

Maciej Nisztuk*

Kinetyczna morfogeneza: generatywny system rozwoju strukturalnego w oparciu o interaktywne przechwytywanie ruchu

Kinetic morphogenesis: generative system of structural expansion based on interactive motion capture

Kinetyczna morfogeneza to aplikacja przygotowywana podczas studiów doktoranckich na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej. Łączy w sobie elementy projektowania generatywnego oraz przechwytywania ruchów ludzkiego ciała. Celem niniejszej aplikacji jest próba zapisu ruchu ludzkiego ciała w czasie i przestrzeni. Poprzez translację postaci gracza w wykreowane środowisko wirtualne oraz dodanie algorytmów interpretujących ruch ludzki, w przestrzeni cyfrowej powstają biomorficzne bryły, które są zapisem rytmów, napięć i zmian kierunków wynikających z decyzji gracza.

Omawiana aplikacja skupia się na eksploracji styku między materialnością a wirtualnością. Autor upatruje w tej granicy główne pole rozwoju przyszłych narzędzi wspomagających architektoniczny proces projektowy. Autor uważa również, że styk ten ma niesamowity potencjał konceptualny i technologiczny niebywale użyteczny w obecnym architektonicznym warsztacie twórczym, opierającym się w coraz większym stopniu na wykorzystaniu narzędzi cyfrowych do odwzorowywania materialnej rzeczywistości. W szczególności badania towarzyszące powstawaniu niniejszej aplikacji pomagają w znalezieniu odpowiedzi na pytania:

1. Jak zmiana kontekstów wirtualnych wpływa na formy generowane komputerowo?
2. Do którego momentu gracz ma wpływ na estetykę powstających brył?

Kinetic morphogenesis is an application being developed during PhD studies on the Faculty of Architecture at the Wrocław University of Science and Technology. It combines elements of generative design and motion capture based on the human body. Its aim is to record movements of the human body in time and space. Through the translation of the player's character to the virtual environment and addition of algorithms interpreting human movement, in the digital space biomorphic forms are developed. The arisen forms are the recording of rhythms, tensions and direction changes resulting from the player's decisions.

The application focuses on the exploration of the interface between materiality and virtuality. The author sees in this boundary the main field of development of future tools supporting the architectural design process. Furthermore the author believes that this contiguity has an incredible conceptual and technological potential being extremely useful in the contemporary architectural design workshop, which increasingly relies on the use of digital tools for mapping the material reality. The studies accompanying the development of this application help to find answers to the following questions:

1. How does the change of virtual spatial contexts affect the aesthetics of computer-generated forms?
2. To which point the player influences the aesthetics of arisen forms?
3. Can forms created in this way be materialized by 3D printing technology?

Already during the first works, tests and analyzes, it was possible to deepen the knowledge about spatial relationships between the human body, time and variety

* Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej/Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology.

3. Czy możliwa jest materializacja wirtualnych form przestrzennych za pomocą technologii druku przestrzennego?

Już w trakcie pierwszych prac, testów i analiz udało się pogłębić wiedzę dotyczącą relacji przestrzennych między ludzkim ciałem, czasem i różnorodnymi kontekstami wirtualnymi. Pojawiły się również pytania pokazujące nowe kierunki dla przyszłych badań związanych z tematyką omawianego projektu.

Obecna wstępna faza projektu przedstawiona w niniejszej publikacji jest podzielona na cztery etapy: przygotowanie bazowych tez gry, testowanie tez w oparciu o symulacje konceptualne, ocenę powstałych prototypów oraz wnioski końcowe. W artykule w skróty sposób opisano każdy z etapów, przytoczono rezultaty testów prototypu funkcjonalnego gry, sformułowano krytyczne wnioski wynikające z fazy testowej i nakreślono kierunki przyszłych prac badawczych.

Prace o podobnej tematyce

Rozpoznawanie ludzkiego ruchu w przestrzeni wirtualnej jest dość popularnym tematem badawczym [1]–[3]. Istnieje wiele metod translacji człowieka do cyfrowej formy. Niżej opracowanie wykorzystuje rozpoznawanie ruchów przez zapis objętości w czasie i przestrzeni (*action recognition with space-time volumes*) [1] i rozpoznawanie ruchów na bazie trajektorii czasoprzestrzennych (*action recognition with space-time trajectories*) [1], [4]. Są to sposoby zapisu ruchów ludzkiego ciała za pomocą punktów (również charakterystycznych, takich jak najważniejsze ludzkie stawy) i ich współrzędnych przestrzennych (X, Y, Z). Sensor Microsoft Kinect dzięki zdolności odczytu głębi obrazu oraz obrazu RGB oferuje pełnię możliwości interpretacji ludzkiego ciała przy wykorzystaniu tych metod. Zastosowane oprogramowanie (*Grasshopper*¹ z rozszerzeniem *Firefly*²) pozwala na bazie tych danych tworzyć odwzorowanie ludzkiego ciała w postaci uproszczonego modelu szkieletowego. W ciągu ostatnich lat powstało wiele interesujących przykładów zastosowania tych technik w dziedzinie sztuki wizualnych oraz w projektowaniu cyfrowym.

