

# Virtuálne prostredie pre experimentálne posúdenie kognitívnych funkcií

Branislav Sobota<sup>1</sup>, Štefan Korečko<sup>2</sup>, Igor Farkaš<sup>3</sup>, Marián Hudák<sup>4</sup>, Martin Sivý<sup>5</sup>, Peter Vasil<sup>6</sup>, Dominik Trojčák<sup>7</sup>

<sup>1,2,4,5,6,7</sup>Katedra počítačov a informatiky

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Technická Univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

<sup>3</sup>Centrum pre kognitívnu vedu, Katedra aplikovanej informatiky

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovenská republika

<sup>1</sup>branislav.sobota@tuke.sk, <sup>2</sup>stefan.korecko@tuke.sk, <sup>3</sup>farkas@ii.fmph.uniba.sk

## Abstrakt

Použitie virtuálno-reality technológií sa dostáva čoraz viac do popredia vďaka svojej interaktívnosti, realističnejšiemu zobrazovaniu údajov, schopnosti vytvoriť ilúziu fyzickej prítomnosti a hlavne lepšiemu zážitku. V tomto článku v krátkosti informujeme o súčasnom stave realizácie experimentu, realizovaného v rámci projektu vylepšovania kognície a motorickej rehabilitácie s využitím technológií virtuálnej reality. Pre tento experiment bol vybraný virtuálno-reality systém LIRKIS CAVE, ktorý sa nachádza na Technickej univerzite v Košiciach a je súčasťou laboratória LIRKIS. Experiment je vykonávaný v tomto virtuálnom prostredí formou hry. Navrhnutá hra je typu Tower Defense. V hre sa vyskytuje samotný hráč, ktorý ovláda hru a je takisto subjektom experimentu. Jeho úlohou je zostreľovať nepriateľské drony nalietajúce proti nemu. Čo však do hry vnáša zmysel, je to, že drony nalietajúce proti hráčovi sú rozdelené medzi takzvané cieľe (drony, na ktoré by sa mal hráč zamerať a zostreľovať ich) a distraktory (drony, ktoré sú v scéne iba ako prostriedok na zmätenie a zaťaženie pracovnej pamäte daného hráča). Hra je definovaná ako herná slučka a je implementovaná v jazyku RUBY dostupnom vo vizualizačnom systéme jaskyne. Z hľadiska kognitívneho je najdôležitejšou časťou implementácie grafické prevedenie testovacieho virtuálneho prostredia a samozrejme následne virtuálnych objektov, s ktorými je testovaný subjekt konfrontovaný.

## 1 Úvod

Rozvoj výpočtovej techniky v súčasnosti je závažný. Jednou z najprogresívnejších technológií v tomto smere je virtuálna realita (Sobota B., Hrozek F., 2013). Použitie virtuálno-reality technológií sa tak dostáva čoraz viac do popredia vďaka svojej interaktívnosti, realističnejšiemu zobrazovaniu údajov, schopnosti vytvoriť ilúziu fyzickej prítomnosti a hlavne lepšiemu zážitku. Uplatnenie našli tieto technológie taktiež v kognitívnych a príbuzných vedách. Je možné povedať, že virtuálno-reality technológie sú efektívnym a aplikovateľným nástrojom pre postupy, ktoré doteraz

