

doi:10.15199/48.2018.11.32

Podstawowe problemy realizacyjne instalacji Semi-Cave

Streszczenie. Środowiska rzeczywistości wirtualnej są stosowane w rozrywce, profesjonalnych symulatorach i badaniach. Wydaje się, że nadal największe możliwości symulacji wirtualnej rzeczywistości daje rozwiązanie typu CAVE. Ze względu na olbrzymie koszty i problemy techniczne rozwiązania takie są stosunkowo rzadko stosowane i brak w literaturze konkretnych informacji i opisów problemów technicznych takich rozwiązań. Autorzy dzielą się doświadczeniami z opracowywania projektu i realizacji instalacji typu CAVE, nazwanej jako Semi-Cave.

Abstract. Virtual reality environments are used in entertainment, professional simulators and scientific studies. It seems that the best solution in terms of simulation capabilities is CAVE installation. Because of price and technical problems this approach is rather rarely used and as result of that there is lack of information regarding technical problems with CAVE installations. Authors share the knowledge about project and implementation of CAVE installation, named as Semi-Cave. (**Essential problems in the implementation of Semi-Cave installation**).

Słowa kluczowe: CAVE, projekcja przednia, środowisko wirtualne, multimedia.

Keywords: CAVE, front projection, virtual environment, multimedia.

Wstęp

Na przestrzeni ostatnich lat jednym, z największych i jednocześnie najciekawszych osiągnięć informatycznych było stworzenie technologii pozwalającej na realizację wirtualnej rzeczywistości (ang. virtual reality – VR). Najbardziej przyczynił się do tego przemysł rozrywkowy na czele z rosnącym rynkiem gier komputerowych oraz innych form rozrywki takich jak filmy czy animacje. Powstało wiele różnych implementacji wirtualnej rzeczywistości. Zaczynając od okularów, w których obraz wyświetlany jest przed oczyma osoby oglądającej, po wielościenne konstrukcje typu CAVE (ang. Cave Automated Virtual Environment) z obrazem rzutowanym z wielu źródeł [1-4].

Wirtualna rzeczywistość znalazła również swoje miejsce w laboratoriach, klinikach czy placówkach szkoleniowych. Przykładem tego typu wykorzystania są laboratoria rzeczywistości wirtualnej (w tym Semi-Cave) znajdujące się w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB), zbudowane w ramach projektu Tech-Safe-Bio [5]. Projekt ten był z jednej strony znaczącym krokiem w kierunku zwiększenia potencjału i jakości prowadzonych badań na rzecz ochrony życia i zdrowia pracowników. Z drugiej strony pozwolił na realizację laboratoriów z wykorzystaniem najnowocześniejszych zdobyczy technologicznych.

Celem artykułu jest przedstawienie podstawowych problemów jakie występują przy realizacji instalacji typu CAVE. Instalacja tego typu jest droga, skomplikowana i zajmuje znaczną przestrzeń. Konsekwencje decyzji projektowych są w większości przypadków bardzo trudne do późniejszej zmiany. Jednocześnie instalacje takie są na tyle rzadko realizowane, że trudno korzystać z doświadczeń innych, pomimo bardzo bogatej bibliografii tematu. Autorzy rozwiązania z CIOP-PIB próbują podzielić się swoimi doświadczeniami z pierwszego okresu realizacji, aby pokazać jak skomplikowany i złożony jest to projekt.

CAVE, CAVE2, Semi-Cave; projekcja tylna i przednia

CAVE (ang. Cave Automated Virtual Environment) jest implementacją wirtualnej rzeczywistości polegającej na tym, że uczestnik (odbiorca wrażeń VR) znajduje się w niewielkim pomieszczeniu, na którego ścianach (także na podłodze i suficie) wyświetlany jest obraz rzeczywistości, w którą ma zanurzyć się uczestnik. Prototyp takiego rozwiązania został po raz pierwszy zbudowany w 1992 roku [2], posiadał 5 półprzezroczystych ścian (łącznie z sufitem i podłogą), na których obraz był wyświetlany z zewnątrz (projekcja tylna). Instalacja ta została zrealizowana na bazie

sześcianu o boku około 2,10 m – nie dając zbyt wiele wolnego miejsca uczestnikowi eksperymentów. Cała instalacja zajmowała jednak znacznie większą przestrzeń, ze względu na zewnętrzne rzutniki i konstrukcję podtrzymującą [2]. Potrzeba bardzo dużej przestrzeni do realizacji wirtualnej rzeczywistości typu CAVE z tylną projekcją jest podstawową wadą takiego rozwiązania. W późniejszych realizacjach stosowano najczęściej sześć ścian (łącznie z sufitem i podłogą). Chociaż znane są także rozwiązania o innej liczbie ścian. Najbardziej rozbudowane współcześnie rozwiązanie obejmuje rzutowanie na 15 ścian bocznych plus sufit i podłoga [6]. Pojawiały się także rozwiązania wykorzystujące: sferę, na powierzchni której dokonywana jest projekcja [7] lub rozwiązania łączone ze sferą wewnątrz sześcianu [8].

