

Óbudai Egyetem  
Neumann János Informatikai Kar  
Szoftvertervezés és -fejlesztés Intézet

## SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve:	<b>Ráncsik Áron</b>
Törzskönyvi száma:	T/005788/FI12904/N
Neptun kódja:	I41KD2

A dolgozat címe:

**Vizuális, interaktív programozás oktató rendszer moduláris megvalósítása**  
**Modular solution for visual, interactive programming educational**  
**application**

Intézményi konzulens:	Dr. Vámosy Zoltán
Külső konzulens:	

Beadási határidő:	2020. december 15.
-------------------	--------------------

A záróvizsga tárgyai:	Számítógép architektúrák Szoftvertervezés és -fejlesztés specializáció
-----------------------	--

### A feladat.

Tervezzen meg és készítsen el egy olyan programozást oktató rendszert, ami használható konkrét programozási nyelv ismerete nélkül is, vizuális visszajelzést ad használója számára és különböző oktatási környezetekben felhasználható. Ennek érdekében ismerje meg a hasonló rendszerek működését. A megoldás képes legyen vizuális megjelenítést biztosítani, továbbá több, programozást igénylő terület oktatására is, továbbá platformtól függetlenül működni és képes legyen egyedi oktatási környezetekbe történő integrációra. Válassza ki a legmegfelelőbb módszert és architektúrát. Indokolja meg a döntését. Tervezze meg a megvalósítás folyamatát, térjen ki a felmerült nehézségekre, és ezek megoldásaira.

### A dolgozatnak tartalmaznia kell:

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

Ph.

.....  
Dr. Vámosy Zoltán  
intézetigazgató

A szakdolgozat elévülésének határideje: **2022. december 15.**  
(OE TVSz 55.§ szerint)

A dolgozatot beadásra alkalmasnak tartom:

.....  
külső konzulens

.....  
intézményi konzulens

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>3</b>
Algoritmus elmélet . . . . .	3
<b>2. Módszertan</b>	<b>4</b>
2.1. Vizuális programozási környezet . . . . .	4
2.1.1. Alternatív megoldások vizuális programozásra . . . . .	4
Scratch . . . . .	4
Előnyei . . . . .	4
Hátrányai . . . . .	5
Snap . . . . .	5
Előnyei . . . . .	5
Hátrányai . . . . .	5
GP . . . . .	5
Előnyei . . . . .	5
Hátrányai . . . . .	6
Alice . . . . .	6
Előnyei . . . . .	6
Hátrányai . . . . .	6
Egyéb kész megoldások . . . . .	6
Blockly . . . . .	6
Előnyei . . . . .	7
Hátrányai . . . . .	7
MakeCode (PXT) . . . . .	7
Előnyei . . . . .	7
Hátrányai . . . . .	7
2.1.2. Választott vizuális programozási környezet . . . . .	7
2.2. Da Vinci . . . . .	7
2.2.1. Robot Operating System . . . . .	8
Előnyei . . . . .	8
Hátrányai . . . . .	8
2.2.2. Da Vinci Research Kit . . . . .	8
2.2.3. iRob Surgical Subtask Automation Framework . . . . .	8
Előnyei . . . . .	8
Hátrányai . . . . .	9
2.3. Kiterjesztett valóság . . . . .	9
2.3.1. Alternatív kiterjesztett valóság megoldások . . . . .	9
Unity . . . . .	9
Előnyei . . . . .	9
Hátrányai . . . . .	9
Konklúzió . . . . .	9
Unreal Engine . . . . .	10
Konklúzió . . . . .	10

Mobil megoldások . . . . .	10
iOS ARKit . . . . .	10
ARCore . . . . .	10
Konklúzió . . . . .	10
Egyéb kész megoldások . . . . .	10
Egyedi megoldás . . . . .	10
2.3.2. Választott módszer . . . . .	11
2.4. Mások által elkészült tanulmányozható megoldások . . . . .	11
2.5. Saját AR elméleti felépítése . . . . .	11
2.5.1. Kamera kalibráció . . . . .	11
Külső tulajdonság . . . . .	11
Belső tulajdonság . . . . .	12
A bemutatott módszer előnyei . . . . .	12
<b>3. Részletes munkaterv</b>	<b>13</b>
<b>4. Megvalósítás</b>	<b>14</b>
4.1. Kézvezérlés . . . . .	14
4.2. Kamera mozgás becslés . . . . .	14
4.2.1. Markerek keresése . . . . .	14
4.3. Da Vinci vizuális programozási környezete . . . . .	14
4.3.1. Control . . . . .	14
4.3.2. Editor . . . . .	14
4.3.3. View . . . . .	15
4.4. Da Vinci webes elérhetősége . . . . .	15
4.4.1. Standard ROS JavaScript könyvtár . . . . .	18
JavaScript könyvtár . . . . .	18
4.5. Da Vinci vizuális programozás összefoglaló . . . . .	18
<b>Irodalomjegyzék</b>	<b>19</b>
<b>Ábrák jegyzéke</b>	<b>22</b>

# fejezet 1

## Bevezetés

Az oktatásban manapság elterjedt gyakorlat az oktatott anyag játékos megfogalmazása [34], idegen szóval a *gamification* [11]. A módszer lényege, hogy a megtanítani kívánt ismeretet nyers forma helyett, játékos formában tesszük érthetővé a tanulók számára. Dolgozatomban a programozást szeretném a tanulni vágyók elé tárni, olyan formában, hogy az ne okozzon nehézséget, illetve a tanulás emléke inkább egy élmény legyen, egy unalmas óra helyett.

Az alábbi célokat tűztem ki. Programozás egyik motivációjának azt szeretném, hogy a felhasználók által készített különböző programkódok, ágensek, egymás ellen tudjanak versenyezni. A programozáshoz ne legyen szükséges konkrét programozási nyelv ismerete. Legyen lehetőség kézvezérléssel végezni a programozást. Az ágensek megmérettetését akár már létező, ismert számítógépes játékokhoz csatlakozva, vagy saját egyedi játékban is le lehessen bonyolítani. További tervezett funkció, hogy az írt kódok összeadását, kiterjesztett valóságon keresztül is legyen lehetőség követni.

Úgy gondolom, hogy a programozásoktatást egyik legszemléletesebb területe a robotprogramozás, ezért azt célt is kitűztem, hogy az egyetemen elérhető da Vinci robotot is lehessen a rendszer által vezérelni. Magas-szintű program utasítások biztosításának a segítségével könnyen, érthetően lehet szemléltetni a robotika területét is, és a programozáson túl, az orvostudomány robotika iránt is lehetséges érdeklődést kelteni a fiatalokban.

Röviden összefoglalva, a következő irodalomkutatást készítettem a fent megfogalmazott célok ügyében. Első lépésként, a kitűzött célok megvalósítása érdekében, a 2.1.1 részben a vizuális programozási környezet elkészítésének lehetőségeit részletezem, mely abban segít, hogy egy konkrét programozási nyelv tanulásának kezdeti nehézségein átugorva, vizuális eszközökkel teszi elérhetővé a programozást, akár laikusok számára is. A Módszertan szekció 2.2.2 részben azt vizsgálom, milyen lehetőségek vannak a Da Vinci robot egyszerű maga-szintű programozására. A 2.3 szekcióban, a napjainkban népszerű, kiterjesztett valóság megvalósításának lehetőségeit részletezem. A Módszertan utolsó szekciójában 4.1 a kézvezérlés funkció megvalósításához szükséges ismereteket igyekszem analizálni.

