
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Informatika a logistika

**Řízení malého robota LEGO MINDSTORMS
NXT ve vývojovém prostředí LabVIEW**

**Control of small robot LEGO MINDSTORMS
NXT in development system LabVIEW**

Bakalářská práce

Autor: **Jan Pokorný**
Vedoucí práce: Ing. Jiří Bažant, Ph.D.
Konzultant: Ing. Jaroslav Vlach

V Liberci 20.5.2010

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi pomáhali při řešení mé bakalářské práce. Poděkování patří firmě PRECIOSA a.s. za zapůjčení stavebnice LEGO MINDSTORMS NXT, zejména panu Ing. Jaroslavu Vlachovi za konzultace při řešení problémů. Poděkování patří i panu Ing. Jiřímu Bažantovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce, za cenné rady a vedení bakalářské práce. V neposlední řadě patří velké dík i mým rodičům za morální podporu během celého studia.

Abstrakt

Práce je zaměřena na programování a řízení malého robota LEGO MINDSTORMS NXT v grafickém programovacím prostředí LabVIEW. V teoretické části se zabývá popisem jednotlivých částí robota, jeho rozdíly mezi dostupnými verzemi na trhu a jeho komunikací s okolím. Čtenář se zde také dozví, v čem je možné robota programovat, popis programovacích prostředí včetně prostředí LabVIEW. V praktické části je na konkrétní aplikaci v LabVIEW odzkoušena funkčnost robota, schopnost senzorů reagovat na podněty, omezení a nedostatky NXT robota. Důraz je kladen na komunikaci pomocí bezdrátové technologie Bluetooth a její nasazení v průmyslové sféře. Dále je zde popsáno použití LabVIEW v operačním systému Linux.

Klíčová slova: LEGO MINDSTORMS NXT, LabVIEW, řízení, robot, Linux

Abstract

This work is focused on programming and taking control of small LEGO MINDSTORMS NXT robot by graphic development system LabVIEW. Theoretical part is dealing with describing individual parts of robot, differences between available versions on market and his communication with neighborhood. In practical part is tested functionality of robot, abilities of sensors to react some impulses, limitations and shortcomings of NXT robot. Emphasis is placed on communication via Bluetooth wireless technology and its application in the industry. The practical part also includes how to use LabVIEW in Linux operating system.

Keywords: LEGO MINDSTORMS NXT, LabVIEW, control, robot, Linux

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Seznam pojmů a zkratk	8
Úvod.....	9
Cíle práce	10
1 Robot LEGO MINDSTORMS NXT	11
1.1 Hračková vs. Výuková verze	11
1.2 Popis změn u NXT 2.0.....	11
1.3 Programové vybavení, firmware a vzájemná kompatibilita	12
1.3.1 Firmware	12
1.3.2 Porovnání verzí	12
1.4 Zkušenosti a další možnosti	12
2 Technické vybavení robota LEGO MINDSTORMS NXT	14
3 Komunikace NXT s PC	19
3.1 Komunikace přes Bluetooth.....	19
4 LabVIEW	20
4.1 Přídavné moduly	22
4.1.1 LabVIEW Toolkit for LEGO MINDSTORMS NXT.....	23
4.2 Novinky v LabVIEW 2009.....	25
5 Programování robota LEGO MINDSTORMS NXT	26
6 Linux a LabVIEW	28
6.1 Použití operačního systému Linux.....	28
6.2 Instalace LabVIEW a NXT Toolkitu.....	28
7 Úlohy v LabVIEW	30
7.1 Program LEGO_MINDSTORMS.vi	30
7.1.1 Blokový diagram a čelní panel aplikace	30
7.1.2 Problémy a nedostatky	33
7.2 Program Golf_bot.vi	35
7.2.1 Blokový diagram.....	35
7.2.2 Problémy a nedostatky	36

Závěr	37
Seznam použité literatury	38
Příloha A – Golf bot.....	39
Příloha B – LEGO_MINDSTORMS.vi.....	40
Příloha C – Golf_bot.vi.....	42

Seznam pojmů a zkratk

Bluetooth - bezdrátová komunikační technologie sloužící k bezdrátovému propojení mezi dvěma a více elektronickými zařízeními (například mobilní telefon, osobní počítač)

byte – jednotka množství dat, je to osmiciferné binární číslo

firmware - programové vybavení, které je součástí elektronického zařízení

FPGA (Field Programmable Gate Array) - programovatelné pole, díky kterému si lze vyrobit vlastní zákaznický integrovaný obvod šitý přesně na míru dané aplikaci

hardware – technické vybavení

IR (Infrared) - infračervené spektrum elektromagnetického záření

LabVIEW – Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench (Laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů)

PC – Personal Computer (osobní počítač)

software – programové vybavení

USB (Universal Serial Bus) - univerzální sériová sběrnice, nahrazující dříve používané sériové, paralelní, PS/2 připojení apod.

Úvod

Dříve bylo na všechny typy prací potřeba lidí a lidských sil. S postupem času a vývojem techniky pomalu, ale jistě vzniká odvětví nazývané jako robotika. Robotika se zabývá roboty, jejich výrobou, designem a tvorbou řídicích aplikací. Robot je potřeba tam, kde už nestačí lidské schopnosti nebo jen pro prosté usnadnění práce. Zkrátka odvětví robotiky je odvětvím budoucnosti. Svě o tom ví i dánská firma LEGO, kterou zná snad každý a snad každý se někdy se stavebnicí LEGO setkal. Tato firma je na trhu již několik desítek let a postupem času začalo LEGO vyvíjet produkty lišící se určením pro cílovou skupinu lidí. Jako příklad bych uvedl LEGO City, LEGO Pirates, LEGO Castle a v neposlední řadě i LEGO MINDSTORMS. A právě posledně jmenovaná podkategorie je náplní této bakalářské práce. MINDSTORMS je zaměřen na stavbu mnoha typů robotů a programování jejich činností. Více o MINDSTORMS na [1].

Teoretická část této práce je zaměřena na seznámení čtenáře s technickým vybavením robota LEGO MINDSTORMS NXT, nově uvedenou verzí NXT 2.0 a vysvětlením základních pojmů používaných v praktické části. Dále jsou zde popsány možnosti komunikace robota s okolím, možnosti programování robota v neoficiálních vývojových prostředích a samotná kapitola věnující se programovacímu prostředí LabVIEW.

Praktická část se zabývá popisem programů vytvořených právě v prostředí LabVIEW s využitím rozšíření LabVIEW Toolkit for LEGO MINDSTORMS NXT. Je zde popsáno jak řízení robota v reálném čase, tak řízení robota jakožto autonomního systému s vlastním naprogramovaným rozhodováním. V praktické části je i kapitola, zabývající se použitím ne tolik rozšířeného operačního systému Linux ve spolupráci s programovacím prostředím LabVIEW.

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je seznámení se s možnostmi a funkcemi robota LEGO MINDSTORMS NXT a seznámení se s vývojovým prostředím LabVIEW. Dále je cílem naprogramování a odzkoušení modelového robota (obecně robotických systémů) ve vývojovém prostředí LabVIEW. Cílem práce je i zjištění vlivu dopravního a komunikačního zpoždění při komunikaci robota pomocí bezdrátové technologie Bluetooth, s tím související synchronizace dvou servomotorů a možné použití této technologie v průmyslu. Nakonec si práce klade za cíl zjistit reálné možnosti použití operačního systému Linux spolu se zmiňovaným prostředím LabVIEW.

1 Robot LEGO MINDSTORMS NXT

1.1 Hračková vs. Výuková verze

Robot LEGO MINDSTORMS NXT je nyní na trhu dostupné v tzv. retail (hračkové) a education (výukové) verzi. Education verze, značená 9797, obsahuje odlišné pomocné materiály a instrukce pro sestavení robotů. Programové vybavení pro LEGO Education se jmenuje NXT-G 2.0 a je blíže verzi 1.x softwaru pro retail verzi, ovšem je třeba ho dokoupit zvlášť. S největší pravděpodobností nepůjdou programy napsané v retail verzi softwaru 2.0 použít v NXT-G 2.0. Retail verze je na trhu dostupná pod označením 8527 (NXT 1.0), případně 8547 pro NXT 2.0.

1.2 Popis změn u NXT 2.0

Začátkem roku 2009 se na hračkovém trhu objevila inovovaná verze, výše zmiňovaná, 8547 MINDSTORMS NXT 2.0, která má stejné technické vybavení, s výjimkou světelného senzoru (kódové značení 9844), který byl nahrazen senzorem se třemi barevnými LED, který umí rozeznávat barvy, intenzitu světla a odrazu světla a může být použit i jako barevná lampa. Z dodávaných komponent byl dále odstraněn 9845 zvukový senzor. LEGO Technic kostky byly obohaceny o speciální díly, které umožňují konstrukci atraktivnějších modelů. Programové vybavení prodělalo změnu obohacením o editor zvuku (s využitím mikrofonu počítače k vytváření vlastních zvuků), o editor obrazu (k vytváření vlastních obrazů pro zobrazovač NXT) a o možnost ovládání modelu virtuálním řídicím panelem z pracovního okna softwaru.

