VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ REALITY V RÁMCI PRŮMYSLU 4.0

APPLICATION OF VIRTUAL REALITY IN THE SCOPE OF INDUSTRY 4.0

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Filip Veškrna

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Tomáš Hůlka

SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automatizace a informatiky
Student:	**Bc. Filip Veškrna**
Studijní program:	Aplikovaná informatika a řízení
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	**Ing. Tomáš Hůlka**
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití virtuální reality v rámci průmyslu 4.0

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta bude nejprve stručná rešerše zabývající se možnostmi využití virtuální a rozšířené reality v rámci průmyslu 4.0. Dále pak student vytvoří VR aplikaci umožňující spojení více osob do společného prostředí. Vytvořenou aplikaci student doplní o další funkcionality jako např. prezentační či tréninkové prostředí a celou aplikaci, včetně přidaných funkcionalit, poté otestuje.

Cíle diplomové práce:

Rešerše problematiky využití virtuální a rozšířené reality v kontextu průmyslu 4.0.
Vytvoření aplikace pro virtuální realitu umožňující spojení více osob.
Obohacení vytvořené VR aplikace o další funkcionality typu: prezentační prostředí, prostředí pro demonstraci modelu, interaktivní tréninkové prostředí pro zaučení či prostředí pro vzdálenou diagnostiku.
Otestování funkčnosti VR aplikace a přidaných funkcionalit.

Seznam doporučené literatury:

WANG, S., MAO, Z., ZENG, C., GONG, H., LI, S. and CHEN, B.: A new method of virtual reality based on Unity3D, 2010 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, 2010, pp. 1-5.

TRENHOLME, D., SMITH, S.P.: Computer game engines for developing first-person virtual environments, Virtual Reality (2008) 12: 181.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává o tématice průmyslu 4.0, využití technologie virtuální reality a vývojového prostředí Unity3D. V praktické části je vytvořena aplikace zajišťující spojení více osob ve virtuálním prostředí s možností využití brýlí virtuální reality nebo osobního počítače. Vytvořená aplikace obsahuje tři demonstrační scény ukazující možnosti využití, mezi které patří zasedací místnost, školní učebna a průmyslová hala. Každá ze scén je obohacena o specifické funkce.

ABSTRACT

This thesis deals with the topic of Industry 4.0, the use of virtual reality technology, and the Unity3D development environment. In the practical part, an application is created that enables multiple people to connect in a virtual environment with the option of using virtual reality headset or a personal computer. The created application contains three demonstration scenes showing the possibilities of use, including a conference room, a school classroom, and an industrial hall. Each scene is enhanced with specific functions.

KLÍČOVÁ SLOVA

Virtuální realita, Unity3D, průmysl 4.0, virtuální konferenční místnost, virtuální učebna, virtuální průmyslová hala

KEYWORDS

Virtual reality, Unity3D, industry 4.0, virtual conference room, virtual classroom, virtual industrial hall

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

2023

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VEŠKRNA, Filip. Využití virtuální reality v rámci průmyslu 4.0. Brno, 2023. Dostupné také z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149729. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Tomáš Hůlka.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Tomášovi Hůlkovi za odborné vedení práce. Dále děkuji Bc. Šimonovi Dolákovi a Bc. Václavovi Rymešovi za pomoc při testování aplikace.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 20. 5. 2023 ……

Filip Veškrna

OBSAH

1 ÚVOD ... 15
2 PRŮMYSL 4.0, VYUŽITÍ VR A UNITY3D ... 17
2.1 Co je to průmysl 4.0 ... 17
2.2 Využití virtuální a rozšířené reality v rámci průmyslu 4.0 ... 19
2.2.1 Výběr vhodného headsetu z hlediska využití a ceny ... 19
2.3 Digitální dvojče a jeho aplikace ve virtuální realitě ... 20
2.4 Unity3D jako nástroj k vytvoření aplikace pro virtuální realitu ... 22
3 VLASTNÍ ŘEŠENÍ ... 25
3.1 Představení programu a jeho možnosti využití ... 25
3.1.1 Uživatelské prostředí ... 26
3.2 Dostupné scény ... 31
3.2.1 Meeting Room ... 31
3.2.2 Classroom ... 33
3.2.3 Workshop ... 34
3.3 Jiné programy stejného typu ... 42
3.4 XR interaction toolkit jako framework pro využití VR ... 43
3.4.1 Input system ... 44
3.4.2 XR Origin ... 45
3.5 Reprezentace uživatele pomocí Avataru ... 47
3.6 Networking ... 49
3.6.1 Hierarchie sítě (Server – lobby – rooms - scény) ... 50
3.6.2 Propojení a autentizace ... 51
3.6.3 Komponenty zajišťující funkcionalitu ... 52
4 ZÁVĚR ... 55
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 61
SEZNAM PŘÍLOH ... 63
PŘÍLOHY ... 65

1 ÚVOD

Čtvrtá průmyslová revoluce, trend známý také jako průmysl 4.0, masivně využívá nové digitální technologie v průmyslu a přináší s sebou nové možnosti, jak zvýšit efektivitu a konkurenceschopnost. Mezi klíčové technologie patří kromě jiné virtuální realita, nástroj, který umožní firmám zavést nový způsob, jak zobrazovat data, optimalizovat procesy, nebo například školit zaměstnance tak, jak to žádná jiná technologie nedokáže. Virtuální realita má v průmyslu široké možnosti využití, a právě tomu se věnuje tato práce.

V teoretické části je nastíněna tématika průmyslu 4.0, jaké jsou její zásady a čím se definuje takzvaná chytrá továrna. Dále se v teoretické části rozebírá, jakým způsobem lze virtuální realitu v rámci průmyslu 4.0 využít a jakou roli hraje v kombinaci s digitálním modelem.

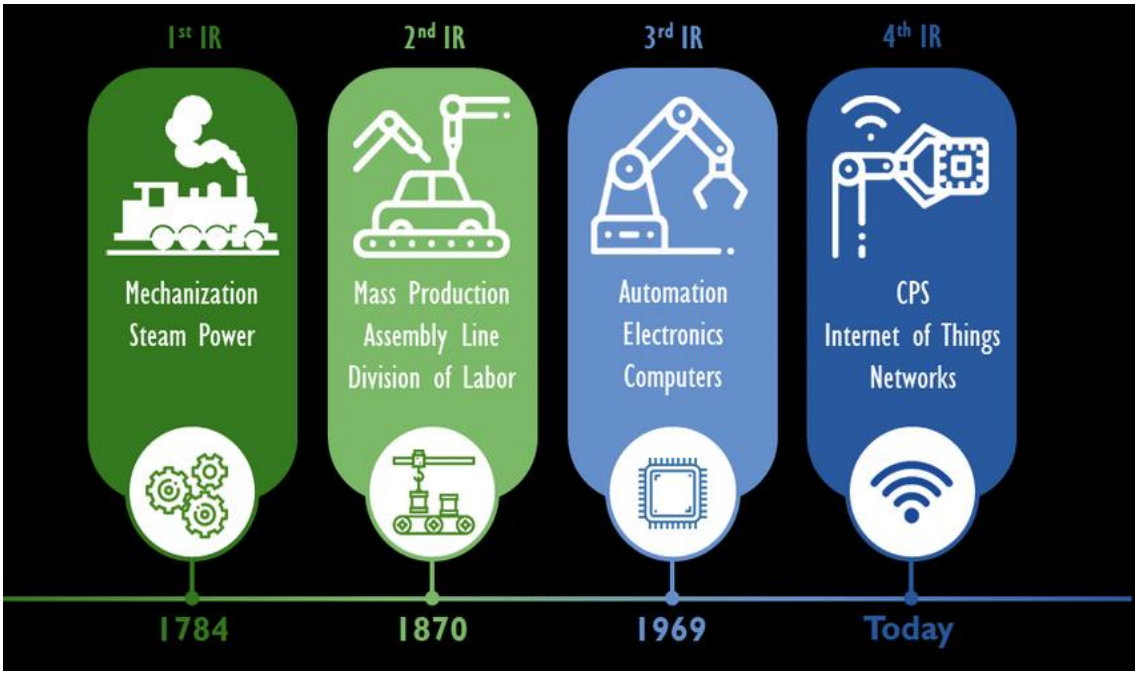
Součástí práce je vytvoření desktopové aplikace, která umožní uživatelům spojení ve virtuálním světě, ať už za využití virtuální reality, nebo za pomocí osobního počítače v kombinaci s klávesnicí a myší. Vytvořená aplikace si dává za úkol imitovat různá reálná prostředí a za pomocí nejnovějších technologií převést klíčové funkce do světa virtuálního. Mezi tyto funkce patří například prezentační prostředí nebo virtuální digitální tabule, která umožňuje klasické psaní fixou a zároveň využívá možností virtuálního světa pro další funkce. Obsahově největším prostředím programu je průmyslová hala, kde lze prezentovat digitální kopie výrobních linek či přístrojů, a zároveň pomocí virtuální reality testovat funkčnost zařízení, nebo například školení zaměstnanců bez potřeby fyzického stroje.

2 PRŮMYSL 4.0, VYUŽITÍ VR A UNITY3D

Již od první průmyslové revoluce je snahou zefektivnit a urychlit hospodářství. První průmyslová revoluce měla za snahu nahrazení ruční práce pomocí strojů, využívající především parní sílu, druhá průmyslová revoluce tento koncept posunula na vyšší úroveň použitím elektřiny a třetí průmyslová revoluce za pomocí počítačů, robotů a automatizovaných systémů zefektivnila celý proces výroby [1].

2.1 Co je to průmysl 4.0

Čtvrtá průmyslová revoluce (Průmysl 4.0) tuto myšlenku dále rozšiřuje pomocí digitalizace technologií, robotice nebo například pomocí umělé inteligence. Cílem této průmyslové revoluce, jako každé předchozí, je zlepšit produktivitu, efektivitu výroby a zároveň minimalizovat potřebu lidské práce [1].



Obr. 1: Přehled průmyslových revolucí [1]

Německo je jedním z nejvíce průmyslově vyspělých států v oblasti výroby, a tak v návaznosti na rostoucí trend čtvrté průmyslové revoluce přišlo se strategickým plánem pro implementaci průmyslu 4.0. Tento plán lze shrnout v následujících bodech: vybudování sítě, vývoj v oblastech chytré továrny a inteligentní produkce, horizontální, vertikální a end-to-end integrace, a osmi bodový plánovací proces [2].

Vybudování sítě

Cyber-Physical System (CPS), je speciálním typem sítě, jehož účelem je propojení všech fyzických přístrojů s internetovou sítí [3]. Tato síť poté umožňuje několik funkcí, jako

například výpočet parametrů, komunikaci, kontrolu přesnosti, koordinaci a autonomii. Tato síť propojuje fyzický svět se světem digitálním a přináší koncept chytré továrny a inteligentní výroby [4].

Vývoj oblastí chytré továrny a inteligentní výroby

Chytrá továrna neboli továrna propojená sítí CPS, je moderním typem průmyslové továrny, která využívá pokročilé technologie, jako například umělou inteligenci, robotiku nebo 3D tisk. Spolu s konceptem inteligentní výroby poté tvoří vysoce flexibilní a propojený systém. Kromě propojení systému s člověkem se jedná také o propojení jednotlivých komponent továrny mezi sebou. To má za následek snadnou změnu výrobního procesu tak, aby se přizpůsobil dané úloze [5].

Horizontální, vertikální a end-to-end integrace

Horizontální integrace značí propojení mezi továrnou a sítí, která poté umožní snadnou komunikaci mezi jednotlivými společnostmi a vytvoří se tak vysoce efektivní výrobní řetězec. Vertikální integrace naopak umožňuje změnu postupu výroby tak, aby se adaptovala na personalizovanou zakázkovou výrobu namísto toho, aby byla daná výrobní linka fixována na jeden typ výrobního procesu [6].

End-to-end integrace znamená inženýrskou a numerickou integraci napříč celým výrobním a dodavatelským řetězcem. V praxi to znamená, že všechny fáze výroby, od vývoje až po prodej a distribuci, jsou propojeny pomoci digitálních technologií a umožňují tak zvýšenou efektivitu, rychlost, přesnost a snížení nákladů [7].

Osmibodový plánovací proces

Tento proces označuje osm klíčových kroků pro úspěšné zavedení a využití konceptů průmyslu 4.0 a jsou následující [2]:

1) Zavedení standardů tak, aby mezi sebou jednotlivé továrny a společnosti mohli bezproblémově komunikovat.
2) Optimalizace a plánování – továrny čtvrté průmyslové revoluce jsou velké, složité systémy a jejich efektivní řízení vyžaduje výstižné plány a modely jednotlivých systémů.
3) Zajištění spolehlivé komunikace – komunikační nástroje musí splňovat přísné podmínky tak, aby nedocházelo k chybám v komunikaci, které by měli za následek nesprávné fungování továrny.
4) Bezpečnost práce – mělo by být dbáno na maximální zajištění bezpečného prostředí pro zaměstnance tak, aby se nevyskytovaly žádné zdravotní a bezpečností rizika.
5) Vytvoření bezpečné a spolehlivé IT infrastruktury pro zabezpečení dat a informací.
6) Trénování a rozvoj znalostí pracovníků – každý zaměstnanec by měl mít dostatečné znalosti k provozu spravovaného systému a zároveň by měl mít možnost rozšiřovat svoje znalosti nad rámec těch povinných.

7) Vytvoření regulačního rámce – nové inovace a vedení podniku přinášejí řadu problémů jako například správu podnikových dat, osobních údajů a různé omezení obchodu. Všechny tyto právní náležitosti je zapotřebí regulovat pomocí standardů, smluv, nebo například auditů.
8) Zvýšení efektivity používaných zdrojů – použití nových materiálů, procesů a technologií přináší zvýšenou efektivitu, je ale zapotřebí zdroje regulovat tak, aby nedocházelo k nadměrnému plýtvání a znečišťování životního prostředí.

2.2 Využití virtuální a rozšířené reality v rámci průmyslu 4.0

Virtuální a rozšířená realita otevírá nové možnosti v průmyslu 4.0. Dovoluje vytvářet a ovládat virtuální prostředí takovým způsobem, jako to žádný jiný způsob nedokáže. Posilňuje uživatelský zážitek pomocí ponoření uživatele do prostoru a umožňuje mu využívat více stupňů volnosti oproti běžným řešením. Tohoto se dá silně využít v mnoha případech, jako například při trénování nových zaměstnanců na stroji bez nutnosti přítomnosti fyzického zařízení, vizuální kontrola v návrhové části a podobně [8]. Virtuální realita najde své uplatnění ve všech fázích vývoje, v předběžné návrhové části, ve studiích finálního výrobku pomocí virtuální kopie nebo například v monitorování běhu výrobní linky či jiného zařízení [9].

Implementace virtuální a rozšířené reality s sebou přináší ale i mnohé komplikace. Mezi největší se řadí vysoké náklady, které zahrnují samotné pořízení vhodných zařízení a náklady na vývoj a údržbu softwarového řešení. Je zapotřebí také zajistit, aby vytvořený model dostával co nejpřesnější data a byl schopen tyto data prezentovat v co největší frekvenci tak, aby výsledný produkt působil co nejpřesněji jako reálný.

2.2.1 Výběr vhodného headsetu z hlediska využití a ceny

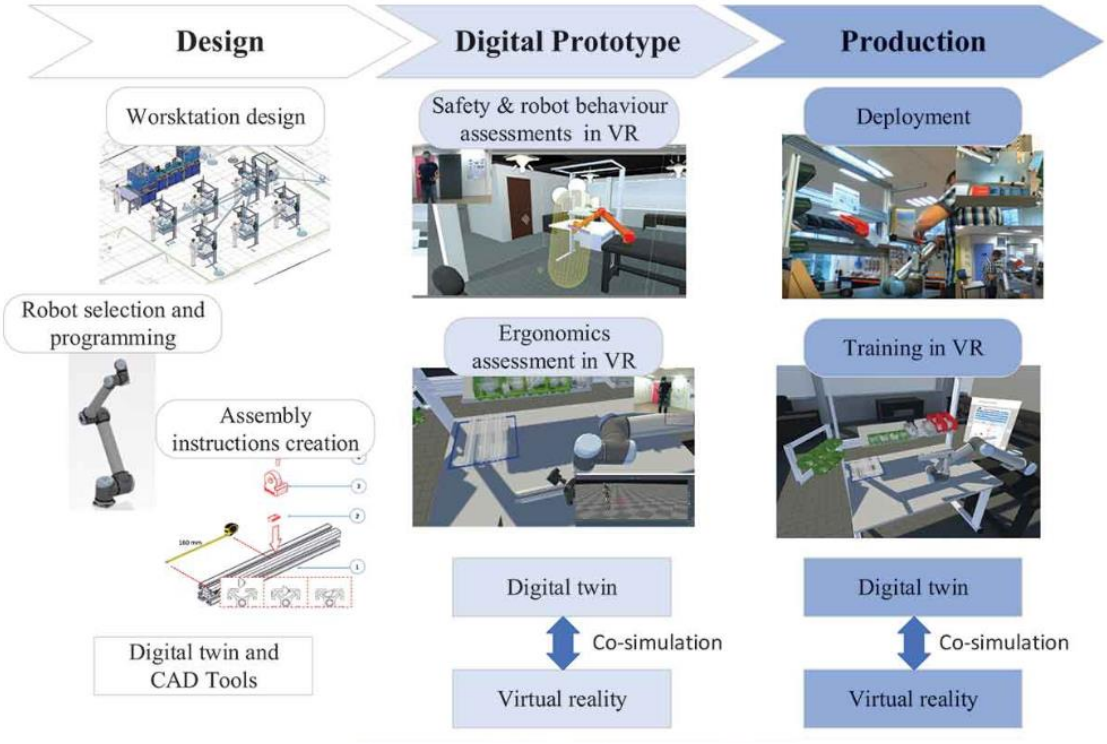
Na trhu existuje stále se rozšiřující zástup dostupných headsetů, které se v základním principu dělí na dvě kategorie. První kategorií jsou headsety, které pro svoji funkčnost vyžadují výkonný počítač, a druhou kategorií jsou takzvané mobilní headsety, které ke své funkčnosti nevyžadují počítač a nabízí tak možnost volnějšího pohybu. Headsety, které pro svou funkčnost vyžadují počítač, mají výhodu v tom, že nejsou tak limitovány hardwarem a zvládnou výpočetně náročnější aplikace [10].

