

Lauderova MŠ, ZŠ a gymnázium při Židovské obci v Praze

Robot klavírista

**Stavba klavíristy a jeho programování pomocí
stavebnice Lego Mindstorms**

Lada Jirkalová, 5. O

Vedoucí práce: Šárka Kvasničková

2019/2020

Abstrakt

Tématem této práce je sestavení a naprogramování robota ze stavebnice Lego Mindstorms, který bude schopen hrát na klavír. Dále se práce zaměřuje na výzkum specifík klavírní hry robota. Cíl práce byl splněn. Sestavený robot je schopen hrát na klavír.

Teoretická část práce pojednává o stavebnici Lego Mindstorms EV3 31313, ze které je robot sestaven a také o programovacím softwaru LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition od firmy Lego ve verzi pro počítače s operačním systémem Windows.

Praktická část práce pojednává o stavbě robota a jeho naprogramování pro hru na klavír. Dále jsou v praktické části shrnuty výsledky výzkumu odlišností mezi klavírní hrou robota a lidí, včetně výhod a nevýhod hry robota oproti lidem.

Klíčová slova: Lego Mindstorms, programování, klavír, robot

Obsah

Úvod	4
1 Lego Mindstorms stavebnice	5
1.1 Lego Mindstorms EV3 Brick	5
1.2 Lego Mindstorms programovací software	6
1.3 Odlišnost od „klasického“ programování.....	6
2 Stavba robota	8
2.1 Stručný postup.....	8
3 Programování skladby	10
3.1 Pohyb robota při hře	10
3.2 Programování skladby podle not.....	11
3.3 Řešení rytmu.....	13
4 Výzkum specifik hry robota	14
4.1 Omezení robota oproti lidem při hře	15
4.2 Výhody robota oproti lidem	15
Závěr.....	16
Zdroje	17

Úvod

Tato seminární práce pojednává o stavbě a programování robota ze stavebnice Lego Mindstorms. Cílem mé práce je sestavit a naprogramovat robota, který bude schopen zahrát na klavír několik tónů. Toto téma jsem si vybrala, protože hraji osm let na klavír a zároveň se ráda věnuji výpočetní technice a programování. Tímto tématem mohu propojit obě tyto zdánlivě zcela odlišné oblasti.

V teoretické části se zabývám stavebnicí Lego Mindstorms, převážně verzí EV3 31313 a blokovým programováním v programu LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition.

V praktické části práce se věnuji stavbě robota bez návodu a programování skladby. Dále se věnuji hře robota na klavír a jejím specifikům, kde popisuji výhody a nevýhody robota oproti lidem při hře na klavír.

Myslím si, že robot bude schopen zahrát několik tónů, které se pokusím sestavit do kratší skladby, ale bude mít problémy s nedostatečnou flexibilitou prstů, absencí nohy pro pedál a hraním náročnějších skladeb. Naopak by robot mohl mít výhodu v tom, že na rozdíl od lidí nemůže udělat chybu z nepozornosti, nemůže se ztratit v notách a nemusí skladbu trénovat, protože po nahrání programu umí skladbu zahrát okamžitě.

1 Lego Mindstorms stavebnice

Roku 1998 uvedla na trh společnost Lego první verzi stavebnice Lego Mindstorms RCX. Stavebnici bylo možné naprogramovat buď v oficiálním prostředí od firmy Lego ve speciálním jazyce, nebo v aplikacích třetích stran, kdy bylo možné programovat v běžně používaných jazycích jako C++ nebo Java.¹ V roce 2006 byla uvedena na trh další verze stavebnice – Lego Mindstorms NXT², která reflektovala technologický pokrok u řídicí kostky. Došlo k výměně původního 8bitového mikrokontroléru za 32bitový ARM mikrokontrolér AT91SAM7S256.³ V roce 2013, tedy 15 let po uvedení první verze Lego Mindstorms, uvedla společnost Lego prozatím nejnovější verzi stavebnice Lego Mindstorms – EV3. Robota lze naprogramovat v aplikaci EV3 software na počítači i v aplikaci EV3 programmer, která je určená pro tablety. Z jedné sady je možné postavit a naprogramovat jednoho z pěti typů oficiálních robotů dle návodu od firmy Lego, případně robota dle vlastní fantazie. Cena Lego Mindstorms EV3 se v době psaní této práce pohybuje od 7000 Kč do 11000 Kč za sadu.⁴