neboli možné alebo boli veľmi ťažko aplikovateľné (Sobota et al., 2017). Napr. už (Nielsen, 1993) uvádza, že používatelia s kognitívnymi poruchami môžu mať problémy s navigáciou v rozhraní a pri čítaní dlhších textov. Preto je vhodné prostredie maximálne zjednodušiť práve formou naturálnych typov rozhraní, ktorými disponujú hlavne virtuálno-reality systémy. Prototyp (Vinumol et al., 2013) predstavuje akési interaktívne učebnice, ktoré pomáhajú študentom s poruchami učenia. Použitím špeciálnych značiek a identifikátorov sa deti začali výraznejšie zameriavať na obrázky, audio a video. Tým sa docielil jednoduchší proces učenia. Použitie špeciálnych značiek v kombinácii s 3D objektmi môže byť pre študentov pri výučbe niekoľkonásobne efektívnejší. Navyše tak boli stanovené niektoré postupy aj pre kognitívne testovanie budúcich študentov na niektorých školách. Podľa štúdie uvedenej v (Yao-Jen Chang et al., 2013)0, ľuďom s kognitívnymi poruchami výrazne pomohlo použitie rozšírenej reality pri správe odborných úloh. Poskytnutím obrázkových podnetov, ktoré viedli k identifikovaniu chybných krokov počas behu programu pomohlo používateľom vykonávať opravy. To viedlo k zlepšeniu ich odborných pracovných zručností. Využitie zmiešanej reality pri riešení problémov kognitívnych schopností je ideálnym spôsobom ako získať pozornosť ľudí. Takto je možné jednoducho dosiahnuť, aby si znázorňované informácie asociovali a zapamätali. Z konceptuálneho pohľadu budú raz môcť prístroje na báze VR bez problémov rozšíriť kognitívne schopnosti človeka, ako je vnímanie a usudzovanie, ovplyvňovať jeho akcie v reálnom ako aj vo virtuálnom svete (Ricci et al., 2015). Tieto svety (inteligentné prostredia) umožnia nielen sledovať ľudí počas vykonávania úloh, poskytovať im podporu splňaním ich požiadaviek, ale aj ovplyvňovať a meniť ich plány a zámery. Veď už v priebehu posledných rokov sa výrazne posunul aj potenciál virtuálno-reality systémov ako po stránke hardvérovej, tak po stránke softvérovej čím sa možnosti kognitívneho testovania výrazne posunuli. Tento potenciál sa snaží využiť aj Laboratórium inteligentných rozhraní komunikačných a

informačných systémov (LIRKIS) Katedry počítačov a informatiky na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. V tomto článku v krátkosti informujeme o súčasnom stave



realizácie experimentu (Korečko et al., 2018), realizovaného v rámci projektu vylepšovania kognície a motorickej rehabilitácie s využitím technológií virtuálnej reality (VR). Na rozdiel od iba zaznamenávania kognitívnych reakcií v priebehu aktívnej interakcie vo VR prostrediach sa tu skúmajú následné kognitívne účinky týchto interakcií. Motiváciou experimentu je hľadanie odpovede na otázku, či tréning vo VR vyvoláva zmeny v kognícii a identifikácia neurálnych korelátov týchto zmien. V rámci postupov, ktoré by otázku zodpovedali, boli vybrané aj určité behaviorálne kognitívne testy zamerané na pozornosť, priestorovú orientáciu a pracovnú pamäť. Jeden z týchto testov bude po technologickej stránke popísaný v článku.

Z hľadiska VR technológií patri laboratórium LIRKIS k najmodernejším v Slovenskej republike. Z mnohých dostupných technológií umožňuje napríklad 2D a 3D vizualizáciu, komunikáciu pomocou rozpoznávania obrazu, komunikáciu pomocou dátovej rukavice alebo EMG senzorov. Okrem 3D vizualizácie ponúka aj veľkoplošné zobrazovanie, vrátane dotykovej interakcie a použitia dátových prilb.

## 2 Virtuálne priestory a vizualizácia

Využitie vizualizácie je prioritným smerom, nakoľko 80% informácií človek vníma zrakom. V rámci VR je tu použiteľné veľkoplošné zobrazovanie napr. pomocou systému CAVE alebo pomocou výstupov 3D tlač, pričom 3D tlač je jedným zo smerov, ktorý bude v laboratóriu pravdepodobne sledovaný v budúcnosti. Ďalšou možnosťou, vhodnou aj pre kognitívne postihnuté osoby, je použitie dátových prilieb. To z hľadiska vizualizácie poskytne omnoho pohlcujúcejší zážitok (Sobota et al., 2017). Platí to aj v prípade počítačových hier. Využitie dátových prilieb sa už teraz ukazuje ako prevyšujúce svet počítačových hier, keďže ponúka vernú reprezentáciu virtuálnej reality za nízku cenu. Príkladom využitia je okrem virtuálnej reality a ponúknutia verného trojrozmerného obrazu aj využitie samotnej dátovej prilby na priame ovládanie kurzora pre prácu s výpočtovým systémom v rámci dátovej prilby.

