

Dílna kráčejících robotů pro střední školy

Chůze a kinematika robotu

NTK

50°6'14.083"N, 14°23'26.365"E

Národní technická knihovna
National Library of Technology

0x 48 65 6c 6c 6f 20 77 6f 72 6c 64 21 0a

Co je napsáno v nadpisu?

Co je napsáno v nadpisu?

... dnes vytvoříme »hello world« alà robotika.

Cíle dílny

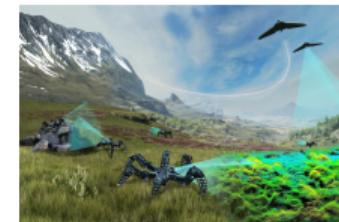
- Rozchodit roboty vlastním programem.
- Popsat chůzi robotu matematicky.
- Získat pokročilejší vhled do robotiky.
- Zjistit, že se ve škole neučíme nadarmo.
... A to vše za pouhé 4 hodiny.

Pravidla

- Zkoumejme, vymýšlejme, raďme si!
- Spolupracujme dle libosti! Těžte!
- Snažte se nezničit chudáky roboty.
- Pracujte v Plocha/roboty/<datum>.

Martin Zoula (✉) | Filip Kučera (✉)

comrob.fel.cvut.cz





https://gitlab.fel.cvut.cz/crl/public/courses/kracejici_roboly_ntk

Hexapod ~ mravenec



ROBOTIS PREMIUM King Spider

- 6 nohou, každá má 3 klouby.
- Celkem 24 stupňů volnosti.
- Staticky stabilní chůze možná.
- Mnoho typů chůze - 3pod, 4ped, 5pod...

Humanoid ~ biped ~ člověk

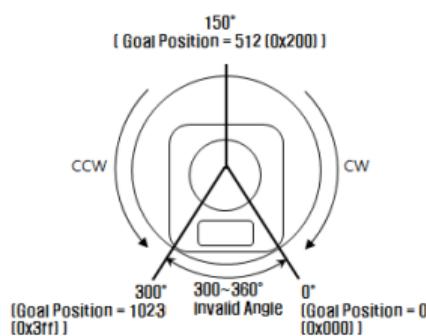


- Noha 6 kloubů, ruka 3 klouby.
- 18 řiditelných stupňů volnosti.
- Nestabilní - potřeba kontrolovat těžiště.
- Chůze po dvou i po čtyřech.

Jedna ryska = 150°



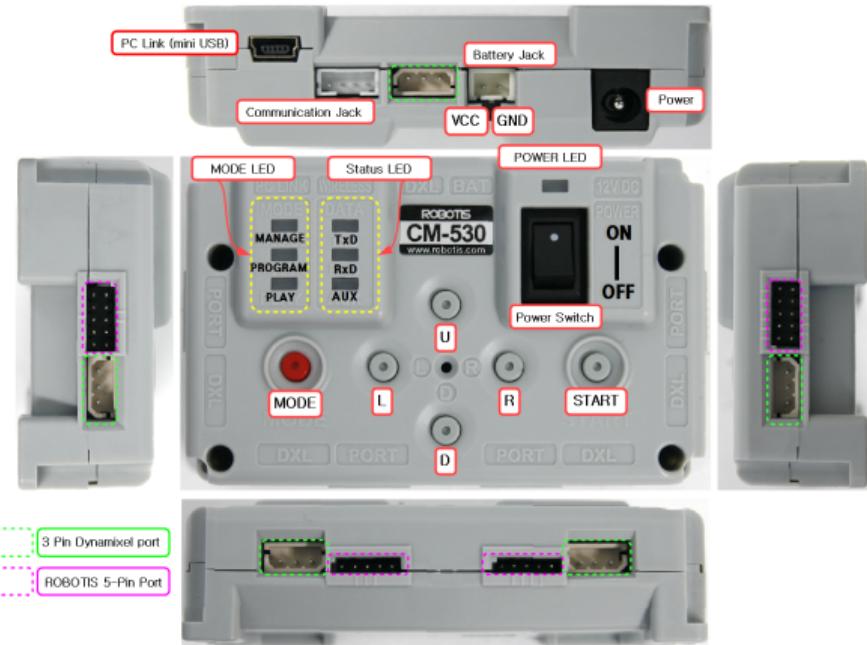
Dvě rysky = 330°



Robotis Dynamixel AX-12W

- Převodovaný elektromotor s řízením polohy.
(Pozor! Náraz může převody poškodit!)
- Poziční zpětná vazba z potenciometru.
(Pozor! Mrtvý úhel - rotor se nemůže zastavit dole.)
- Ovládaný digitálním protokolem z řídicí jednotky.
(Každé servo v rámci robotu musí mít unikátní ID!)
- Lze ovládat nebo pozorovat různá nastavení serva.
(Maximální moment, rychlosť, úhel, přehřátí, stall...)
- Referenční manuál zde.