Výběr vhodného headsetu závisí převážně na využití, tedy pro jaký typ aplikace bude headset využíván. Jestliže aplikace slouží pouze jako zobrazovací zařízení a uživatel má omezenou interakci s prostředím, mobilní headset je díky své ceně a volností pohybu lepší volbou. Jestliže ale aplikace nabízí možnosti interakce uživatele s prostředím nebo se více soustředí na vizuální aspekt aplikace, je vhodnější využít headset propojený s počítačem a využít tak výrazně většího výkonu [10].

2.3 Digitální dvojče a jeho aplikace ve virtuální realitě

Technologie digitálního dvojčete se bez pochyby stala nedílnou součástí v oblasti průmyslu 4.0. Digitální dvojče je v podstatě virtuální replikou fyzického objektu nebo systému, která má za úkol simulovat chování a interakci s prostředím stejně tak, jako by se jednalo o fyzickou verzi systému. Koncept digitálního dvojčete se stává stále více a více populárním v různých průmyslových oblastech, neboť nabízí významné hodnoty v oblasti návrhu, testování a analýzy [11].

V kombinaci s virtuální realitou může být digitální dvojče použito k vytvoření virtuálního prostředí, které imituje situaci z reálného světa a umožní inženýrům a designérům interagovat a manipulovat s přesnými kopiemi fyzických systémů bez jakýchkoliv negativních následků. Tento proces umožní identifikovat a opravit chyby v návrhové fázi a tím zvýšit celkovou produktivitu a efektivitu.

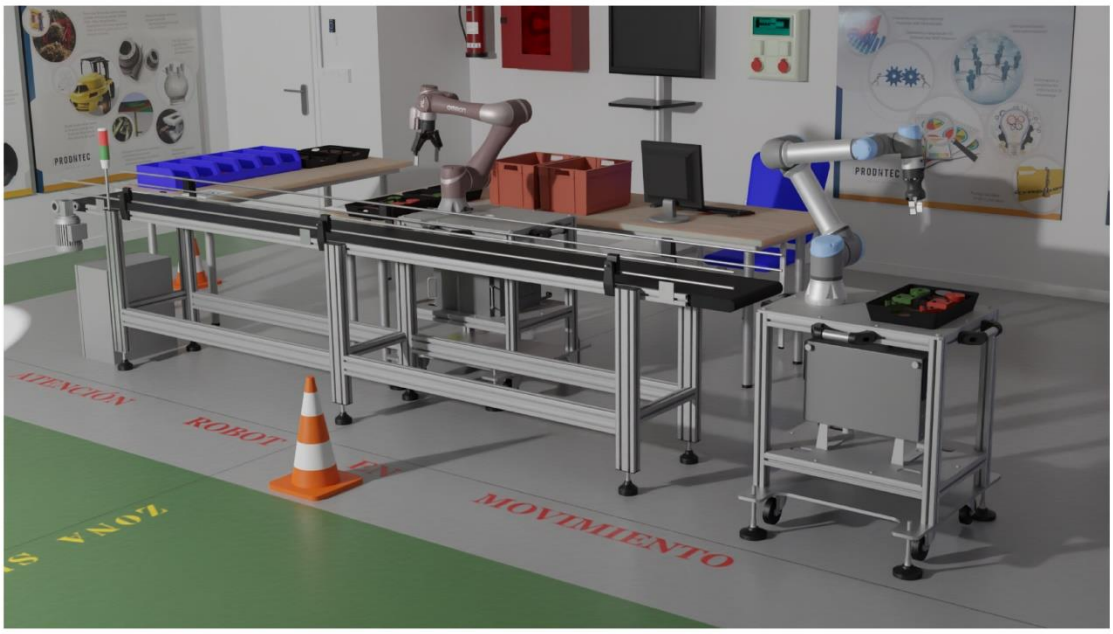


Obr. 2: Využití VR a digitálního dvojčete v různých fázích vývoje

Kromě návrhové fáze najde digitální dvojče v kombinaci s virtuální realitou svoje uplatnění i v době, kdy je fyzická verze objektu v provozu. Vytvořením virtuálního prostředí, které je synchronizované s fyzickým systémem v reálném čase, mohou výrobci simulovat a testovat různé scénáře a identifikovat tak takzvaná úzká místa nebo celkově neefektivitu systému. Dále se dá tato verze synchronizovaného digitálního dvojčete využít k monitorování výrobního procesu takovým způsobem, jakého nelze konvenčním způsobem dosáhnout. Pomocí virtuální reality lze monitorovat celý proces z pohledu první osoby a získat tak nový náhled na situaci bez nutnosti zasahování do chodu systému.

Na následujících snímcích lze vidět vizualizaci logistické linky, kterou lze následovně využít k řadě úkonů [12], od pouhé vizualizace pohybu ve virtuálním prostředí až po komplexní simulace.

Obr. 3: Fyzická verze dopravníku [12]



Obr. 4: Virtuální verze dopravníku [12]

2.4 Unity3D jako nástroj k vytvoření aplikace pro virtuální realitu

Unity3D je jedním z nejpopulárnějších enginů pro vývoj aplikací virtuální reality, jelikož nabízí komplexní sadu nástrojů a funkcí pro vývojáře, které ulehčí tvorbu aplikací VR pro různé platformy. Jednou z výhod užití Unity3D je fakt, že zmíněné nástroje a funkce nepochází pouze od vývojářů enginu. Kdokoliv může takový nástroj či funkci vyvinou za pomocí rozsáhlé dokumentace a následně ho použít pro své vlastní účely, nebo ho sdílet komunitě zcela bezplatně, případně s nastaveným poplatkem.

Engine Unity3D podporuje širokou škálu headsetů virtuální reality, například Oculus Rift, HTC Vive či Google Daydream [13]. Podporuje také řadu programovacích jazyků, mezi nejpopulárnější patří C# a JavaScript. To z něj činí univerzální nástroj pro vývoj aplikací na různá koncová zařízení.

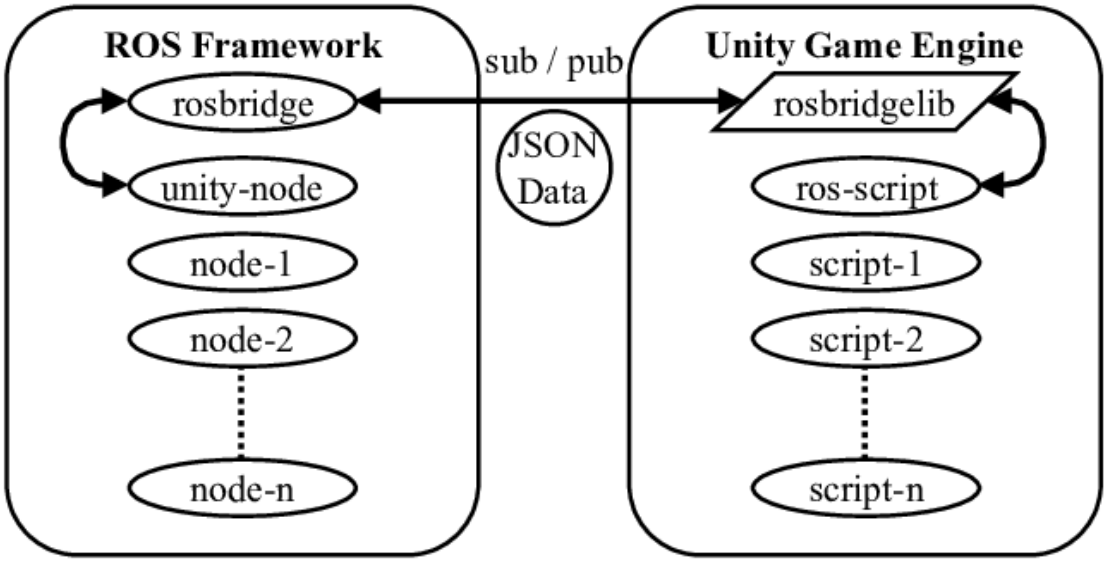
Jelikož Unity3D slouží primárně jako engine pro vývoj počítačových her, nabízí možnost vytvoření vizuálně přesvědčivého prostředí. To je velice důležité pro řadu odvětví, kde se virtuální realita využívá. Na obrázku číslo 5 lze vidět snímek z videohry Escape from Tarkov vytvořené v Unity3D.

Obr. 5: Snímek obrazovky ze hry Escape from Tarkov [14]

Virtuální realita posiluje celkový zážitek, který aplikace vytváří, a to hlavně díky volnosti pohybu uživatele v prostředí. Kromě toho existují také další aspekty, které tento zážitek posilují. Mezi ně patří například již zmíněný přesvědčivý vizuál aplikace, interakce s prostředím a zpětná vazba programu na určité události v programu ať už jednoduchým haptic feedbackem ovladačů či využitím dalších příslušenství jako například haptické vesty či rukavice. Vývojový engine Unity3D nabízí prostor pro implementaci a zdokonalení všech zmíněných aspektů.

Engine Unity3D nabízí snadnou integraci systémů třetích stran, například ROS (Robot Operating System) a využít tak pokročilé funkce v unity pro robotické aplikace.

Na schématu v následujícím obrázku lze vidět komunikaci mezi ROS a Unity3D. Samotná data jsou předávána ve formátu JSON a následně jsou pomocí speciálního komponentu zpracována pro použití jak na fyzickém modelu, tak ve virtuálním prostředí [15].



Obr. 6: Schéma komunikace ROS a Unity3D [15]

3 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Praktická část této práce se zabývá návrhem a implementací crossplatformové aplikace ve vývojovém enginu Unity3D. Hlavní myšlenkou programu je propojení jedinců do virtuálního prostředí a umožnit jim využití prezentačního prostředí, které imituje funkce ze světa reálného. Aplikace nabízí připojení pomocí konvenčního řešení, a to pomocí počítače s využitím klávesnice a myši jako ovladačů, nebo pomocí headsetu virtuální reality, který uživateli umožní využití rozšířených funkcí programu.

Aplikace nabízí tři různé scény, každá má svoji vlastní funkcionalitu a je vhodná na jiný typ využití. Každá ze scén obsahuje unikátní komponenty, které umožní například prezentovat, psát na tabuli nebo představit virtuální kopii fyzického zařízení. Aplikace je vytvořena tak, aby nebyla limitována pouze na vytvořené prostředí, ale aby tvořila základ pro vytvoření dalších scén, které by dokázaly těchto funkcionalit využít.

3.1 Představení programu a jeho možnosti využití

V této kapitole jsou postupně rozebrány jednotlivé dostupné scény, jejich využití a možnosti uživatele.

Při vývoji aplikace byl kladen důraz na jednoduchost programu, a proto k využití této aplikace v praxi není zapotřebí speciálních znalostí. Tomu odpovídá například minimalistické provedení hlavního menu a následná orientace v prostředí. Aplikace nabízí snadnou změnu scén za chodu programu, kterou řídí zakladatel relace. Není tedy nutné, aby ostatní uživatelé museli nějak řídit danou relaci a mohou se pohodlně soustředit na výklad prezentující osoby.

Jestliže se uživatel rozhodne k využití brýlí virtuální reality, je jeho přítomnost zobrazena pomocí speciálního avataru sledujícího pozici a rotaci brýlí v reálném prostředí. Ovladače poté reprezentují animované ruce avatara, pomocí kterých uživatel interaguje s prostředím. Tento systém je dále popsán v kapitole 3.5.

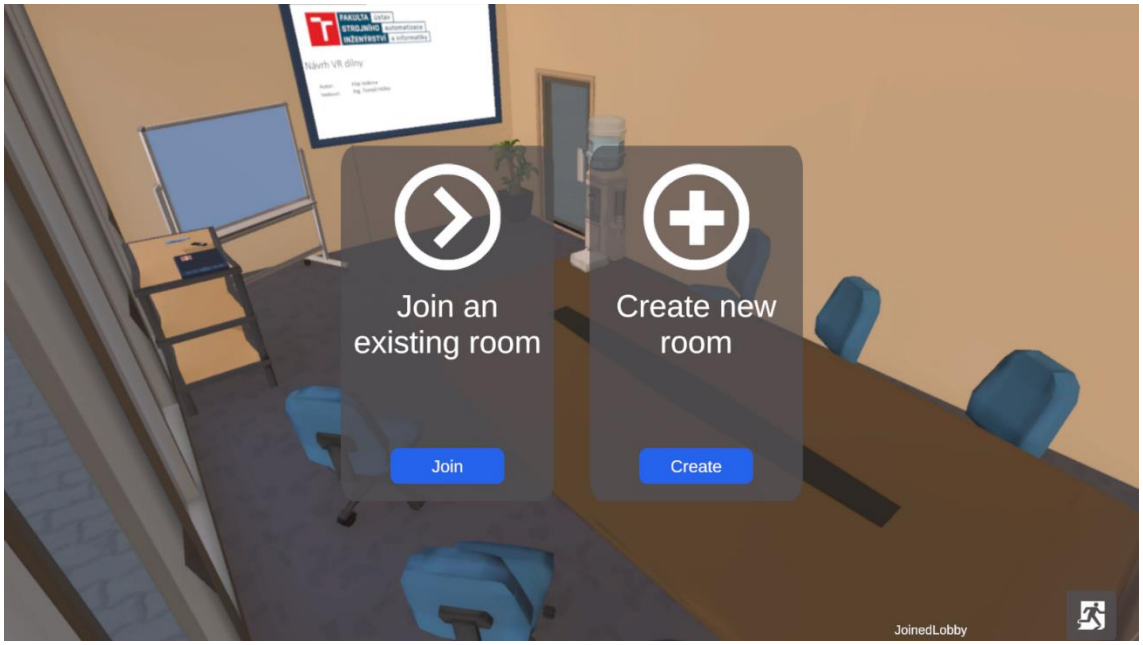
Reprezentace uživatele využívajícího desktopové zařízení se různí dle aktuální scény. V zasedací místnosti je uživatel reprezentován jako avatar sedící na židli u stolu a jeho rotace poté ovlivňuje natočení avatara. Ostatní uživatelé tedy vidí, kam se každý uživatel zrovna dívá.

Ve scéně reprezentující učebnu není desktopový uživatel nijak ukázán. Všichni desktopoví uživatelé se nachází na stejné pozici a uživatel ve virtuální realitě na této pozici vidí pouze model kamery. Desktopový uživatel se může stále volně otáčet, samotný pohyb ale poté není nějak reprezentován.

Ve třetí, nejkomplexnější scéně reprezentující dílnu se desktopový uživatel může pohybovat za využití klávesnice. Jeho přítomnost je reprezentována animovaným charakterem a kopíruje jeho pozici a rotaci podle toho, kam se zrovna ve virtuálním světě dívá. Tato možnost poté umožňuje uživateli volný pohyb po místnosti a sledování děje scény volným způsobem.

