

**Jacek Lebieź<sup>1)</sup>, Adam Mazikowski<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Politechnika Gdańska, Katedra Inteligentnych Systemów Interaktywnych

<sup>2)</sup> Politechnika Gdańska, Katedra Metrologii i Optoelektroniki

## **LZWP, CZYLI JAK ZBUDOWAĆ CAVE**

### **Streszczenie**

Referat prezentuje wyniki prac autorów dotyczących specyfikacji technicznej instalacji typu CAVE tworzonej na Wydziale ETI Politechniki Gdańskiej. Przedstawiona analiza została dokonana na podstawie wiedzy autorów, studiów literaturowych, wizytacji wybranych instalacji w kraju i zagranicą oraz konsultacji z firmami będącymi wiodącymi producentami lub integratorami systemów 3D.

### **1. WSTĘP**

Kilka lat temu podjęto na Politechnice Gdańskiej decyzję o budowie unikatowego Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej (LZWP). W tej chwili kończy się już budowa specjalnie zaprojektowanego dlań budynku, a w najbliższym czasie rozpocznie się jego wyposażanie. W połowie przyszłego roku powinno już ono funkcjonować [10, 11].

LZWP wraz z systemem urządzeń i oprogramowaniem ma zapewnić użytkownikowi możliwość „zanurzenia” się w otaczającej, generowanej komputerowo rzeczywistości wirtualnej, włączając w to nieograniczony terytorialnie przez nią marsz [9]. Użytkownik maszerować będzie niczym chomik w kołowrotku wewnątrz sferycznego symulatora chodu mającego postać przezroczystej sfery obrotowej, umieszczonej w sześciennym instalacji typu CAVE, zbudowanej z sześciu kwadratowych ekranów ze stereoskopową projekcją wsteczną (zewnątrzną). Rozwiązanie to zapewni możliwość praktycznie nieograniczonego fizycznego marszu w przestrzeni wirtualnej przy skończonych wymiarach instalacji.

Na etapie planowania i przygotowywania wniosku o finansowanie, podjętych zostało kilka założeń istotnych z punktu widzenia realizacji LZWP. Przede wszystkim odrzucono inne symulatory chodu [2] jako mniej naturalne rozwiązania oraz stereoskopową dookólną projekcję bezpośrednio na obrotową sferę stanowiącą sferyczny symulator chodu [5] jako bardzo trudną technicznie, zwłaszcza w miejscach łączenia obrazów na wirującej sferze. Zaletą podjętych decyzji jest dodatkowo łatwość niezależnego wykorzystania sferycznego symulatora chodu i instalacji CAVE poprzez wystawienie obrotowej sfery na zewnątrz sześciennego ekranów i doposażenie jej w kask cybernetyczny. W ten sposób sferyczny symulator chodu będzie mógł pracować jak urządzenie Virtosphere [12], zaś „opróżniony” sześciennych ekranów pozwoli na typowe dla instalacji CAVE scenariusze symulacji [7, 13].

## 2. SFERYCZNY SYMULATOR CHODU

Na etapie założeń rozważane były dwa rozwiązania. Pierwszym z nich była projekcja 3D bezpośrednio na obrotową, matową sferę (sfera byłaby ekranem). Użytkownik znajdowałby się w środku sfery (wprowadzany przez specjalny właz).

Autorzy nie znaleźli istniejącej i działającej na świecie tego typu instalacji. Inspiracją dla tej koncepcji była uboższa instalacja na Uniwersytecie Warwick w Wielkiej Brytanii [5]. W czasie wizyty i oględzin instalacji, ujawniły się jej ograniczenia. Instalacja ta posiadała obrotową, dwuwarstwową sferę, unoszącą się w strudze powietrza z dmuchawy. Projekcja była typu 2D. Obraz na sferze powstawał z jednego, wyjątkowo z dwóch projektorów. Podczas współpracy z dwoma projektorami, naukowcy z Warwick napotkali na problemy z synchronizacją obrazów z obu projektorów, spowodowaną skomplikowaną linią styczności, różnymi rozmiarami pikseli na powierzchni sfery (w zależności od kąta padania rozmiary pikseli są różne) oraz wibracjami i deformacjami sfery (nieokreśloność położenia sfery można szacować przynajmniej na kilka cm!). Problemów tych nie udało się rozwiązać, w związku z tym instalacja pracowała zazwyczaj tylko z jednym projektorem.