**Algoritmus elmélet** ♦ Az algoritmus definiálása nehéz feladat, erre nem vállalkoznék, azt ki merem jelenteni, hogy azokat a feladatokat lehet algoritmizálni, melyek működése Turing-gép segítségével megvalósítható. A fiatalok számára az algoritmikus gondolkozást igyekszem szemléltetni. Az évek során több paradigma kialakult a programozásra, melyek inkább már az absztrakt gondolkozást részesítik előnyben. Úgy gondolom, hogy természetesen ezeknek is helyük van az oktatásban, de az alapvető algoritmikus gondolkozásmód kialakításához nem szükségesek sőt, véleményem szerint hátráltatóak. A későbbiekben részletezett vizuális programozó környezet vizsgálatakor, természetesen alapvető elvárás volt részemről, hogy az adott megoldás "Turing-teljes", legyen. Bár a vizsgált megoldások többsége több, különböző paradigma eszközeit tartalmazza, ezeknek a tulajdonságoknak nem tulajdonítottam különösebb prioritást a vizsgálat során. A későbbiekben választott módszer, a strukturált programozási paradigmát támogatja.

# fejezet 2

## Módszertan

A korábban megfogalmazott célok elérése érdekében végzett kutatómunkát részletezem, ebben a fejezetben. Az is célom, hogy az elkészült alkalmazás működése is oktatási célokra bemutatatható legyen. Ezért a megvalósítás során, olyan könyvtárakat igyekszem használni, melyek forráskódja, működése szabadon elérhető. Amennyire lehetséges igyekszem az egyszerűbb megvalósítások irányában hajlani, értem ez alatt azt, hogy inkább olyan megoldások használatát preferálom ami, "csak", egy adott feladatra biztosít megoldást, de a használatához nem szükséges egy nagy, bonyolult rendszert használni. Ebből kifolyólag például mellőzni igyekszem a különböző felhőszolgáltatások és zárt könyvtárak, valamint az ilyen komplett óriási kódbázisok, játékmotorok használatát.

### 2.1. Vizuális programozási környezet

#### 2.1.1. Alternatív megoldások vizuális programozásra

Mivel a dolgozatban vizuális programozást is szeretnék biztosítani, ezért megvizsgálom milyen konkurens megoldások léteznek erre a célra. Az alábbiakban bemutatok és elemzek több kutatást, korábbi kész alkalmazásokat és programkönyvtárakat melyek mindegyike a vizuális blokk alapú programozást biztosítja.

##### Scratch

Nagyon népszerű, oktatásban méltán közkedvelten használt teljes környezet [25, 33, 35], mely vizuális programozást tesz lehetővé. Az alapvető célja olyan média alkalmazások mint pl.: animáció, köszöntések, történet mesélés, zeneklip elkészítésének folyamata közben megtanítani a programozást. Az egyedüli, intuitív tanulás is előnyben részesíti. Főleg kisebb 8-16 éves korosztály számára készült.

Az elkészült program alapértelmezetten egy saját „színpad” környezetben futtatható. Esemény vezérelt programozást is lehetővé tesz, ebben az esetben az egyszerre fellépő konkurens utasítások között esetleges versenyhelyzetet kezel, de nem minden esetben úgy ahogy azt elsőre a használó gondolná. A programból *broadcast* utasításokkal, saját parancsok, szkriptek végrehajtása lehetséges. A *broadcast* utasításokkal lehetséges a külvilággal történő kommunikáció is, de körülményes. Kiegészítővel bővíthető, de így sem lehet az alap működésre kiható szignifikáns módosításokat eszközölni.

##### Előnyei ♦

- Szabadon elérhető, nyílt forráskódú.
- Kész megoldásról beszélve, sokkal kevesebb munka segítségével lehet használni.
- Egyedi működés *broadcast* utasításokkal lehetséges.
- Az alap környezet többnyire magas szintű előre definiált utasításokban gazdag pl.: animációk
- Kezdők számára is egyszerűen érthető felület.
- Tapasztalatok alapján nagyon ismert az általános iskolások körében.
- Érthető, naprakész dokumentáció áll rendelkezésre

## Hátrányai ♦

- A *broadcast* utasításon kívül máshogy nem megoldható egyedi utasítás létrehozása.
- Az elkészült program csak a saját környezetén belül futtatható, nem lehetséges egyedi környezetben futtatni.
- Az elkészült program egyszerűen nem alakítható valódi programkóddá. (Van harmadik féltől származó kész megoldás)
- Monolitikus, bővítésre nézve többnyire zárt rendszer.
- Ugyan van webes felület, de saját oldalba nem ágyazható.

## Snap

Új, még kevésbé ismert, teljes megoldás [17], segítségével vizuálisan van lehetőségünk programozni. A Scratch-el szemben több szabadságot biztosít a személyre szabhatóság tekintetében. Sokkal bonyolultabb problémák megoldására is alkalmas, az objektum orientált paradigmát is támogatja. A környezet kevésbé kezdő barát. *Url* utasításokkal webes csatlakozó felületen keresztül tud fogadó és küldőként is könnyen kommunikálni a külvilággal. A felhő alapú gépi tanulás szolgáltatásokhoz csatlakoztatva akár „AI” fejlesztésre is alkalmas [20]. A párhuzamos ciklusokat időosztásos módszerrel futtatja párhuzamosan „yield” utasítások segítségével, de erre is igaz, hogy mindezt igyekszik elrejteni a felhasználók előtt és nem igényel különösebb beavatkozást az alapvető működéshez hozzá lehet szokni.

## Előnyei ♦

- Szabadon elérhető, nyílt forráskódú.
- Kész megoldásról beszélve, sokkal kevesebb munka segítségével lehet használni.
- Egyedi működés *url* utasításokkal lehetséges. Sokkal kényelmesebben mint Scratch esetén.
- Az alap környezet előre definiált utasításokban gazdag pl.: *sprite*-ok vezérlése.
- Bonyolultabb problémák megoldására is alkalmas.
- Érthető, naprakész dokumentáció áll rendelkezésre
- Van webes felülete, de saját oldalba nem ágyazható.
- Egyedi blokkok létrehozását támogatja.
- Objektum orientált paradigmát támogatja

## Hátrányai ♦

- Az elkészült program csak a saját környezetén belül futtatható, nem lehetséges egyedi környezetben futtatni.
- Az elkészült program nem alakítható valódi programkóddá.
- Nem biztosít felhasználható könyvtárat, csak a projekt forrását felhasználva lehet egyedi alkalmazásokban használni.
- Jelenleg () béta állapotban van.
- Monolitikus, bővítésre nézve többnyire zárt rendszer.
- A objektum orientáltság különböző megkötésekkel érhető el.