Co se týče Education verze, aktuální souprava 9797 byla začátkem roku inovována záměnou světelného senzoru 9844 za novější verzi. Technické vybavení se jinak nemění. Software byl v lednu roku 2009 inovován na verzi 2.0 (nemá nic společného s hračkovým 8547). Ve skutečnosti se ale jedná o verzi 1.1. Rozdíl oproti verzi 1.0 běžný uživatel jen těžko pozná, ale lépe hospodaří s pamětí NXT. S tím souvisí i lepší firmware, který byl rozšířen o samostatnou sekci "měření". Uživatel si tedy může zvolit, zda chce měřit či řídit anebo do řízení zařadit záznam dat. V sekci měření lze zobrazovat tabulky a grafy anebo z něj převádět data např. do Excelu. V podstatě se jedná o lepší uživatelský servis k tomu, co dříve vyžadovalo náročnější programování.

Jádrem robota LEGO MINDSTORMS NXT je řídicí jednotka („kostka“). Hardware kostky NXT je stále stejný. Na trhu existuje pouze jedna verze kostky a je stejná jak v

hračkové, tak edukační verzi. Pouze jako "rarita" bylo vyrobeno několik kostek v černé barvě, ale ty opět mají stejné technické vybavení.

1.3 Programové vybavení, firmware a vzájemná kompatibilita

1.3.1 Firmware

Firmware je v podstatě program nahraný nejčastěji do paměti typu flash. Tyto paměti se vyznačují především uchováním dat bez nutnosti jejich neustálého napájení, jsou to tzv. nevolatilní paměti. Tuto paměť, na které je nahraný firmware, má v sobě i NXT kostka. Výhodou flash pamětí je možnost jejich přepisu, až do doby jejich výdrže. Počet přehraní firmwaru je uváděna kolem hodnoty 70 000, poté už je paměť nepoužitelná.

Dojde-li k chybě při přehrávání firmwaru, stačí podržet tlačítko umístěné zespod kostky, pod rozhraním USB, po dobu 5 sekund. Je to tzv. nouzový režim a řídicí jednotka se tímto připraví na nahrání originálního firmwaru pomocí NXT-G.

1.3.2 Porovnání verzí

Ve výukové řadě existují tři druhy softwaru NXT-G verzí 1.0, 1.1 a 2.0, v hračkové 1.0 a 2.0. Každá verze softwaru navazuje na jiný firmware kostky NXT. K dispozici jsem měl všechny tři edukační verze softwaru. Pro verze 1.0 a 1.1 je dostupný nejnovější firmware verze 1.05. Pro software verze 2.0 je pak dostupný firmware verze 1.26 (1.29 pro hračkovou verzi). Po instalaci softwaru NXT-G, lze v jeho instalačním adresáři najít soubor s firmwarem doporučeným pro danou verzi softwaru. Při pokusu o spuštění nebo nahrání programu do kostky v NXT-G 2.0 a zároveň v kostce obsaženým starým firmwarem (např. 1.05), program zahlásí chybu a vyzve uživatele k aktualizaci firmwaru. S firmwarem 1.2x je spuštění programu 2x až 3x rychlejší než se starším firmwarem verze 1.0x. Do kostky se může nahrát kterýkoliv firmware, samozřejmě nižší verze nemusí být plně kompatibilní s vyšší verzí softwaru - naopak by to problémy dělat nemělo.

1.4 Zkušenosti a další možnosti

Jak již bylo zmíněno v úvodu, firma LEGO pochází z Dánska. Pro Českou republiku je zde výhradním distributorem edukačních (výukových) materiálů firma EDUXE [6]. Ve své nabídce má kromě jiných i LEGO MINDSTORMS NXT, a tak jsem neváhal a

oslovil pana Vlastimila Omastu z EDUXE, aby mi poskytl informace týkající se nově uvedené verze robota NXT 2.0 a rozdílů mezi předchozími verzemi. Obratem mi přišla vyčerpávající odpověď a po dohodě mi dokonce i pan Omasta poskytl upgrade programového vybavení NXT-G 2.0, abych si sám mohl vyzkoušet rozdíly mezi jednotlivými verzemi.

2 Technické vybavení robota LEGO MINDSTORMS NXT

Srdcem robota LEGO Mindstroms NXT je řídicí jednotka v podobě kostky.

Hlavními parametry NXT kostky jsou:

- 32-bitový mikroprocesor ARM7 (256 KB FLASH, 64 KB RAM)
- 8-bitový mikroprocesor AVR (4 KB FLASH, 512 B RAM)
- Bluetooth třídy II V2.0 compliant
- USB 2.0 port
- 4 vstupní porty, 6-vodičová digitální platforma
- 3 výstupní porty, 6-vodičová digitální platforma
- maticový displej, 60x100 pixelů
- reproduktor 8 kHz - s maximálním kmitočtem generovaných zvuků



Obr. 2.1: NXT kostka

NXT kostka obsluhuje všechny servomotory a všechny připojené senzory. Servomotory a senzory se připojují ke kostce jednotným rozhraním, pomocí konektoru R12. Na vrchní stranu kostky se připojují servomotory (označeno písmeny A, B a C), úplně vpravo je vyveden konektor pro připojení NXT k PC (rozhraní USB). Konektory na spodní straně kostky jsou označeny čísly od 1 do 4 a slouží k připojení senzorů.

Pro ovládání NXT kostky slouží 4 tlačítka pod displejem. Největší oranžové má funkci zapínacího (vypínacího) a potvrzovacího tlačítka, pomocí světle šedých tlačítek ve tvaru šipek lze realizovat pohyb v menu mezi jednotlivými nabídkami a konečně poslední, tmavě šedé tlačítko, slouží k posunu v menu o úroveň výše nebo vymazání informace.

Nyní popíšeme některé součásti stavebnice.

Světelný senzor (v sadě 9797)

- Má vlastní zdroj IR světla
- Zaznamenává světelnou intenzitu prostředí v rozsahu 0-100%
- Zaznamenává odrazivost povrchu materiálů v rozsahu 0-100%
- IR zdroj lze softwarově vypnout



Obr. 2.2: Světelný senzor

Ultrazvukový senzor (v sadě 8547 i 9797)

- Zaznamenává vzdálenosti objektů (cm/inch)
- Rozsah 0-255 cm s přesností ± 3 cm

- Zaznamenává pohyb
- Jsou-li v místnosti dva či více ultrazvukových senzorů, mohou se navzájem rušit



Obr. 2.3: Ultrazvukový senzor

Zvukový senzor (v sadě 9797)

- Snímá akustický tlak
- Zaznamenává úroveň zvuku (0-100%) ve frekvenčním rozsahu slyšitelnosti lidského ucha (dBA)
- Zaznamenává úroveň zvuku (0-100%) bez ohledu na frekvenci (dB)



Obr. 2.4: Zvukový senzor

Dotykový senzor (v sadě 8547 i 9797 2x)

- NXT zobrazuje hodnotu 0, pokud tlačítko není stisknuté a hodnotu 1, pokud stisknuté je
- Detekuje události stlačení, uvolnění a kliknutí



Obr. 2.5: Dotykový senzor

Barevný senzor (v sadě 8547)

- Rozlišuje mezi barvami, světlem a tmou
- Umožňuje rozpoznávat 6 různých barev
- Umožňuje rozpoznávat intenzitu světla a měřit intenzitu barevných povrchů



Obr. 2.6: Barevný senzor

Servomotor (v sadě 8547 i 9797 3x)

- Vestavěný rotační senzor
- Řízení a měření úhlu natočení s přesností $\pm 1^\circ$
- Řízení a měření počtu otáček

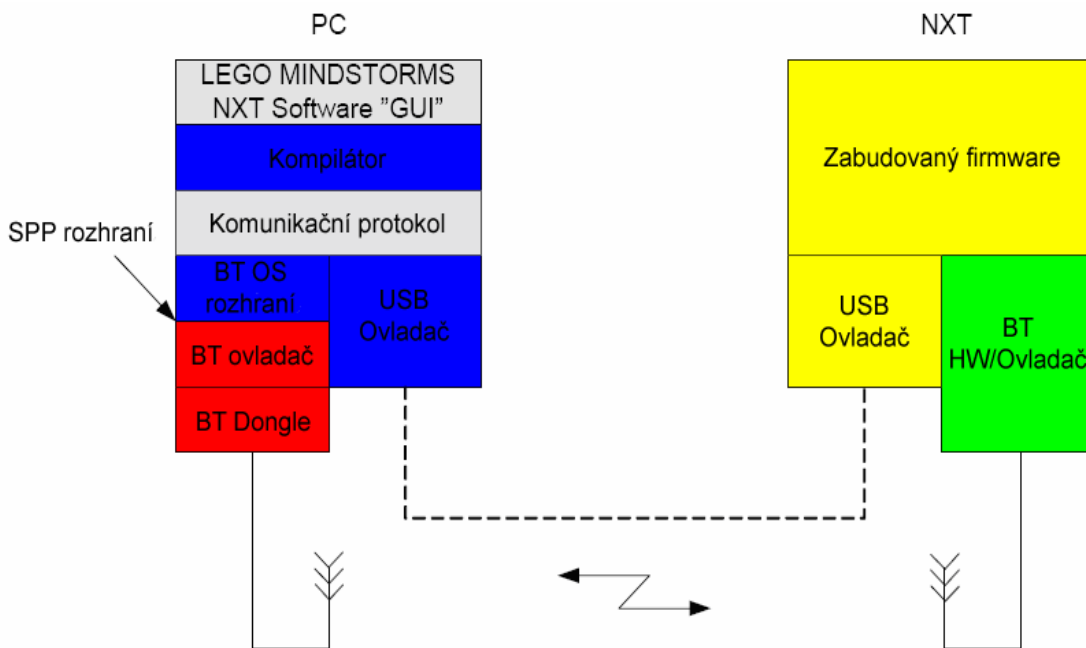


Obr. 2.7: Servomotor

Firma HiTechnic [7] vyrábí další, samozřejmě neoriginální, senzory a díly:

- Gyroskop - jednoosý analogový gyroskop, měří směr a úhel náklonu v rozsahu $\pm 360^\circ$
- Kompas - umožní orientaci podle magnetického pole země
- Akcelerometr - měří zrychlení v rozmezí -2g až +2g
- IR Senzor - umožní komunikaci se starou řídicí jednotkou RCX a také řídit LEGO modely ovládané pomocí IR.
- Slučovač (multiplexor) dotykových senzorů - díky této krabičce lze na jeden port NXT připojit až čtyři dotykové senzory.
- EOPD Senzor měření vzdálenosti - pomocí detekce odrazu světla měří vzdálenost objektů (do 30 cm).

3 Komunikace NXT s PC



Obr. 3.1: Komunikační diagram

Na obrázku 3.1 jsou znázorněny jednotlivé komunikační vrstvy používané během komunikace NXT s PC. Je zde vidět jak drátové připojení (realizované pomocí USB), tak i připojení pomocí Bluetooth v2.0 s podporou SPP (Serial Port Profile). Díky SPP se Bluetooth chová jako běžný sériový port.

3.1 Komunikace přes Bluetooth

Délka (LSB - Nejméně významný Byte)	Délka (MSB - Nejvýznamější Byte)	Typ příkazu	Příkaz	Byte 5	Byte 6	Atd.
---	--	-------------	--------	--------	--------	------

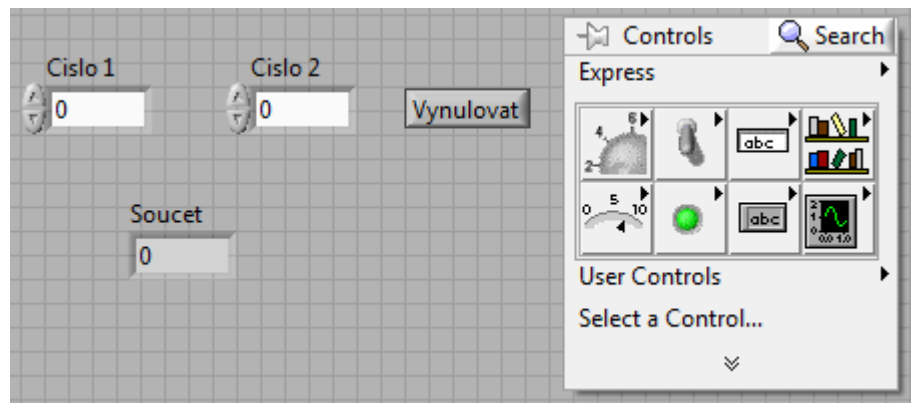
Obr. 3.2: Bluetooth paket

Aby byl robot NXT schopný rozumět příkazům, které se mu posílají, je třeba dodržet určitou podobu komunikačního paketu. Na obrázku 3.2 je znázorněn formát komunikační zprávy. První dva byty musí být obsaženy v každé poslané zprávě a určují délku paketu který bude následovat, další byty se pak mění v závislosti na typu příkazu.

Délka paketu je omezena na 64 bytů (bez prvních dvou bytů), ovšem s novějšími verzemi se dá předpokládat možný nárůst. Pro komunikaci je samozřejmě třeba i hardware, zajišťující přijímání a odesílání paketů. Ve většině případů se používá USB „klíčenka“ (tzv. Bluetooth dongle). Reálný dosah pro komunikaci mezi NXT kostkou a Bluetooth donglem je zhruba 10 metrů.

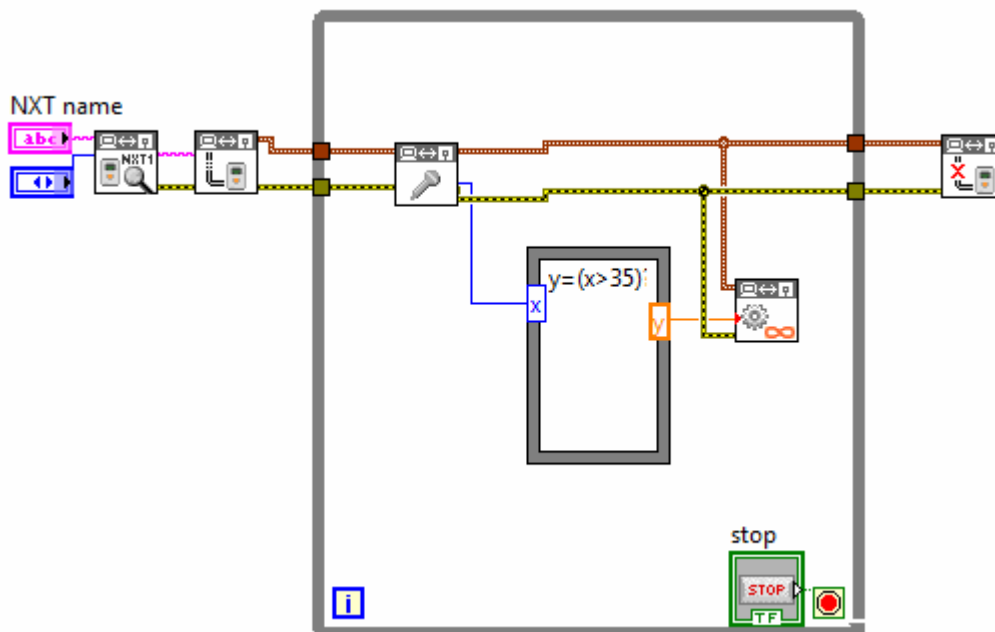
4 LabVIEW

Programovací prostředí LabVIEW je jedním z mnoha produktů firmy National Instruments. Program lze použít pro tvorbu mnoha aplikací, ať už jde o měření, testování nebo kontrolu systému. Prostředí LabVIEW je založeno na grafickém programování, čili žádné psaní zdlouhavých strukturovaných kódů. Jednoduše si stačí z nabídky funkcí vybrat ikonku reprezentující požadovanou operaci a následně ji umístit na plochu blokového diagramu. LabVIEW se skládá ze dvou hlavních oken. Jedním je čelní panel a druhým je již zmíněný blokový diagram. Čelní panel slouží pro umístění tlačítek, kontrol, různých jiných ovládacích prvků a nastavení jejich vlastností, například barvy, velikosti a mnoho dalších. Je to stejné jako v mnoha jiných programovacích jazycích.



Obr. 4.1: Čelní panel s aplikací a nabídkou

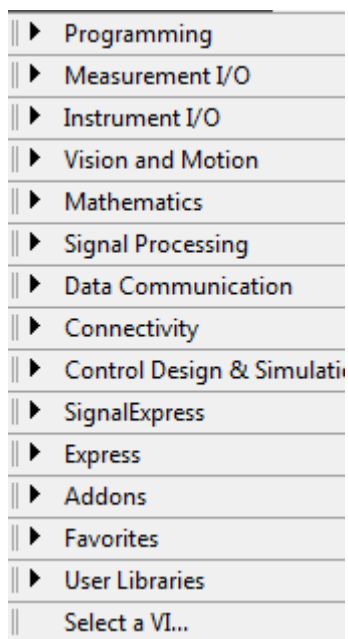
Na obrázku 4.1 je uveden příklad čelního panelu s primitivní aplikací pro výpočet a zobrazení součtu dvou čísel včetně tlačítka pro vynulování. Při každém přidání ovládacího prvku na čelní panel se tento prvek automaticky přidá i do blokového diagramu. Zde je potřeba tyto funkční bloky spojit tak, aby aplikace vykonávala úlohu pro kterou byla navržena. Paleta komponent se vyvolá pomocí stisknutí pravého tlačítka myši kdekoli na ploše čelního panelu. Ve skupině Express nalezneme nejpoužívanější prvky, po rozbalení celé nabídky získáme přístup ke všem prvkům, které LabVIEW nabízí.



