



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR
ELEKTRONIKAI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK INTÉZET
MŰSZERTÉCHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK



SZAKDOLGOZAT



OE-KVK
2023.

Schriffert Balázs
T009418/FI12904/K



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Schriffert Balázs

Szakdolgozat száma: SZD2309040923372415

Törzskönyvi száma: T009418/FI12904/K

Neptun kódja:

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Műszer-automatika specializáció

A dolgozat címe: Delta robot irányítási kérdései

A dolgozat címe angolul: Questions of Delta robots control systems

A feladat részletezése: Készítsen delta robot irányítására szolgáló alkalmazást, illetve a motorszabályozás lehetséges módozatit vizsgálja meg.

Intézményi konzulens neve: Sándor Tamás

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 12. 31.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 10. 24.




Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:


belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSIT



KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KARÓKI KAR
ELEKTRONIKAI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK INTÉZETEKTRONI
MŰSZERTÉCHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK INTÉZET

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 20²³⁻¹²⁻¹⁵.

Schriffert Balázs

hallgató aláírása

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karának, hogy biztosította számunkra az egyetem delta robotját, amin munkánkat végezhattük és új tapasztalatokra tehattünk szert.

Köszönöm szépen Sándor Tamás Tanár Úrnak és Borsos Döníz Tanárnőnek segítségüket, mellyel támogatták a projekt megvalósulását és a megfelelő tanácsokkal láttak el minket a fejlesztések során.

Köszönöm szépen Fehér Mátyásnak a folyamatos közös munkát és Kovács Gergőnek, mesterszakos hallgatónak mentorálásunkat.

Köszönöm szépen a családomnak a folyamatos támogatást és stabil háttérrel az egyetemi tanulmányaim alatt.

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés	6
2 Ipari robotok leírása	7
2.1 Történelmi leírás	7
2.2 Az ipari robotok csoportosítása	10
2.2.1 Leírásuk alapelvek szerint	10
2.2.2 Munkatéri leírás	12
2.2.3 Soros és párhuzamos robotok leírása	13
2.2.4 Mozcás programozás	13
2.3 A delta robotok bemutatása	14
3 Specifikáció	16
4 Logikai rendszerterv	17
5 Fizikai rendszerterv	19
6 Motorvezérlő modulok leírása	23
6.1 Léptető motorok	23
6.2 Léptetőmotor vezérlő	24
7 SPI Kommunikáció	28
7.1 A kommunikáció jellemzése	28
7.2 Bekötési fajták	28
8 Motorvezérlés szoftver	31
8.1 GPIO setup	31
8.2 A motorok léptetése	32
8.3 Irány kiválasztása	32
8.4 Motor állás mérése	33
8.5 Mozcás módok	34
8.6 Mozcás kivitelezése	37
9 Sakkprogram és képfeldolgozás	40
10 Tesztelés	41
11 Összegzés	43
12 Summary	44
Hivatkozások	46
Ábrajegyzék	48

1 Bevezetés

A szakdolgozat témámmal az egyetemen a Projektmunka I. tárgyban ismerkedtem meg, amit folytattam Projektmunka II. tárgyban. Ezt mind végig szaktársammal, Fehér Mátyással végeztem. Munkánk során a projekt különböző akadályait közös munkamegosztással oldottuk meg. Lehetőségünk volt a meglévő problémák kijavítására, illetve a jövőben előjövő problémák megakadályozásában, a robot működésnek stabilizálására.

Több feladatot kellett ellátni a munkák során ezek közé tartozik a motorvezérlés stabilizálása, finomhangolása, kommunikáció kiépítése, a robot irányításának létrehozása. Majd a robot mozgásának biztosítása után, egy meglévő sakkprogram és kamerás képfeldolgozó szoftver implementálása, a robot felhasználásához.

Irodalomkutatás elvégzésével dolgozatomban bemutatom az ipari robotok történelmét, fejlődésüket a mai napig. Csoportosításukat fizikai szempontok alapján, irányításuk módjai szintjén, illetve felhasználásuk alapján. A dolgozat további részében specifikálom az általunk használt delta robotot, bemutatom a logikai- fizikai rendszertervet. Majd bemutatom az általam elvégzett munkákat, ezekből levont tapasztalatokat. A dolgozat zárása ként összegzem az elmondottakat, leírom a véleményem szerint elvégezhető fejlesztéseket és a munkával megszerzett tapasztalatokat.

2 Ipari robotok leírása

2.1 Történelmi leírás

Maga, mint robot szó, szláv eredetű, a robota szóból ered, aminek jelentése szolgamunka, nehéz munka.

Az ipari robotok leveszik az emberekre nehezedő, nehéz fizikai munkát. Sokkal precízebben képes dolgozni, valamint folyamatos működésre képes, így alkalmazható automatizált rendszerekben. A gyártó rendszerek egyre bonyolultabbak lettek, egyre nehezebb, összetettebb feladatokat kellett, hogy ellássonak.

Az ipar a második világháború előtt még robotok nélkül működött. A robotok munkáját emberek váltották ki, akkoriban még az összeszerelési láncokat, nehéz mechanikai rendszereket működtették, amik szennyezték a gyár légterét, így a munkások egészségét is. [1] A második világháború után, elterjed a félvezető technika, megjelennek a számítógépek, a jármű gyártás óriási fejlődése miatt megjelennek a számítógép által vezérelt, újra programozható ipari robotok. A gyártás a mai napig hatalmas léptékkal fejlődik. A fejlődés lépcsőit alább részletezem.

Az ipari robotok első generációja az 1950-1967-es évekre tehető. [2] Ezek a robotok programozhatónak számítottak, de nem volt kapcsolatuk a külvilággal és saját helyzetük megfigyelését se végezték, mint a motorok állása vagy effektor helyzetek figyelése. Tengelyként végpont kapcsolóval viszont rendelkeztek, ami mechanikai működésű volt, így nem volt elkövethető az önmeghibásodás. Pneumatikus vagy hidraulikus működtetéssel rendelkeztek. Munkájuk az egyszerű mozgásra vagy pakolásra volt használatos. Egyesek az 1938-ban, Pollard and Roselund által elkészített festő robotot tartják az első ipari robotnak, viszont az első sorozatgyártásként készült robot az Unimate névre hallgató ipari robot, amit George Devol alkotott meg 1954-ben. [2] 1961-ben elkészült az első eladásra szánt darab, amit fel is használt a General Motors cég a járműveinek gyártásába.



1. ábra Az első gyártásban felhasznált ipari robot, Unimate

A második generáció 1968-1977- es évekig tartott. Ezen gépek már egyszerűbb, módszerekkel programozhatók voltak egy "teach box", tanító eszköz segítségével. Programozások egyik munkáról a másikra, hosszadalmas és bonyolult művelet volt, így jellemzően egy robot egy feladatot látott el. Beépítésre kerültek a mikrokontrollerek, szervo vezérlők, ez által megvalósítható lett a pont-pont közötti mozgás és a folyamatos pályamozgás is. 1970-es évekre tehető, amikor az elektromos aktuátorok leváltják a pneumatikus és hidraulikus mozgatót végző alkatrészeket. Az ipari robotok felhasználása ekkortól robbanásszerűen növekedett. Victor Scheinman ebben a generációban megalkotta az első 6 szabadsággal rendelkező robotot. Ezt azzal a fejlesztéssel tudta elérni, hogy megjelentek a potenciaméterek és fordulatszám mérők, amivel tudta a motorok állását mérni és alkalmazni az inverz kinematikát. Ez lehetőséget ad a robot elhelyezkedésének térbeli megállapítására. [2]



2. ábra Victor Scheinman első 6 szabáságfokkal rendelkező robotja

1978-tól 1999-ig tartott a harmadik generáció. Az elektronika gyors fejlődésének köszönhetően a szenzorok is nagy fejlődésen mentek keresztül, így a robotok pontosabb és biztosabb működést garantáltak. Komplex interfészeket keresztül lehetővé vált a magas szintű programozás, ezzel lehetővé téve a szélesebb felhasználási területeket, képességeket. Kezdetlegesen megjelent a gépi “intelligencia” mivel már nemcsak hibát tudott detektálni saját rendszerében, de a hiba pontosításában segítséget nyújtott az operátornak hiszen jelezni tudta a hiba pontos okát. Gondolok itt arra, hogy melyik motor, melyik vezérlésének a meghibásodása. Létrejöttek az első SCARA robotok is. Tovább gondolták a kinematikai működést és fejlesztésbe kezdődtek az első párhuzamos működtetésű robotok. Ezen gépek képesek lettek rendkívül gyors és precíz mozgásra, amivel meggyorsult a gyártósorokon való alkatrészek pontos áthelyezése, úgymond pick-and-place működés. Az első delta robotot ipari felhasználása egy édességgyárban volt, ahol pereceket kellett behelyeznie a tálcákba.



3. ábra Első delta robotok felhasználása "pick-and-place" módszerű

Egészen napjainkig az ipari robotok fejlődése folyamatos, egyre nagyobb teherbírású rendszerek jönnek létre. Egy modern nagykapacitású gyár elképzelhetetlen lenne együtt működő robotok nélkül, ahol egy munka feladatot is akár több robot végez. Létrejöttek a kollaboratív robotok, amik képesek az emberrel egy munkatérben dolgozni, anélkül, hogy veszélyeztetnék az emberi munkát.

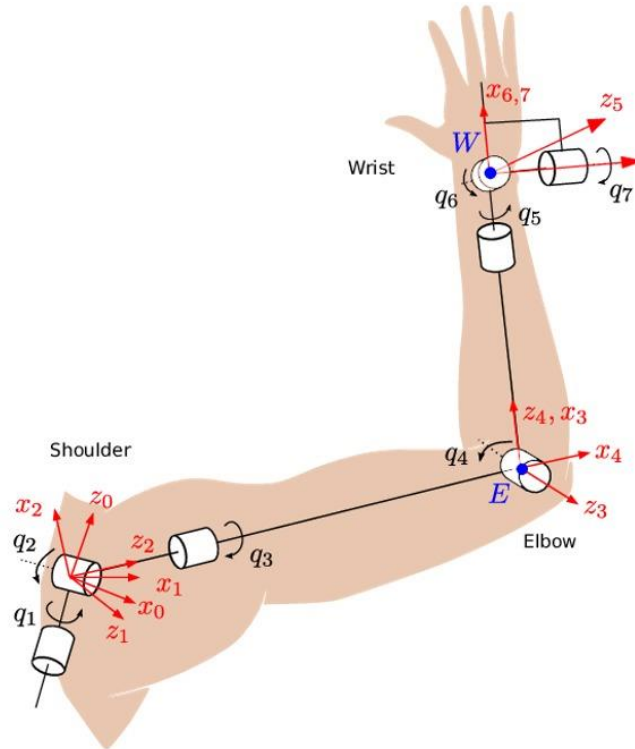
2.2 Az ipari robotok csoportosítása

A Japán Ipari Szabvány szerint az ipari robot: *„egy automatikusan vezérelt, újraprogramozható, többcélú manipulátor, melynek három vagy annál több programozható tengelye van és vagy rögzített helyű vagy motoros funkciókkal, ipari automatizációs célokra használt”*. [3]

2.2.1 Leírásuk alapelvek szerint

A definícióból megállapítható, hogy egyértelműen egy olyan robotról beszélünk, ami magas szintű vezérlése miatt, szabadon újra programozható, több feladatra is alkalmas, felhasználható eszköz, ami legalább három egyénileg irányítható meghajtott tengellyel rendelkezik, ezt egy adott pozícionált helyen teszi és ipari autómataizációra használt.

Leszögezném, hogy az ember a robotok több fajtáját, illetve munkájának fontosságát, ellátását saját magáról formázta. Ezért fontos tisztázni a szabadsági fok fogalmát. Az angol szakirodalom Degree of Freedom (D.O.F.) ként használja.



4. ábra Az emberi kar, szabadsági fokainak ábrázolása

Az emberi váll 3 szabadsági fokkal rendelkezik, a könyök 1-el és a csukló is 3-al. Nem törvényszerű, hogy az adott forgási képesség nagy mértékű legyen, csak, hogy képes legyen elmozdulni az adott irányba. A robot tagjai lehetnek haladó kényszerűségűek (transzlációs) vagy forgó kényszerűségűek (rotációs). Az olyan robotokat, amelyek képesek leképezni az emberi kar mozgását humanoid robotoknak nevezzük.