Oprócz projekcji tylnej stosuje się także projekcję przednią (wewnątrz obiektu CAVE) – na ściany laboratorium [9]. Daje to możliwość uzyskania znacznie większej powierzchni CAVE przy porównywalnych rozmiarach całej instalacji.

CAVE2 jest implementacją wirtualnej rzeczywistości, w której ściany przestrzeni VR są zabudowane monitorami LCD, które wyświetlają obraz [10]. Wadą takiego rozwiązania są fizyczne przerwy między ekranami w miejscu ich połączenia, co jest szczególnie widoczne w tanich rozwiązaniach przy małej przestrzeni VR.

Rozwiązanie Semi-Cave, które zostało wykorzystane w omawianym projekcie, polega na wyświetlaniu obrazów na 4 ścianach za pomocą rzutników umieszczonych wewnątrz przestrzeni VR – czyli jest przykładem CAVE z projekcją przednią. Taki sposób wyświetlania pozwolił uzyskać relatywnie dużą przestrzeń VR, dając dodatkowo możliwość rozbudowy instalacji [11].

Plany badawcze a koncepcja rozwiązania

Laboratorium rzeczywistości wirtualnej Semi-Cave ma umożliwiać kreowanie różnych środowisk wizualnych występujących w miejscach pracy oraz badanie wpływu różnych parametrów kreowanego otoczenia na szeroko rozumianą psychofizjologię widzenia (m.in.: zmęczenie wzroku, sprawność psychomotoryczną, wydolność wzrokową, samopoczucie, emocje, czujność człowieka). Badanie reakcji człowieka na różne bodźce wzrokowe oraz parametry oświetlenia jest istotne zarówno z uwagi na bezpieczeństwo człowieka w miejscu pracy jak i ze względu na jego zdrowie i dobre samopoczucie, co pośrednio przekłada się na lepszą wydajność pracy. Badania takie w kontrolowanych warunkach otoczenia są możliwe do

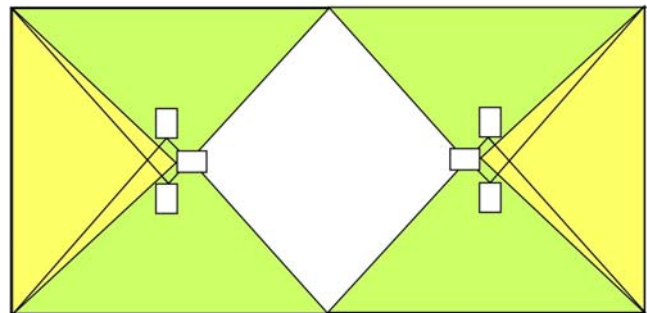
prowadzenia w środowisku wirtualnym Semi-Cave. W najprostszym podejściu (nie wymagającym rozbudowy instalacji Semi-Cave) można dla wykreowanego środowiska pracy, które odzwierciedla rzeczywiste miejsce pracy, symulować np. różne barwy otoczenia i badać ich wpływ na samopoczucie i zmęczenie wzroku oraz sprawność psychomotoryczną przy wykonywaniu różnych czynności pracy. Oprócz czynności pracy biurowej można również wykorzystać wyposażenie symulujące np. czynności pracy manualnej, tzw. próbki pracy manualnej. Innym rodzajem badań, które są planowane do prowadzenia w środowisku Semi-Cave, są badania nad olśnieniem przykrym pochodzącym od źródeł ledowych. Zjawisko to jest najczęściej efektem pojawienia się w polu widzenia źródła światła, którego luminancja jest znacznie większa niż otoczenia [12]. Dynamiczny rozwój energooszczędnych źródeł ledowych spowodował powszechne ich zastosowanie w oświetleniu we wnętrzach jak i w środowisku zewnętrznym (drogi, reklamy świetlne itp.). Jednak źródła te charakteryzują się bardzo małymi wymiarami powierzchni świecącej i bardzo dużą jasnością (luminancja, nawet rzędu 10^7 cd/m²) co powoduje częste występowanie olśnienia o znacznym stopniu nasilenia. Olśnienia powodowane przez takie źródła wydaje się mieć odmienny charakter niż olśnienie od dotychczas stosowanych źródeł światła, a istniejące wskaźniki do jego oceny są nieadekwatne. Oprócz luminancji i wymiarów źródła istotną rolę w powstawaniu olśnienia odgrywa luminancja otoczenia, która może być łatwo zmieniana w środowisku Semi-Cave. Jednak przeprowadzenie eksperymentów z olśnieniem wymaga możliwości rozbudowy laboratorium o dodatkowe lokalne źródła światła (źródła olśnienia). Tak postawione zadania badawcze wymagają relatywnie dużej powierzchni pomieszczenia. Trudno byłoby to przeprowadzić w typowej instalacji CAVE o bardzo małych rozmiarach. Dostępna przestrzeń w zrealizowanej instalacji daje możliwość nie tylko umieszczenia elementów wyposażenia biurowego ale przede wszystkim zastosowania aparatury pomocniczej. Przykładami takich urządzeń może być okulograf lub zestaw elektrod EEG używanych np. w badaniach psychomotorycznych lub poziomu czujności.