Obr. 4.2: Blokový diagram v LabVIEW

Na obrázku 4.2 je ukázka „zdrojového kódu“ v prostředí LabVIEW. Spojení mezi jednotlivými funkčními bloky je znázorněno čarami různých barev. Stejně jako v ostatních programovacích jazycích se i zde setkáváme s různými datovými typy, jako je např. integer, double, boolean a pod. Pro každý datový typ je v LabVIEW použita jiná barva a pokusí-li se programátor spojit dva nekompatibilní datové typy (např. logický typ boolean s typem integer), program ohlásí chybu a nepůjde ani spustit. Nechybí ani prvky pro větvení programu na základě určité informace, ovšem jejich použití je třeba pochopit. Programování v LabVIEW je tak mírně odlišné od ostatních programovacích jazyků, a proto je třeba se něm nejprve naučit pracovat.

Stejně jako se na čelním panelu vyvolá paleta komponent, tak i v blokovém diagramu se pomocí pravého tlačítka myši vyvolá nabídka dostupných funkcí. Tyto funkce jsou logicky rozděleny do kategorií, jak lze vidět na obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Paleta funkcí v blokovém diagramu

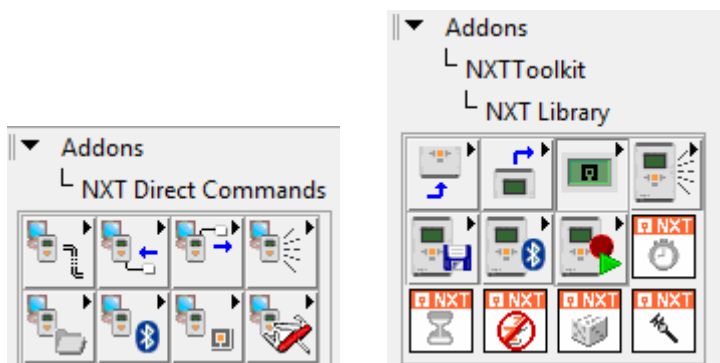
Ve většině programovacích prostředích je možné napsaný kód ladit krokováním. Jedná se o proces, při kterém se logicky (podle toho, jak je program napsaný s ohledem na různá větvení atd.) prochází kódem programu a přitom se zjišťují například hodnoty proměnných v daném kroku nebo se zkoumá proč daný program nepracuje tak, jak má. Nástroji pro krokování v prostředí LabVIEW je možné sledovat animovaný datový tok, zjišťovat vznik případné chyby s cílem napovědět místo, kde je třeba kód opravit. Tím, že je vše v grafické podobě, je pro programátora daleko snazší odlaďování programu.

4.1 Přídavné moduly

Pro LabVIEW existují desítky, možná stovky dalších přídavných programových modulů, které lze implementovat a následně s nimi pracovat. Moduly jsou speciálně určeny pro určitou problematiku. Lze tak implementovat modul pro práci s matematickými nástroji, pro práci s programovatelnými poli FPGA, pro práci s grafikou, pro simulaci systémů a mnoho dalších. Vše lze najít na [3]. Pro práci s robotem LEGO MINDSTORMS NXT je na oficiálních stránkách dostupný modul pod názvem LabVIEW Toolkit for LEGO MINDSTORMS NXT. Ve skupině Addons v paletě funkcí blokového diagramu jsou pak dostupná všechna nainstalovaná rozšíření.

4.1.1 LabVIEW Toolkit for LEGO MINDSTORMS NXT

Po instalaci tohoto rozšíření nalezneme ve skupině Addons ikonku pojmenovanou NXTToolkit a ikonku se jménem NXT Direct Commands. Po kliknutí na NXTToolkit se rozbálí nabídka s použitelnými funkcemi, mezi které patří standardní matematické funkce, struktury pro větvení programu a další. Nejdůležitější ikonka je ovšem úplně vpravo dole, pojmenovaná jako NXT Library. Obě možnosti jsou na obrázku 4.4.



Obr. 4.4: Paleta funkcí rozšíření LabVIEW Toolkit for NXT

Rozdíl mezi funkcemi obsaženými v paletě NXT Direct Commands a v paletě NXT Library vyplývá z jejich funkce a použití. Funkce z palety NXT Direct Commands použijeme v případě, chceme-li robota ovládat z čelního panelu aplikace a reagovat na okolní vlivy v reálném čase. Funkce z palety NXT Library jsou určeny pro naprogramování a nahrání do paměti NXT robota, tudíž jakýkoliv zásah uživatele během vykonávání aplikace je vyloučen.

Paleta funkcí rozšíření NXT Direct Commands obsahuje komponenty jak pro práci s připojením robota NXT pomocí Bluetooth, tak i pomocí USB. Po umístění bloku (komponenty) na blokový diagram a následném najetí myši na tento blok se na jeho obvodu objeví různě barevné „kuličky“ (Obrázek 4.5). Každý blok má samozřejmě jiný počet vstupů a výstupů a barvy zde opět značí rozdílný datový typ. Pro správnou funkci bloku není třeba propojit všechny vstupy a výstupy (kuličky), některé jsou nastaveny na předem danou hodnotu, která je uvedena v závorce popisu daného vstupu, resp. výstupu.



Obr. 4.5: Blok s názvem Find NXT

Na obrázku 4.6 je příklad funkčního programu v prostředí LabVIEW vytvořeného pomocí rozšíření LabVIEW Toolkit for NXT a použití NXT Direct Commands. Tento program roztočí jeden servomotor robota LEGO MINDSTORMS NXT (standardně ten, který je připojen na portu A, rychlostí 75) na nekonečně dlouhou dobu. Program se skládá ze čtyř bloků, přičemž první zajišťuje způsob připojení robota (Bluetooth, USB) a zároveň přebírá jako parametr jméno NXT robota. Druhý blok na základě informací z prvního bloku vytvoří objekt, se kterým se pak dále pracuje. Třetí blok zleva roztočí servomotor na portu A (implicitní) rychlostí 75. Za povšimnutí stojí fakt, který je zmiňován výše, že není zapotřebí mít zapojeny všechny vstupy a výstupy bloku. Poslední blok zruší objekt a tím program skončí.



Obr. 4.6: Funkční program pomocí NXT Direct Commands

Mezi druhým a čtvrtým blokem na obrázku 4.6 samozřejmě nemusí být pouze jeden blok, může jich zde být celá řada, může zde být větvení programu, ovládání všech servomotorů, ovládání ultrazvukového senzoru, prostě vše, co je ke kostce zrovna připojeno.



Obr. 4.7: Funkční program pomocí NXT Library

Na obrázku 4.7 je funkčně naprosto shodný program jako na obrázku 4.6 s tím rozdílem, že je vytvořený pomocí NXT Library. Jak je vidět, vše je vytvořeno pouze jedním blokem a nekonečnou smyčkou While. Tento program se přímo nahraje do NXT kostky, tudíž se v kódu nemusí řešit způsob připojení. NXT Library je hlavně pro práci se servomotory vybaven daleko lépe než NXT Direct Commands. Obsahuje totiž bloky přímo pro synchronizovaný pohyb dvou motorů nebo pohyb servomotoru po určitý čas nebo na určitou vzdálenost.