1.1 Lego Mindstorms EV3 Brick

Kostka EV3 Brick je jakýmsi mozkiem celé stavebnice. Pracuje s operačním systémem Linux a 64 MB RAM pamětí. Napájení kostky probíhá pomocí šesti AA baterií. Displej na kostce je černobílý a kostku lze ovládat šesti tlačítky na svrchní straně pod displejem.⁵ Pro připojení kostky k počítači je z boku kostky mini-USB

¹ PÁRAL, Jaroslav. *Lego Mindstorms EV3 ve výuce programování a robotiky* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=159300. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Filip Orság, Ph.D. s 9

²Lego History: Digital development. *Lego* [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.lego.com/en-us/lego-history/digital-development-415a051dd2dd4c9d8bc190c94d7102ec>

³PÁRAL, Jaroslav. *Lego Mindstorms EV3 ve výuce programování a robotiky* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=159300. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Filip Orság, Ph.D. s.10

⁴Lego Mindstorms EV3. *Lego* [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.lego.com/cs-cz/product/lego-mindstorms-ev3-31313>

⁵ LEGO Mindstorms EV3: Uživatelská příručka [online]. 2013, [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/downloads/manual-lego-mindstorms-ev3-cs.pdf> s. 6

port. K připojení motorků slouží RJ12 porty A, B, C, D a pro připojení senzorů jsou porty 1, 2, 3, 4 stejného typu.⁶

Kostka s uživatelem komunikuje pomocí displeje, zvukových signálů a světelných signálů, díky barevnému podsvícení tlačítek kostky. Kostka vydává díky podsvícení celkem 6 různých signálů. Může svítit třemi barvami (zelená, oranžová, červená), které buď svítí, nebo blikají.⁷

1.2 Lego Mindstorms programovací software

Programovací software od firmy Lego je možné zdarma stáhnout na webové stránce firmy Lego. Robot klavírista bude naprogramován v aplikaci Mindstorms EV3, která je určena pro počítače.⁸ V softwaru je několik předpřipravených programů pro roboty, které jsou podle návodu od firmy Lego.⁹

V programu od firmy Lego není robot programován „klasickým“ způsobem, jako například při programování v jazyce C, ale pomocí blokového programování. Bloky jsou rozděleny do skupin dle použití a liší se barvou a funkcí, kterou vykonávají.¹⁰

1.3 Odlišnost od „klasického“ programování

Lego Mindstorms programovací software pracuje s vlastním programovacím způsobem – blokovým programováním.⁷ Pochopení principu programování je jednoduché. Stačí vzít myši příslušný blok a umístit ho na požadované místo v programu¹¹.

⁶ *Lego Mindstorms EV3 uživatelská příručka* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/downloads/manual-lego-mindstorms-ev3-cs.pdf> s. 7

⁷ *Lego Mindstorms EV3 uživatelská příručka* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/downloads/manual-lego-mindstorms-ev3-cs.pdf> s. 6

⁸ Lego Mindstorms: ke stažení. *Lego* [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.lego.com/cs-cz/themes/mindstorms/downloads>

⁹ LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition [počítačový program pro Windows]. [cit. 2019-12-15].

¹⁰ PÁRAL, Jaroslav. *Lego Mindstorms EV3 ve výuce programování a robotiky* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=159300 . Bakalářská práce.

Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Filip Orság, Ph.D. s. 15

¹¹ BAŤKO, Jan. *Programovací prostředí EV3 a RobotC robotické stavebnice LEGO Mindstorms EV3* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:

<https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/29366/1/Programoc%C3%AD%20prost%C5%99ed%C3%AD.pdf> s. 6

Bloky jsou rozděleny do šesti barev podle funkce – zelené bloky „Action“, které ovládají akce robota, oranžové bloky „Flow Control“, které ovládají průběh programu a žluté bloky „Sensor“, které ovládají sensory. Dále jsou v nabídce červené bloky „Data Operation“, pro práci s daty. Modré bloky „Advanced“ jsou pro pokročilé programování, a nakonec tyrkysové bloky „My Blocks“, které umožňují uživateli část programu, (například tu, která se několikrát opakuje), vložit do jednoho bloku, který je možné opakovaně používat v rámci jednoho projektu.¹²

¹² LEGO Mindstorms EV3: Uživatelská příručka [online]. 2013, 36–37 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/downloads/manual-lego-mindstorms-ev3-cs.pdf> s. 36, 37

2 Stavba robota

Robota jsem postavila bez návodu metodou pokus-omyl. Nebylo složité sestavit robota, který se podobá vzdáleně lidské ruce, složitější bylo nastavit prsty přesně tak, aby hrály na správné klávesy a měly mezi sebou přesné rozestupy. Největším problémem ale bylo postavit robota tak, aby byl schopen hrát na klavír. Problém byl s velikostí motorků, které jsou široké jako dvě klávesy na klavíru. Navzdory výše zmíněnému nebyla práce se stavebnicí Lego Mindstorms složitá, protože se výrobek dá snadno rozebrat nebo pouze trochu pozměnit. Velkým plusem je rozmanitost a výběr součástek, protože všechny součástky jsou dle mého názoru v dostatečném množství a pokud nějaká součástka chybí, dá se snadno nahradit jinými.

2.1 Stručný postup

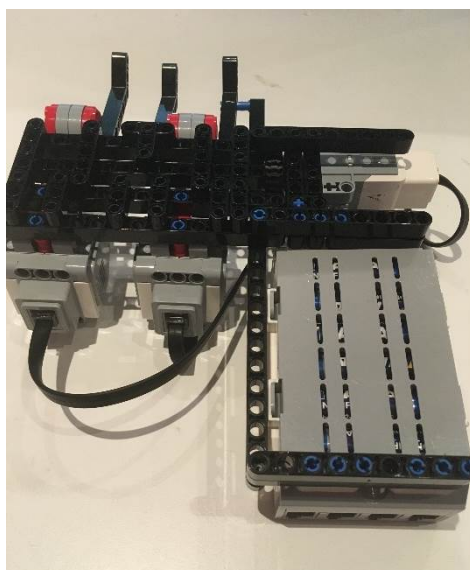
Na stavbu robota bylo využito 28 různých dílků typu Technic beam, 1 dílek Axle a 48 spojovacích dílků Conector peg. Prsty pohánějí 2 motorky velikosti large a 1 motorek velikosti medium.¹³

Nejdříve bylo nutné si rozvrhnout postavení motorků podle velikosti kláves, dále byly motorky upevněny a pospojovány dílky Technic beam a Conector peg. Motorky velikosti large jsou propojeny dílkem Cross axle. Dále byly na motorky přidělané zahnuté dílky Technic beam, které ťukají do kláves a symbolizují prsty.

Poté byly prsty zapojeny do kostky, bez které by nemohly hrát, pomocí 3 kabelů o délce 25 cm¹⁴. Nakonec byla inteligentní kostka připevněna ke spodní konstrukci robota, viz obrázek 1, aby vše drželo pohromadě. Díky kostce připevněné za robotem na konstrukci, viz obrázek 2, je robot stabilní a není nutné ho při hře držet. Mezery mezi prsty robota nejsou stejné, viz obrázek 3, ale není nutné hrát přímo uprostřed klávesy.