W pierwszych miesiącach 2012 r. przeprowadzono konsultacje z firmą BARCO [1] w sprawie możliwości projekcji bezpośrednio na sferę. Były to już drugie konsultacje – poprzednie, dokonane 3 lata wcześniej, dały odpowiedź negatywną. Tym razem uzyskana odpowiedź był zadowalająca jedynie połowicznie. BARCO opracowało już sposób łączenia obrazów na powierzchni sfery z kilku-kilkunastu projektorów. W ostatnim czasie zrealizowało dla armii izraelskiej instalację, w której projekcja dokonywana jest na sferę, łącznie aż z 16-tu projektorów. Użytkownik, po wejściu do sfery, ma wrażenie otaczającej go wirtualnej rzeczywistości. Jest to jednak instalacja statyczna, tzn. sfera nie ma możliwości obrotu, otwór włazu nie jest zamykany. Firma BARCO uznała, że projekcja na sferę obracającą się nie jest możliwa – ze względu na wibracje sfery i brak możliwości utrzymania jej w punkcie z dokładnością do ułamka milimetra (sfera musi się swobodnie obracać). Nie ujawniono kosztów instalacji dla Izraela, jednak wg szacunków przekraczał on znacznie budżet LZWP. Uznano zatem, że aktualnie dookólna projekcja na sferę, przy zachowaniu wysokiej jakości obrazu, nie jest możliwa ze względów technicznych. Według szacunków nie będzie możliwa jeszcze przez najbliższe 10 lat.

Drugim rozważanym rozwiązaniem było zastosowanie sfery przezroczystej, pozwalającej na nieograniczony marsz użytkownika. W tej koncepcji projekcja odbywałaby się na płaskie ekrany otaczające sferę. Podobnie jak poprzednio, nie jest znana instalacja pracująca wg tej koncepcji. Świadczy to o nowatorstwie projektowanego rozwiązania. Jednakże projekt budowy LZWP nie jest projektem badawczym (w którym różne warianty rozwiązań mogłyby być naukowo rozpracowywane), a projektem konstrukcyjnym. Postanowiono zatem maksymalnie wykorzystać istniejące i sprawdzone rozwiązania – a następnie zintegrować je w instalację spełniającą postawione wymagania.

Na świecie istnieje szereg instalacji typu CAVE (jaskinia) – *Cave Automatic Virtual Environment*. Instalacje te mają różne rozmiary, a projekcja może być dokonywana na 4 ekrany (3 ściany + podłoga) [13], 5 ekranów (brak sufitu lub jednej ściany) [7] lub na wszystkie 6 ekranów. Istnieje także komercyjnie dostępna obrotowa sfera – *Virtusphere* [12]. Jedną z jej wersji jest sfera przezroczysta, która wydaje się najbardziej odpowiednia do projektowanej instalacji. Integracja obu rozwiązań – umieszczenie obrotowej sfery wewnątrz sześćcioekranowej instalacji CAVE, pozwoli na spełnienie założeń LZWP.

Proponowaną koncepcję i jej możliwości można zawrzeć w kilku przedstawionych poniżej punktach:

- obrotowa, przezroczysta sfera wewnątrz instalacji typu CAVE z projekcją 3D – pozwoli to na realizację „nieograniczonego przemieszczania się” i „zanurzenia”, byłaby to podstawowa konfiguracja pracy,
- autonomiczność obu podsystemów składowych (sfery i CAVE) – obydwie systemy będą mogły pracować samodzielnie: jako klasyczny CAVE oraz samodzielne urządzenie Virtusphere z kaskiem cybernetycznym, przy czym oba podsystemy są istniejącymi i sprawdzonymi rozwiązaniami,
- autonomiczność podsystemów zwiększy elastyczność i funkcjonalność instalacji – niektóre aplikacje mogą pracować lepiej w samodzielnym CAVE, gdzie swoboda przemieszczenia się nie jest istotna (np. symulacja konkretnego pomieszczenia o rozmiarach CAVE), w sytuacji rozdzielenia sfery i CAVE zwiększy się także „przepustowość” instalacji – w instalacji połączonej może przebywać jednocześnie jedna osoba, w instalacji rozdzielonej kilka osób (1 w sferze + 3-4 w CAVE),
- możliwość rozdzielania podsystemów zwiększa także „bezpieczeństwo inwestycyjne” – projektowana instalacja (sfera w CAVE) jest obiektem nowatorskim, a jego właściwe działanie obarczone jest pewną dozą niepewności, możliwość pracy niezależnie obu podsystemów stanowić będzie swoisty wariant awaryjny, który na pewno zadziała.

