|  |
| --- |
| **Szegedi Tudományegyetem**  **Informatikai Intézet** |

|  |  |
| --- | --- |
| **Ipari folyamat szimulációja és irányítása programozható logikai vezérlővel** | |
| Diplomamunka | |
| Készítette: | Témavezető: |
| **Miklós Árpád** | **Dr. Kincses Zoltán** |
| mérnök informatikus szakos hallgató | egyetemi adjunktus |

|  |
| --- |
| Szeged  2021 |

**Ipari folyamat szimulációja és irányítása programozható logikai vezérlővel**

**Diplomamunka mérnök-informatikus MSc szakos hallgató számára**

**Témavezető: Dr. Kincses Zoltán**

**Témakör: ipari informatika, rendszer szimuláció, irányítás**

**Műszaki Informatika Tanszék**

**A feladat leírása, a munka célja:**

A hallgató feladata egy ipari folyamat emulációjának és irányításának elkészítése. A munka célja, egyrészt az Országos Ajtonyi István Irányítástechnikai Programozó Versenyen szereplő technológia emulációjának elkészítése egy HIL szimulátor eszköz segítségével. A munka másik célja az így elkészített rendszer irányításának megvalósítása egy programozható logikai vezérlővel. Az elkészült munka később jól alkalmazható a későbbi PLC versenyekre történő felkészítésben.

**A munkavégzés fontosabb lépései:**

* A HIL szimulátor eszköz és a hozzá tartozó szoftverek megismerése, ismertetése
* Az emulálni kívánt technológia megismerése
* A programozható logikai vezérlő és a hozzá tartozó szoftver megismerése, ismertetése
* A HIL emuláció elkészítése
* Az elkészült szimuláció irányításának megvalósítása programozható logikai vezérlővel
* Hibakezelés
* Tesztelés
* A dolgozat megírása

**A fejlesztéshez rendelkezésre álló erőforrások:**

* OMRON CJ2M PLC, I/O egységek és a programozásához szükséges szoftver
* Lucas Nülle I/O interfész PRO/TRAIN-hez
* Lucas Nülle BORIS szoftver csomag
* Lucas Nülle PRO/TRAIN

**A jelentkezés feltételei:**

* Érdeklődés a PLC alapú irányítások és vizualizációjuk iránt
* Angol nyelvtudás

# Tartalmi összefoglaló

* **A téma megnevezése:**

Egy ipari folyamat emulálása hardware-in-the-loop (HIL) szimulátor segítségével és az emulált ipari folyamat irányítása programozható logikai vezérlővel.

* **A megadott feladat megfogalmazása:**

Meg kell valósítanom egy megfelelően összetett ipari folyamat emulálását és annak irányítását programozható logikai vezérlővel azért, hogy szemléltessem a HIL szimulátorral támogatott fejlesztést és tesztelést. Az alap feladatkiíráson túl meg kell terveznem és meg kell valósítanom egy alternatív megoldást a feladat megoldásához biztosított HIL szimulátor helyett, amelyik egyben kompatibilis is azzal.

* **A megoldási mód:**
  + A feladat megoldásához biztosított szoftverek és hardverek megismerése.
  + A kiválasztott ipari folyamat emulációjának megvalósítása és tesztelése.
  + Az emulált ipari folyamat irányításának megvalósítása PLC segítségével.
  + A HIL szimulátor hardveres és szoftveres elemeinek a tanulmányozása.
  + A HIL szimulátorral kompatibilis szoftver és hardver fejlesztése és tesztelése.
* **Alkalmazott eszközök, módszerek:**
  + Lucas-Nülle I/O interfész, Omron CJ2M-CPU32 PLC, MikroElektronika EasyPIC v7 fejlesztőlap, Tektronix MSO2024B oszcilloszkóp, WinFACT 7 BORIS szimulációs szoftver, CX-Programmer 9.1, mikroC PRO for PIC 6.6.2, IAR Embedded Workbench for Arm 7.10.1, Visual Studio Code 1.54.3 és Qt Creator 4.14.1 fejlesztőkörnyezetek, Altium Designer 17.1 elektronikai tervező szoftver, Eltima Serial Port Monitor 6.0.235 segédprogram
  + dokumentumelemzés, megfigyelés, kísérlet, mérés, fejlesztés, tesztelés
* **Elért eredmények:**

Megvalósítottam a kiválasztott ipari folyamat emulálását a szimulációs szoftverrel és elkészítettem a hozzá tartozó irányítást. Megvizsgáltam az I/O interfész és a BORIS közötti kommunikációt az I/O interfész felnyitása nélkül, majd ez alapján megterveztem egy helyettesítő áramkör alapjait és írtam egy könyvtárat az I/O interfésszel való kommunikációhoz, amivel újra megvalósítottam az ipari folyamat emulálását QML-ben.