## GP

Általános célú blokk alapú [29] [26] programozási nyelv. Egy valódi programozási nyelv mely blokk és kód alapú programozási lehetőséggel is rendelkezik. Sok alacsony szintű funkciók érhetőek el benne. Sokkal közelebb áll a valóságos programozáshoz a korábban említett lehetőségekhez képest, rendelkezik webes felülettel és a külvilággal internetes *get*, *put* utasítás lehetséges a kommunikáció egyedi rendszerekkel. Támogatja az objektum orientált paradigmát. Tartalmaz bonyolultabb adatszerkezeteket is.

## Előnyei ♦

- Kész megoldásról beszélve, sokkal kevesebb munka segítségével lehet használni.

- Egyedi működés *get*, *put* utasításokkal lehetséges. Sokkal kényelmesebben mint Scratch esetén.
- Az alap környezet többnyire alacsony szintű előre definiált utasításokban gazdag pl.: *set pixel* utasítás blokk.
- Bonyolultabb problémák megoldására is alkalmas.
- Moduláris módon készült.
- Érthető, naprakész dokumentáció áll rendelkezésre.

### Hátrányai ♦

- Az elkészült program csak a saját környezetben belül futtatható, nem lehetséges saját környezetben futtatni.
- Az elkészült program nem alakítható valódi programkóddá.
- Ugyan van webes felület, de saját oldalba nem ágyazható.

### Alice

Interaktív 3D Animációs környezet [9]. Az idézett kutatás által megfogalmazottan a célja egy 3D-s környezet interaktív fejlesztése melyben szabadon lehet felfedezni az elkészült alkotást. Főleg szkript alapú prototípus fejlesztő környezet.

### Előnyei ♦

- Kész munka elvileg kevesebb munka lehet átalakítani, felhasználni
- Adott 3D környezet
- Esemény vezérelt programozás tanítására is alkalmas

### Hátrányai ♦

- Az elkészült program csak a saját környezetben belül futtatható, nem lehetséges saját környezetben futtatni.
- Nem vizuális egy sajátos egyedi szkriptnyelvvel rendelkezik.
- Az elkészült program nem alakítható valódi programkóddá.
- Nincs webes felülete, futtatható állományok telepítését igényli.
- Kissé régi, idejét múlt, már kevésbé támogatott.

### Egyéb kész megoldások

A fenti részben az általam, a dolgozatommal legjobban összehasonlítható szempontok alapján fontosnak tartott kész megoldásokat mutattam be. Természetesen rengeteg egyéb kész alkalmazás létezik mely vizuális programozási lehetőséget biztosít. Felsorolás szintjén itt leírok pár szerintem említésre méltó alkalmazást.

- Game Maker [18] 2D játék készítő, vizuális és saját szkriptnyelvvel is rendelkezik. A teljes verzió pénzbe kerül.
- Stencyl [24] 2D Játék készítő alkalmazás melyben vizuálisan lehet programozni.

A továbbiakban kész alkalmazások helyett, vizuális programozásra készült programkönyvtárak bemutatásával fogom folytatni a választható megoldások listáját.

### Blockly

Google által fejlesztett, vizuális programozást támogató programkönyvtár [7] [30]. A vizuális megjelenésért felelős, nem egy programozási nyelv, csak egy vizuális leíró nyelv, mely könnyedén exportálható valós programozási kóddá. Több létező programnyelv kódot lehet a vizuális környezetből generálni, többek között: JavaScript, Python, Lua, Dart nyelvű kódokat is. A Blockly könyvtárat sok kész alkalmazás használja a saját egyedi vizuális környezetének megvalósítására. Például a korábban említett



Scratch, Snap is használja vizuális könyvtárként, de az ezután részletezett MakeCode (PXT) környezet is Blockly-t használ a vizuális megjelenítésre.

### Előnyei ♦

- Szabadon elérhető, nyílt forráskódú.
- Kezdők számára is egyszerűen érthető felület.
- Érthető, naprakész dokumentáció áll rendelkezésre.
- Program könyvtár, könnyen bővíthető egyedi utasításokkal
- A program futtatási környezetére nincs megkötés.
- Nemzetközi. Több mint 40 (köztük magyar) nyelven elérhető.
- Bármilyen futtatási környezetbe könnyen integrálható.
- Rengeteg programkód generálható.

### Hátrányai ♦

- Csak egy vizuális programozást támogató „drag & dropp” programkönyvtár.
- Viszonylag régi technológiákkal készült, nehézkes modern környezetben használni.

## MakeCode (PXT)

Microsoft által fejlesztett, összetett, vizuális programozói környezetet biztosító, nyílt forráskódú programkönyvtár [36]. A Blockly könyvtárat felhasználja a blokk alapú vizuális programozás biztosítására. A blokk alapú programozáson túl biztosít lehetőséget a szöveges programozásra is, egy beépített weboldalon futatható fejlesztő környezetben. Abban különbözik a korábbi alternatív lehetőségektől, hogy egyben nyújt egy teljes fejlesztő környezetet, amihez könnyen hozzá lehet csatolni egy saját *target* modult egyedi utasításokkal. A [12] kutatás részletesen bemutatja, hogyan lehet használni beágyazott rendszerekhez. A fejlesztő környezethez alacsony szintű mikrokontrollerhez való fordítót csatlakoztatva.

### Előnyei ♦

- Szabadon elérhető, nyílt forráskódú.
- Kezdők számára is egyszerűen érthető felület.
- Érthető, naprakész dokumentáció áll rendelkezésre.
- Program könyvtár, könnyen bővíthető egyedi utasításokkal
- A program futtatási környezetére nincs erős megkötés.

### Hátrányai ♦

- Integrálása korlátozott, alkalmazkodni kell a felépítéséhez, ettől eltérni nem lehetséges könnyen.
- Béta verzióban van a fejlesztés.

## 2.1.2. Választott vizuális programozási környezet

Kipróbáltam, teszteltem a legtöbb felsorolt megoldást, továbbá a korábbi elemzés összevetése után a Blockly környezet használata mellett döntöttem. A dolgozat igényeit nem lehet kész megoldásokkal pl. Scratch, Snap stb. kielégíteni, mert túlságosan zárt működésük nem teszik lehetővé, hogy egyedi környezethez lehessen programozni ezekben az alkalmazásokban. A Blockly kellőképpen módosítható és könnyen egyedi környezetbe illeszthető, vizuális programozást biztosító programkönyvtár, mely megfelel a feladat részéről támasztott elvárásoknak, továbbá kellőképpen egyszerűen használható.

## 2.2. Da Vinci

A célok között szerepelt a da Vinci robot egyszerű vezérlése. Az elkövetkező részben, igyekszem körbejárni a lehetőségeket és elemezni előnyeit hátrányait, melyek segítségével lehet kapcsolódni a da Vinci

rendszerhez. Az egyetemen egy 2010-ben bemutatott első generációs da Vinci classic rendszerhez van lehetőség hozzáférni, ezért ehhez készül az alkalmazás. A továbbiakban mindig erről a modellről lesz szó.