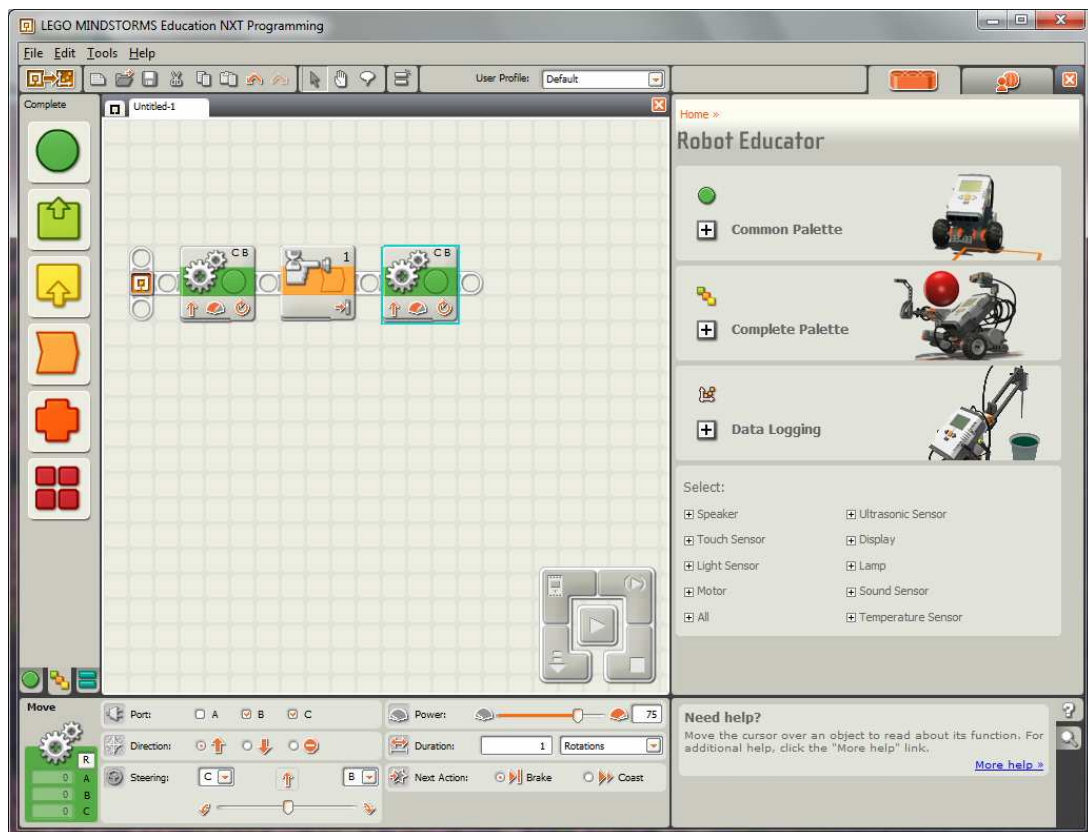
4.2 Novinky v LabVIEW 2009

V době psaní této bakalářské práce byla na trh uvedena nejnovější verze LabVIEW 2009 vydaná v srpnu 2009. Nabízí vylepšení, která sledují současný trend v programování. Asi největší změnou oproti předchozím verzím je podpora vícejádrových procesorů a současně s tím i paralelního programování. Vícejádrové procesory jsou dnes již ve velké většině počítačů. S tímto souvisí i další vylepšení, kterým je možnost programování FPGA polí a využití virtualizace. Programový balík NI Real-Time Hypervisor uváděný s prostředím LabVIEW 2009 využívá virtualizaci k provozování operačních systémů LabVIEW Real-Time a Windows současně na jediném kontroléru PXI nebo průmyslovém kontroléru se dvěma a více jádry (při zachování deterministického chování v reálném čase). Mezi další vylepšení patří funkce pro programování bezdrátových senzorů a provádění matematických výpočtů Math-Script v reálném čase. Samozřejmě je vše zaměřeno na zvýšení efektivnosti a výkonnosti práce.

Pro použití barevného senzoru nově obsaženého ve stavebnici NXT 2.0, je třeba použít LabVIEW verze 2009 a k němu příslušný NXT Toolkit modul. Nižší verze LabVIEW (a rozšíření NXT Toolkit) barevný senzor vůbec nepodporují.

5 Programování robota LEGO MINDSTORMS NXT

Programovat robota LEGO MINDSTORMS NXT lze pomocí dodávaného softwaru NXT-G (písmeno G značí, že programovací jazyk je grafický). Je vhodné poznamenat, že vývoj tohoto programového prostředí byl u firmy LEGO prováděn v těsné spolupráci s firmou National Instruments a odtud je patrná příbuznost s prostředím LabVIEW.



Obr. 5.1: NXT-G ve verzi 2.0

Programové prostředí NXT-G je velmi přehledné a snadno ovladatelné. Jelikož je robot LEGO MINDSTORMS NXT určen zejména pro děti od deseti let, je programování realizováno pomocí systému Drag&Drop (táhni a pusť). To například znamená, že z levé části hlavního okna se myší vybere akce, kterou bude robot dělat, a ta se umístí na programovací plochu. Pro jednotlivé úkony lze v dolní části nastavit ještě podrobnější vlastnosti a chování. Vzhled obrazovky prostředí NXT-G je na obrázku 5.1.

Cílem této práce není programovat robota v prostředí NXT-G, proto se této alternativě dále nebudeme věnovat. Robota lze ovšem programovat i v jiných (neoficiálních) programovacích prostředích.

Neoficiálních vývojových prostředí pro práci s robotem LEGO MINDSTORMS NXT se postupně objevila celá řada. Hlavním rozdílem mezi nimi je požadavek na licenci, čili zda jsou šiřitelné volně nebo placené.

Mezi volně šiřitelné patří například NXC (Not eXactly C). Tato alternativa je odvozena od jazyka C, tudíž se jedná o čistě textové programování, které běží v prostředí BricxCC. Velkou výhodou tohoto vývojového prostředí je, že pracuje se standardním firmwarem. To znamená, že v kostce není nutné přehrávat firmware při přechodu z původního NXT-G na NXC a naopak. Dalším volně šiřitelným prostředím je LeJOS-NXJ, které je založeno na programovacím jazyce Java. Používá svůj vlastní firmware, takže před použitím je třeba do kostky tento firmware nahrát. Výhodou je, že zabírá v paměti NXT méně místa než originální firmware, a proto zbude více uživatelské paměti pro programy.

Mezi placená programová prostředí patří například RobotC, podle názvu zřejmé, že se jedná opět o programování v jazyce C, dále MATLAB Toolbox a spousty dalších, ovšem již méně používaných mezi uživateli LEGO MINDSTORMS NXT.

6 Linux a LabVIEW

6.1 Použití operačního systému Linux

Operační systém Linux již dávno není pouze příkazovou řádkou, jak si možná dodnes někteří jedinci myslí. Linux prošel za celou svoji dobu života značným vývojem a nyní na trhu směle konkuruje gigantovi Microsoft s jeho známým operačním systémem Windows. Příjemné uživatelské prostředí, v základní instalaci dostatek volně šiřitelných programů pro každodenní použití, výběr z desítek různých distribucí a to vše zdarma dnes nabízí Linux.

Ve své základní instalaci Linux samozřejmě nenabízí všechny programy, které uživatel bude používat. Jednak by byla celková velikost distribuce daleko větší a za druhé, každý uživatel využívá PC na jinou práci, tudíž v základní instalaci Linuxu jsou obsaženy jen nejvíce používané programy. Další volně dostupné programy jsou v tzv. repozitáři. Repozitář je nejčastěji server (může to být ale i lokální adresář nebo vyměnitelný disk), na kterém jsou umístěny programy připravené k instalaci do systému. Jedním příkazem v příkazové řádce nebo pár kliknutími myši se sám software do systému nainstaluje a lze jej okamžitě použít. Pro instalaci placených či přes repozitáře nedostupných programů, jako je např. LabVIEW, je třeba znát základy práce s příkazovou řádkou. Instalace takovýchto programů je složitější a úplně odlišná od instalace programů v prostředí Windows.

Problémem Linuxu je podpora ze strany výrobců hardwaru a nestandardních zařízení, kdy hardware nemusí při aplikaci operačního systému Linux vůbec fungovat z důvodů neexistujících či špatně napsaných ovladačů.

6.2 Instalace LabVIEW a NXT Toolkitu

Firma National Instruments má ve své nabídce i verzi programového prostředí LabVIEW pro Linuxové distribuce. Pro tuto práci jsem zvolil distribuci Ubuntu v aktuální verzi 9.10 a k dispozici mám LabVIEW 8.5 pro Linux. Instalace mi zabrala asi 10 minut. Dokonce je u LabVIEW v textovém souboru poměrně detailně popsáno, jak program nainstalovat. Začátečnickům, kteří dosud pracují pouze v prostředí Windows, by ovšem instalace mohla dělat problémy. Po instalaci najdeme LabVIEW standardně ve složce `/usr/local/natinst/LabVIEW-8.5/`. Spuštění programu se provede přes příkazovou řádku příkazem `/usr/local/natinst/LabVIEW-8.5/labview`. Dále se s LabVIEW pracuje úplně stejně jako v prostředí Windows.

První zádrhel ovšem nastane při zjištění, že přídatný modul NXT Toolkit je oficiálně dostupný pouze pro platformu Windows nebo Mac. Není to první ani poslední modul, který není podporován Linuxem, existuje jich celá řada. Problém jsem zkusil obejít tak, že jsem soubory rozšíření NXT Toolkit určené pro platformu Windows zkopíroval do příslušného adresáře v Linuxu. Po spuštění LabVIEW se v záložce Addons opravdu objevil Toolkit pro NXT. Po umístění jakékoliv ikony z palety NXT Direct Commands na blokový diagram ovšem vyskočí dialogové okno, sloužící k nalezení chybějící knihovny fantom.so. Přípona *.so znamená v Linuxu zkratku Shared Object a je ekvivalentní příponě *.dll ve Windows. Soubor fantom.dll jsem ve Windows opravdu našel, ale jeho pouhé přejmenování na fantom.so a následné použití v systému Linux nepomohlo. Protože byly soubory NXT Toolkit pouze zkopírovány do adresáře v Linuxu, tudíž neproběhla žádná instalace, je použití prvků z palety NXT Library vyloučeno z důvodu chybějícího NXT Terminalu. Tudíž použití NXT Toolkitu pod systémem Linux zatím není možné. Lze doufat, že se v budoucnu objeví podpora ze strany National Instruments.