### 3. POMIESZCZENIE TYPU CAVE

Istnieje szereg rozwiązań dotyczących instalacji typu CAVE. Mogą one różnić się wieloma aspektami, w szczególności rodzajem ekranów, technologią projekcji 3D, metodą śledzenia a także typem oprogramowania. W dalszej części opracowania autorzy dokonają analizy poszczególnych rozwiązań.

Pomieszczenie typu CAVE to ekrany projekcyjne wraz z konstrukcją je podtrzymującą i mechanizmem pozwalającym na dostęp do wnętrza. W projektowanym rozwiązaniu będzie 6 ekranów, stanowiących 6 ścian sześcienu. Projekcja dokonywana będzie od zewnątrz, dla użytkownika znajdującego się w środku będzie to tzw. projekcja wsteczna (tylna). Projekcja na podłogę wymusza umieszczenie konstrukcji sześcienu na wysokości ok. 4,5 m nad podłożem. Konstrukcja podtrzymująca ekrany obejmować będzie filary konstrukcji, mocowania ekranów (w tym górnego), ruchome wrota jednego z ekranów bocznych oraz pomost (lub analogiczne rozwiązanie) umożliwiający dostęp do ekranu górnego i projektora lub zwierciadła projekcyjnego nad nim umieszczonego. Całość konstrukcji mechanicznej opierać się będzie na filarach na planie kwadratu o boku ok. 3,5 m i będzie miała wysokość (nie licząc dostępu do projektora nad górnym ekranem) 8 m. Jej waga szacowana jest na 10 ton (waga CAVE na Politechnice Akwizgrańskiej to 14 ton [7]).

Wskazane byłoby ponadto zaprojektowanie na poziomie dolnego ekranu podłogi wypełniającej całą lub prawie całą powierzchnię hali z wykorzystaniem filarów konstrukcji ekranów. Takie rozwiązanie będzie miało szereg zalet:

- pozwoli na łatwe i bezpieczne wprowadzenie użytkownika do instalacji (CAVE lub sfery w CAVE) – podłogi w CAVE i na zewnątrz są na tym samym poziomie, użytkownik nie odczuwa, że znajduje się na wysokości 4 m nad podłożem,
- umożliwi łatwy dostęp do instalacji w sytuacji awaryjnej (bezpieczeństwo),
- umożliwi stosunkowo łatwe wyciągnięcie sfery i umieszczenie jej poza CAVE oraz ponowne jej wprowadzenie (zmiana konfiguracji z połączonej w rozłączną i odwrotnie),
- pozwala na umiejscowienie projektorów naprzeciwko środka ekranów korzystając jedynie z niewysokich konstrukcji gwarantujących łatwy dostęp (serwis),
- stanowi dodatkową powierzchnię do montażu elementów rozwojowych instalacji.

Podłoga ta powinna być przynajmniej częściowo demontowalna, dla wprowadzenia na nią dużych obiektów przez bramę zewnętrzną (sfera, ekrany). Dostęp do niej użytkownikowi powinny zapewniać drzwi ze śluzы dostępowej znajdujące się na zbliżonym poziomie. Być może przydatne byłyby schody prowadzące na poziom posadzki.