### 2.2.1. Robot Operating System

Annak érdekében, hogy a fejlesztés során, ne kelljen folyamatosan egy fizikai da Vinci rendszerrel dolgozni, egy olyan környezetre van szükség ami képes biztosítani da Vinci robotot virtuálisan. Több rendszer elérhető mely robot programozás vezérlő környezetet biztosít, csak felsorolás szintjén néhány [28, 27], azonban az egyik legkorábbi és legnépszerűbb lehetőség a Robot Operating System [32] továbbiakban ROS. A ROS órási és növekvő közösséggel rendelkezik, *de facto* standard az iparban és kutatásban. Dolgozatomban több szempont miatt is a legjobb választásnak a ROS rendszer bizonyult. Attól a hátrányától eltekintve, hogy nem multiplatform azaz csak Ubuntu GNU/Linux és annak is csak bizonyos verzióihoz támogatott hivatalosan, rengeteg előnnyel rendelkezik. Sok robotvezérléssel kapcsolatos alapfunkciót tartalmaz, amit így nem kell újból megírni, biztosít egy jól elszeparált keretet külön a kommunikációra és az üzleti logikára.

#### Előnyei ♦

- Szabadon elérhető, nyílt forráskódú
- Kiforrót
- Népszerű
- Moduláris
- Kutatási célokhoz megfelelő
- Érthető, naprakész, jó dokumentáció áll rendelkezésre

#### Hátrányai ♦

- Nem multiplatform, csak Ubuntu GNU/Linux és annak is csak bizonyos verzióihoz elérhető

### 2.2.2. Da Vinci Research Kit

A da Vinci Research Kit továbbiakban dVRK egy nyílt forráskódú rendszer, ami lehetővé teszi a Da Vinci robot karok programozását [21]. Gyakorlatilag "firmware",-ként lehet rá tekinteni, ami képes meghajtani a robotkarokat. A ROS rendszerhez kapcsolódik, könnyen lehetséges az utasításait használni egy ROS modult biztosít használatra. A célkitűzéseimhez képest viszonylag alacsony-szintű da Vinci robotkarvezérlő utasítások kiadására alkalmas. Ennek a modulnak a segítségével lehetséges a ROS rendszerrel da Vinci robotot vezérelni, továbbá virtuálisan szimulált robotkar létrehozása is lehetséges. Erre keretrendszerre mindenképp szükség van amennyiben ROS rendszerhez szeretnénk kapcsolni a da Vinci robotot.

### 2.2.3. iRob Surgical Subtask Automation Framework

Nagy D. Tamás és Haidegger Tamás által fejlesztett keretrendszer továbbiakban SAF [10]. Alapvetően arra a célra készült, hogy részleges automatizáció segítségével levegye a sebészekről a kognitív terhelést. Részfolyamatok automatizálását teszi lehetővé a keretrendszer. A ROS rendszerben elérhető modulokat biztosít, a dVRK rendszerre épül. Használata során felépít egy hierarchikus modul rendszert, melynek a legmagasabb szintjén magas-szintű utasítások kiadása lehetséges. Számomra a céloknak tökéletesen megfelelő.

#### Előnyei ♦

- Szabadon elérhető, nyílt forráskódú
- Moduláris
- Alkalmas Kutatási célokhoz

- Érthető, naprakész, jó dokumentáció áll rendelkezésre

#### **Hátrányai ♦**

- Jelenleg fejlesztés alatt áll.

## **2.3. Kiterjesztett valóság**

A célok között szerepelt egy olyan funkció, melynek a segítségével lehetséges kiterjesztett valóság segítségével követni a játékmenetet. Itt szeretném részletezni a hasonló megoldásokat, azokról levont következtetéseket. A [6] kutatásból idézve kiterjesztett valóságot a következő módon definiálhatjuk. Az a rendszer, ami a következőket teljesíti:

- Kombinálja a valós és virtuális objektumokat a valós környezetben.
- Azonnal fut, és valós időben.
- Egymáshoz rögzíti (igazítja) a valós és virtuális objektumokat.

Továbbiban az AR rövidítést fogom használni. Virtuális objektumokat szeretnénk elhelyezni a kamera képen úgy, hogy azok mozgása a kamera 3D mozgásához igazodjon.

Több létező megoldás van AR elkészítéséhez, ezen megoldások összehasonlításáról lesz itt szó. A legtöbb esetben nagyobb gyártók szolgáltatásaként lehetséges használni.

### **2.3.1. Alternatív kiterjesztett valóság megoldások**

#### **Unity**

Unity Technologies által fejlesztet játékmotor. 2D és 3D számítógépes játékok elkészítésre alkalmas. Napjaink egyik, ha nem a legnépszerűbb játék fejlesztő motorja [16]. Rengeteg játékkészítéssel kapcsolatos funkciót biztosít. AR megvalósításához rendelkezik saját megoldással. Itt [22] egy példa látható arra, hogyan lehetséges a Unity beépített AR megoldását használni és milyen előnyök származnak ebből, illetve a Unity használatából. Az előbbi hivatkozott példában láthatjuk, hogy rengeteg kényelmi funkcióval rendelkezik, melyek használata, csupán kiterjesztett valóság rendszerekben, játékmotor nélkül, sokkal körülményesebb. További előnye, hogy a Unity rendszerrel készült alkalmazások az összes ma használatos platformra fordíthatóak.

#### **Előnyei ♦**

- Ingyenesen használható
- Érthető, naprakész, jó dokumentáció áll rendelkezésre
- Használata könnyű

#### **Hátrányai ♦**

- Nagyon nagy függőség
- Kifejezetten játék fejlesztésre van, rengeteg extra funkcióval rendelkezik
- Nem lehetséges csak modulként használni
- Feltétlen alkalmazkodni kell a használatához
- Nem nyílt a forráskódja

**Konklúzió ♦** Úgy gondolom, hogy túlságosan nagy erőforrás és munka pazarlás lenne Unity-t csak kiterjesztett valóság elkészítésére használni. Egyáltalán nem vagy csak nagyon sok plusz munka árán lehetne alkalmazásba integrálni, inkább az alkalmazást kellene a Unity-be integrálni használat esetén.

## Unreal Engine

Egy szoftver amely valósídejű 3D grafika készítésére készítettek [14]. Szűkebb értelemben játékmotornak is lehet nevezni. Szintén rendelkezik saját megoldással Virtuális valóság (VR), AR és kevert valóság (MR) számára is.

**Konklúzió** ♦ Többnyire ugyanazok igazak rá mint a Unity-re ezért külön nem tárgyalom. A fejlesztést marginálisan meghatározná, a motor használatához kellene alkalmazkodni.

## Mobil megoldások

**iOS ARKit** ♦ Az ARKit segítségével, Apple iOS platformra lehetséges AR alkalmazást készíteni [5]. A korábban említett különböző maga-szintű megoldások pl. Unity ezt a rendszert is használja, ha iOS platformra készítünk projektet. Egy AR alkalmazás számára szükséges összes funkciót megvalósítja, pl. a telefon kamera pozíció becslését, virtuális objektumok elhelyezését. Természetesen mint mobil megoldás, a telefon kameráját illetve szenzorrendszereit használja a működéshez.

**ARCore** ♦ Hasonlóan az ARKite-hez, az ARCore a modern Android operációs rendszerrel rendelkező telefonokon elérhető kiterjesztett valóságot biztosító API [4].