Špičkovým riešením v tomto ohľade je použitie systému CAVE. Skratka CAVE znamená Cave Automatic Virtual Environment. Predstavuje plne imersívny systém virtuálnej reality, ktorý môže používateľovi poskytnúť realistický zážitok. Používateľ nie je len statickým pozorovateľom, ale môže s prostredím interagovať. Na tento účel sa najčastejšie používa zariadenie s polohovými senzormi (Xiaoming Nan et al., 2013). Prvý CAVE system bol postavený na University of Illinois v Chicagu v roku 1992. Využíval projekciu na 3 steny a podlahu, stereoskopické okuliare a polohové senzory. Vývoj v tejto oblasti na univerzite

pokračuje naďalej, v roku 2012 predstavili CAVE2 – system založený na množstve LCD obrazoviek usporiadaných do polobúľka, riadený 36 počítačmi (University Illinois, 2013).



**Obr. 1:** Virtuálna jaskyňa LIRKIS CAVE.

Virtuálne realitný systém vybraný pre tento experiment je LIRKIS CAVE (Hudák et al., 2017), ktorý sa nachádza na Technickej univerzite v Košiciach a je súčasťou laboratória LIRKIS (Obr. 1:). Ide o kompaktné prenosné prostredie virtuálnej reality so zobrazovacou plochou 2,5 x 2,5 x 3 metre. Jeho vizuálny výstup je vykreslený na dvadsiatich 55-palcových stereoskopických LCD paneloch. 14 z týchto panelov je umiestnených vertikálne pozdĺž 7 strán dekadónu. Vďaka týmto vlastnostiam poskytuje CAVE 250-stupňový panoramatický priestor. Zvyšných 6 panelov je umiestnených horizontálne na strope (3 panely) resp. podlahe (3 panely). CAVE podporuje širokú škálu vstupných používateľských zariadení. Dostupné sú bežné zariadenia ako myš, klávesnica, Joystick resp. Gamepad, ale aj zariadenia špecifické pre VR systémy. Tu patria napríklad MYO a OptiTrack, ktoré priamo zachytávajú pohyby používateľa. Renderovanie virtuálnych scén ako aj interakcia používateľa sú zabezpečené pomocou klastra zloženého zo 7 počítačov, ktoré sú vybavené grafickými kartami Nvidia Quadro.

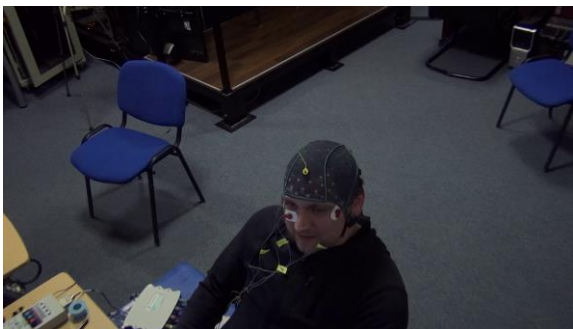
Po programovej stránke je použitá vizualizácia na báze knižnice OSG s podporou skriptovania v jazyku Ruby. Najväčšou výhodou tohto systému je to, že už je vyskúšaný a overený v prostredí LIRKIS CAVE a je momentálne jediným plnohodnotným a funkčným riešením pre prácu s CAVE. Medzi veľké výhody systému patrí taktiež jeho plná integrácia a funkčnosť so zariadením OptiTrack, ktoré je súčasťou hardvéru v laboratóriu LIRKIS. Medzi základné možnosti, čo systém ponúka patria:

- Umiestnenie 3D objektu do scény, nastavenie jeho súradníc,
- Rotácia objektu v scéne,

- Binárne riešenie viditeľnosti objektu vloženého do scény – objekt je možné zobrazit' alebo skryť,
- Funkcia pre lineárny interpolátor a
- Umiestnenie kamery do scény a pohyb kamerou v scéne.