3.1.1 Uživatelské prostředí

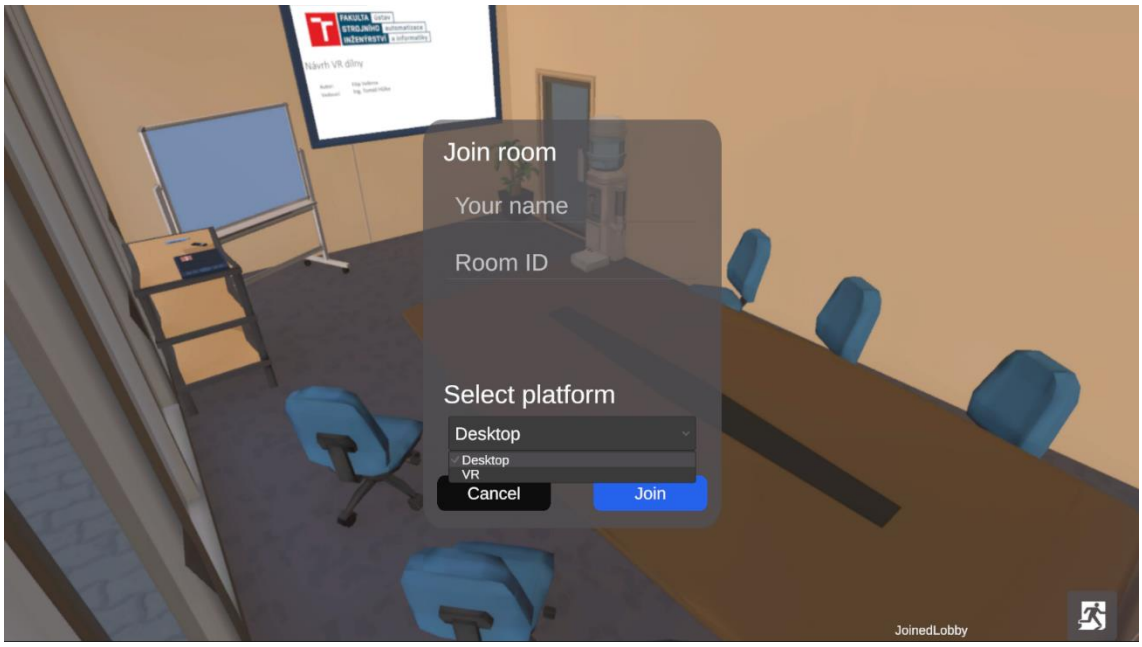
Uživatelské prostředí je nedílnou součástí každého programu. Aplikace obsahuje minimalistické a intuitivní uživatelské prostředí, které nabízí uživateli základní ovládací prvky. Hlavní menu programu se v základu skládá pouze ze tří interaktivních tlačítek a stavového řádku ukazující stav připojení. Uživateli je nabídnut výběr ze dvou možností, a to připojit se do již vytvořené relace nebo vytvořit relaci novou (viz obr. 7). Samozřejmostí je přítomnost tlačítka pro ukončení programu, které se po celou dobu nachází v pravé dolní části.



Obr. 7: Snímek hlavního menu programu

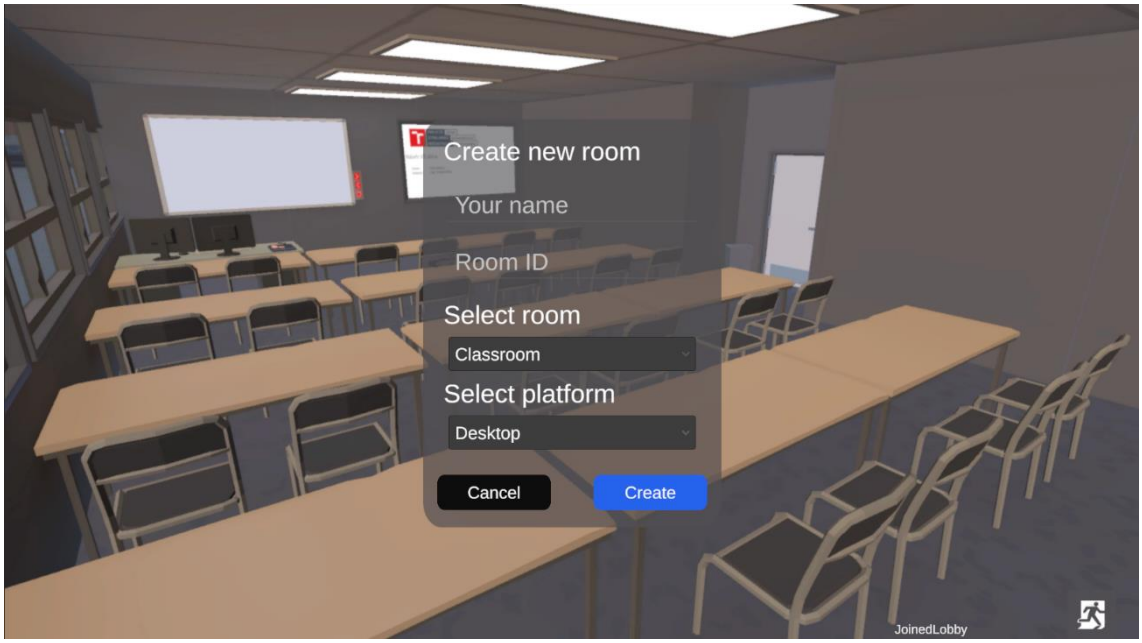
Jestliže uživatel vybere možnost připojení, do již existující relace, je pomocí jednoduchého formuláře dotázán na jméno, unikátní identifikátor místnosti a poté na platformu, jakou bude využívat (viz obr. 8). Jestliže se nalezne relace s tímto identifikátorem, uživatel se do relace připojí, jestliže nikoliv, uživatel je o tom informován a vrátí se zpět ke zmíněnému formuláři.

Systém využívající unikátní identifikátor místnosti slouží k zabezpečení vytvořené relace. Implementací tohoto systému se zamezí neoprávněnému vstupu osob, a do místnosti se umožní vstup pouze osobám znajícím unikátní identifikátor.



Obr. 8: Formulář pro připojení do místnosti

Jestliže se uživatel rozhodne založit instanci vlastní, objeví se podobný formulář jako při připojení do místnosti (viz obr. 9) s tím rozdílem, že uživatel musí vybrat místnost, která bude nastavena jako výchozí. Uživatel v tomto bodě také volí unikátní identifikátor instance.



Obr. 9: Formulář pro vytvoření místnosti

Uživatelské prostředí desktopové verze

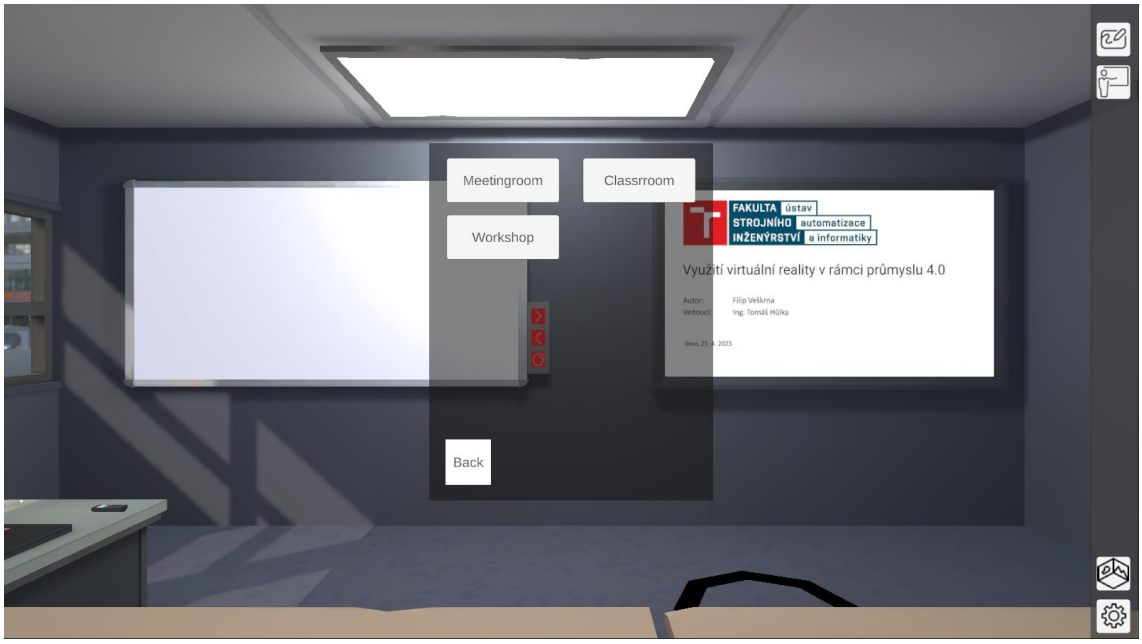
Při samotném chodu programu je uživatelské prostředí uživatele využívajícího osobní počítač realizováno pomocí bočního panelu (viz obr. 10), kde jsou uvedeny všechny dostupné funkcionality. Uživatel se může pohybovat ve scéně pomocí standartního schématu za pomocí klávesnice a myši. Různé scény tuto možnost modifikují tak, aby byla přizpůsobena dané scéně. Na obrázku číslo 10 lze vidět snímek obrazovky desktopového uživatele ve scéně Classroom, kde je desktopový uživatel statickým objektem ve scéně a nemůže se tedy pohybovat v prostoru, ale pouze se otáčet pomocí myši.

Obr. 10: Uživatelské rozhraní formou bočního panelu

Na panelu se jako první nachází tlačítko pro zobrazení tabule. Po zmáčknutí tlačítka se uživateli přes celou obrazovku ukáže plátno kopírující obsah na virtuální tabuli. Tlačítko umístěné hned pod tlačítkem pro tabuli zastupuje stejnou funkcionalitu, ale pro prezentaci. (viz obr. 11).

Obr. 11: Zobrazení prezentace v režimu na celou obrazovku

Jestliže je desktopový uživatel hlavním uživatelem, který místnost založil, je mu zobrazeno tlačítko pro změnu scény nacházející se v pravém dolním rohu hned nad tlačítkem ozubeného kolečka. Po stisknutí tohoto tlačítka je uživateli zobrazena možnost scén, na které je možnost se přepnout (viz obr. 12). Po výběru scény jsou poté všichni připojení uživatelé přesunuti na scénu novou.



Obr. 12: Menu pro změnu aktivní scény

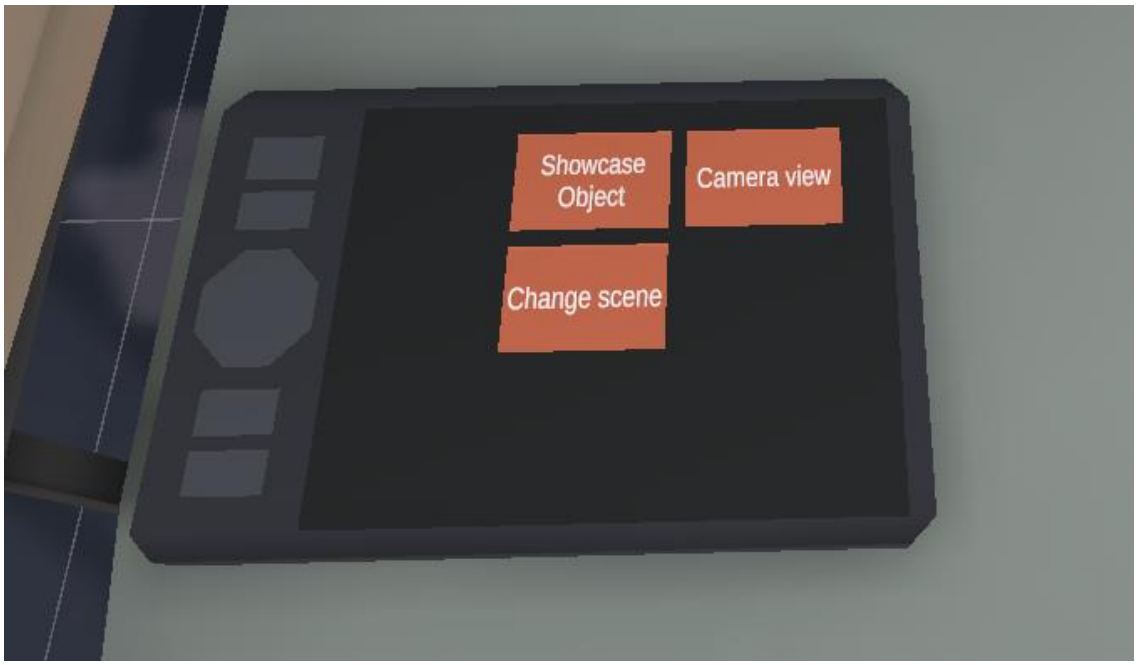
Uživatelské prostředí pro VR

Pro uživatele ve virtuální realitě je uživatelské prostředí realizováno jinak. Zobrazením uživatelského prostředí přímo na obrazovce virtuálních brýlí přináší ve většině případů uživateli nevolnost a navigace v takovém uživatelském prostředí je problematická [16].

Je tedy zapotřebí zvolit jiný typ uživatelského prostředí. V této aplikaci bylo zvoleno imitace tabletu obsahujícího tlačítka, které uživatel může zmáčknout pomocí druhého ovladače. Vytvořené uživatelské prostředí již nepřináší uživateli nevolnost a tvoří systém, který je většině uživatelům známý ze světa reálného.

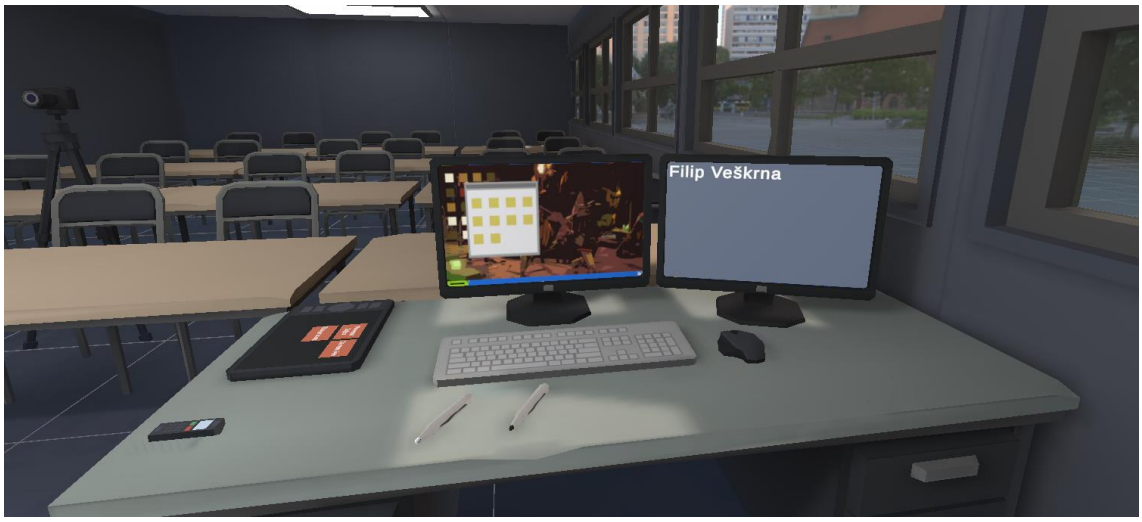
Tento tablet mění obsah dle zvolené scény, na obrázku číslo 13 lze vidět tablet scény Classroom, který nabízí výběr ze tří záložek: ovládání zobrazeného modelu, zobrazení kamery uživatele na osobním počítač a změnu scény.

Výhodou užití tabletu je možnost využití stejných funkcí jako v uživatelském prostředí uživatele osobního počítače. Tablet tedy není limitovaný pouze na tlačítka, ale může obsahovat i jiné prvky, jako například posuvník, nebo dokonce i klávesnici která uživateli poté umožní vložení textu.



Obr. 13: Uživatelské prostředí formou tabletu

Kromě funkcí na tabletu jsou uživateli virtuální reality nabídnuty komponenty uživatelského rozhraní formou zobrazovacích a ovládacích panelů umístěných ve scéně. Příklad takového panelu lze vidět na následujícím obrázku, kde je na obrazovce počítače zobrazen aktuální výpis připojených uživatelů.



Obr. 14: Panel zobrazující připojené uživatele

3.2 Dostupné scény

Vytvořená aplikace nabízí široké možnosti využití a každá scéna se soustředí na jiný typ výkladu. Při tvorbě scén byl kladen důraz na realističnost a inspirace pro tvorbu prostředí byly čerpány z reálných předloh. Scény jsou tvořeny z modelů s nízkým počtem polygonů, to má za následek menší grafickou náročnost. Tento aspekt je velice důležitý pro tvorbu aplikace virtuální reality, snížením počtu polygonů se sníží počet vykreslovacích volání [17]. Ušetřený grafický výkon lze poté využít v jiných grafických aspektech, jako například v realističtějším osvětlení scény.

3.2.1 Meeting Room

První, nejjednodušší scénou je zasedací místnost. Tato místnost, zobrazená na obrázku číslo 15, slouží k vytvoření schůze až šesti osob, kdy každá osoba ať už využívající virtuální realitu či osobní počítač, má své pevné místo u zasedacího stolu. Uživatelé spolu mohou komunikovat pomocí hlasové komunikace a zároveň vidí avatary reprezentující ostatní uživatele.

Obr. 15: Prostředí scény Meeting room

Hlavní funkce této scény jsou ale odemčeny, jakmile jeden z uživatelů využívá brýle virtuální reality. Tento uživatel se může volně pohybovat po scéně a využívat rozšířené funkce. Jednou z těchto funkcí je virtuální tabule, na kterou může uživatel zapisovat a malovat tak, jako by byla tabule reálná.

Další funkcí je možnost virtuální prezentace. Zakládající uživatel má možnost nahrát vlastní snímky prezentace a ty poté prezentovat ostatním uživatelům tak, jako by se jednalo o klasickou prezentaci (viz obr. 16). Jestliže se stane, že text na tabuli nebo prezentace jsou nečitelné, uživatel využívající osobní počítač si může jak prezentaci, tak i tabuli zobrazit v režimu na celou obrazovku.

Obr. 16: Snímek obrazovky scény Meeting room

3.2.2 Classroom

Další scénou je místnost reprezentující školní učebnu. Prostředí lze vidět na obrázku číslo 17. Tato scéna slouží jako rozšíření scény minulé, kde již není omezen počet připojených uživatelů, jelikož žádný z uživatelů připojených přes osobní počítač není reprezentován v prostoru avatarem. Všichni uživatelé využívající osobní počítač jsou umístěny na statické místo v místnosti a mohou se pomocí myši rozhlížet po místnosti.