Řídící jednotka

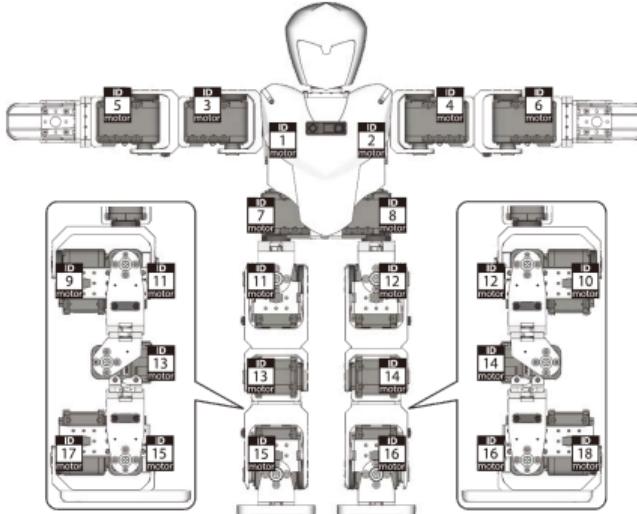
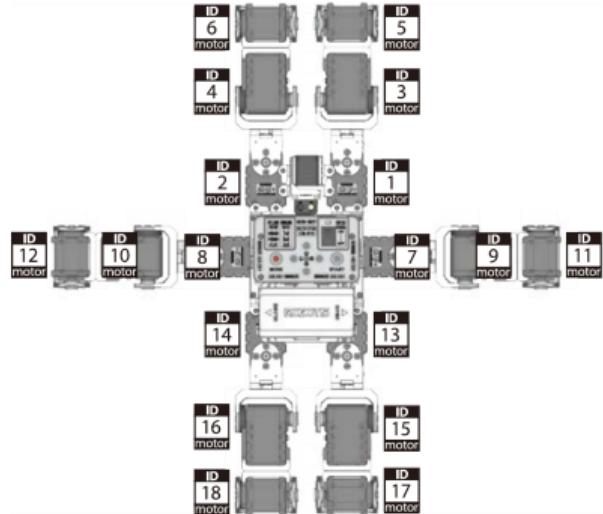


STM32F103RE ARM Mikročip, 72 MHz, 512 kB

- Zprostředkovává komunikaci počítače a servomotorů.
- Umí přehrát naprogramovaný pohyb nebo program.
- Programujeme z PC přes USB.
- Pro spuštění nahraného programu je potřeba červeným tlačítkem zvolit režim »play«, poté zmáčknout »start«.
- Program zastavit červeným tlačítkem, v nouzi kolébkou.