### 3 Opis a ciele experimentu

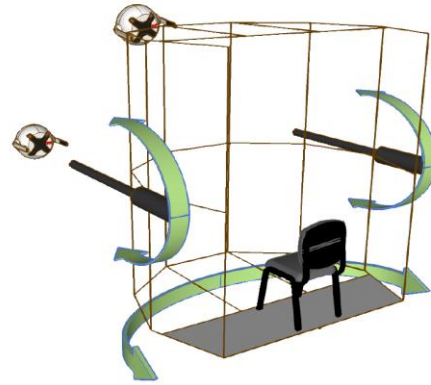
Experiment, okrem iného (Obr. 2:), sa zameriava na posúdenie kognitívnych funkcií človeka v prostredí virtuálnej reality. Experiment by mal zaťažiť priestorovú pamäť a priestorové vnímanie z pohľadu človeka, taktiež by sa mal zamerať na vnímanie priestorových vzťahov medzi objektami a následne vyhodnotiť dlhodobjší vplyv hrania takejto špeciálne vytvorenej virtuálno-reality hry na kognitívne schopnosti človeka. Experiment bude vykonaný vo virtuálnom prostredí LIRKIS-CAVE, formou hry.



Obr. 2: EEG meranie pred použitím virtuálneho prostredia LIRKIS CAVE.

Navrhnutá hra je typu *Tower Defense* a bola vyvinutá špeciálne na účely tohoto experimentu. V hre sa vyskytuje samotný hráč, ktorý bude danú hru ovládať a je takisto subjektom experimentu. Jeho úlohou bude zostreľovať nepriateľské drony, ktoré budú nalietať proti nemu. Čo však do hry vnáša zmysel, je to, že drony nalietajúce proti hráčovi sú rozdelené medzi takzvané cieľe – drony, na ktoré by sa mal hráč zamerať a zostreľovať ich a distraktory – drony, ktoré sú v scéne iba ako prostriedok na zmätenie a zaťaženie pracovnej pamäte daného hráča. Konceptuálny návrh hry v prostredí LIRKIS CAVE je zobrazený na Obr. 3:

Ciele hry sa dajú v rámci experimentu chápať, resp. sa na nich dá pozerieť z dvoch uhlov pohľadu. Prvým je pohľad zo strany experimentu, to znamená, aký je zmysel hry pre samotný experiment a o čo ide v experimente. Druhým pohľadom je pohľad na cieľ hry zo strany samotného hráča, ktorý bude hrať danú hru. V druhom prípade ide teda skôr o opis jeho možností v hre, čo by sa mal snažiť v danej hre dosiahnuť a akým spôsobom by to mal dosiahnuť.



Obr. 3: Konceptuálny návrh hry experimentu v prostredí LIRKIS CAVE.

#### 3.1 Ciele experimentu a hry

Cieľom experimentu je zistiť vplyv dlhodobjšieho hrania hry na rôzne kognitívne schopnosti človeka, ako napríklad priestorová pamäť, vzťahy medzi objektami v 3D priestore, rozpoznávanie objektov v priestore a podobne. Je tu možné sústrediť základné požiadavky na hru (PH) ako súčasť experimentu:

- PH1. Hra pozostáva z niekoľkých úrovní (levelov) s narastajúcou zložitou. Každý level predstavuje vopred stanovený počet behov (trials), čo sú vlastne nálety zhlukov dronov. Každý level je daný svojou zložitou zhlukou – bod PH3.
- PH2. V rámci jedného behu sa blížia objekty v menšom počte, pričom vytvárajú priestorový zhluk, ktorý sa v čase nerozptýli (objekty majú podobný smer pohybu a rovnakú rýchlosť). Zhluk sa vynorí v ľubovoľnej zadnej časti priestoru a lineárne sa pohybuje smerom k rovine hráča, no nemusí smerovať priamo na hráča. Všetky drony v zhluku sa objavia v rovnakom čase.
- PH3. Veľkosť a zloženie zhlukov sú dané úrovňou hry, no mierne sa menia aj v rámci jednej úrovne. Označenie zhlukov je #T/#D, kde # = počet, T = cieľ, D = distraktor (napr. 3/2 znamená 3 cieľové objekty a 2 distraktory). Každá úroveň hry má stanovenú strednú hodnotu, pričom jednotlivé inštancie v rámci hry danej úrovne sa môžu líšiť o hodnotu +/-1 ks. Tým sa mierne mení počet T alebo D v daných epizódach. Vo vstupnej konfigurácii pre jednotlivé levely sa uvádza hodnota #T/#D, charakterizujúca daný level. parametrom je tiež variabilita okolo strednej hodnoty.
- PH4. Objekty v rámci zhlukov majú rovnakú farbu, líšia sa len tvarom (uvažujeme N rôznych 3D tvarov polygonálneho typu, nech N=5), pričom v rámci každého behu je jeden typ objektu cieľom, ostatných N-1 typov sú distraktory. Všetky typy objektov majú približne rovnakú

tvarovú zložitnosť a sú vzájomne zhruba rovnako nepodobné (odlišiteľné).

- PH5. Typ cieľového objektu sa mení v každom behu a indikuje sa na obrazovke (napr. nejakou značkou na cieľovom objekte) v čase, keď sa zhluk vynorí, aby si to hráč mohol všimnúť.
- PH6. Počas behu raz (počas existencie zhluku) nastane situácia, že na obrazovke nastane “výpadok prúdu”, keď časť obrazovky veľmi stmavne (okrem podlahy veže) na krátku dobu (600 až 900 ms). Objekty však pokračujú v pohybe a po výpadku hráč musí reagovať ako predtým (cieľové objekty budú o čosi bližšie). Výpadok prúdu má za cieľ zaťažiť vizuálnu pracovnú pamäť.
- PH7. Po výpadku môžu nastať dva prípady: jeden z cieľových objektov sa trochu natočí alebo nenatočí. V oboch prípadoch by hráč mal cieľový objekt rozpoznať. Zmena by nemala byť výrazná (napr. natočenie v nejakej rovine o malý uhol).
- PH8. Cieľom hráča je zosťreľovať cieľové objekty a (podľa možnosti úplne) ignorovať distraktory (ktoré zbytočne zaťažujú vizuálnu pracovnú pamäť).
- PH9. Kabína sa nemusí hýbať, postačí ak subjekt bude pohybovať očami, preto by malo stačiť renderovanie scény na displejoch vpredu.
- PH10. Hra sa ovláda pomocou joysticka: pozícia cieľa (2D) a strelba na cieľ (gombíkom).
- PH11. Hra by mala byť schopná poskytnúť report pre dané tréningové sedenie (počet behov = počet zhlukov), koľko mali T a koľko D, koľko a v akom čase po obnovení “výpadku prúdu” ich zostrelil + prípadne možnosť pridať ID subjektu a samozrejme čas sedenia.

Cieľom hráča v hre bude zosťreliť čo najviac nepriateľských dronov (cieľov) pomocou špeciálnych zbraní, ktoré bude vedieť ovládať a z ktorých bude vedieť strieľať. To, čo hráč môže na splnenie tohoto cieľa robiť, teda jeho možnosti, je limitované:

- Hráčovi je umožnená strelba pomocou zbraní, ktoré ovláda ovládačom
- Hráč sa môže pomocou ovládača natáčať smerom doprava a doľava, keďže sa vo virtuálnom svete nachádza na otáčavej platforme. Uhol otočenia je ale limitovaný.
- Hráč môže pomocou ovládača nakláňať zbrane pripevnené na bokoch jeho kabíny smerom hore resp. dole, takisto s obmedzeným uhlom otočenia.