**Konklúzió** ♦ Az előbb említett megoldások használatához Andoid vagy iOS alkalmazás készítése szükséges. A legtöbb játékmotor is ezeket a megoldásokat használja mobil platformokon. Ezeknek a rendszereknek a teljes működése rejtett, egy API-t biztosítanak melyen keresztül lehetséges használni, ugyan az API-n keresztül minden kínált funkció elérhető ,a működéshez ezen túl nem lehet hozzáférni. Ezek a megoldások jól működnek, de egyedi igényeket nem lehetséges velük kiszolgálni. A működésüket nem lehet megismerni, továbbá zárt forráskódú rendszerek. Ezeket figyelembe véve, számomra nem megfelelőek.

## Egyéb kész megoldások

Itt olyan megoldásokat említek, melyeket kész alkalmazásként vagy könyvtárként lehetséges használni. Felsorolás szintjén a Vuforia [38], Wikitude [39]. Ezekről általánosan elmondható, hogy használatuk részben vagy teljesen nem ingyenes. Igyekeznek saját komplett felhőszolgáltatást kényszeríteni a használatához. Forráskódjuk ezeknek is zárt. Használatukhoz a biztosított API-t kell használni egyedi megoldások megvalósítása ezekkel is körülményes. A felsorolt hátrányok miatt számomra alapvetően nem alkalmasak használatra. Az EasyAR [13] és Kudan [23] rendszerek használata bizonyos feltételek mellett ingyenes, de forrásuk továbbra is zárt. Többnyire ezekre is igazak a fizetősekre felsorolt hátrányok.

## Egyedi megoldás

Egy jó lehetőség lehet, saját kiterjesztett valóság megvalósítása, ingyenes program könyvtárak segítségével. Azt értem az ilyen megoldás alatt, hogy a készítés során alacsonyabb-szintű gépi látás könyvtár segítségével egy saját kiterjesztett valóság szolgáltatást építünk. Egy ilyen megoldásnak több nehezebb feladatot kell tudni megoldania. A kiterjesztett valóság elkészítése a feladat és nem pedig mint AR szolgáltatás használata. Elkészítése a korábbiaknál nagyobb kihívást jelent. Az elérhető "kész., alkalmazások, könyvtárak komplett fejlesztő csapatok által, több év óta folyamatosan fejlesztés alatt vannak. Így teljesítmény szempontjából ezekkel szemben felvenni a versenyt szerintem lehetetlen, viszont modularitás és megérthetőség szempontjából úgy gondolom, hogy van értelme megpróbálni. A különböző megvalósítási lehetőségek megértése és adott feladathoz történő választása továbbra is egy előny, mert nem feltétlen kell általános megoldást készíteni.

Az egyik legnépszerűbb és legjobban elterjedt gépi látással kapcsolatos programkönyvtár az eredetileg Intel által fejlesztett, majd később nyílt forráskódú közösség által, a mai napig is folytatott OpenCV [8]. Az OpenCV [31] [3]

### 2.3.2. Választott módszer

Számomra fontos volt, hogy az AR rendszer átlátható legyen, nem csak egy használható, de a működését megismerhető rendszert szeretnék használni. Korábban már többször említettem, hogy különböző játékmotorok használatát elvettem, mert túlságosan alkalmazkodni kellene hozzá.

A felsorolt (többnyire) zárt könyvtárak, használata sem biztosítja a megfelelő szabadságot, továbbá előnytelennek találtam azt, hogy forrásuk zárt.

	Játékmotorok	(Részben) fizetős könyvtárak	Egyedi megoldás
Forráskód	Zárt	Zárt	Nyílt
AR Sebesség	Jól optimalizált	Jól optimalizált	A fejlesztő feladata az optimalizáció
Egyedi igények	A maga játékmotor kínál rengeteg lehetőséget, hozzáköt a motorhoz	Saját ökoszisztémát nyújt, vagy korlátozottak a lehetőségek	Teljes mértékben lehetőségünk van egyedi igények megvalósításra
Ár	Bizonyos feltételek mellett ingyenes	Bizonyos feltételek mellett ingyenes	Ingyenes

2.1. ábra. Főbb AR lehetőségek összehasonlítása

A különböző megoldásokat összehasonlítva, a saját AR megoldás megvalósítása mellett döntöttem. Fő indokom, egy olyan rendszer készítése, melynek a működése megérthető ennél fogva, amennyire lehetséges nem támaszkodik fekete-dobozokra.

## 2.4. Mások által elkészült tanulmányozható megoldások

todo

## 2.5. Saját AR elméleti felépítése

Annak érdekében, hogy saját AR rendszert készítek, igyekeztem utána járni a lehetséges módszereknek, és azok alapfogalmainak. Alapvetően abból indultam ki, hogy egy átlagos telefon kameraképeivel működjön a rendszer, így reális minőségű képekkel tudok dolgozni.

### 2.5.1. Kamera kalibráció

Kalibrált képen a valóságban egyenes szakaszok a képeken is így fognak megjelenni. Egy kamera rendelkezik külső és belső tulajdonságokkal.

**Külső tulajdonság** ♦ Így nevezzük, a 3D pozíció és orientáció együttesét. Az előbb említett összetett tulajdonság különösebb bizonyítás nélkül belátható, hogy egy transzformációs mátrix segítségével leírható.

**Belső tulajdonság** ♦ Összetett tulajdonság mátrixban tárolva. A kamera középpontjának koordinátáit, a pixelek méreteit tartalmazza. A kamerák képei nem tökéletesek. Tangenciális torzulás lehetséges az objektív miatt, ezt hívják halszem hatásnak is, ennek a korrigálását teszi lehetővé ezen tulajdonságok pontos meghatározása.

A kamera külső és belső paramétereinek megismerése érdekében a kamerakalibráció egy szükséges lépés a 3D gépi látáshoz. Itt [40] láthatunk, egy napjainkban is elterjedt módszer működését.

**A bemutatott módszer előnyei** ♦

- Nem igényel különösebben drága felszelést.
- A folyamat könnyen kivitelezhető a kamera, mintázat szabad kézzel tartható
- Pontosabb mint, az automatikus kalibrációs módszerek.

## fejezet 3

# Részletes munkaterv

asdasd

## fejezet 4

# Megvalósítás

### 4.1. Kézvezérlés

### 4.2. Kamera mozgás becslés

#### 4.2.1. Markerek keresése

### 4.3. Da Vinci vizuális programozási környezete

A korábbi irodalomkatatásban arra a következtetésre jutottam hogy a Blockly rendszert fogom használni a grafikus programozás megvalósítására. A da Vinci kar programozásának a példáján keresztül fogom bemutatni a létrehozott vizuális programozási környezetet. A Blockly egy JavaScript könyvtár melyet böngészőből lehetséges használni. Az Blockly használatával készült weboldal kiszolgálásához NodeJS szervert választottam. Úgy gondolom, hogy NodeJS segítségével kellőképpen egyszerűen lehetséges a weboldal kiszolgálása és WebSocket szerver készítése is könnyen megvalósítható. A NodeJS szerver segítségével három fontosabb modult létrehoztam. A vizuális programozást biztosító továbbiakban "editor,, modul, a felhasználó által létrehozott ágens futtatására alkalmas "view,, modul és a különböző felhasználók adminisztratív kezelésére szolgáló "control,, modul.