Bardzo istotnym aspektem jest możliwość rozwoju i modernizacji instalacji. Konstrukcja nośna jest jednym z tych elementów, które będzie bardzo trudno zmienić, dlatego też należy ją zaprojektować uwzględniając przyszły rozwój laboratorium i warto w nią zainwestować nawet kosztem pozostałych części instalacji. Co więcej konstrukcja nośna zintegrowana będzie z ekranami, więc ich wymiana również będzie bardzo utrudniona. Dlatego też należy wybrać takie ekrany, które będą mogły służyć przez długie lata różnym konfiguracjom projektorów, bez konieczności ich wymiany.

Ekranы stanowią jeden z najistotniejszych elementów instalacji CAVE. Stosowane są ekrany szklane, akrylowe oraz ekrany elastyczne, rozpinane na specjalnych ramach. Rodzaj ekranu wpływa na jakość obrazu. Wpływ na to mają zarówno parametry optyczne ekranów (charakterystyka rozpraszania) jak i mechaniczne, w tym głównie odkształcenia pod wpływem temperatury lub ruchów powietrza.

W opinii autorów, najlepszym rozwiązaniem są ekrany sztywne (szklane lub akrylowe). Ekrany takie wykorzystują najnowocześniejsze instalacje na świecie (np. wykonane przez Barco na Politechnice Akwizgrańskiej [1, 7]). Ekrany elastyczne to opcja tańsza, o gorszych parametrach, mniej stabilna. Tego typu ekrany zastosowano w CAVE na Politechnice Śląskiej w Gliwicach [6, 13], gdzie budżet inwestycji był o wiele mniejszy niż budżet LZWP. W instalacji na PG istotny jest także ekran podłoga – jest to ekran nośny, nie może to być zatem ekran elastyczny. Problematyczne staje się także odpowiednie przygotowanie ekranu górnego, gdyby był to ekran elastyczny. Ekran górny wymaga zainstalowania w nim systemu kamer śledzących (ang. *tracking*) oraz przynajmniej jednej kamery wizyjnej (podgląd). W ekranach sztywnych możliwe jest wycięcie otworów (najlepiej nadaje się do tego ekran akrylowy), natomiast wycięcie otworów w elastycznym ekranie o odpowiednim naciągu, mogłoby być problematyczne. Zaznaczyć należy jednak fakt, że ekrany elastyczne pozwalają na lepszą transmisję dźwięku.

Produkowane ekrany mają swoje maksymalne rozmiary (zależne od producenta). Większe powierzchnie uzyskiwane są na drodze łączenia poszczególnych kawałków. Producenci często zapewniają o braku wpływu takiego łączenia na jakość projekcji, ale jak pokazała wizyta na Politechnice Akwizgrańskiej miejsce łączenia nie jest całkowicie niewidoczne. W przypadku łączenia ekranu podłogowego, powoduje to zwykle konieczność dodatkowych elementów konstrukcyjnych w torze optycznym i komplikację systemu projekcji (dodatkowe projektory).

Ekranы stanowią także integralny element konstrukcji. Ekran podłogowy stanowi element nośny, związany z bezpieczeństwem użytkownika; musi zatem być sztywny o odpowiedniej wytrzymałości (grubości). Zastosowanie pozostałych ekranów sztywnych zapewnia sztywne łączenie z konstrukcją (idealne spasowanie, brak szczelin – ciągłość obrazu, idealna płaskość – brak fałd wynikających z niedoskonałości naciągu, brak falowania powodowanego ruchem powietrza). Natomiast ekrany elastyczne rozpięte na odpowiednich ramach zapewniających naciąg nie gwarantują braku deformacji naciągniętego ekranu. Wynika to zarówno z procesu starzenia się materiału, jak i możliwych zmian naciągu w poszczególnych punktach łączenia materiału i ramy oraz powodu ruchu powietrza powodowanego w naszym przypadku chociażby ruchem obrotowej sfery. Do tego jeden z ekranów bocznych musi stanowić drzwi wejściowe do instalacji (ręczny lub automatyczny mechanizm otwierania i zamykania drzwi), co w

przypadku ekranu elastycznego może przyspieszyć zmiany naprężeń ramy podtrzymującej ekran i prowadzić do dodatkowych problemów z gładkością obrazu. Nie można też wykluczyć rejestrowalnych dla oka ludzkiego różnic własności optycznych na granicy elastycznych ekranów ścian i sztywnego ekranu podłogi.