#### 4 Životný cyklus experimentu a hry vo virtuálnom prostredí

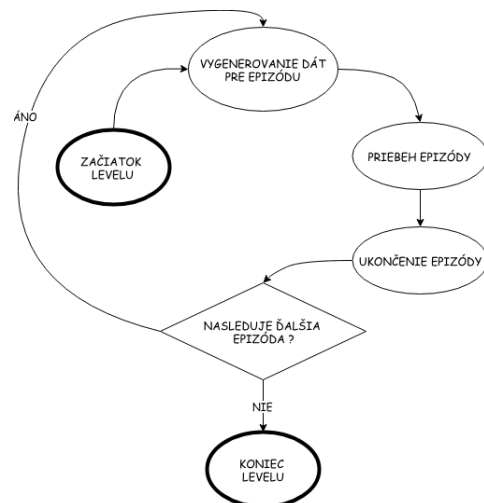
Na základe popísaných požiadaviek a cieľov je možné definovať základný životný cyklus experimentu resp. samotnej hry. Hra je definovaná ako herná slučka. Celá herná slučka tak bude predstavovať jeden level, v ktorom sa budú odohrávať jednotlivé epizódy. Level je logická časť hry, ktorá je samostatne

konfigurovateľná a pozostáva z 1 alebo viacerých epizód. Epizódy sú časti levelu a budú predstavovať nálety dronov proti hráčovi.

Životný cyklus hernej slučky je nasledovný:

1. Začiatok levelu
2. Vygenerovanie dát pre epizódu
3. Priebeh epizódy
4. Ukončenie epizódy
5. Čakanie na ďalšiu epizódu
6. Návrat do kroku 2
7. Koniec levelu

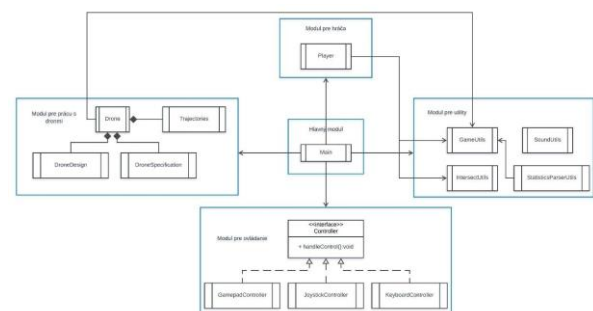
Na Obr. 4: je vidieť graficky znázornený priebeh životného cyklu jedného levelu.



Obr. 4: Znázornenie jednotlivých fáz životného cyklu hry

#### 5 Implementácia systému

Ako už bolo spomenuté, základnou implementačnou platformou je prostredie jaskyne LIRKIS-CAVE a skriptovací jazyk RUBY. Na základe vyššie uvedeného životného cyklu bola navrhnutá a následne implementovaná hra na báze *Tower defence*. Celý programový systém je na tejto úrovni založený na báze modulov. Každý modul obsahuje práve jednu alebo viacero tried, ktoré spadajú pod jeho kompetenciu. Na Obr. 5: je zobrazený diagram tried s vyznačením do akého modulu dané triedy spadajú.



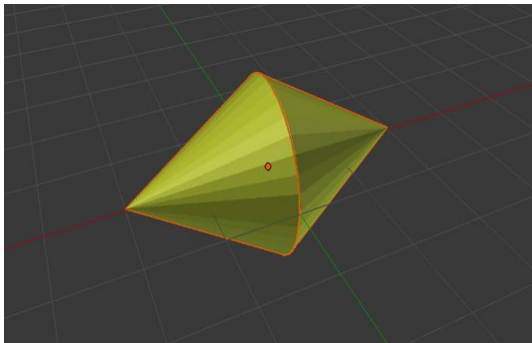
Obr. 5: Diagram tried aplikácie hry

Z hľadiska kognitívneho je najdôležitejšou časťou implementácie grafické prevedenie virtuálneho prostredia a samozrejme následne virtuálnych objektov, s ktorými je testovaný subjekt konfrontovaný.