Zapis ruchu człowieka został wykorzystany przez Jinil Park w *Drawings* [5] do tworzenia rysunków przestrzennych. Podobnie znana pracownia Front, w projekcie *Sketch furniture*, za pomocą techniki *motion tracking* wykonała serię mebli poprzez cyfrowy zapis szkicowania tych obiektów. Następnie obiekty te zostały zmaterializowane przez druk 3D [6]. Studio Mhox w opracowaniu *Collagen* użyło odwzorowanej ludzkiej twarzy do wygenerowania wzrastających cyfrowych struktur przestrzennych, które zostały następnie zrekonstruowane w rzeczywistości za pomocą technologii druku 3D [7]. Kolejnym ciekawym zastosowaniem techniki *motion tracking* jest oprogramowanie VRClay, które pozwala na cyfrowe

of virtual contexts. New questions showing new possibilities for future research related to the topic of the research project have also appeared.

The current initial stage of the research project, described in the paper, is divided into four sequential steps: initial game concept formulation, tests of those concepts, prototype evaluation and final conclusions. The present report describes briefly each stage, shows tests' results conducted on the functional prototype of the game, formulates critical conclusions of the testing phase and outlines the direction of further research.

Related work

Recognition of human movement in the virtual space is a popular research topic [1]–[3]. There are many methods of human body translation to the digital form. The present report uses two main approaches: *action recognition with space-time volumes* [1] and *action recognition with space-time trajectories* [1], [4]. These two methods record the movements of the human body based mainly on spatial points (especially the most distinguished ones such as the human joints) and their spatial coordinates (X, Y, Z). Microsoft Kinect sensor, due to the ability to read the image depth and RGB channels, offers possibilities of full interpretation of the human body using both of the presented approaches. The software used (*Grasshopper*¹ with *Firefly*² plugin) allows, based on the sensor data, to create the mapping of the human body in the form of a simplified skeletal model. In recent years, several interesting examples of the use of these techniques in the field of visual arts and digital design appeared.

Interpretation of human movement was used by Jinil Park in the project *Drawings* [5] to create spatial drawings. Likewise, the well-known design studio Front, in the *Sketch Furniture*, using motion tracking technology has created a series of furniture through digital recording of the sketching process. Subsequently, the objects were materialized by 3D printing [6]. Studio Mhox in the project *Collagen* used the mapping of a human face to generate a growing digital spatial structure, which was then recreated with the help of 3D printing technology [7]. Another interesting application of the motion tracking technology is an application VR Clay, which allows digital sculpting in clay using VR (virtual reality, representation of the real world in the digital space) equipment (*Oculus Rift*) [8].

By using Microsoft Kinect sensors works based on the dancer's movements were created. The video *Asphyxia* [9] is an experimental project of Maria Takeuchi and Frederico Phillips. Data collected by sensors were processed to form an ethereal animation being an interpretation of the contemporary dance. A similar work *Unnamed Soundsculpture* [10] by Daniel Franke and Cedric Kiefer, is a dancers movement recording enriched with elements of physical simulations.

¹ Rozszerzenie do oprogramowania CAD o nazwie *Rhinoceros 3D*. Rozszerzenie to pozwala na tworzenie własnych skryptów poprzez wizualny system programowania oparty na grafach.

² Biblioteka do języka programistycznego *Grasshopper*, umożliwiająca pracę z wieloma rodzajami czujników cyfrowych.

¹ Extension to *Rhinoceros 3D* CAD software. The extension allows to create scripts through a visual programming system based on graphs.

² Grasshopper programming language library enabling work with many types of digital sensors.

rzeźbienie w glinie przy wykorzystaniu sprzętu VR (*virtual reality* – wirtualna rzeczywistość; okulary *Oculus*) [8].

Przy użyciu sensorów Microsoft Kinect powstały prace odwzorowujące ruch tancerzy. Film *Asphyxia* [9] jest eksperymentalnym projektem Marii Takeuchi i Frederica Phillipsa. Dane zebrane sensorami zostały przetworzone do postaci eterycznej animacji będącej interpretacją tańca współczesnego. Podobna praca *Unnamed Sound-sculpture* [10] autorstwa Daniela Franke’a i Cedrica Kiefera jest zapisem ruchu tancerki wzbogaconego o elementy symulacji fizycznych.