Ekranu powinny być zatem dobrane bardzo starannie, jako konstrukcja trwała i o dobrych parametrach. Ta część instalacji będzie bardzo trudna do modernizacji czy rozbudowy. W związku z tym autorzy rekomendowali ekrany sztywne (szklane lub akrylowe) wykonane z jednego kawałka materiału (bez łączenia).

#### 4. SYSTEM PROJEKCJI

W celu uzyskania jak najlepszego efektu „zanurzenia”, niezbędna jest projekcja trójwymiarowa (3D). Obecnie na świecie stosowanych jest kilka metod uzyskiwania wrażenia trójwymiarowości. Są to: autostereoskopia, technologia z rozdziałem widma (tzw. technologia Infitec), technologia pasywna (ze zmianą polaryzacji), technologia aktywna (wykorzystująca okulary migawkowe).

Autostereoskopia bywa stosowana w przypadku monitorów lub telewizorów i wymaga zastosowania tzw. bariery paralaksy (uzyskiwanej na powierzchni wyświetlacza). Wówczas każde oko obserwatora widzi inny obraz, co stwarza wrażenie trójwymiarowości. Technika ta nie jest jednak stosowana dla ekranów projekcyjnych i musiała być odrzucona w naszym przypadku.

W klasycznych instalacjach typu CAVE najczęściej stosowana jest technologia aktywna z okularami migawkowymi. Jest to metoda stosunkowo prosta w implementacji, a przy tym niedroga. Na przeszkodzie jej stosowania stoi jednak specyfika projektowanej instalacji. Techniki polaryzacyjna oraz aktywna są zależne od stanu polaryzacji światła. W technice polaryzacyjnej, separacja obrazów dla lewego i prawego oka zakodowana jest właśnie w polaryzacji światła, technika aktywna wykorzystuje okulary migawkowe (*shutter* LCD), które także są wrażliwe na zmiany polaryzacji.

Głównym problemem jest przezroczysta, obrotowa sfera, znajdująca się w instalacji CAVE. Jest ona wykonana z tworzyw sztucznych (akryl, poliwęglan). Przejście światła przez sferę może spowodować zmianę jego polaryzacji. Znana jest metoda uzyskiwania światła spolaryzowanego poprzez odbicie od powierzchni dielektryka pod odpowiednim kątem. Zmiany polaryzacji mogą także wystąpić wskutek naprężeń w obrotowej sferze (zarówno naturalnych jak i wywołanych ciężarem użytkownika). Wpływ proponowanej sfery (*Virtusphere*) na zmiany polaryzacji jest trudny do oszacowania ze względu na złożoność problemu. Efekty mogą być zależne od kąta przechodzenia światła przez sferę (na co ma wpływ np. wzrost użytkownika), długości fali, jakości połączeń segmentów, promienia krzywizny sfery, materiału sfery. Wymagałoby to szeroko zakrojonych badań naukowych na rzeczywistym obiekcie. Istotny jest fakt, że ewentualne zmiany polaryzacji na sferze mogą zakłócić istotę projekcji 3D (trójwymiarowość nie będzie postrzegana lub będzie postrzegana niewłaściwie). Nie jest też do końca zbadany wpływ migotania na zmęczenie wzroku użytkownika.

Rozwiązaniem problemu jest projekcja z rozdziałem widma. Obrazy przeznaczone dla lewego i prawego oka powstają na podstawie dwóch, nieznacznie różniących się od siebie zestawów barw składowych RGB. Separacja obrazów dla lewego i prawego oka po stronie użytkownika odbywa się za pomocą okularów z filtrami interferencyjnymi. Przeciwnicy metody wskazują na niezbyt wierne odwzorowanie niektórych kolorów. Jednak nieświadomy problemu widz nie jest raczej w stanie zauważyć przekłamania kolorów, co

potwierdziła wizyta autorów w Symulatorze Inspekcji znajdującym się w gdyńskiej siedzibie Det Norske Veritas Poland [3, 8]. Przy projekcji typowych obrazów wierność odwzorowania barw wydaje się zatem wystarczająca, zwłaszcza że w LZWP spodziewamy się zastosowania ostatnio opracowanej ulepszonej wersji tej technologii (Infitec+).