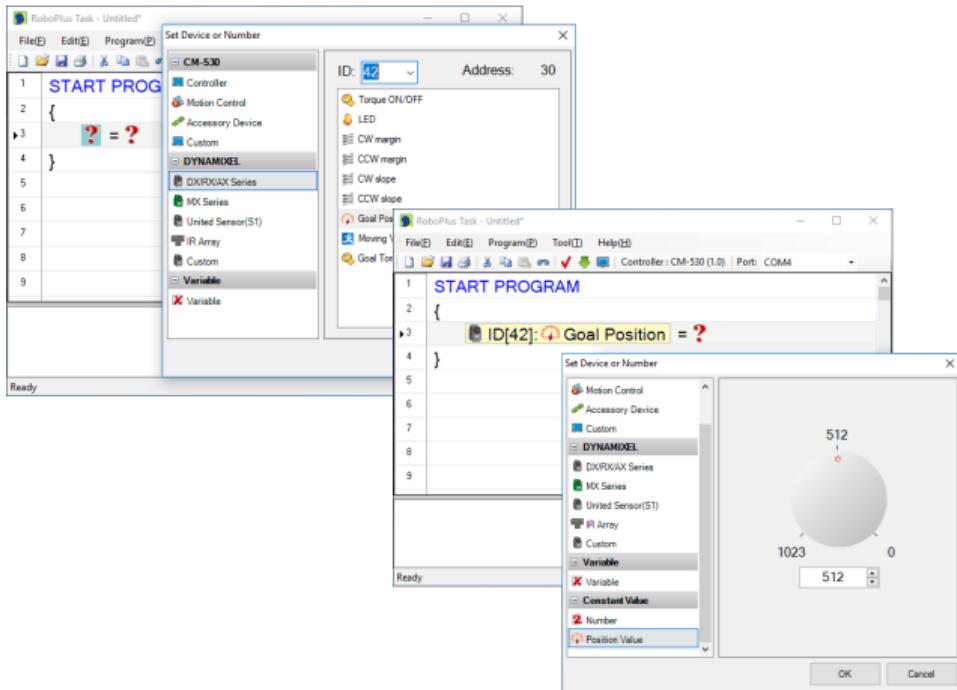
Úkol: Poznejte svůj robot

- S robotem hýbejte, zkoumejte pohyb.
- »RoboPlus Manager« zobrazuje (mj.) aktuální úhly servomotorů.
- Načrtněte schéma nohy a těla robotu.
- Značte + směr otáčení servomotorů.
- K čemu je uchycený stator a rotor?



Úkol: První krůčky

1. Spusťte »RoboPlus« → »Task«.
2. Nový soubor, vyberte kontroler.
3. Mezerník vkládá prázdný řádek.
4. Dvojklikem na řádek vkládáte.
5. Nastavte servo na pozici 0°.
6. Nahrajte přes správný COM.



K robotu může být v danou chvíli připojen jen jeden program!

[Hexapod] Úkol: Kývání nohou

- Přednastavená rychlosť môže byť veľká.
- 1. Nastavte všem servom rychlosť 50.
- 2. Nastavte všetkých serva na nulový úhel.
(Vytvoríte si funkciu na počáteční polohu.)
- 3. Hýbejte jedným servom sem a tam.
- Po nastavení požadovaného úhlu sa servomotor začne ihned pohybovať!
Procesor ale na dokončenie pohybu nečeká! Čekanie je potreba vynútiť!
- 4. Pomocí WAIT WHILE kontrolujte stav servomotoru Is Moving.

```
[CM-530]-ukol-kyvani-hexa-2

1: START PROGRAM
2: {
3: // Zapnutí výkonu serv
4: [ID[All]] [Torque ON/OFF] = TRUE
5: // Nastavenie rýchlosť serv.
6: [ID[All]] [Moving Velocity] = 50
7: // Nastavenie základnej pozicie robota.
8: [ID[All]] [Goal Position] = 512
9: [Timer] = 2.048sec
10: WAIT WHILE ([Timer] > 0.000sec )
11: // Kývanie pravým stredním femurem
12: LOOP FOR (i = 0 ~ 6 )
13: {
14: [ID[9]] [Goal Position] = 860
15: WAIT WHILE ([ID[9]] [Is Moving] == TRUE )
16: [ID[9]] [Goal Position] = 512
17: WAIT WHILE ([ID[9]] [Is Moving] == TRUE )
18: }
19: // Povolení serv - zabráníme prehrievaniu
20: [ID[All]] [Torque ON/OFF] = FALSE
21: }
```