Ze względu na możliwość kreowania praktycznie dowolnej rzeczywistości wirtualnej w instalacjach typu CAVE powszechnie uważa się, że jest to zawsze rozwiązanie uniwersalne. Doświadczenia związane z projektowaniem naszej instalacji pokazują, że tak nie jest. Wybór realizacji poprzedzony był analizą różnych rozwiązań [11]. Warto o tym pamiętać projektując instalacje typu CAVE. Relatywnie bardzo wysokie koszty takiej instalacji praktycznie uniemożliwiają dynamiczne dostosowywanie gotowego rozwiązania do później zmieniających potrzeb.

Instalacja Semi-Cave

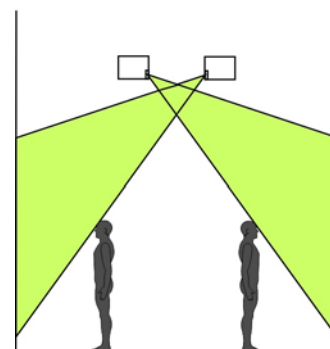
Instalacja rzeczywistości wirtualnej Semi-Cave zlokalizowana jest w dwóch pomieszczeniach bezpośrednio do siebie przylegających. Jedno pomieszczenie to sterownia, a drugie to pomieszczenie w którym wyświetlane są obrazy, czyli środowisko rzeczywistości wirtualnej Semi-Cave. W sterowni znajduje się komputer sterujący wyświetlaniem, komputer do podglądu obrazów z kamer we wnętrzu pomieszczenia ze środowiskiem Semi-Cave, zestaw do nagłośnienia (dający możliwość odtwarzania dźwięków w środowisku VR) oraz interkom do komunikacji głosowej z osobami przebywającymi we wnętrzu Semi-Cave. Pomieszczenie do projekcji rzeczywistości wirtualnej Semi-Cave jest prostopadłościennym pokojem o wymiarach 8,6 m x 4,3 m x 6 m. Projekcja jest realizowana poprzez

rzutowanie bezpośrednio obrazu na 4 ściany pomieszczenia (projekcja przednia). Obrazy wyświetlane są przez 6 projektorów: po dwa na dłuższe ściany i po jednym na krótsze (rysunek 1). Parametry projektorów (strumień świetlny 4000 lm, rozdzielczość 1920x1080 pikseli) oraz zastosowana matryca LCOS pozwalają uzyskać obraz dobrej jakości przy zredukowanym efekcie pikselizacji. Układy optyczne wykonane w technologii short throw, przy wykorzystaniu korekcji perspektywy (Lens Shift i Keystone), pozwalają na projekcję bezcieniową, przy podejściu na odległość ok. 1 m do ściany osoby o wysokości 1,7 m (rysunek 2). Uzyskana odległość podejścia „bezcieniowego” (1 m) jest pewnym kompromisem wynikającym z zastosowania rzutników o określonej cenie. Z drugiej strony można się zastanawiać, czy jest to odległość wystarczająca. W instalacji Semi-Cave takie warunki bezcieniowej pracy pozwalają udostępnić użytkownikom powierzchnię o szerokości ponad 2 m i długości ponad 6 m. Jest to relatywnie duża przestrzeń, która nie byłaby możliwa do osiągnięcia w tradycyjnych, minimalistycznych instalacjach typu CAVE. Rozważania dotyczące potrzebnej przestrzeni są bardzo ważne na etapie projektowania instalacji wirtualnej rzeczywistości i są indywidualnym problemem każdego rozwiązania.



Rys.1. Sposób wyświetlania obrazów w instalacji Semi-Cave (na podstawie [11])

Zaprojektowana duża wysokość pomieszczenia (6 m) pozwoliła zbudować konstrukcję nośną w postaci zestawu kratownic, na których umieszczono sprzęt niezbędny do realizacji projektu. Projekторы umieszczone na wysokości 3,8 m pozwalają na uzyskanie obrazu o wysokości 2,8 m. Szczegóły techniczne rozmieszczenia elementów (projekcja, nagłośnienie, monitoring) zostały przedstawione w pracy [11].



Rys.2. Możliwość podejścia do ściany na odległość 1 m zapewnia relatywnie dużą przestrzeń VR (na podstawie [11])

Bardzo istotnym problemem jest stabilność konstrukcyjna. Rozbudowana kratownica zapewnia elastyczność instalacji sprzętu przy jednoczesnej stabilności położenia. Jednak w takich instalacjach kluczowa okazuje się także konstrukcja budynku. W

instalacji Semi-Cave relatywnie cienka ścianka działowa, w której osadzone są drzwi do pomieszczenia przenosi drobne drgania każdego otwarcia drzwi. W efekcie po pewnym okresie użytkowania zachodzi konieczność korekcji geometrycznej sklejaných obrazów. Warto zwrócić również uwagę na takie aspekty konstrukcyjne podczas projektowania i realizacji podobnej instalacji.