¹³ *Uživatelská příručka: Lego Mindstorms EV3 education* [online]. 2013 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.eduxe.cz/files/download/ev3-manual-cz.pdf> s. 64, 65

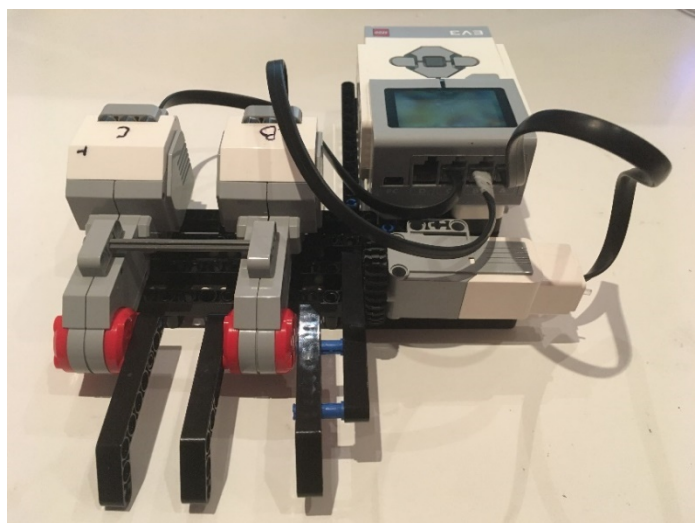
¹⁴ *Uživatelská příručka: Lego Mindstorms EV3 education* [online]. 2013 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.eduxe.cz/files/download/ev3-manual-cz.pdf> s. 69



Obrázek 1 – Robot z pohledu zespoda – foto autorka práce



Obrázek 2 – Robot z pohledu zezadu – foto autorka práce



Obrázek 3 - Robot z pohledu zepředu – foto autorka práce

3 Programování skladby

Programování v programu Lego Mindstorms EV3 Home Edition je velmi jednoduché. Bloky jsou rozděleny do různých barevných kategorií podle funkce. Pro naprogramování skladby byly potřeba bloky zelené (Action), viz obrázek 4, a bloky oranžové (Flow Control), viz obrázek 5.



Obrázek 2 - bloky Action – printscreen obrazovky autorky



Obrázek 1 - bloky Flow Control – printscreen obrazovky autorky

Vždy na začátku vytváření nového programu je na prázdné stránce umístěn blok start. Umístěním bloku těsně vedle druhého se bloky propojí. Když jsou bloky propojeny s předchozí částí celého programu, jsou jasně vidět. Pokud je někde program přerušen, po přerušení jsou bloky zašedlé a méně výrazné. Je tedy na první pohled poznat, které bloky jsou propojené a které už do programu nespádají.

Pohyb motorku je nastaven podle velikosti otáčky vždy s největší intenzitou. Délku tónů určuje doba, po kterou zůstane klávesa ve stlačené poloze. Mezi stlačením a uvolněním klávesy je pauza v sekundách. Intenzita úhozu je vždy nastavena na hodnotu 100, při pohybu zpět (nahoru) na hodnotu -100, protože pro vytvoření tónu je potřeba razantní úder. Razanci pohybu je možné v programovacím programu nastavit na hodnotu od 0 do 100 (při opačném pohybu od 0 do -100), ale při hodnotě nula robot není schopen daný úkon provést. Pro úder do klávesy jsem vybrala nejvyšší možnou razanci, protože není žádoucí, aby robotova hra zněla mdlé a polovičatě.

3.1 Pohyb robota při hře

Robot není schopen sám bez pomoci pohnout „rukou“ o tón vedle. Je nutné robota před hraním přesně umístit. Pohyb, který robot vykoná, je pouze úhoz do klávesy směrem dolů, setrvání na klávese po nutnou dobu a pohyb nahoru. Pro naprogramování tohoto pohybu potřebujeme pouze dva příkazy. Příkaz pro pohyb dolu a příkaz pro pohyb nahoru. Při programování skladby byl pro jeden tón použit

ještě příkaz k časové prodlevě, aby robotova hra nezněla trhaně. Díky příkazu k počkání, bloku Wait, je teoreticky možné naprogramovat skladbu s notami různé délky. K tomuto v praxi nedošlo, protože robot není schopen hrát přesně. Důvody tohoto problému jsou vysvětleny v kapitole 4.