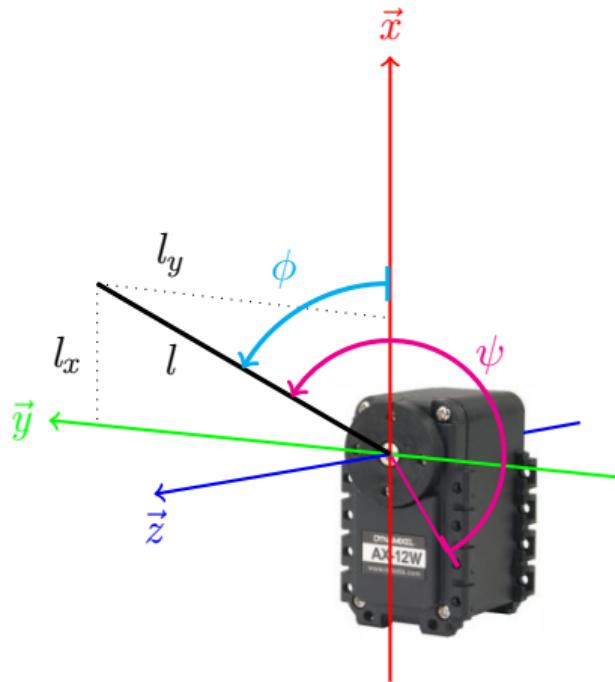
[Humanoid] Úkol: Kývání nohou

- Humanoidova noha je složitá. Prosté vynulování serv by vzpríčilo díly robotu.
1. Vyvolezte »pohyb č. 25«, nechť toto je naše počáteční pozice.
 - Pohyb má definované i rychlosti.
Poslední rychlosť zůstane nastavena.
 2. Nastavte všem servům rychlosť 50.
 3. Hýbejte servomotorem sem a tam.
 4. Kontrola dokončení pohybu viz sl. 11.
 - Serva se mohou při zátěži přehřát.
 5. Vypínejte mezi programy »torque«.

[CM-530]-ukol-kyvani-humanoid

```
1: START PROGRAM
2: {
3:     // Inicializace - počáteční poloha humanoida
4:     [Motion Index Number] = 25
5:     WAIT WHILE ([Motion Status] == TRUE )
6:     // Nastavení rychlosťi pohybu
7:     [ID[All]: Moving Velocity] = 50
8:     // Kývání kydí
9:     LOOP FOR (i = 0 ~ 5 )
10:    {
11:        [ID[8]: Goal Position] = 700
12:        WAIT WHILE ([ID[8]: Is Moving] == TRUE )
13:        [ID[8]: Goal Position] = 512
14:        WAIT WHILE ([ID[8]: Is Moving] == TRUE )
15:    }
16:    // Povolení motorů
17:    [ID[1]: Torque ON/OFF] = FALSE
18: }
```

Matematický popis servomotoru



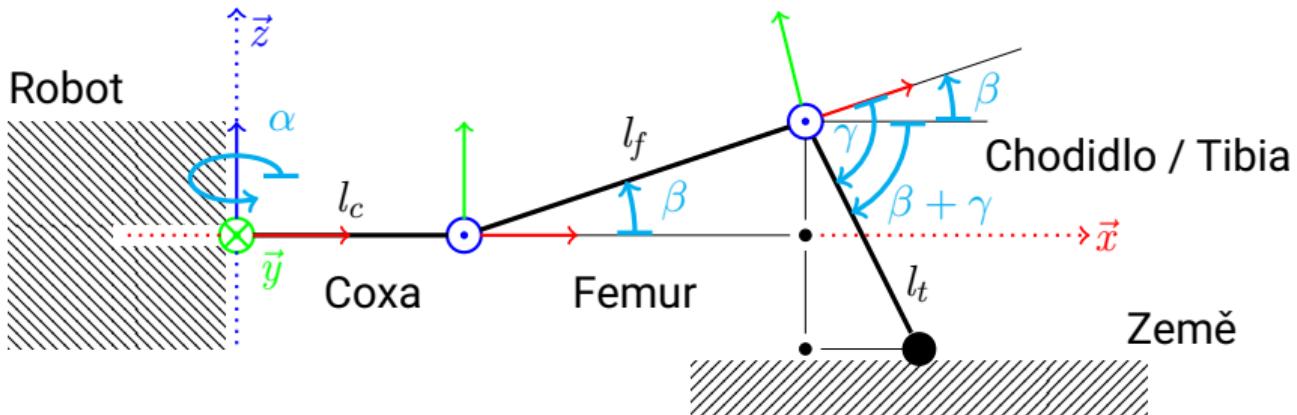
- Technický úhel ψ : Dle výrobce serva.
 - (To čteme/zapisujeme v servu.)
- Matematický úhel ϕ : Dle našeho robota.
 - Kladný směr rotace podél osy z .
 - Nulový úhel na ose x .
 - (Pravidlo pravé ruky.)

$$l_x = l \cos(\phi)$$

$$l_y = l \sin(\phi)$$

$$\phi = \psi - 150^\circ$$

Noha, nebo-li kinematický řetěz



Přímá kinematická úloha: Úhel servomotorů → souřadnice chodidla.

$$x_{chod.}(\alpha, \beta, \gamma) = \cos(\alpha) [l_c + l_f \cos(\beta) + l_t \cos(\beta + \gamma)]$$

$$y_{chod.}(\alpha, \beta, \gamma) = \sin(\alpha) [l_c + l_f \cos(\beta) + l_t \cos(\beta + \gamma)]$$