* **Kulcsszavak:**

ipari informatika, rendszer emuláció, HIL, irányítás, PLC, technológia-visszafejtés

Tartalomjegyzék

[Tartalmi összefoglaló 2](#_Toc67884775)

[Bevezetés 5](#_Toc67884776)

[1. Felhasznált hardverek és szoftverek 6](#_Toc67884777)

[1.1. Az ipari folyamat emulálásának eszközei 6](#_Toc67884778)

[1.1.1. A Lucas-Nülle I/O interfész 6](#_Toc67884779)

[1.1.2. A WinFACT 7 BORIS szimulációs szoftver 6](#_Toc67884780)

[1.1.3. A Flexible Animation Builder beépülőmodul 6](#_Toc67884781)

[1.2. Az ipari folyamat irányításának eszközei 6](#_Toc67884782)

[1.2.1. Az Omron programozható logikai vezérlő 6](#_Toc67884783)

[1.2.2. A CX-Programmer programozószoftver 6](#_Toc67884784)

[1.3. A technológia-visszafejtés eszközei 6](#_Toc67884785)

[1.3.1. Az Eltima Serial Port Monitor segédprogram 6](#_Toc67884786)

[1.3.2. A MikroElektronika EasyPIC v7 fejlesztőlap 6](#_Toc67884787)

[1.3.3. A mikroC PRO for PIC fejlesztőkörnyezet 6](#_Toc67884788)

[1.4. Az alternatív emuláció megvalósításának eszközei 6](#_Toc67884789)

[1.4.1. A Qt Creator fejlesztőkörnyezet 6](#_Toc67884790)

[1.4.2. Az Altium Designer elektronikai tervezőszoftver 6](#_Toc67884791)

[1.4.3. Az IAR Embedded Workbench for Arm fejlesztőkörnyezet 6](#_Toc67884792)

[2. Az emulálni kívánt ipari folyamat 7](#_Toc67884793)

[3. Interaktív vizualizáció készítése a BORIS eszköztárával 8](#_Toc67884794)

[4. Az ipari folyamat emulációja és irányítása 9](#_Toc67884795)

[4.1. Az emuláció megvalósításának bemutatása 9](#_Toc67884796)

[4.1.1. A robotok és a futószalagok vizualizációja FAB segítségével 9](#_Toc67884797)

[4.1.2. A robotok mozgatása 9](#_Toc67884798)

[4.1.3. A karosszériák mozgatása 9](#_Toc67884799)

[4.1.4. A cellák ellenőrzőlogikái 9](#_Toc67884800)

[4.2. Az irányítás megvalósításának bemutatása 9](#_Toc67884801)

[5. A BORIS projektek hordozhatósági problémájának megoldása 10](#_Toc67884802)

[6. Az ipari folyamat emulálásának alternatív megoldása 11](#_Toc67884803)

[6.1. Az I/O interfész működésének behatásmentes visszafejtése 11](#_Toc67884804)

[6.1.1. BORIS és az I/O interfész közötti kommunikáció lehallgatása 11](#_Toc67884805)

[6.1.2. Az I/O interfész működésének utánzása a BORIS számára 11](#_Toc67884806)

[6.1.3. Az I/O interfész működtetése a BORIS használata nélkül 11](#_Toc67884807)

[6.2. Az emuláció megvalósítása alternatív eszközökkel 11](#_Toc67884808)

[6.2.1. A karosszériák mozgatása 11](#_Toc67884809)

[6.2.2. A futószalagok megvalósítása és működtetése 11](#_Toc67884810)

