

BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITY CLUJ–NAPOCA
FACULTY OF MATHEMATICS AND INFORMATICS
SPECIALIZATION: COMPUTER SCIENCE

License Thesis

Control and balancing – applied to Lego robots

Abstract

A szakdolgozat célja egy egyensúlyozó, kétkerekű MINDSTORMS EV3 robot irányításának megoldása hálózaton keresztül, telefonos alkalmazás segítségével. Ennek a célnak az eléréséhez szükséges tanulmányozni a robot egyensúlyozásának működését. Az alkalmazás és az egyensúlyozási algoritmus Java-ban íródott. A robot irányításáért felelős az EV3 vezérlő egység, amelyen Linux alapú leJOS keretrendszer fut. A robot PID (Proportional Integral Derivative) kontroller alkalmazásával és giroszkóp szenzor használatával marad egyensúlyban. A PID bemeneti értékét négy különböző komponens határozza meg. A komponensek megfelelő módosítása lehetővé teszi a robot mozgásának manipulálását. Mobil részre egy mobil alkalmazás, amely hálózaton keresztül kapcsolódik a robothoz és küldi a megfelelő értékeket.

This work is the result of my own activity. I have neither given nor received unauthorized assistance on this work.

JULY 2016

MÁRTON ZETE-ÖRS

ADVISOR:
ASSIST PROF. DR. HUNOR JAKAB

BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITY CLUJ-NAPOCA
FACULTY OF MATHEMATICS AND INFORMATICS
SPECIALIZATION: COMPUTER SCIENCE

License Thesis

Control and balancing – applied to Lego robots



SCIENTIFIC SUPERVISOR:

ASSIST PROF. DR. HUNOR JAKAB

STUDENT:

MÁRTON ZETE-ÖRS

JULY 2016

UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI, CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ
SPECIALIZAREA INFORMATICĂ

Lucrare de licență

Control și echilibrare – aplicat la roboți Lego



CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
LECTOR DR. HUNOR JAKAB

ABSOLVENT:
MÁRTON ZETE-ÖRS

IULIE 2016

BABEŞ-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM KOLOZSVÁR
MATEMATIKA ÉS INFORMATIKA KAR
INFORMATIKA SZAK

Államvizsga-dolgozat

Kontroll és egyensúlyozás – alkalmazás Lego robotnál



TÉMAVEZETŐ:

DR. JAKAB HUNOR,
EGYETEMI ADJUNKTUS

SZERZŐ:

MÁRTON ZETE-ÖRS

2016 JÚLIUS

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	3
2. LEGO	5
2.1. LEGO megalakulása	5
2.2. LEGO MINDSTORMS	5
2.2.1. RXC	5
2.2.2. NXT	6
2.2.3. EV3	7
2.3. Ev3 motorok	7
2.3.1. Nagy motor	7
2.3.2. Közepes motor	8
2.4. Ev3 szenzorok	8
2.4.1. Színszenzor	8
2.4.2. Giroszkóp szenzor	9
2.4.3. Nyomásérzékelő	9
2.4.4. Ultrahang szenzor	10
2.4.5. Infravörös szenzor	10
3. Egyensúlyozás	11
3.1. PID szabályzó algoritmus	11
4. Megvalósítás	12
4.1. EV3 programozása	12
4.2. Androidos alkalmazás és kommunikáció	12

1. fejezet

Bevezető

A szakdolgozat által bemutatásra kerül egy projekt, amely a LEGO MINDSTORMS EV3[2] készletből épített kétkerekű egyensúlyozó robot irányítását teszi lehetővé hálózaton keresztül, telefonos alkalmazás segítségével. Emellett sor kerül a robot főbb elemeinek a bemutatása, felhasznált technológiák és a vezérlést kezelő Android alkalmazás.