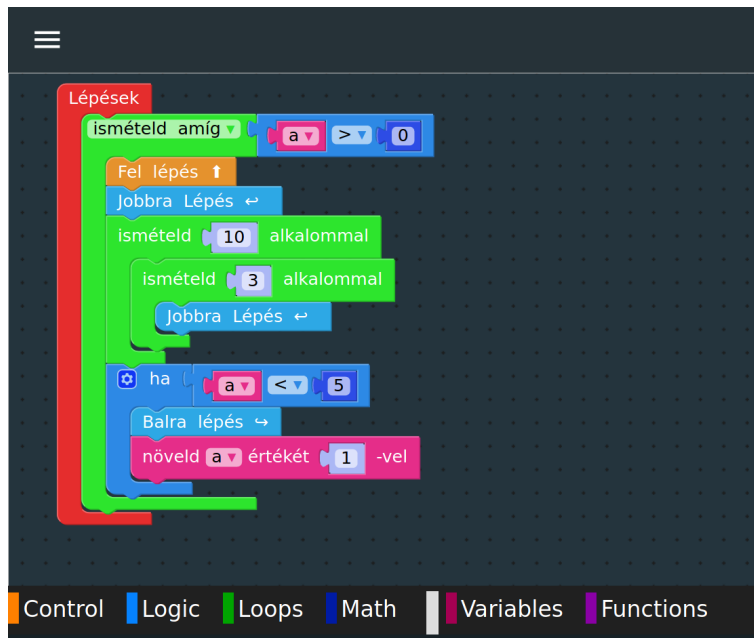
#### 4.3.1. Control

Ennek a modulnak a segítségével ki tudjuk listázni az alkalmazáshoz csatlakozott felhasználókat. A csatlakozott felhasználók által létrehozott Blockly utasítás struktúrák minden módosításkor automatikusan mentésre kerülnek. A "control,, modul segítségével lehetséges egy felhasználó egy mentett struktúrájának a betöltése a "view,, modulba. Az teljes alkalmazásnak van olyan funkciója melynek segítségével a felhasználók által létrehozott ágensok küzdhetnek egymással, ennek a kezelése is ebből a modulból érhető el ez keserűbb részletezem. Jelen példában maradunk a da Vinci programozásánál. A da Vinci számára létrehozott algoritmust miután betöltjük a "view,, modulba akkor "control,, modulnak van lehetősége azt elindítani a da Vinci rendszeren.

#### 4.3.2. Editor

Ez a modul ténylegesen használja a Blockly könyvtárat. Böngészőből a felhasználóknak van lehetősége ezt a modult használni. Ennek a segítségével vizuálisan lehetséges algoritmusokat létrehozni. A da Vinci rendszert programozásához szükséges volt egyedi utasítások létrehozása, hogy a da Vinci rendszer számára tudjunk magas-szintű utasításokat létrehozni. Jelen esetben még csak tárgyak megfogásának utasítását lehetséges használni.





4.1. ábra. A felhasználó által használható editor felület.

### 4.3.3. View

Ebbe a modulba töltjük a felhasználók által létrehozott algoritmust, illetve itt van lehetőség annak futtatására. A "control" modul tölti be a kiválasztott felhasználó Blockly utasításait, a Blockly utasítások JavaScript nyelvi utasításokra fordulnak ebben a modulban. A különböző Blockly utasítások számára itt lehetséges egyedi JavaScript utasításokat definiálni. A JavaScript-re fordított ágens kódját "JS-Interpreter", segítségével futtatom [19]. A "JS-Interpreter", egy JavaScriptben írt JavaScript értelmező "sandbox", környezet, melyben biztonságosan van lehetőségem elválasztani az ágens kódjait a böngésző valós JavaScript motorjától. Az ágens kódja csak és kizárólag egyedileg definiált függvények segítségével tudnak kommunikálni a valós környezettel ezt a dokumentáció "API hívásnak", nevezi, jelen esetben a "JS-Interpreter"-t könyvtárat használó fejlesztő feladata a hivatkozott "API", elkészítése. Az utasítások végrehajtása nem valós-időben történik, folyamatosan megvárja a utasítás végrehajtásának sikerességét.

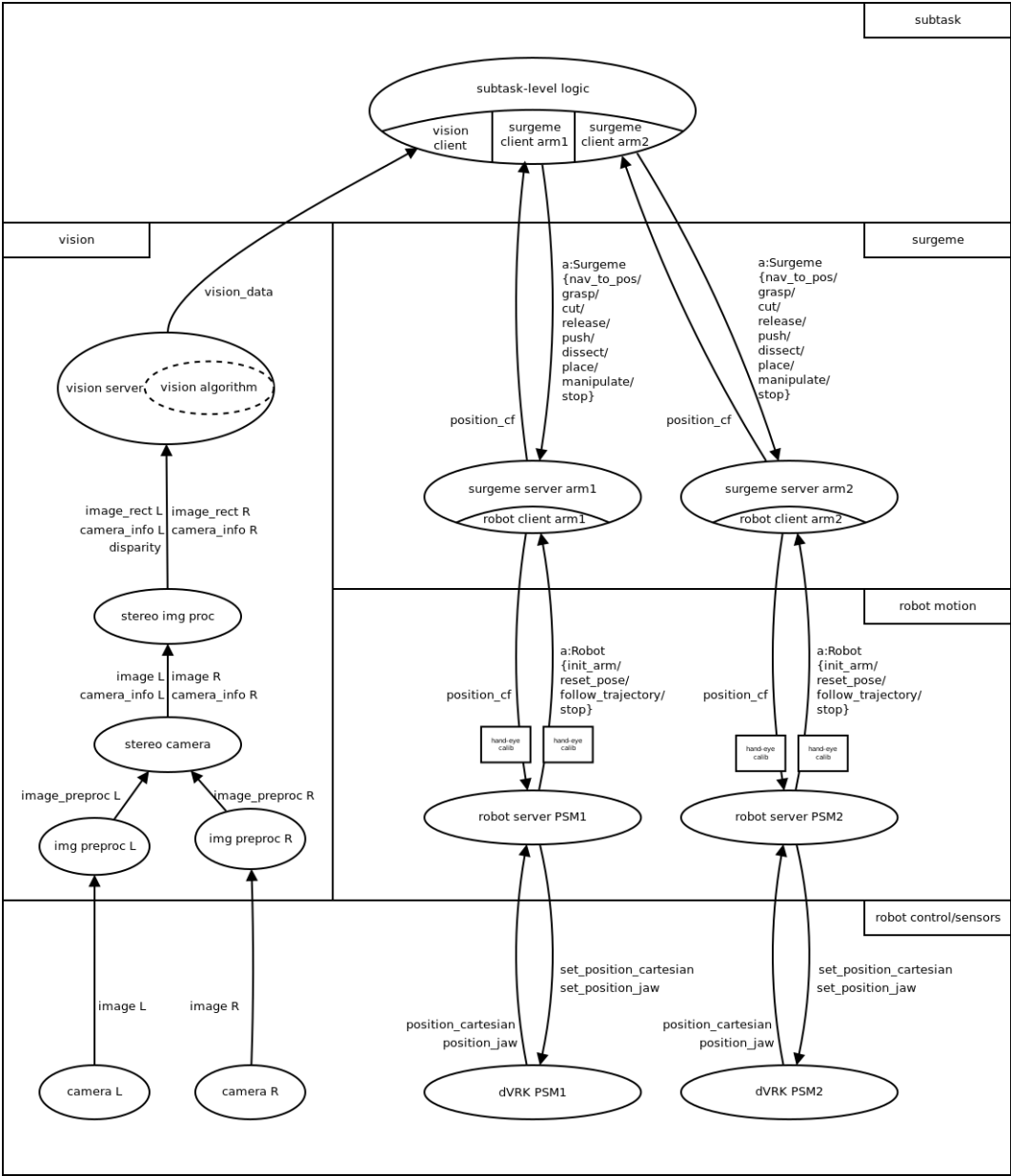


4.2. ábra. A da Vinci számára történő utasítás kiadására alkalmas Blockly vezérlési szerkezet