[6.2.3. A daru megvalósítása és működtetése 11](#_Toc67884811)

[6.2.4. A robotok megvalósítása és működtetése 11](#_Toc67884812)

[7. Az I/O interfészt helyettesítő elektronika 12](#_Toc67884813)

[8. Konklúzió 13](#_Toc67884814)

[Irodalomjegyzék 14](#_Toc67884815)

[Nyilatkozat 15](#_Toc67884816)

# Bevezetés

A minőség korunk egyik legmeghatározóbb hívószava. Olyan követelmény, amelyre a piaci versenyképesség fenntartása érdekében folyamatosan kiemelt figyelmet kell szentelni. Habár a fogalma az elmúlt évtizedek során sokat változott, köznapi értelemben a minőség annak a mércéje, hogy egy termék vagy szolgáltatás milyen mértékben elégíti ki a vele szemben támasztott elvárásokat vagy igényeket. Az ipari automatizálásban a minőség általában olyan tulajdonságokhoz köthető, mint a megbízhatóság, a biztonság, a karbantarthatóság és a teljesítmény, amelyeknek a biztosításában kiemelt szerepe van a rendszeres és átfogó tesztelésnek.

A hardware-in-the-loop (HIL) tesztelés egyike azon módszereknek, amelyek az ipari automatizálásban is jól alkalmazhatók tesztelési és fejlesztési célokra. Ez a fajta eljárás a vizsgált eszközt olyan fizikai környezetben működteti, amelynek a jeleit egy virtuális rendszer biztosítja oly módon, hogy azok a valós rendszerrel megegyezőnek tűnjenek. Így nem csak költséghatékonyabbá tehető a tesztelés, hiszen nincs szükség egy valódi rendszerre, de olyan szélsőséges körülmények tesztelését is lehetővé teszi, amelyeknek a valóságban akár súlyos anyagi károkkal járó vagy emberéleteket is követelő következményei lehetnek, ha egy teszt elbukik.

Ez a dolgozat egy összetettebb ipari folyamat segítségével mutatja be a HIL tesztelés és a HIL szimulátorok működését a gyakorlatban. Ennek érdekében az első fejezetben először azok a hardverek és szoftverek kerülnek bemutatásra, amelyek a feladatok megoldásához lettek felhasználva. Ezt követi az emulálni kívánt ipari folyamat rövid bemutatása a második fejezetben. A harmadik fejezet a HIL szimulátor szoftverével történő animációkészítésre korlátozódik, ugyanis a HIL szimulátor megismerése Görbedi Ákos kollégával közösen végzett munka volt, és az ő diplomamunkája részletesen ismerteti ugyanennek a szoftvernek a használatát. Az emulált ipari folyamatnak a megvalósítása a negyedik fejezetben kerül bemutatásra, míg a bemutatott megvalósítást is érintő hordozhatósági probléma és annak megoldása az ötödik fejezetben kerül ismertetésre. Végezetül bemutatásra kerül az emulált ipari folyamat alternatív megvalósítása és a HIL szimulátor hardverének helyettesítő elektronikája a hatodik és a hetedik fejezetekben. A feladat kidolgozása közben megszerzett tapasztalatok és az elért eredmények a nyolcadik fejezetben kerülnek összefoglalásra.

# Felhasznált hardverek és szoftverek

A feladatok megoldásához felhasznált hardverek és szoftverek a főbb feladatok alapján jól csoportosíthatók. Az ipari folyamat emulálásához a HIL szimulátor szoftvere és hardvere lettek igénybe véve, míg az irányításhoz egy Omron PLC és a programozását lehetővé tevő programozószoftver. A HIL szimulátor technológiájának visszafejtéséhez elsősorban egy olyan szoftver került felhasználásra, amelyik képes a PC és az I/O interfész közötti kommunikáció lehallgatására, majd egy fejlesztőlap a hozzá tartozó fejlesztőkörnyezettel a kommunikáció megfigyeléséből származó adatok helyességének az igazolására. Az alternatív HIL szimulátor és az ipari folyamat alternatív emulálásának megvalósítására a feladatok megoldásakor legnépszerűbbnek számító tervezőszoftverek és fejlesztőkörnyezetek lettek felhasználva.