A kétkerekű robot a Gyro Boy¹ modell alapján készült el. Főbb komponensei közé sorolható az EV3 vezérlő egység², giroszkóp szenzor³ és a két nagy szervomotor⁴, amelyek párhuzamosan vannak elhelyezve. Az előbb említett elemekről bővebben szó lesz a 2.3 illetve 2.4 fejezetben. Mivel a kerekek párhuzamosan helyezkednek el ezért nem marad egyensúlyi állapotban. E probléma megoldására alkalmas a PID⁵ szabályzó algoritmus használata, amely ipari körökben elterjedt a viszonylag egyszerű felépítéséért, kezelhetőségéért és implementálhatóságáért. A szabályzó bemeneti értékét négy érték határozza meg: szög, szögsebesség, robot sebesség és a robot pozíciója, amelyek külön-külön súlyozva vannak. A szög és szögsebesség érték meghatározásához szükséges a giroszkóp szenzor és a szervomotorok beépített szenzorjai teszik lehetővé a sebesség és pozíció megállapítását.

A robot irányításának érdekében szükséges a PID szabályzó algoritmus módosítása és esetleges újabb szabályzók bevezetése annak érdekében, hogy irányítás alatt ne veszítse el az egyensúlyi állapotát. A felhasználónak lehetőséget ad a projekt Android alkalmazása, hogy hálózaton, socketeken keresztül csatlakozzon a robotoz és az irányításnak megfelelő adatokat továbbítsa. Ezen adatok beviteli módját egy "touch joystick" teszi lehetővé, amellyel négy irányba lehetséges a robot vezérlése. Az adatok védelméért valamint a tovább bővíthetőség érdekében a szerializációt a Google Protocol Buffers⁶ biztosítja. A Protocol Buffers platform és nyelvfüggetlen, könnyen kezelhető és gyors. Lehetőséget nyújt az adatok tetszőleges felépítésére, amelynek a forráskódját egy speciális generátor segítségével könnyen kigenerálható. E strukturált adatok írását illetve olvasását biztosítja a generált kód.

Az EV3 készlethez biztosított a LEGO MINDSTORMS egy grafikus felületet, amellyel a kisebb korosztály "programozhatja" a saját kezűleg épített robotokat. E projekt esetében leJOS⁷ keretrendszer fut az EV3 vezérlő egységen. A leJOS Linux alapú és magába foglalja a JVM-t (Java virtual machine),

1. http://robotsquare.com/wp-content/uploads/2013/10/45544_gyroboy.pdf

2. http://lego.wikia.com/wiki/45500_EV3_Intelligent_Brick

3. <http://shop.lego.com/en-US/EV3-Gyro-Sensor-45505>

4. http://lego.wikia.com/wiki/45502_EV3_Large_Servo_Motor

5. https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller

6. <https://developers.google.com/protocol-buffers/>

7. <https://en.wikipedia.org/wiki/LeJOS>

1. FEJEZET: BEVEZETŐ

amely lehetővé teszi, hogy a robot programozható legyen Java-ban.

A dolgozat 3 fejezetből áll. Az első fejezet bevezetőként szolgál a projektbe.

A második fejezet röviden bemutatja a LEGO megalakulását, a LEGO MINDSTORMS által kifejlesztett generációkat majd bemutatja az EV3 készlethez tartozó motorokat és szenzorokat. Tartalmazza azon eszközök részletes leírását amelyek a projekt által használatosak.

A harmadik fejezet által bemutatásra kerül a PID szabályzó működése és használata e projekt esetén.

2. fejezet

LEGO

Összefoglaló: A fejezetben, bemutatásra kerül a LEGO [1] megalakulása, fejlődése. E mellett sor kerül a LEGO MINDSTORMS által kifejlesztett technológiák bemutatása, amelyek közül egy pár felhasználásra kerül a továbbiakban.

2.1. LEGO megalakulása

A LEGO története 1932-ben kezdődött, Ole Kirk Christiansen¹ asztalos vállalkozást alapított Dánia, Billund nevezetű falujában, amely a fa játékok gyártásával foglalkozott. 1934-ben vette fel a cég a LEGO nevet, amely a LEG GODT Dán szóból ered. 1947 után kezdtek el műanyagból előállítani játékokat amelyek fő célja az volt, hogy könnyedén egymásba illeszthetők illetve szétszedhetők legyenek. Az alapító fia Godtfred Christian lett az igazgató 1958-ban, ekkor alakult meg a ma ismert LEGO vállalat és vezetésével fellendült a cég. Az első számítógép által vezérelt robot 1986-ban jelent meg, amelyet követően 1988-ban a LEGO és az MIT (Massachusetts Institute of Technology) együttműködésével elkezdődött az "inteligens téglá" fejlesztése, mely lehetőséget ad a programozhatóságra.