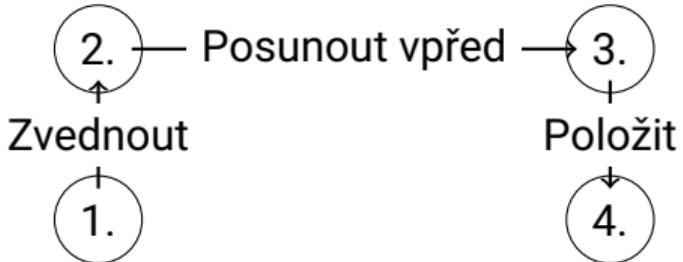
$$z_{chod.}(\alpha, \beta, \gamma) = l_f \sin(\beta) + l_t \sin(\beta + \gamma)$$

Úkol: Naprogramovat krok jedné nohy

- Rozdělte si práci. (Každý jednu nohu...) Je potřeba odladit znaménka.
- Existuje mnoho různých typů kroků: Obdélník, trojúhelník, kružnice, elipsa, reaktivní krok, adaptivní krok, měkký krok, ...
- Nezapomínejte na to, že je potřeba čekat na dokončení pohybu servomotoru.

Hexapod

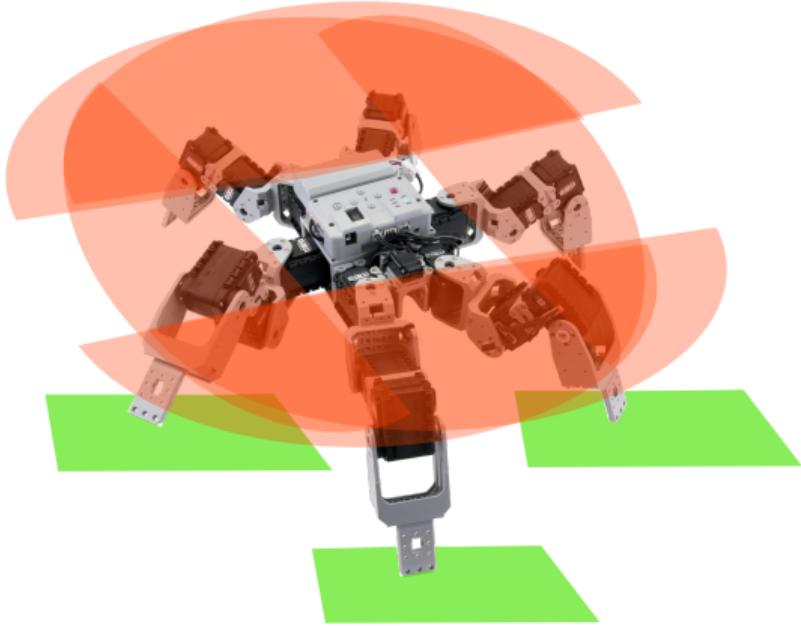
- Pohyb coxou, femurem i tibií, jen vpřed.



Humanoid

- Pozor na těžiště! Robot chytejte!
- Využijte »pohybu 25«, který posune těžiště robotu dostatečně nízko.
- Pro jednoduchost pohybujte pouze kotníkem a kyčlí, případně balancujte.

Omezení pohybu



- Robot má mnoho stupňů volnosti.
Může je ale využít úplně?
- Mechanicky omezený pohyb kloubů.
- Operační prostor nohou se protíná!
- Chůze robotu tedy musí být vymyšlena tak, aby se nohy vzájemně nesrážely.
- Robot může narazit i do prostředí!
(Země nebývá vždy rovná, v prostředí jsou překážky, lidé, jiné stroje ...)

1. Zabalte kód, který tvoří krok jednou nohou do samostatné funkce.
2. Vytvořte pro každou nohu jednu funkci, která provede pohyb vpřed.
3. Pečlivě zkонтrolujte správná ID serv v jednotlivých funkcích!
4. Nohy mají různé orientace servomotorů. Dopočítejte si nové správné úhly!
5. (Hexapod) Vytvořte funkci, která pohne coxami vzad a tím posune robot vpřed.
6. Volejte ve vhodném pořadí všechny funkce a tím vytvořte chůzi.

POZOR!