## Az ipari folyamat emulálásának eszközei

A HIL szimulátor két különálló gyártó egymással kompatibilis termékeiből tevődik össze. Az emulációhoz használt szoftver alapvetően egy széleskörűen felhasználható grafikus fejlesztőkörnyezet, amelyik támogatja a bővítmények használatát is, míg a PLC-vel kommunikáló hardver egy olyan eszköz, amelyik rendelkezik egy bővítményként beépülő meghajtóprogrammal ugyanehhez a szoftverhez.

### A Lucas-Nülle I/O interfész

A CO3715-1H típusjelzésű I/O interfész (1.1.1. ábra) a Lucas-Nülle GmbH egyik terméke volt, amelyet a PRO/TRAIN for Windows szoftveréhez fejlesztett ki azzal a céllal, hogy a segítségével összeköthesse a számítógépen futó emulált folyamatot az azt irányító PLC-vel. Fontos tény, hogy ennek a dolgozatnak az írása közben, mint az I/O interfész, mint pedig a PRO/TRAIN for Windows lekerültek a Lucas-Nülle GmbH kínálatából.

Ez az eszköz úgy lett megalkotva, hogy minden olyan minden olyan PLC típust támogasson, amelyik képes az iparban használatos jelszintekkel üzemelni. A ki- és bemenetei 4 mm-es biztonsági aljzatokra, illetve DC‑37 csatlakozókra lettek kivezetve, emellett állapotjelző LED-ekkel rendelkeznek. A számítógéphez soros porton keresztül csatlakoztatható az erre a célra szolgáló DE‑9 csatlakozó segítéségével. Az eszköz további műszaki jellemzői a következők:

* 16 digitális bemenet: +24 V DC / 10 mA
* 16 digitális kimenet: +24 V DC / 100 mA
* 2 analóg bemenet: 0…+10 V / 11 bit
* 4 analóg kimenet: 0…+10 V / 11 bit
* tápellátás: +24 V DC / 1 A
* adatátvitel: RS‑232
* méretek: 297 mm × 227 mm × 60 mm (magasság × szélesség × mélység)
* súly: 1 kg



1.1.. ábra: A CO3715-1H típusjelzésű I/O interfész

A működtetéséhez a megfelelő tápellátás biztosításán és a számítógéphez való csatlakoztatásán túl szükség van egy speciális meghajtóprogramra is, amellyel beépül a 1.1.2 alfejezetben bemutatásra kerülő szoftverbe. Ezt a meghajtóprogramot a PRO/TRAIN for Windows szállítja, amelyhez eredetileg készült.

Mivel a PRO/TRAIN for Windows a feladat megoldásához nem került felhasználásra, csak a vele együtt települő meghajtóprogram, ezért ez a szoftver ebben a dolgozatban nem kerül bemutatásra.

### A WinFACT 7 BORIS szimulációs szoftver

A BORIS (1.1.2. ábra) az Ingenieurbüro Dr. Kahlert terméke és a WinFACT moduláris programrendszer alapmodulja [1]. Az elnevezése a Block-Oriented Simulation System kifejezésből ered, és elsősorban dinamikus rendszerek szimulációjára szolgál, de a megfelelő hardver eszközökön keresztül valós folyamatokhoz is csatlakoztatható.



1.1.. ábra: A BORIS kezelőfelülete

A BORIS kezelőfelületét az egyszerűség és az átláthatóság jellemzi, aminek köszönhetően az alapvető használata könnyen elsajátítható. Egy egyszerű szimuláció megvalósításához gyakorlatilag elegendő a megfelelő blokkokat lerakni a munkalapra, majd a megfelelő módon összekötni azokat, és elindítani a szimulációt. A lerakható blokkoknak szinte mindegyike megtalálható a Rendszerblokk Eszköztáron (System Block Toolbar), amelyről a beállításoktól függően egérkattintással vagy vonszolással lehet azokat lerakni a munkalapra. Ezeknek a blokkoknak az összekötése mindig az egyik kimenetre való kattintással kezdődik és egy bemenetre való kattintással végződik. Az összeköttetések átláthatóvá tételéről egy beépített automatikus elrendező gondoskodik, amelyik a blokkok összekötése és mozgatása során igyekszik a legjobb elrendezést megtalálni. Mindemellett lehetőség van külön-külön minden egyes összeköttetés színét is megváltoztatni, amely szintén az átláthatóság növelését szolgálja.