2.2. LEGO MINDSTORMS

A LEGO első játéka amit forgalmazott Ole Kirk Christians vezetésével a fából készült "LEGO Duck" évekkel később megjelentek a műanyag játékok. Ma már világszerte ismert a LEGO építőjáték, egymással összeilleszthető, kombinálható elemeket tartalmaz így szinte bármi megépíthető belőle és rendkívül hasznos oktatási eszköz.

A LEGO MINDSTORMS, egy programozható robotikai építőkészlet. Lehetőséget ad, hogy megépítsd, programozd és irányítsd a robotot. 1998-ban jelent meg az első generáció az RXC (Robotic Command eXplorers), akkoriban nagy előrelépés volt mivel, teljesen autonóm, képes számítógép nélkül is működni de mára már elavult. Az évek során sokat fejlődött és ma már egyre több oktatási intézmény használja a robotika oktatásban.

2.2.1. RXC

Az RXC amelyet a 2.2.1 ábra szemlélteti, az első generációs LEGO MINDSTORMS. Ma már nem igen használatos, elavult programozható vezérlőegység, mivel csupán 8 bites mikrokontroller és 32 Kbyte

1. http://lego.wikia.com/wiki/Ole_Kirk_Christiansen

2. FEJEZET: LEGO

RAM-al rendelkezik. Tartalmaz három szenzor és három motor csatlakozó portot. Ezek mellett egy LCD kijelzőt amin látható az akkumulátor töltöttségi szintje, a bemeneti és kimeneti portok állapota illetve egyéb információk megjelenítésére is alkalmas.



2.1. ábra. RXC brick

2.2.2. NXT

A második generáció a 2.2.2 ábrán látható, az NXT, 2006-ban jelent meg illetve az NXT 2.0 2009-ben, amely több építőelemet és szenzort tartalmaz. Több mindenben különbözik az NXT az RXC-hez képest. Szembetűnő esztétikai változások történtek, javítottak a kapacitáson, növelték a portok számát és megjelentek a szervomotorok.

Az NXT tartalmaz négy szenzort, három motor csatlakozót és egy 2.0 USB portot. Beépített bluetooth kommunikációs adatperrel rendelkezik, megjelent a grafikus kijelző és tartalmazott egy 8Khz hangszórót. Az NXT 32 bites AMTEL ARM7 mikrokontrollerrel, 256 Kbyte flash memóriával és 64 Kbyte RAM-al rendelkezik.



2.2. ábra. NXT brick

2. FEJEZET: LEGO

2.2.3. EV3

A harmadik generáció, az EV3 2013-ban jelent meg, a 2.2.3 ábra szemlélteti. Az "EV" evolúciót jelenti és a 3, hogy harmadik generáció. A legfejlettebb LEGO MINDSTROMS programozható építőelem amely kezeli a motorokat, szenzorokat és lehetőséget ad Wi-Fi-n vagy Bluetooth-on keresztül való kommunikációra, ezért is választottuk ezt a generációt.

Az EV3 egy ARM9 nevű processzorral van felszerelve, amely 300 Mhz, 16 Mbyte flash memóriával és 64 Mbyte RAM-al rendelkezik. A Linux alapú operációs rendszere nagyban segíti a programozhatóságát. Egy 2.0 mini USB PC port van a számítógéppel való kommunikációhoz, aminek átviteli sebessége 480 Mbit/s, az SD kártya olvasója 32 Gbyte-ot ismer fel. Tartalmaz egy USB portot amely lehetővé teszi, hogy használjunk Wi-Fi dongle-t, ezáltal megkönnyíti a programok kitelepítését, fájlok kezelését és lehetséges a kommunikáció okos készülékekkel is.