7 Úlohy v LabVIEW

Ze základní stavebnice LEGO MINDSTORMS lze postavit několik základních modelů za pomoci podrobně rozkresleného manuálu, ale také lze sestavit modely jen podle vlastní fantazie. Pro své úlohy jsem sestavil robota s oficiálním názvem Golf Bot podle manuálu (příloha A). Všechny senzory nejsou použity, z důvodu nepotřebnosti pro danou úlohu.

7.1 Program LEGO_MINDSTORMS.vi

Tento program má v podstatě 2 funkce. Tou první (a zároveň tou, pro kterou byl zprvu programován) je možnost řízení robota v interakci s uživatelem. Uživatel tedy řídí robota na čelním panelu programu, kdy pomocí vertikálních posuvníků určuje rychlost jednotlivých servomotorů. Druhá funkce robota využívá připojeného ultrazvukového senzoru pro snímání vzdálenosti objektů. Pokud se přibližuje k překážce, pak kontroluje, jak daleko překážka je a pokud bude blíže než je programově přednastavená hodnota, pak se otočí směrem doprava o 90° bez ohledu na nastavení vertikálních posuvníků a opět pokračuje v cestě. Tato programově přednastavená hodnota by mohla být i součástí čelního panelu, aby si uživatel mohl sám nastavit, v jaké vzdálenosti bude robot již reagovat, ovšem zde je třeba počítat s konstrukcí robota a umístěním senzoru v zadní části. Dále je NXT robot vybaven zvukovým senzorem, který vyhodnocuje intenzitu okolního zvuku a na jeho základě pak roztáčí třetí připojený servomotor. Zvukový senzor lépe reaguje na hluboké než na vysoké tóny.

7.1.1 Blokový diagram a čelní panel aplikace

Čelní panel programu (příloha B) je poměrně jednoduchý a intuitivní. Před spuštěním samotného programu je třeba zvolit způsob připojení NXT k PC. Na výběr jsou dvě možné varianty připojení robota k PC: USB nebo Bluetooth. Další políčko slouží k zadání jména NXT kostky. Jméno je omezeno na maximální délku osmi znaků.



Obr. 7.1: Displej NXT kostky

Po zapnutí NXT kostky lze na displeji (nahore uprostřed, obrázek 7.1) zjistit právě toto jméno. Jeho změna je možná buď pomocí originálního programu NXT-G nebo v LabVIEW pomocí bloku Rename NXT.

Další políčko má pouze informativní charakter o stavu napětí baterie umístěné v kostce v milivoltech. Dále jsou zde vidět dva vertikální posuvníky s nápisy Levé kolo, resp. Pravé kolo (nebo synchro) a se stupnicí od -100 do 100. Pomocí nich můžeme ovládat výkon servomotorů, přičemž záporné hodnoty znamenají obrácený směr otáčení. Poslední ovládací prvek na čelním panelu je klasický přepínač (zapnuto/vypnuto) a nese popisek Synchro. V zapnuté poloze (nahore) je aktivován režim synchronizace, což znamená synchronizaci obou servomotorů sloužící pro pohyb robota. Nyní se robot ovládá pouze jedním posuvníkem, a to posuvníkem pro pravé kolo. Levý servomotor je automaticky nastavován podle aktuální hodnoty rychlosti pravého servomotoru.

Blokový diagram (příloha B) je samozřejmě spojený s čelním panelem, tudíž jakákoliv změna v čelním panelu se promítne do blokového diagramu a opačně. Na základě informací vstupujících do bloku Find NXT z čelního panelu (způsob připojení a jméno NXT) se následně vytvoří tzv. NXT objekt. Následuje rozhodovací struktura Case (označena zeleným rámečkem), která vyhodnocuje zda nastala nebo nenastala chyba při připojení nebo vytváření NXT objektu. Pokud chyba nastala, provede se červený rámeček s názvem Error, v podstatě se jen vyvolá dialogové okno informující o této chybě, v opačném případě program pokračuje dál skrze zelený rámeček No Error. Aby bylo možné program ovládat v reálném čase, musí stále NXT komunikovat s PC. To je zajištěno nekonečnou smyčkou While znázorněnou šedým rámečkem. Nejprve se ve smyčce While se zjišťuje stav napětí baterie. Datový tok dále pokračuje k přečtení údajů z ultrazvukového senzoru a následuje blok zvaný Formula node, který se dá

využít pro jednoduché rozhodování a větvení programu. Do bloku vstupuje pět proměnných (hodnota vzdálenosti z ultrazvukového senzoru, hodnoty z posuvníků čelního panelu pro servomotory, binární hodnota s přepínače Synchron a konečně hlasitost okolního prostředí).

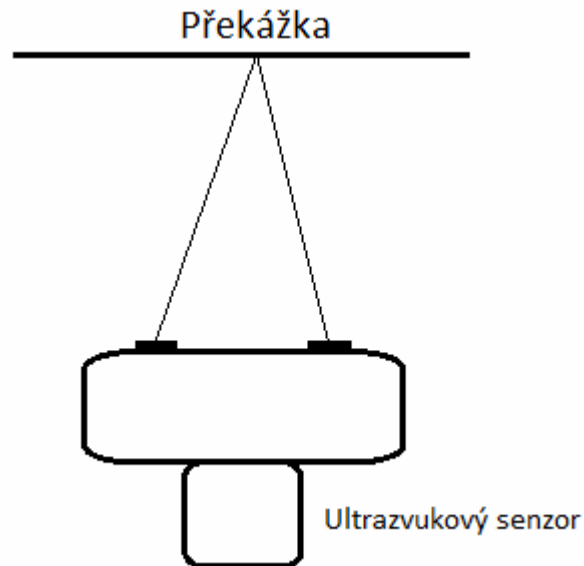
```
if (x<40) {
  yl=50;
  yr=0;
} else {
  yl=left;
  yr=right;
  if (synchro==1) {
    yl=yr;
    yr=yl;
  }
}
A=(zvuk>45)?35:0;
```

Obr. 7.2: Zdrojový kód v bloku Formula node

Na obrázku 7.2 je rozhodovací logika umístěná v bloku Formula node. Jako první věc se zde vyhodnocuje, zda je překážka blíže, než specifikovaná vzdálenost. Pokud ano, nastaví se konkrétní hodnoty rychlosti servomotorů tak, aby se robot otočil. Pokud ultrazvukový senzor nezaznamená překážku v cestě, pak se v kódu pokračuje do bloku else, kde se přiřazují hodnoty nastavené uživatelem na čelním panelu do jednotlivých servomotorů. Dále je tu ještě vnořená podmínka, která, pokud je přepínač Synchron v zapnuté poloze, nastavuje stejnou rychlost pravému i levému servomotoru. Poslední podmínka v tomto bloku kontroluje hladinu zvuku přicházející na zvukový senzor robota a následně roztáčí třetí servomotor. Výstupní tři proměnné z bloku Formula node vstupují do bloků s názvem Motor Unlimited (celkem 3 bloky pro 3 servo pohony) a upravují jejich chování podle situace. Tato smyčka se opakuje do té doby, než uživatel stiskne na čelním panelu tlačítko s červeným nápisem Stop. Po stisku tlačítka se ukončí cyklus While, datový tok přejde k zastavení motorů, „zničení“ NXT objektu, neboli přerušování komunikace mezi NXT a PC (blok Destroy NXTObject) a případné vypsání chybového hlášení. Poté se program ukončí.

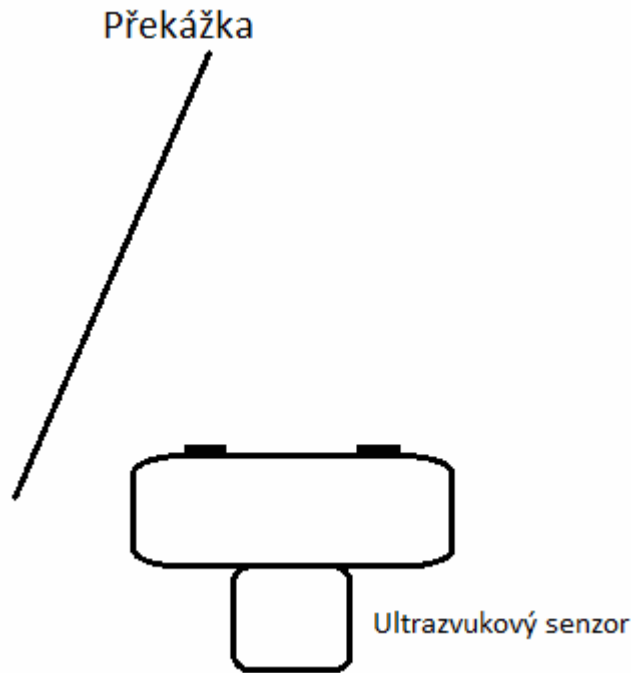
7.1.2 Problémy a nedostatky

Robot by se mohl pohybovat nekonečně dlouhou dobu za předpokladu, že se bude pohybovat v ortogonálním prostoru a úhel natočení bude vždy přesně 90°, dále musí být překážka dostatečně vysoká a široká, aby ji ultrazvukový senzor zaregistroval.