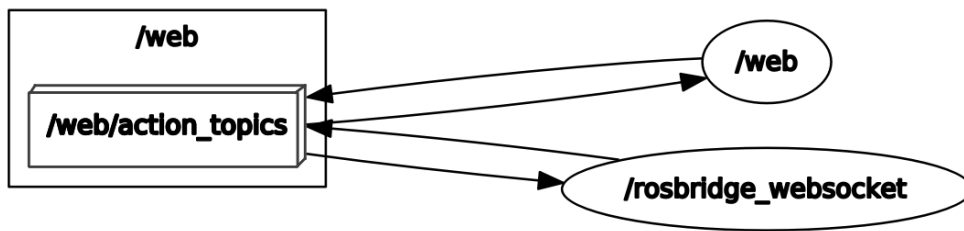
## 4.4. Da Vinci webes elérhetősége

Először meg kellett ismerkednem a ROS architektúra és a korábban részletezett 2.2.3 SAF keretrendszer használatával. A SAF felépítését a 4.4 ábra szemlélteti. A SAF "subtask", nevű legfelső moduljában található "megfogás", művelet külső meghívásának megvalósítását készítettem el. A meglévő SAF kódból leágazva Létrehoztam egy ROS web modult, amely ROS action kezelésére alkalmas. Az új modul a "web", témakörre van feliratkozva, innen vár goal definíciókat, amiket kiszolgálhat. Jelenleg csak a megfogás művelet van implementálva, de később kibővíthető a további műveletek elvégzésére is. ROS szolgáltatásként lehetséges elindítani a webes modult. Összefoglalva a következőképpen működik:

a ROS web modul a következő részben ismertetett Standard ROS JavaScript könyvtár segítségével lehetséges megszólítani. A webes kérés ROS action formában érkezik. Amennyiben kérés érkezett a SAF iRob Surgical Subtask Automation Framework modult hívja a kérésnek megfelelő utasítással. A mennyiben a kiadott utasítás sikeresen befejeződött ezt egy action alapértelmezett műjkedésének megfelelően egy sikeres callback függvény segítségével visszajelzi a kérést kiadó böngészőnek. A böngésző és a ROS közötti kommunikáció a Standard ROS JavaScript könyvtár működéséből következően WebShocket protokollon keresztül történik. A WebShocket protokoll előnye a http-vel szemben, hogy kétirányú kapcsolat könnyű kialakítására alkalmas.



4.3. ábra. A SAF sematikus működése, felépítése [2]



4.4. ábra. ROS web node ki/be meneteli csatlakozásai

### 4.4.1. Standard ROS JavaScript könyvtár

A Standard ROS JavaScript könyvtár továbbiakban *roslibjs* a Robot Web Tools része [37]. Alap JavaScript könyvtár, ami a ROS környezettel való böngészőből történő interakció kialakítására készített. A Robot Web Tools olyan eszközök fejlesztésének gyűjteménye melyek célkitűzése a ROS rendszer böngészőből történő használatához készítenek, napjainkban is folyamatosan egyre több funkciót lehetséges elérni benne. A könyvtár két részből áll. Biztosít egy JavaScript könyvtárat melyen keresztül kéréseket tudunk megfogalmazni a ROS szerver számára nevezzük ezt most JavaScript könyvtárnak. A Robot Web Tools legfontosabb része a *rosbridge* protokoll ami a kiadott kérések fogadására van. A *rosbridge\_server* egy ROS szolgáltatás amit el kell indítani, hogy továbbítsa a kéréseinket megfelelő modulok számára.

#### JavaScript könyvtár

A segítségével ROS alapértelmezett kommunikációs rendszeréhez lehet kéréseket küldeni, üzenet küldések, szervizhívások, és akcióhívások segítségével. A hívás válaszkor egy eseménykezelő *callback* függvény meghívódik (WebShocket-es esemény hatására), amiben le tudjuk kezelni, hogy mi történjen a kiadott utasítás után. Mint korábban már említettem a hálózati kommunikáció a WebShocket protokoll [15] használatával történik, ennek a segítségével hálózaton keresztül egyszerű esemény alapú programozást lehet megvalósítani, a JavaScript az ilyen típusú programozás közkedvelt nyelve.

## 4.5. Da Vinci vizuális programozás összefoglaló

A ROS modulok használata jelenleg Ubuntu 16.04-es verzióval van tesztelve. A Web modulokat én a mindenkor legfrissebb Manjaro Linux alól tesztelem, de elvi szinten bármilyen disztribúció alkalmas ezek használatra, a megfelelő függőségek feltelítése után. Az Ubuntu 16.04-et javaslok virtualizált környezetben futtatni. Az alkalmazás szimulációval történő da Vinci programozás használatához a következőket kell tenni. A SAF keretrendszer leírásának megfelelően el kell indítani egy dVRK PSM kar szimulációt [**irobotics2020May**]. Majd egy SAF "dummy", objektumot kell elhelyezni a szimulációban. A szimulált kar állapotát "home,, pozíció kell hozni. "Dummy vision,, elindítás is szükséges. Következő szükséges lépés továbbra is a leírásának megfelelően *irob\_robot* szolgáltatás majd *surgeme\_server* szolgáltatás elindítása. A leírástól eltérve kell folytatni. Ez után a *web\_actions* modul futtatása szükséges. Következő lépésként pedig a " *rosbridge\_websocket*,, futtatása szükséges. Ezek után meg vagyunk ROS oldalról. A következőkben az NodeJS szerver modul leírásának megfelelő utasítások futtatása szükséges [1]. Amennyiben ezzel is megvagyunk az alkalmazás localhost hálózton elindította szolgáltatásait. Melyet modern böngészők segítségével el lehet érni.