Obr. 17: Prostředí scény Classroom

Tato místnost pro svoji funkcionalitu vyžaduje alespoň jednoho uživatele využívající brýle virtuální reality. Tento uživatel může využívat stejné funkce jako v předchozí místnosti s tím rozdílem, že virtuální tabule má rozšířenou funkcionalitu (viz obr. 18). Tato virtuální tabule má možnost přepínání mezi jednotlivými stránkami nebo kompletní vymazání jedné ze stránek, a je proto více vhodná pro obsáhlejší využívání bez nutnosti trvalého vymazání obsahu tabule jako je tomu u tabule v reálném prostředí.

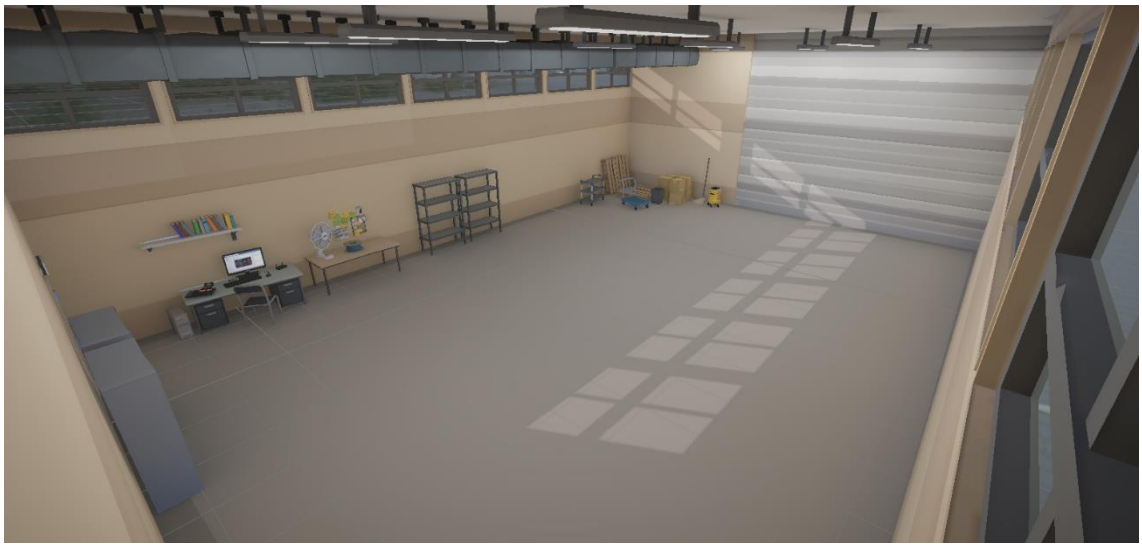
Obr. 18: Funkce virtuální tabule

Jedinečnou funkcí této scény je možnost prezentace virtuálního modelu libovolného zařízení či objektu (viz obr. 19). Virtuální model může mít další rozšířené funkce a výhodou je, jelikož se nachází ve virtuálním prostředí, že mohou popírat různé fyzické zákony. Uživatel tedy může lehce prezentovat kinematické těleso, na které nepůsobí gravitace, nebo například může zobrazovat řez běžícího motoru. Možnosti této funkcionality jsou téměř neomezené. Pro demonstraci této funkce jsou v demo verzi programu vytvořeny dva modely, které se poté využívají ve třetí scéně. Jedná se o model pásového dopravníku a model robotického ramene. Na modelu robotického ramene lze snadno vysvětlit princip inverzní kinematiky robota. Model je přizpůsoben tak, aby uživatel mohl uchytit koncový bod ramene a volně ho přemístit. Ostatní části robota se přizpůsobí novému stavu. Interakce se zmíněným modelem je zobrazena na následujícím obrázku.

Obr. 19: Funkce prezentace modelu

3.2.3 Workshop

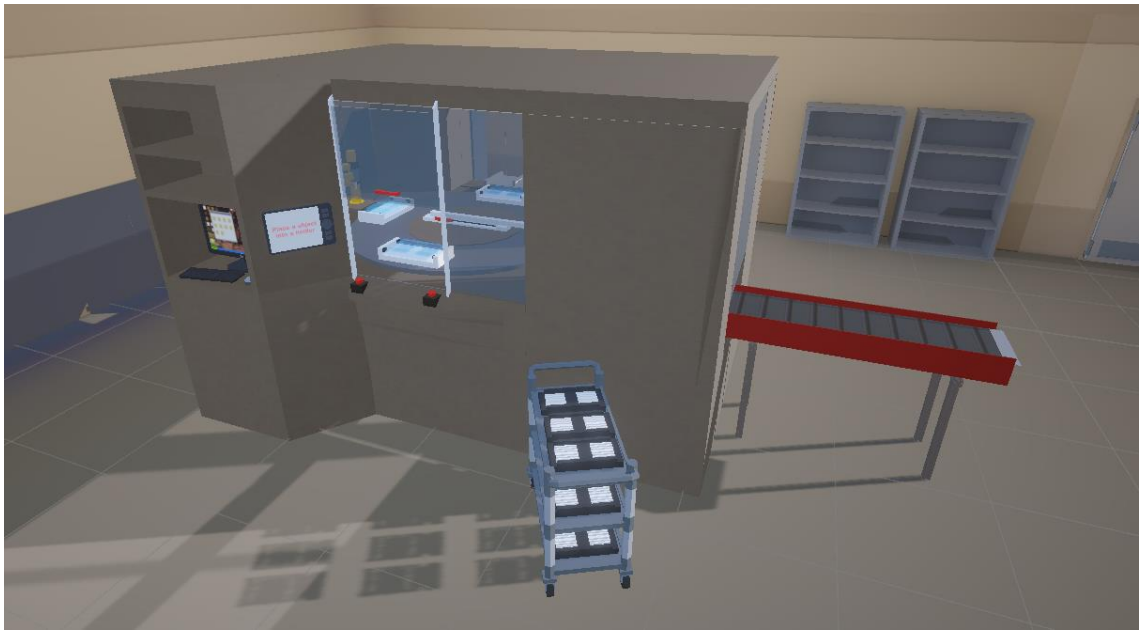
Nejobsáhlejší scénou aplikace je scéna reprezentující průmyslovou halu. Vytvořené prostředí (viz obr. 20) ale nezastává žádnou funkci a slouží pouze k navození atmosféry. Samotnou funkci zde zastávají importované modely a sestavy, mezi kterými může hlavní uživatel volně přepínat. Pro demonstraci této aplikace byly vytvořeny dvě průmyslové sestavy popsané dále v této kapitole.



Obr. 20: Prostředí scény Workshop

Kontrolní sestava dílů vozidel

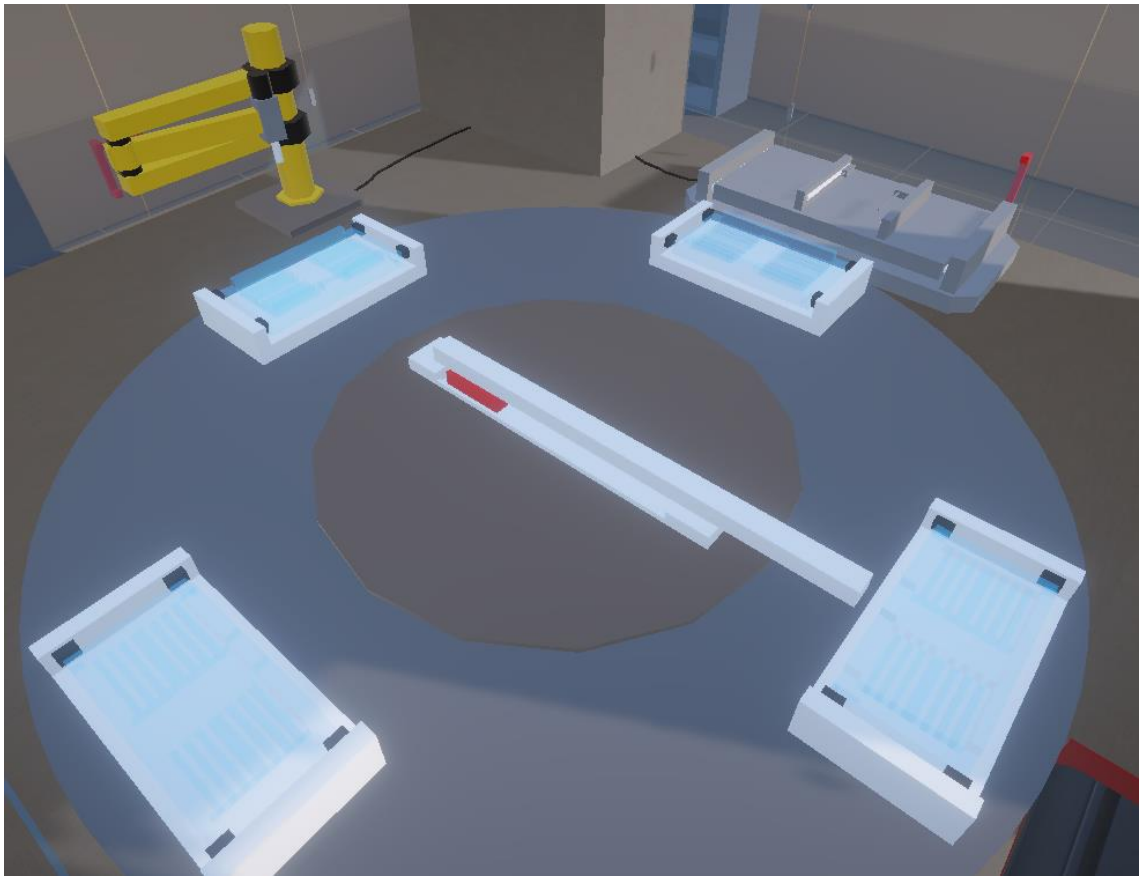
Tato sestava, která je zobrazena na následujícím obrázku, vyžaduje ke svému provozu operátora. Stroj slouží ke kontrole daného dílu automobilu, a i když je tato sestava vytvořena jako virtuální, je udělána tak, aby měla stejnou funkcionalitu jako stroj reálný. Dalo by se tady říct, že se jedná o přesnou digitální verzi reálného stroje. Tento stroj slouží k demonstraci, jak lze digitální model společně s technologií virtuální reality využít ke kontrole návrhu a funkčnosti robota, nebo k zaučení zaměstnanců.



Obr. 21: Virtuální verze stroje pro kontrolu automobilových součástek

V centrální části robota se nachází rotační základna se čtyřmi úchopy pro testovací součást (viz obr. 22). Obsluha je informována o potřebných krocích pomocí obrazovky, která přesně uvádí instrukce k obsluze. Samotný cyklus stroje lze popsat následovně:

1) Obsluha vizuálně zkontroluje danou součást a vloží ji do úchopu na centrální části robota. Následovně obsluha uzavře svislý výklop a ve stejnou dobu zmáčkne dvě ovládací tlačítka. Tento proces zajistí, že při chodu stroje je celá sestava uzavřena a nevzniká tak riziko poruchy či poranění obsluhy.
2) Centrální část se poté pootočí o 90° a vložená součást se dostane na první stanoviště, kde dvouramenný robot vykoná na součásti pracovní výkon. Po dokončení této činnosti je obsluha informována o dokončení úkolu, znovu otevře výklop a vloží součást novou.
3) Centrální část opět vykoná rotaci o 90° a první součást se nyní dostane na druhé stanoviště, kde výsuvný robot zkontroluje vzduchotěsnost součásti. Výsledek této zkoušky je poté zaslán třetímu stanovišti.
4) Po opakování kroku obsluhy se součást dostane na třetí stanoviště, jestliže je součást validní, tedy jestli prošla zkouškou druhého stanoviště, vysune se část lineárního robota a součást z úchopu odstraní a posune ji na pásový dopravník kde je část předána nadřazenému systému.
5) Jestliže testovaná část neprojde zkouškou, vrátí se obsluze zpět na první stanoviště, kde obsluha opět vizuálně zkontroluje součást a podle pokynů součást vyřadí.



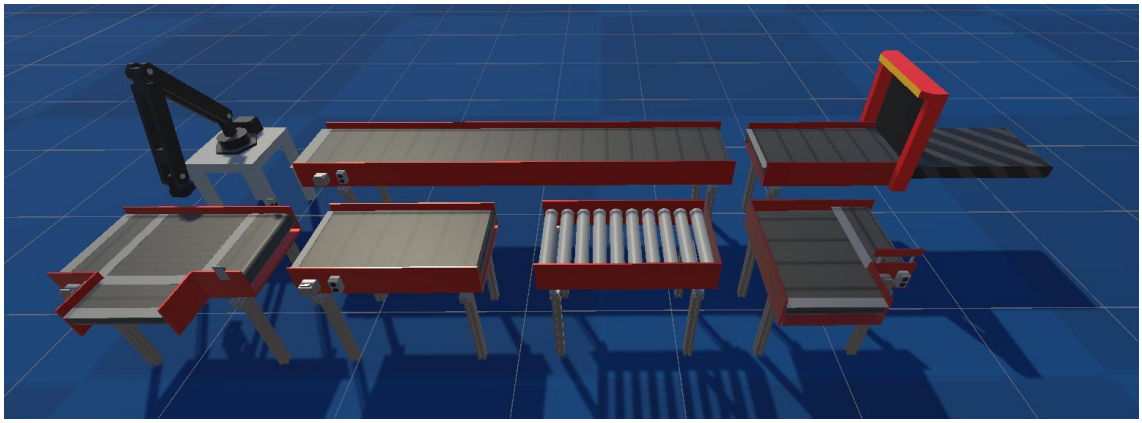
Obr. 22: Centrální rotační platforma stroje

Tento cyklus se opakuje, dokud existují součásti pro kontrolu. Stroj lze spustit také bez vložení testovací součásti. To je zapotřebí, když je ukončen proces testování a na prvních dvou stanovištích se stále nachází součást.

Celý robot je řízen pomocí centrálního skriptu a controllerů jednotlivých stanovišť. Tento skript byl navržen přímo ve vývojovém enginu Unity3D a jeho obsah lze poté přímo využít při programování reálné verze stroje. V případě, že by tento robot byl kopií robota reálného, lze tento postup obrátit a vytvořit dle reálné kopie kopii virtuální. V lepším případě, pokud to programovací prostředí dovoluje, lze zdrojový kód reálné předlohy přímo využít ve virtuální verzi.

Demo logistické linky pro třídění balíků

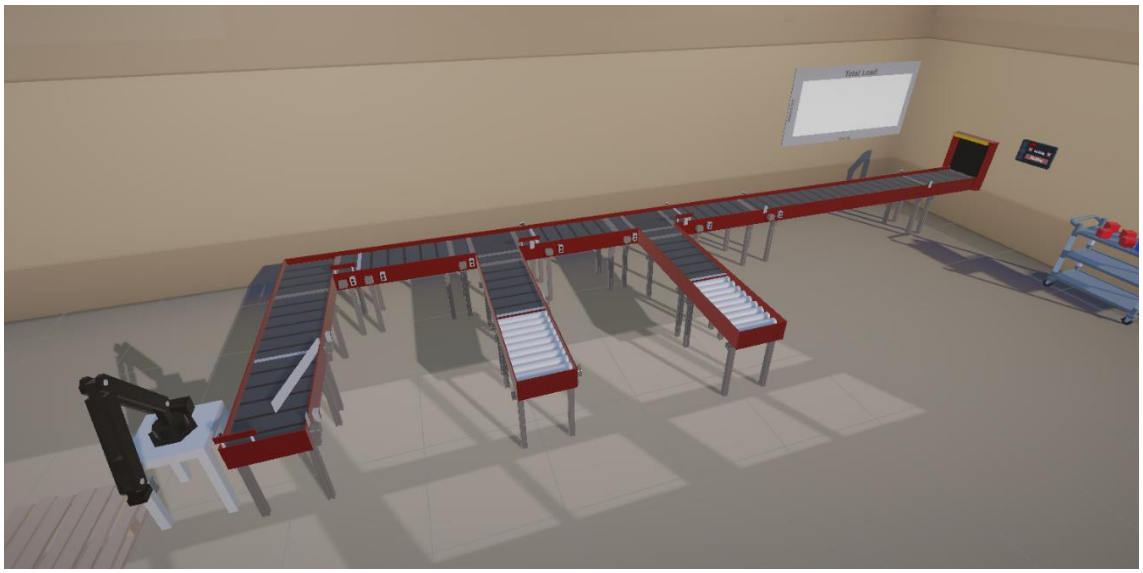
Pro účely této funkce byl vytvořen modulární systém pásových dopravníků (viz obr. 23) spolu s ovládacím skriptem a možností doplnění o senzory rozšiřující funkcionalitu sestavy. Kromě samotných pásových dopravníků a rozřazovacích jednotek byl vytvořen model robotického ramene sloužící k manipulaci s většími balíky.