### 5.1 Implementácia prostredia a objektov

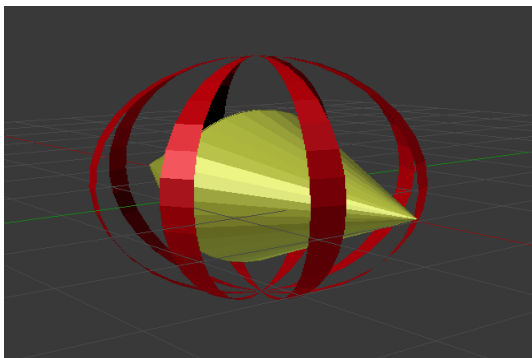
Ako už bolo uvedené, test sa bude vykonávať vo vesmírnom prostredí formou zostreľovania prilietajúcich dronov. Preto ma dizajn dronov pomerne kľúčovú úlohu. Vizuálna stránka drona je implementovaná v triede `DroneDesign`. Sú tu 4 povinné parametre:

- `baseDroneModel` – základný grafický model, ktorým je dron reprezentovaný. Ide o model, ktorý je podporovaný vizualizačným systémom (Na Obr. 6: je zobrazený príklad základného modelu pre drona). Model je možné vytvoriť napr. z grafického 3DS modelu. Následne je tento model prichádzajúci ako vstupný parameter vyklonovaný.



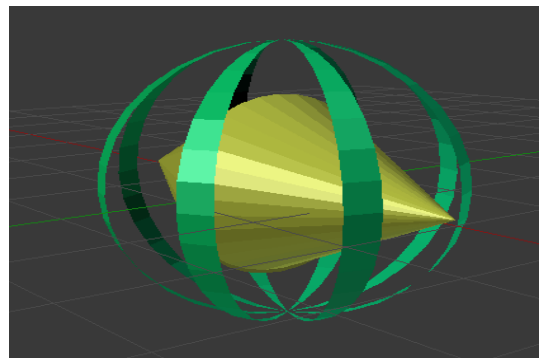
Obr. 6: Príklad základného modelu drona

- `targetIndicator` – ide o grafický model pre označenie, ktoré sa nad dronom objaví na začiatku hry v prípade, že je typu cieľ. V prípade, že dron je typu distraktor, tento grafický model nebude použitý, avšak kvôli znovupoužiteľnosti dronov a kvôli tomu, aby daný dron mohol byť použitý aj ako cieľ a inokedy aj ak distraktor sa každej grafickej reprezentácii priradzuje cieľ aj distraktor indikátor. Na Obr. 7: je zobrazený model drona spolu s inicializačným indikátorom pre objekt typu cieľ.



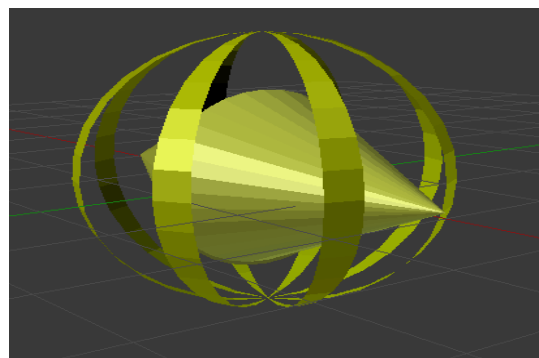
Obr. 7: Príklad základného modelu drona spolu s indikátorom objektu typu cieľ

- `distractorIndicator` – ide o grafický model pre označenie, ktoré sa nad dronom objaví na začiatku hry v prípade, že je typu distraktor. Rovnako ako pri základnom modeli drona, tak aj pri cieľ a distraktor indikátoroch je potrebné vytvoriť model z 3ds modelu iba raz, následne sa už posielajú iba referencie a model sa automaticky vyklonuje pomocou ako bolo spomenuté vyššie. Na Obr. 8: je zobrazený základný model drona spolu s inicializačným indikátorom pre objekt typu distraktor.



