchou, ale poměrně přesnou odometrickou navigaci robota. Velmi dobrá je manévrovatelnost pohonu oproti jiným typům (robot je schopen otáčet se na místě). Roboti s diferenciálními pohony mají obecně válcový tvar, který umožňuje unikání z míst, jako je například roh místnosti.

Nevýhody:

Vzhledem k primárně používanému krytí, roboti s diferenciálním pohonem nemůžou překonat velké překážky. Jak jsme již zmínili, robot vybavený diferenciálním pohonem je primárně využíván pro vzdělávání. Další nevýhodou je vysoká spotřeba energie v průběhu otáčení. Potřebný výkon je 10x větší než při přímém pohybu.

7.1.2 Synchronní uspořádání

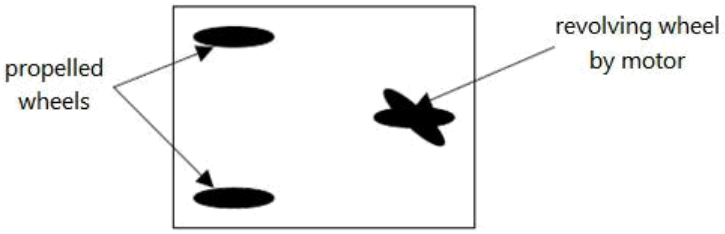
U tohoto typu pohonu má každé kolo 2 stupně volnosti. Synchronní pohon je nejčastěji vybaven 3 koly umístěnými do trojúhelníku. Tvar robota je obecně válcový. Všechna kola se otáčejí ve stejném směru, se stejnou rychlostí a jsou orientována na stejnou stranu. Synchronizaci pohybu každého kola lze dosáhnout elektronickým systémem prostřednictvím vhodně navrženého senzorického regulačního systému nebo častěji pomocí mechanického uspořádání synchro pohonu.

Výhody:

Mechanickou modifikací synchronizace pohybu kol lze minimalizovat počet motorů jen na 2 motory; jeden motor reguluje rychlost pohybu a druhý motor určuje směr pohybu robota. Velmi dobrá je ovladatelnost tohoto druhu pohonu.

Nevýhody:

V případě elektronické synchronizace hnacího kola je nutné použít 2 motory pro každé kolo. Tento typ pohonu nelze použít na drsné, nebo kamenité povrchy (nebezpečí spinu při nerovném terénu). Následující obrázek znázorňuje schéma synchronního pohonu s 3 koly, každý z nich má 2 stupně volnosti (DOF).



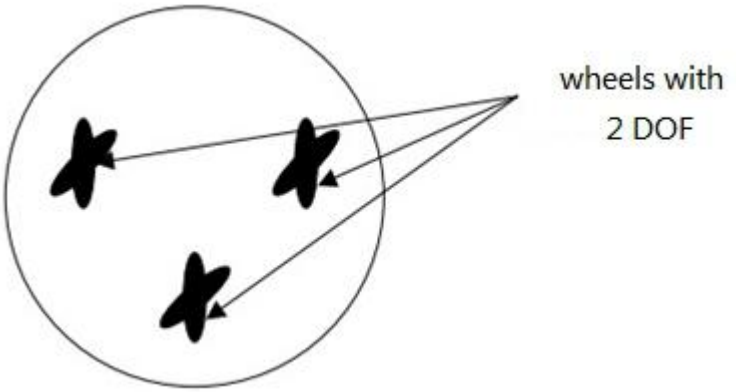
Obrázek 7.2: Tříkolka, synchronizace kol, přední kolo udává směr [46]

7.1.3 Pohon s konfigurací tříkolky

Tato jednotka se skládá z 3 kol; 2 zadní kola jsou aktivním pohonem a 1 přední kolo se používá pouze pro řízení směru. Ovládání se provádí pomocí 2 motorů. První z nich ovládá směr a druhý ovládá rychlost. Konfigurace tříkolky umožňuje použití robotu v terénu. Měření pozice je možné pomocí jednoduchého odometrického inkrementálního čidla, nicméně je třeba počítat s významnými chybami v případě pohybu v těžším terénu.

Výhody:Jednoduché ovládání 2 motory, využití v těžkém terénu.

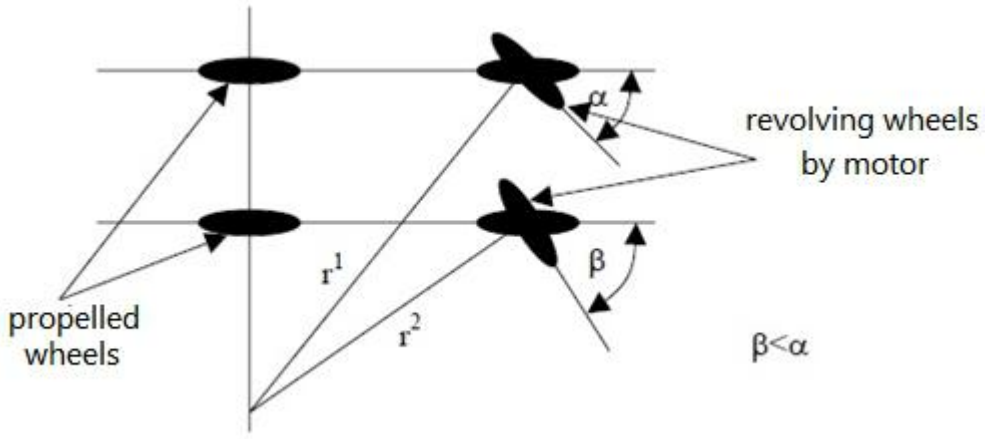
Nevýhody:Hlavní nevýhodou je nemožnost otáčení se na místě s nebezpečím uvíznutí v úzkých místech. V těžším terénu vznik chyb při odometrii. Následující schéma ukazuje konfiguraci tříkolky s jedním řízeným předním kolem.



Obrázek 7.3: Tříkolka [46]

7.1.4 Ackermanovo řízení

Tento typ pohonu nebo řízení je hodně známý v případě nákladních vozidel. Řídicí jednotka Ackermanova typu se často používá především u větších nákladních vozidel s vysokými nároky na nosnost a práci v těžkém terénu. Hlavní hnací síla jde přes zadní kola (aktivní), přední kola jsou pasivní. Hlavním cílem tohoto mechanismu je zajistit správný úhel natočení předních kol při průjezdu zatáčkou. Geometrii Ackermanova pohonu lze použít ve všech vozidlech (2 - nebo 4 - kolová, atd.) Vnitřní kolo obklopuje menší průměr ve srovnání s vnějšími koly. Pokud jsou obě kola otočena pod stejným úhlem, vznikne smyk. Tento problém může být eliminován zvýšením úhlu vnitřního kola ve srovnání s vnějším.



Obrázek 7.4: Ackermanovo schéma řízení [46]

Kromě toho je na následujícím obrázku znázorněn jiný úhel otočení v případě zatáčky. V případě tohoto druhu pohonu můžeme použít odometriku.

Výhody:Určení pro větší a těžší typy mobilních robotů, s menším opotřebením pneumatik. Roboti s tímto typem pohonu mohou jezdit v těžkém terénu.

Nevýhody:Nemožnost otáčení na místě vzhledem k použité konstrukci.

7.1.5 Pohony se všesměrovými koly

Pro konstrukci všesměrové mobilní platformy pro robota potřebujeme všesměrová kola nebo sloučení kol. Tato kola umožňují pohyb okolo 2 os. Například kola Mecanum jsou vytvořena jako společná kola, která mají řadu pasivních krátkých válců po obvodu. Kola bez těchto členů se chovají jako klasické kolo pouze s 1 stupněm volnosti. Zamkneme-li hlavní osu kola a pohybovat se budou pouze válce, bude se kotouč pohybovat v jednom směru. V kombinaci těchto dvou popsaných mechanismů a s odpovídajícím uspořádáním pohonu k typu kola, je schopen pohon dosáhnout jakéhokoliv pohybu (rotace, všesměrové pohyb nebo obou těchto pohybů dohromady).

Musíme dodat, že každé kolo je potřeba řídit pouze jedním motorem, i když celkově je potřeba minimálně tři motory. Chceme-li změnit 3 souřadnice během pohybu, potřebujeme minimálně 3 druhy pohybu. Teoreticky je schopen používat pouze 1 motor a řízené diferenciály, ale princip je stejný. V praxi se používají 2 základní typy všesměrových kol (Mecanum) a 2 typy pohonů, pro detaily viz obrázky níže.



Obrázek 7.5: detail ze všesměrového kola Mecanum [46]

První typ zahrnuje válce po obvodu kolem zatáčení pod úhlem 45 °. Kola jsou umístěna v rozích půdorysu robota, na obrázku je znázorněno jejich postavení na minirobotu.



Obrázek 7.6: Minirobot se všesměrovými koly (vlevo) a jejich detaily (vpravo [46])

V případě druhého typu všesměrového kola se používají pasivní válce, které jsou orientovány kolmo k obvodu kola. To znamená, že válce jsou uspořádány tak, aby byly v kruhu. Minimální počet válců je tři.

Nevýhodou uvedeného řešení je nemožnost použití odometrie, neboť základní princip pohybu robota, který je vybaven všesměrovými koly, je založen na prokluzu kol. Všesměrová kola také nemohou pracovat v terénu, a to nejen v těžkém terénu, ale také na nerovném povrchu.

Všesměrové jednotky se využívají pro mobilní manipulační roboty, kde je velmi důležitá vlastnost, a to pohyb ve všech směrech.

7.2 Pásové pohony

Kinematika pásových mobilních robotů je podobná kinematice diferenciálního pohonu. Na rozdíl od kolových se pásové pohony mohou spolehnout na perfektní kontakt s podložkou. Větší kontaktní plocha umožňuje překonat větší překážky ve srovnání s kolovými jednotkami. Během otáčení má kluzný robot problém s použitím odometriky, a proto je zapotřebí pro autonomní pásové roboty použít jiný způsob vlastní lokalizace. Tento problém je možno vyřešit přidáním pasivního všesměrového kola se skenováním pohybu.

Nevýhodou pásových pohonů je rotace. Během rotace je spotřeba energie výrazně vyšší než při přímém pohybu nebo v případě diferenciálního pohonu. Ovládání těchto pohonů je nepřesné. Spotřeba sledované jednotky v nerovném terénu je vyšší, než při pohybu nahoru. Maximální sklon u pásových pohonů je 35 °. Všechny součásti systému musí být navrženy tak, aby zvládly toto zatížení.

Velmi často jsou také používány kolové pohony, které mají 1 stupeň volnosti. Tato kola jsou spojena řetězem a jsou blízko u sebe pro dosažení požadovaného pohybu, který by měl mít charakter podobný pohybu pásu.

7.3 Pohony limbed (končetinové s ohybem)

Kolové, pásové a všesměrové systémy pohonů jsou velmi účinné a spolehlivé. Proč potřebujeme tedy limbed pohon? Hlavní nevýhodou všech dříve popsaných pohonů je nutný kontakt kol se zemí po celou dobu pohybu. Toto omezení by mělo být překonáno končetinovým pohonem. Předpokládáme, že ve velmi těžko přístupném terénu, jako jsou řeky, vysoké překážky, jeskyně, atd., je pro člověka pohodlnější a jednodušší zkoumání těchto míst pomocí končetinového pohonu.

Roboti s končetinami se vyznačují především statickou stabilitou, která je důležitým faktorem pro přesné pohyby. Počet pohonů je velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje statickou stabilitu. Takže limbed robot je mnohem citlivější na vnější vlivy, jako je tlak, srážky a kolize s překážkami. Na druhou stranu robot s končetinami může účinněji obcházet překážky v těžkém terénu.



Obrázek 7.7: Noha robotického pavouka [30]

Minimální počet pohonů pro efektivní pohyb a statickou stabilitu je 4. Obecně můžeme vyjádřit následující jednoduché pravidlo - pokud robot má více pohonů, každý z nich má

méně stupňů volnosti, naopak v případě, že jsou pouze 2 pohony, každý z nich má 5 stupňů volnosti.

Limbed pohony mají nejčastěji využití pro humanoiní a jiné podobné typy robotů; bioloidy, androidy, gynoidy apod. Blíže viz předchozí kapitoly.



Kapitola se zabývá automotivními roboty. Zde především klasifikujeme podle uspořádání podvozku, a to na kolové, pásové a limbed(nohy spojené klouby). Sledovány jsou dva hlavní faktory pohyb a prostup v těžkém terénu a energetická náročnost daného typu podvozku a jeho uspořádání. Dalším sledovaným parametrem je počet stupňů volnosti. Některá specifika již byla částečně uvedena v předchozích kapitolách.



1. Klasifikujte podvozky automotivních robotů.
2. Porovnejte kolové a pásové podvozky z hlediska energetické náročnosti.
3. Porovnejte pásové podvozky a limbed z hlediska prostupnosti terénem.
4. Jak se liší stabilita u limbed uspořádání s různým počtem nohou?

8 Létající roboti



Po prostudování kapitoly budete umět:

popsat uspořádání helikoptéry;
popsat uspořádání vícerotorových vrtulníků;
konvertibilní letecké systémy;
klasifikovat UAV.