Az adott rögzített test, esetünkben robot, szabadsági foka maximum 6 lehet. Ezt lehet növelni azzal, ha maga a robot test képes elmozdulni egy másik pályán vagy pályákon, viszont maga a robot a saját munkakörnyezetében 6 szabadsági fokot tud elérni maximum.

2.2.2 Munkatéri leírás

A robot test rögzített, kiindulópontját bázisnak hívjuk. Mozgásuk leképezését az effektorhoz lehet viszonyítani, ami a munkavégzést teljesítő egység. A munkateret pedig az effektor által bejárható hasznos területnek tekintjük. Minden robot rendelkezik holtterrel, amit munkavégzésre nem tud használni vagy nem tud elérni, viszont egyes esetekben eltudja érni és ezzel kárt tud tenni magában. Az effektorok fizikai kiterjedése a holtteret nagyban növeli.

Ezek alapján négy féle képpen lehet csoportosítani:

- Hasáb munkatérű
- Henger koordinátás
- Gömb koordinátás
- Humanoid

A hasáb munkatérű robot három translációs tengellyel rendelkezik, amivel egy pontosan bejárható Descartes koordináta rendszerben képes mozgásokat végezni, ilyen robotok a bizonyos CNC megmunkáló gépek, portál gépek.

A henger koordinátás robot két translációs és egy rotációs tengelyből épül fel, amivel képes egy adott üreges hengeres térben a tér adott pontjait elérni. A SCARA robotok is ilyen munka térben dolgoznak, de jellemzően több csukóval rendelkeznek, a gyorsabb működés végett.

A gömb koordinátás robotok a teret egy üreges térben képesek elérni egy translációs és két rotációs tengely mozgással. Nem túl elterjedt a túlzott limitáltság miatt.

A gömbmunkatérű robot, mely egy teljes gömb munkatér bármely pontját képes elérni legalább három rotációs tengellyel rendelkezik. Ezt nevezzük humanoid robotnak, hiszen csak, mint az emberi kéz is képes a "munkatérében" elérni bármelyik pontot. Széles körű felhasználás jellemző a humanoid robotokra. Az effektor felszereltsége alapján lehet pakoló, anyagmozgató, de nagyrészt ezt a robotot szerelik fel aktív effektorokkal, mint például hegesztő, ponthegesztő adapterek, szerelési adapterek, illetve különböző megmunkálásokra alkalmas egységekkel.

2.2.3 Soros és párhuzamos robotok leírása

Az ipari robotok fizikai felépítésük szerint, ami a mozgás kiterjedésre alapvető befolyással van, két csoportot különböztetünk meg. Soros, illetve párhuzamos működtetésű, felépítésű robotok.

A soros felépítésű robotok a bázisról kiindulva, attól függ milyen kivitelezésű vagy csuklóval, vagy karral kezdődően, de ezek váltakozásával felépített robot. Azaz egy csukló egység után egy kar egység jön és ezek váltakozva építik fel a robotot egészen az effektorig. Megjegyezném, hogy bármennyi kar- csukló felépítés kivitelezhető, a feladat bonyolultságát tekintve, viszont a szabadsági fok nem fogja elérni a hatnál többet.

A párhuzamos működtetésű robotok, mozgató transzlációs mechanizmusai egy síkban vannak elhelyezve. Legegyszerűbb esetben egy csukló-kar-csukló felépítés van, amivel az utolsó csukló már az effektor mozgását manipulálja. Ez tovább bővíthető további kar-csukló kombinációkkal, viszont az effektor folyamatosan párhuzamos marad a bázissal ezen esetben. Nagyrészt az ipari felhasználásban az utóbbi módszert használják, viszont a stabilizálási feladatokra, az első esetben bemutatott párhuzamos robotok kiválóan felhasználhatóak.

2.2.4 Mozgás programozás

Az ipari robotok fejlődésük során több mozgás rendszer is kifejlesztésre került, amivel ellehetett éni, hogy a tér bármely pontját az adott feladathoz megfelelően lehessen megközelíteni.

Kezdetleg a pont- pont közti, angolul point-to-point, mozgás volt. Így elmentett motor állásokhoz lehet koordinátákat viszonyítani. Könnyen leképezhető a Descartes-i koordináta rendszer. Több szabadságfokkal rendelkező berendezések is képesek voltak rá, ám a plusz mozgás képesség miatt, a pont-pont közti mozgás kibővíthető lett.

Matematikai leírásokkal leképezhető a pontok közti pálya, angolul continous path, ami egy folyamatos mozgást képez, ezzel kisimítva azt. Bonyolult, függvény alapú mozgások is megvalósíthatók. Ez meggyorsítja a programozást és befolyásolja a pontosságot.

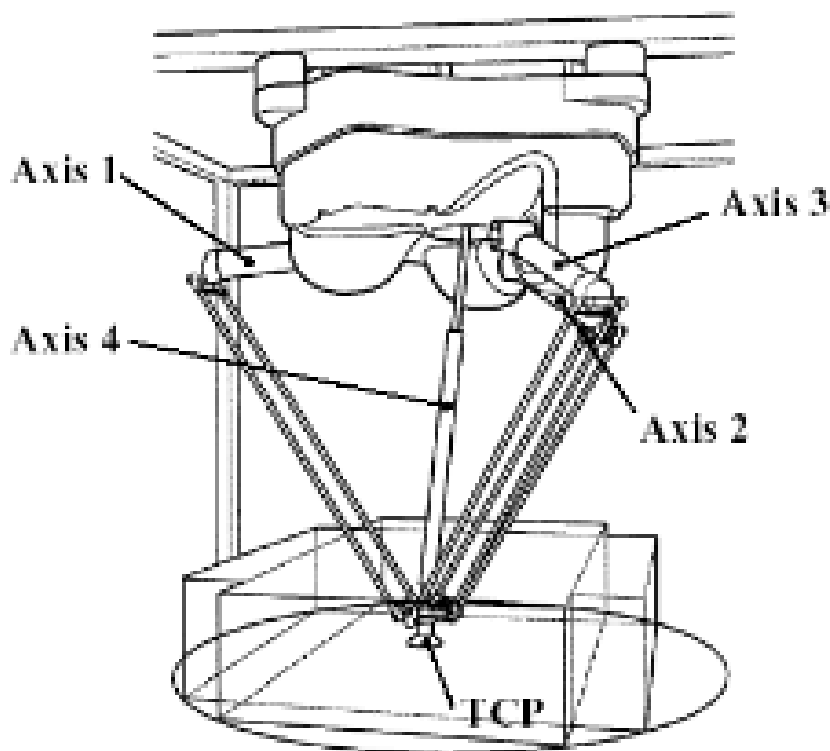
Többféle robot koordináta rendszerek léteznek. A BASE a robot alapjának középpontjához viszonyítva végzi a kinematikai számításokat. A WORLD koordináta rendszer a BASE rendszer hasonlóan működik, ám a törzs elmozdulása után a számítások egy rögzített koordináta rendszerben folytatódnak, tehát egy tengely irányú mozgás egyetlen motor

elfordítása után is egy adott irányban fog történni. USER koordináta rendszer egy felhasználó által kiválasztott pont vagy szerszámhoz viszonyított ponttól való koordinálást engedélyez. OBJECT rendszerrel maga a tárgy rendelkezhet koordináta rendszerrel, amivel a robot képes a tárgyhoz viszonyítani további mozgását. Ez több tárgy megmunkálása esetén lehet hasznos. GOAL rendszer a koordináta eltárolásos célpont megközelítéses rendszer. A TOOL koordináta rendszer pedig az effektorra szerelt szerszámnak felvett adott pontjához viszonyít, Tool Center Point, szerszám középpontos koordináta rendszer.

Ezen sok fajta irányítási rendszer lehetőséget ad a robotok programozásnak meggyorsítására, illetve az adott munkában elvárt bonyolult mozgások megtanítására.

2.3 A delta robotok bemutatása

A delta robotok felépítésükből tekinthetően párhuzamos robotok. Három csukló 120° van elhelyezve egymástól a bázison. Mivel automata működésűek, így ezen 0. csukló pont helyét motorok helyettesítik, mint mozgásért felelős egységek. A motorok tengelyéhez csatlakoztatott karok továbbítják a mozgást egy kar-csukló-kar-csukló párosítással az effektorhoz. Ez a kialakítás egy három transzlációs mozgást végző robothoz vezet. Bármelyik aktuátor mozgásával, az effektor párhuzamos marad a bázissal. Ezen kialakítás rendkívül merev és motor forgás felbontástól függően rendkívül pontos. További előnye, hogy kis motor forgással tud dolgozni, amitől a munkatérét rendkívül gyorsan betudja járni. Hátránya, hogy fizikai kialakítás miatt nem rendelkezik olyan nagy munkatérrel, mint egy humanoid robot. Felhasználása nagyrészt pick-and-place területen elterjedt, mivel jellemzően hajtómű nélkül rendelkeznek, nincs semmilyen kenő anyag szivárgás, ezért elterjedten használják gyógyszeriparban és az orvosi iparban.



5. ábra Négytengelyes delta robot [4]

A három tengellyel ellátott delta robot csak a Descartes-i koordináta rendszert képes leképezni. Mozgásával képes elérni a munkatere bármely pontját X, Y, Z koordinátákban. Az adott pozíció a motorok állásából számítható. A tér matematikai leképezését inverz és direkt kinematikával oldható meg, amik számításához, fontos a robot fizikai egységeinek paraméterük.

A modern iparban elterjedt a több tengelyes robotok kivitele. A 2.5-ös ábrán egy négy tengelyes delta robot látható, aminek negyedik tengelye az effektorra szerelt adapter befolyásolható, vagy még egy tengellyel az effektor tovább forgatható, így növelve a szabadsági fokok számát. Akár hat tengelyes is kivitelezhető, ami már bonyolult pakolási módszerek is megvalósíthatók.

3 Specifikáció

Az egyetemen rendelkezésre álló delta roboton tudtam a munkámat elvégezni. Korábbi félévekben több hallgató is dolgozott ezen a projekten, több felhasználás is megvalósult. Amikor becsatlakoztam a projekthez a robot képes volt egy sakk játszmát lefolytatni ember ellen. A robot munkaterének alapzatára egy sakktábla játéktér van helyezve. A delta robot effektorjára pedig egy elektromágnes van helyezve, amivel a fém lapos sakkbábúkat képes egyik helyről a másikra elmozgatni. A sakkállás feltérképezésért felelős egység egy a vázra szerelt kamera, amely a munkateret jól belátja és ez alapján a vezérlő egységhez képfeldolgozásra alkalmas képet továbbít, amiből megállapítható a pálya jelenlegi állása és kiértékelhető. A tábla adott pontjai motorállás szögeiként eltárolva voltak rögzítve, így az effektor a kívánt pontba mozgatható.

A feladatom ezen robot működésének stabilizálása, adott egységeinek biztosítása és tovább fejlesztése lett. Ez által egy olyan rendszert biztosítani, ami hardveresen biztosan működik, nem alkot mérési hibákat és külső zajra sem érzékeny. A vezérlő egységhez csatlakoztatható kamera, működésének biztosítása. Valamint szoftveres szinten a motorok irányításának létrehozása, amivel a robot szabadon felhasználhatóvá válik bármilyen célra. Ezen feladatok elvégezte után pedig, a meglévő képfeldolgozást és sakk programot felhasználni a kialakított motorvezérléssel.

Kezdetekben az volt a cél, hogy egy olyan rendszert csináljunk, aminek egységei egy biztos fizikai környezetben vannak jelen, a működésben ne lépjen fel semmilyen olyan hiba, ami a robot folyamatos működését gátolja. Ilyen probléma volt az akkori vezérlő egység fixálása, NYÁK-ra helyezése. Viszont ezen probléma megoldása további gondokra világított rá, így szükséges lett új eszközök, beépítése, mérési hibák megszüntetése, bizonyos berendezések egyszerűsítése. A robot bizonyos elemeiben újjáépítésre került, ami a fizikai problémák megoldását eredményezte. A dolgozat további pontjaiban ezeket részletezem.