Obr. 7.3: Funkce ultrazvukového senzoru

Na obrázku 7.3 je znázorněna funkce ultrazvukového senzoru. Senzor svým designem připomíná oči robota. Jedním svým „okem“ vysílá signál a druhým ho přijímá. Díky tomu dokáže zjistit vzdálenost překážky.



Obr. 7.4: Selhání ultrazvukového senzoru

Obrázek 7.4 ukazuje tentýž ultrazvukový senzor blížící se k překážce pod jiným úhlem. Toto je případ, kdy podle ultrazvukového senzoru není před robotem překážka a vzhledem k daleko větší velikosti celého robota dojde při pohybu robota vpřed po určité chvíli neodvratně k nárazu do překážky.

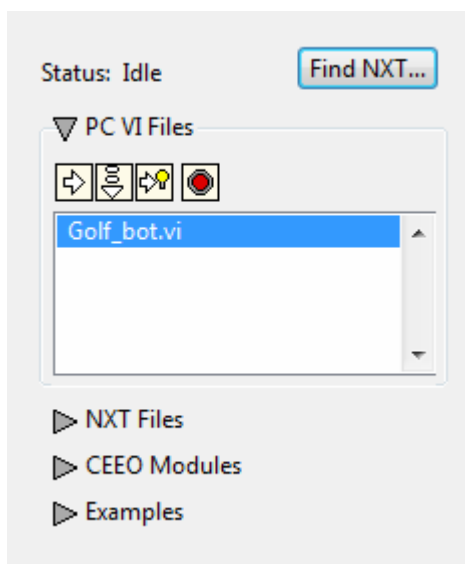
Dalším problémem je poměrně malá přesnost řízení servomotorů. Při stavění LEGO robota je doporučeno zapojit motory do portů B a C, kde port B je určen pro pravé a port C pro levé kolo. Mohlo by se zdát, že tyto porty jsou synchronizované tak, aby robot dokázal udržet rovný směr. Ukázalo se, že tomu tak není a při stejné hodnotě výstupního výkonu má robot sklon zatačet doprava. Zkusil jsem tedy motory zapojit do portů A a B, nicméně výsledek byl daleko horší než v předchozím případě. I kdyby byl robot schopný se otočit na stupeň přesně, musel by mít celý program nahraný ve své paměti a podle toho se řídit. To ovšem znemožňuje jakékoliv přesné ovládání v reálném čase uživatelem. S tím souvisí tedy další problém, kterým je samotná komunikace mezi Bluetooth donglem a NXT kostkou. Předání informace není okamžité a trvá v řádech desítek milisekund, což ovšem způsobí, že robot udělá třeba o půl otáčky více, než měl. Podobný případ nastává i při detekci objektů ultrazvukovým senzorem a následného vyhodnocení. Ultrazvukový senzor pošle Bluetooth donglu informaci o vzdálenosti od překážky, která je před ním. Programová struktura tato data vyhodnotí a pošle je zpět do NXT. Zde opět vzniká komunikační zpoždění a proto je těžké program naprogramovat

tak, aby robot zastavil těsně před překážkou. Závisí totiž na aktuální rychlosti robota a vzdálenosti NXT od Bluetooth donglu.

Kuriózním problémem týkající se zvukového senzoru může být fakt, že dokáže reagovat na hluk, který vytváří servomotory. Je třeba nastavit citlivost zvukového senzoru tak, aby nevnímal zvuky pod určitou hodnotu dB.

7.2 Program Golf_bot.vi

Jméno programu je shodné s označením robota v oficiálních materiálech, tedy Golf bot. V předchozím programu jsem třetí servomotor pouze roztáčel jako ukázkou spolupráce senzoru a servomotoru. Nyní ovšem bude Golf bot skutečně odpalovat míček, který je součástí stavebnice LEGO. Tento program je naprogramován pomocí palety NXT Library. Pro nahrání programu do NXT kostky z prostředí LabVIEW slouží tzv. NXT Terminal (obrázek 7.5). Ten spustíme tak, že v blokovém diagramu zvolíme v hlavním panelu nabídek Tools – NXT Module a NXT Terminal. Je hodně podobný terminálu z oficiálního NXT-G, spravuje připojení NXT k PC, dá se pomocí něho nahrát program do kostky, spustit program, zjistit stávající verzi firmwaru, stav napětí baterie a další.



Obr. 7.5: NXT Terminal

7.2.1 Blokový diagram

V příloze C je blokový diagram programu. Po nahrání programu do kostky a jeho následném spuštění se v blokovém diagramu vykonává první smyčka While. V té robot

čeká na zvukový signál o dané hlasitosti (stačí např. tlesknutí) a v tom momentě program přechází do další smyčky While. Zde využívám bloku s názvem Sync Unlimited, který umí synchronizovaně roztočit 2 servomotory (standardně na portu B a C). Robot se tedy v tuto chvíli pohybuje směrem vpřed a další blok využívá ultrazvukového senzoru pro detekci překážek. V dráze Golf bota je umístěn stojan s míčkem. Pokud se robot přiblíží na nastavenou hranici 25 cm před překážku, zastaví se a následuje odpal míčku, který je složen ze čtyř částí. Zde využívám výhod NXT Library oproti NXT Direct Commands, konkrétně bloku s názvem Motor Distance, který umí natočit servomotor o daný počet stupňů. Robot tedy napřáhne, zde setrvá po dobu 500 ms, švihne a vrátí se do počáteční pozice. Tím program skončí.

Protože se program nahrává přímo do kostky a spouští se až z vnitřní paměti robota, má tento program pouze blokový diagram. Čelní panel zůstává nevyužit a je zcela prázdný.

7.2.2 Problémy a nedostatky

Co se týče problému s ultrazvukovým senzorem, tak zůstává stejný i u tohoto programu. Výše uvedený blok s názvem Sync Unlimited slibuje synchronizaci dvou motorů, ovšem k mému zklamání byl výsledek naprosto stejný jako v případě prvního programu. Ať už jel robot po koberci nebo po hladkém povrchu na dřevěné desce, stále zatácel směrem doprava. S tím samozřejmě souvisí umístění stojanu s míčkem do dráhy robota, kdy na větší vzdálenost s velkou pravděpodobností tento stojan úplně mine. Možností jak přesně najet ke stojanu by mohl být barevný pruh, který by sledoval barevný senzor a podle něho jel. Ten je ovšem dostupný v sadě NXT 2.0, kterou jsem bohužel k dispozici neměl.

Závěr

V práci byla vyzkoušena možnost programování robota NXT ve vývojovém prostředí LabVIEW pomocí volně stažitelného rozšíření LabVIEW Toolkit for LEGO MINDSTORMS NXT. Toto rozšíření nabízí jak programování s možností real-timeového ovládání robota, tak i naprogramování robota bez nutnosti zásahu uživatele. Robot LEGO MINDSTORMS NXT je velmi rozšířeným produktem a proto dnes na trhu existuje nespočet všech možných vývojových prostředí a různých programovacích jazyků, ve kterém se dá robot programovat. LabVIEW nabízí širší programovací možnosti, než originální software NXT-G, který z LabVIEW vychází. Hlavní velkou nevýhodou je velikost vnitřní paměti robota a s tím spojená nemožnost naprogramovat komplexnější program. Problémem byla i synchronizace servomotorů, která velmi znepříjemňovala ovládání a programování robota.

Ukázalo se, že dopravní zpoždění je velký problém při požadavku na přesnost řízení. U bezdrátových technologií je navíc toto dopravní zpoždění proměnné, v závislosti na vzdálenosti a úspěšnosti doručování paketů. Jedním z cílů práce bylo také vyzkoušení operačního systému Linux spolu s LabVIEW. Bohužel podpora rozšíření pro Linux je malá, ovšem samotné LabVIEW funguje bezchybně. Určitě by to mohla být zajímavá varianta z ekonomického hlediska pro firmy, které by na počítače nechtěly komerční operační systém Windows.

Po zkušenostech získaných při práci vidím možnosti použití stavebnice LEGO MINDSTORMS NXT jako výukový nástroj při programování ve školách. Oproti komerčním robotům je velmi lehký a levný, ale nemyslím si, že by měl v brzké době nahradit klasické roboty v průmyslu. Robotika je jedno z odvětví, které se rozvíjí velmi rychle a myslím, že ani sama firma LEGO netušila, s jakým obrovským zájmem široké veřejnosti se setká jejich MINDSTORMS NXT. Vzhledem k velmi početné skupině fanoušků je možné, že dánská firma LEGO vypustí na svět NXT 3.0, zbavený všech neduhů, vylepšeným softwarem, větší pamětí pro více sofistikovanější programy a robot bude využitelný už ne jen jako hračka.