Klíčová slova:

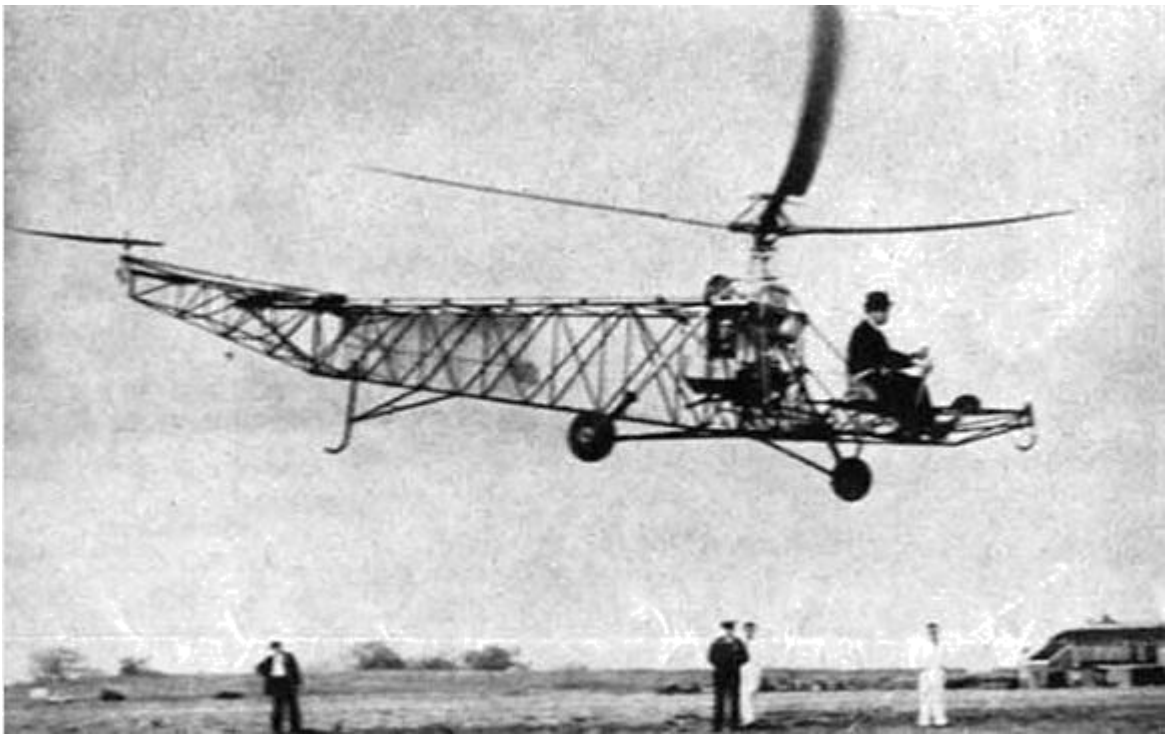
vrtulník, UAV, vícerotorový vrtulník, konvertibilní UAV, VTOL, klasifikace UAV.

Jak jsme se zmínili dříve, bezpilotní (UAV) roboti mají v současné době široké uplatnění v mnoha odvětvích k monitorování objektů a událostí v okolním prostředí. Na UAV se montují kamery pro sledování, ale i jiné typy snímačů. Takové UAV mohou být použity k různým účelům, například pro Integrovaný záchranný systém nebo pro armádu:

- sledování,
- detekce objektů,
- pohyb objektů,
- střežení prostor,
- prozkoumávání technického stavu budov, mostů, atd. obvykle termovizí.

8.0.1 Historie

Mezi UAV patří vrtulníky, letadla a vzducholodě. V roce 1939 ve Spojených státech prováděl Igor Sikorsky experimentální stroj nazvaný jako Sikorsky VS-300.



Obrázek 8.1: Sikorsky VS-300 [51]

V průběhu mnoha let Sikorsky s tímto modelem prováděl hodně pokusů. Na základě požadavků armády vyvinul model R-4, který se poprvé testoval v roce 1941. Tento typ byl první sériově vyráběná helikoptéra v historii. Na následujících obrázcích je zobrazena helikoptéra Sikorsky VS-3001 a následně Sikorsky R-42 na originálních fotografiích.



Obrázek 8.2: Sikorsky R-4 [52]

Na konci 60. let 19. století byly k dispozici první modely dálkově řízeného vrtulníku. V té době také byly k dispozici spolehlivé a výkonné motory spolu s více kanálovou RC soupravou, což jsou základní stavební prvky pro dálkové řízení vrtulníku. V současné době existuje mnoho RC modelů, které můžeme rozdělit do různých kategorií; podle velikosti, výkonu, počtu rotorů, typu pohonu (benzín motor, elektromotor), využití (sportovní, akrobatické, hračky), podle počtu kanálů, atd. Vzhledem k relativně příznivé ceně, rostoucímu výkonu, lepší kapacity baterií je možnost využití těchto platforem v oblasti vzdělání a vědy.

Tyto letecké platformy mohou být vybaveny různými senzory, vestavěnými systémy, které na základě vstupní analýzy senzorů mohou řídit chování vrtulníků. Také mohou pracovat v různém prostředí, spolupracovat s dalšími vrtulníky a společně plnit úkoly a mise, které jsou určeny scénáři. De facto se jedná o kolektivní spolupráci v 3-D prostoru, což je velmi náročné.

V rámci této kapitole budou představeny pouze vrtulníky s elektrickým pohonem. Tuto kategorii můžeme rozdělit do 2 podkategorií podle počtu rotorů takto:

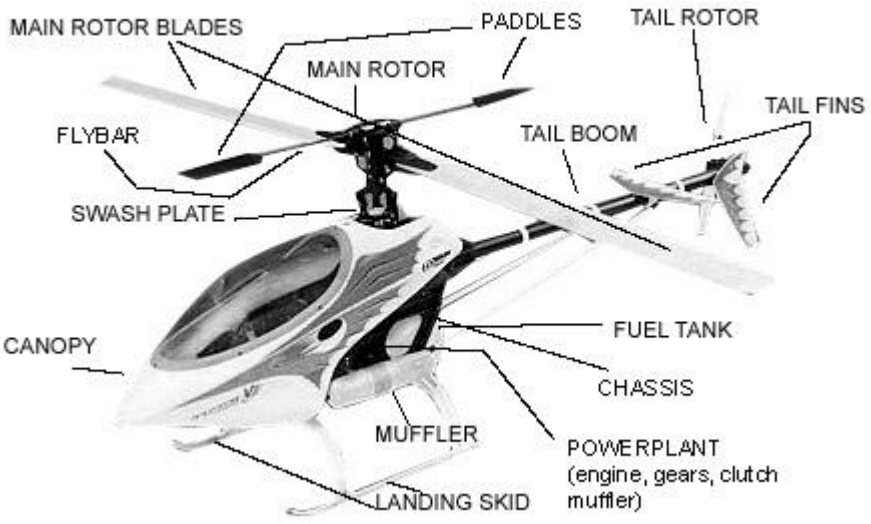
- jednorotorové (1 hlavní rotor a 1 vyrovnávací ocasní vrtulka),
- vícerotorové (2 a více rotorů - tandemové nebo koaxiální uspořádání).



Obrázek 8.3: Funkční RC model heli Airwolf [30]

Hlavní části vrtulníku:

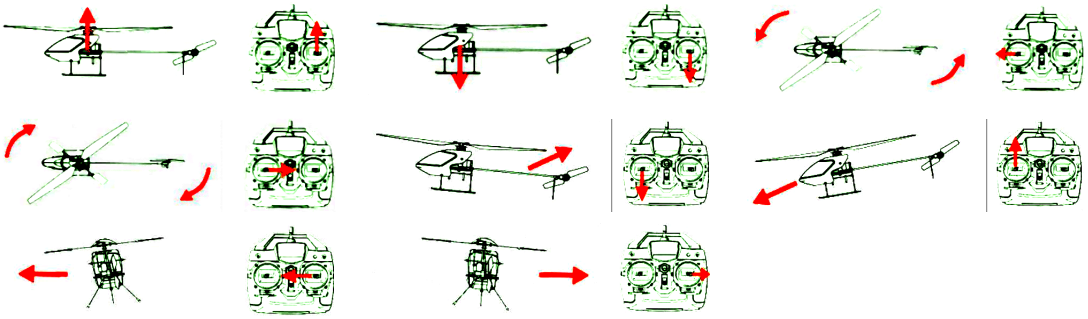
- trup - konstrukce z plastu, kompozitního materiálu nebo kovu, aerodynamická kapota, podvozek,
- hlavní rotor,
- mechanika hlavního rotoru, hřídel rotoru, cyklika, kolektiv,
- ocasní vyrovnávací vrtulka,
- elektronika a servopohony (viz kapitola Serva),
- gyroskop,
- vertikální a horizontální ocasní plocha,
- baterie,
- RC přijímač,
- střídavý regulátor pro motor poháněj́ící hlavní rotor.



Obrázek 8.4: Struktura RC helikoptéry [32]

`Hlavní a vyrovnávací rotor`

Listy hlavního rotoru de facto představují křídlo s příslušným profilem a s malou šířkou. Listy rotoru se otáčí velkou rychlostí a tvoří virtuální povrch. V případě natočení listů a rotace rotoru vznikne vztlaková síla, která táhne při správném vyvážení vrtulník nahoru, nebo dolů, případně ve směru normály k ploše hlavního rotoru. Rotor je upevněn na hřídeli a je poháněn motorem. Otáčení rotoru tvoří reakční moment, který může být kompenzován vyrovnávací vrtulkou, která je kolmá k rovině rotoru. Řízení vyrovnání reakce hlavního rotoru je prováděno ocasní vrtulkou, sklonem listů a rychlostí rotace. V obvodu řízení se používá gyroskop, který je schopen měřit reakční otáčivý moment. Ocasní rotor má nejen funkci kompenzace reakčního momentu, ale také má funkci zatáčení helikoptéry. Vyrovnávací rotor je poháněn pohonem z hlavního motoru, který zároveň pohání i hlavní rotor. Převod k vyrovnávací vrtulce je realizován kardanovým hřídelem, či ozubeným řemenem. Následující tabulka vysvětluje pohyby vrtulníků a jejich ovládání vysílačem.



Obrázek 8.5: Pohyby helikoptéry dle řízení z vysílače ovladači v módu 1 [52].

8.0.2 Kolektiv

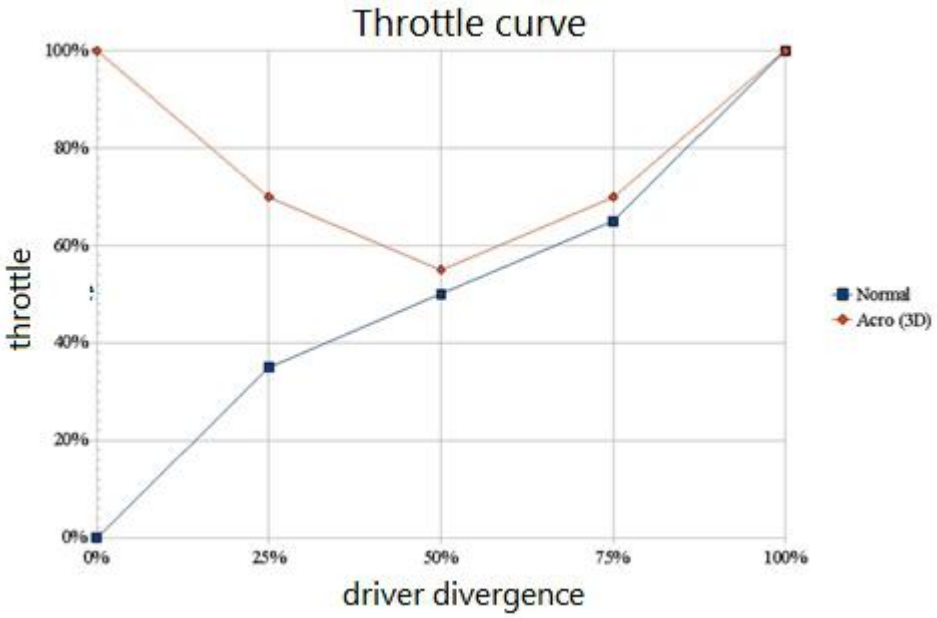
Při vzletu a přistání se vrtulník pohybuje ve svislém směru. Změnu vztlaku u rotoru můžeme dosáhnout dvěma různými způsoby:

- zvýšení nebo snížení otáček motoru,

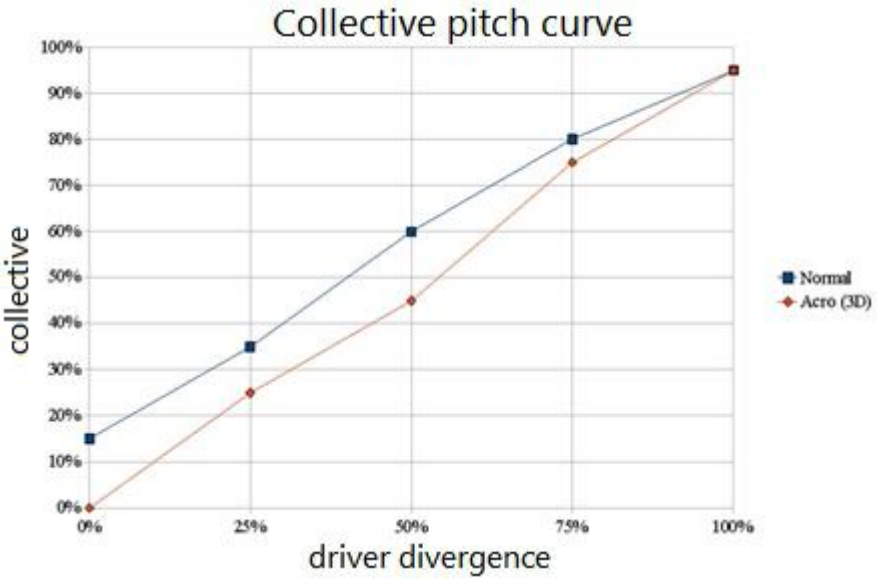
- kladnou změnou úhlu stoupání listů hlavního rotoru upevněného na ose; otáčky motorů jsou konstantní (governor).

Druhý zmíněný způsob se používá častěji a je nazýván jako řízení kolektivem. Velmi důležité je, že pro otáčení rotoru s větším úhlem sklonu je nutná vyšší energie, než pro otáčení rotoru konstantní rychlostí s menším úhlem sklonu listů. V souladu se změnou kolektivu musí být také měněna regulace otáček motoru.

V případě RC modelů je plyn a kolektiv řízen stejným ovládacím prvkem. Otáčky rotoru a nastavení kolektivu řídíme podle tzv. křivek plynu a kolektivu, které jsou obvykle naprogramovány ve vysílači. Jsou to vlastně funkční závislosti nastavením ovládacího prvku k plynu a kolektivu. Následující dva obrázky znázorňují příklad křivky plynu a kolektivní křivky sklonu listů. Uvedené křivky se standardně uvádějí pro standardní mód letu a akrobatický mód.