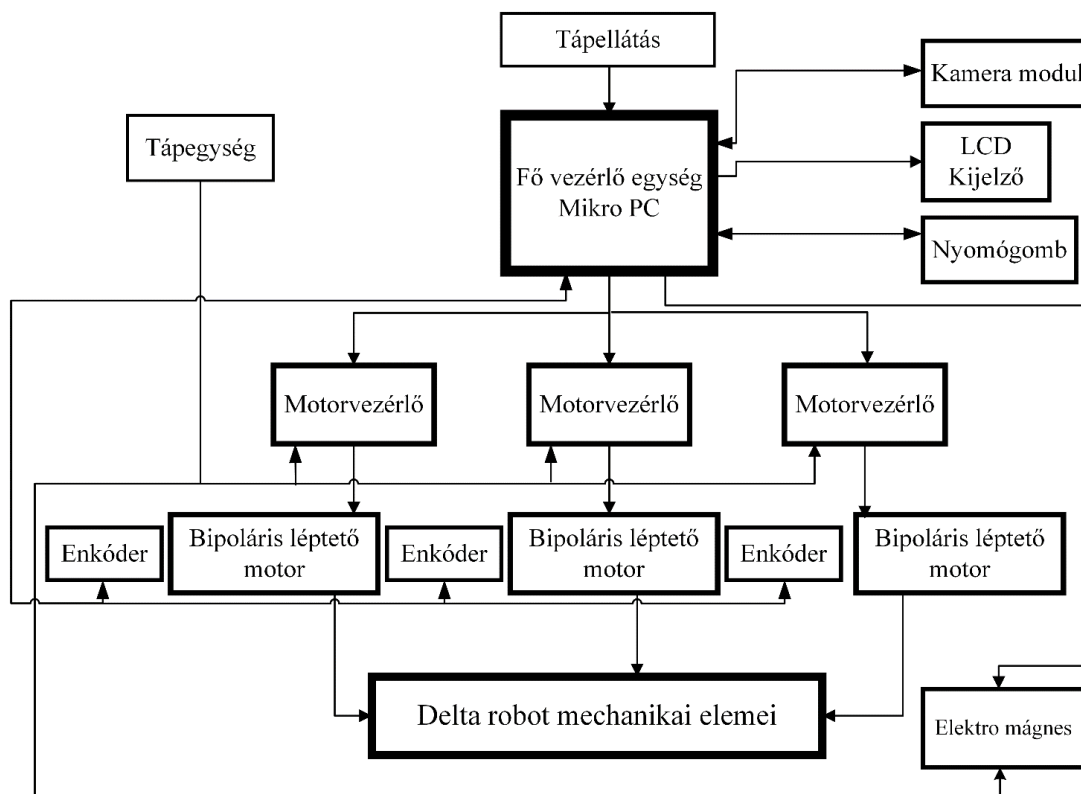
A fizikai átalakítás azzal is járt, hogy szoftveres szinten is bizonyos blokkok újra lettek definiálva, egyszerűsítve.

A munkám végeredményeként a delta robot újból képes lett ember ellen sakk játszmát lefolytatni.

A munkához rendelkezésre állt minden egység, ami az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar tulajdonában van.

4 Logikai rendszerterv

A logikai rendszertervet a vezérlő egységből kiindulva mutatom be, majd a hozzá csatlakoztatott egységeket. A rendszer irányításáért egy kis méretű számítógép felel, ami képes kommunikálni a külvilággal. A PC felelős a szenzorokkal tartott kapcsolat fenntartásához, azokról kapott adatok feldolgozásáért, valamint a kiszámított mozgás leképezések irányításához, a motorvezérlőkön keresztül.



6. ábra Logikai rendszerterv

A számítógép folyamatos kapcsolatot képes tartani az eszközökkel, illetve azoknak vezérlő jelek küldésére képes. A számítási kapacitása megfelelő a feladat ellátására.

Három motorvezérlő irányítása párhuzamosítva történik, a motorvezérlő modulokról visszacsatolás nem történik, csak a számítógép által kiadott jelekre reagál. Mindegyik motorvezérlő a hozzá rendelt elektromotorral van összekapcsolva. A mozgás pontos kivitelében van fontos szerepük, az elektromotor lépésének nagyságának kiválasztásával.

Az elektromotorok bipoláris léptetőmotorok. Feladatuk a mozgás biztosítása. Pontos tulajdonságaikat a fizikai rendszertervben részletezem.

A motorok mindegyike egy-egy mágneses enkóderrel van ellátva, ami szintúgy párhuzamos bekötéssel van csatlakoztatva a vezérlő egységhez. Szoftveresen folyamatosan mérhető velük a mágneses tér elfordulása, ami egy matematikai számítást elvégezve fok mértékegységben használható.

Az effektoron található egy elektromágnes, ami egy relén keresztül lehet be és kikapcsolni. A vezérlőegység egyik kimenetét használva lehet vezérelni.

A robot fizikai vázára egy kamera van szerelve, ami a vezérlő egységhez van csatlakoztatva. Egy belső kommunikáció van kiépítve a kamera és vezérlő egység között, amely képes az adott képet továbbítani, majd ezt feldolgozni, szoftveresen kiértékelhető, képfeldolgozás céljára használható.

Egy LCD kijelzővel tartja a robot a kapcsolatot a felhasználóval. A vezérlő egységhez csatlakoztatva lehet felhasználni. Felhasználásában tájékoztatja a játékost a játék állásáról.

A kijelző alatt egy nyomógomb található, amivel a felhasználó jelet adhat a robot számára. Ezzel indítható, valamint léptethető a sakkjáték.

5 Fizikai rendszerterv

A robot fizikai felépítése egy BOSCH profilokból felépített vázra épült. A munkatér alapja, illetve a robot bázisa is egy alumínium lapra van rögzítve, ami a vázhoz van szerelve. A felső lapra van szerelve a három léptető motor 120°-os eltolással egymástól. A motorokra vannak szerelve a 15cm hosszú aktuátor karok, felkarok. Ezen karok végére egy csukló tengely van szerelve, ami a 33cm-es passzív alkarokhoz csatlakozik és ezen karok végeihez is egy csukló tartozik, amivel az effektor működtethető. A robot egy 24cm x 24cm x 24cm-es munkatérrel rendelkezik. A karok felépítése nem teljesen optimális a robot felhasználásra, hiszen a csuklók túlságosan kotyognak, illetve az effektor is túlnehéz a munkájához képest, viszont mivel ez nem egy ipari robot, hanem egy tanulásra és játékokra épített eszköz, így megfelelőek ezek a fizikai tulajdonságok is.

A robot működtetéséhez két tápfeszültség szükséges. Egy Mean Well SP-200-12 típusú tápegység szolgáltatja a motorvezérlők, és az elektromágnes 12 V-os ellátását. [5] Egy 5V-os tápegység pedig a vezérlőegység ellátásért felel, erre egy normál fali adapteres egységet használtunk.

A mozgást szolgáltató egységek a három darab bipoláris léptetőmotor, 57HS76-2804A típusúak. 3V-os feszültséggel működnek, amit a motorvezérlő egységek biztosítanak. Alapvető tulajdonságuk két fázisú, 2,8A-es fázisáramú, 1,8°-os lépés szöggel, 1,9 Nm-es forgatónyomatékkal rendelkező motorok. Darabja 1kg tömegű. [6]

A motorok vezérlését a DM556D típusú motorvezérlő egység végzi. Ez a vezérlő megfelelő az általunk használt 4 vezetékes bekötésű motorokhoz. DIP (standard dual in-line package) csatlakozókkal kiválasztható az áram dinamikus kimeneti értéke, az állóhelyzeti áram felezés, illetve a mikrostopping felbontásának beállítása.

A robot vezérlő egységeként egy Raspberry 4 Model B típusú mikro PC felel. A felhasználás során számunkra releváns adatai. [7]

- Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz processzor
- 8GB LPDDR4 Memória
- 2 × USB 3.0 ports, 2 × USB 2.0 ports. A számítógépes perifériák csatlakoztatásához.
- Standard 40-pin GPIO header. A robot eszközeinek csatlakoztatásához.
- 2 × micro HDMI ports. Monitor csatlakoztatásához.

- 2-lane MIPI CSI camera port. A kamera csatlakoztatásához.

Ez a fejlett mikroprocesszorral szerelt board saját operációs rendszerrel rendelkezik, ami egyszerűvé teszi a programozást, direkt elérést biztosít a GPIO-k felhasználásához. Megfelelő számítási kapacitással rendelkezik. A motorvezérlés ugyan nem igényel nagyon sok számítást, viszont a képfeldolgozás és a sakk program számításai már jóval bonyolultabbak és több erőforrást emésztnek fel, viszont ez még mindig nem terheli túl a rendszert. Későbbiekben vezérlő egységként hivatkozok ezen eszközre.

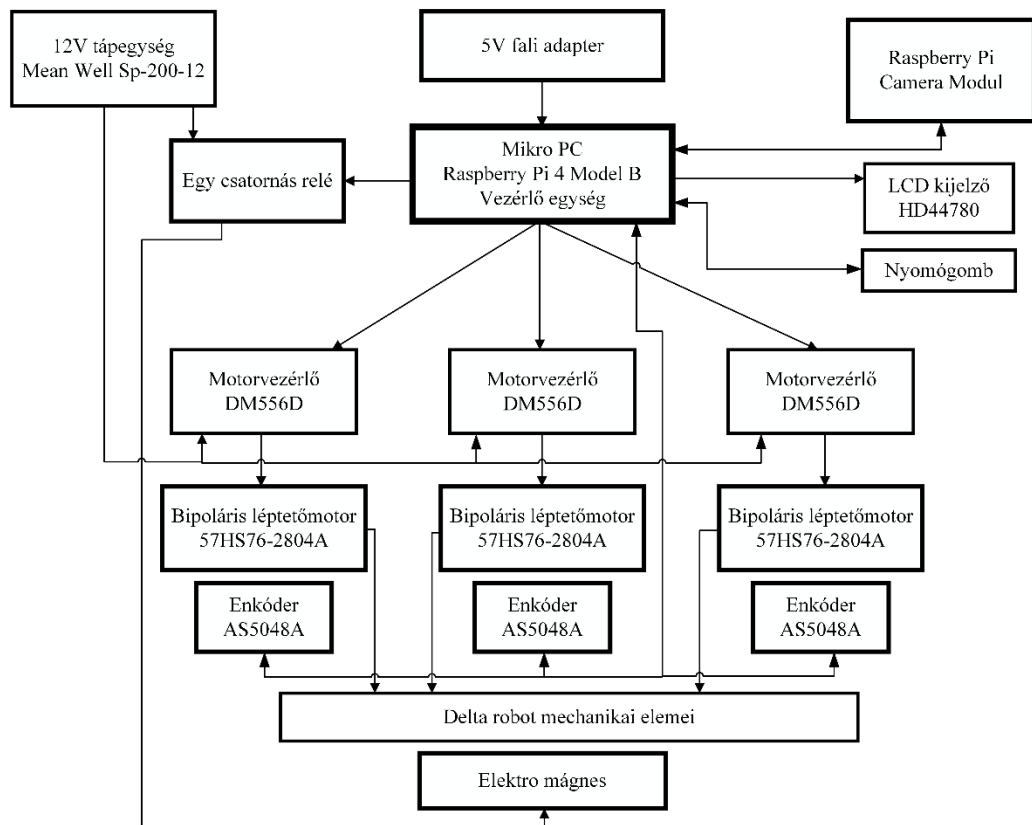
A léptető motorok állásáról az AS5048A típusú enkóderek adnak információt. Ezek az eszközök a mágneses tér elfordulását érzékelik (Magnetic Rotary Encoder). Az érzékelt mágnes a motorok tengelyére van rögzítve, képes érzékelni az elfordulást 360°-ban, 14 bites SPI kommunikáción keresztül. A külső mágneses tér zavarára érzéketlen, illetve a kommunikációs vezetékek árnyékolása se szükséges.