Zapewnienie bezpieczeństwa uczestnikom eksperymentów

Podstawowym warunkiem przeprowadzania badań z udziałem ludzi jest zapewnienie bezpieczeństwa uczestnikom. Instalacja Semi-Cave została wyposażona w niezależne systemy bezpieczeństwa. System komunikacyjny umożliwiający dwustronną komunikację personelu z osobami przebywającymi w środku (intercom). Drugim systemem jest system monitoringu – zestaw zainstalowanych kamer pozwala kontrolować przebieg badań prowadzonych w danym czasie. Obrazy z dwóch kamer są w trybie ciągłym wyświetlane na monitorze w pomieszczeniu sterowni, gdzie pracuje personel obsługujący badanie. Fakt, że sterownia znajduje się obok pomieszczenia ze środowiskiem Semi-Cave, pozwala na natychmiastową reakcję na dowolne zdarzenia jakie mogą wystąpić podczas badania.

Komputer sterujący wyświetlaniem

W przypadku instalacji typu CAVE dużym wyzwaniem jest dobranie podzespołów komputera w taki sposób, aby możliwa była efektywna projekcja na wielu ekranach. Komputer odpowiedzialny za sterowanie obrazem został wyposażony w 2 procesory Intel Xeon i 64 GB pamięci RAM. Jednak najważniejszym elementem sprzętowym, ze względu na opcje wyświetlania, są karty graficzne. Wykorzystano 3 karty graficzne GTX980 4GB Strix OC połączonych mostkiem SLI o wysokiej wydajności obliczeniowej. Każda z kart obsługuje dwa obrazy (dwa projektory).

Do konfiguracji wybrano karty graficzne GTX980, mimo że nie są one obsługiwane przez standardowe oprogramowanie do projekcji wielomonitorowej – Mosaic firmy Nvidia. Oznacza to brak możliwości wyświetlenia i synchronizacji jednocześnie 6 obrazów. A więc takie rozwiązanie nie obsługiwałoby instalacji Semi-Cave. Wydaje się, że to ograniczenie jest podyktowane tylko względami ekonomicznymi. W ten sposób firma Nvidia zmusza klientów do zakupu znacznie droższych kart graficznych, które wcale nie są wydajniejsze, ale są zgodne z odpowiednim standardem programowym. Aby rozwiązać ten problem został opracowany specjalny driver działający na poziomie oprogramowania karty graficznej (shader) [13], który pozwala na wyświetlanie i synchronizację obrazów. Opracowano własny system wyświetlania informacji obsługujący zastosowane karty graficzne. Takie rozwiązanie pozwoliło w pełni wykorzystać sprzęt w instalacji Semi-Cave.

System wyświetlania informacji został opracowany z wykorzystaniem środowiska Vulkan [14, 15]. Jest to najnowocześniejsza i najprawdopodobniej najciekawsza technologia stosowana współcześnie do programowania zaawansowanej grafiki.

Wybierając środowisko komputerowe dla instalacji typu CAVE warto przeprowadzić wszechstronną analizę potrzeb i możliwości. Zakup zestawu komputerowego z dedykowanym oprogramowaniem spełniającym od razu wszystkie wymagania pozwala rozpocząć badania praktycznie od razu po uruchomieniu instalacji. Ale jest to rozwiązanie bardzo drogie. Decydując się na samodzielne wykonanie oprogramowania podstawowego trzeba wziąć pod uwagę czas realizacji i koszty wykonania. Ale

najważniejszym jest także doświadczenie programistyczne, gdyż zadanie to jest nie tylko trudne, ale przede wszystkim rzadko spotykane. Instalacje typu CAVE nie są powszechnymi rozwiązaniami i trudno jest korzystać z doświadczeń innych. Z drugiej strony zdecydowaną przewagą własnego rozwiązania jest, oprócz ceny, pełna kontrola nad procesem powstawania obrazu. Opracowane oprogramowanie w instalacji Semi-Cave spełnia założone oczekiwania i jest ciągle rozwijane.

Problemy sklejanía obrazów

Łączenie kilku zdjęć w panoramę jest prężnie rozwijającą się dziedziną fotografii i grafiki komputerowej. Sklejanie ze sobą zdjęć posiada jednak dwa główne problemy, które powinno się wyeliminować, aby obrazy mogły być ze sobą poprawnie połączone. Są to: niedopasowanie geometryczne i barwne. Istnieje wiele algorytmów pozwalających połączyć geometrycznie zdjęcia, najpowszechniejsze to: SIFT (ang. Scale-Invariant Feature Transform) [16, 17], SURF (ang. Speeded Up Robust Features) [18, 19], GiST (ang. Generalized Search Tree) [20]. Można także skorzystać z bibliotek udostępniających odpowiednie funkcje łączące [21].