Obrázek 8.6: Křivka plynu pro módy normal a akrobacie [52]

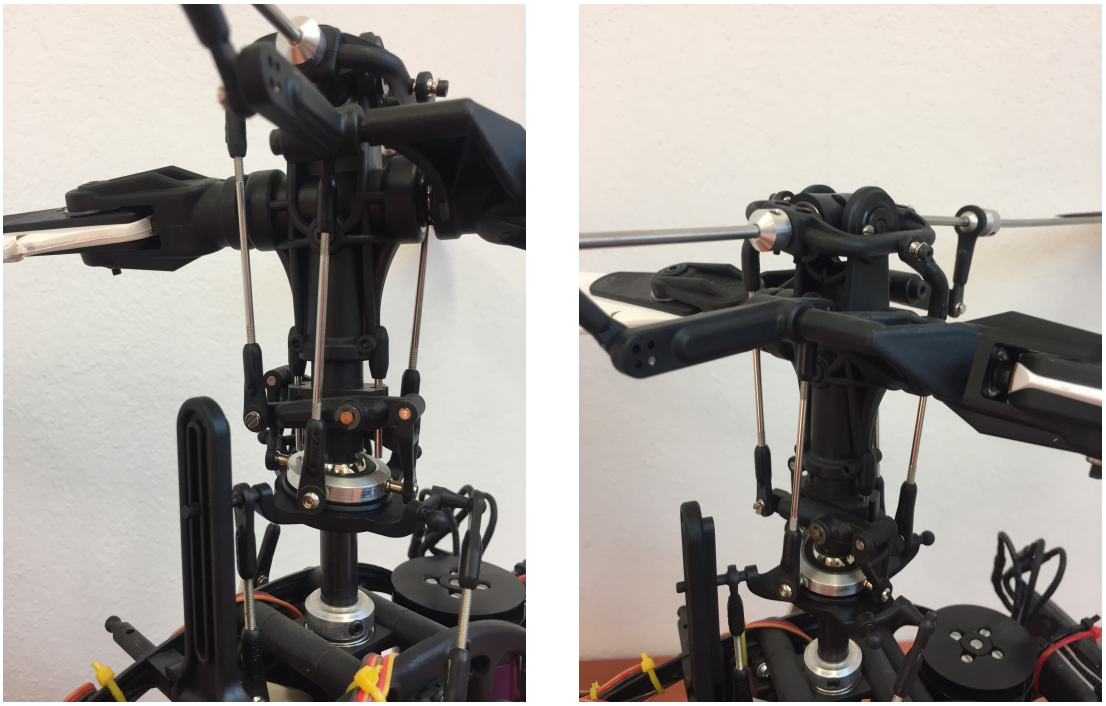


Obrázek 8.7: Křivka kolektivu [52]

Pro různé situace existují různé letové režimy (nastavení modelu podle fází letu).

8.0.3 Sklon cykliky

Velmi důležité schopnosti vrtulníků jsou lety dopředu a dozadu (nazývané jako klopení) a také vlevo a vpravo (nazývané jako klonění). Tyto schopnosti jsou dosaženy prostřednictvím roviny sklonu hlavního rotoru. V případě vodorovné pozice rotoru vzniká vztlaková síla pouze ve vertikálním směru. Pokud je plocha rotoru vychýlena, dělí se její síla do 2 složek; vertikální a horizontální. Pro změnu roviny otáčení rotoru musíme vychýlit celý hnací hřídel s rotorem, nebo periodicky měnit sklon listů rotoru. První případ z uvedených variant je technicky velmi těžce realizovatelný. Proto se používá varianta se změnou sklonu listů. Pokud například bude sklon plochy rotoru jemně dopředu, nastane pohyb dopředu. Toto umožňuje deska cykliky, která je tvořena dvěma prstenci navlečenými na hřídeli nosného rotoru - spodní prstenec se neotáčí. Pomocí táhel jsou na něj přenášeny pohyby cyklického řízení, tedy klopení a klonění. Horní prstenec přejímá prostřednictvím čepů pohybujících se v drážce na obvodu spodního (vnějšího) prstence jeho výchylky (naklánění) a zároveň se otáčí spolu s hřídelí rotoru. V případě kolektivního řízení, je deska cykliky na hřídeli rotoru uložena posuvně a kolektiv se realizuje posuvným pohybem desky cykliky nahoru a dolů.



Obrázek 8.8: Deska cykliky a pádlová mechanika, pohled shora na tyč pádel

8.0.4 Vertikální a horizontální ocasní plocha

Pro zlepšení stability vrtulníku během létání dopředu se používají malé pomocné plochy, které jsou umístěny na těle ocasu. Nejlepší řešení pro optimální stabilizaci je kombinací horizontálního a vertikálního stabilizátoru. V případě létání dopředu stabilizátory pomáhají udržet vrtulník v požadovaném směru a sklonu.

V případě RC modelů se běžně používají stabilizátory na bázi systémů Hiller a Bell (nebo jejich kombinace). Jedná se o flybar – tyč se závažími na konci, závaží na konci fungují jako setrvačník a stabilizují rovinu otáčení flybaru (Bell). Druhou možností je připojení pádel na koncích flybaru (Hiller). V případě závaží na koncích flybaru se dá řídit obratnost vrtulníku.

8.1 Další typy vrtulníků

8.1.1 Koaxiální vrtulník se souosými rotory

Tento typ vrtulníku má uspořádání se dvěma rotory. Rotory jsou souosé a protiběžné. Tím je dosaženo kompenzace reakční síly. Tyto typy vrtulníku s dvojitým rotorem jsou vyráběny jako RC platforma, která je velmi oblíbená díky jednoduššímu ovládání a stabilitě. Horní rotor je obvykle vybaven stabilizací typu Bell. Spodní rotor většinou obsahuje jednoduchou desku cykliky se dvěma servy a táhly. Kolektiv u této konfigurace obvykle není. Stoupání a klesání není realizováno kolektivem, ale změnou otáček rotorů. Příklad tohoto typu vrtulníku je uveden níže (E-Sky lama V4).



Obrázek 8.9: E-Sky lama V4 [52]

Existuje varianta dvourotorové helikoptéry používaná v armádě - Chinook.



Obrázek 8.10: Boeing-Vertol CH-147F Chinook [49]

8.1.2 Quadro, hexa - helikoptéry

N-koptéry jsou obecně multi-rotorové helikoptéry. Vrtulník stoupá pomocí tří nebo více vrtulových rotorů. Konstrukce vrtulníku je založena na symetrickém rámu ve tvaru kříže, hexa uspořádání. Na vrcholu tohoto kříže jsou umístěny rotory, motory s vrtulemi. Tyto rotory nemají stabilizaci, ani desku cykliky. Ve středu kříže je obvykle deska s řídicím systémem a senzory a baterie.

Typické konstrukce jsou 4 nebo 6 vrcholové. Takže stavba se 4mi rotory se nazývá quadrocopter a analogicky s 6ti rotory se nazývá hexacopter (z řečtiny exi = 6).

Základním principem vrtulníku je pohyb pomocí vztlaku vrtulí. Na rozdíl od klasických helikoptér se pohyb řídí různými rychlostmi rotorů pomocí elektronického řízení. Tato konstrukce umožňuje použití menších vrtulí ve srovnání s klasickým RC vrtulníkem, který může být krytý vnějším rámem. Krytem a menšími vrtulemi dojde ke zlepšení odolnosti vrtulníku a zároveň ke snížení nebezpečnosti vrtulníku v případě střetu rotujících vrtulí s objektem. Menší vrtule mají menší kinetickou energii, tedy menší poškození objektu, než při jednorotorovém uspořádání. Otázka klasifikace z hlediska řízení a bezpečnosti bude uvedena v následujících kapitolách.



Obrázek 8.11: Qaudrucopter [32], UAV Gaui, Octocopter DJI

8.1.3 Konvertibilní letecké systémy

Další třídou jsou konvertibilní letecké platformy. Tyto platformy umožňují kolmý start i přistání jako helikoptéra, běžný let je poté v módu letadla, nebo deltového letadla. Oproti helikopterám mají menší spotřebu, jelikož mají velkou plochu křídel.



Obrázek 8.12: VTOL RC model, Osprey V-22 [50]

8.1.4 MAVs

Poslední zajímavou oblastí jsou mikro letadla (MAV, někdy nazývaná Robobugs). Je to třída bezpilotních letounů, které mají omezenou velikost a mohou být plně autonomní. Díky moderním technologiím může být velký pouze 15 centimetrů. Vývoj těchto platforem předpokládá využití v oblastech výzkumu, zdravotnictví a k vojenským účelům. Malý letecký prostředek umožňuje průzkum v nebezpečných prostředích, nepřístupných pro pozemní vozidla. Mavs jsou insirováni kolibříky, hmyzem. Mohou být použiti pro snímkování a měření neelektrických veličin.



Obrázek 8.13: NAV kolibřík [32]

AeroVironment Nano Hummingbird nebo Nano Air Vehicle (NAV) je malý, dálkově ovládaný letoun připomínající kolibříka. Byl vyvinut ve Spojených státech v AeroVironment, Inc. v rámci projektů Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Hummingbird je vybaven malou videokamerou pro sledování a průzkumné účely a operuje ve vzduchu po dobu až 11 minut. Může létat venku, nebo vletět dveřmi na průzkum vnitřního prostředí.

8.2 UAV, klasifikace UAV platforem



Po prostudování kapitoly budete umět:

odkud vznikl název robot
reprodukovat historické pozadí;
vysvětlit turingův test;
popsat algoritmus Eliza.



Klíčová slova:

umělá inteligence, turingův test, historie, Eliza.

UAV lze třídit dle velkého množství výkonnostních charakteristik. Aspekty, jako je hmotnost, dolet, maximální rychlost a zatížení křídla jsou důležité parametry, které rozlišují různé typy bezpilotních prostředků a vedou k užitečné klasifikaci systémů. Klasifikace dle hmotnosti pokrývají širokou škálu hmotností, od mikro bezpilotních letounů, které váží pouhých pár kilogramů, až k masivnímu UAV Global Hawk (Tier III), který váží přes 11 tun. Následující tabulka ukazuje klasifikaci UAV dle hmotnosti:

Popis	váha rozsah
Velmi těžké	> 2000 kg
těžké	200 - 2000 kg
středně těžké	50 - 200 kg
lehké	5 - 50 kg
mikro	< 5 kg

Tabulka 8.1: Klasifikace váhy UAV [32]

Klasifikace podle konstrukce draku rozděluje UAV s pevnými křídly a rotory. Tato UAV mohou letět díky vztlaku při pohybu letadla směrem dopředu. Pohyb je způsoben tahem otáčením vrtule, nebo tryskovým pohonem. Další UAV používají rotační plochu listu, která při náklonu vytvoří vztlak. Těchto rotorů může být více. Obecně platí čím více rotorů, tím stabilnější UAV. Samozřejmě je možnost kombinace pevných křídel s rotory.

Popis	Typ
pevné křídlo	letoun
rotační křídlo/list	helikoptéra
2 rotační křídla/listy v ose	koaxiální helikoptéra
více rotačních křídel/listů	n-coptéra
kombinace pevného křídla a rotorů, obvykle vzlet po vertikále, let po horizontále	VTOL

Tabulka 8.2: Klasifikace dle draku UAV [32]

Klasifikace podle maximální provozní nadmořské výšky, nebo výšky dostupu. Některé UAV ve vojenských aplikacích létají ve velkých výškách, aby nebyly odhaleny, nebo sestřeleny. S dobrou optikou potom mohou sledovat dění na zemi, nebo ve vzduchu. Protichůdný požadavek může omezovat let UAV kvůli radarům protivníka, musí tedy kopírovat velmi dobře terén.

Třída	Výška dostupu
nízká	< 1000 m
střední	1000 - 10000
vysoká	> 10000 m

Tabulka 8.3: Klasifikace dle výšky dostupu [32]

Klasifikace podle provozní doby a doletu má podstatný význam pro plánování mise. Rovněž je důležité dle doletu odhadnout množství pohonných hmot, jelikož zbytek užitečné váhy je možné využít pro další senzory v případě průzkumu, nebo pro další zbraňové systémy v případě bojové akce. Pokud je dolet nedostačující, lze rovněž možné naplánovat dotankování pohonných hmot.

Popis	Provozní doba	Dolet
nízká/ý	< 5 h	< 100 km
střední	5 - 24 h	100 - 400 km
vysoká/ý	> 24 h	> 1500 km

Tabulka 8.4: Klasifikace dle provozní doby a doletu UAV [32]

Dalším kritériem klasifikace může být autonomie UAV, znamená to, do jaké úrovně dokáže UAV reagovat na změnu okolních podmínek (např. vyhýbaní překážkám, vyhýbání rizikové oblasti), reagovat na modifikaci mise atp. Dalším kriteriem může být, jak se UAV dokáže vyrovnat s poruchou některého ze systému. Další oblastí je případná spolupráce několika UAV v roji, nebo jiném uskupení. Nemusí to být jen kooperace UAV a UAV, ale kooperace UAV a UGV, nebo UMV. UAV samozřejmě mohou fungovat i v různé hierarchii.

Funkční/autonomní úroveň	Popis funkcí
Fúze senzorů	Kombinace senzorů a telemetrie, sběr, survileance
Komunikace a interkomunikace	Komunikace mezi agenty, přenos příkazů a telemetrických dat, např. obrazových
Planování pohybu, cesty	Plánování směru pohybu z pohledu více kritérií, např. oblet kritické oblasti
Generace a modifikace trajektorie	Generace složené trasy podle aktuálních podmínek v prostoru
Rozdělování úloh, plánování	Rozdělení úloh jednotlivým agentům v čase a prostoru, obvykle v hierarchii nadřízený - podřízení
Kooperace na úlohách, taktické plánování	Formulace optimálních sekvencí úloh a prostorově i časově rozložených činností mezi agenty s cílem maximalizovat šance na úspěch v jakémkoli případě mise.

Tabulka 8.5: Klasifikace dle funkce a autonomnosti [32]



Pro rychlý přesun techniky a vojáků jsou často používány vrtulníky. S historií a technickým vývojem se uspořádání vrtulníků měnilo. Nejprve to byli jednorotorové vrtulníky (1941), které potom nahradily dvourotorové vrtulníky Chinook. Protože dosah nebyl dostatečný, začalo se uvažovat o dvou módech letu, a to vzletu jako vrtulník a letu jako letadlo. V roce 1989 byl testován prvni VTOL V-22 Osprey, který dnes funguje v armádě. V komerčním sektoru začal rozvoj vícerotorových UAV prostředků pro natáčení, sledování apod. S rozvojem počítačových systémů, senzorů a přístupů umělé inteligence vznikly automaticky řízené letecké prostředky - UAV. Vzhledem k velkému rozšíření UAV byla navrhnuta klasifikace a dnes se řeší otázky bezpečnosti.



1. Popište uspořádání jedno i vícerotorové helikoptéry.
2. Jakým způsobem lze měnit tah rotoru?
3. Jak se liší VTOL od klasické helikoptéry, má více módů letu?
4. Uveďte klasifikaci UAV a kritéria.