Az elektromágnes típusáról nincs adatom, viszont egyszerű működésű, az induktivitás elektromos teret teremt és egy vasmag ezt felerősíti. 12 V- os feszültségen üzemel, aminek be- ki kapcsolásához egy, egy csatornás relé modult használtam. A feszültségforrás pozitív pontját a relé NO (Normaly Open) pontjára lett kötve, majd a relé kimenete továbbítódig az elektromágnes felé. A relé működése számára 5V- os tápfeszültség szükséges, amit a vezérlőegységből kapott, illetve egy GPIO-n keresztül vezérelve lett.

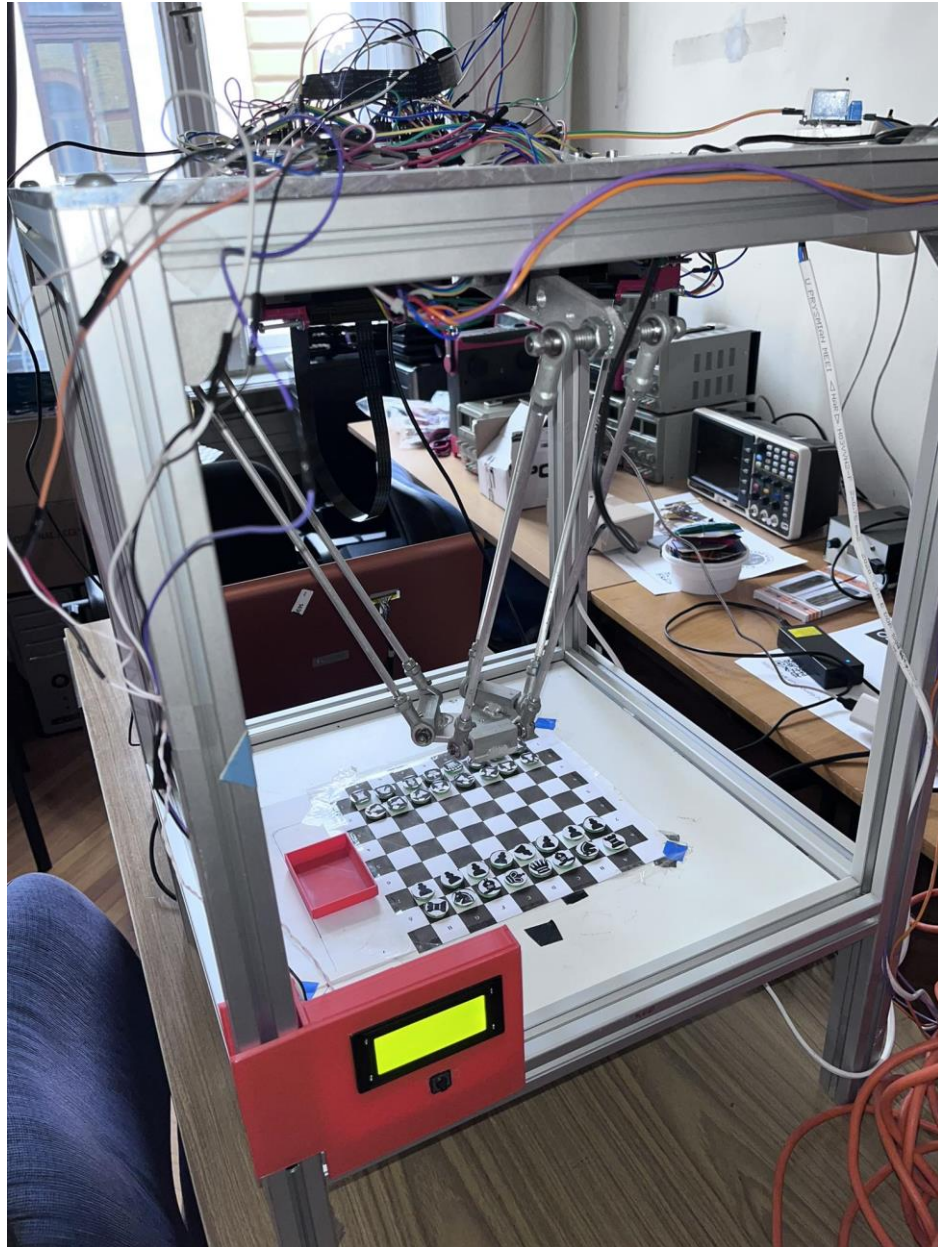
Egy Raspberry Pi Camera Modul van hozzá csatlakoztatva a vezérlő egységhez. 8 Megapixeles felbontású, Sony IMX219 sensorral rendelkezik, ami 3280 × 2464 pixel felbontású. [8] Mivel ez egy gyári eszköze a Raspberry-nek, ezért rendkívül jól használható és illeszthető a vezérlő egységhez.

A játékos számára visszajelzést ad a HD44780 LCD kijelző. Ez a kijelző 16 pin-nel rendelkezik, a Raspberry Pi-on viszont használatban van pinek nagyrésze ezért egy I2C (Inter-Integrated Circuit) átalakító van ráhelyezve, amivel csak 4 vezeték felhasználásával lett a kijelző beépítve. Ezt a kijelzőt és adaptert a robot korábbi felhasználásból lett beépítve, így könnyen feltudtuk használni a mi kivitelezésünkben is.

A nyomógomb pedig az LCD kijelző tartójában van rögzítve, egy egyszerű inputként használva. Feladata jel bevitel a külvilág álltal. A sakkjáték elindításához és lépések indításához használva.



7. ábra Fizikai rendszerterv



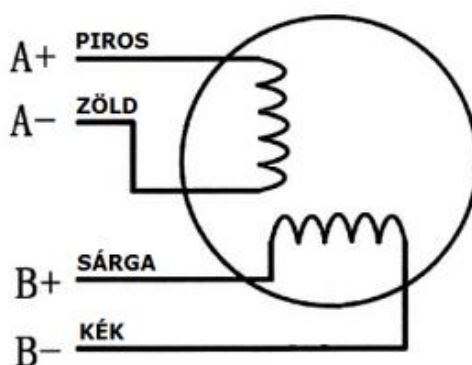
8. ábra A delta robot

6 Motorvezérlő modulok leírása

6.1 Léptető motorok

A robot mozgatásáért fő szerepet játszó bipoláris léptetőmotorok (Angolul: Bipolar Stepper Motor) a bázisra vannak szerelve 120° os eltolással.

Léptető motornak nevezzük, egy kefe nélküli, DC motor, amely diszkrét léptékekben tud forogni, az álló rész tekercseiben az áram értékeinek változására bekövetkező mágneses tér hatására. Bipoláris léptetőmotornak pedig azt a motort nevezzük, amely fázisonként egy tekercseléssel rendelkezik, 0 pont nélkül. Ahhoz, hogy a mágneses tér polaritása megforduljon az egész tekercselésben meg kell fordítani az áram irányát. Általában négy vezetékes kivitelezésben vannak jelen. A két tekercselésnek a két végeiként. [9]



9. ábra A robotba beépített bipoláris léptetőmotor vezetékének jelölése.

Ezen motorok használhatók teljes lépés, féllépés és mikrostepping üzemmódban. Alap lépésként 1.8°-ot képes lépni, ez a motor forgórészén kialakított fogaktól függ. Az adott forgáshoz létrejött mágneses tér mindig a legközelebbi fogat mozgatja a pólushoz, így a pólus és a fog egy vonalba állnak be. Teljes lépés módban mindkét tekercs egy időben van áram alá helyezve, így elérhető a motor maximum nyomatéka. Féllépés módban a szögek csak feleződnek, így a féllépésekor egyszerre egy tekercs aktiválódik, kivéve a közbeeső szögeket, mert akkor mind két tekercs áram alá helyeződik. A lépés szög csökkentését, a vezérlő által lehet elérni, ekkor a két fázis tekercseiben változó áram szintek lépnek fel, így a teljes és féllépések közé eső lépés generálható. Ezt nevezzük mikrosteppingnek. Nagy pontosság és a forgás finomsága érhető el, viszont a motor nyomatékának csökkenésével jár.

A bipoláris léptetőmotor előnye, hogy több nyomatékra képes, mint egy unipoláris léptetőmotor, amely fázisonként, két tekercseléssel rendelkezik. Hátránya, hogy egy bonyolultabb vezérlés szükséges hozzá, ami szerencsénkre rendelkezésre állt a robotnál.

6.2 Léptetőmotor vezérlő

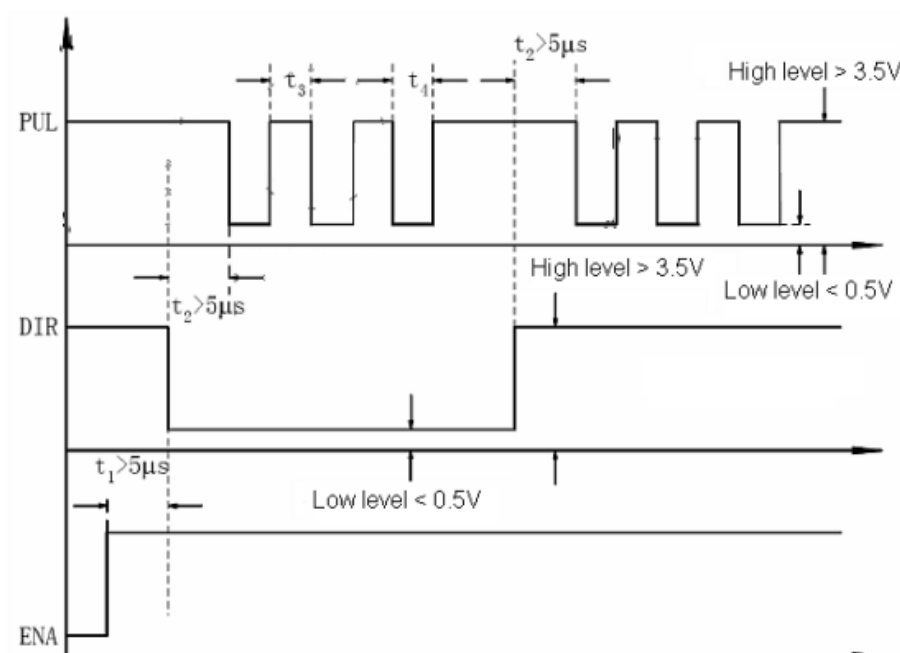
A motorvezérlő felel a léptető motor működtetéséért, léptetéséért. Biztosítani kell a stabil tápfeszültséget és a megfelelő áramerősséget. Mindegyik motor külön motorvezérlő egységgel rendelkezik.

Kettő csatlakoztatással rendelkezik egyik a “Power” másik pedig a “Signal” csatlakozás.

A Power csatlakozásnál kell ellátni DC tápfeszültséggel, földeléssel, illetve a léptető motorok fázisait is ide kell kötni. Az “A” és “B” fázist is polaritás helyesen kell bekötni, ellentétes bekötéssel, a kívánt kiadott jellel ellentétesen fog forogni a motor.

A Signal csatlakozó felületen pedig a motorvezérlő egység irányítására szolgáló jelek bemenetei találhatók, amik a Raspberry Pi- től kapják a jelet. Három jel kiadása szükséges, engedélyező jel (ENA: Enable), amely alacsony szinten engedélyezi a meghajtót. Rendszerint nincs bekötve, így áram alá helyezve mindig engedélyezve van. Ez a robot felhasználásánál fontos, hiszen mindhárom motornak, mindig működnie kell. Az irány kiválasztásához is van egy csatlakozás (DIR: Direction). Magas értékkel rendelkezve az óramutató járásával ellentétes (CCW) irányba történik a forgás. Alacsony értékkel pedig az óramutató járásával megegyezőleg (CW). Az irányt kiválasztó jelnek $5\mu\text{s}$ -mal kell megelőznie az impulzus jelet (PUL: Pulse). Felmenő élre, tehát a 0-1 átmenetre történik meg az impulzus válasz, amitől a motor adott léptetése megtörténik. Alap esetben egy irányba egyszerre többet akarunk léptetni, ezért az impulzus jel szélességének legalább $2,9\mu\text{s}$ -nak kell lennie, mire egy újabb 0-1 átmenet történik. Ennek elmaradása esetén a motorvezérlésben nem biztos, hogy létrejön a lépést kiváltó vezérlés és a lépés nem biztos, hogy bekövetkezik. Közös anódú nyitott kollektoros csatlakoztatást használtuk. Az impulzus, irány és engedélyezés jelek pozitív pontja direkt van összekötve a vezérlőegységgel. Ezen pontok negatív pontja pedig egy közös földpontra vannak kötve. Áramkorlátozáshoz nem kellett plusz ellenállást bekötni, mert 5V-os jelszintekkel dolgoztunk. [10]

A DIP kapcsolókkal 1600 pulzus/fordulatot állítottunk be, amivel 0,225 fokos lépési elfordulást értünk el a motoron egy impulzus hatására.