Cele i koncepcja projektu badawczego

Koncepcja projektu badawczego jest częścią szerszych rozważań dotyczących tematu mechanizmów ewolucji biologicznej i technik inżynierii genetycznej w procesie projektowym. Wykorzystując wizualizacje VR obiektów generatywnych³ tworzonych w czasie rzeczywistym, a także zestaw różnorodnych narzędzi peryferyjnych, autor postawił sobie za cel umożliwienie lepszego zrozumienia abstrakcyjnych, wirtualnych kształtów przestrzennych w kontekście rzeczywistym. Dodatkowym celem jest poznanie różnorodnych możliwości wizualizacji procesów generatywnych w czasie rzeczywistym w oparciu o szerokie spektrum narzędzi interaktywnych (sensory cyfrowe, projektowanie parametryczne i skanowanie 3D).

Początkowo oczekiwane rezultaty wiązały się głównie z lepszym zrozumieniem relacji przestrzennych między ludzkim ciałem i jego trójwymiarowym tłem, poszukiwaniem nowych możliwości interakcji pomiędzy środowiskiem wirtualnym i kontekstem rzeczywistym oraz badaniem form powstających poprzez łączenie systemów generatywnych⁴ z interaktywnym przechwytywaniem ruchu ludzkiego ciała.

Wybrane aspekty badawcze dotyczyły głównie bieżącej cyberkultury i technologii. Ponieważ wstępne cele projektu powiązane były z zacierającą się granicą pomiędzy rzeczywistością wirtualną a światem materialnym, do celów badawczych zostały wybrane współczesne narzędzia cyfrowe: technologie skanowania 3D (fotogrametria), sensory cyfrowe (Microsoft Kinect), cyfrowa fabrykacja – druk 3D⁵ (do celów materializacji ewentualnej formy wynikowej), projektowanie generatywne i parametryczne.

Do opracowania najważniejszych założeń wybrano podejście heurystyczne – teorię gier. Problem badawczy przedstawiono jako grę naukową [11]. Został zdefiniowany gracz, informacje dostarczone do gracza, a także scenariusze akcji, które może podjąć, oraz ich rezultaty. Określony w ten sposób model gry przetestowano przez symulacje

Aims and the concept of the research project

The concept of the research project is a part of wider investigation concerning the topic of the mechanisms of biological evolution and genetic engineering techniques in the design process. Using VR real-time visualizations of the generative objects³ and various tools (cameras, phones etc.) the topic aims to allow a better understanding of abstract virtual spatial geometries in a real context. An additional aim is to study various possibilities of visualization of generative processes in real time based on the diverse spectrum of interactive tools (including sensors, parametric design and 3D scanning).

Initially expected outcomes related mainly to better understanding of spatial relations between the human body and the 3D background, searching for new possibilities of interaction between generative environment and the real context and studying of forms developed through the cooperation of generative systems⁴ with interactive capturing of the human body movement.

Chosen aspects for research purposes were connected mainly with the current cyberculture and technology. Because the project’s initial aims were connected mainly with the blurring border between virtual reality and the material world, the current state of the art digital tools were chosen: 3D scanning technologies (photogrammetry), digital sensors (Microsoft Kinect sensor), digital fabrication – 3D printing⁵ (fabrication of resulting forms), generative and parametric design.

To formulate main aims of the research project, a heuristic approach was chosen – game theory. The research problem was presented as a scientific game [11]. The player, the information provided to the player and scenarios for action which may be taken and their results have been defined. Designated as such, the model was tested through conceptual simulations (set of hypothetical situations testing design assumptions in various contexts) and by implementation of the model in a functional prototype of the game. During the course of research, the main conceptual descriptors (ideas) of the game were developed: metamorphosis, displacement, set of possibilities (Fig. 1).

The metamorphosis concept defines man in the research project – the human body as a spatial object. This concept assumes only one main difference in virtual reality between the human body and static objects – dynamic movements. For the designed generative system, the human is perceived as “changeable” background, a kind of scaffolding for biological structure occurring during the process.

Displacement represents man in the generative context. The human body as a spatial object through its

³ Obiekt generatywny – obiekt powstały za pomocą mocy obliczeniowej komputera, w wyniku działania określonych przez projektanta zasad, skryptów lub algorytmów.