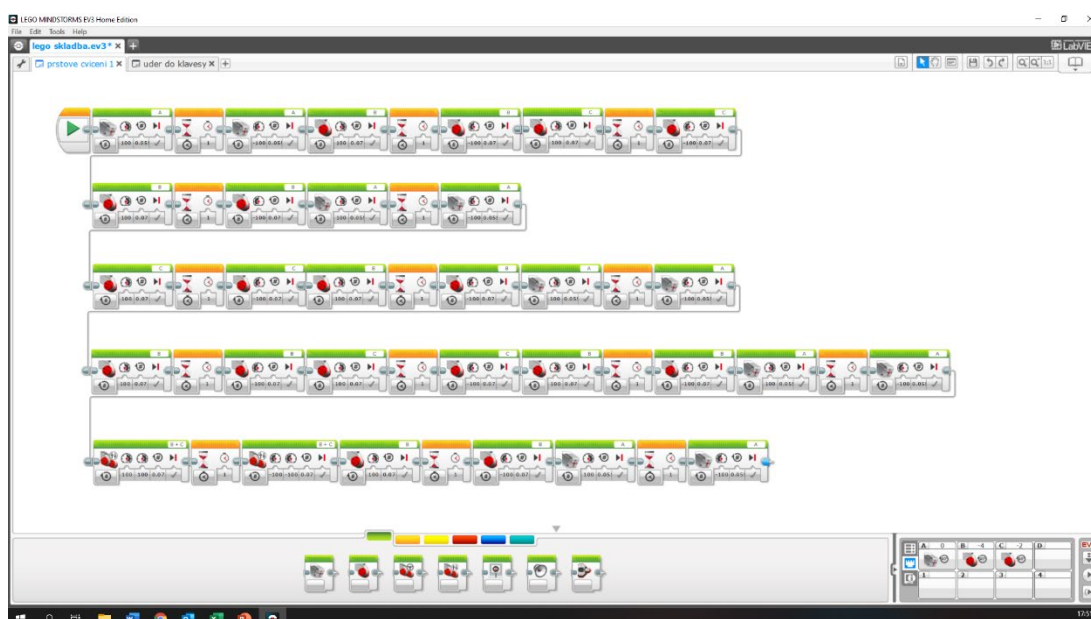
3.2 Programování skladby podle not

Programování skladby podle not je jednoduché. Pro naprogramování jednoho tónu jsou potřeba pouze tři příkazy, které se navíc velmi často opakují. U složitějších skladeb s nutností použití pedálu, akordů a velkých skoků by samozřejmě programování trvalo déle a bylo by složitější, avšak na tyto úkony není robot uzpůsoben. Robota jsem programovala podle not, viz obrázek 6.



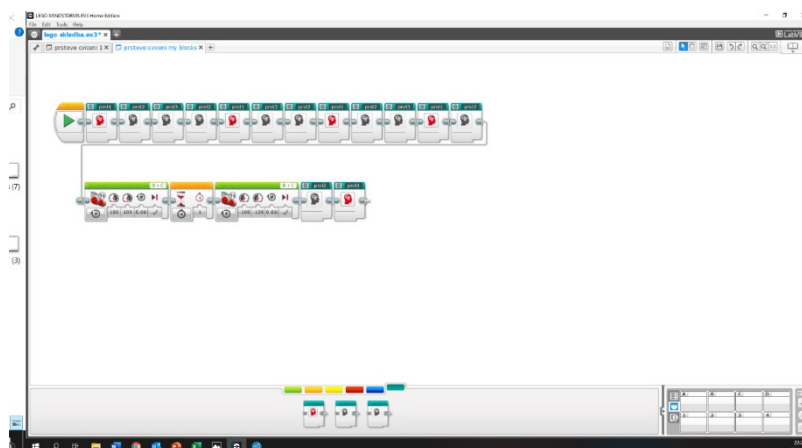
Obrázek 3 - notový zápis robotovy skladby – foto autorka práce