9 Sestavení a programování robotů



Po prostudování kapitoly budete umět:

základní postupy programování robotů Arduino, ATMega;
popsat strukturu a možností využití senzorů robota pavouk;
sestavení a programování robota s inteligentními servopohony;
popsat některé algoritmy užívané v robotice;
popsat strukturu příkladu multiagentového systému, dekompozice.



Klíčová slova:

platforma, sestavení, Arduino, grafické programování, řídicí jednotka, software, hardware, regulace, adaptivní, multiagentový, autonomní, Breitenberg, zpracování obrazů, segmentace, optický tok.

V této kapitole se seznámíme se sestavením a především s programováním robotů. Přiblížíme si tři konkrétní platformy, a to:

- dvoukolový robot mBot s platformou Aduino Nano;
- robot pavouk s rozšířenou množinou senzorů;
- robotická stavebnice Robotis, zde konkrétní realizace robota srnec.

9.1 Programování robotů třídy Arduino

Arduino je obecný název pro procesorové desky založené na procesorech ATMega. Je to vlastně otevřená, svobodná platforma spolu s vývojovým prostředím. Licence vývojových sw pro Arduino je LGPL nebo GPL. Knihovny jsou ve většině případů dostupné ve formě zdrojových souborů, licence open source. Primárně je Arduino určené pro edukační účely a pro sw aplikace jednoduché smyčky, která zjišťuje hodnoty ze senzorů. Buď výsledky posílá po komunikačním kanálu, nebo provede nějaký akční zásah. Toto se skvěle hodí pro programování robotů, zejména reaktivních. Vzhledem k malé spotřebě jsou i vhodnou platformou pro IoT.



Obrázek 9.1: Grafický program robota mBot [53]

Robot mBot umožňuje základní experimentování v robotice. Základem je deska mCore postavena na Arduino Uno. Robot obsahuje periferie jako:

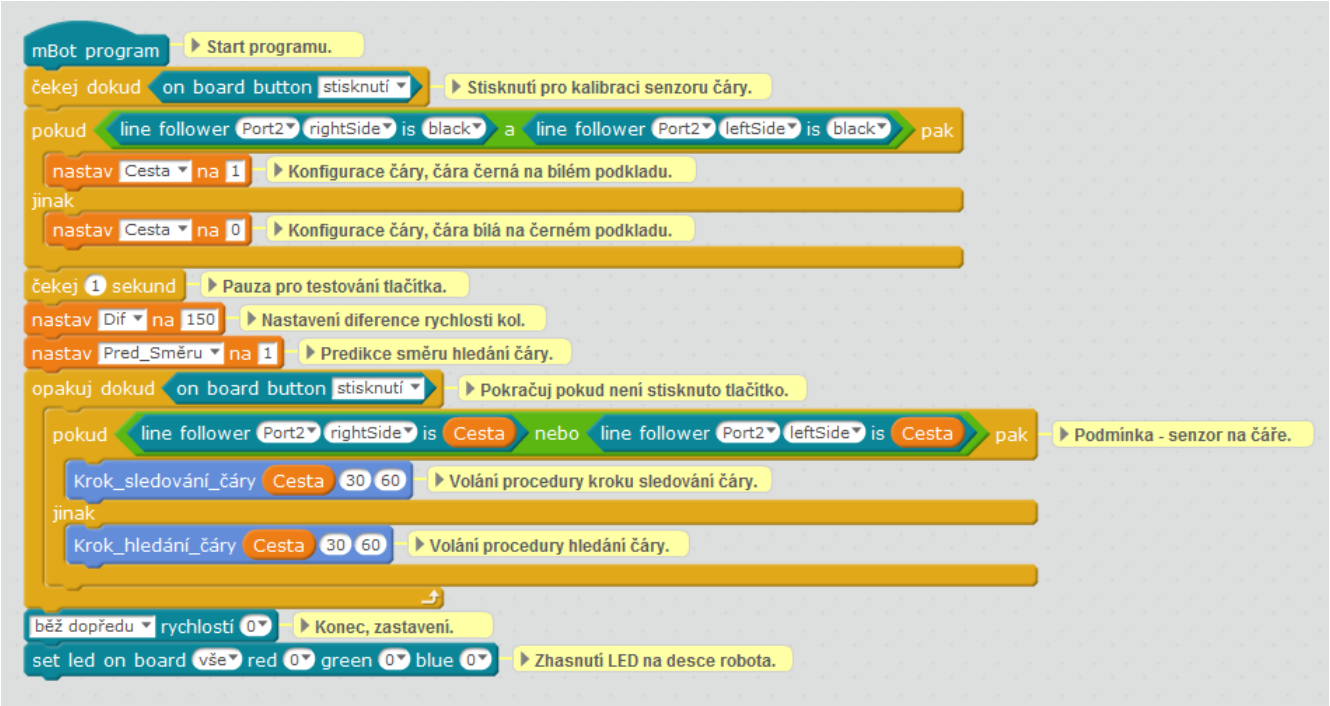
- LED diody,
- IR vysílač,
- IR přijímač,
- tlačítko,
- bzučák,
- světelný senzor,
- ultrazvukový senzor,
- senzor pro sledování čáry,
- další periferie přes rozšiřující konektory.

Vzhledem k tomu, že na rozšiřujících konektorech je přístup UART, I2C, SPI, ICSP, je možno připojit další periferie. Programování na robotu mBot je možné jak graficky, tak i v C++ jazyku. Příklad jednoduchého algoritmu složeného z bloků je uveden na předešlém obrázku. Robot má jet kupředu definovanou rychlostí a ve smyčce měřit vzdálenost od překážky. Pokud je vzdálenost menší než 15 cm, robot zastaví. Pokud přejdeme s programem do prostředí známé jako Arduino, je blokový algoritmus přeložen do jazyka C++ a je možno ladit, modifikovat a doplňovat programový kód. U platformy mBot v interaktivním režimu je možné klepnutím na příslušný blok v grafickém vyjádření provést pouze zvolenou operaci na robotovi. Pokud budeme připojovat externí senzor, nebo aktuátor a ten není v nabídce grafického programu, musíme programovat pouze v prostředí Arduina. Je samozřejmě možné rozšířit ikony v grafickém programu, ale to je z hlediska programátorských schopností a technologií nad úroveň tohoto skripta. Na dalším výpisu je program v jazyce C++ ekvivalentní ke grafickému vyjádření.

Algoritmus 1 Příklad programu robota mBot ekvivalentní ke grafickému programu

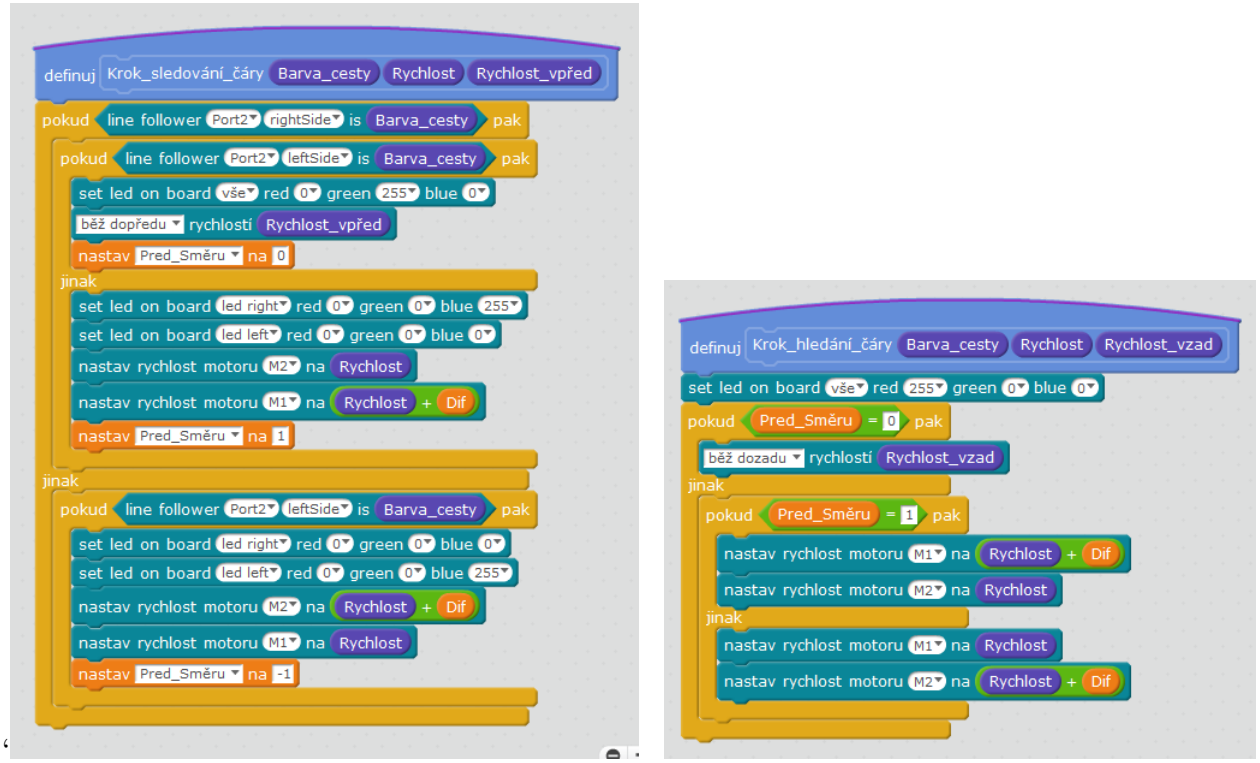
```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <MeMCore.h>
MeDCMotor motor_9(9);
MeDCMotor motor_10(10);

void move(int direction, int speed)      {
        int leftSpeed = 0;
        int rightSpeed = 0;
        if(direction == 1)       {
                leftSpeed = speed;
                rightSpeed = speed;
    }else if(direction == 2)     {
                leftSpeed = -speed;
                rightSpeed = -speed;
        }else if(direction == 3)         {
                leftSpeed = -speed;
                rightSpeed = speed;
        }else if(direction == 4)         {
                leftSpeed = speed;
                rightSpeed = -speed;
        }
        motor_9.run((9)==M1?-(leftSpeed):(leftSpeed));
        motor_10.run((10)==M1?-(rightSpeed):(rightSpeed));
}

double angle_rad = PI/180.0;
double angle_deg = 180.0/PI;
double __var__118;
MeUltrasonicSensor ultrasonic_1(1);

void setup(){
        _delay(1);
        __var__118 = ultrasonic_1.distanceCm();
        while(!((__var__118) < (15)))      {
                _loop();
                __var__118 = ultrasonic_1.distanceCm();
                move(1,100);
        }
        move(1,0);
}
```

Všimněme si funkce setup, která zahrnuje hlavní řízení robota, tedy i ekvivalent grafické podobě programu. Instance MeDC motor spolu s funkcí move řeší pohyb robota, instance MeUltrasonicSenzor řeší načítání hodnot z ultrazvukového senzoru ve předu robota. Následující program realizuje funkci sledování čáry. Tento program je sestaven tak, že umožňuje na začátku kalibraci sledované čáry. Tedy, zda je čára černá na bílem podkladu, nebo bílá čára na černém podkladu.



Obrázek 9.2: Grafický program Sleduj čáry [53]

Program pro sledování čáry využívá dvě procedury, proceduru hledání čáry a proceduru sledování čáry. Rozdíl je, že hledání je použito pro hledání, sledování je v případě, kdy senzor robota je již na čáře.



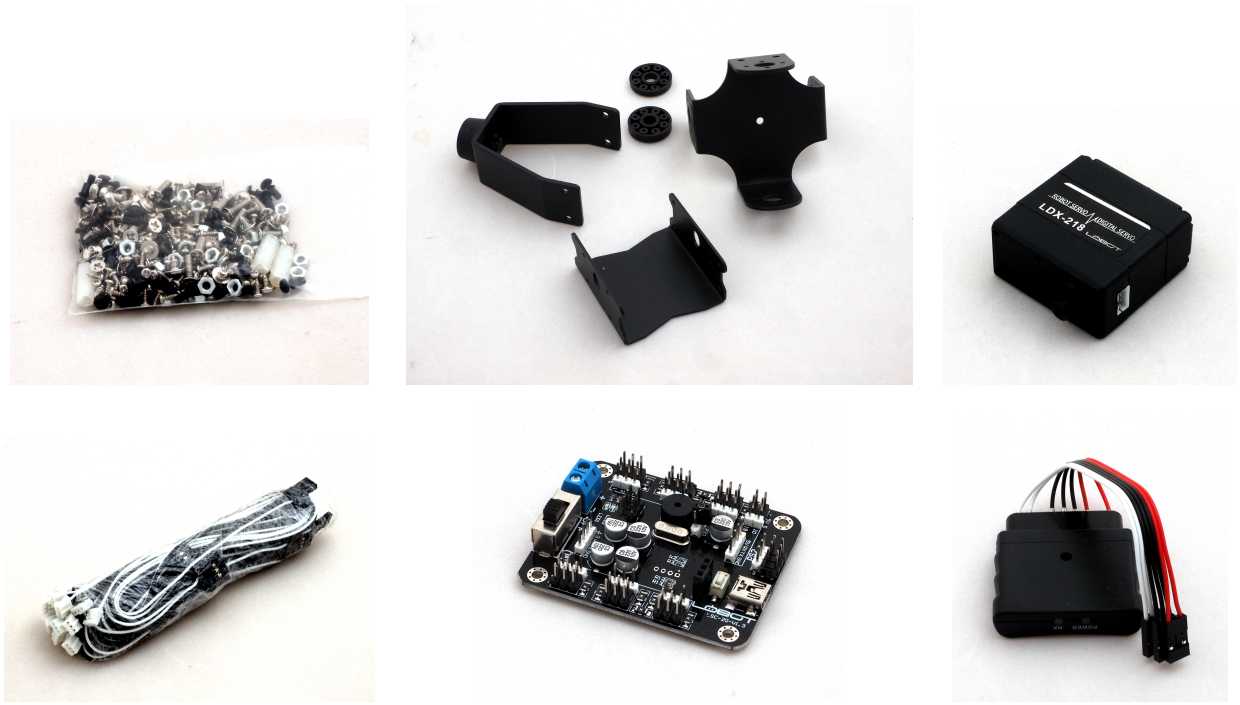
Obrázek 9.3: Procedury grafického programu Sleduj čáru [53]

9.2 Sestavování a programování robotů se standardními servy

9.2.1 Obecný postup konstrukce robota

Při konstrukci RC modelu, nebo robota obvykle postupujeme stejným způsobem:

1. Snažíme se utřídit díly a především spojovací materiál.
2. Zkontrolovat servopohony a ověřit jejich nulovou pozici (střední, nebo jinou zadanou výrobcem), používá se přístoj pro nastavování serv.
3. Sestavit draka robota, nebo UAV.
4. Sestavit elektronickou část robota nebo UAV, připojit sensory a aktuátory k řídicí jednotce a přesně dodržet, do kterých konektorů.
5. Pokud je nutné, kalibrovat koncové stavy a funkce serv, lin, expo....
6. Připásat všechny kabely ke statickým dílům.
7. Připojit baterii a otestovat sadu testovacích pohybů dodanou výrobcem, případně kalibrovat IMU jednotky.