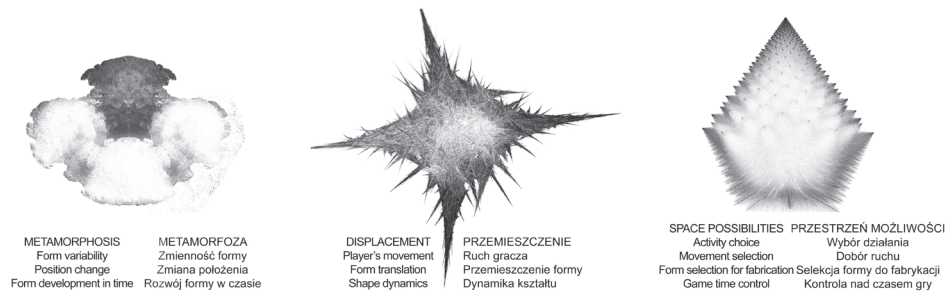
⁴ System generatywny – połączenie środowiska generatywnego i ewaluacyjnej roli projektanta.

⁵ Cyfrowa fabrykacja to zespół technologii wytwórczych pozwalających na tworzenie przedmiotów materialnych bezpośrednio z cyfrowych projektów. Wiodącą w tej grupie technologią jest druk 3D – technika wytwarzania trójwymiarowych obiektów fizycznych poprzez nakładanie na siebie warstw tworzywa.

³ Generative object – object created with the help of computing power as a result of rules, scripts or algorithms specified by the designer.

⁴ Generative system – a combination of generative environment and evaluation role of the designer.

⁵ Digital fabrication is a set of manufacturing technologies that allow the creation of material objects directly from digital designs. The leading technology in this group is the 3D printing – a technique for producing three-dimensional physical objects by overlapping layers of construction material.



Il. 1. Graficzne przedstawienie trzech hasła obrazujących najważniejsze aspekty koncepcji gry (oprac. M. Nisztuk)

Fig. 1. Graphical representation of the three slogans depicting the most important aspects of the game concept (by M. Nisztuk)

konceptualne (zestaw hipotetycznych sytuacji testujących założenia projektowe w różnych kontekstach) oraz przez implementację modelu w funkcjonalny prototyp gry. W trakcie badań opracowano główne deskrytory pojęciowe gry. Zostały one zawarte w trzech hasłach obrazujących najważniejsze aspekty projektowanego systemu: metamorfoza, przemieszczenie, przestrzeń możliwości (il. 1).

Pojęcie *metamorfozy* definiuje człowieka w projekcie badawczym – ludzkie ciało jako obiekt przestrzenny. Koncepcja ta zakłada tylko jedną główną różnicę zachodzącą w rzeczywistości wirtualnej pomiędzy ludzkim ciałem a obiektami statycznymi – dynamikę ruchów. W projektowanym systemie generatywnym ludzkie ciało jest postrzegane jako zmieniające się czasowo i przestrzennie tło, rodzaj rusztowania dla struktur biologicznych pojawiających się w trakcie procesu.

Przemieszczenie reprezentuje człowieka w kontekście generatywnym. Ludzkie ciało jako bryła poprzez swoją dynamikę wpływa na rozwój powstających form. Jest ono dynamiczną częścią kontekstu przestrzennego. Człowiek (gracz) jako główny czynnik wpływający wyznacza punkt wyjścia i kieruje rozwojem całego systemu. Ciało ludzkie jest tłumaczone jako zbiór uproszczonych relacji trójwymiarowych – objętości, osi, punktów – co pozwala zrekonstruować jego skalę, dynamikę, lokalizację i ogólne relacje z procesem generatywnym.

Przestrzeń możliwości to odtworzony kontekst architektoniczny projektu badawczego. Kontekstem dla generatywnego rozwoju formy jest niewielka objętość przestrzeni. Objętość ta może być abstrakcyjnym modelem trójwymiarowym lub też może być oparta na przestrzeni rzeczywistej, zdigitalizowanej za pomocą technik skanowania 3D. Uproszczone ciało ludzkie stanowi dodatkowy kontekst.

Dla opracowanej koncepcji przygotowano prototyp funkcjonalny, do którego stworzenia oraz do testowania założeń projektowych zostały wybrane następujące narzędzia: oprogramowanie *Rhinoceros*⁶ wraz ze środowiskiem programowania graficznego *Grasshopper*, dodatek do *Grasshoppera* (narzędzie do integracji sensorów cyfrowych) oraz Microsoft Kinect.

Opis gry

Tytuł *Kinetyczna morfogeneza* wywodzi się z głównych idei stojących za projektem badawczym – studiami

dynamics influences the development of spatial forms arising through time. It is a constant reconfigurable part of the entire background. The human being as the main actor (game player) sets the starting point and guides the development stage of the whole system. The human body is being translated into a set of spatial rules – volume, simplification of mass, axis – which allows reconstructing its scale, dynamic localization and general relations with the generative process.