Program této skladby, viz Obrázek 7, která má 4 takty, je napsán ze 46 bloků. Na zahrání jednoho tónu je potřeba program o délce tří bloků. Tedy v tomto programu to bylo 3x15 bloků a blok start.

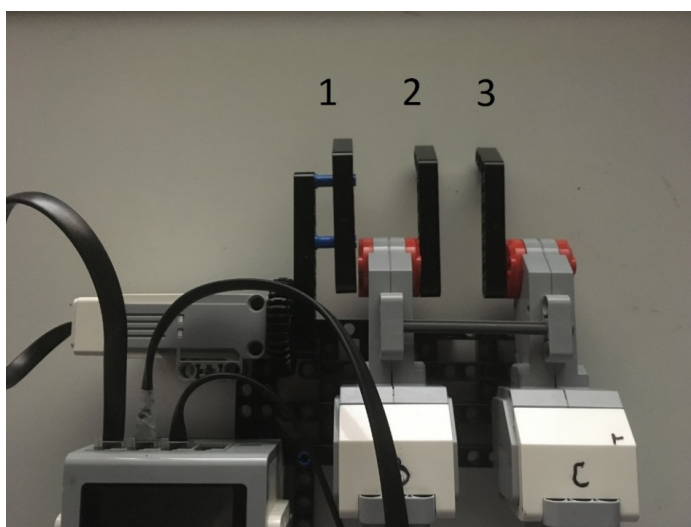


Obrázek 4 - program skladby bez zkrácení vlastními bloky – printscreen obrazovky autorky

Tuto skladbu jsem ještě naprogramovala druhým způsobem s použitím bloků „My Blocks“, kde jsem si vytvořila své bloky. Úder každého prstu do klávesy jsem tedy ze tří bloků zmenšila díky této funkci na jeden. Programování bylo tak rychlejší a program je přehlednější, viz obrázek 8. Pro první prst, číslování prstů viz obrázek 9, jsem zvolila červenou ikonu, pro druhý a třetí prst jsem zvolila ikonu šedivou. Stejná ikona na dvou různých blocích nevádí, protože u každého bloku je název, takže jde bezpečně rozeznat, který prst bude po spuštění bloku hrát. V tomto programu je 14 bloků „My Blocks“, 3 bloky z původního programu kvůli hraní dvojhmatu a blok start. Tedy celkem 18 bloků. V nezkrácené verzi programu je použito bloků 46.



Obrázek 5 - program skladby s použitím bloků "My Blocks" - printscreen obrazovky autorky



Obrázek 9 - číslování prstů robota – foto autorka práce

3.3 Řešení rytmu

Délka tónů je v programu řešena pomocí pauzy, takže po úderu do klávesy zůstane „prst“ na stisknuté klávese určitou dobu a až poté se zvedne zpět a zvuk přestane znít. Pro čtvrt'ové noty jsem zvolila pauzu o délce jedné sekundy, protože skladby je nepsaná pro 60 úderů čtvrt'ových not za minutu: Jeden tón zní jednu sekundu, a 60 tónů bude znít 60 sekund. Robot hraje o trochu pomaleji, protože nějaký čas trvá pohnutí prsty, avšak tento nedostatek nepovažuji za zásadní. Tempo robota zhruba odpovídá originálnímu tempu. Je možné naprogramovat i noty půlové, celé nebo naopak osminové. Ve skladbě, kterou jsem naprogramovala, jsou pouze čtvrt'ové noty, avšak v záznamu je délka not různá. Důvody těchto nepřesností jsou vysvětleny v následující kapitole.