Obr. 23: Modulární systém pásových dopravníků

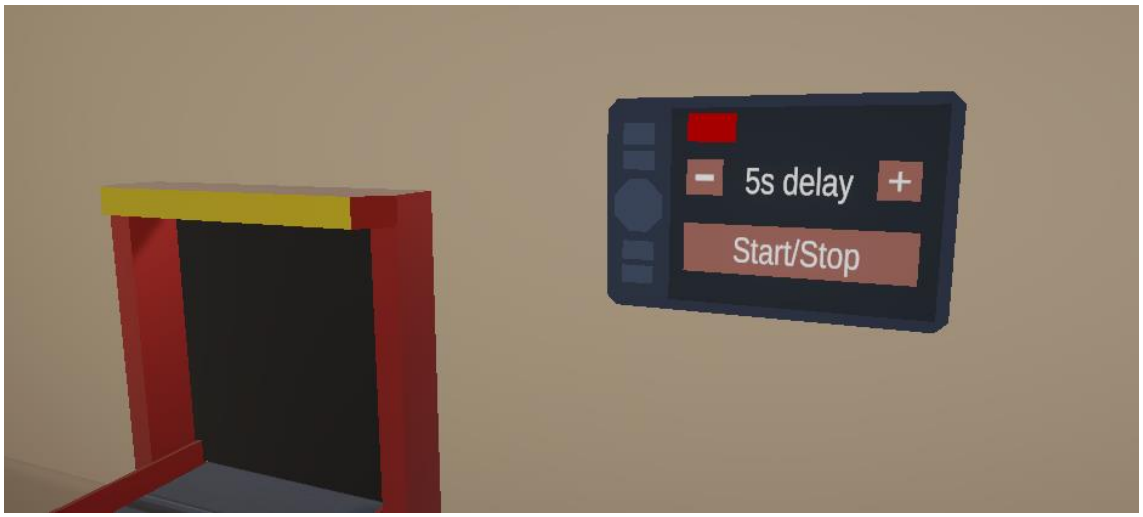
Vytvořený modulární systém představuje přesnou kopii pásového dopravníku, využívající fyzický engine obsažený v unity. Výsledný systém se poté chová jako reálný. Reaguje například jinak na různé velikosti a váhu nákladu a působí na dané těleso přesnými silami. V kombinaci s modularitou parametrů, lze tento systém využít k různým testům reálného pásového dopravníku.

V demo úloze ukazující využití této funkce byla sestrojena soustava dopravníků, která má za úkol třídit přicházející balíky dle velikosti do tří skupin. Vizuální podobu této soustavy lze vidět na následujícím obrázku.



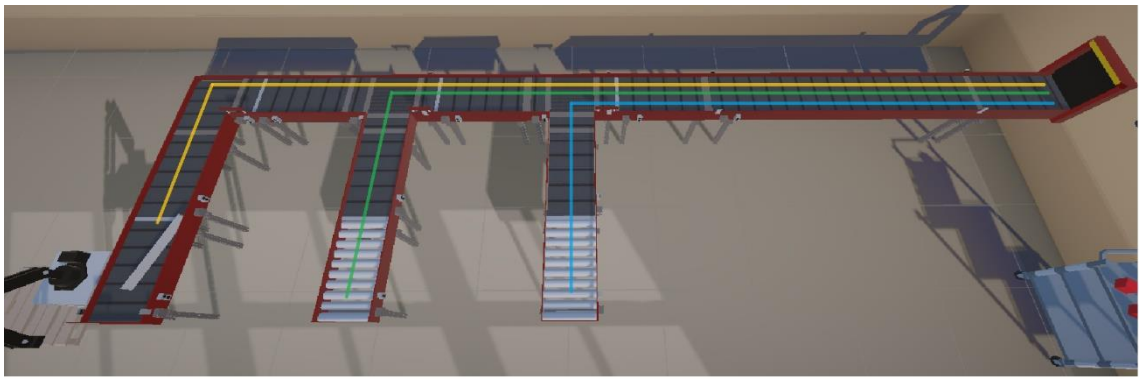
Obr. 24: Virtuální logistická linka

Do soustavy vstupují balíky třech velikostí pomocí vstupního portu umístěného na pravé straně soustavy. Frekvenci příchozích balíků může uživatel nastavit pomocí ovládacího panelu umístěného vedle zmíněného portu (viz obr. 25).



Obr. 25: Panel pro ovládání příchozích balíků

Balík je poté pomocí systémů dopravníků, senzorů a třídících komponent, popsaných dále v této kapitole, přemístěn na jeden ze tří možných koncových bodů. Dostupné cesty balíku jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obr. 26: Cesty objektu po soustavě pásových dopravníků

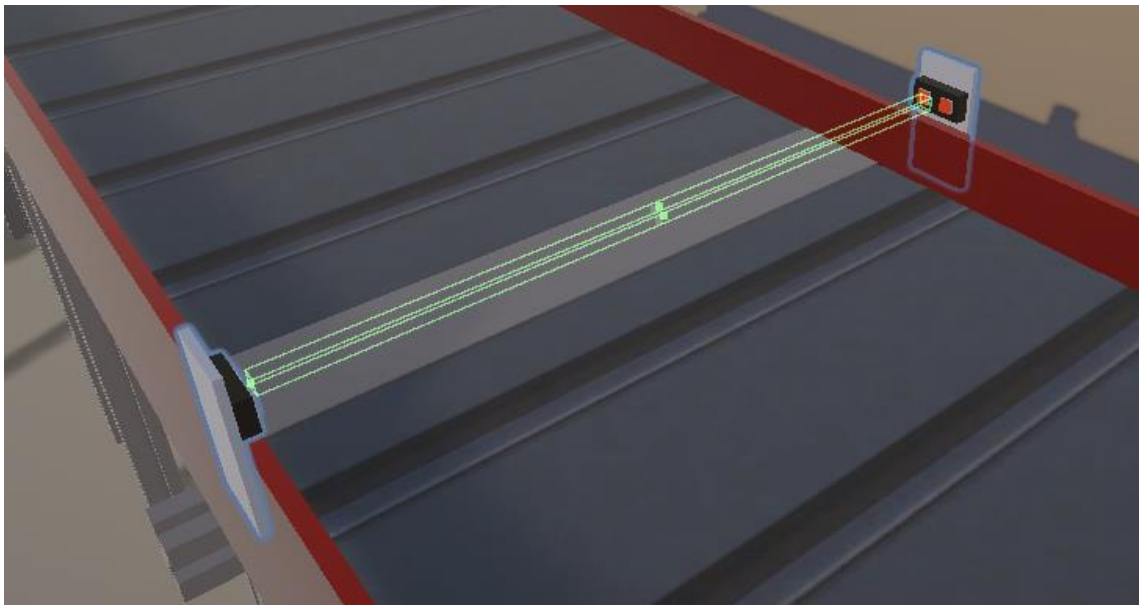
Pásový dopravník funguje na principu představeném ve videu uživatele Specoolar [18] a byl upraven tak, aby vyhovoval dané implementaci. Celý systém je popsán v následujících třech krocích a zároveň je zobrazen na obrázku číslo 27. Hlavní myšlenkou je využití komponentu rigidbody, který zajišťuje ovládání objektu pomocí fyzického enginu. Aby na samotný dopravník nepůsobily vnější síly, jako například gravitační síla, je důležité nastavit objekt jako kinematický.

1) Přenášený objekt vytvoří kontakt s pásovým dopravníkem.
2) Nastavení nové pozice pásového dopravníku pomocí parametru Position. Nastavením tohoto parametru se změní poloha daného objektu bez jakéhokoliv vlivu na objekty umístěné na dopravníku.
3) Ve stejném vykreslovacím snímku je pomocí funkce MovePosition pásový dopravník posunut na výchozí pozici. Při vykonání pohybu je společně s dopravníkem posunut i jakýkoliv objekt, který je v kontaktu s objektem posouvaným. Dle nastavení parametrů jednotlivých povrchů posouvané těleso působí na potenciální překážku vypočítanou silou, která má za následek posunutí překážky, nebo znemožnění posunu.

Všechny kroky algoritmu jsou vyvolány ve stejném vykreslovacím snímku, to má za následek to, že samotný pohyb pásového dopravníku v druhém kroku není vykreslen a uživatel uvidí pouze změnu polohy celé soustavy těles. Nastavením parametrů algoritmu, mezi které patří frekvence volání a velikost posuvu, lze regulovat rychlost pohybu pásového dopravníku.

Obr. 27: Schéma popisující princip pásového dopravníku [18]

Sada senzorů slouží k ovládání samotné sestavy (viz obr. 28). V demu sestavy jsou senzory využity k řízení roztřiďovací součásti tak, aby senzor modulu zaslal signál o tom, jakým směrem má následující balík zaslat. Pro simulační účely má tento senzor integrován několik módů. Prvním z nich je odklonění každého druhého tělesa, popřípadě každého třetího. Druhým, který se využívá v této konkrétní aplikaci, je odklonění tělesa v případě, že je označen příslušným názvem. Pomocí toho lze simulovat systém, který přečte etiketu na balíku, a ten poté roztřídí.

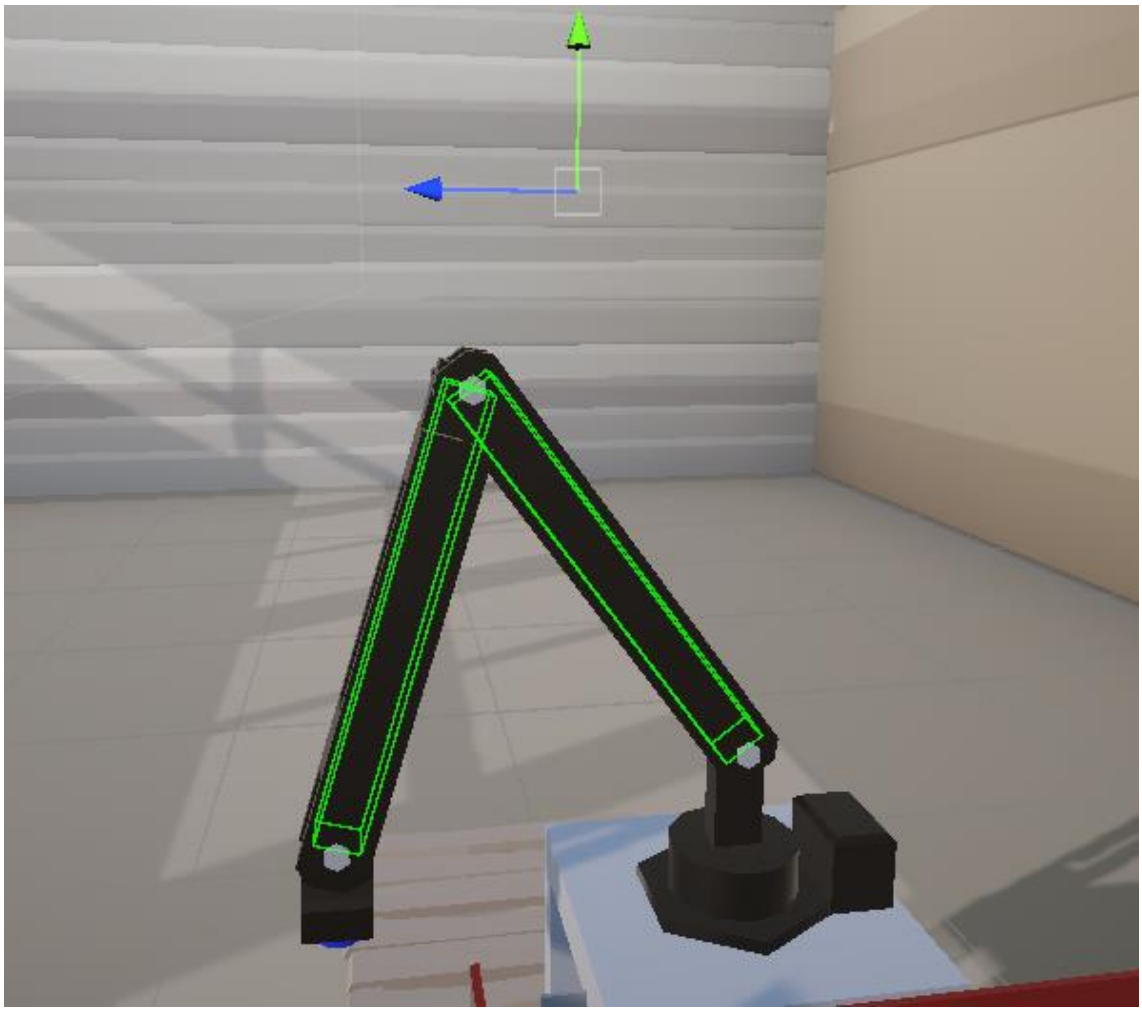


Obr. 28: Senzor logistické linky

V případě, že do systému vstoupí balík o největší velikosti, je roztříděn na příslušné místo, kde senzor zaznamená přítomnost balíku a zašle tuto informaci robotickému ramenu. Tento robot poté podle předem nastavené trasy nastaví svůj koncový bod na příslušné koordináty a přichytí pomocí koncového efektoru balík. Spolu s balíkem poté vykoná předem nastavenou trasu a balík umístí na volné místo na paletě.

Robotické rameno je realizováno pomocí funkcí inverzní kinematiky obsažené v Unity3D. Vložením komponentu Two Bone IK Constraint, nastavením parametrů, mezi které patří kořenový, středový a koncový bod, a definováním cílového bodu je dosaženo toho, že pozice a rotace jednotlivých částí robota je nastavena dle polohy cílového bodu. Vertikální rotace základny je konfigurována tak, aby směřovala směrem k cílovému bodu. Tímto způsobem je dosaženo přesvědčivého chování robotického ramene bez nutnosti náročného vypočítaní rotací jednotlivých kloubů robota.

Na následujícím obrázku lze vidět vizualizaci inverzní kinematiky jednotlivých ramen. Označený kinematický bod poté určuje, jakým směrem se má realizovat ohnutí kloubu.

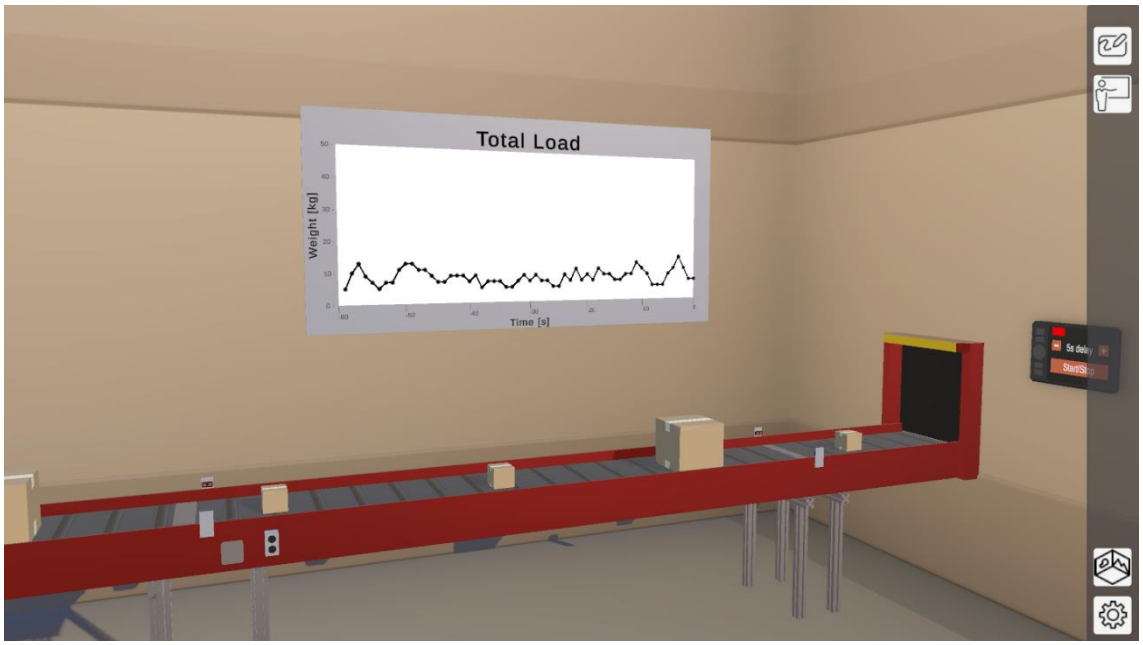


Obr. 29: Vizualizace inverzní kinematiky robotického ramene

Analytické nástroje

Simulace provozu digitální verze stroje přináší bezesporu mnoho výhod. Skutečnost, že se jedná o simulaci nabízí takové analytické možnosti, jaké jsou u fyzické verze systému těžko dostupné. Podle toho, jak je simulace přesně provedena, lze sledovat interní děje a stavy jednotlivých komponent, ukládat data těchto dějů a následně data použít k analýze.

Pro ukázku možnosti využití aplikace v tomto směru byl vytvořen adaptivní systém grafů, který má nastavitelné základní parametry a samotný graf se poté přizpůsobí vloženým datům. Ukázku takového grafu lze vidět na obrázku číslo 30.



Obr. 30: Virtuální graf zobrazující vytížení linky

V aplikaci je tohoto systému využito ke sledování vytíženosti pásového dopravníku. Na pásový dopravník byly umístěny senzory. První senzor zaznamená přítomnost objektu a navýší aktuální zátěž podle hodnoty příslušného parametru, například váhy získaného z komponentu rigidbody. Druhý senzor při zaznamenání přítomnosti balíku danou hodnotu odečte.