Niezależnie jednak od pewnych niedoskonałości, projekcja z rozdziałem widma poprzez sferę nie niesie żadnych zagrożeń co do postrzegania trójwymiarowości. Technologia z rozdziałem widma gwarantuje zatem poprawność działania stereoskopii w konfiguracji połączonej: sferyczny symulator chodu w pomieszczeniu typu CAVE.

W założeniach systemu przewidziano jednak autonomiczność obu podsystemów (CAVE i sfery). W niektórych aplikacjach CAVE może zatem działać samodzielnie. W tej sytuacji nie jest już wymagana projekcja z rozdziałem widma. Najlepsza w tej sytuacji wydaje się projekcja aktywna. Okazuje się ponadto, że wyposażenie (głównie projektory) wykorzystywane do projekcji z rozdziałem widma pozwala zazwyczaj także na projekcję w technologii aktywnej. Wymagane byłoby jedynie dokupienie okularów do projekcji aktywnej (okulary migawkowe) oraz uwzględnienie takiej opcji w komputerowym programie sterującym.

Podsumowując, ze względu na unikatowość i złożoność instalacji LZWP oraz możliwość pracy w różnych konfiguracjach (a przez to z różnymi aplikacjami), najlepszym rozwiązaniem jest podwójny system projekcji: system w technologii z rozdziałem widma wraz z systemem w technologii aktywnej, zwłaszcza że jego cena nie powinna zbyt odiegać od ceny rozwiązania z pojedynczym systemem stereoskopii.

Osobnym zagadnieniem jest właściwy dobór projektorów. Obok wymogu pracy w wybranych systemach projekcji (z rozdziałem widma, aktywnej) projektory powinny zapewnić odpowiedni strumień świetlny (przekładający się na luminancję ekranu) oraz rozdzielczość wyświetlanego obrazu.

Warto zauważyć, że proporcje ekranów w projektowanej instalacji to 1:1 (ekrany kwadratowe), podczas gdy proporcje obrazu z projektorów są inne. Powoduje to w przypadku zastosowania jednego projektora na ekran konieczność „przycięcia” obrazu do formatu ekranu i utratę części dostępnych pikseli (np. dla WXGA z  $1200 \times 1920$  do  $1200 \times 1200$ ) i w konsekwencji także jasności. Zastosowanie kwadratowych ekranów (dla wszystkich 6-ciu ścian) ma jednak bardzo istotne zalety. Z jednej strony pozwala na minimalizację rozmiarów instalacji (koszty i waga instalacji), z drugiej zapewnia jednakowe rozmiary pikseli dla każdego ekranu (wszystkie ekrany mają te same wymiary).

Projektory zastosowane w LZWP będą miały strumień minimum rzędu 6-8 tys. lm (lumenów). Biorąc pod uwagę wspomniane „straty” części strumienia, efektywny strumień padający na ekran wynosiłby 4-5 tys. lm. Jest to w zupełności wystarczające dla poprawnego działania instalacji. Luminancja ekranów mogłaby być nieco większa, jednak przesadnie duża luminancja ekranów mogłaby niekorzystnie wpływać na ekrany sąsiednie.

Większą rozdzielczość i mniejsze rozmiary piksela można osiągnąć generując wizualizację na pojedynczym ekranie z kilku projektorów. Łączenie projektorów realizuje się najczęściej techniką *blendingu* polegającą na częściowym nałożeniu na siebie obrazów, tak by łączenie nie odbiegało jasnością od pozostałych części wizualizacji. Stosując na przykład dwa projektory WXGA ( $1200 \times 1920$  pikseli) na jeden ekran, otrzymamy obraz o rozdzielczości  $1920 \times 1920$  pikseli (pojedynczy piksel  $1,7 \times 1,7$  mm). Rozwiązanie takie podwoi co prawda liczbę projektorów, ale zapewni bardziej efektywne wykorzystanie ich strumienia świetlnego (zamiast obcinania części obrazu nastąpi jedynie przyciemnienie części wspólnej obrazów). Z tego też powodu rozwiązanie to będzie zastosowane w LZWP.