10. ábra Vezérlőjel hullámformája és időzítése.

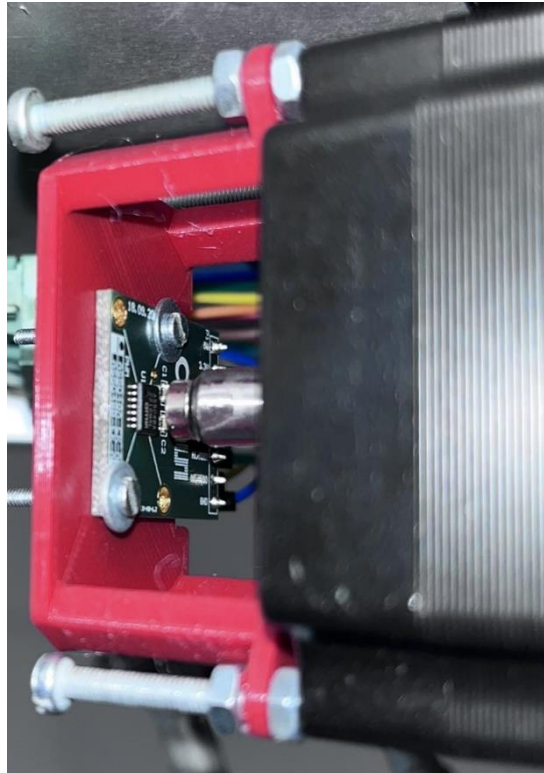
6.3 Elektromágneses enkóder

A léptetőmotorok pontos léptetése alapvetően az egyik legfontosabb dolog a robotok kialakításában. Viszont ahhoz, hogy egy robot programozható legyen, aminek alap elvárása, hogy az adott mozgást a lehető legkisebb eltéréssel tudja leképezni, valamilyen információ kell a motorok állásáról. A motorok alapvető tulajdonsága, hogy a forgó mozgást hozzanak létre, viszont a robotika fejlődésével fontos lett, hogy ez a forgás mindig a kívánt pontban kezdődjön illetve végződjön. Több érzékelő típus is létezik, amely felhasználástól függően választható meg.

Az inkrementális jeladók mindig egy alappozíciótól kezdik számolni a pontokat. Ezért mindig szükséges egy alaphelyzetbe állítás, ami egy kiinduló, "0" pontként értelmezve mindig stabil pontot ad az érzékelő beállításához. Az elfordulással mindig további értékeket képez a 0 ponthoz képest. A tápfeszültség megszűnésével, mindig alaphelyzetbe kell állítani, hiszen elveszik a leolvasás értéke, így nem képes pontos adatot adni az elfordulás állásáról. CNC gépekben, lineáris pályáknál, illetve további területeken felhasználható.

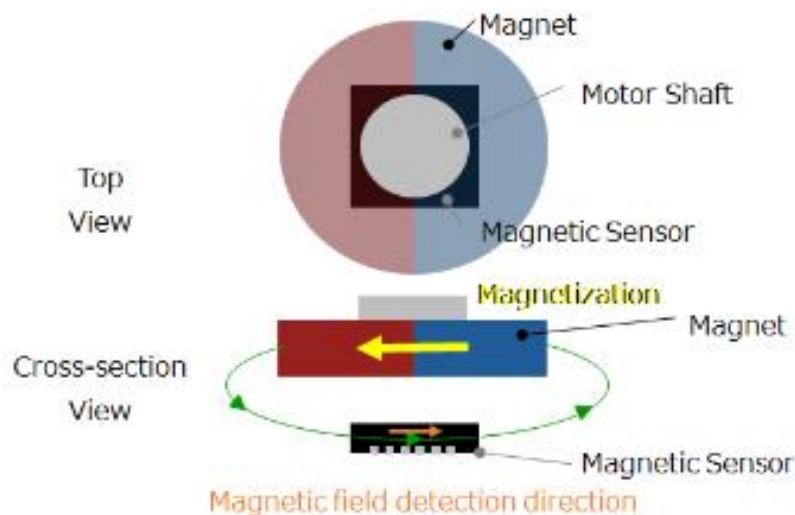
Az abszolút jeladók alappozíciótól függetlenül működnek, a tápfeszültség kikapcsolása és visszakapcsolása után, amennyiben maradt az alappozíció, ugyan azt a pontos értéket képesek visszaadni. Felhasználásuk ezért a robotikában rendkívül elterjedt, illetve olyan alkalmazásoknál, ahol ez az előny kihasználható.

Mindkét mérés kialakításból létezik optikai, illetve mágneses enkóder. Az optikai enkóderekkel lehetséges nagyobb felbontás elérni, viszont érzékenyek a fényviszonyokra, porra, ezért zárt környezetben kell alkalmazni. A mágneses jeladók alacsonyabb felbontásra képesek, de a nehéz ipari körülményeket jobban viselik, valamint olcsóbbak az optikainál.



11. ábra AS5048A encoder az elektromotor tengely elfordulás mérésére

A projektbe csatlakozásomkor is az AS5048A típusú elektromágneses enkóder volt felszerelve. Viszont működése közben nem mindig adott pontos értékeket, gyakran egyhelyben is ingadozó értékeket generált, illetve olyan szögértéket mutatott, ami teljesen eltért, ugrás szerűen változott. Ez által gyakran hibás volt a mérési eredmény, ennek köszönhetően ekkor a robot hibás mozgásokat tett. Erre a hibára akkor derült fény, amikor az akkori motorvezérlő egység fejlesztésre került és újra kellett vezetkezni az enkódereket. Új eszközökre lett beruházva az egyetemnek köszönhetően, amik egy jobb NYÁK-ra vannak szerelve és megfelelő kivezetésekkel rendelkeznek. Egy 3D nyomtatott állványra vannak szerelve a motorok hátulján, az elmozdulást kimutató mágnes pedig a forgó tengelyekre van ragasztva.



12. ábra Enkóder mágneses tér érzékelése

A robotba beépített mágneses enkóder a 12-es ábra szerint érzékeli a mágneses teret. A motor tengelyére erősített permanens mágnes szolgáltatja az állandó mágneses teret, mutatja az ábra felső nézetből. Nagyjából 50mT értékű fluxussűrűséggel rendelkezik, ami megfelelő az érzékeléshez. A mágnesből származtatható mágneses tér a kellő távolságban az IC-n áthatolva válik érzékelhetővé, ami esetünkben 2mm. A mágneses teret három Hall szenzor érzékeli, az IC felületéhez képest X és Y irányban, valamint az egyik Hall érzékelő azért felel, hogy megállapítsa a kellő térerősséget, Z irányban. Így az érzékelt mágneses teret képes vektorokra bontani, ami egy ADC átalakítón keresztül továbbítódik SPI kommunikáción.

7 SPI Kommunikáció

7.1 A kommunikáció jellemzése

Az SPI (Serial Peripheral Interface) magyarul soros kommunikációs interfész a Motorola által kifejlesztve, ami egy rövidtávú szinkron kommunikáció. Legtöbb esetben mikrokontrolleres környezetben alkalmazva, ahol a szenzorokkal, kijelzőkkel való kommunikációra használható. [11]

Az interfész egy full duplex, egy master, multi-slave kommunikációt eredményez, ahol esetünkben a master a mikrovezérlő és slave a három elektromágneses enkóder.

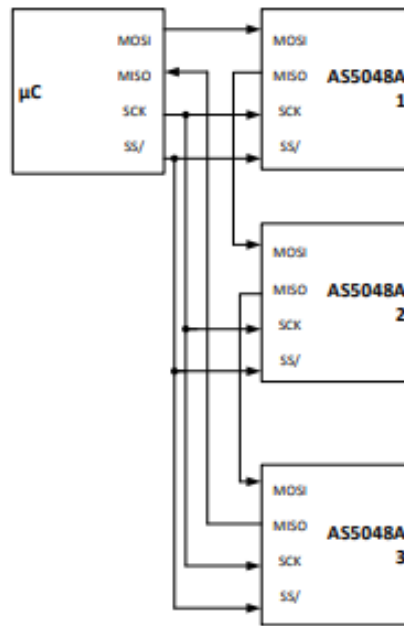
Négy vezetékes fizikai felépítéssel, amely az alábbi csatornákat használja:

- MISO – Master In Slave Out
- MOSI – Master Out Slave In
- SS – Slave Select
- SCK vagy SCLK – Serial Clock

A master eszköz adja az órajelet és a slave selecttel pedig kiválasztható, hogy melyik eszköztől várjuk az információt, vagy melyik eszköz számára küld a mikrokontroller információt.

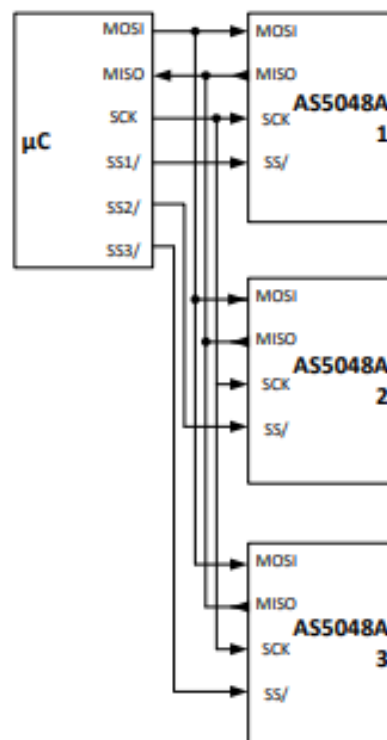
7.2 Bekötési fajták

Két féle bekötéssel használható egy az úgynevezett Daisy Chain, ahol az eszközök sorba vannak kötve egymás MOSI MISO kivezetéseivel. Így a jel az utolsó eszköz után tér vissza a mikrokontrollerbe, ahol feldolgozásra kerülhet az adat. A slave select kiválasztásával a végig futó jel csak az adott eszközön képez értéket, amely továbbításra kerül, addig a többi eszköz nem vesz részt hasznos adat képzésben.



13. ábra Négyvezetékes Daisy Chain bekötés

A másik bekötési módszer pedig a multi slave bekötés, ahol a MOSI MISO, csatornák párhuzamosítva vannak, így egy adat áramlási csatorna lép fel az össze eszköz között. Ezért addig, amíg az egyik szenzortól adat lekérdezés folyik, a többitől nem kérhetünk le adatot. Ez így egy lassabb folyamat, amellyel nem képezhető, olyan sűrű adat a motorok állásáról, mint a Daisy Chain bekötéssel. Viszont ennek a robotnak nincs is szüksége, olyan gyors visszajelzésre a karok állásáról, mert jellemzően mozgások közt végzünk mintavételezést. Ezért is választottuk ezt a bekötési módszert. Ugyan csak a slave selecttel lehet kiválasztani a kívánt érzékelőt, amit ekkor alacsony szintre kell állítani.



14. ábra Négyvezetékes Multi slave bekötés

8 Motorvezérlés szoftver

8.1 GPIO setup

A hardveres kialakítás után fő feladatomb volt a motorvezérlés program létrehozása, amivel a delta robot szabadon felhasználhatóvá válhat. Egy egyszerű pont-pont közti mozgás megvalósítása volt az elsődleges cél. Hallgató társam Kovács Gergő dolgozik mesterszakon a kinematikai leírásával.

A motorvezérlő programot az alapjaitól felépítve mutatom be, a program futásához képest fordítva magyarázva, viszont az alap összefüggések bemutatásával, aminek alap lépése a GPIO-k definiálása.