Az NXT-hez képest sokat fejlődött, nagyobb a kapacitása, lehetőség van Wi-Fi és SD kártya használatára. Ezek mellett négy szenzor port van három helyett és négy motor csatlakozó port. Nagyobb LCD kijelzőt raktak és a felületén hat gomb van négy helyett, könnyítve az operációs rendszer menüjének kezelését.



2.3. ábra. EV3 brick

2.3. Ev3 motorok

Az NXT generációval megjelentek a szervomotorok, amelyek legfőbb tulajdonsága a pontosság. Két típusa jelent meg a közepes és a nagy szervomotor. Mind a kettőnél megmaradt a pontosság de a méretük, az erejük és a reagálási idejük eltérnek. Tovább fejlesztették a motorokat, amelyek az EV3 generációval jelentek meg. Az EV3 nagy motorjának teljesítménye megegyezik az NXT-vel de a felépítését optimalizálták, illetve a EV3 közepes motorja teljesen új az NXT-hez képest.

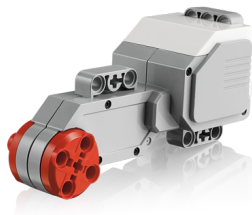
2.3.1. Nagy motor

A nagy motor, amely a 2.3.1 ábrázol, erőteljes, ideális a általunk megépített robot irányítására. A motorba beépített forgásérzékelő által információkat lehet lekérni az pillanatnyi állapotáról, amely fokban vagy teljes fordulatban mér.

2. FEJEZET: LEGO

A nagy motorok sebessége 160-170 rpm, forgatónyomaték 20 N/cm és ha blokkolt állapotba kerül akkor a nyomatéka 40N/cm. A motor beépített forgásérzékelője lehetővé teszi a pontos vezérlést, +/- 1 fok pontossággal.

A robot mozgását a nagy motorok segítségével fogjuk elérni, ha bár lassabbak mint a közepes motorok de nagyobb a nyomatékuk és a precizitásuk azonos.



2.4. ábra. Nagy motor

2.3.2. Közepes motor

A közepes motor, amely a 2.3.2 ábrázol, tulajdonsága megegyezik a nagy motorjaival. Ugyancsak tartalmaz forgásérzékelőt és lehetséges a helyzetmeghatározás 1 fok eltéréssel, viszont alacsonyabb terhelésre tervezték, forgatónyomatéka 8 N/cm, ha blokkolt állapotba kerül akkor a nyomatéka 12 N/cm és a sebessége 240-250 rpm.



2.5. ábra. Közepes motor

2.4. EV3 szenzorok

Az NXT csomagban számos szenzor megtalálható, ilyenek mint az érintés, hang, szín és ultrahang szenzorok, amelyeket felhasználva több különböző funkcionalitásokkal bővíthetjük a megépített robotunkat. Az EV3 megjelenése magával hozott még két új szenzort, a giroszkóp és az infravörös szenzorokat. Ezek mellett fejlesztették a már meglévő szenzorokat is.

2.4.1. Színszenzor

A digitális színszenzor, amely a 2.4.1 ábrázol, hét különböző színt ismer fel. A színfelismerő funkcionalitásán kívül mérhető vele a fényvisszaverődés erőssége vagy a környezeti fény intenzitását. E három

2. FEJEZET: LEGO

üzemmód lehető teszi a felhasználóknak, hogy akár kövessen egy fekete vonalat vagy megkülönböztetesen szín szerint tárgyakat és még sok más felhasználási lehetősége van.



2.6. ábra. Szín szenzor

2.4.2. Giroszkóp szenzor

A digitális giroszkóp szenzor, látható a 2.4.2 ábrán, amelyet mi is felhasználunk, az EV3-al egy időben jelent meg. A giroszkóp igen elterjedt szenzor, megtalálható okostelefonokban, különféle navigációs rendszerek vagy akár irányításért felelős vezérlőegységek használják. A EV3 giroszkóp szenzora egy tengely mentén tud mérni. Látható a 2.4.2 ábrán, hogy a giroszkópon fel van tüntetve két nyíl és ennek segítségével tudjuk állítani a pozícióját, ha jobb oldali nyíl irányába mozdítjuk akkor mínusz értéket kapunk és ha ellentétesen akkor egyértelműen pozitívat.