Obrázek 9.4: Součásti robota pavouk [30]

Uvádíme například sady dílů pro robota pavouk, spojovací materiál, konstrukční prvky kostry, servo, kabely od serva ke řídicí jednotce, řídicí jednotka, komunikační interface. Jednotlivé součásti viz. obrázky nahoře. Dole sestavený robot pavouk.



Obrázek 9.5: Robot pavouk [30]

9.2.2 Řídicí jednotka pro pohyb robota

Jednotka pro řízení robota standardními servy obvykle obsahuje:

- konektor pro napájení,
- spínač ON, OFF,
- konektory na serva 3piny, tj. +,-,PWM,
- proudovou, zkratovou ochranu pro každý konektor serva,
- konektor pro připojení komunikačního interface programování/řízení,
- indikace funkce.

Z hlediska programové kontroly lze konfigurovat pohyb jednotlivých serv jako sekveci nastavení pozice po určitý daný interval. Tyto jednotlivé nastavení tvoří pohyb robota. Každý pohyb robota je uložen pod nějakým identifikačním znakem, např číslem pohybu. Jeden pohyb rozčleněný do pozic servopohonů na daný čas je vidět na obrázku „Editační program pohybů pavouka“ vlevo dole. Dále je rovněž dobře vidět, že lze konfigurovat jednotlivé servopohony pro pohyb - action.



Obrázek 9.6: Editační program pohybů pavouka

9.2.3 Senzorový, komunikační a řídicí systém robota

V dnešní době se roboti navrhují jako systém složený z několika subsystémů. Tyto subsystémy mohou řešit různé úlohy, jako:

- sledování oblasti okolo robota
  - laserovým skenerem 2D, 3D
  - kamerami, minimálně stereo vidění,
- sledování mechanických limitů taktilními senzory,
- monitorování pozice robota, GPS,
- komunikace přes WIFI, Bluetooth.

Na hardwarové úrovni řídicí systém robota může být realizován embedded procesorovou platformou na bázi ARM procesorů. Vzhledem k tomu, že se předpokládá zpracování obrazů ze stereo kamery v reálném čase, byla zvolena platforma minipočítače Intel m3 Stick:

- Procesor: Dual Core (HT) m3-6Y30
- Frekvence: 2.2GHz
- Grafická karta: Intel HD 515
- RAM: 4GB RAM DDR3
- Úložiště: 64GB eMMC
- Interface:
  - microSDXC slot
  - USB 3.0
  - HDMI 1.4b
  - Wi-Fi 802.11a/c
  - Bluetooth 4.2
  - TPM

  Pro rozšíření senzory a připojení na řídicí jednotku pro pohyb robota byl připojen USB3 Hub a na něj následně tyto systémy:
- řídicí jednotka pro pohyb robota,
- dvě kamery pro stereometrii se synchronizovanými obrazy,
- laserový scanner, 360°.

9.2.4 SW vybavení řídicího systému robota

Po SW stránce systému řízení robota je na Intel m3 Sticku nainstalován live linuxový systém Porteus 4.16.3-porteus. Systém obsahuje XWindows, podporu pro Video For Linux 2 (V4l2) xawtv, wxcam a samozřejmě multimediální kodeky. Pro ladění kódu jsou instalovány balíky CodeBlocks, Idlex, PyCharm. To umožňuje vytvářet a ladit programy v C, C++, Python. Konfigurace je nastavena tak, že je možné i dálkové ladění aplikací s použitím:

- ssh -X, při startu spuštěn sshd (daemon) automaticky,

- x11vnc, musí se spustit na robotovi server x11vnc (daemon).

V prostředí PyCharm jsou nainstalovány balíky, z kterých jsou nejpodstatnější následující:

- imutils 0.5.2,
- matplotlib 2.2.4,
- numpy 1.16.2,
- opencv-contrib-python 4.0.1.24,
- pyserial 3.4.

Ty souvisí se zpracováním obrazů (opencv, imutils), maticemi (numpy), zobrazením grafů (matplotlib) a komunikací s periferiemi (pyserial). Nejprve uvedeme příklad kroku dopředu robota pavouk. Pohyb „krok dopředu“ je uložen v řídicí jednotce pro pohyb robota pod číslem 1. Následující příklad je implementován v programovacím jazyku Python. Tento příklad komunikuje přes seriový interface "/dev/ttyUSB0" a volá metodu DevSC.runActionGroup(1 , 1). Prvním parametrem je identifikace pohybu a druhý počet opakování pohybu. Další funkce čeká na provedení pohybu. Do výstupu je pro informační účely vypsáno napětí baterie systému ve voltech.

Algoritmus 2 Příklad řízení základního podvozku pavouka

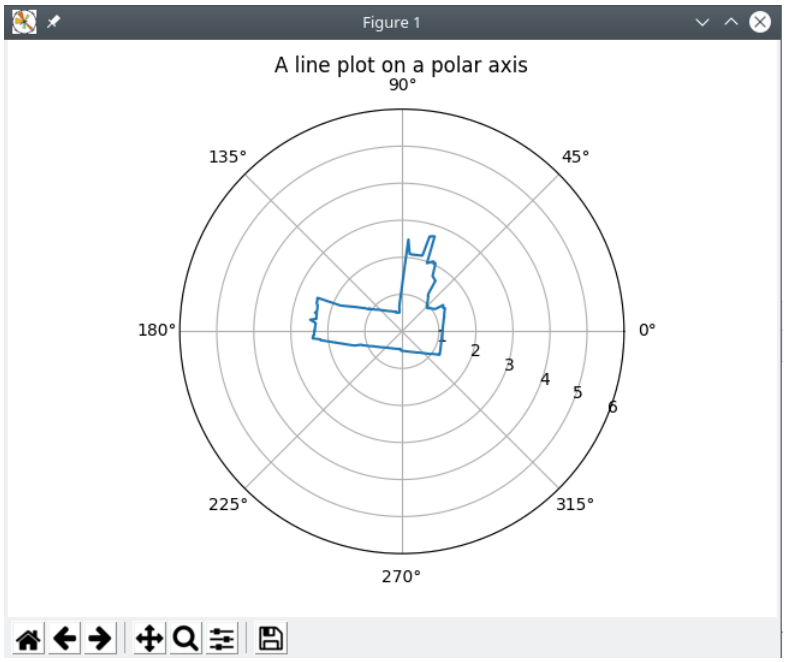
```
from ctypes import*
import ctypes
import _ctypes
import ServoController as sc
DevSC = sc.ServoController(
"/dev/ttyUSB0")
DevSC.runActionGroup(1 , 1)
DevSC.waitForStopping(100)
print DevSC.getBatteryVolt( 100)
print "konec"
```

Dalším příkladem je vyčtení informace o okolí robota. Pro zjištění informace je použit laserový skener, který rotačním pohybem skenuje 360° okolní prostředí. V objektu ls je uloženo pole vzdáleností od překážek. Měření provedeme metodou Scan() a zobrazení okolního profilu ve výšce laserového skeneru metodou View().

Algoritmus 3 Příklad příklad načtení dat z laserového skeneru pavouka

```
from ctypes import*
import ctypes
import _ctypes
import LaserScanner as ls
Dev = ls.LaserScanner()
Dev.Scan()
Dev.View()
print "konec"
```

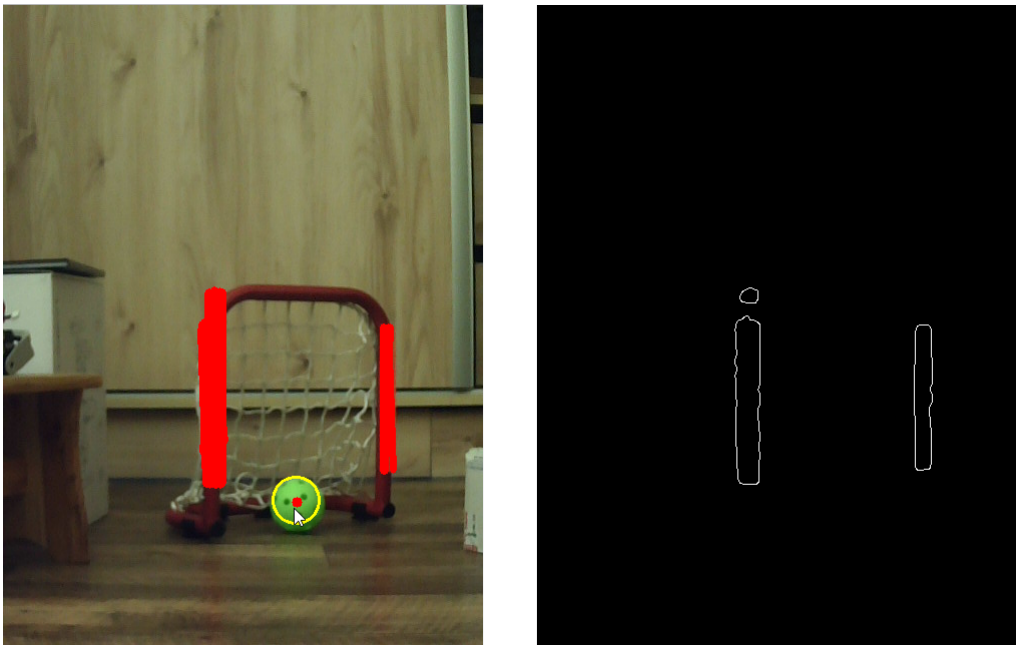
Následující obrázek ukazuje profil - překážek v polárních souřadnicích. Maximální vzdálenost měření je 6 metrů. Rychlost měření je cca 7měř/s. Měření je sken 360°. Předek robota je na 180 stupních.



Obrázek 9.7: Profil okolí robota změřený laserovým skenerem

9.2.5 Algoritmy zpracování obrazů na robotovi pavouk

Pro zpracování obrazů se v embedded systémech používá knihovna OpenCV. Tato knihovna obsahuje metody pro snímaní obrazů z kamer, práci s obrazy, zobrazení overlay, atd. Vzhledem k interaktivitě a pedagogickým účelům byl zvolen Python a port knihovny OpenCV pro Python. Na následujícím obrázku je vidět visuální podoba výsledku zpracování obrazů. Jedná se o detekci míčku a branky. Na pravém obrázku je vidět výsledek detekce svislých tyček branky pomocí hranového operátoru. Na levém je vidět detekce středu míčku a kružnicí odhad velikosti míčku. Červenou barvou jsou naznačeny pozice svislých tyčí branky. Proces zpracování obrazů trvá cca 1/10 sekundy.



Obrázek 9.8: Grafický výstup detekce branky a míčku [30]

Příklad detekce míčku a branky se skládá ze dvou kódů napsaných v programovacím

jazyku python. První se stará o inicializaci vstupního akvizičního rozhraní a typ streamu MJPEG. Formát MJPEG je složen z jednotlivých jpeg obrazů a je tu zajištěna lepší latence, než např. u H.264. Jsou otevřena okna pro výstup obrázků, jsou pojmenována. Dále je v programu cyklus pro zpracování obrazové informace.

Algoritmus 4 Příklad detekce branky a míčku, inializace a kostra smyčky

```
# Testování detekce branky a míčku pomocí algoritmu zpracování obrazu
import numpy as np
import argparse
import cv2
import imutils
import time
from VideoAssyncPipe import VideoAssyncPipe
from imutils.video import VideoStream

        # Inicializace a smyčka s algoritmem zpracování obrazu
        cap.start()
        cap1.start()
        window_name = "TrackerView"
        cv2.namedWindow(window_name)
        Create_Calib(window_name, LowerHSV[0], UpperHSV[0])
        cv2.setMouseCallback(window_name, pick_color)
        Index = 0
    i = 0
        while i < n_frames:

                # Zde algoritmus zpracování obrazu, detekce míčku a branky

        # Dealokace pamětí a oken
    cap.stop()
        cap1.stop()
    cv2.destroyAllWindows()

if __name__ == '__main__':
        test(2000, 0, 2, 640, 640, 160, 200, 1)
```

Následující část kódu realizuje zpracování obrazové informace. Nejprve je provedena extrakce aktuálních snímků (2, stereo) následně vyhlazení obrazu a převod do barevného prostoru HSV. Následují procedury detekce tenisového balónku a detekce svislých tyčí branky. Dalším krokem je zobrazení, nebo update obrazu a overlaye.