A teljes motorvezérlő program python programozási nyelven lett megírva. A Raspberry Pi rendelkezik egy python futtatására alkalmas környezettel, amivel programozni lehet. A programozás által érhető el, hogy a vezérlő egység hasznos jelet, jelszint változásokat tudjon továbbítani és fogadni. Ezt a fizikai összeköttetést megvalósítható a Raspberry Pi GPIO (general-purpose input/output) fizikai pontjain keresztül. Magyarul ezt általános felhasználású ki és bemenetnek nevezzük, adott pinként hivatkozva rá. A pinek felhasználhatóságához egy könyvtárat kell felhasználnunk programunkhoz, ami engedélyezi az adott pinek elérését. Ezután pedig az összes felhasználásra kívánt pint beállítani "setup"-olni kell, hogy felhasználhatóak legyenek.

Ezt egy egyszerű paranccsal lehet megtenni:

```
GPIO.setup(x,GPIO.OUT)
```

ahol "x" az adott számú pint jelöli, ami egy fizikai kivezetéshez van csatlakoztatva és a GPIO.OUT pedig azt jelenti, hogy kimenetre lett beállítva.

Az SPI slave select, a motorvezérlő vezérléséhez, a motorok engedélyezésnek, irány kiválasztásához és léptetéséhez, illetve a mágnes reléjének vezérléséhez szükséges pineket mind kimenetre kellett állítani. A beállítások után érdemes elvégezni az adott kimenetek megfelelő értékre való beállítását, mint például a motorok léptetésének iránya azonos a program indításakor, valamint a léptetésért felelős pinek magas szintre állítása, ami biztosítja, hogy mielőtt egy léptetés létrejön alacsony szintre keljen helyezni és kivárni a motorvezérlő számára szükséges DIR jelek feldolgozását. A vezérlőegység a GPIO pineket egy erre a feladatra felelős chippel végzi, tehát az adott feszültségértékek egyből erre a chipre kerülnek. Vigyázni, kell nem szabad működés közben szerelni és adott pineket rövidre zárni, mivel az meghibásodáshoz vezethet.

8.2 A motorok léptetése

A motorok léptetését az alábbi program részlet mutatja meg:

```
GPIO.output(19,GPIO.LOW)
time.sleep(0.005)
GPIO.output(19,GPIO.HIGH)
time.sleep(0.005)
```

A példában az 1-es motor léptetése látható. Korábban magas szinten lévő pinct 0-ra állítva 5ms-ig, majd újra magas szintre állítani. Ekkor a motorvezérlő ezt egy léptetési jelnek érzékelteti a PUL bemeneten keresztül és a megfelelő mértékű és irányú áramokat adja a tekercsekre, amiktől egy lépés történik.

Ezeket a lépések folyamatosan ismételve egy forgó mozgást kapunk. A delta robot fizikai felépítése miatt rendkívül fontos, hogy ezek a lépések ne kerüljenek bizonytalan számú, vagy végtelen ciklusba. Fejlesztés során ez viszont megtörténhet, ekkor a robot a munkaterén kívül kezd mozogni és ottani fizikai akadályokba ütközhet, így kárt tesz önmagában és a környezetében. Ezért rendkívül fontos a megfelelő, biztos vezérlő program felépítése, az ilyen esetek elkerülése végett. A nem kívánt lépés sorozat akkor is megtörténhet, amikor túl gyors mozgáskor a fizikai tömeg lendülete nagyobb a motorokban fellépő elektromágneses tér tartásánál és képes a tengely tovább fordulni. Ekkor a motorvezérlő azonos értékű áramot enged a motorokra, ami a kizökkent tengelyt tovább gerjesztve egy hibás mozgásba kerül. Ezért választottuk az 5ms-os jel kitöltési értéket, amivel a robot biztonságosan működik, a korábbi hibákat elkerülve. Bizonyos esetekben, viszont így is lépnek fel hibák, amik kiküszöbölését a későbbiekben részletezem.

8.3 Irány kiválasztása

Mielőtt bármennyit is léptetni szeretnénk a motorokat, meg kell róla győződni, hogy a léptetések a megfelelő irányba történjenek. Ezt ezen robot mozgásánál az alapján döntjük el, hogy a karoknak milyen pozícióba kell állniuk, a mágneses enkóderek által olvasott értékekhez képest. A motorok léptetéséért felelős függvény azokkal a szögértékekkel hívódik meg, amelyekre a motorok forgatása szükséges. A jelenlegi pozíció mérése után összevetésre kerül a függvény által meghívott érték és a jelenlegi szögállás. Az effektor a bázistól távolodik, ha a motorok óramutató járásával ellentétesen forognak és közelít, ha az óramutató járásával

megegyezőleg forognak. Ahogy az effektor közelít a munkatér aljához úgy nő a motorok állásáról leolvasott szögnek az értéke.

Ez alapján a motor forgásának iránya a következő képpen dől el:

```
if fok_x < d_x:
    step_x = int((d_x-fok_x)/0.221)
    GPIO.output(26,GPIO.LOW)
else:
    step_x = int((fok_x-d_x)/0.221)
    GPIO.output(26,GPIO.HIGH)
```

Az egyes számú motor irányának megválasztására a példa, ahol fok_x változó a jelenlegi motor állás szögét tartalmazza, a d_x pedig az ezen motornak a kívánt szögbe állítási értékét. Ha a jelenlegi szögérték kisebb az elvártnál állás szögéhez képest, akkor kiszámításra kerül, hogy hány lépést kell megtenni a kívánt szögbe állításhoz, tehát a kívánt értékből kivonódik a jelenlegi érték és osztódik a lépés mértékének fokával, ebből megkapjuk a lépések számát, ami később kerül felhasználásra a korábban bemutatott sorozat adott számú lefutásával. A DIR, irány pin pedig alacsony szintre kerül, ami engedélyezi az óramutató járásával ellentétes forgást. Ellenkező esetben, pedig a jelenlegi fok értékből vonódik ki a kívánt fok érték és ugyan úgy a lépés fokának mértékével képződik a lépések száma. Az irány pedig a DIR jel magasra állításával, az óramutató járásával megegyezőleg fogja engedélyezni a motor forgását. Ez a folyamat elvégződik mind a három motorral és a megfelelő irány választódik ki a megtenni kívánt lépések számával. Ez a mód azért is hasznos, mert ha a robot ugyan ott áll, ahova meghívjuk, szimplán lefut a programrész és korrigálja a lépéseket, vagy ugyan ott marad.

8.4 Motor állás mérése

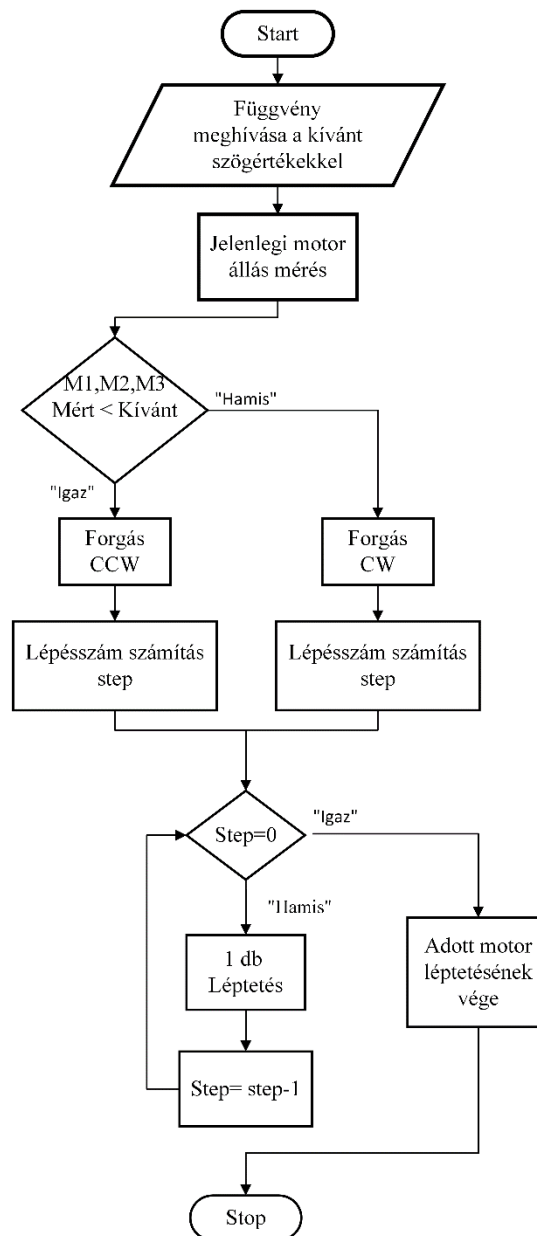
A korábban felsorolt lépések, előtt mindig a motorok állásának mérését végezzük.

A fő programban az SPI kommunikáció számára definiálva lettek a kellő értékek. Egy SPI könyvtárat importálva, hozzáférhetünk egy olyan függvényhez, ami a mastert adat továbbításra, majd adott slavet kéri adat továbbításra. Az adott enkóder olvasásához az adott enkóderhez tartozó slave select pint magas értékből alacsony értékre kell állítani, ekkor a MISO csatornán továbbítódik a 14 bitnyi adat. Ezt a 14 bitnyi adatot maszkoljuk, hiszen csak a szögértékeke bitjei fontosak számunkra. Tízszer történik szögérték olvasás és ezek átlagát kapjuk vissza, amivel egy pontosabb értéket kapunk.

8.5 Mozgás módok

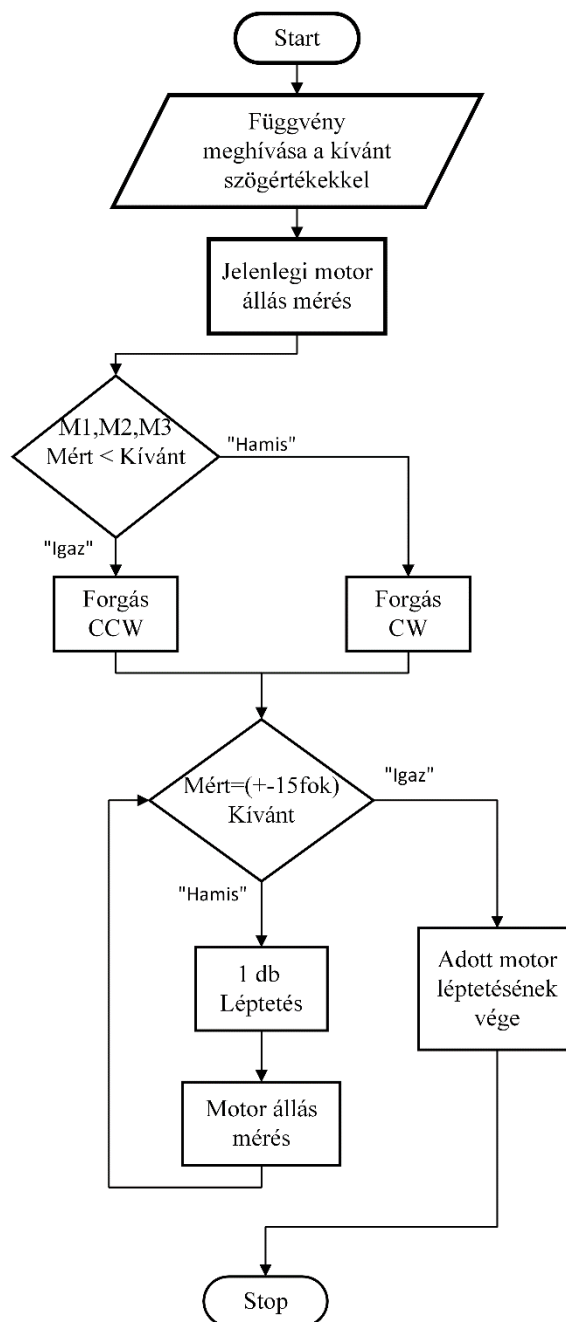
A motor vezérlés kialakítását egy alap léptetési móddal kezdtük. Meghatározott lépésszámok végrehajtásával történik. A lépésszámok meghatározása a 8.3 as pontban bemutatott módon történik. Az adott tengelyre kiszámolt lépésszám eggyel csökken amikor egy lépésciklus megtörtént. Amint az érték elérte a nullát, nem történik több lépés ezen a tengelyen és remélhetőleg a kívánt értéket vette fel az adott tengely.

Ennek a függvénynek az előnye, hogy újra meghíváskor, képes korrigálni, a nem jól megtett lépéseket. Viszont egy tárgy megközelítéséhez ez a módszer nem megfelelő, hiszen képes az effektor közelebb helyezkedni a munkatér aljához, mint a cél tárgyhoz és korrigálva a tárgy elmozdulhat a helyéről.