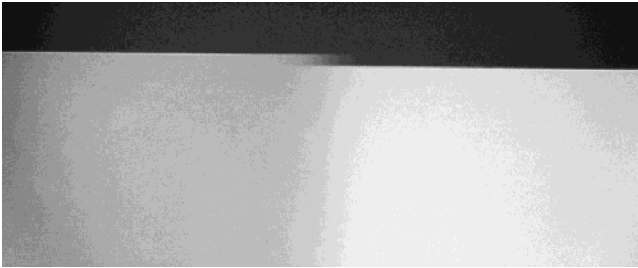
Jakość wyświetlanego obrazu w instalacjach typu CAVE, jest kluczowym zagadnieniem decydującym o możliwości uzyskania jak najlepszego „zanurzenia się”, w wirtualną rzeczywistość kreowaną wewnątrz instalacji [22]. Zwraca się szczególnie uwagę na problemy sklejanía obrazów [23]. Wykorzystane projektory w instalacji Semi-Cave pozwalają na sklejanía obrazów w technologii edge blending. Takie rozwiązanie daje znakomite rezultaty na wstępnym etapie wyświetlania i w zasadzie mogłoby wystarczyć do badań przy zastosowaniu odpowiednio dobranych obrazów składowych.

Wydawać by się mogło, że tworzenie panoramy z obrazów składowych będzie najpoważniejszym problemem związanym z wyświetlaniem informacji w omawianej instalacji. Warunki wyświetlania nie powinny się zmieniać, a więc raz ustalone zasady dopasowania obrazów składowych powinny pozwolić określić odpowiednie zasady rzutowania zarówno przy pozyskiwaniu obrazów naturalnych (fotografii) jak i przy wykorzystaniu grafiki komputerowej. A zatem najistotniejszą kwestią powinno być utworzenie panoramy z obrazów składowych. Jednak z drugiej strony świat wirtualny – w całości wygenerowany przy wykorzystaniu grafiki komputerowej daje praktycznie dowolne możliwości definicji odpowiedniego rzutowania. Rzutowania tak dobrego, że nie ma potrzeby sklejanía panoramy. Jedynym problemem może być akwizycja obrazów rzeczywistych na potrzeby ich wykorzystania w świecie wirtualnym. Aby to było poprawne, to rzutowanie rzeczywiste (w wykorzystanej kamerze / aparacie fotograficznym) musi być zgodne z rzutowaniem stosowanym w świecie wirtualnym. Natomiast doświadczenia pokazały, że najpoważniejszym problemem jest zapewnienie poprawnego sklejanía na poziomie samego wyświetlania informacji.

Korekcja geometrii i barwy na poziomie wyświetlania informacji

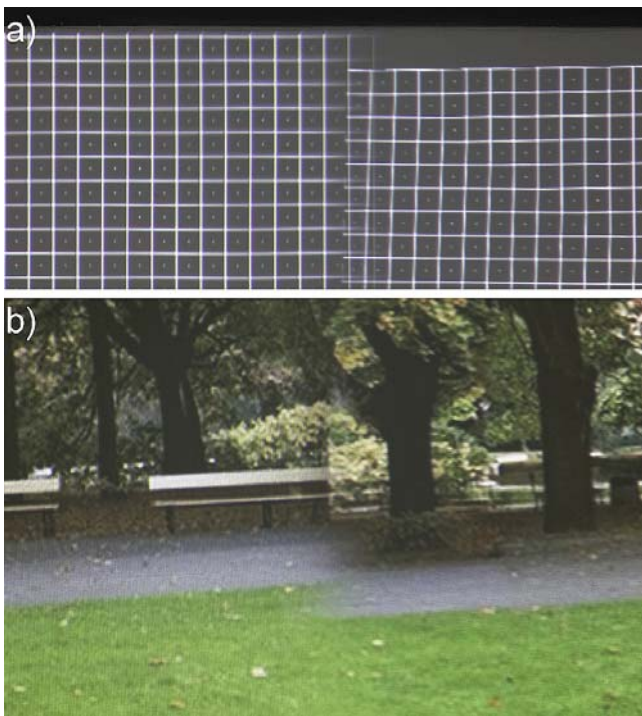
Początkowe precyzyjne usytuowanie i kalibracja sprzętowa projektorów zapewniły poprawne wyświetlanie oraz sklejanía obrazów. Po pewnym czasie zaobserwowano jednak pewne niedopasowania. Wynikają one głównie z faktu, iż cała konstrukcja w niewielkim stopniu poddawana jest drganiom. Powstają one głównie przy otwieraniu i zamykaniu drzwi wejściowych zainstalowanych w ścianie z płyty kartonowo-gipsowej. Nawet drobne drgania konstrukcji budowlanej przenoszone są na kratownicę, będącą konstrukcją nośną projektorów. Problem jest o tyle

znaczący, że po kilkunastu miesiącach od zainstalowania widoczne są znaczne odchylenia między obrazami wyświetlanymi przez poszczególne projektory (rysunek 3). Wpływa to znacząco na odbiór obrazów (rysunek 4), a tym samym na zanurzenie w wirtualnej rzeczywistości. Roczne użytkowanie instalacji pokazało, że co pewien czas wymagana jest kalibracja w celu zapewnienia dopasowania obrazów. Korekcja geometrii w tym przypadku jest, tak naprawdę, odpowiednio dobranym przekształceniem czworokąta w czworokąt [24].