Algoritmus 5 Příklad detekce branky a míčku, vnitřní část smyčky - zpracování obrazu

```
# Zde algoritmus zpracování obrazu, detekce míčku a branky

        # Načtení a rotace snímků ze dvou kamer
        _, framex = cap.read()
        frame = imutils.rotate_bound(framex, 90)
        _, framex = cap1.read()
        frame1 = imutils.rotate_bound(framex, 90)

        # Zpracování obrazů ze dvou kamer
    blurred = cv2.GaussianBlur(frame, (11, 11), 0)
        hsv = cv2.cvtColor(blurred, cv2.COLOR_BGR2HSV)
        # Detekce balónku
    Track_Ball(hsv, frame, LowerHSV[0], UpperHSV[0])
        # Detekce svislých tyček branky
        Track_Gate(hsv, frame, LowerHSV[1], UpperHSV[1])

        # Vizualizace oken a detekovaných objektů
        cv2.imshow(window_name, frame)
    LowerHSV[Index], UpperHSV[Index], IndexTmp = Get_Calib(frame, window_name)

        if IndexTmp != Index:
                Index = IndexTmp
                Set_Calib(frame, window_name, LowerHSV[Index], UpperHSV[Index])

        cv2.imshow('Frame1', frame1)
        cv2.waitKey(10) & 0xFF
        i += 1
```

9.3 Sestavování a programování robotů s inteligentními servy

9.3.1 Obecný postup konstrukce robota

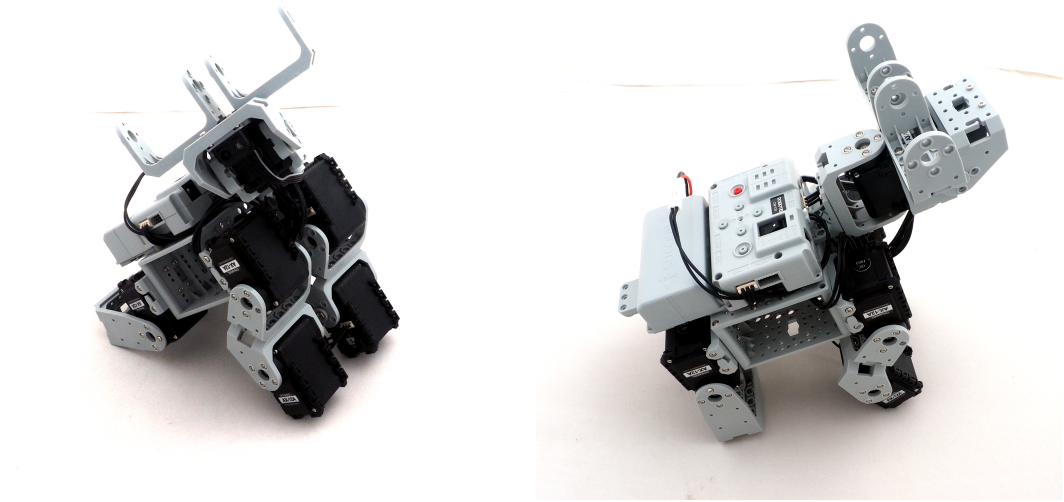
Při konstrukci RC modelu, nebo robota s chytrými servy obvykle postupujeme způsobem:

1. Snažíme se utřídit díly a především spojovací materiál.
2. Zkontrolovat servopohony a ověřit jejich nulovou pozici (střední, nebo jinou zadanou výrobcem), používá se přístoj pro nastavování serv.
3. Při sestavování je třeba dát pozor na identifikaci servopohonů, obvykle ID číslem.
4. Sestavit draka robota, nebo UAV.
5. Sestavit elektronickou část robota nebo UAV, připojit sensory a aktuátory k řídicí jednotce. Senzory musí být připojena na přesně určená místa. Serva se propojují navzájem a poslední v sérii do řídicí jednotky. Pozice, kde bude série serv připojena do řídicí jednotky není důležitá, protože jsou serva identifikována naprogramováním v paměti EEPROM, propojení serv je v sérii.
6. Koncové stavy a funkce serv, lin, expo není třeba kalibrovat.
7. Připásat všechny kabely ke statickým dílům.
8. Připojit baterii spustit testovací program, IMU jednotka může být zároveň kalibrována.



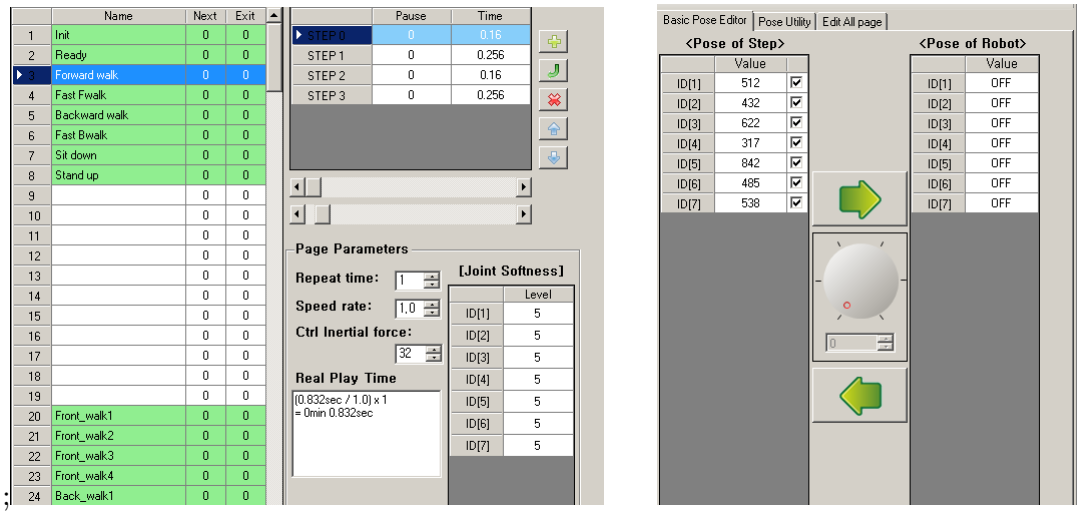
Obrázek 9.9: Součásti stavebnice Robotis

Po sestavení robota, zde varianty srnce, můžeme otestovat nastartováním testovacího programu z hlavního panelu řídicího modulu CM530.



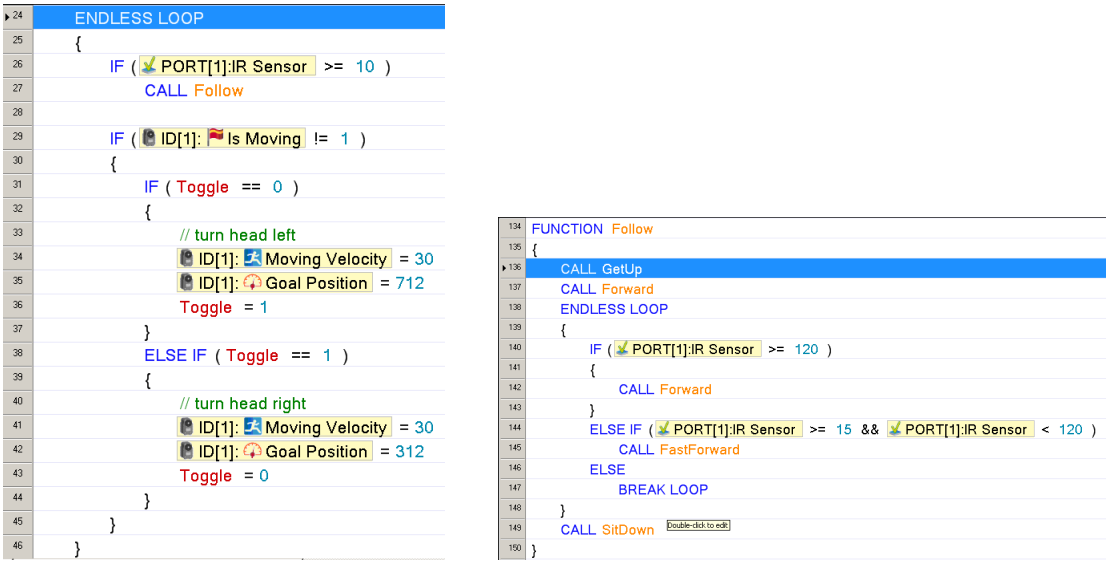
Obrázek 9.10: Srnec pohyb Sit Down, Forward

Na předchozím obrázku je zobrazen robot ve dvou postojích, první sedni - SitDown, druhý jdi dopředu - Forward walk/Forward. Pro definici pohybů potřebujeme editor pohybů. Tento editor umožňuje definovat pozici serv, zde 7 serv spolu s trváním pozice. Jednotlivé pozice a časové pauzy určují elementární pohyb robota. Elementární pohyb se dá pojmenovat a využít v programu pro robota, v task editoru.



Obrázek 9.11: Programování pohybů na platformě Robotis

Následují dva obrázky ukazují příklad programu robota v task editoru. První obrázek (vlevo) ukazuje program, kdy robot srnec otáčí hlavu, tedy servo s identifikací ID1. Pokud se přiblížíme rukou, nebo předmětem před hlavu zezdola, bude „potrava“ zachycena pomocí IR senzoru a spustí funkci následuj - Follow.



Obrázek 9.12: Grafický program pro robota srnec na platformě Robotis

Funkce následuj - Follow provádí akce robota po „zachycení potravy“. Nejprve se robot postaví a pohybuje se dopředu dle pohybu Forward. Následuje smyčka, ve které se rozlišuje vzdálenost robota od „potravy“. Máme zde tři intervaly hodnot z IR senzoru:

1. 0 - 15
2. 15 - 120
3. >= 120.

První interval znamená nepřítomnost „potravy“, druhý určuje větší vzdálenost, tedy se robot musí rychleji pohybovat dopředu. Ve třetím intervalu může robot sledovat „potravu“.

Následujíci tabulka ukazuje módy řídicí jednotky robota.

Obrázek stavu Led na jednbotce CM	Popis funkce a stavu
	Stav po zapnutí, čekání na komunikaci, nebo na nastartování programu robota.
	Stav po příkazu Start, start a provedení programu.
	Připojení sériové linky a komunikace, např. programování pohybů.
	Programování úlohy(task) pro robota.

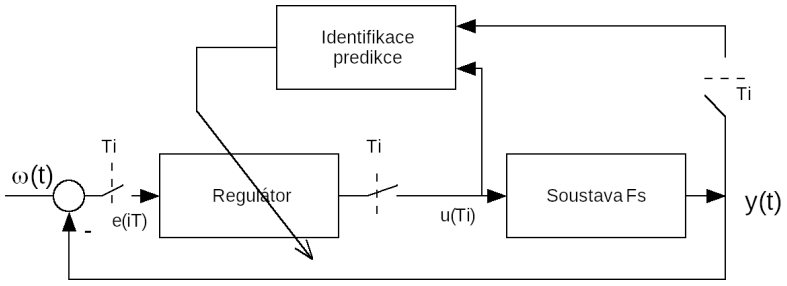
Tabulka 9.1: Základní význam stavů informačního panelu jednotky CM 530, běžné stavy

9.4 Základní algoritmy používané v robotice

9.4.1 Regulace a adaptivní regulace

Regulace je proces, kdy se snažíme udržet nastavenou veličinu na žádané hodnotě, například otáčky motoru při různém zatížení. Podívejme se na následující obrázek, vstupem $\omega(t)$ je žádaná veličina, např otáčky. Máme zde dva základní bloky R - regulátor a Fs jako soustavu. Pokud máme regulátor s konstantními parametry, nebude aplikována optimalizace regulátoru v čase - tedy blok Identifikace.

Soustava může být např. motor s inkrementálním čidlem, které se zpětnou vazbou tvoří část regulační smyčky. Inkrementační čidlo v tomto případě určuje $y(t)$. Zbytkem regulační smyčky je rozdílový člen a regulátor, který řídí např. otáčky střídavého motoru. T_i je čas vzorkování, tedy v praxi rychlost výpočtu a zpoždění reakce soustavy. Na diferenčním členu vzniká rozdíl $e(iT)$, např rozdíl rychlosti. Tento rozdíl následně využívá regulátor k tomu, jestli má přidat otáčky, nebo ubrat. Z obrázku je vidět, že se jedná o zápornou zpětnou vazbu. Nyní si představme situaci kdy daný pohon je použit na asfaltové cestě, nebo off-road - těžším terénu, je jasné že vzroste zatížení oproti asfaltové cestě a bude třeba podstatně vyšších a razantnějších změn. Jak nastavíme charakter jízdy, zřejmě v obou případech různě. Pokud byl regulátor nastaven stejně nebude regulace optimální. Musíme tedy použít regulátor, který bude mít proměnné paramety. Tyto parametry můžeme buď nastavovat jako profily, nebo použít optimalizace. V tomto případě je například učení parametrů pomocí neuronové sítě. Existují dokonce predikční regulátory[54], kdy z charakteristiky chování soustavy již může regulátor predikovat další akční zásah v čase. Je jasné že výpočet v celém schématu i učení musí být podstatně rychlejší, než je potřebná nejrychlejší změna regulačního zásahu. Tato změna je dána časovými parametry, tedy reakcí soustavy.

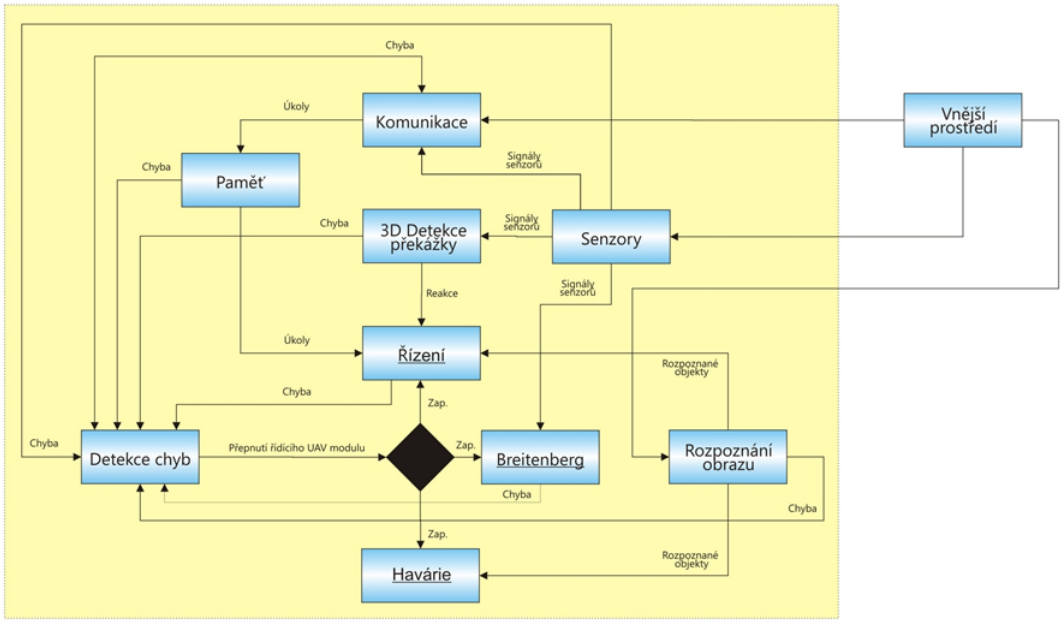


Obrázek 9.13: Regulace, adaptivní regulace[54]

9.4.2 Multiagentové systémy pro modelování složitých systémů

`Příklad multiagentové struktury`

Multiagentové systémy vznikly jako nástroj pro decentralizaci a dekompozici složitých systémů. Uveďme si příklad multiagentového modelu systému dronu z článku [55], viz. následující obrázek.