Set of possibilities is an augmented architectural context of the research project. The context for the generative form development is a small volume of space. The volume of space can be created virtually or it can be based on real space digitized through 3D scanning technology. Simplification of the human body is an additional context.

For the developed concept a prototype was created. For the prototype development tools of choice to study initial assumptions were: *Rhino*⁶/*Grasshopper* environment, *Firefly Grasshopper* add-on (sensor integration tool) and Microsoft Kinect sensor.

Game description

The game title *Kinetic morphogenesis* is based on the main ideas behind the research project – formal studies of kinetic structures and movement. The research project became a scientific motion game whose goal is to create the cyber organism and its choice for the purposes of digital fabrication. The main problem is to find an answer for the question: is it possible to process the physical reality through cyberspace? Game scenario and the suggested player's actions were defined by the successive sequences of movements, in the form of event log based on the operations and decisions of the game designer and player (Fig. 2).

In the process of 3D geometry generation, the proposed application utilizes interactive spatial swarm intelligence simulation responsive to changes in the form and location of the player. The simulation consists of a set of points, changing their position in time and space based on the player location and the neighbouring swarm points, called agents. The proposed game is essentially a self-organized, emergent system coupled with the player (Fig. 3).

The game context is an artificial background-canvas which depicts the player's movements in real-time. Each sequence is composed through creating spatial forms

⁶ Oprogramowanie typu CAD służące do przestrzennego modelowania powierzchniowego.

⁶ CAD software for spatial surface modeling.

formalnymi nad strukturami kinetycznymi i ruchem. Projekt badawczy przyjął formę naukowej gry o ruchu, której celem jest stworzenie cyfrowego organizmu i wybór jego finalnej formy do celów cyfrowej fabrykacji. Podstawowym problemem gry jest znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy jest możliwe przetworzenie materialnej rzeczywistości przez cyberprzestrzeń. Scenariusz i proponowane akcje uczestnika zostały zdefiniowane przez następujące po sobie sekwencje ruchów, w postaci rejestru zdarzeń opartych na działaniach i decyzjach projektanta aplikacji oraz gracza (il. 2).

Projektowana gra wykorzystuje w procesie tworzenia struktury 3D interaktywną symulację przestrzenną inteligencji roju reagującej na zmiany w postaci i lokalizacji gracza. Symulacja składa się ze zbioru punktów zmieniających swoje położenie w czasie i przestrzeni w oparciu o lokalizację człowieka oraz sąsiednich punktów w roju, zwanych agentami. Proponowana gra stanowi w gruncie rzeczy sprzężony z uczestnikiem samoorganizujący się system emergentny (il. 3).

Kontekstem gry jest cyfrowe tło – płótno, na które rzutowane są ruchy człowieka w czasie rzeczywistym. Każda runda składa się z tworzenia form przestrzennych powstających w rezultacie zapisu ruchu w czasie i przestrzeni. Formy te są następnie oceniane przez gracza w oparciu o subiektywną ocenę ich estetyki (il. 4).

Mechanika gry

Mechanika gry jest oparta na dwóch głównych elementach: kontekście przestrzennym (uproszczony model trójwymiarowy lub rzeczywista przestrzeń zdigitalizowana za pomocą technologii skanowania 3D) i uproszczonym przedstawieniu ludzkiego ciała w przestrzeni cyfrowej. Interakcje między tymi elementami stanowią rdzeń mechaniki gry. Opierają się one na przepływających się oddziaływaniach między punktami wyjściowymi dla wzrostu struktury i atraktorami (punkty, w których kierunku wzrasta generowana struktura trójwymiarowa). Interakcje następują poprzez ruch ludzkiego ciała w czasie i przestrzeni i są rejestrowane jako przemieszczenie „rusztowania” (uproszczone przedstawienie ludzkiego ciała w przestrzeni cyfrowej z dołączonymi atraktorami) w kontekście przestrzennym gry (zawierającym statyczne punkty wyjściowe). Główne wybory estetyczne gry dotyczą możliwości wyboru finalnej formy powstałej w wyniku działania systemu generatywnego i materializacji akcji gracza poprzez fabrykację powstałych form.

Szkieletem dla generowanej struktury 3D jest zapis toru ruchu każdego z agentów. Ruch rozpoczyna się w punkcie bazowym i jest kontynuowany w kierunku atraktorów zlokalizowanych na ciele gracza. Umieszczeniem punktu bazowego jest losowy punkt na modelu 3D stanowiącym tło gry (w prototypie tło gry stanowi skan 3D przestrzeni). W toku gry relatywna pozycja atraktorów ulega zmianie poprzez ruchy gracza wykrywane przez sensor ruchu Microsoft Kinect, co powoduje reakcję agentów i zmianę ich położenia (zwrot w stronę atraktorów na graczu). Tor ruchu jest zapisywany w czasie gry w postaci krzywych przestrzennych i zamieniany na objętościową geometrię

arising as a result of the record of movement in time and space. Resulting forms are then evaluated by the player, based on the subjective judgment of their aesthetic (Fig. 4).