A szimulált folyamatok vezérlésére a BORIS több eltérő lehetőséget is kínál. Legegyszerűbb közülük a kézi vezérlés, amelyet a Vezérlő Eszköztár (Control Toolbar) tesz lehetővé. Ennek az eszköztárnak a funkciói a következők:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Standard szimuláció elindítása |
|  | Szimuláció befejezése |
|  | Léptető üzemmód aktiválása és deaktiválása |
|  | Szimuláció léptetése |
|  | Végtelenített szimuláció elindítása |
|  | Szimulációs paraméterek módosítása |
|  | Töréspont beállítása |
|  | Töréspont törlése |

Végtelenített szimuláció esetén a szimulációs folyamat addig fut, amíg valamilyen hatás (pl. a Szimuláció befejezése gomb megnyomása) meg nem állítja azt. Ezzel szemben a standard szimulációk időtartama előre meghatározott és a szimulációs folyamat futása ennek letelésekor automatikusan megáll. A standard szimulációk időtartama és a lépések nagysága más egyebek mellett a szimulációs paraméterek között módosíthatók.

A BORIS rendszerblokkjainak a könyvtára kétféleképpen is bővíthető. Egyfelől a blokkok egy tetszőleges csoportjából bármikor létre lehet hozni egy úgynevezett szuperblokkot, amelyik ezt követően tetszőleges számú munkalapra is letehető. Másfelől lehetőség van egyéni bővítmények hozzáadására is, amelyeket bármelyik programozási nyelven meg lehet valósítani, amennyiben a fordítója képes a megvalósításokból natív DLL (Dynamic Link Library) állományokat építeni.

### A Flexible Animation Builder beépülőmodul

A Flexible Animation Builder (FAB) beépülőmodul (1.1.3. ábra) egy vizualizáció tervező és megjelenítő eszköz, amelyet az Ingenieurbüro Dr. Kahlert fejlesztett ki a BORIS szoftveréhez azért, hogy leegyszerűsítse az interaktív vizualizációk, animációk és felhasználói felületek létrehozását [2].

A BORIS alapból nem rendelkezik olyan eszközökkel, amelyekkel vizualizációkat lehetne készíteni a szimulációkhoz, ehelyett olyan adatmegjelenítő blokkokat kínál, mint a táblázatok, a diagramok vagy a mérőeszközök. Természetesen a bővítmények a szállított funkcionalitásaikhoz biztosíthatnak saját vizualizációkat is, viszont ezeket a vizualizációkat értelemszerűen a bővítmény fejlesztéséhez használt eszközökkel kell megvalósítani és esetlegesen módosítani. Mindezekkel szemben a FAB egy teljesen üres vásznat biztosít a felhasználók számára, amelyre az eszköztárából igény szerint vihetők fel az elemek, a kínálata pedig többek között a következőkből áll:

* primitív alakzatok: körök, vonalak, téglalapok stb.
* médiatartalmak: képek, videók, hangok stb.
* szimbólumok és animációk: motorok, tartályok, keverőlapátok stb.
* adatmegjelenítők: táblázatok, diagramok, mérőeszközök stb.
* vezérlők: nyomógombok, beviteli mezők, jelölőnégyzetek stb.



1.1.. ábra: A FAB kezelőfelülete

A FAB blokkokhoz legfeljebb 50 darab bemenetet és ugyanennyi kimenetet lehet definiálni, amelyeken keresztül a vizualizálni kívánt adatok (pl. folyadékszint, szelepek állapotai stb.) összeköthetők a vizualizációval, és amelyeken keresztül a felhasználói interakciók (pl. nyomógombok állapotai) összeköthetők a szimulációval.

Mivel a feladat megoldásában a FAB kiemelt szerepet töltött be és Görbedi Ákos diplomamunkája elsősorban a BORIS használatának a bemutatására koncentrál, az interaktív vizualizáció készítés ebben a dolgozatban részletesen is bemutatásra kerül a harmadik fejezetben.