V ovládacím skriptu grafu je tato hodnota periodicky zobrazována v intervalu jednou za sekundu. Samotné zobrazení grafu je poté realizováno za pomocí rozdělení celého prostoru grafu na jednotlivé segmenty dle daného rozlišení. Při vykreslení grafu jsou načteny hodnoty z pole hodnot. Umístění v poli značí horizontální souřadnici a hodnota poté souřadnici vertikální.

Propojení mezi jednotlivými body je realizováno za pomocí jednoduchého vektorového výpočtu. Nejprve je zapotřebí vypočítat souřadnice středu mezi body a poté provést výpočet vzdálenosti mezi body a rotaci. Tyto parametry jsou aplikovány na primitivní instanci těleso.

3.3 Jiné programy stejného typu

Aplikací, které mají za účel propojení uživatele s virtuálním prostředím, takzvaným Metaverse, existuje široké množství. Tento typ aplikací lze rozdělit do tří skupin podle cílové kategorie [19].

První kategorií jsou takzvané spotřebitelské aplikace. Do této kategorie se řadí aplikace typu videohry, nebo virtuální zážitky. Hlavním účelem těchto aplikací je přinést uživateli pohlcující zážitek.

Druhou kategorií jsou aplikace komerční. Tyto aplikace mají za účel spojení uživatelů ve virtuálním prostředí, stejně tak jako tomu je u aplikací první kategorie. Tyto

aplikace se ale více soustředí na komerční využití. Jejich účelem je poskytnout zaměstnancům a zaměstnavatelům inovativní možnosti komunikace a společné tvorby.

Poslední kategorií jsou průmyslové aplikace. Cílem těchto aplikací je vytvoření digitální zpětnovazební smyčky mezi uživatelem a technologií. Takové spojení poté umožňuje uživateli nový způsob komunikace s technologiemi a rozšiřuje možnosti v téměř všech aspektech průmyslové výroby. Příkladem může být proces návrhu, testování a následné výroby průmyslového produktu. Jestliže by se ranné fáze takového procesu přesunuly do virtuálního prostředí – do Metaverse, umožní se využití nových procesů, ušetří se prostředky na výrobu prototypů a celkový proces zanechá menší uhlíkovou stopu a sníží se tím celkový ekologický dopad procesu [19].

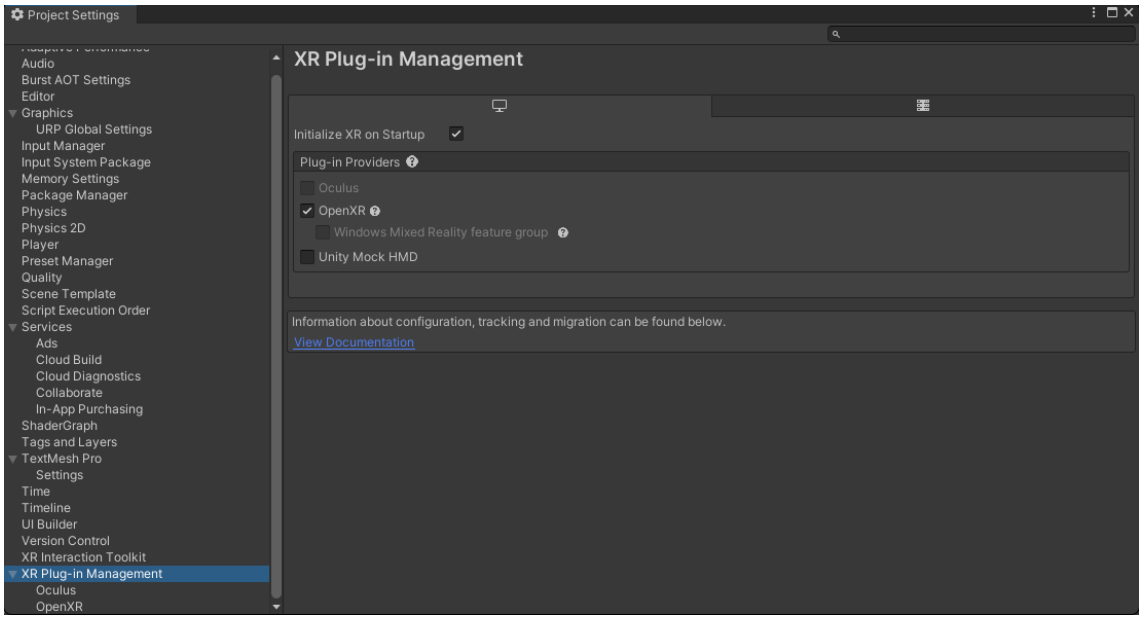
Vytvořená aplikace kombinuje prvky druhé a třetí kategorie. Umožňuje komerční využití ve smyslu vytvoření komunikačního a prezentačního prostředí, ale zároveň nabízí využití v průmyslu, kde umožňuje prezentaci a testování digitálního dvojčete průmyslové sestavy.

Mezi nejpopulárnější aplikace druhé kategorie patří Horizon Workrooms, MeetinVR, Glue, Mozilla Hubs a mnoho dalších. Horizon Workrooms je aplikací vyvíjenou společností Meta, tato společnost vytvořila nejpopulárnější řadu virtuálních headsetů Meta Quest, tento fakt umožňuje společnosti integrovat funkcionality aplikace přímo s hardwarem a nabízí proto nejpokročilejší funkce mezi všemi aplikacemi v této kategorii [20].

Aplikace třetí kategorie jsou málokdy komerčně dostupné. Většina těchto aplikací je vyvíjena na míru pro dané využití a jsou limitovány pro použití pouze určitou společností. Příkladem takového využití je aplikace, vyvinuta společností Microsoft ve spolupráci s firmou Equinor, kterou využívají v celém procesu vývoje větrných elektráren [19].

3.4 XR interaction toolkit jako framework pro využití VR

Pro využití virtuálního headsetu ve vývojovém enginu Unity3D je zapotřebí framework, zajišťující funkčnost a integraci jak zobrazovacího zařízení – samotných brýlí, tak i ovladačů. Jednou z mnoha možností je využití frameworku s názvem XR Interaction Toolkit. Tento framework integruje většinu dostupných zařízení a společně s vybraným XR pluginem vytvoří spojení mezi zařízením a prostředím [21]. Výběr vhodného XR pluginu záleží na typu tvořené aplikace a na cílové skupině zařízení. Nativně XR Interaction Toolkit nabízí výběr ze tří dostupných pluginů zobrazených na následujícím obrázku.



Obr. 31: Nastavení pluginu XR Management

Plugin Oculus zajistí funkcionalitu všech headsetů výrobce Meta. Tento plugin dále umožní snadnou integraci všech funkcí výrobce. Mezi tyto funkce patří Hand Detection, systém umožňující využití rukou uživatele namísto ovladačů, Meta Avatars, systém pro snadné vytvoření a využití uživateli vytvořených avatarů a mnoho dalších [22].

OpenXR je plugin, který umožní využití téměř všech dostupných headsetů. Je proto vhodnou volbou, jestliže je aplikace tvořena na více typů headsetů. Nevýhodou tohoto pluginu je ztráta funkcí limitovaných na určitý typ zařízení [23].

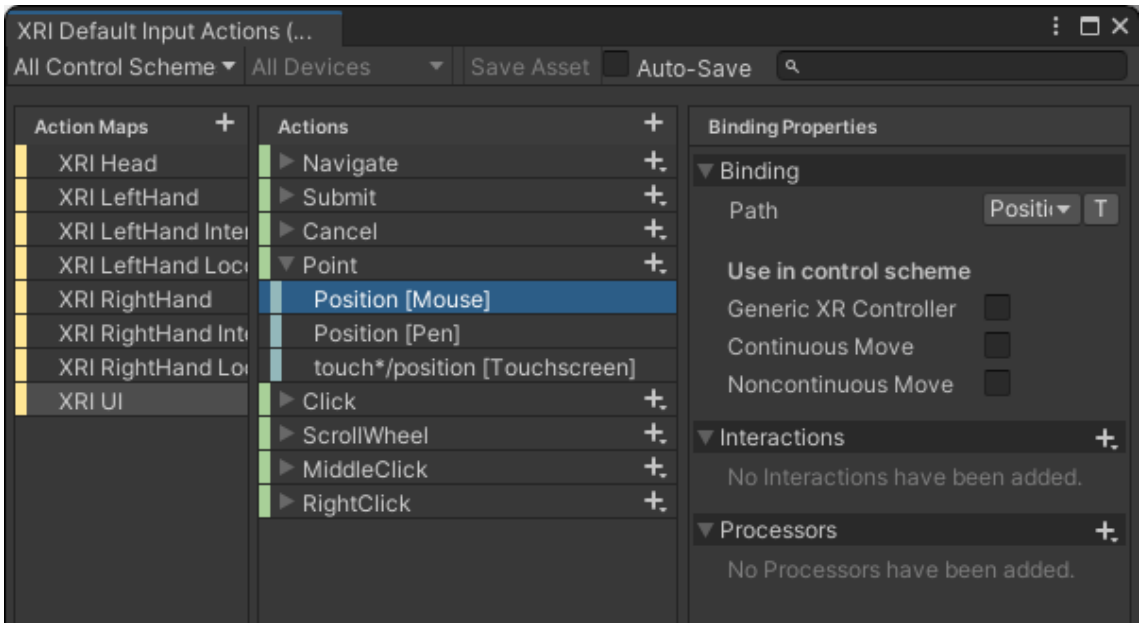
Unity Mock HMD zajišťuje vývoj aplikace virtuální reality bez nutnosti použití VR headsetu. Tento plugin napodobuje vlastnosti headsetu HTC Vive HMD. Využitím tohoto pluginu lze vytvořit aplikaci se sice omezenými funkcemi, ale s možností využít aplikaci na zařízeních, které mohou sloužit pouze jako zobrazovací zařízení. Příkladem takové aplikace může být virtuální zážitek, kde uživatel je pouze pozorovatelem. K použití této aplikace uživateli poté stačí využít mobilní telefon společně s některým z dostupných headsetů určených pro mobilní telefon [21].

Samotný framework poté nabízí sadu dostupných komponent zajišťující základní funkcionalitu headsetu a ovladačů. Mezi tyto funkce patří například Direct Interactor a Direct Interactable. Tato kombinace komponent zajistí interakci mezi ovladačem a objektem ve scéně. Tímto způsobem lze vytvořit systém pro manipulaci s objekty či spuštění eventu [21].

3.4.1 Input system

Input systém, celým názvem Input System package, je novým způsobem, jak v Unity3D mapovat vstupy jednotlivých zařízení. Celý systém je založen na vytvoření akcí, které oddělí logický význam akce a samotný hardwarově specifický vstup. K jedné akci je možné přiřadit množství hardwarových vstupů, to umožňuje synchronní využití více vstupních zařízení [24].

Výhodou využití OpenXR pluginu je automatické nastavení těchto vstupů dle zvoleného zařízení. To má za následek snazší vývoj aplikace a možnosti přiřazení dalšího zařízení na vykonání stejné akce. V aplikaci je této funkce využito při ovládání uživatelského prostředí. Vytvořená akce pro výběr možnosti má dva typy vstupů, jeden z ovladačů virtuální reality a druhý z myši stolního počítače. Tato funkce je klíčová pro vytvoření aplikace, kterou lze využít jak s headsetem virtuální reality, tak i s osobním počítačem.

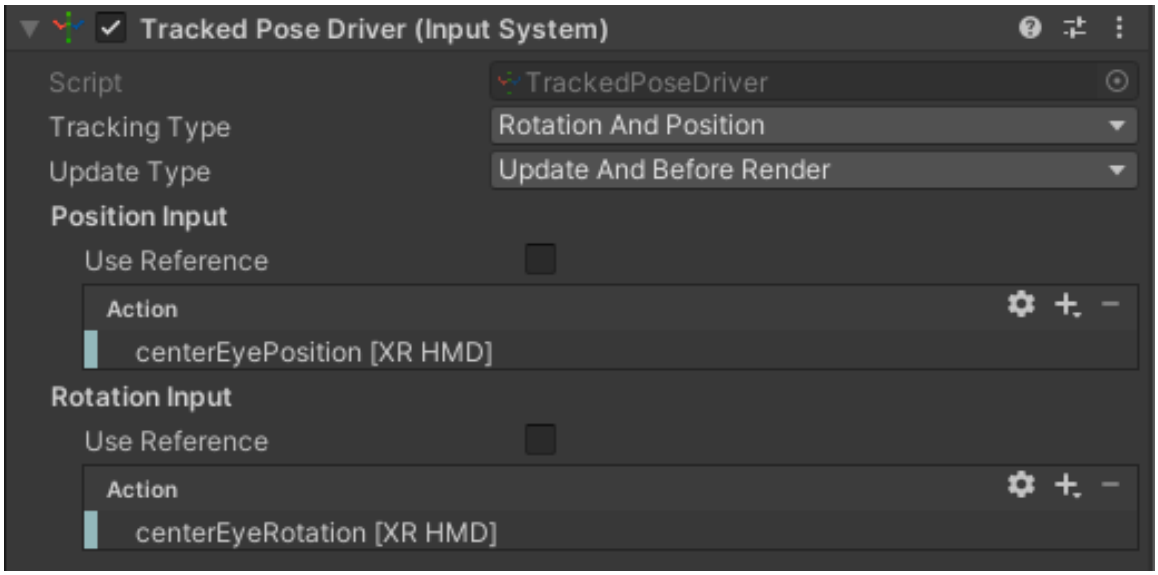


Obr. 32: Nastavení akcí hardwarovým inputům

Samotné sledování polohy headsetu a ovladačů v prostoru a následná interpretace ve virtuálním prostředí je realizována za pomocí stejného systému. Poloha těchto zařízení je v Unity3D reprezentována číselnou hodnotou od výchozího bodu v prostoru. Samotný pohyb pomocí tlačítek na ovladači je poté zaznamenán stejným způsobem jako stisknutí klávesy na klávesnici, který má za následek akci ve skriptu zajišťující samotný pohyb. Tato akce poté způsobí, že se změní poloha výchozího bodu komponentu XR Origin v prostoru.

3.4.2 XR Origin

XR Origin je soubor komponent obsažený v XR Interaction Toolkitu. Účelem tohoto souboru komponent je reprezentace jednotlivých zařízení Headsetu. Mezi komponenty patří samotný headset a dva ovladače [21]. Poloha headsetu je sledována pomocí skriptu Tracked Pose Driver.

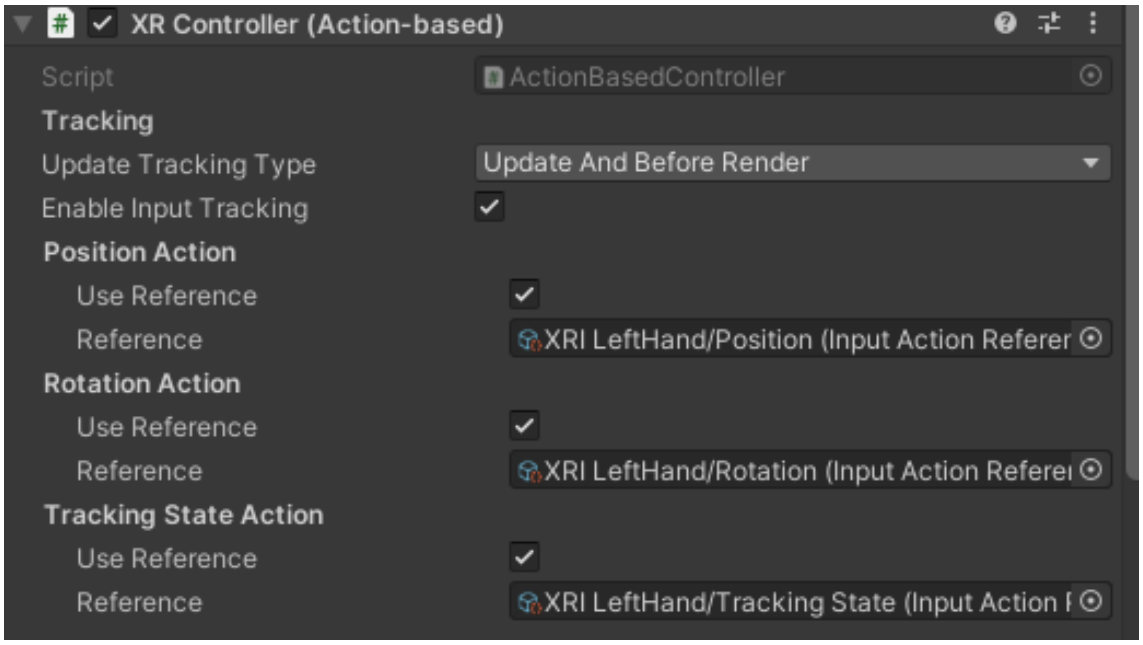


Obr. 33: Komponent Tracked Pose Driver

Na vstupu skriptu se nachází dva vybrané vstupy nastavené v Input systému. Jeden ze vstupů je poloha headsetu a druhý je jeho rotace. Skript tyto vstupy zaznamenává a při změně parametrů interpretuje tuto změnu na virtuální reprezentaci headsetu.