Obrázek 9.14: Základní struktura UAV, dekompozice [55]

Základní myšlenkou navrhovaného bezpilotního systému je přepínat tři základní režimy letu. Definujeme vyšší režim řízení jako řízení letu s použitím algoritmů umělé inteligence a režimy nižší, režimy s ovládáním založeným na jednodušších, reaktivních agentech a jejich algoritmech. Přepínání se provádí pomocí modulu s názvem „Detekce chyb“. Modul Detekce chyb, pokud jde o koncepci, je nejdůležitější z hlediska bezpečnosti UAV. Tento modul rozhoduje o režimu letu v případě poruchového stavu. Všimněme si, že do modulu Detekce chyb vedou spojnice z každého důležitého modulu. Kontrola chybových stavů je prováděna pomocí Heartbeat mechanismu. Pokud dojde k chybě, modul Detekce chyb odešle zprávu do Komunikačního modulu a ten pošle zprávu do jiných UAV leteckých prostředků, nebo do pozemní stanice. Modul detekce chyb přímo přepíná režim letu.

Režimy letu jsou [55]:

- Autonomní (UI) režim řízení letu;
- Letový režim Breitenberg;

- Nouzový letový režim.

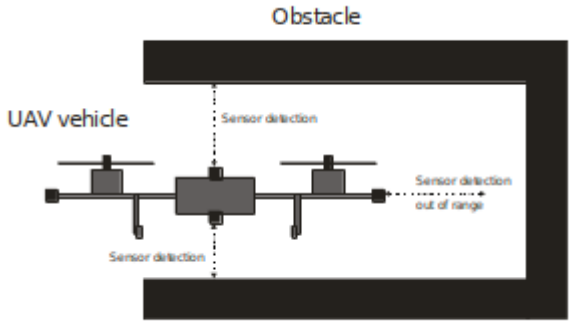
`Autonomní (UI) režim řízení letu`

Jedná se o řídicí modul autonomního letu, který využívá metody umělé inteligence. Modul načte lokální úlohy z modulu Paměť a provede plnění úkolů. Implementace tohoto modulu je založena na využití komplikovanějších způsobů umělé inteligence, jako jsou neuronové sítě, fuzzy systémy a fuzzy neuronové sítě. Nedílnou součástí funkce řídicího modulu algoritmy jsou rozhodování a plánování. Tento modul je z hlediska realizace velmi komplikovaný, může být navržen opět jako multiagentový. Vzhledem k tomu, že řídicí systém UAV zařízení, které se pohybuje ve variabilním 3D prostoru, je třeba vhodné reprezentace prostoru, scénářů a akcí. Scénáře a akce mohou být reprezentovány vhodnými pravidly v databázi pravidel. V případě variabilního prostředí je třeba rovněž adaptovat systém na nové podmínky. Je tedy nutno použít metod strojového učení. Nejznámější metodami jsou učící algoritmy neuronových sítí a fuzzy neuronových sítí. Tento modul může být realizován třemi způsoby:

- Učení z reakcí a řízení živým pilotem (s učitelem);
- Strojové učení - posilováním;
- Použití stávajících expertních znalostí.

`Breitenberg - 3D detekce překážky`

Pokud jeden z vyšších řídicích modulů selže, nebo nastane chyba při plnění lokálních úkolů, je zapnut modul Breitenberg. Modul Breitenberg může být rovněž zapnut při poruše modulu Paměť, nebo komunikačního modulu. Modul „Breitenbeg“ implementuje dobře známý Breitenbergův algoritmus vyhýbání se překážkám ve 2D prostoru a rozšiřuje ho pro 3D prostor. Tento algoritmus udržuje UAV prostředek na určitou vzdálenost od překážek, aby nedošlo ke kolizi. Z důvodu nutnosti rychlé reakce se většinou provádí implementace na HW prostředcích, jako např. na hradlovém poli.



Obrázek 9.15: Breitenbergův algoritmus, senzory UAV [55]

`Havárie`

Modul Havárie je aktivován signálem z modulu Detekce chyb v případě, že je nedostatek funkčních modulů a součástí pro pokračování letu. Například může dojít k selhání v modulu senzorů, tedy UAV již nemůže reagovat na překážky, či jiné omezující podmínky. Je i možnost náhrady vadného senzoru druhým. Další možností je poškození vrtule, mechanické části, nebo pohonného systému. Modul Havárie vyhodnotí stav UAV prostředku a zvolí způsob sestupu prostředku a nouzového přistání. U jednorotorové helikoptéry to může být například autorotace, pokud vypadne motor. Další možností je vystřelení padáku. Tento způsob je hodnocen jako dostatečný. Nouzový modul může rovněž blikat, nebo vydávat varovný zvuk.

`Komunikace`

Hlavním úkolem komunikačního modulu je zabezpečit komunikaci s moduly v rámci jednoho systému. Dále má za úkol komunikovat s dalšími UAV prostředky, nebo s pozemní stanicí. Funkce komunikačního modulu mohou dekomponovány do následujících bodů:

- Komunikace s dalšími prostředky UAV pomocí komunikačního protokolu.
- Odeslaní informací o letu.
- Vytváření lokálních úkolů na základě přijatých zpráv.
- Třídění zpráv dle priorit.
- Vytvářet a zasílat zprávy na základě zpráv modulu Detekce chyb.
- Kontrola funkčnosti detekce přepnutí modulu Detekce chyb.

Spolupráce s modulem detekce chyb je nezbytná.

`Paměťový modul`

Úkoly vytvořené komunikačním modulem dle přijatých zpráv z jiného UAV prostředku, nebo pozemní stanice je třeba uložit do modulu Paměť. V modulu Paměť jsou dále uloženy informace o okolním prostředí, vektorové mapy. Paměť rovněž slouží k uchování stavů UAV prostředku v čase a prostoru. Pozice se obvykle uchovává ve formě GPS souřadnic. Úkoly paměťového modulu je možno shrnout následujícím způsobem:

- Uložení úlohy do správné datové struktury.
- Třídění úkolů v souladu s prioritami.
- Prostředí mapování.
- Místní plánování, vytváření vlastních úkolů.

`Senzory`

Modul pracuje se všemi senzory umístěnými na UAV prostředku. Pomocí senzorů se především určuje pozice, vzdálenost překážek, Charakter látek a objektů různými měřicími metodami. Jedná se většinou o převod neelektrických veličin na elektrické, a to analogové, nebo digitalizací digitální hodnoty. Nejčastěji se používají tyto senzory:

- Ultrazvukové senzory;
- GPS senzor;
- Kamery;
- Laserové snímače;
- Zvukové senzory;
- Infračervené senzory.

Snímače použité pro odhad pozice a rychlosti mají větší prioritu.

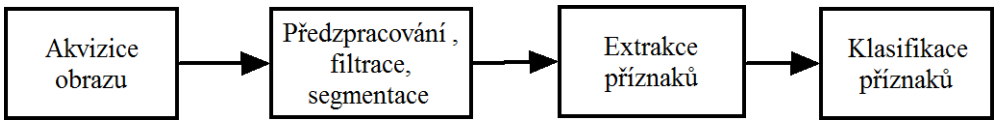
`Rozpoznávání obrazu`

Schopnost rozpoznávání obrazu je velmi důležitá pro správné fungování navrhovaného systému. V případě výpadku jiného senzoru může do jisté míry nahradit jeho funkci. Rozpoznávání obrazu analyzuje obraz, provádí segmentaci obrazu a analyzuje jed notlivé segmenty. V případě nefunkčnosti GPS může provést odhad horizontu a pozice podle význačných objektů porovnáním s elektronickou mapou. V případě porouchání senzorů vzdálenosti od překážky může pomoci stereovidění odhadnout vzdálenost a zastavit pohyb UAV.

9.4.3 Zpracování obrazů

Se zpracováním visuální informace souvisí několik standardizovaných úloh:

- Úloha navigace pomocí obrazové informace z kamery (např. při problému s GPS) [56];
- Úloha optické stabilizace pomocí kamery;
- Úloha vyhýbání se překážkám pomocí kamer;
- Úloha rozpoznávání terénu;
- Úloha sledování 3D objektu.



Obrázek 9.16: Proces zpracování obrazů [5]

`Příklad detekce značek`

1. Výběr barevné informace (červená)[34].
2. Segmentace.
3. Výpočet těžišť a plochy objektů.
4. Filtrace šumu a malých ploch.
5. Binární porovnávání se vzory značek, nebo extrakce příznaků a porovnání se vzory značek.
6. Popis nalezených značek, obarvení.



Obrázek 9.17: Zpracování obrazů a detekce značek [34]

`Optický tok a analýza pohybu`

V případě, že potřebujeme odhadnout rychlost pomocí kamery, mohou nastat tyto základní konfigurace [57]:

1. pohybuje se kamera, scéna je statická,
2. kamera je statická, pohybuje se scéna,
3. pohybuje se obojí zároveň.

Nejčastěji se používá odhad rychlosti pomocí optického toku. K výpočtu potřebujeme několik obrazů v ekvidistantních časových intervalech. Podstatou je aproximace intenzity obrazu (obrazové funkce) závislé na souřadnicích a času x, y, t taylorovým rozvojem [57]:

$$\Psi\left(x+dx, y+dy, t+dt\right) = f\left(x, y, t\right) + f_x dx + f_y dy + f_t dt + Rm, \tag{9.1}$$

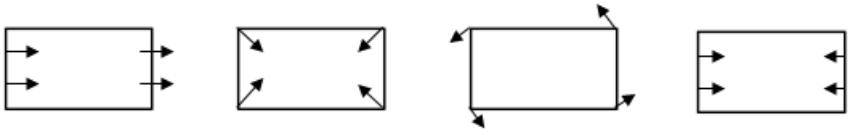
$$f\left(x+dx, y+dy, t+dt\right) = f\left(x, y, t\right) \tag{9.2}$$

$$-f_t = f_x \frac{dx}{dt} + f_y \frac{dy}{dt} \tag{9.3}$$

pro rychlost použijeme substituci

$$c = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}\right) \tag{9.4}$$

Máme vektor rychlosti, který se vypočítá iterativním řešením dif. rovnic. Na obrazu, výsledku dostaneme trajektorie, nebo vektory. Podle trajektorií můžeme odhadnout pohyb. Tyto různé pohyby jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obrázek 9.18: Příklady vektorů rychlosti pro typy pohybů, posuvný, zmenšení, rotace, zúžení/rotace [57].



Sestavení a programování robotů je ukázáno na reálných robotech, třídy Arduino, robotovi pavouk a univerzální stavebnici Robotis. Jsou ukázány základní algoritmy vyhýbání překážkám, sledování objektu. V příkladech jsou použity ultrazvujové senzory, lidary a především kamery. Rovněž je rozebrán multiagentový systém UAV robota. Dekompozicí byly navrženy jednotlivé funkčnosti celků - agentů. Rovněž je naznačeno využití kamery pro sledování objektu a odhad rychlosti pomocí optického toku.



Jakými postupy můžeme programovat roboty třídy Arduino, ATMega?
Popište množinu senzorů a využití na robotovi pavouk;
Reprodukujte postup sestavení a programování robota s inteligentními servopohony.
Jaké základní algoritmy užívané v robotice znáte?
Charakterizujte myšlenku dekompozice multiagentového systému robota.

Závěr

Skriptum, jak bylo řečeno v úvodu, přibližuje oblast robotiky, dronů a částečně umělou inteligenci studentovi. V budoucnu bude snaha o rozšíření skripta v oblasti teoretické a zároveň praktické - příklady na simulátorech a reálných robotech. Vzhledem ke snaze autora zavést do výuky humanoidního robota Poppyho, což je humanoidní robot, jehož skelet je inspirován lidskou kostrou, budou další programové aplikace souviset s robotikou a především s interakcí člověk - humanoidní robot.

Seznam obrázků

1.1 Golem [1]. . . . 3
1.2 Frankenstein [6][7]. . . . 4
1.3 Isaac Asimov [11]. . . . 5
1.4 Model robotického systému [13] 6
1.5 Vyhledávání do šířky 11
1.6 Algoritmus A-Star [5] 12
1.7 Příklad vícevrstvé neuronové sítě [15] 13
1.8 Perceptron [15] 13
2.1 Wheelbarrow Mk9 [18] 16
2.2 Crusher [19] 16
2.3 BigDog [21] 17
2.4 Dragon [17] 17
2.5 RQ1 Predator [24] 18
2.6 daVinci [17] 19
2.7 Sojouner [26] 20
2.8 Rocky 7 [27] 21
2.9 Khepera III 21
2.10 Koala 22
2.11 Robot pavouk s pokročilými senzory [30] 23
2.12 Sestavený robot ze stavebnice Robotis 23
3.1 IR senzor [28] 27
3.2 Senzor na robotu „srnec“ 27
3.3 Ultrazvukový senzor Maxbotix LV-MaxSonar-EZ0 High Perf. [31] 28
3.4 Hokuyo URG-04LX laserový dálkoměr s USB portem [35] 29
3.5 Laserový dálkoměr na těle robota [30] 29
3.6 Kamery pro stereoviděni na těle pavouka [30] 31
3.7 Inkrementální čidlo [29] 33
3.8 GPS/GPRS modul 34
3.9 Mechanický model gyroskopu [28] 35
3.10 Schema elektromotoru kartáčového [32] 36
3.11 Schema bezkartáčového elektromotoru [32] 36
3.12 Příklad PWM signálů s procentuálními hodnotami výkonu [32] 37
3.13 Schema spalovacího motoru [32] 38
3.14 RC mikro servo 39
3.15 Zpětnovazební systém řízení pozice serva [32] 39
3.16 Inteligentní serva Robotis, vpravo ID serva „5“ 40
4.1 výpočetní systém na robotovi pavouk [30] 42
4.2 ARM Cortex 8 s blokem Neon [36] 43
4.3 Programátor [43]. . . . 44
4.4 Vývojová deska platforma AVR [41] 45
4.5 LPC 1798-H s mikrokontrolérem Cortex M3 46
4.6 Olimex LPC-H2214 46
4.7 STM32F4-Discovery 47
4.8 Funkce VctMax v grafické podobě implementovaná na hradlovém poli [40]. . . . 47
5.1 Pulzní nabíjení NiCd akumulátorů [32] 50
5.2 Baterie LiPO v plastovém pouzdře [30] 50
5.3 Nabíječka s balancérem a měřením teploty [30] 51
5.4 RC výbava delta samokřídla [30] 51
5.5 5-kanálový RC vysílač, schema [32] 52
5.6 Amplitudová a frekvenční modulace [32] 54
5.7 PPM kódování kanálů [32] 55
6.1 Aibo [44] 57