## Az ipari folyamat irányításának eszközei

Az irányítás megvalósításához egy széles körben alkalmazott Omron PLC került felhasználásra, amelynek a programozása az erre a célra kifejlesztett programozószoftver segítségével valósult meg.

### Az Omron CJ2M programozható logikai vezérlő

A CJ2M-CPU32 programozható logikai vezérlő (1.2.1. ábra) az Omron Corporation terméke és a CJ2 termékcsalád tagja, amelyet elsősorban csomagolási és általános gépipari automatizálási folyamatok elvégzéséhez fejlesztettek ki [3].

Ez az eszköz a termékcsaládjára jellemző módon moduláris felépítésű, ami lehetővé teszi, hogy a megfelelő bővítőmodulok segítségével az igényekhez lehessen alakítani. Emellett egy beépített USB-porttal is rendelkezik, aminek köszönhetően egyszerűen és különleges beállítások nélkül lehet a számítógéphez csatlakoztatni. Az eszköz főbb műszaki jellemzői a következők:

* programmemória mérete: 10 Klépés
* adatmemória mérete: 64 Kszó
* utasítás‑végrehajtási idő: 0,04 µs
* kommunikáció: EtherNet/IP, Ethernet TCP/IP, USB
* tápellátás: +5 V DC / 0,7 A
* méretek: 90 mm × 62 mm × 84,5 mm (magasság × szélesség × mélység)
* súly: 190 g



1.2.. ábra: A CJ2M-CPU32 típusú PLC

A feladat megoldásához a felhasznált PLC digitális I/O egységekkel is ki lett bővítve, a felhasznált I/O interfészhez való csatlakoztatás érdekében. A bemeneti egység típusa CJ1W‑ID211, ami 16 darab egyenáramú bemenettel rendelkezik, a névleges feszültsége 24 V, a névleges árama pedig 7 mA. A kimeneti egység CJ1W-OD212 típusú, ami 16 darab tranzisztoros kimenettel (PNP) rendelkezik, a névleges feszültsége a bemeneti egységhez hasonlóan 24 V, a névleges árama pedig 0,5 A.

### A CX-Programmer programozószoftver

A CX-Programmer (1.2.2. ábra) az Omron Corporation által kifejlesztett programozószoftver és a CX-One univerzális szoftvercsomag része [4]. Támogatja az elmúlt 20 év teljes Omron PLC kínálatát, így a CS1, a CJ1/CJ2, a C és a CV családhoz tartozó termékeket is, emellett lehetőséget ad az IEC 61131‑3 szabvány szerinti összes programnyelv használatára a PLC programozásban.



1.2.. ábra: A CX-Programmer kezelőfelülete

A CX-Programmer több kényelmi funkcióval is rendelkezik, melyek a programok írását igyekeznek még gyorsabbá és hatékonyabbá tenni. Így például az utasítások és a szimbólumok nevének beírása közben egy prediktív stílusú böngésző jelenik meg, amiben láthatók azok a lehetséges találatok, amelyekre rá lehet kattintani, illetve amelyeket ki lehet választani. A memóriacímeket sem kell kézzel megadni, ugyanis a beépített automatikus memória-kiosztás használatakor elegendő a szimbólumok típusát meghatározni, a tárolásukról már maga a program gondoskodik. Mindezek mellett a tesztelés támogatása érdekében egy beépített PLC szimulátor is a rendelkezésre áll, aminek segítségével a PLC programok még a letöltés előtt tesztelhetők. A valódi eszközökkel pedig soros, USB és Ethernet/IP kapcsolaton keresztül is automatikusan összekapcsolható.

## A technológia-visszafejtés eszközei

### Az Eltima Serial Port Monitor segédprogram

### A MikroElektronika EasyPIC v7 fejlesztőlap

### A mikroC PRO for PIC fejlesztőkörnyezet

## Az alternatív emuláció megvalósításának eszközei

### A Qt Creator fejlesztőkörnyezet

### Az Altium Designer elektronikai tervezőszoftver

### Az IAR Embedded Workbench for Arm fejlesztőkörnyezet

# Az emulálni kívánt ipari folyamat

Az emulálni kívánt ipari folyamat egy karosszéria gyártósor, amely egy korábbi Országos Ajtonyi István Irányítástechnikai Programozó Verseny egyik gyakorlati feladata volt. Az emulálni kívánt technológia az irányításához kiadott feladatlap alapján került megtervezésre és megvalósításra a BORIS eszköztárának segítségével.