Pro sledování polohy jednotlivých ovladačů je využito podobného skriptu. Tento skript je ale mnohem komplexnější, jelikož samotný hardware ovladače nepředává aplikaci informace pouze o své poloze a rotaci, ale zároveň předává i informace o stavu jednotlivých ovládacích prvků ovladače, jako například jednotlivá tlačítka či joysticky.

Virtuální reprezentace headsetu a ovladačů poté záleží na využití aplikace. V případě této práce je jejich poloha využívána k nastavení polohy jednotlivých částí avataru reprezentujícího uživatele.

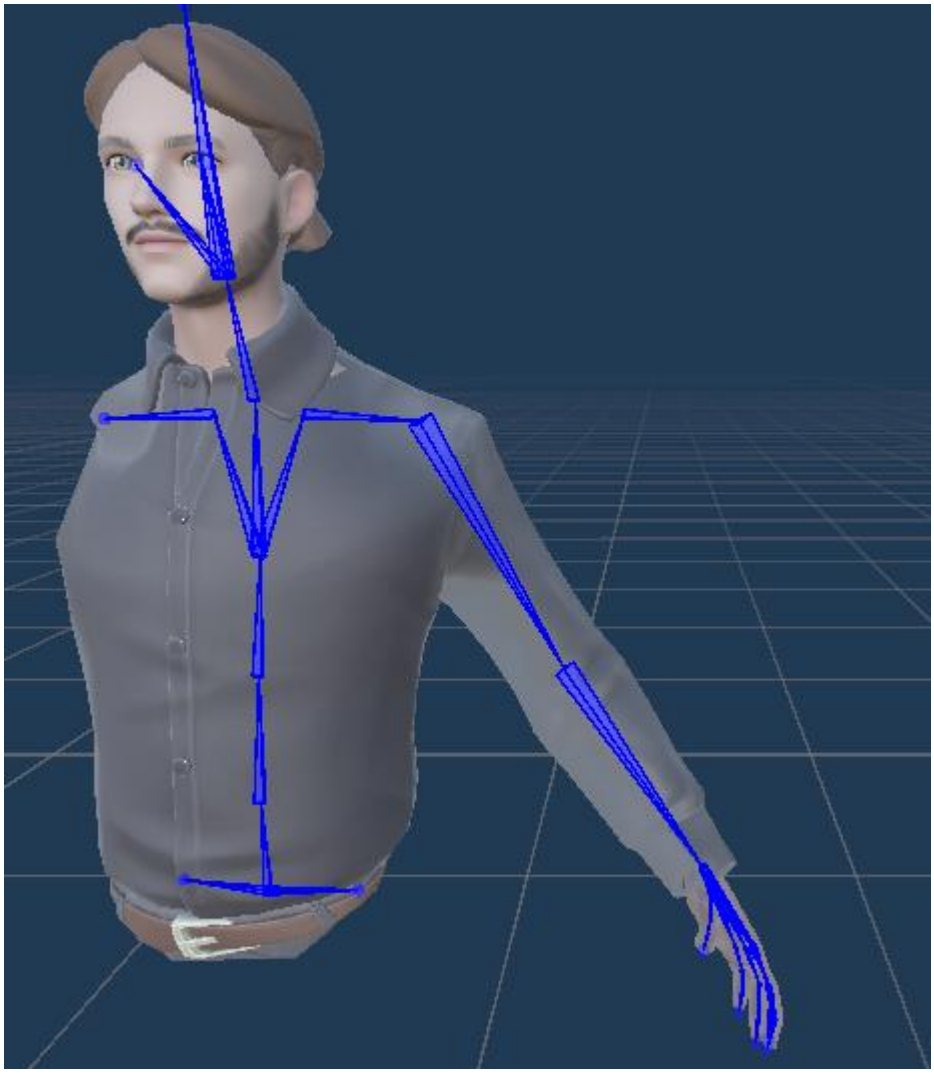


Obr. 34: Komponent XR Controller

3.5 Reprezentace uživatele pomocí Avataru

Existuje mnoho způsobů, jak reprezentovat přítomnost uživatele ve virtuálním prostředí. V případě využití headsetu virtuální reality se může jednat o zobrazení primitivního tvaru na pozici headsetu a ovladačů, nebo v případě této práce o reprezentaci pomocí digitálního avataru.

Pro funkčnost takového avataru je v první řadě zapotřebí importovat model avataru s potřebnými vlastnostmi. Tento model lze poté pomocí nástrojů v enginu upravit tak, aby se pomocí inverzní kinematiky choval co nejrealističtěji.



Obr. 35: Animation rig Avataru

Samotná podoba avataru poté záleží na záměru aplikace. V případě, že aplikace vyžaduje, aby avatar byl plně humanoidní, je zapotřebí vytvořit systém, který bude kopírovat pozici rukou avatara na pozici ovladačů v prostu a pozici hlavy avatara na pozici headsetu. Zbylé části těla je poté zapotřebí pomocí technologie inverzní kinematiky nastavit tak, aby se nové poloze rukou a hlavy přizpůsobili. V Případě horní

končetiny se jedná o komponent inverzní kinematiky nastavující polohu dvou ramen (paže a předloktí) v návaznosti na polohu cílového bodu (ruky).

V případě dolních končetin je postup téměř totožný. Jediným rozdílem je, že koncový bod není nijak zaznamenáván v prostoru, a proto je nutné vytvořit skript, který v případě změny polohy celého avatara přizpůsobí polohu koncového bodu.

Vytvořená aplikace reprezentuje uživatele pomocí avataru ochuzeného o končetiny z důvodu komplexnosti celého programu. Výsledný avatar poté obsahuje pouze torzo, hlavu a dva páry rukou. Tento způsob reprezentace uživatele je využíván v mnoha jiných aplikací stejného typu, jelikož samotná reprezentace končetin může být v určitých případech problematická a nesprávné chování těchto systémů může mít za následek špatný dojem uživatele z aplikace jako takové [25]. Následující dva snímky obrazovky zobrazují avatary, reprezentující uživatele. Na obrázku číslo 36 je zobrazen uživatel využívající připojení pomocí VR a na obrázku číslo 37 je zobrazen uživatel využívající připojení přes osobní počítač.

Obr. 36: Reprezentace uživatele VR pomocí avataru

Obr. 37: Reprezentace uživatele připojeného pomocí osobního počítače

3.6 Networking

Spojení více osob pomocí internetu může být v Unity3d dosáhnuto mnoho způsoby. Výběr vhodného řešení záleží na mnoha faktorech. Samotná charakteristika programu a jeho potřeby dokážou tuto volbu velice ovlivnit a je zapotřebí zvážit potřeby dané aplikace.

Z pohledu videoherního průmyslu je nejdůležitějším faktorem typ aplikace a následná adaptace síťového řešení. Jestliže se například jedná o videohru s rychlým tempem, je zapotřebí využít takového řešení, které má dostatečnou synchronizační frekvenci. Jestliže se ale jedná o pomalejší hru či program, tento parametr může být zanedbatelný. Dalším bodem při vybírání řešení je počet připojených uživatelů a možnost vertikálního rozšiřování ve smyslu umožnění připojení více uživatelů. S tímto se pojí samotná architektura síťového řešení. Pro menší aplikace může být vhodnou volbou framework využívající peer-to-peer připojení, jestliže se ale aplikace rozroste, tento způsob připojení může být nedostačující a zároveň může vytvářet řadu nepříjemných komplikací.

Existuje řada frameworků zajišťující tuto funkcionalitu, každé řešení nabízí jiné možnosti správy a vývoje síťové části programu, a tak záleží spíše na preferencích uživatele a požadavcích aplikace. Smyslem každého síťového frameworku je vytvořit jistou úroveň abstrakce síťových prvků tak, aby se vývojář aplikace nemusel zabývat náležitostmi nižší úrovně jako například jednotlivé protokoly.

Netcode for GameObjects

Tento framework je součástí skupiny služeb nabízených společností Unity. Tato skupina je tvořena třemi pilíři, a Netcode for GameObjects patří do pilíře prvního, tedy části starající se o vývoj samotného programu. Druhým pilířem jsou služby pro komunikaci a monitorování potřeb uživatelů. Třetí pilíř se zaobírá monetizací programu [26].

Takové řešení jako každé jiné umožňuje synchronizaci potřebných komponent napříč celou sítí připojených uživatelů. Výhodou užití tohoto frameworku je flexibilita při výběru topologie sítě, Netcode for GameObjects nabízí využití jakéhokoliv typu topologie, ať už se jedná o lokální připojení nebo o využití dedikovaného serveru [27]. Samotný framework je vhodný pro tvorbu menších kooperačních programů s maximálně šestnácti současně připojenými uživateli v jedné instanci, toto omezení je ale pouze doporučené a limit připojených uživatelů je limitován spíše zvolenou topologií sítě.

Netcode for GameObjects lze využít v Unity od verze 2020.3 a výše, je ale zapotřebí, aby vývojář programu měl pokročilé znalosti prostředí a skriptování [27]. Samotný fakt, že tento framework je vyvíjen stejnou společností jako samotné vývojové prostředí má za následek hlubokou integraci s existujícími komponenty editoru a nabízí široké možnosti přizpůsobení. Oproti ostatním řešením ale nenabízí příliš hlubokou úroveň abstrakce.

Mirror

Tento framework je jedním z nejstarších, stále podporovaných, řešení vývoje aplikace pro více uživatelů. Díky tomu má samotný framework obrovskou komunitu uživatelů, dokumentace a návodů. Využití tento framework nalezne především u peer-to-peer aplikací s možností využití dedikovaného serveru. Využití dedikovaného serveru za využití tohoto frameworku již ale není ideálně optimalizované [28].

Photon Pun2 a Fusion

Hlavní předností tohoto frameworku je vysoká úroveň abstrakce, a proto nevyžaduje takové znalosti síťového řešení jako předešlé řešení. Framework Fusion je nástupcem frameworku Photon Pun2, je ale stále spíše ve vývojové fázi.

Photon Pun2 byl využit při tvorbě praktické části této práce právě díky své vysoké úrovni abstrakce a široké podpoře využití headsetu virtuální reality. Framework využívá modelu s dedikovaným serverem a nabízí obsáhlou dokumentaci. Dalším důvodem pro výběr je samotná cena využití služby. Služby poskytované tímto frameworkem jsou bezplatné s limitem maximálního dvaceti připojených uživatelů. Synchronizační frekvence mezi uživateli a serverem je 10 volání za sekundu s možností navýšení. Tato frekvence je dostačující pro potřeby aplikace v této fázi [29].

Framework také nabízí řadu podporujících řešení. Jedním z nich je řešení pro implementaci hlasové komunikace mezi uživateli. Toto řešení má stejné limity jako samotný framework, výhodou ale je, že tato část běží na odděleném serveru a nezatěžuje tedy hlavní server dalšími daty [30].

3.6.1 Hierarchie sítě (Server – lobby – rooms - scény)

Při spuštění aplikace je uživatel automaticky připojen na dedikovaný server. Framework poté nabízí připojení do takzvaného „lobby“. Tento abstraktní prostor slouží ke spojení uživatelů za účelem výměny informace, spojení do skupin a následné připojení do místnosti – room. Každá místnost má svého hlavního klienta, tento klient je automaticky vybrán při připojení do místnosti, a je ním z pravidla první připojený uživatel. Na straně tohoto klienta je poté řešena veškerá logika samotného serveru a místnosti [29].

Pro účely této aplikace je při spuštění zvolena možnost automatické synchronizace scén s hlavním klientem. Hlavní klient má tedy poté možnost v aplikaci přepínat mezi dostupnými scénami a zvolená scéna se poté synchronizuje s ostatními uživateli. Veškerá logika strojů ve scéně Workshop je řízena na straně hlavního klienta a ostatním uživatelům jsou poté pouze zasílány parametry a informace o objektech ve scéně pomocí nástrojů popsaných v další kapitole.

Každému uživateli jsou při připojení přiřazeny parametry, které si buďto sám navolí v uživatelském prostředí (jméno uživatele), nebo mu jsou přiřazeny (ID uživatele). Tyto parametry jsou poté využity k funkcím v jednotlivých místnostech. Každý uživatel si například zobrazí parametr jména každého připojeného uživatele a na pozici, kde se uživatel nachází instancuje objekt jmenovky, kde se tento parametr objeví. Unikátní

identifikátor – ID, je poté využit například v zasedací místnosti, kde pomocí tohoto identifikátoru je uživateli přiřazeno místo v zasedacím pořádku.

3.6.2 Propojení a autentizace

Pro připojení uživatelů je žádoucí využití dedikovaného serveru. Tyto dedikované servery spravované společností Photonengine, se nachází po celém světě a je zapotřebí, aby všichni uživatelé byli připojení na stejný dedikovaný server [31].

Region	Hosted in	Token
Asia	Singapore	asia
Australia	Melbourne	au
Canada, East	Montreal	cae
Chinese Mainland[1] (See Instructions)	Shanghai	cn
Europe	Amsterdam	eu
India	Chennai	in
Japan	Tokyo	jp
South Africa	Johannesburg	za
South America	Sao Paulo	sa
South Korea	Seoul	kr
Turkey	Istanbul	tr
USA, East	Washington D.C.	us
USA, West	San José	usw

Obr. 38: Přehled dostupných regionů služby Photon Pun2 [31]

Pro účely vývoje aplikace je vybraný server staticky zvolen pro všechny uživatele, a to server EU. Tento server se nachází v Amsterdamu, to má za následek mírné zvýšení odezvy uživatele, pro běžný provoz je ale odezva dostatečně nízká.

Komunikační protokol je pro aplikaci zvolen TCP, framework nabízí také možnost využití UDP, ale zmíněný protokol TCP byl shledán vhodnější volbou díky ověřování odeslaných dat.

Framework nabízí mnoho způsobů ověření uživatele. Pro účely aplikace v této fázi není zapotřebí využití žádného ověření, jelikož aplikace neukládá žádná data o uživateli a při každém spuštění uživatel vyplní pouze své jméno. Samotná vrstva ochrany, kterou ověřování přináší je v aplikaci nahrazena nutností vložení unikátního identifikátoru vytvořené místnosti.

Pro případy dalšího vývoje aplikace přidáním pokročilých funkcí obsahujících citlivé informace o uživateli, popřípadě o obsahu aplikace, je zde možnost využití již existujících ověřovacích řešení jako například Facebook Authentication, Photon Oculus Authentication, nebo vytvoření vlastního ověřovacího systému.

3.6.3 Komponenty zajišťující funkcionalitu

Jak již bylo řečeno, využitý framework nabízí vysokou úroveň abstrakce síťového řešení. To je řešeno pomocí komponent obsažených v samotné knihovně frameworku. Tyto komponenty poté slouží k synchronizaci parametrů jednotlivých objektů ve scéně.

V samotné aplikaci tedy poté existují dva druhy objektů. Jedním z nich je objekt, jehož parametry nejsou nijak synchronizovány s ostatními uživateli, jedná se především o statické objekty ve scéně jako například samotné prostředí.

Jestliže je zapotřebí synchronizovat parametry objektu, jako například jeho polohu, rotaci nebo fyzické parametry, je zapotřebí objekt vybavit příslušnými komponenty.

Framework nabízí možnost vytvoření takového objektu s příslušnými vlastnostmi během chodu programu, pomocí funkce ve skriptu. Tento způsob tedy plně nahradí základní funkci enginu Unity pro vytvoření instance objektu ve scéně.

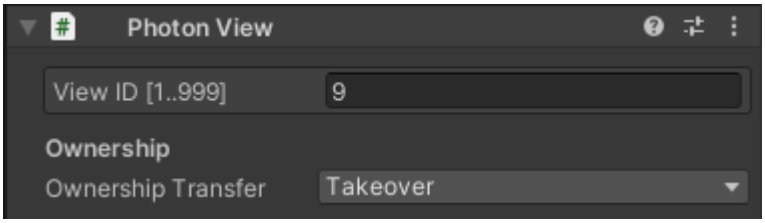
```
PhotonNetwork.Instantiate(objectToSpawn, position, rotation);
```

Zdrojový kód 1: Příklad vytvoření nového objektu synchronizovaného napříč sítí

Jestliže se ale objekt ve scéně nachází již při spuštění a je stále zapotřebí jeho parametry synchronizovat je nutností takový objekt vybavit zmíněnými komponenty.

Photon View

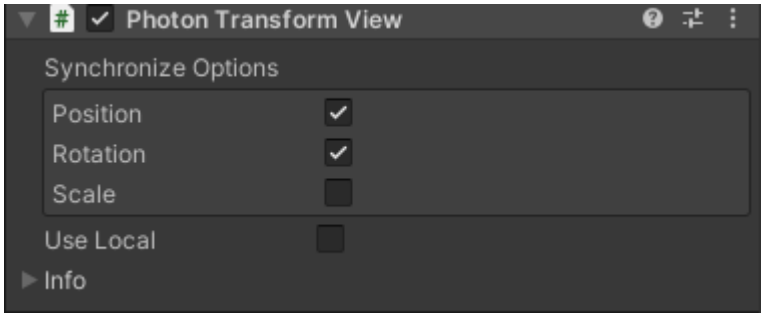
Základním komponentem objektu, který je synchronizován přes síť je Photon View. Tento komponent obsahuje samotnou logiku pro kompresi dat a následné odeslání a synchronizaci s ostatními uživateli. Základním parametrem tohoto komponentu je unikátní identifikátor. Je zapotřebí, aby tento identifikátor byl totožný se stejným objektem u ostatních uživatelů. Mezi další parametry patří například typ přenosu vlastnictví. Systém vlastnictví je velice důležitou součástí a zajišťuje to, aby s objektem ve scéně mohl manipulovat pouze jeden uživatel současně. Pro účely aplikace je tento parametr nastaven na hodnotu „takeover“ a ve skriptu zajišťujícím manipulaci s objektem je poté zajištěno přivlastnění tohoto objektu, jestliže je to možné.