Obr. 8: Príklad základného modelu drona spolu s indikátorom objektu typu distraktor

- `droneMarker` – ide o grafický model pre označenie, ktoré sa nad dronom objaví v prípade, že je zameraný. Slúži ako indikátor pre rozpoznanie pre koncového hráča, aby vedel, že na daného drona má namierené. Na Obr. 9: je zobrazený základný model drona spolu s indikátorom, ktorý označuje, že na drone je aktuálne zamierené.



Obr. 9: Príklad základného modelu drona spolu s indikátorom zamierenia

Ďalšími podpornými vizuálnymi objektami je samotné hvizdné prostredie, prostredie kokpitu a následne strely. Samozrejme okrem spomenutých časových, množstvených a rýchlostných parametrov aj tvarové a farebné prevedenie drona alebo ostatných

virtuálnych objektov môže napomáhať alebo sťažovať priebeh kognitívneho testu.

## 6 Záver

Virtuálna realita a jej technológie predstavujú v súčasnosti síce mladý ale perspektívny odbor. VR predstavuje aj jednu z najprogresívnejšie sa rozvíjajúcich smerov informatiky a informačných technológií. Kladie základy zmeny komunikácie s výpočtovými systémami tak, aby boli pre človeka čoraz viac prirodzenejšie, jednoznačnejšie a jednoduchšie s rýchlou odozvou. Zvyšovanie výkonu a znižovanie ceny VR technológií umožní aby takéto moderné a progresívne technológie boli čoraz viac dostupné. Práve využitie týchto technológií tak môže priniesť ešte väčší a intenzívnejší podiel na rozvoji aj kognitívneho testovania (Obr. 10:). Celkovo v kontexte modernej informačnej spoločnosti, do ktorej sa radí aj Slovenská republika a ako poukázal aj tento príspevok je tu potenciál pre nasadenie takýchto technológií do reálneho života.



**Obr. 10:** Používateľ vo virtuálnom prostredí počas experimentu

## PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-16-0202 „Vylepšovanie kognície a motorickej rehabilitácie s využitím zmiešanej reality“.

## Literatúra

Sobota, B.; Hrozek, F.: Virtuálna realita a jej technológie, vol. 1, Košice : TU, 2013, ISBN 978-80-553-1500-3.

Sobota B et al.: “Virtual-Reality Technologies and Smart Environments in the Process of Disabled People Education” In: ICETA 2017. - Danvers : IEEE, 2017 pp. 427-432. - ISBN 978-1-5386-3294-9.

Korečko, Š., Hudák, M., Sobota, B., Marko, M., Cimrová, B., Farkaš, I., & Rosipal, R. (2018, August). Assessment and training of visuospatial cognitive functions in virtual reality: proposal and perspective. In *in: proc. of CogInfoCom 2018: 9th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications* (pp. 1-5).

Xiaoming Nan et al., “Vdesign: Toward Image Segmentation And Composition In Cave Using Finger Interactions” 2013.

<http://www.edtechmagazine.com/higher/article/2013/01/university-illinois-chicago-virtual-realitys-cave-pioneer>.

Hudák, M., Korečko, X., & Sobota, B. (2017). Peripheral devices support for LIRKIS CAVE. 2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics, 117-121.

Nielsen, J. 1993. Accessible Design for Users With Disabilities. Nielsen Norman Group. URL=<https://www.nngroup.com/articles/accessible-design-for-users-with-disabilities>.

Vinumol Kp, Chowdhury Ashish, Kambam Radhika, Muralidhran V. 2013. Augmented reality based interactive text book: An assistive technology for students with learning disability. Virtual and Augmented Reality (SVR), 2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), 2013 XV Symposium on. IEEE. pp. 232-235.

Yao-Jen Chang, Ya-Shu Kang, Po-Chiao Huang. 2013. An augmented reality (AR)-based vocational task prompting system for people with cognitive impairments. Research in developmental disabilities, Elsevier, vol. 34, num. 10, pp. 3049-3056.

Ricci A. et al. (2015). The Mirror World: Preparing for Mixed-Reality Living. Pervasive Computing, April 2015, 60-63.