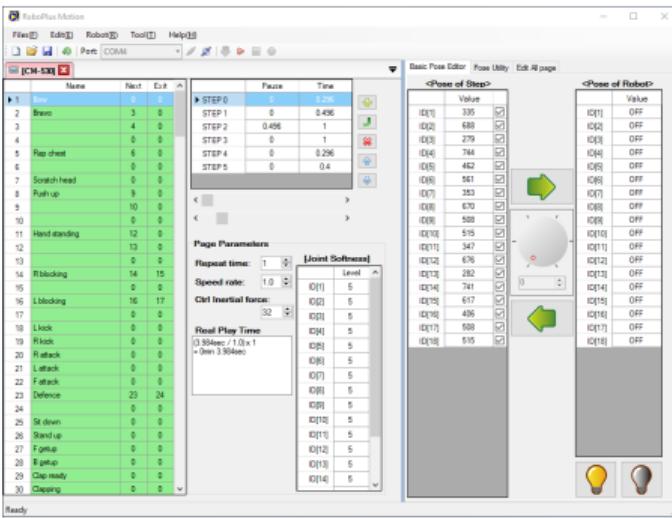
- Dávejte pozor na kolize nohou.
- Upravte parametry chůze (pohyb v coxe) tak, aby se nohy nemohly srazit!

Předprogramované pohyby

- V paměti robota je nahráno několik předprogramovaných pohybů.
- Pomocí nástroje »RoboPlus Motion« můžete tyto pohyby přehrát.
- Pohyby je možno spouštět i z programu.

[CM-530]-stub-motion

```
1: START PROGRAM
2: {
3: // Začne vykonávat přednastavený cvik.
4: Motion Index Number = 42
5: // Program je třeba zastavit dokud není cvik dokončen.
6: WAIT WHILE ( Motion Status == TRUE )
7: }
```



Na robotech jsou senzory vzdálenosti a mikrofon, který umí rozpoznat tlesknutí.

[CM-530]-stub-distance

```
1: START PROGRAM
2: {
3:     // Vyčtení hodnoty do proměnné
4:     přečteno = PORT[1]:IR Sensor
5:     // Použití hodnoty přímo v programu
6:     IF ( PORT[1]:IR Sensor <= 100 )
7:     {
8:         // ...
9:     }
10:
11:    // Senzor tlesknutí - čekám na jeden tisk.
12:    Result of Sound Counter = 0
13:    WAIT WHILE ( Result of Sound Counter < 1 )
14:    // Zahrají melodi.
15:    Buzzer Time = Play Melody
16:    Buzzer index = Melody2
17:    WAIT WHILE ( Buzzer Time > 0 )
18: }
```



Úkol: Vytvořit tanček

1. Robot čeká dokud se netleskne.
2. Po tlesknutí provede jeden pohyb.
3. Poté opět čeká na tlesk, následně provede jiný pohyb.
4. ... cokoliv, co vás napadne.

Bonusový úkol: Inverzní kinematická úloha

- Problém: Nohy při chůzi prokluzují.
- Pohybuje-li robot coxou, opisuje chodidlo kružnici.
- Ve světových souřadnicích se noha při chůzi pohne po úsečce tam a zpět.
- Aby se eliminovalo nebo alespoň omezilo smýkání, je možno dopočítat úhly servomotorů tak, aby špička nohy zůstala během pohybu těla na místě.
- Zkuste si tuto úlohu matematicky rozmyslet. Zkuste vymyslet rovnice inverzní kinematiky. (Vizte obrázek přímé kinematiky.)

Bonusový úkol: Senzorika

- Naprogramujte robota vyšší logiku využívající senzory.
- (Robot jde vpřed, jakmile se přiblíží, zastaví a otočí se.)
- (Robot čeká na tlesknutí, po něm se rozběhne vpřed.)
- (Robot po tlesknutí zastaví a udělá nějaké gesto.)
- Využijte vlastní program chůze, předprogramovaný pohyb, nebo obojí.

Bonusový úkol: Zrychlení chůze tripodem

- Hexapod může s výhodou využít staticky stabilní krok.
- Tři nohy jsou na zemi, tři se přemisťují vpřed.
- Změňte program tak, aby chodil jako tripod.
- (Tzn. během pohybu má vždy jen tři nohy na zemi.)

Bonusový úkol: Remote Control

- Vývojové prostředí dokáže zprostředkovat řídicí signály.
- Naprogramujte robot tak, aby po zmáčknutí tlačítka udělal krok vpřed.

0x06(ACK) 0x03(EOM) 0x04(EOT) 0x19(EM) 0x1b(ESC)

#robotikaNTK

comrob.fel.cvut.cz