Game mechanics

The mechanics of the game is based on two main elements, the background (real-time 3D scanned environment) and the scaffolding (simplification of the human body) and the interactions between them which are based on the interwoven influences between seed points (starting point(s) of the growing objects) and attraction points (points towards which the structure will grow). The interactions occur through movement in time and space and are recorded as a displacement of scaffolding (human body with the attraction points attached) in the context of the game background (with the initial localization of seed points). The main aesthetics relates to the possibility of choice of the final form produced by the generative system (aesthetic evaluation of simulation results) and the materialization of the player's actions through the fabrication of resulting forms.

A skeleton for the generated 3D structure is the recorded trajectory of each agent points. The agent motion starts at the base point (seed point) and continues towards the attractor points located on the player's body. Location of the base points is a random point on the 3D model, which forms the background of the game (in the current prototype – 3D scan of the selected space). In the course of the game, the relative position of attractors is changed by the player's movements detected by the Kinect motion sensor (motion detector manufactured by Microsoft) which causes the agents reaction and change of their position (a shift towards attractors on the player). The motion path is recorded in the form of spatial curves and converted into 3D volume geometry with the algorithm creating 3D mesh (Fig. 4).

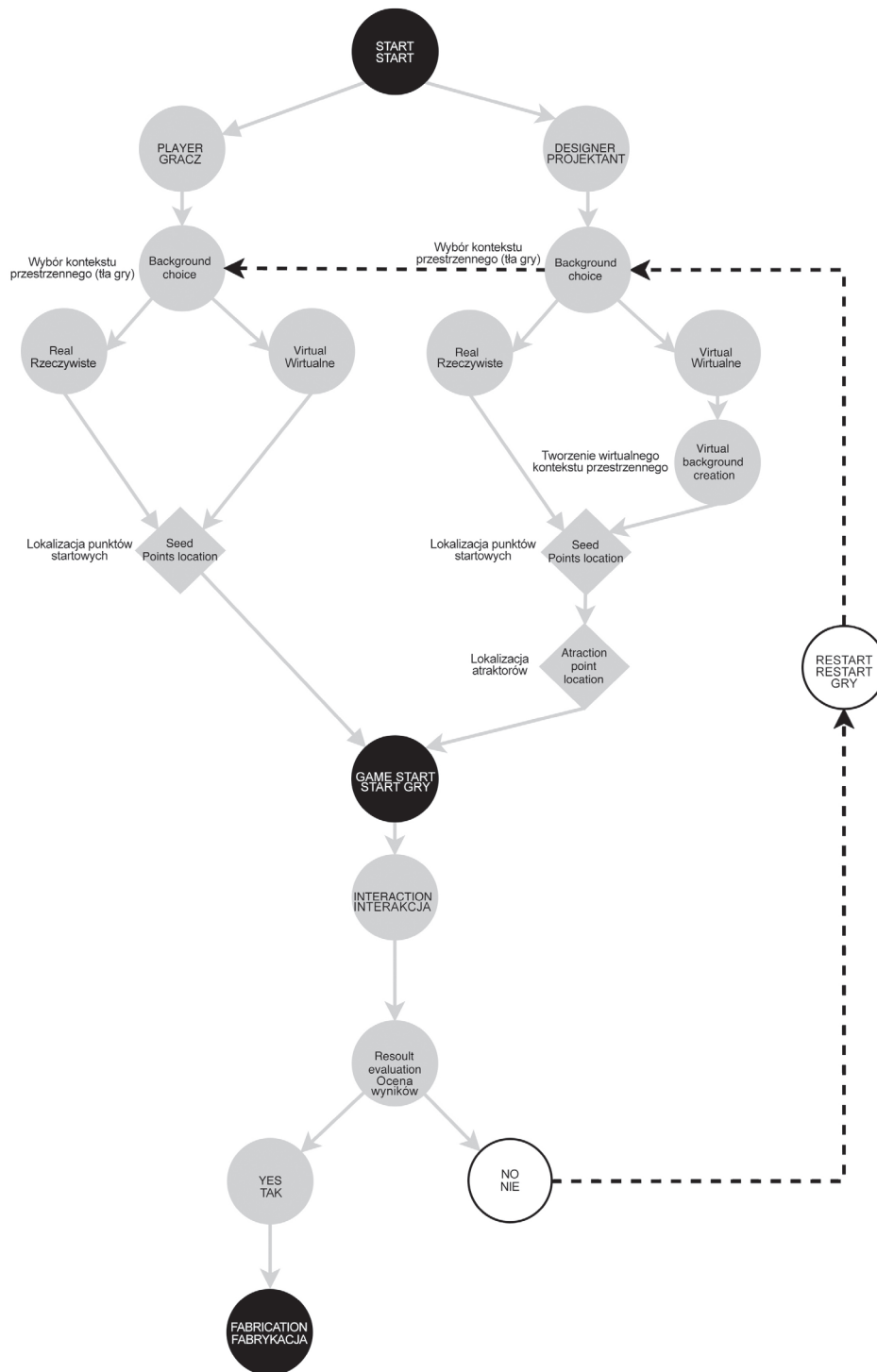
UI and sensory representation

The basis of the game are the player's feelings regarding movement and choices occurring during the game scenario. Main senses connected with the model are vision and the sense of equilibrium. The game design is based on the player's movement and its representation in the digital space. These senses are the basis for an appropriate localization of the player in the game space. Extensions of the player are the simplification of the human body and its representation on the two-dimensional screen.

The “avatar” (player telepresence) is the simplification of the human body in the form of the skeletal body. It determines the body position and its location in the game space. The mechanics are based on the translation of the real context (human body, spatial background) onto its virtual representation. The player is “present” in the game environment in real-time.