# Irodalomjegyzék

- [1] aaronrancsik. *thecodergames*. [Online; accessed 20. May 2020]. 2020. máj. URL: [https://github.com/aaronrancsik/thecodergames/tree/fork\\_old\\_version\\_for\\_demo](https://github.com/aaronrancsik/thecodergames/tree/fork_old_version_for_demo).
- [2] Abc-irobotics. *irob-saf*. [Online; accessed 18. May 2020]. 2020. máj. URL: <https://github.com/ABC-iRobotics/irob-saf/blob/master/docs/irob-autosurg-blockdiagram.png>.
- [3] *About*. [Online; accessed 23. May 2020]. 2020. máj. 23. URL: <https://opencv.org/about>.
- [4] *ARCore API reference* | *Google Developers*. [Online; accessed 21. May 2020]. 2020. máj. 12. URL: <https://developers.google.com/ar/reference>.
- [5] *ARKit* | *Apple Developer Documentation*. [Online; accessed 21. May 2020]. 2020. máj. 21. URL: <https://developer.apple.com/documentation/arkit>.
- [6] Ronald Azuma és tsai. „Recent advances in augmented reality”. *IEEE computer graphics and applications* 21.6 (2001), 34–47. old.
- [7] *Blockly* | *Google Developers*. [Online; accessed 4. Mar. 2020]. 2020. febr. URL: <https://developers.google.com/blockly>.
- [8] G. Bradski. „The OpenCV Library”. *Dr. Dobb’s Journal of Software Tools* (2000).
- [9] Stephen Cooper, Wanda Dann és Randy Pausch. „Alice: a 3-D tool for introductory programming concepts”. *Journal of computing sciences in colleges* 15.5 (2000), 107–116. old.
- [10] Tamás D. Nagy és Tamás Haidegger. „A DVRK-based Framework for Surgical Subtask Automation”. *Acta Polytechnica Hungarica, Special Issue on Platforms for Medical Robotics Research* 16.8 (2019), 61–78. old.
- [11] Sebastian Deterding és tsai. „From game design elements to gamefulness”. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference on Envisioning Future Media Environments - MindTrek 11*. ACM Press, 2011. DOI: 10.1145/2181037.2181040.
- [12] James Devine és tsai. „MakeCode and CODAL: intuitive and efficient embedded systems programming for education”. *ACM SIGPLAN Notices* 53.6 (2018), 19–30. old.
- [13] *EasyAR-Best engine for developing Augmented Reality*. [Online; accessed 22. May 2020]. 2020. máj. 15. URL: <https://www.easyar.com>.
- [14] Epic Games. *Unreal Engine* | *The most powerful real-time 3D creation platform*. [Online; accessed 21. May 2020]. 2020. máj. 21. URL: <https://www.unrealengine.com/en-US>.
- [15] Ian Fette és Alexey Melnikov. *The websocket protocol*. 2011.
- [16] John K Haas. „A history of the unity game engine”. (2014).
- [17] Brian Harvey és tsai. „Snap!(build your own blocks)”. *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education*. 2013, 759–759. old.
- [18] Jennifer Jenson és Milena Droumeva. „Exploring Media Literacy and Computational Thinking: A Game Maker Curriculum Study.” *Electronic Journal of e-Learning* 14.2 (2016), 111–121. old.
- [19] *JS-Interpreter Documentation*. [Online; accessed 20. May 2020]. 2020. febr. URL: <https://neil.fraser.name/software/JS-Interpreter/docs.html>.

- [20] KM Kahn és tsai. „AI programming by children using snap! block programming in a developing country”. (2018).
- [21] Peter Kazanzides és tsai. „An open-source research kit for the da Vinci® Surgical System”. *2014 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*. IEEE. 2014, 6434–6439. old.
- [22] Sung Lae Kim és tsai. „Using Unity 3D to facilitate mobile augmented reality game development”. *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. IEEE. 2014, 21–26. old.
- [23] Kudan. [Online; accessed 22. May 2020]. 2020. máj. 22. URL: <https://www.xlsoft.com/en/products/kudan>.
- [24] Jiangjiang Liu és tsai. „Making games a" snap" with Stencyl: a summer computing workshop for K-12 teachers”. *Proceedings of the 45th ACM technical symposium on Computer science education*. 2014, 169–174. old.
- [25] John Maloney és tsai. „The scratch programming language and environment”. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)* 10.4 (2010), 1–15. old.
- [26] Jens Monig, Yoshiki Ohshima és John Maloney. „Blocks at your fingertips: Blurring the line between blocks and text in GP”. *2015 IEEE Blocks and Beyond Workshop (Blocks and Beyond)*. IEEE. 2015, 51–53. old.
- [27] Michael Montemerlo, Nicholas Roy és Sebastian Thrun. „Perspectives on standardization in mobile robot programming: The Carnegie Mellon navigation (CARMEN) toolkit”. *Proceedings 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003)(Cat. No. 03CH37453)*. 3. köt. IEEE. 2003, 2436–2441. old.
- [28] MRPT – Empowering C++ development in robotics. [Online; accessed 20. May 2020]. 2020. máj. URL: <https://www.mrpt.org>.
- [29] Yoshiki Ohshima, Jens Mönig és John Maloney. „A module system for a general-purpose blocks language”. *2015 IEEE Blocks and Beyond Workshop (Blocks and Beyond)*. IEEE. 2015, 39–44. old.
- [30] Erik Pasternak, Rachel Fenichel és Andrew N Marshall. „Tips for creating a block language with blockly”. *2017 IEEE Blocks and Beyond Workshop (B&B)*. IEEE. 2017, 21–24. old.
- [31] Kari Pulli és tsai. „Real-time computer vision with OpenCV”. *Communications of the ACM* 55.6 (2012), 61–69. old.
- [32] Morgan Quigley és tsai. „ROS: an open-source Robot Operating System”. *ICRA workshop on open source software*. 3. köt. 3.2. Kobe, Japan. 2009, 5. old.
- [33] Mitchel Resnick és tsai. „Scratch: programming for all”. *Communications of the ACM* 52.11 (2009), 60–67. old.
- [34] Marc Riar és tsai. „How game features give rise to altruism and collective action? Implications for cultivating cooperation by gamification”. *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*. 2020.
- [35] Scratch - Developers. [Online; accessed 4. Mar. 2020]. 2019. jan. URL: <https://scratch.mit.edu/developers>.
- [36] Pradeeka Seneviratne. „MakeCode Setup Fundamentals”. *BBC micro: bit Recipes*. Springer, 2019, 1–28. old.
- [37] Russell Toris és tsai. „Robot web tools: Efficient messaging for cloud robotics”. *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE. 2015, 4530–4537. old.
- [38] Vuforia: Market-Leading Enterprise AR. [Online; accessed 22. May 2020]. 2020. jan. 8. URL: <https://www.ptc.com/en/products/augmented-reality/vuforia>.
- [39] Wikitude Augmented Reality: the World's Leading Cross-Platform AR SDK. [Online; accessed 22. May 2020]. 2020. máj. 22. URL: <https://www.wikitude.com>.

- [40] Zhengyou Zhang. „Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations”. *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*. 1. köt. Ieee. 1999, 666–673. old.

# Ábrák jegyzéke

2.1. Főbb AR lehetőségek összehasonlítása . . . . .	11
4.1. A felhasználó által használható editor felület. . . . .	15
4.2. A da Vinci számára történő utasítás kiadására alkalmas Blockly vezérlési szerkezet . .	15
4.3. A SAF sematikus működése, felépítése [2] . . . . .	16
4.4. ROS web node ki/be meneteli csatlakozásai . . . . .	17