## 5. KLASTER STERUJĄCY

Istotnym elementem realizowanej instalacji jest sprzęt komputerowy połączony odpowiednią siecią oraz oprogramowanie. W instalacjach CAVE zazwyczaj stosowany jest jeden komputer dla jednego projektora oraz dodatkowo 1-2 komputery (do systemów śledzenia oraz synchronizacji całości). Każdy z 12 projektorów będzie zatem sterowany odpowiednio szybkim komputerem z wydajną kartą graficzną wyposażoną w mechanizmy synchronizacji z pozostałymi kartami graficznymi. Dodatkowy komputer będzie nadzorował symulację, śledząc jednocześnie położenie użytkownika i generując dodatkowo dźwięk przestrzenny. Kolejny komputer będzie obsługiwał sferyczny symulator chodu.

Wszystkie 14 komputerów będzie połączonych ze sobą dwiema niezależnymi od siebie sieciami komputerowymi o strukturze gwiazdowej. Obok sieci Ethernet o przepływności  $\geq 1$  Gb/s przewidziana jest szybka sieć światłowodowa w technologii InfiniBand z protokołem RDMA o przepływności  $\geq 40$  Gb/s i bardzo niskim opóźnieniu.

Oprogramowanie powinno spełniać kilka funkcji. Pierwszą, oczywistą funkcją jest kontrola nad całym systemem. Drugą, także niezbędną funkcją jest generacja odpowiednich obrazów dla każdej ściany CAVE z uwzględnieniem położenia użytkownika, jego przemieszczania się, kierunku patrzenia. Trzecią funkcją, które oprogramowanie może spełniać, jest dostarczenie narzędzi do projektowania własnych aplikacji i wizualizacji 3D. Zaawansowane oprogramowanie posiada mechanizmy, ułatwiające tworzenie aplikacji osobom nie umiejącym programować (tworzenie aplikacji nie musi być programowaniem w kodzie źródłowym). Ta funkcja nie jest niezbędna do poprawnej pracy instalacji, ale może być bardzo przydatna dla rozwoju i tworzenia nowych aplikacji. Oprogramowanie będzie mogło być w przyszłości stosunkowo łatwo zmieniane, uzupełniane i rozwijane.

## 6. SYSTEMY DODATKOWE

Systemy dodatkowe to przede wszystkim śledzenie (ang. *tracking*), system wizyjny (podgląd na sferę) i nagłośnienie.

W instalacjach typu CAVE najczęściej spotykane są optyczne systemy śledzenia, pracujące w podczerwieni. Pojawiają się także systemy ze śledzeniem akustycznym (ultradźwiękowe), rzadziej magnetycznym. Wykorzystanie tych ostatnich wymaga jednak stosowania materiałów niemagnetycznych w konstrukcji CAVE. Przykładowo, w jednym z rozwiązań zastosowano konstrukcję drewnianą.

Zastosowanie systemów optycznych (śledzenia i wizyjnego) wymaga optycznego dostępu do wnętrza CAVE. Ponieważ instalacja LZWP będzie sześciocienna (zamknięta), jedynym sensownym rozwiązaniem wydaje się dostęp do środka poprzez wykonanie otworów w ekranach. Najlepiej byłoby wykonać niezbędne otwory w ekranie sufitowym, w okolicy narożników. Podobnie montaż nagłośnienia pociąga za sobą trudności, głównie ze względu na silne tłumienie dźwięku przez ekrany (zakładając ekrany sztywne). Rozwiązaniem jest tu również umieszczenie niewielkich głośników w otworach sufitowych. Umieszczenie zarówno systemów śledzenia, wizyjnego i audio w ekranie sufitowym pociągnie za sobą brak obrazu w kilku wybranych punktach (o średnicy 3-5 cm). Wydaje się jednak, że zaburzenia te wpłyną tylko w niewielkim stopniu na jakość projekcji. Alternatywnym rozwiązaniem jest odsunięcie ekranu sufitowego na pewną odległość, pozwalające na dostęp wizyjny i akustyczny do wnętrza przez powstałą szczelinę. Pojawia się jednak problem synchronizacji obrazów w miejscach łączenia (w zależności od położenia lub wzrostu użytkownika geometria będzie inna). Ponadto,

systemy śledzenia i wizyjny muszą wciąż „widzieć” użytkownika niezależnie od jego położenia. W takiej sytuacji użytkownik będzie również widział rejestratory tych systemów. Jedynie głośniki mogłyby być niewidoczne. Mogą być też one umieszczone za wyperforowaną specjalnie częścią ekranu będąc jednocześnie poza torem optycznym.