The basis of in-game UI⁷ design is the concept of sensory player's feedback based on the telepresence of

⁷ *User Interface*, human-computer interface layer.



Il. 2. Diagramy rejestru zdarzeń scenariusza opartych na działaniach i decyzjach projektanta oraz gracza (oprac. M. Nisztuk)

Fig. 2. Diagrams of the game scenario events based on the actions and decisions of the game designer and the player (by M. Nisztuk)

3D za pomocą algorytmu tworzącego siatkę przestrzenną na bazie krzywych 3D (il. 4).

UI i reprezentacja cyfrowa zmysłów gracza

Podstawą gry są odczucia człowieka w zakresie przemieszczania się w przestrzeni materialnej i jego wybory dokonywane w trakcie rozgrywki. Najważniejszymi zmysłami związanymi z grą są zmysł wzroku i zmysł równowagi. Projekt środowiska aplikacji jest oparty na ruchu zawodnika i jego reprezentacji w przestrzeni wirtualnej. Zmysły te są podstawą do właściwego umiejscowienia

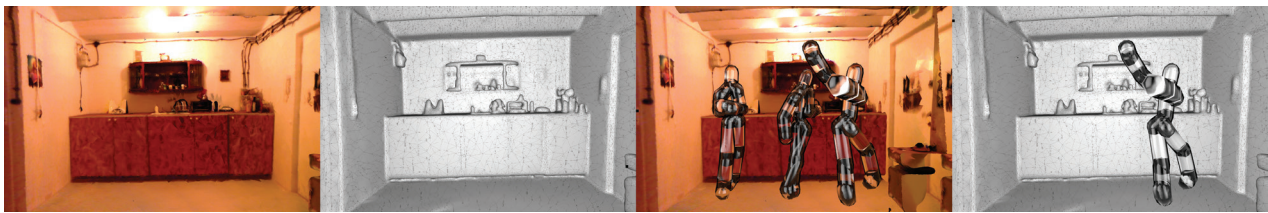
a player using the Microsoft Kinect sensor and the human body skeletal representation. In-Game UI relates to the game stage and changes with its progress (Fig. 5). The basic steps are:

1. Human body representation with the option of attraction points selection (localized usually in joints of the human body).
2. Background type selection (real 3D scanned space or virtual creation) with the localization of seed points.
3. The main screen showing the environment of the game (background context) with the current localization of the player. Additional information is present: the



Il. 3. Czasowe sekwencje obrazów ukazujące ruchy człowieka na tle cyfrowej przestrzeni gry. Gracz, wykonując ruchy w czasie, kieruje rozwojem generowanej przestrzennej. Na obrazach widać cyfrową reprezentację uczestnika – awatara, zapis rozwoju struktury przestrzennej w postaci krzywych 3D (oprac. M. Nisztuk)

Fig. 3. Timeline of image sequences showing the player movements in the context of digital game space. The player performs movements in time directing the development of the spatial structure. The pictures show a digital representation of the player – avatar and the development of the spatial structure in the form of 3D curves (by M. Nisztuk)



Il. 4. Reprezentacja cyfrowego tła gry oraz zobrazowanie awatara w świecie gry. Na obecnym etapie projektu badawczego głównym rodzajem stosowanego w grze tła jest model 3D wybranej przestrzeni powstały przy zastosowaniu technologii skanowania 3D (oprac. M. Nisztuk)

Fig. 4. Representation of the digital background of the game with the player avatar in the game world.