Rys.3. Przykładowy widok przesuniętych obrazów wyświetlanych przez sąsiednie rzutniki. Aby pokazać problem rozkalibrowania w tym przypadku zostały włączony rzutnik z białym obrazem (bez podawania obrazu do wyświetlania).

Aby zapewnić pełną kontrolę nad geometrią sklejanych obrazów opracowywano podsystem sklejania. Zapewnia on nie tylko kontrolę nad geometrią na poziomie pojedynczego piksela, ale także kontrolę nad barwą i luminancją sklejanych fragmentów.

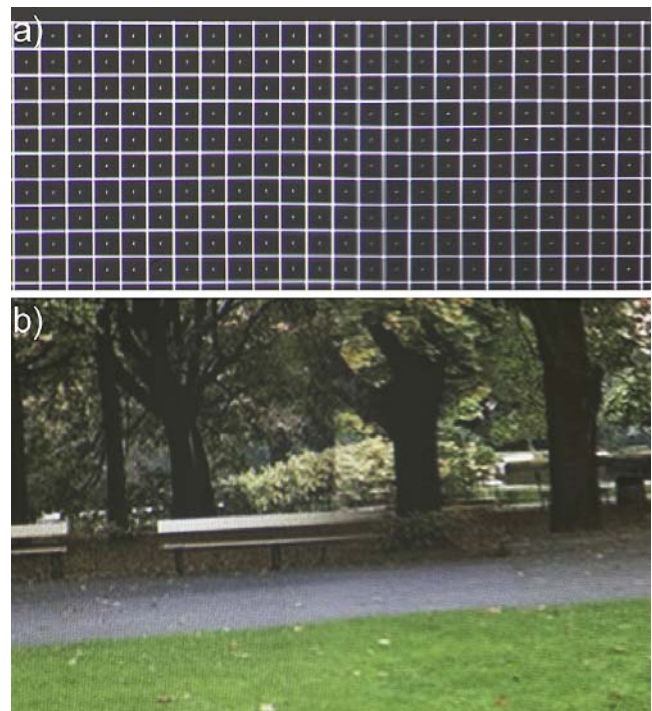


Rys.4. a) Powiększony obraz obszaru wyświetlania projektorów, który został pokazany na rysunku 3, przy czym oba projektory wyświetlają obrazy siatek kwadratów. b) Przykładowy powiększony fragment widoku z instalacji Semi-Cave pokazujący rozsuniecie sąsiednich obrazów składowych

Jako obraz wzorcowy zastosowano siatkę kwadratów o rozmiarze dobranym doświadczalnie do rozmiaru wyświetlanych obrazów w laboratorium Semi-Cave. Siatka standardowo jest wyświetlana w postaci białych linii na

czarnym tle, ale użytkownik ma możliwość wyboru wyświetlania negatywowego (czarne linie na białym tle).

Aplikacja w oparciu o przyjęty algorytm korekcji geometrii obrazu z odpowiednio dobranym przekształceniem czworokąta w czworokąt została zbudowana w środowisku Visual Studio z wykorzystaniem bibliotek Vulkan i OpenGL. Aplikacja działa w 2 trybach: w trybie edycji i w trybie pracy. Tryb edycji daje możliwość ręcznego dopasowania kształtu obrazu w taki sposób, aby zminimalizować rozkalibrowanie projektorów. Tryb pracy jest realizowany na poziomie oprogramowania shader i zapewnia bieżącą korekcję zgodnie z wcześniejszymi ustawieniami w trybie edycji. Warto zwrócić uwagę na fakt, że korekcja geometrii (zmiana kształtu obrazu) wymusza tak naprawdę interpolację barwy całego obrazu. Oba tryby wykorzystują wspólny kod związany z zarządzaniem okien w środowisku Windows. Efekty pracy programu korekcji pokazano na rysunku 5.



Rys.5. Efekt działania podsystemu korekcji geometrii. Na rysunkach a) i b) pokazano te same fragmenty, które są przedstawione na rysunku 4. ale po korekcji.