6.2 ASIMO [42] . . . 58
6.3 Nao [44] . . . 59
6.4 Robotis hum. robot . . . 60
6.5 Humanoid robot Atlas [45] . . . 61
7.1 Schéma diferenciální konfigurace [46] . . . 64
7.2 Tříkolka, synchronizace kol, přední kolo udává směr [46] . . . 65
7.3 Tříkolka [46] . . . 65
7.4 Ackermanovo schéma řízení [46] . . . 66
7.5 detail ze všesměrového kola Mecanum [46] . . . 67
7.6 Minirobot se všesměrovými koly (vlevo) a jejich detaily (vpravo [46]) . . . 67
7.7 Noha robotického pavouka [30] . . . 68
8.1 Sikorsky VS-300 [51] . . . 71
8.2 Sikorsky R-4 [52] . . . 71
8.3 Funkční RC model heli Airwolf [30] . . . 72
8.4 Struktura RC helikoptéry [32] . . . 73
8.5 Pohyby helikoptéry dle řízení z vysílače ovladači v módu 1 [52]. . . . 73
8.6 Křivka plynu pro módy normal a akrobacie [52] . . . 74
8.7 Křivka kolektivu [52] . . . 74
8.8 Deska cykliky a pádlová mechanika, pohled shora na tyč pádel . . . 75
8.9 E-Sky lama V4 [52] . . . 76
8.10 Boeing-Vertol CH-147F Chinook [49] . . . 76
8.11 Qaudrucopter [32], UAV Gaui, Octocopter DJI . . . 77
8.12 VTOL RC model, Osprey V-22 [50] . . . 77
8.13 NAV kolibřík [32] . . . 78
9.1 Grafický program robota mBot [53] . . . 82
9.2 Grafický program Sleduj čáry [53] . . . 85
9.3 Procedury grafického programu Sleduj čáru [53] . . . 85
9.4 Součásti robota pavouk [30] . . . 86
9.5 Robot pavouk [30] . . . 87
9.6 Editační program pohybů pavouka . . . 87
9.7 Profil okolí robota změřený laserovým skenerem . . . 90
9.8 Grafický výstup detekce branky a míčku [30] . . . 90
9.9 Součásti stavebnice Robotis . . . 93
9.10 Srnec pohyb Sit Down, Forward . . . 93
9.11 Programování pohybů na platformě Robotis . . . 94
9.12 Grafický program pro robota srnec na platformě Robotis . . . 94
9.13 Regulace, adaptivní regulace[54] . . . 96
9.14 Základní struktura UAV, dekompozice [55] . . . 96
9.15 Breitenbergův algoritmus, senzory UAV [55] . . . 97
9.16 Proces zpracování obrazů [5] . . . 99
9.17 Zpracování obrazů a detekce značek [34] . . . 99
9.18 Příklady vektorů rychlosti pro typy pohybů, posuvný, zmenšení, rotace, zúžení/rotace [57]. . . . 100

Seznam algoritmů

1 Příklad programu robota mBot ekvivalentní ke grafickému programu 84
2 Příklad řízení základního podvozku pavouka 89
3 Příklad příklad načtení dat z laserového skeneru pavouka 89
4 Příklad detekce branky a míčku, inializace a kostra smyčky 91
5 Příklad detekce branky a míčku, vnitřní část smyčky - zpracování obrazu . 92

Seznam tabulek

8.1 Klasifikace váhy UAV [32] 79
8.2 Klasifikace dle draku UAV [32] 79
8.3 Klasifikace dle výšky dostupu [32] 79
8.4 Klasifikace dle provozní doby a doletu UAV [32] 79
8.5 Klasifikace dle funkce a autonomnosti [32] 80
9.1 Základní význam stavů informačního panelu jednotky CM 530, běžné stavy 95

Reference

[1] ROZSYPAL, Jiří. Introduction to robotics. Opava: Slezská univerzita, 2012.

[2] In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Homunkulus

[3] MEYRINK, Gustav, KODYM, Jaroslav, ed. Golem. Přeložil Bořivoj PRUSÍK. Praha: Dobrovský, 2015. Omega (Dobrovský). ISBN 978-80-7390-292-6.

[4] CHOVANEC L. Hypertextová příručka k předmětu „Umělá inteligence“, Opava, 1999, SU v Opavě.

[5] ČERMÁK, Petr. Umělá inteligence. Olomouc: Moravská vysoká škola Olomouc, o.p.s., 2018.

[6] Bookish Relish [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: http://bookish-relish.blogspot.cz/2011/11/classic-fiction-frankenstein-or-modern.html

[7] MARTINEZ, Ricardo. La “larga historia” de la Ciencia Ficción (SF) [online]. In: . 27.6.2011 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: http://terceracultura.cl/2011/07/la-%E2%80%9Clarga-historia%E2%80%9D-de-la-ciencia-ficcion-sf/

[8] ČAPEK, Karel. R.U.R. V Praze: Fortuna Libri, 2018. ISBN 978-80-7546-163-6.

[9] Asimov, Isaac (1950). ”Runaround”. I, Robot (The Isaac Asimov Collection ed.). New York City: Doubleday. p. 40. ISBN 0-385-42304-7

[10] ASIMOV, Isaac. Já, robot. Přeložil Oldřich ČERNÝ, přeložil Zuzana MEYEROVÁ. Praha: Triton, 2000. Trifid (Triton). ISBN 80-7254-150-1.

[11] LEONIAN, Phillip. Dr. Isaac Asimov [online]. In: . New York World-Telegram & Sun [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Isaac.Asimov01.jpg#/media/File:Isaac.Asimov01.jpg

[12] Mařík, V. a kol. Umělá inteligence. 1. 1. vyd. Praha: Academia, 1993. 264 s. ISBN 978-80-200-0496-3.

[13] HAVEL, Ivan M. Robotika: úvod do teorie kognitivních robotů. Praha: SNTL, 1980. Teoretická knižnice inženýra.

[14] SEARLE, John R. , ”Minds, Brains, and Programs”, from The Behavioral and Brain Sciences, vol. 3., 1980 Cambridge University Press.

[15] ČERMÁK, P.: Analýza EKG signálů s využitím virtuální instrumentace a prvků umělé inteligence. Ostrava, 1997. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

[16] WIENER, Norbert. Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. New York: J. Wiley, 1957.

[17] ROZSYPAL, Jiří. Practical using of robots. Opava: Slezská univerzita, 2012.

[18] Explosive Ordnance Disposal (EOD) - The Wheelbarrow Mk9 [online]. Military systems & Technology [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: http://www.militarysystems-tech.com/military-gallery/northrop-grumman---unmanned-ground-systems/explosive-ordnance-disposal-eod----the-wheelbarrow-mk9

[19] Crusher Autonomous Vehicle. Https://defense-update.com [online]. Defence innovation review, 12.12.2007 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://defense-update.com/20071212_crusher-ugv.html

[20] BigDog: The First Advanced Rough-Terrain Robot [online]. Boston Dynamics [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.bostondynamics.com/bigdog

[21] DARPA, ed. Bio-inspired Big Dog quadruped robot is being developed as a mule that can traverse difficult terrain [online]. In: . 23 August 2012 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/BigDog#/media/File:Bio-inspired_Big_Dog_quadruped_robot_is_being_developed_as_a_mule_that_can_traverse_difficult_terrain.tiff

[22] Crusher Autonomous Vehicle. Https://defense-update.com [online]. Defence innovation review, 12.12.2007 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://defense-update.com/20071212_crusher-ugv.html

[23] Dragon Runner. http://military.discovery.com [online], [cit. 2019-09-10]. Dostupné z: http://military.discovery.com/technology/robots/light-ugv/dragon-runner.html

[24] MQ-1 Predator armed with AGM-114 Hellfire missile. In: Www.wikimedia.org [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator#/media/File:MQ-1_Predator.jpg

[25] Davinci [online]. Intuitive Surgical, 2019 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.intuitive.com/en-us/products-and-services/da-vinci/systems

[26] Mars Pathfinder and Sojourner [online]. NASA, 2019 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/mission_pages/mars-pathfinder

[27] NATHA, Anil, Luis ESPINOZA, Tony GREICIUS a John NELSON. Rocky 7 Team Seeks Classes to Participate in Rover Testing. In: Nasa Jet Propulsion laboratory, California Institute of Technology [online]. 17.5.1997 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=5309

[28] ROZSYPAL, Jiří. Sensors of robot. Opava: Slezská univerzita, 2012

[29] SKÁCEL, Martin. SENZORICKÝ SUBSYSTÉM PRO VENKOVNÍ ROBOT, Bachelor thesis, VUT [online]. BRNO [cit. 2012-07-29]. Available from: http://www.tim2.wz.cz/download/bp/xskace07.pdf

[30] Foto Archive, System Media, Opava, 2019.

[31] MaxBotix Inc. Ultrasonic Sensors Product Catalog. Ultrasonic Sensors Product Catalog [online]. 2017 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.maxbotix.com/Ultrasonic_Sensors.htm

[32] NOVÁK, David. UAV autonomous systems. Opava: Slezská univerzita, 2012.

[33] Intel Corporation. Intel® Compute Stick STK2m3W64CC. Intel [online]. [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.intel.com/content/www/us/en/products/boards-kits/compute-stick/stk2m3w64cc.html

[34] ČERMÁK P., KELEMEN, J. (2011) An Attempt to Teaching Programming with Robots. In: Obdržálek D., Gottscheber A. (eds) Research and Education in Robotics - EUROBOT 2011. EUROBOT 2011. Communications in Computer and Information Science, vol 161. Springer, Berlin, Heidelberg.

[35] HOKUYO AUTOMATIC CO., LTD. Distance Data Output/URG-04LX-UG01: Scanning Rangefinder [online]. In: . 2014 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=166

[36] ARM Cortex A8. In: Wikimedia [online]. Wikimedia Foundation, 31.5.2014 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ARM-Cortex-A8.gif

[37] VÁŇA, Vladimír. ARM pro začátečníky. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-246-6.

[38] BRTNÍK, Bohumil a David MATOUŠEK. Mikroprocesorová technika: [práce s mikrokontroléry řady ATMEL AVR ATXmega.] Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-406-4.

[39] WILMSHURST, Tim. Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers, Second Edition: Principles and Applications. Newnes, 2009, 750 pages, ISBN-13 978-1856177504

[40] Cermak, P, Martinu, Fuzzy Neural Networks on Embedded platforms, Proceedings of the 20-th Czech-Japan seminar on data analysis and decision making under uncertainty, September 17-20, 2017, Pardubice, CZ. ISBN 978-80-7464-932-5.

[41] ROZSYPAL, Jiří. Mainboards with accessories. Opava: Slezská univerzita, 2012.

[42] Morio. Tokyo Motor Show 2013: ASIMO. In: Wikimedia [online]. Wikimedia Foundation, 29.11.2013 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29969316

[43] HAWLICZEK, Petr. Programování mikrokontrolérů ATMEL: Fyzický programátor. In: Http://hawelson.blog.cz [online]. 22.5.2010 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: http://hawelson.blog.cz/1005/programovani-mikrokontroleru-atmel

[44] ROZSYPAL, Jiří. Humanoid robots. Opava: Slezská univerzita, 2012.

[45] https://www.kansascity.com/news/business/technology/917xpi/picture62197987/ALTERNATES/FREE_640/atlas%20from %20boston%20dynamics. Robot Atlas. In: Www.wikimedia.com [online]. 11.5.2016 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/Atlas_from_boston_dynamics.jpg

[46] ROZSYPAL, Jiří. Automotive robots. Opava: Slezská univerzita, 2012.

[47] VODRÁŽKA, Jakub. NÁVRH KONSTRUKCE MOBILNÍHO AUTONOMNÍHO ROBOTU, Diplomová práce, VUT [online]. BRNO [cit.2019-06-06]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiD4teay9PkAhUPKVAKHSuYAcAQFjACegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fis.mendelu.cz%2Flide%2Fclovek.pl%3Fzalozka%3D7%3Bid%3D33133%3Bstudium%3D50374%3Bzp%3D41320%3Bdownload_prace%3D1&usg=AOvVaw39NsDphB3yENGNSro9oecW

[48] Close up of a Mecanum-Wheel [online]. In: . 27.9.2013 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meacnum-Rad.png#/media/File:Meacnum-Rad.png

[49] WILSON, Alan. C/n M.2054. One of fifteen operated by 450 (Tactical Helicopter) Squadron, Royal Canadian Air Force, based at CFB Petawawa, Ontario. Seen departing after taking part in the 2017 Royal International Air Tattoo. RAF Fairford, Gloucestershire, UK. 17th July 2017 [online]. In: . Stilton, Peterborough, Cambs, UK, 17.7.2017 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Boeing-Vertol_CH-147F_Chinook_%E2%80%98147304_304%E2%80%99_%2844129568090%29.jpg

[50] HASELTINE, James. A U.S. V-22 Osprey tiltrotor aircraft flies a test mission. U.S. [online]. In: . 20.8.2003 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:V-22_Osprey_tiltrotor_aircraft.jpg

[51] LEMOS, Robert. The Helicopter: A Hundred Years of Hovering. In: Https://www.wired.com [online]. Condé Nast., 2018 [cit. 2019-09-22]. Dostupné z: https://www.wired.com/2007/12/gallery-helicopter/?slide=21&slideView=6

[52] ROZSYPAL, Jiří. Flying robots. Opava: Slezská univerzita, 2012.

[53] ČERMÁK, Petr. Robotika jako prostředek rozvoje algoritmického myšlení. Opava: Slezská univerzita, CŽV, 2017.

[54] M. Pokorný.Umělá inteligence v modelování a řízení. BEN Praha, 1996. ISBN80-901984-4-9.

[55] Čermák P, Novák D, Advantages of using multi-agent principles in FAIL – SAFE UAV system design, MMAR 2011.

[56] NOVAK, D., CERMAK, P.: Fuzzy - Based method of detecting the enviroment character for UAV optical stabilization (2015) Advances in Electrical and Electronic Engineering, 13 (3), pp. 255-261. DOI: 10.15598/aeee.v13i3.1299.

[57] ČERMÁK, P., BLAHUTA, J., MARTINŮ, J.: Počítačové vidění, Opava, 2013, UI FPF SU v Opavě.