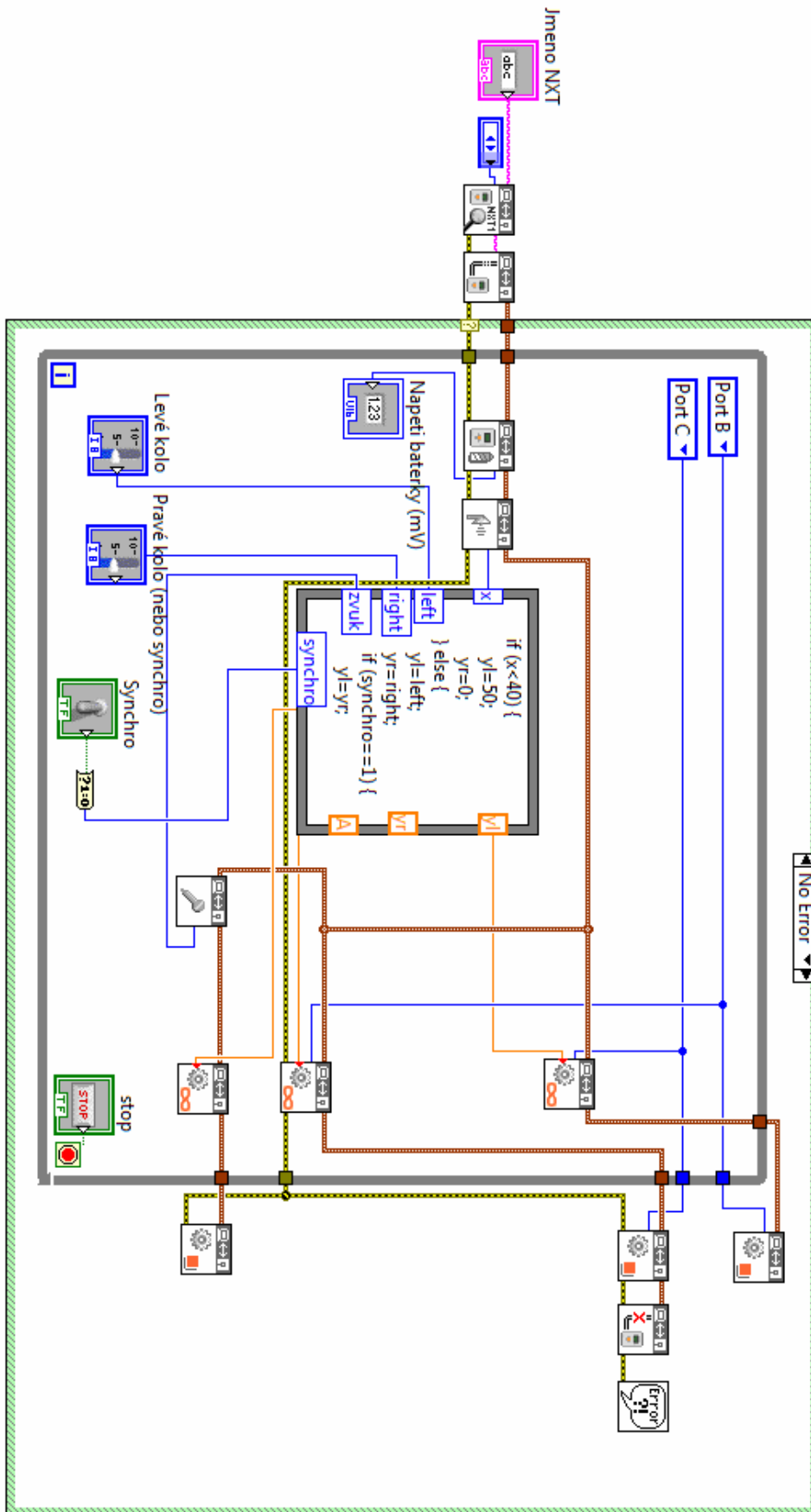
Seznam použité literatury

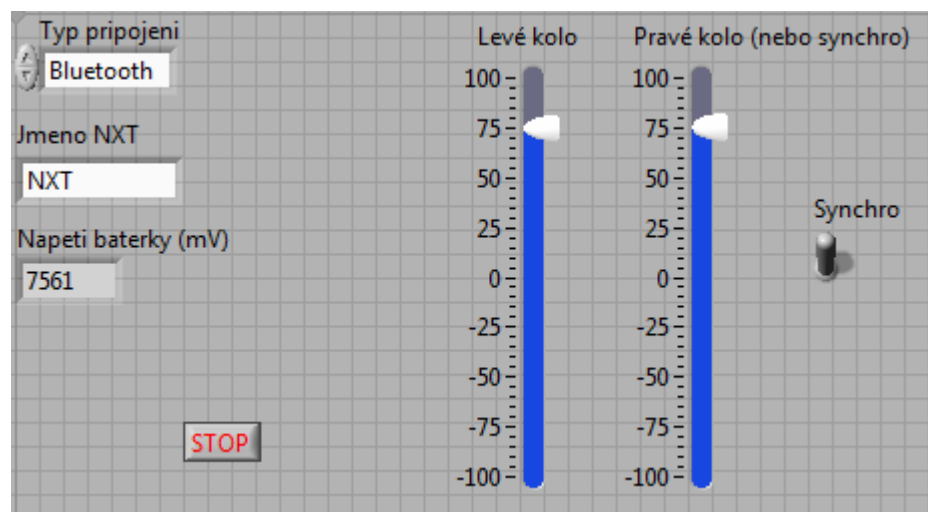
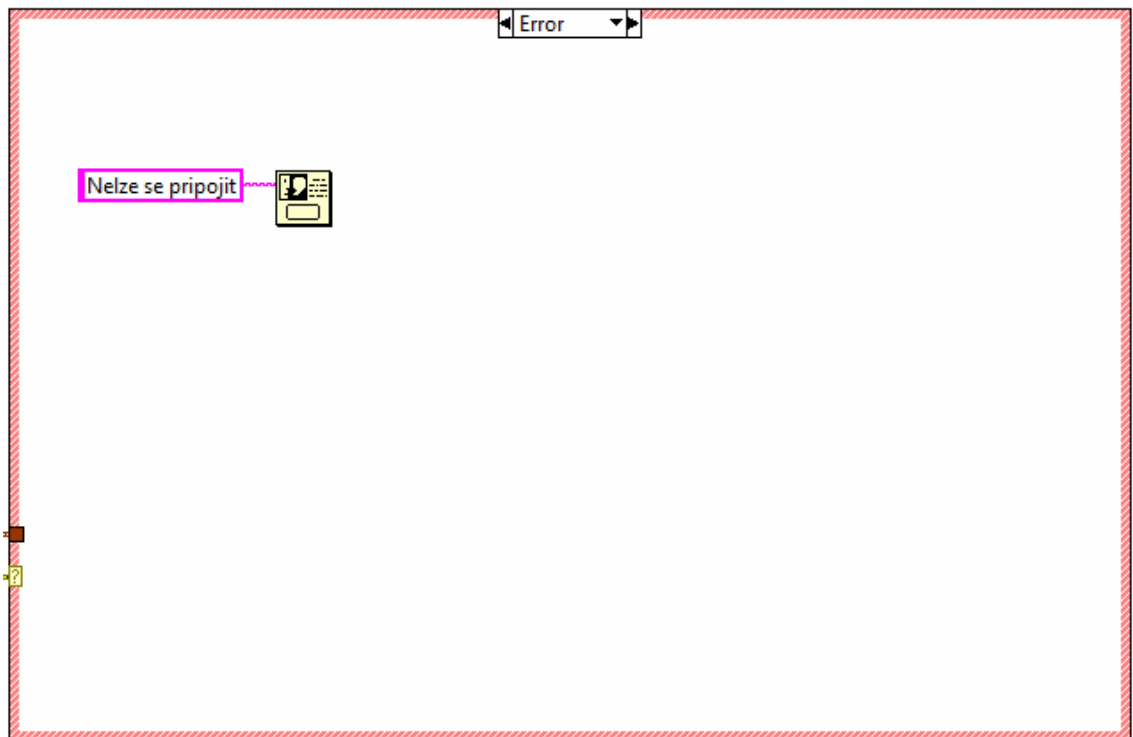
- [1] LEGO MINDSTORMS [online]. 2010-04-19 URL: <mindstorms.lego.com/eng/Egypt_dest/Default.aspx>
- [2] Vlach, J., Havlíček, J., Vlach, M: Začínáme s LabVIEW, BEN Praha 2008, 248 stran, ISBN 978-80-7300-245-9
- [3] National Instruments [online]. 2010-04-19 URL: <<http://www.ni.com>>
- [4] Kučera, J.: Řízení robota LEGO MINDSTORMS NXT v prostředí LabVIEW, bakalářská práce, FM TU Liberec 2008
- [5] National Instruments [online]. 2010-04-19 URL: <www.ni.com/academic/mindstorms/>
- [6] Eduxe [online]. 2010-04-19 URL: <www.eduxe.cz/legomenu/nxt_menu.htm>
- [7] HiTechnic [online]. 2010-04-19 URL: <www.hitechnic.com>
- [8] Novák, P.: Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení, BEN Praha 2005.

Příloha A – Golf bot



Příloha B – LEGO_MINDSTORMS.vi





Příloha C – Golf_bot.vi