Analogicznym problemem związanym bezpośrednio z projekcją wewnątrz Semi-Cave, jest występowanie różnic w barwach wyświetlanych obrazów. W tym przypadku, do czynników wpływających na ostateczną paletę kolorystyczną każdego fragmentu fotografii można zaliczyć takie elementy jak: niedopasowanie barwne zrobionych fotografii (zmiana natężenia oświetlenia w czasie wykonywania fotografii), utrata jakości podczas kompresji do popularnych formatów zdjęć (JPG, JPEG, PNG, BMP itp.) lub w przypadku filmów (MP4, AVI, MPG itp.), różnice w obróbce kolejnych elementów przez karty graficzne czy różnice w wyświetlaniu przez same projektory (z czasem mogą być coraz bardziej widoczne). Miarą niedopasowania barwnego jest różnica współrzędnych barwowych [25]. Problemy niedopasowania barwnego można rozwiązać przez zastosowanie analogicznej korekcji jak korekcja geometryczna z wykorzystaniem interpolacji barwy.

Problemy akustyczne

Ściany pomieszczenia Semi-Cave są gładkimi powierzchniami pokrytymi farbą projekcyjną, która zapewnia wysoki współczynnik odbicia i wierne odwzorowywanie barw wyświetlanych obrazów. Zapewnienie gładkich ścian oraz idealnych kątów prostych między ścianami jest jednocześnie problemem z punktu widzenia akustyki. Powierzchnie pomieszczenia stwarzają warunki do powstawania wielokrotnych odbić fal akustycznych tworząc duży pogłos. Dodatkowo wewnątrz pomieszczenia nie ma wyposażenia pochłaniającego fale akustyczne (zastony, dywany, książki). Sprawę pogarsza jeszcze relatywnie duża wysokość pomieszczenia. Wszystkie te czynniki sprawiły, że w pomieszczeniu Semi-Cave powstawał pogłos bardzo utrudniający porozumiewanie się słowne. Z pomocą przyszli specjaliści od akustyki, którzy po przeprowadzeniu odpowiednich pomiarów czasu pogłosu zaprojektowali odpowiedni zestaw urządzeń akustycznych skutecznie zmniejszających pogłos (rysunek 6).

Na problem pogłosu nikt nie zwraca uwagi w publikacjach związanych z tematem projektowania rzeczywistości wirtualnej typu CAVE. W efekcie podczas projektowania skupia się uwagę wyłącznie na jakości wyświetlania, a problemy akustyczne nie są rozważane i uwidaczniają się dopiero podczas pierwszych eksperymentów.



Rys.6. Urządzenia akustyczne umieszczone w instalacji Semi-Cave.

Podsumowanie

Instalacje typu CAVE są konstrukcjami, w których poprawne działanie wiąże się z szeregiem problemów i uwarunkowań zależnych od bardzo wielu czynników. Część z nich opisana jest w bogatej literaturze, część natomiast jest bardzo specyficzna dla konkretnej realizacji. Z drugiej strony ze względu na duże koszty przedsięwzięcia instalacje takie są budowane dość rzadko. Powoduje to, że wymiana doświadczeń jest utrudniona. Dodatkowo warto zwrócić uwagę na fakt, że mimo bogatej literatury raczej znajdziemy w niej zalety danego rozwiązania czy porównania z innymi na poziomie ogólnej koncepcji. Bardzo rzadko można spotkać sugestie konkretnych rozwiązań technicznych czy opisy problemów realizacyjnych.

Mając powyższe na uwadze, autorzy niniejszego opracowania spróbowali podzielić się doświadczeniami z projektowania i pierwszego okresu realizacji. Być może będzie to pomocne na podobnych etapach budowy przyszłych instalacji.

Instalacja Semi-Cave nadal znajduje się w fazie rozwoju. Pomimo problemów i ograniczeń związanych z realizacją wyświetlania oraz samą konstrukcją (ograniczona możliwość podejścia do ścian, stała maksymalna wysokość

obrazów, itp.) instalacja spełnia oczekiwania i w przyszłości będzie mogła z powodzeniem spełniać swoje zadanie i być może konkurować ze znanymi instalacjami wirtualnej rzeczywistości. Wstępna faza eksperymentów pokazała, że osoby przebywające wewnątrz instalacji są w stanie odczuć zadowalający stopień zanurzenia w wirtualną rzeczywistość. Jest to najlepsze potwierdzenie poprawności przyjętej koncepcji rozwiązania.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Autorzy: mgr inż. Mariusz Wiselka, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB), Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: marwi@ciop.pl; dr hab. inż. Dariusz Sawicki, prof. PW, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informatycznych-Pomiarowych, ul. Koszykowa 75, 00-661 Warszawa, e-mail: dariusz.sawicki@ee.pw.edu.pl; dr hab. inż. Agnieszka Wolska prof. CIOP-PIB, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB), Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: agwol@ciop.pl.