## 7. ZAKOŃCZENIE

Wyposażenie LZWP będzie umożliwiać generowanie trójwymiarowych obrazów dynamicznych, a także reakcję na ruch zarówno symulatora chodu (marsz lub bieg w sferze), jak i użytkownika w jego wnętrzu (pozycja głowy) i poza nim (w konfiguracji rozłącznej). Pozwalać też będzie na bezpieczne użytkowanie i prostą zmianę konfiguracji pracy oraz scenariusza symulacji. Planowane laboratorium jest zatem rozwiązaniem niezwykle złożonym, a jego realizacja obejmuje aspekty mechaniczne, optoelektroniczne i informatyczne. W referacie przedstawiono wykonaną przez autorów analizę, która poprzedziła przygotowanie ostatecznej specyfikacji (SIWZ [4]) wyposażenia LZWP.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Barco (wykonawca instalacji [7]): *Strona firmowa*. <http://www.barco.com> .
- [2] S. "Cb" Kuntz: *A VR Geek Blog*. <http://cb.nowan.net/blog/state-of-vr/state-of-vr-devices/>.
- [3] DNV Poland: *DNV Academy – szkolenia dla branży morskiej*. <http://www.dnv.pl/academy> .
- [4] Dział Zamówień Publicznych PG: *SIWZ*. <http://www.dzp.pg.gda.pl/?a=s&s=s&poid=2307>
- [5] K. J. Fernandes, V. Raja, J. Eyre: *Cybersphere: The Fully Immersive Spherical Projection System*. Communications of the ACM, September 2003/Vol. 46, No. 9ve, pp. 141-146.
- [6] i3D (wykonawca instalacji [13]): *Strona firmowa*. <http://www.i3D.pl> .
- [7] INAVATE: *Stretching reality: Research advances ...* <http://www.inAVateonthenet.net> .
- [8] Integra AV (wykonawca instalacji [3]): *Strona firmowa*. <http://www.integraAV.pl> .
- [9] J. Lebiedź: *Symulacja chodu i biegu w świecie wirtualnym*. Wytwarzanie gier komputerowych (Materiały konferencyjne), ZN Wydz. ETI PG, tom 1, Gdańsk 2011, str. 187-194.
- [10] J. Lebiedź, J. Lubiński, A. Mazikowski: *An Immersive 3D Visualization Laboratory Concept*. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Information Technology, ZN Wydz. ETI PG, tom 18, Gdańsk 2010, str. 117-120.
- [11] J. Lebiedź, J. Lubiński, A. Mazikowski: *Projekt Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przeszłości*. Technologie informacyjne, ZN Wydz. ETI PG, tom 19, Gdańsk 2010, str. 163-168.
- [12] VirtuSphere Inc: *Virtusphere*. <http://www.virtusphere.com/index.html> .
- [13] Wydział Inżynierii Biomedycznej: *Laboratorium Technologii Wirtualnej Rzeczywistości*. <http://www.polsl.pl/Wydzialy/RIB/RIB3/Strony/virtual-lab.aspx> .

## I3DVL, OR HOW TO BUILD A CAVE

### Summary

The paper presents results of work concerning the technical specification of CAVE (Immersive 3D Visualization Laboratory) planned at the Faculty of ETI at Gdańsk University of Technology. The person immersed in VR space will be placed in a transparent sphere with a large diameter supported on rollers and equipped with a motion tracking system. Walking motion of the person will inflict the revolution of the ball and trigger changes in the computer generated images on screens surrounding the sphere thus creating an illusion of motion. The projection system will be equipped with a 3D simulation capability and supplemented with a spatial sound generation system. The analysis was based on the knowledge of the authors, literature studies, visits to selected installations as well as consulting with companies which are leading manufacturers and 3D systems integrators.