4 Výzkum specifik hry robota

Při porovnání zvukového záznamu s notovým zápisem skladby je evidentní, že robot není schopen zahrát skladbu přesně, protože je bohužel původně naprogramován tak, že musí provést každý pokyn na 100 % a tedy když se nepovede úder, robot se dále snaží ještě více zmáčknout klávesu. Robot totiž nepovažuje úkol za splněný, pokud se ozve tón, protože neumí pracovat se zvukovými senzory. Nevím, jak bych takové zařízení ze stavebnice Lego Mindstorms postavila, protože ve stavebnici chybí mikrofón a robot by neměl možnost ověřit splnění úkolu. Tímto vznikají nepřesnosti v rytmu. První prst má jiný druh motoru než ostatní prsty. Ve stavebnici Lego Mindstorms EV3 31313 jsou pouze dva velké motory a jeden střední motor, který má právě první prst. Střední motor je menší a slabší, proto tón C1 je vždy slyšet slaběji, někdy skoro vůbec. Při hře na klavír je potřeba dát do úderu sílu a razanci, jinak tóny nejsou slyšet dostatečně důrazně a celá skladba zní mdlé. Obzvláště při prstových cvičeních, ke kterým má skladba velmi blízko, je nutno zahrát každý jeden tón důrazně, aby cvičení splnilo svůj účel. Toho robot není schopen docílit, právě kvůli slabému motorku u prvního prstu.

Ve videu hry robota, které je dostupné [zde](#), je slyšet pohyb motorků a ruch, který negativně ovlivňuje kvalitu zvuku. Zvuk hry robota můžeme porovnat se zvukem z videa, kdy je skladba zahrána člověkem (autorkou práce), video je dostupné [zde](#). Také můžeme robotovu hru porovnat se zvukem z přehrání not v programu MuseScore 3, video je dostupné [zde](#).

Při přípravě a instalaci robota na klávesy je velmi nutné dbát o přesné postavení robota a pozici prstů na klávesách. V opačném případě nebude robot schopen skladbu zahrát správně. Vzhledem k rozložení prstů je možné robota položit i na jiné bílé klávesy než C1, D1, E1. Pokud první prst robota bude na klávese D1 a ostatní prsty budou nainstalovány správně, tak bude robot hrát tóny D1, E1 a F1 bez změny v programu. Záznam hry robota od tónu D1 je dostupný [zde](#). Pokud bychom robota položili na černé klávesy, robot by nehrál správně, protože černé klávesy mají menší velikost a jiné rozložení na klaviatuře než klávesy bílé.

4.1 Omezení robota oproti lidem při hře

Robot má velmi omezený rozsah pohybu. Vzhledem k nízkému počtu motorků má pouze 3 prsty, které navíc hrají pouze na klávesách, ke kterým ho postavíme. Robot neumí roztáhnout a natáhnou prsty, takže možnost hraní je velmi omezená. Pokud se zaměříme na dynamiku a hlasitost hry, je robot ve velké nevýhodě oproti lidem. Hlasitost tónů a akcenty se ještě dají do jisté míry ovládat díky možnosti regulace rychlosti pohybu prstu, a tedy i razance úderu do klávesy, avšak problémy mohou nastat při používání robota na více klavírech. Každý klavír je trochu jiný a program, který zní na jednom klavíru perfektně, může znít na dalším moc hlasitě, nebo naopak nemusí znít vůbec. Dalším problémem je absence pedálu, protože součástí robota není noha, která by ovládala pedál.

4.2 Výhody robota oproti lidem

Pokud správně nastavíme program, tak je robot neomylný. I profesionální klavíristé jsou pouze lidé a ztratit soustředění, zahrát jiný tón nebo si splést prsty, může prakticky každý. Robot s ničím takovým problém nemá. Navíc se nemůže ztratit v notách, díky programu, který je v robotovi uložený. Také zde odpadá nutnost skladbu trénovat, protože stačí robota správně naprogramovat a ten může stejnou skladbu hrát neomylně třeba stokrát za sebou.