LITERATURA

- [1] Samsung: Gear VR, <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/specs/>, dostęp 1.08.2017.
- [2] Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., DeFanti, T.A., Kenyon, R., Hart, J.C., The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. *Communications of the ACM*, 35 (1992), n.6, 64-72. doi: 10.1145/129888.129892
- [3] Zhou, N.N., Deng, Y.L.; Virtual reality: A state-of-the-art survey. *International Journal of Automation and Computing*, 6 (2009), n.4, 319-325. doi:10.1007/s11633-009-0319-9
- [4] Muhanna, M.A., Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 27 (2015), n.3, 344–361. doi: 10.1016/j.jksuci.2014.03.023
- [5] TECH-SAFE-BIO - Centrum Badań i Rozwoju Techniki Bezpieczeństwa Procesów Pracy i Środowiska. https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pi/?_nfpb=true&_pageLabel=P33000131151448454777328, dostęp 1.08.2017
- [6] DeFanti, T.A., Dawe, G., Sandin, D.J., Schulze, J.P., Otto, P., Girado, J., Kuester, F., Smarr, L., Rao, R., The StarCAVE, a third-generation CAVE and virtual reality OptIPortal. *Future Generation Computer Systems*, 25 (2009), Issue 2, 169-178
- [7] Fernandes, K., Raja, V., Eyre J., Cybersphere: The fully immersive spherical projection system. *Communications of the ACM*, 46 (2003), n.9, 141-146. doi: 10.1145/903893.903929
- [8] Mazikowski A.: Lebień J., Image Projection in Immersive 3D Visualization Laboratory. *Proc. of 18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems - KES2014. Procedia Computer Science*, 35 (2014), 842-850. doi: 10.1016/j.procs.2014.08.251
- [9] Jacobson, J., Lewis, M., Game engine virtual reality with CaveUT. *Computer*, 38 (2005), n.4, 79-82. doi: 10.1109/MC.2005.126
- [10] Febretti, A., Nishimoto, A., Thigpen, T., Talandis, J., Long, L., Pirtle, J. D., Peterka, T., Verlo, A., Brown, M., Plepys, D., Sandin, D., Renambot, L., Johnson, A., Leigh, J., CAVE2: a hybrid reality environment for immersive simulation and information analysis, *Proc. SPIE 8649, The Engineering Reality of Virtual Reality*, Vol. 864903 (2013), doi: 10.1117/12.2005484
- [11] Sawicki D., Wolska A., Wiselka M., Żukowski J., Sołtan M., Związek W., Semi-Cave as an example of multimedia dedicated to study the impact of audiovisual environment on human psychophysiology. *Proc. of the International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications*

- (CHIRA 2017), Funchal, Madeira, Portugal, October 31 – November 2, 2017, 103-110. doi: 10.5220/0006497601030110
- [12] Wolska A., Glare as a specific factor in the working environment. *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), n.1, 142-144.
- [13] Sobiesiak K., Sydow P., Shadery. *Zaawansowane programowanie w GLSL*. Wydawnictwo Naukowe PWN 2015.
- [14] Sellers, G., Kessenich, J., *Vulkan Programming Guide: The Official Guide to Learning Vulkan*. Addison-Wesley 2016
- [15] Vulkan Tutorial. <https://vulkan-tutorial.com/Introduction>, dostęp 09.11.2017
- [16] Lowe, D.G., Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60 (November 2004), Issue 2, 91–110
- [17] Brown, M., Lowe, D.G., Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features. *International Journal of Computer Vision*. 74 (August 2007), Issue 1, 59–73
- [18] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Luc Van Gool, 2008. SURF: Speeded Up Robust Features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, 110 (2008), n.3, 346-359
- [19] Shivakumar, B.L., Baboo, S.S., Detection of Region Duplication Forgery in Digital Images Using SURF, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 8 (July 2011), Issue 4, n.1, 199-205
- [20] Levin, A., Zomet, A., Peleg, S., Weiss, Y., Seamless Image Stitching in the Gradient Domain. *Proc. of the European Conference on Computer Vision (ECCV 2004)*, 2004, LNCS 3024, Springer. 377-389
- [21] PanoTools Panorama Tools. <http://panotools.sourceforge.net/>, dostęp 09.11.2017.
- [22] Slater, M., 2003 A Note on Presence Terminology, http://www.cs.ucl.ac.uk/research/vr/Projects/Presencia/ConsortiumPublications/ucl_cs_papers/presence-terminology.htm, dostęp 2017/11/09
- [23] Sajadi, B., Majumder, A., Auto-calibration of multi-projector CAVE-like immersive environments. *IEEE Trans. Visual Comput. Graphics*, 18 (2011), n.3, 381-393. doi: 10.1109/TVCG.2011.271
- [24] Augustynowicz M., Sawicki D.: Reconstruction of the relative coordinates of image using projective geometry, *Przegląd Elektrotechniczny*, 92 (2016), n.1, 208-211. doi:10.15199/48.2016.01.49
- [25] Mokrzycki, W.S., Tatol, M. 2011. Color difference ΔE : a survey. *Machine Graphics and Vision*, 20 (2011), n.4, 383-411