A giroszkóp három módban használható. Mérhető az elfordulási szög fokban -90 és 90 intervallumba, a szög gyorsulása illetve lehetséges a két mód használata egyszerre. A pontossága szögmérés esetén ± 3 fok, szög gyorsulása eseté pontosabb. Maximális információ megosztási sebessége 440 fok/másodperc és a mintavételezési sebessége 1 kHz. A sebességét kihasználva simítjuk a ± 3 fok szórását oly módon, hogy többször mintavételezünk.



2.7. ábra. Giroszkóp szenzor



2.8. ábra. A giroszkóp szögelfordulási mutatója

2.4.3. Nyomásérzékelő

Az analóg nyomásérzékelője egy piros gombbal van felszerelve ami látható a 2.4.3 ábrán. Funkcionálitása nem túl bonyolult viszont annál hasznosabb. Érzékeli a gomb lenyomását illetve felszabadulását, amelyet egy integrált számlálóval segítségével nyomon lehet követni.



2.9. ábra. Nyomásérzékelő

2.4.4. Ultrahang szenzor

A digitális ultrahang szenzor látható a 2.4.4 ábrán, amely +/- 1 cm hibával meghatározza, hogy milyen távolságra van az előtte lévő tárgy. A hatótávolsága 250 cm és működése a magas frekvencia kibocsátására alapszik. Számolja az előtte lévő tárgyról visszaverődő frekvenciák érkezésének idejét, ezáltal határozza meg a távolságot. Az akadály pontos irányának meghatározása úgy lehetséges ha több mérést végzünk oldal mozgással. Így lehetőség van, hogy kiszámoljuk az akadály irányát.



2.10. ábra. Ultrahang szenzor

2.4.5. Infravörös szenzor

A digitális infravörös szenzor látható a 2.4.5 ábrán, amelynek a maximális hatótávolsága 70 cm jelentősen kisebb az ultrahang szenzorhoz képest. Funkcionalitása inkább vezérlésre alkalmas, 2 m hatótávolságról is érzékeli a LEGO MINDSTORMS saját infravörös jeladóját, amely látható a 2.4.5 ábrán.



2.11. ábra. Infravörös szenzor



2.12. ábra. Infravörös jeladó

3. fejezet

Egyensúlyozás

Összefoglaló: E fejezet célja, hogy bemutassa a PID szabályzó algoritmus működését. E mellett sorkelír az egyensúlyozás működésének leírására, valamint hogy miként lehet felhasználni ez esetben a PID szabályzó algoritmust.

3.1. PID szabályzó algoritmus

A PID (Proportional Integral Derivate) elterjedt algoritmus az ipari szabályzó körökben köszönhetően a viszonylag egyszerű félépítéséért és a könnyen kezelhetőségéért. Számos felhasználási lehetősége van, ilyenek a nyomás, hőmérséklet, sebesség szabályozás.

A PID, mint a nevéből is látható három tagból tevődik össze: P (Proportional) proporcinális tag, I (Integral) a hibák integrált tagja és a D (Derivate) a hibák időbeli változásának derivált tagja. Több változata is van, azok az esetek mikor nem valósulnak meg az előbb felsoroltak mindegyike, ilyenkor beszélünk P, PI, PD szabályokról.

PID szabályzó matematikai képlete:

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t),$$

ahol bemeneti hiba jelöle az $e(t)$, $u(t)$ a kimenet. A K_P, K_I, K_D rendre a proporcinális, integrált és a derivált súlyát határozzák meg.

Esetünkben a P az aktuális hiba, I a hibák összességének integráltja, D az aktuális és az előző hiba időbeli változásának deriváltja. A tagok súlyát meghatározó konstansok jelentős befolyással vannak a kimenetre.