A gyártósor a gépjármű karosszériák gyártásának egy szakaszát mutatja be, ahol a következő három fő művelet folyik:

* ponthegesztés,
* festés,
* átemelés (leválogatás).

A rendszer három cellából áll, ahol mindegyik cellában az előbbi felsorolás egy-egy folyamata történik. A cellákban futószalagok mozgatják a karosszériákat, illetve a cellák mindegyikében két-két érzékelő (fénykapu) jelzi a karosszériák hollétét. Az első érzékelő jelzi a cellába történő érkezést, a második pedig a munkadarab esetleges megállításának pozíciójában található.

Az első cellában két ponthegesztésre alkalmas robot helyezkedik el, amelyek a rajtuk található hegesztőpisztolyokat is beleértve külön-külön vezérelhetők. A második cellában két festésre alkalmas robot található, amelyek szinkron üzemmódban működnek. Ez azt jelenti, hogy az egyik robot másolja a másik robot mozgását, így ez a két robot irányítási szempontból egynek tekinthető. Ugyanebben a cellában egy operátor is tevékenykedik, aki szabadon beléphet a robotok mozgásterébe azzal a céllal, hogy ellenőrizze a festés minőségét és esetlegesen kézzel korrigálja azt. A harmadik cellában egy daru helyezkedik el, melynek feladata a karosszériák típus szerinti leválogatása.

Az emuláció szempontjából a feladat nehézsége a vizualizáció megvalósítása. A karosszériáknak ugyanis követniük kell a valóságban őket mozgató elemek mozgását ahhoz, hogy valóságosnak tűnjenek, ehhez pedig számon kell tartani, hogy az animációban éppen egy futószalagon helyezkednek-e el, a futószalag mozog-e, a daru megfogója záródott-e a karosszéria körül, átemelés történik-e vagy az átemelés éppen befejeződött-e. További nehézséget jelent a FAB grafikus elemeinek a szegényes kínálata, azokkal ugyanis a vizualizáció nem valósítható meg felismerhető módon.

Irányítási szempontból az operátor jelenléte jelenti a legnagyobb nehézséget. A gyártósor irányítása mellett ugyanis folyamatosan figyelni kell az operátor tartózkodási helyét, mivel bármikor beléphet a robotok munkaterébe, amire az irányításnak gyorsan és megbízhatóan kell reagálnia.

Az emuláció elsődleges célja az irányítás tesztelése és az esetleges hibák felderítése biztonságos körülmények között. Ennek érdekében az emulációba számos korlátozást és ellenőrzést kell beépíteni, amelyek jelzik az irányítás hibáit.

# Interaktív vizualizáció készítése a BORIS eszköztárával

# Az ipari folyamat emulációja és irányítása

Jegyzetek:

* A BORIS egy átgondolt és intuitív fejlesztőkörnyezet, amely az eszközök bőséges kínálatát nyújtja a felhasználó számára. Ha csak az erősségei alapján kellene megítélni, akkor egy professzionális termékként lehetne kezelni, amely kiválóan alkalmazható az oktatásban, a kutatásban és a fejlesztésben is. Ezzel szemben a feladat megoldásához használt verzió olyan hibák és hiányosságok sorával küzd, amelyek alapjaiban kérdőjelezik meg a benne folytatott munka hatékonyságát.
  + A visszavonás és a megismétlés műveletek teljes hiánya.
  + A törlések nem kérnek megerősítést a felhasználótól, még az olyan blokkok esetén sem, amelyek összeköttetésben állnak más blokkokkal. Ez a visszavonás lehetősége nélkül felettébb felkavaró tud lenni.
  + Előfordul, hogy az üzenetablakok, amelyek megkövetelik az elsőbbséget a felhasználótól, takarásban ugranak fel. Ez meggátolja a felhasználót abban, hogy hozzáférjen, és így az alkalmazás egy blokkolt állapotába kerül.
  + Minden hivatkozás abszolút elérési útvonalak formájában van letárolva.
  + **Nem feltétlenül kell:** Alapértelmezésben az általános műveletek gyorsbillentyűi eltérnek a megszokottól, így például a másolás nem a már jól ismert Ctrl + C gyorsbillentyűvel hívható meg, hanem a Ctrl + Ins párossal. Ezek azonban módosíthatóak a beállításokban.
  + **Nem feltétlenül kell:** A blokkok közötti összeköttetések átlátható elrendezése nagyon nehezen megvalósítható. Létezik ugyan egy automatikus elrendező az alkalmazásban, de hibásan működik.
* A BORIS nem egy általános célú programozási nyelv, mint például a C, hanem egy elsősorban rendszerek szimulációjára kifejlesztett speciális fejlesztőkörnyezet, ezért nem is várható tőle, hogy minden feladat megoldható legyen benne.