15. ábra Léptetés függvény folyamatábrája

A motorvezérlés fejlesztése alatt megfigyelhető lett, hogy mikor megy végbe a pontos lépés sorozat és mikor nem. Észrevehető lett, ha csak azzal a módszerrel mozgatjuk a robotot, hogy az adott szögértékről, a kívánt szögértékre adott számú léptetéssel mozgatjuk, nem lesz mindig pontos a végeredmény. Jellemzően egy tengelyen néhány lépés kimaradt és emiatt nem lettek pontosak a lépések. Több okból is adódhat, hogy forgás közben a léptető motor átugrik egy-egy lépést és ennek hatására pontatlanná válik, illetve, hogy a vezérlő egység a motorvezérlőnek nem adja ki időben a lépések megtételéhez szükséges jeleket az adott tengelyre.



16. ábra Finom léptetés folyamat ábrája

A pontos léptetés egy más elgondolás alapján végzi a léptetéseket. A motor léptetésének irányának meghatározása, ugyan azzal a módszerrel történik, viszont ekkor nem történik lépés szám számítás. A léptetés előtt vizsgálatra kerül, a motor állás jelenlegi szögértékének és a kívánt szögérték hasonlósága. ± 0.15 foknál nagyobb eltéréskor még történik léptetés, viszont, ha ezen tartományon belül van a szögérték az megfelelőnek számít. Mivel a lépés felbontás 0.225 fok ezért és az eltérési tartomány 0.30 fok ezért egy közeli léptetés mindig belefog esni a tartományba, így megfelelő ez a beállítás. Ez a módszer tökéletes pontossággal állítja be

mindig a kért értéket. Arra kell odafigyelni, hogy ezt a függvény viszont nem szabad ugyan azon helyzet korrekciójára meghívni, mert, ha tartományon túl lép egyszer nem fogja újra elérni a tartománybeli értéket és hibás mozgás keletkezik.

Egy korszerű ipari robot vezérlésében elengedhetetlen, hogy ne figyeljenek oda mechanikai alkatrészek lassításából, gyorsításából eredő tehetetlenségi nyomatéktól. Ezen robotnál ez azért is fontos, mert a mechanikai elemek nem pontos illesztése miatt minden lépéskor egy “kotyogó” mozgás jelenik meg az effektoron. Amint ez túl nagy képes tovább mozdítani a tengelyt és hibás mozgást eredményezve. Továbbá ez akkor is megtörténhet, ha a mozgás egyből megáll folyamatos sebességnél, ekkor a robot karjainak szerkezetét ugyan az a mágneses térnek kell megállítani, ami egy normál léptetésnél is jelen van. Ez nem elég nagy, hiszen a motorok nyomatéka mikrostopping módban jóval csökkentve van. Ezért mi is létrehoztunk, egy egyszerű lassításos és gyorsításos mozgás programot, amivel a mozgás kezdetén és végén próbáljuk finomítani a mozgást. Ezt azzal befolyásolva, hogy a PUL jel kiadása után a jelet több ideig tartva magasabb szinten egy hosszabb ciklusidejű léptetést kapunk. Ezt ciklusonként növelve vagy csökkentve tudjuk redukálni a motorokra eső fizikai tömeg mozgásából keletkező erőket.

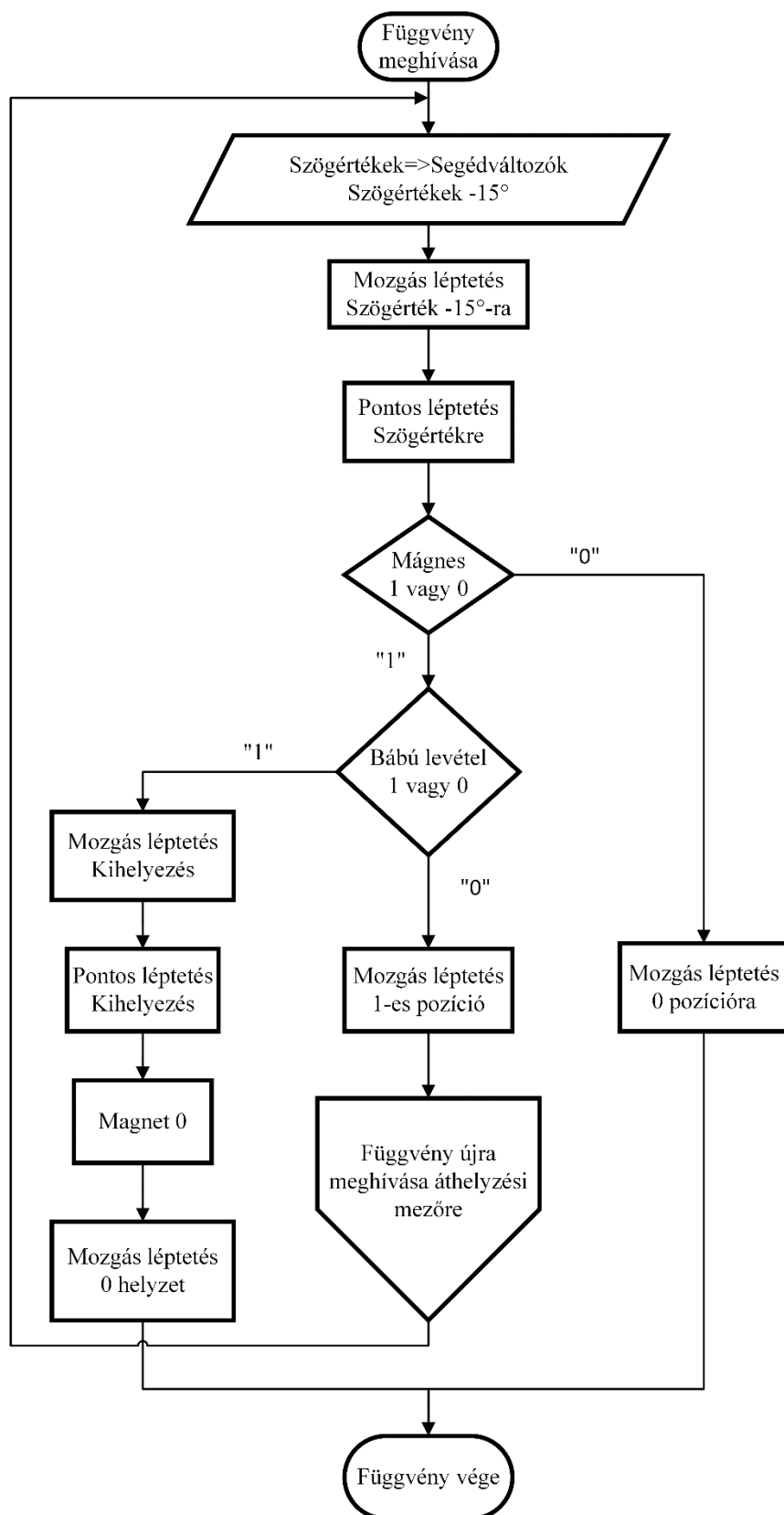
8.6 Mozgás kivitelezése

A kialakított mozgás típusokat együttesen felhasználva képziünk le egy mozgást. A sakktábla 64 mezője, 64x3 motorállás szögeiként van eltárolva. Így minden pontra el tudjuk helyezni a bábúkat. A sakkjátékhoz két alappontot is használunk. Egy 0 pontot, ahova a karok a program indulásakor helyezkednek el, ekkor a karok párhuzamosan helyezkednek el a bázissal. Illetve, amikor a játékos teheti meg lépését, mivel ezután egy fotót készít a kamera és ez által látja be megfelelően a sakktáblát.

Így a teljes léptetési program úgy megy végbe, hogy a függvény meghívódik a kívánt mező szögértékével. Ekkor ezekből a szögértékekből kivonódik 15 fok, ez által a kívánt mező felé áll be az effektor, körülbelül 5 cm-rel, az előre kiszámolt lépés számokkal. Ennek azért van jelentősége, mert a robot mozgásának tulajdonságából, csak egy tengelymozgáskor egy köríves mozgást végez, így, ha túl közel van a bábúhoz elmozdíthatja őket. Ezután a pontos mozgás végrehajtással közvetlen a bábú helyének felé áll. Majd annak függvényében, hogy a bábú felvétele vagy lerakása szükséges, a mágnes az adott helyzetbe áll. A sakkjáték folyamán, ha robot lépése miatt leüt egy bábút, azt lekell vennie a tábláról. Ezt a függvény hívásakor egy változó jelzi, amit, ha lekell venni a tábláról, kiszámolt lépés számokkal léptet egy pozícióba,

majd finom lépéssel elhagyja a sakktábla területét és elengedi a bábút, majd a megállapított lépés számmal visszaáll a 0 pozícióba, ha nem kell bábút levenni, akkor az 1-es pozícióba áll és várja a bábú elhelyezésének helyét, amit ugyan ezen mozgásokkal végez el. Ez a folyamat játszódik le egy lépés végrehajtásakor.

A mozgási függvény öt értékkel hívódik meg. Az első három érték a motorok kívánt szögértékei, amelyekre forgatni kívánjuk őket. A negyedik érték a mágnes állapotát mutatja 1-es állapotban bekapcsolásra kerül, 0 állapotban pedig kikapcsolásra. Az ötödik változó pedig azt mutatja meg, hogy a felvett bábút lekell venni a tábláról vagy nem. Amint ez a változó 1 a bábú levételre kerül, ha 0 akkor áthelyezésre.



17. ábra Mozgási függvény folyamatábrája

9 Sakkprogram és képfeldolgozás

A fő cél az volt, hogy a delta robot újra sakkozni tudjon. A motorvezérlést elkészítve már lehetőség lett rá, hogy a tábla pontjait elérje és a bábúkat mozgassa. Viszont, hogy ezt tudatosan tegye a robot valamilyen módon értelmezni kell a tábla állását és levonni a következtetést, hogy mi lenne számára a legjobb lépés. A kamera illesztése után, már csak a szoftverek illesztése maradt hátra.

Mind a sakk algoritmus és a képfeldolgozás is korábbi félévekben lett elkészítve és teljesen felhasználhatók ezzel a motorvezérléssel is. A programokat implementáltuk a motorvezérléshez és így lett képes sakkozni a delta robot.

A képfeldolgozásért felelős kamera beállítása szükséges mindig, ha a kamera elmozdul, illetve jelen esetünkben amikor a program egy új illesztéshez került. Ekkor az üres táblát egyszer rögzíteni kell, detektálásra kerülnek a tábla élei és kalibrálódik a kamera helyzete. Ez után feldolgozza az adott mezőket és elkülöníthetővé teszi egymástól.

A játék megkezdésekor a tábláról készül egy kép, mint kiinduló helyzet, az ellenfél megteszi a lépését és ekkor újabb kép készül. A bábuk és a mezők mind fekete fehérek, így a fotók is erre a szín kombinációra konvertálódnak. Ily módon megkülönböztethető a képekből melyik mezőn történt változás és értelmezhető a lépés.

Maga a sakk algoritmusnak szüksége van a megtörtént lépések megállapítására, amit a képfeldolgozás elvégez. Ekkor kiszámítja az ideális ellen lépést és ezzel az értékkel hívódik meg a motorvezérlő program, ami elvégzi a robot lépését.

10 Tesztelés

Jelen esetben a tesztelés folyamatosan végződött a fejlesztéssel, de mégis voltak olyan pontok a motorvezérlés kialakításánál, amelyek tesztelésnek köszönhetően váltak megfelelővé. Ilyen módon lett többféle mozgás kialakítva.

Tesztelést azzal kezdve, hogy az elektromágneses enkódereket az új vezérlőegységhez csatlakoztatva ellenőriztük működő képességüket. Ekkor megállapítottuk, hogy hibásan működnek, ritkán kapva helyes értéket és gyakran feldolgozhatatlan értéket kapva. Ezen egységek cseréjével, az új enkóderek tökéletesen működnek, nem adnak feldolgozhatatlan értéket és átlagolás mérésével rendkívül pontosak lehetnek.