Závěr

Cílem mé práce bylo sestavit a naprogramovat robota, který bude schopen zahrát na klavír několik tónů a jednodušší skladbu, což se mi povedlo. Robot je schopen zahrát na klavír skladbu o čtyřech taktech, bez asistence člověka. Asistence člověka je nutná před samotnou hrou robota. Při umisťování robota ke klaviatuře, na kterou je důležité umístit robota přesně, aby byl robot schopen skladbu zahrát, což je poněkud složité, protože pokud je robot o několik milimetrů vedle, není schopen klávesy zmáčknout. Asistence člověka je také nutná při zapnutí programu na robotovi. Poté robot zahraje skladbu od začátku do konce bez pomoci člověka a po konci skladby přehrávání programu skončí.

Vzhledem k tomu, že stavebnice Lego Mindstorms EV3 31313 obsahuje pouze tři motorky, nelze simulovat hru celou rukou, která má pět prstů. K tomu, aby prsty robota fungovaly jako prsty lidské, by byly zapotřebí ještě další motorky, které by simulovaly klouby. Potom by mohl robot hrát i na černých klávesách v daném rozsahu.

Jak jsem předpokládala, tak při správné instalaci robota a manipulaci s ním je robot schopen zahrát na klavír skladbu několikrát za sebou bez chyby.

Pokud bych skládala a programovala robota znovu, rozhodně bych před metodou pokus omyl upřednostnila práci s čísly. Změřila bych si, jak hluboko je potřeba zmáčknout klávesu proto, aby se ozval tón a s touto informací bych programovala robota. Namísto programování podle počtu otáček motoru bych si jako jednotku zvolila velikost otáčky podle stupňů. Zpětně vidím, že práce s nějakými přesnými údaji by mi ušetřila mnoho času a omylů.

Stavebnice Lego Mindstorms je dle mého názoru velmi dobrá jako hračka, která dětem předává základy programování, ale hodí se i pro akademické účely či do škol. Práce s programovacím softwarem je velmi jednoduchá na pochopení.

Psaní této práce, zvláště výzkum v praktické části, bylo zábavné. Celé téma programování jednoduchých robotů je dle mého názoru velmi zajímavé.

Cíl práce byl splněn, sestavila jsem bez návodu robota, který je i přes mnoho nedostatků schopen hrát na klavír.

Zdroje

1. PÁRAL, Jaroslav. *Lego Mindstorms EV3 ve výuce programování a robotiky* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=159300. . Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Filip Orság, Ph.D.
2. Lego History: Digital development. *Lego* [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.lego.com/en-us/lego-history/digital-development-415a051dd2dd4c9d8bc190c94d7102ec>
3. Lego Mindstorms EV3. *Lego* [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.lego.com/cs-cz/product/lego-mindstorms-ev3-31313>
4. ¹ *Lego Mindstorms EV3 uživatelská příručka* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/downloads/manual-lego-mindstorms-ev3-cs.pdf>
5. Lego Mindstorms: ke stažení. *Lego* [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.lego.com/cs-cz/themes/mindstorms/downloads>
6. LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition [počítačový program pro Windows]. [cit. 2019-12-15].
7. BAŤKO, Jan. *Programovací prostředí EV3 a RobotC robotické stavebnice LEGO Mindstorms EV3* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/29366/1/Programoc%C3%AD%20prost%C5%99ed%C3%AD.pdf>
8. LEGO Mindstorms EV3: Uživatelská příručka [online]. 2013, [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.robotworld.cz/downloads/manual-lego-mindstorms-ev3-cs.pdf>
9. *Uživatelská příručka: Lego Mindstorms EV3 education* [online]. 2013 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.eduxe.cz/files/download/ev3-manual-cz.pdf>