## Az emuláció megvalósításának bemutatása

### A robotok és a futószalagok vizualizációja FAB segítségével

### A robotok mozgatása

### A karosszériák mozgatása

### A cellák ellenőrzőlogikái

## Az irányítás megvalósításának bemutatása

# A BORIS projektek hordozhatósági problémájának megoldása

A fájlrendszerekben a fájlok vagy a könyvtárak helyét, vagyis azt, hogy milyen könyvtárakon át navigálva találhatóak meg, az úgynevezett elérési útvonal [5] határozza meg, amelynek két változata van. Az abszolút elérési útvonal a gyökérkönyvtárból indulva sorolja fel a fájlig vezető könyvtárak neveit, így a fájlrendszeren belül mindig ugyanazt a helyet jelöli. A relatív elérési útvonal ezzel szemben egy abszolút elérési útvonalhoz viszonyítva sorolja fel a fájlig vezető könyvtárak neveit, így ebben az esetben a fájlrendszeren belül jelölt hely viszonyításfüggő.

A több fájlból álló, összefüggő adatok esetén elterjedt és általánosan követendő gyakorlat a relatív elérési útvonalak használata a belső hivatkozásokhoz. Enélkül ugyanis nem lehetne az ilyen adatokat szabadon mozgatni a fájlrendszerben, mivel a belső hivatkozások sérülnének. A feladat megoldásához használt BORIS verzió esetén pedig pontosan ez az probléma áll fenn.

A BORIS lehetőséget nyújt a munkalapok egymásba ágyazására úgynevezett szuperblokkok segítségével. Egy szuperblokk képes a hivatkozott munkalap nyitott végpontjait a sajátjaiként megjeleníteni, ezáltal azok összeköthetőkké válnak a munkalapon levő más blokkok végpontjaival.

A szuperblokk egy olyan speciális blokk, amelyik képes a hivatkozott munkalap nyitott végpontjait a sajátjaiként megjeleníteni

# Az ipari folyamat emulálásának alternatív megoldása

## Az I/O interfész működésének behatásmentes visszafejtése

### BORIS és az I/O interfész közötti kommunikáció lehallgatása

### Az I/O interfész működésének utánzása a BORIS számára

### Az I/O interfész működtetése a BORIS használata nélkül

## Az emuláció megvalósítása alternatív eszközökkel

### A karosszériák mozgatása

### A futószalagok megvalósítása és működtetése

### A daru megvalósítása és működtetése

### A robotok megvalósítása és működtetése

# Az I/O interfészt helyettesítő elektronika

# Konklúzió

# Irodalomjegyzék

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Ingenieurbüro Dr. Kahlert, „WinFACT overview,” [Online]. Available: https://www.kahlert.com/engl/winfact-uebersicht. |
| [2] | Ingenieurbüro Dr. Kahlert, „Flexible Animation Builder,” [Online]. Available: https://www.kahlert.com/engl/flexible-animation-builder. |
| [3] | Omron Corporation, „CJ2M-CPU32,” [Online]. Available: https://industrial.omron.hu/hu/products/CJ2M-CPU32. |
| [4] | Omron Corporation, „CX-Programmer,” [Online]. Available: https://industrial.omron.hu/hu/products/cx-programmer. |
| [5] | Wikipedia, „Path (computing),” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Path\_(computing). |

# Nyilatkozat