A motorvezérlők direkt tesztben vettek részt, ahol meggyőződünk, hogy megfelelően működnek.

A motorvezérlés kialakítását azon az elven kezdtük, hogy az adott helyről a másikkra való mozgás diszkrét léptetési számokkal történjen. Ezt a mozgást tesztelve megállapítható lett, hogy nem mindig képes a kívánt számú lépéseket pontosan megtenni. Jellemzően az egyik tengely működik hibásan, megközelítőleg nyolc lépéssel történik több lépés ezen a tengelyen. Ennek a mozgásnak a hibáját azzal mérsékeljük, hogy a mozgás megkezdésekor gyorsítás, a mozgás végénél pedig lassítás történik. Ezzel csökkentve a mechanikai terhelés a motorokra. Bebizonyosodott, hogy a diszkrét lépés számmal való mozgás meghívható ugyan azzal a cél pozícióval, mint a jelenlegi állás, hiszen ekkor, ha tökéletesen ott van nulla lépés lesz az összes tengelyen, adott esetben pedig korrigálva lép.

Ezen módon a motorok adott számú léptetésével ellenőriztem a lépésszög pontosságát. Többször az effektort fel-le mozgatva és a fenti, illetve lenti pontoknál is motor állás szögét mérve, a szögértékek különbségét véve és a különbséget a megtett lépés számmal osztva vizsgáltam. A névleges lépésenkénti elfordulás 0,225 fok. Ettől eltérő adatokat kaptam, ez viszont adódhat az encoderek olvasási hibáiyából is, hiszen átlagolást végeznek, így nehezen kapható vissza kétszer ugyan az az érték. Alább mutatom milyen mértékűek az eltérések az adott tengelyeken különböző számú léptetésekkor, négy pont vizsgálata között:

10 lépésre vizsgálva:

1-es	motor:	0,209;	0,17;	0,22
2-es	motor:	0,209;	0,17;	0,217
3-as	motor:	0,225;	0,181;	0,226

100 lépésre vizsgálva:

1-es	motor:	0,224;	0,223;	0,223
2-es	motor:	0,222;	0,221;	0,221
3-as	motor:	0,233;	0,232;	0,232

Ezen értékek, a két pont közötti különbség és a két pont között megtett lépések nagysága fokban. Látható, hogy nem mindig egyformák és csak egy alkalomkor jelent meg a névleges érték. 10 lépéskor jelennek meg a legnagyobb eltérések. Ezek a nagyobb számú lépéssorozatoknál is ugyan úgy megjelennek, viszont, csak néhány hibás lépés nem befolyásolja annyival nagy lépés szám esetén. Megfigyelhető, hogy nagyobb lépésszám esetén a tengelyek hasonló hibával dolgoznak. A hármas motor mozgását például véve a $\sim 0,007$ fokos eltérés jellemző egy lépésre. Ez valószínűleg mérési hiba is lehet, de ha ezt a hibát felskálázzuk száz lépésre már 0.7 fokos hiba jelenik meg. Ez nem elenyésző és érzékelhető a robot mozgásában, hiszen ez akár három lépés eltérést is jelenthet.

Ennek a hiba kiküszöbölése miatt lett a finom léptetés program megalkotva. A finom léptetés megfelelő a pontos megközelítésre, hiba nélkül képes a kívánt helyre állni. A léptetési ciklust itt nagyobbra idő intervallumúra növeltük, hogy egy lassú, finom megközelítés menjen végbe a céltárgy megközelítésekor.

A mozgási típusokat kombinálva, egy jól koordinált, pontos mozgás sorrendet sikerült megvalósítani. A fizikai elemek teljesítik az elvárt működést, megfelelnek a feladat ellátására. A robot képes mind a hatvannégy mezőt tökéletesen megközelíteni, hibátlanul rá állni, valamint a plusz munkapontokat is teljesen pontosan megközelíti.

A kész motorvezérlést tesztelve, nem történt semmilyen nem kívánt lépés, nem kívánt motor elfordulás, amik a függvények tökéletesítése előtt még jellemzőek voltak.

11 Összegzés

Az átalakítások megtételével sikerült felépíteni a megfelelő motorvezérlést a delta robothoz. A sakkprogram és képfeldolgozás implementálása is teljesült, így létre jött a delta robot mely képes egy felhasználóval játszani egy sakk játszmát. A sakk szabályai szerint az ellenfél lépésére ad ellen lépést, mint addig amíg nincs vége a játszmának. A képfeldolgozás segítségével, kiértékelődik a megtett lépés, aminek mezői állását a motorvezérlő program elvégzi. A fém sakkbábúk mozgatása elektromágnes segítségével történik. Adat továbbítás történik az LCD kijelzőre, hogy ember számára is nyomon követhetők legyenek a játszma folyamatai. Működés szempontjából megfelelő demonstráció az ipari robotok működésére.

A robot tovább fejlesztése több oldalú is lehet. A motor vezérlés fejlesztése, oly módon, hogy a sebességet változtatni lehessen, illetve a motorok párhuzamos működtetésének fejlesztése. Valamint a kinematikai leírásokkal a térbeli mozgás nyomon követhető lehet és kívánt mértékű.

A felhasználók megismerhetik az ipari robotok ezen fajtáját egy interaktív játékon keresztül. A robot felhasználása jóval bonyolultabb feladatokra is lehetséges.

A robot a 2024-es Educatio kiállításon lesz kiállítva az Óbudai Egyetem standjánál.

12 Summary

In my degree work, I have started to write about the history of industrial robots, the stages of their development. Then I described delta robots and their specific structure.

Thankfully, for the University of Óbuda, Kandó Kálmán Electric Engineer faculty, I have been able to work and do studies on an already build delta robot. Before my work other students have been worked on the robot and it was able to play a chess game against the user. My job was to fix already existed problems such as measurements problems on the electric encoder, cancel the electric noise on the SPI communication. Use simplified design, reducing the unnecessary units and make a motor control program for general use with point to point movement.

I included the logical and physical plan of the robot, described the specifics for the used equipment. I wrote about the background knowledge which was needed to make the parts useable together.

The motor control program has been written in python programming language. The main control unit was able to send signals to the motor control unit and have communication with the sensors. The physical connection went through with the GPIO Pins from the Raspberry Pi.

For the chess play it was only needed to make a point to point movement for the robot. The move of the effector is comes from two bipolar stepper motor. These motors steps are set to 0.255 degree with the motor control units. With each pulse for the controller it makes this amount of turns. All motor have measured with electro magnetic encoders for precise points to move and to have a feedback about the current stand of the motors. Furthermore all the places where the effector has to move is stored by motor stands values.

First the motor control program read the stands of the motors and then calculate which direction should rotate the axis. Then calculate the steps number which gives it how many steps needs to rotate each motor to move for a given point. This method is not always accurate so for this reason another move type have been made. This other way measures the deviation of the current motor stands and the desired motor stands by each step. This way it is possible to make a precise move with the effector to the goal target.

To play chess it is mandatory for the robot to get some information about the environment. It is implemented by camera which gives a proper picture for image processing.

For the user it gives a decent insights about industrial robots, how does them work and how can they replace human work in the industrial production.

Hivatkozások

- [1] „Autodesk.com,” [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/design-make/videos/history-of-industrial-robots>. [Hozzáférés dátuma: 16 10 2023].
- [2] „Scientific Research: A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century,” [Online]. Available: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=90517>. [Hozzáférés dátuma: 19 10 2023].
- [3] „Cnc.hu: Az ipari robotokról,” [Online]. Available: <https://www.cnc.hu/2019/09/az-ipari-robotokrol/>. [Hozzáférés dátuma: 19 10 2023].
- [4] D. P. József, „IPARI ROBOTOK Kinematikai struktúrák, munkatértípusok,” [Online]. Available: <https://docplayer.hu/117199946-Ipari-robotok-kinematikai-strukturak-munkatertipusok-2-eloadas-dr-pinter-jozsef.html>. [Hozzáférés dátuma: 19 10 2023].
- [5] t. a. Tme.hu: Mean Well SP-200-12. [Online]. Available: <https://www.tme.eu/Document/4fc31215ee0db3ea3b629e14a72e2457/SP-200-SPEC.PDF>. [Hozzáférés dátuma: 29 10 2023].
- [6] „Cncpart.hu: Bipoláris léptetőmotor adatlapja: 57HS76-2804A típusú,” [Online]. Available: https://www.cncpart.hu/custom/cncpart/image/data/srattached/82da43425c1617425b4394c85b7f3fc1_57HS76-2804A.pdf. [Hozzáférés dátuma: 21 10 2023].
- [7] „Raspberry Pi 4 Computer Model B adatlapja,” [Online]. Available: https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf?_gl=1*1a2dbjk*_ga*OTA0Nzc4NzcyLjE2OTg1NzgxMzg.*_ga_22FD70LWDS*MTY5ODU3ODEzOC4xLjAuMTY5ODU3ODEzOC4wLjAuMA. [Hozzáférés dátuma: 29 10 2023].
- [8] „Raspberrypi.com: Kamera modulok leírása,” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>. [Hozzáférés dátuma: 01 11 2023].
- [9] „Electrical4u.com: Bipolar Stepper Motors: How They Work and How to Control Them,” [Online]. Available: https://www.electrical4u.com/bipolar-stepper-motor/?utm_content=cmp-true. [Hozzáférés dátuma: 01 11 2023].
- [1] „Powerbelt.hu: DM556D (93.034.030) típusú léptetőmotor meghajtó, felhasználói kézikönyv,” [Online]. Available: https://www.powerbelt.hu/uploads/source/catalogs/DM556D_felhaszn%C3%A1l%C3%B3i_k%C3%A9zik%C3%B6nyv.pdf. [Hozzáférés dátuma: 27 10 2023].
- [1] „Labcenter.com: SPI Communication,” [Online]. Available: <https://www.labcenter.com/blog/sim-spi-protocol/>. [Hozzáférés dátuma: 02 11 2023].
- [1] „Delta Parallel Robot,” [Online]. Available: <https://www.parallelic.org/Reviews/Review002.html>. [Hozzáférés dátuma: 10 12 2023].

- [1 „Akm.com: Principle and advantages of magnetic encoder,” [Online]. Available:
3] <https://www.akm.com/eu/en/products/rotation-angle-sensor/tutorial/magnetic-encoder/>.
[Hozzáférés dátuma: 02 11 2023].
- [1 „robocademy.com: Robot Kinematics in a Nutshell,” [Online]. Available:
4] <https://robocademy.com/2020/04/21/robot-kinematics-in-a-nutshell/>. [Hozzáférés dátuma: 19
10 2023].
- [1 B. Áron, „Robottechnika,” [Online]. Available:
5] http://www.sze.hu/~ballagi/Robottechnika/Robottechnika_NGB_AU025_1-eloadas2.pdf.
[Hozzáférés dátuma: 19 10 2023].
- [1 „Ams.com: AS5048 mágneses enkóder, termék leírása,” [Online]. Available:
6] https://ams.com/documents/20143/36005/AS5048_DS000298_4-00.pdf/910aef1f-6cd3-cbda-9d09-41f152104832 . [Hozzáférés dátuma: 29 10 2023].

Ábrajegyzék

1. ábra Az első gyártásban felhasznált ipari robot, Unimate	8
2. ábra Victor Scheinman első 6 szabadságfokkal rendelkező robotja	9
3. ábra Első delta robotok felhasználása "pick-and-place" módszerű	10
4. ábra Az emberi kar, szabadsági fokainak ábrázolása.....	11
5. ábra Négytengelyes delta robot [4]	15
6. ábra Logikai rendszerterv	17
7. ábra Fizikai rendszerterv	21
8. ábra A delta robot.....	22
9. ábra A robotba beépített bipoláris léptetőmotor vezetékeinek jelölése.	23
10. ábra Vezérlőjel hullámformája és időzítése.	25
11. ábra AS5048A encoder az elektromotor tengely elfordulás mérésére.....	26
12. ábra Enkóder mágneses tér érzékelése.....	27
13. ábra Négyvezetékes Daisy Chain bekötés	29
14. ábra Négyvezetékes Multi slave bekötés	30
15. ábra Léptetés függvény folyamatábrája	35
16. ábra Finom léptetés folyamat ábrája	36
17. ábra Mozgási függvény folyamatábrája.....	39