A K_P befolyásolja a szabályzó érzékenységet, instabilitást okozhat. A magas erősítés, amely nagy oszcillációt idéz elő, ellentétben áll az alacsony erősítéssel, hiszen az utóbbi kicsi oszcillációt idéz elő. Ezen esetekben a robot elveszti az egyensúlyi állapotát.

A K_I erősítő esetén figyelembe kell venni, hogy az integrált tag folytonosan nő és a túl nagy érték túllendülést eredményez.

A K_D a hiba változásának mértékét határozza meg. Amennyiben az aktuális és előző hiba közti különbség nagy, hirtelen változást idéz elő a szabályzó kimenetén. A derivált szerepe, hogy csökkentse a kimenet hirtelen változását, megakadályozva a hirtelen sebesség növekedést. Magas erősítés okozhat instabilitási problémákat.

4. fejezet

Megvalósítás

Összefoglaló: A projekt egy EV3 készletből épített kétkerekű egyensúlyozó robot irányítását valósítja meg hálózaton keresztül, telefonos alkalmazáson segítségével. E fejezet alatt bemutatásra kerülnek a megvalósítás során felmerült problémák és ezek megoldása.

4.1. EV3 programozása

A LEGO MINDSTORMS kifejlesztett egy programozási környezetet, mely célja, hogy a megépített robotot különböző funkcionalitásokkal lehessen felruházni. E környezet lehetővé teszi a kisebb korosztály számára is a robotok programozását. Különböző grafikus elemekből úgynevezett blokkokból épül fel a program, amely USB-n keresztül kitelepíthető az EV3 vezérlőegységen futó LEGO MINDSTORMS által fejlesztett firmware. Az előbb említett programozási környezet előnyös kisebb programok megírására de komplexebb problémák megoldására nem alkalmas. Ezért több firmware-t is kifejlesztettek melyek magas szintű programozási nyelveket támogatnak. Esetünkben a leJOS firmware-t használjuk.

A leJOS firmware-t José Solórzano hozta létre 1999 végén és azóta is folyamatosan fejlesztik. Linux alapú, nyílt forráskódú, magába foglalja a JVM-t (Java virtual machine), a nevében is szerepel JOS(Java Operating System). Lehetővé teszi, a robot programozását Java-ban, támogatja a objektum orientált programozást. Mindezek lehetővé teszik a socket alapú kommunikációt, szinkronizálhatóságot, szálak alkalmazását, Java típusok használatát és támogatja az EV3 szenzorokat.

Annak érdekében, hogy az EV3 vezérlőegységen futtassuk és könnyedén kitelepítsük a programokat az Eclipse IDE fejlesztői környezetre van szükség és a leJOS plugin-ra.

Mivel az EV3 vezérlőegységen az alapértelmezett firmware van telepítve ezért külön SD kártyára felkel telepíteni a leJOS-t. Legalább 2GB-os SD kártya de ne legyen 32GB-nál nagyobb és ne SDXC típusú legyen, mert nem ismeri fel az EV3 hardware. Az SD kártyát szükséges formázni FAT32 típusú partícióra. A leJOS számítógépre való telepítése során szükség lesz az 1.7 JDK-ra(Java Development Kit). Az előkészített program segítségével feltelepíthető a leJOS firmware az SD kártyára, ehhez még kell a JRE(Java Runtime Environment) is. Sikeres telepítés után az SD kártyát behelyezve az EV3 vezérlőegységbe elindítható a firmware, ha az alapértelmezett rendszer indul el akkor megkel ismételni az SD kártyára való telepítést. Ezt követően telepítésük az Eclipse plugin-t majd berakjuk az EV3_HOME-t környezeti változónak és a bin könyvtárat a path-be.

4.2. Androidos alkalmazás és kommunikáció

Irodalomjegyzék

- [1] A lego történelme. URL http://www.lego.com/en-us/aboutus/lego-group/the_lego_history/1930. Utolsó megtekintés dátuma: 2016-05-09.
- [2] A lego mindstorms ev3 hivatalos oldala. URL <http://www.lego.com/en-US/mindstorms/?domainredirect=mindstorms.lego.com>. Utolsó megtekintés dátuma: 2016-05-16.