Obr. 39: Komponent Photon View

Photon transform view

Tento podpůrný komponent slouží k automatické synchronizaci polohy a rotace objektu napříč uživateli. Mezi nastavitelné parametry patří výběr synchronizovaných parametrů a možnost synchronizace lokální či globální pozice. Jestliže tedy jeden uživatel s objektem ve scéně pohybuje, je tato změna synchronizována s ostatními uživateli v příslušné synchronizační frekvenci.



Obr. 40: Komponent Photon Transform View

Photon rigidbody view

Alternativou synchronizace polohy a rotace je synchronizace fyzických vlastností objektu, jako například jeho absolutní rychlost, úhlová rychlost a podobně. Tento způsob je vhodnější pro rychle se pohybující objekty, jelikož jeho pohyb není simulován pomocí změny polohy v určité frekvenci, ale namísto toho je pohyb plynulý a synchronizují se pouze jeho fyzické vlastnosti.

RPC

RPC neboli remote protocol call, je funkce frameworku, zajišťující pokročilou synchronizaci parametrů a vzdálené volání funkcí napříč jednotlivými instancemi skriptů uživatelů. Jakýkoliv uživatel může vyvolat funkci označenou RPC a zvolit cílové uživatele. V konkrétním případě aplikace, spuštění stroje, tedy vykoná následující příkaz a každému připojenému uživateli se na stejném objektu ve stejném skriptu spustí příslušná funkce.

```
public void Net_IncreaseSpawnRate(){
   _photonView.RPC("IncreaseSpawnRate", RpcTarget.All);
}
[PunRPC]
private void IncreaseSpawnRate(){
   if (RespawnRate == 10)
       return;

   RespawnRate++;

   if (PhotonNetwork.IsMasterClient){
       CancelInvoke("Spawn");
       InvokeRepeating("Spawn", 0, RespawnRate);
   }
}
```

Zdrojový kód 2: Příklad zdrojového kódu volání funkce RPC

Tato funkce nabízí možnost poslání parametrů ve formě packetu. Jednotlivé parametry musí být encodovány do Byte array.

```
private void UpdateTextureNetwork(){
   byte[] bytes = BoardTexture.EncodeToPNG();
   if (bytes.Length > 0){
       PhotonView.RPC("UpdateBoardTexture", RpcTarget.Others, bytes);
   }
}
```

Zdrojový kód 3: Příklad volání funkce RPC s parametry

Této možnosti je využito v systému digitální tabule, kdy je v určité frekvenci zaslána ostatním uživatelům změněná textura tabule, která je poté zobrazena.

```
[PunRPC]
private void UpdateBoardTexture(byte[] bytes){
    Texture2D Texture = BoardTexture;
    Texture.LoadImage(bytes);
    BoardTexture = Texture;
    _renderer.material.mainTexture = BoardTexture;
```

Zdrojový kód 4: Zdrojový kód synchronizace obsahu virtuální tabule

4 ZÁVĚR

V teoretické části byla nastíněna problematika průmyslu 4.0 a možnosti využití technologie virtuální reality společně s vývojovým prostředím Unity3D.

V praktické části byla vytvořena aplikace zajišťující spojení více osob ve virtuálním prostředí s možností využití brýlí virtuální reality, nebo osobního počítače. Připojení uživatelé mohou využívat funkce aplikace zajišťující komunikaci a nástroje posilující možnosti prezentace obsahu. Aplikace byla rozšířena o průmyslové funkce tak, aby umožňovala prezentaci a ovládání virtuálního modelu. Aplikace obsahuje výběr ze tří dostupných prostředí.

První vytvořené prostředí zastupuje funkci konferenční místnosti. Každý připojený uživatel má přiřazeno své místo u zasedacího stolu a následně může komunikovat s ostatními uživateli pomocí hlasové komunikace. Uživatel virtuální reality může využít volného pohybu po místnosti a funkcí, jako například virtuální tabule či prezentace.

Druhým prostředím je školní učebna. Vytvořená místnost umožňuje prezentující osobě stejné funkcionality, jako v reálné školní učebně, a navíc tyto funkce rozšiřuje o možnosti virtuálního prostředí. Je tedy například možnost listování stránek na tabuli nebo kompletní vymazání obsahu tabule pomocí zmáčknutí jednoho tlačítka. Místnost je obohacena o možnost prezentace virtuálních modelů. Takový model poté rozšiřuje možnosti výkladu o praktické ukázky. Výhodou virtuálního prostředí je ta, že zmíněný model může popírat fyzické zákony a je například možné vizualizovat řez běžícího motoru.

Poslední místnost se soustředí na možnosti využití aplikace v průmyslu. Jedná se o halu s prostorem pro vložení průmyslové sestavy. Vložená sestava může být pouhou vizualizací a sloužit k prezentaci návrhu, nebo může být ve vývojovém prostředí Unity3D obohacena a ovládací prvky. Sestava poté může být použita k mnoha průmyslovým aplikacím jako například sledování simulace, analýzu interních dějů, nebo trénování obsluhy. Součástí místnosti jsou dvě demo sestavy ukazující zmíněné možnosti aplikace.

Při vývoji aplikace byl kladen důraz na snadnou modifikovatelnost aplikace. Aplikace nabízí znovuvyužití funkcionalit v jakékoliv nově vytvořené místnosti. Do aplikace může být snadno vloženo nové prostředí za účelem jiného druhu prezentace. Veškeré průmyslové prvky jsou vytvořeny jako modulární systém. Příkladem toho je systém pásových dopravníků. Mírně pokročilý uživatel softwaru Unity3D může snadno pomocí drag and drop systému vytvořit novou sestavu logistické linky.

Vytvořená aplikace nalezne využití v jakékoliv firmě a umožní zaměstnancům nový způsob vzdálené komunikace. Díky průmyslovým prvkům lze aplikaci využít k vizualizaci, simulaci a vzdálené diagnostice strojů.

Ačkoli se aplikace nachází v provozuschopném stavu, existují stále části, kde je zapotřebí aplikaci zlepšit. Příkladem toho je systém reprezentace uživatele. Tento systém by bylo vhodné rozšířit o vizualizaci celých končetin namísto stávajícího systému reprezentace torza a rukou.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] SPERINGER, Markus a Judith SCHNELZER. Differentiation of Industry 4.0 Models. The 4th Industrial Revolution from different Regional Perspectives in the Global North and Global South. [online]. 2019 [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.35510.55363

[2] ZHOU, Keliang, TAIGANG LIU, a LIFENG ZHOU. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD) [online]. Zhangjiajie, China: IEEE, 2015, s. 2147–2152 [vid. 2023-03-18]. ISBN 9781467376822. Dostupné z: doi:10.1109/FSKD.2015.7382284

[3] WITTENBERG, Carsten. Human-CPS Interaction - requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0. IFAC-PapersOnLine [online]. 2016, 49(19), 420–425 [vid. 2023-03-18]. ISSN 24058963. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifacol.2016.10.602

[4] MARILUNGO, Eugenia, Alessandra PAPETTI, Michele GERMANI a Margherita PERUZZINI. From PSS to CPS Design: A Real Industrial Use Case Toward Industry 4.0. Procedia CIRP [online]. 2017, 64, 357–362 [vid. 2023-03-18]. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2017.03.007

[5] CHEN, Baotong, Jiafu WAN, Lei SHU, Peng LI, Mithun MUKHERJEE a Boxing YIN. Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. IEEE Access [online]. 2018, 6, 6505–6519 [vid. 2023-03-20]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2017.2783682

[6] PÉREZ-LARA, Magdiel, Jania Astrid SAUCEDO-MARTÍNEZ, José Antonio MARMOLEJO-SAUCEDO, Tomás Eloy SALAIS-FIERRO a Pandian VASANT. Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. Wireless Networks [online]. 2020, 26(7), 4767–4775 [vid. 2023-03-20]. ISSN 1022-0038, 1572-8196. Dostupné z: doi:10.1007/s11276-018-1873-2

[7] BICAKU, Ani, Silia MAKSUTI, Silke PALKOVITS-RAUTER, Markus TAUBER, Rainer MATISCHEK, Christoph SCHMITTNER, Georgios MANTAS, Mario THRON a Jerker DELSING. Towards trustworthy end-to-end communication in industry 4.0. In: 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) [online]. Emden: IEEE, 2017, s. 889–896 [vid. 2023-03-20]. ISBN 9781538608371. Dostupné z: doi:10.1109/INDIN.2017.8104889

[8] SCHROEDER, Henrik, Axel FRIEDEWALD, Chris KAHLEFENDT a Hermann LÖDDING. Virtual Reality for the Training of Operators in Industry 4.0. In: Hermann LÖDDING, Ralph RIEDEL, Klaus-Dieter THOBEN, Gregor VON CIEMINSKI a Dimitris KIRITSIS, ed. Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017, s. 330–337. IFIP Advances in Information and Communication Technology. ISBN 9783319669236. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-66923-6_39

[9] OTTOSSON, Stig. Virtual reality in the product development process. Journal of Engineering Design [online]. 2002, 13(2), 159–172 [vid. 2023-03-23]. ISSN 0954-4828, 1466-1837. Dostupné z: doi:10.1080/09544820210129823

[10] LIAGKOU, Vasiliki, Dimitrios SALMAS a Chrysostomos STYLIOS. Realizing Virtual Reality Learning Environment for Industry 4.0. Procedia CIRP [online]. 2019, 79, 712–717 [vid. 2023-03-23]. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2019.02.025

[11] PIRES, Flavia, Ana CACHADA, Jose BARBOSA, Antonio Paulo MOREIRA a Paulo LEITAO. Digital Twin in Industry 4.0: Technologies, Applications and Challenges. In: 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) [online]. Helsinki, Finland: IEEE, 2019, s. 721–726 [vid. 2023-03-23]. ISBN 9781728129273. Dostupné z: doi:10.1109/INDIN41052.2019.8972134

[12] PÉREZ, Luis, Silvia RODRÍGUEZ-JIMÉNEZ, Nuria RODRÍGUEZ, Rubén USAMENTIAGA a Daniel F. GARCÍA. Digital Twin and Virtual Reality Based Methodology for Multi-Robot Manufacturing Cell Commissioning. Applied Sciences [online]. 2020, 10(10), 3633 [vid. 2023-04-02]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app10103633

[13] TECHNOLOGIES, Unity. Unity - Manual: Getting started with VR development in Unity [online]. [vid. 2023-04-02]. Dostupné z: https://docs.unity3d.com/Manual/VROverview.html

[14] Escape from Tarkov official page. www.escapefromtarkov.com [online]. [vid. 2023-04-03]. Dostupné z: https://www.escapefromtarkov.com/

[15] HUSSEIN, Ahmed, Fernando GARCIA a Cristina OLAVERRI-MONREAL. ROS and Unity Based Framework for Intelligent Vehicles Control and Simulation. In: 2018 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES) [online]. Madrid: IEEE, 2018, s. 1–6 [vid. 2023-04-03]. ISBN 9781538635438. Dostupné z: doi:10.1109/ICVES.2018.8519522

[16] SOMRAK, Andrej, Matevž POGAČNIK a Jože GUNA. Suitability and Comparison of Questionnaires Assessing Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects and User Experience in Virtual Environments. Sensors [online]. 2021, 21(4), 1185 [vid. 2023-04-03]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21041185

[17] KELEŞOĞLU, Muhammet Münir a Derya Güleç ÖZER. A Study on Digital Low Poly Modeling Methods as an Abstraction Tool in Design Processes. Civil Engineering and Architecture [online]. 2021, 9(7), 2570–2586 [vid. 2023-04-10]. ISSN 2332-1091, 2332-1121. Dostupné z: doi:10.13189/cea.2021.091513

[18] Physically accurate conveyors in Unity [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=hC1QZ0h4oco

[19] The Industrial Metaverse [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=wAlcX7QaWkc

[20] Meta Horizon Workrooms [online]. Dostupné z: https://forwork.meta.com/horizon-workrooms/

[21] TECHNOLOGIES, Unity. Unity - Manual: XR Interaction Toolkit [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://docs.unity3d.com/Manual/com.unity.xr.interaction.toolkit.html

[22] Oculus Integration SDK [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://developer.oculus.com/downloads/package/unity-integration/

[23] OpenXR Plugin | OpenXR Plugin | 1.6.0 [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.openxr@1.6/manual/index.html

[24] Input System | Input System | 1.0.2 [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.inputsystem@1.0/manual/index.html

[25] GONZALEZ-FRANCO, Mar, Brian COHN, Eyal OFEK, Dalila BURIN a Antonella MASELLI. The Self-Avatar Follower Effect in Virtual Reality. In: 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) [online]. Atlanta, GA, USA: IEEE, 2020, s. 18–25 [vid. 2023-04-15]. ISBN 9781728156088. Dostupné z: doi:10.1109/VR46266.2020.00019.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9089510&isnumber=9089432

[26] TECHNOLOGIES, Unity. Unity Gaming Services: Live Game Development Platform [online]. [vid. 2023-05-10]. Dostupné z: https://unity.com/solutions/gaming-services

[27] About Netcode for GameObjects | Unity Multiplayer Networking [online]. [vid. 2023-05-10]. Dostupné z: https://docs-multiplayer.unity3d.com/netcode/current/about/

[28] Mirror Networking [online]. [vid. 2023-05-10]. Dostupné z: https://mirror-networking.gitbook.io/docs/

[29] Introduction | Photon Engine [online]. [vid. 2023-05-10]. Dostupné z: https://doc.photonengine.com/pun/current/getting-started/pun-intro

[30] Voice Intro | Photon Engine [online]. [vid. 2023-05-10]. Dostupné z: https://doc.photonengine.com/voice/current/getting-started/voice-intro

[31] Regions | Photon Engine [online]. [vid. 2023-05-10]. Dostupné z: https://doc.photonengine.com/pun/current/connection-and-authentication/regions

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Přehled průmyslových revolucí [1] ... 17
Obr. 2: Využití VR a digitálního dvojčete v různých fázích vývoje ... 20
Obr. 3: Fyzická verze dopravníku [12] ... 21
Obr. 4: Virtuální verze dopravníku [12] ... 21
Obr. 5: Snímek obrazovky ze hry Escape from Tarkov [14] ... 22
Obr. 6: Schéma komunikace ROS a Unity3D [15] ... 23
Obr. 7: Snímek hlavního menu programu ... 26
Obr. 8: Formulář pro připojení do místnosti ... 27
Obr. 9: Formulář pro vytvoření místnosti ... 27
Obr. 10: Uživatelské rozhraní formou bočního panelu ... 28
Obr. 11: Zobrazení prezentace v režimu na celou obrazovku ... 29
Obr. 12: Menu pro změnu aktivní scény ... 29
Obr. 13: Uživatelské prostředí formou tabletu ... 30
Obr. 14: Panel zobrazující připojené uživatele ... 31
Obr. 15: Prostředí scény Meeting room ... 32
Obr. 16: Snímek obrazovky scény Meeting room ... 32
Obr. 17: Prostředí scény Classroom ... 33
Obr. 18: Funkce virtuální tabule ... 33
Obr. 19: Funkce prezentace modelu ... 34
Obr. 20: Prostředí scény Workshop ... 35
Obr. 21: Virtuální verze stroje pro kontrolu automobilových součástek ... 35
Obr. 22: Centrální rotační platforma stroje ... 36
Obr. 23: Modulární systém pásových dopravníků ... 37
Obr. 24: Virtuální logistická linka ... 38
Obr. 25: Panel pro ovládání příchozích balíků ... 38
Obr. 26: Cesty objektu po soustavě pásových dopravníků ... 39
Obr. 27: Schéma popisující princip pásového dopravníku [18] ... 39
Obr. 28: Senzor logistické linky ... 40
Obr. 29: Vizualizace inverzní kinematiky robotického ramene ... 41
Obr. 30: Virtuální graf zobrazující vytížení linky ... 42
Obr. 31: Nastavení pluginu XR Management ... 44
Obr. 32: Nastavení akcí hardwarovým inputům ... 45
Obr. 33: Komponent Tracked Pose Driver ... 46
Obr. 34: Komponent XR Controller ... 46
Obr. 35: Animation rig Avataru ... 47
Obr. 36: Reprezentace uživatele VR pomocí avataru ... 48
Obr. 37: Reprezentace uživatele připojeného pomocí osobního počítače ... 48
Obr. 38: Přehled dostupných regionů služby Photon Pun2 [31] ... 51
Obr. 39: Komponent Photon View ... 52

Obr. 40: Komponent Photon Transform View 53

SEZNAM PŘÍLOH

1) QR kód odkazující na demonstrační video

PŘÍLOHY

1) QR kód odkazující na demonstrační video