Currently, the main type of background used in the game is the 3D model of preselected space created using the 3D scanning technology (by M. Nisztuk)

wienia gracza w środowisku aplikacji. Przedłużeniem ciała człowieka w środowisku gry jest jego uproszczona reprezentacja wyświetlana na dwuwymiarowym ekranie.

Awatar (teleobecność gracza) to uproszczony obraz ludzkiego ciała zredukowanego do głównych osi geometrycznych. Przedstawienie to determinuje pozycję ciała i jego położenie w przestrzeni gry. Mechanika gry opiera się na przekładzie kontekstu rzeczywistego (ciało gracza, tło przestrzenne gry) na jego wirtualną reprezentację. Gracz jest obecny w środowisku gry w czasie rzeczywistym.

Podstawą dla interfejsu (UI⁷) jest koncepcja sprzężenia sensorycznego gracza, którego charakter jest odzwierciedlony za pomocą sensora Kinect w postaci uproszczonej reprezentacji ciała ludzkiego. Interfejs użytkownika jest bezpośrednio połączony z danym etapem gry i zmienia się wraz z jej postępem (il. 5). Podstawowe kroki występujące w grze to:

1. Reprezentacja ciała gracza wraz z opcją wyboru lokalizacji atraktorów (lokalizowane zazwyczaj w miejscu najważniejszych stawów ludzkiego ciała).

position of the human body in skeletal form, “clock” of in-game time.

4. The first stage of game result form.

5. The final choice of form for the digital fabrication purposes.

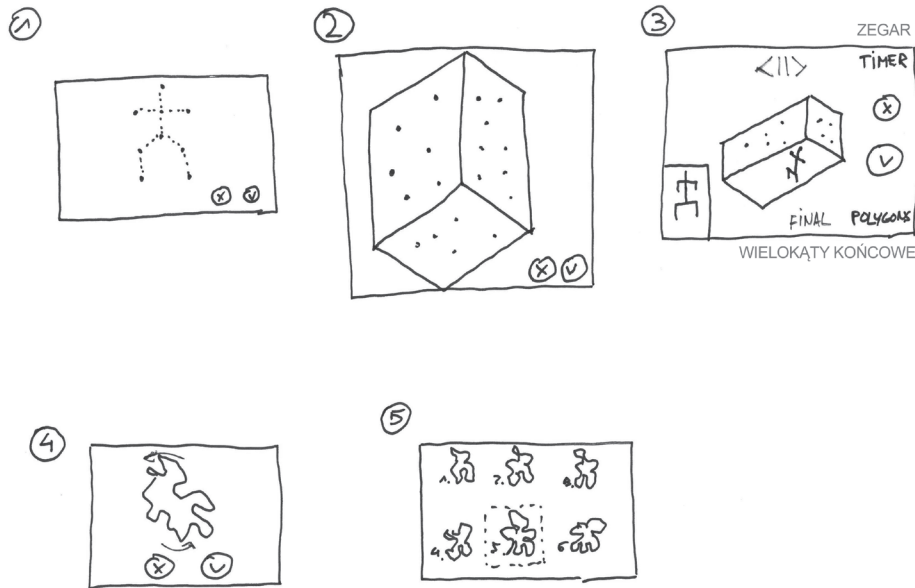
Game prototype

The game functional prototype was created in the form of interactive application (Fig. 6). Tools used to develop the application were: *Rhinoceros 3D*, *Grasshopper* (*Rhinoceros* extension for visual programming) and additional *Grasshopper* plug-ins (*Boid* library, *Firefly*). The application is based on the Windows PC platform and Microsoft Kinect sensor. The scenario and the player's actions have been defined by the successive sequences of movements, in the form of an event log based on the operations and decisions of the game designer and player (Fig. 2):

1. Player's choice of spatial context – selection of the background between virtual model and the material space digitalized using 3D scanning technology.

2. Selection of the location of seed points in the spatial context for the 3D structure generation.

⁷ *User Interface*, interfejs użytkownika służący do komunikacji człowieka z komputerem.



Il. 5. Projekt interfejsów sensorycznych wewnątrz gry (UI) (oprac. M. Nisztuk)

Fig. 5. Design of game sensory interfaces (UI) (by M. Nisztuk)

2. Wybór typu kontekstu przestrzennego (uproszczony model przestrzenny lub rzeczywista przestrzeń zdigitalizowana za pomocą technologii skanowania 3D) wraz z doбором lokalizacji punktów wyjściowych.

3. Ekran główny ukazujący środowisko gry (kontekst przestrzenny) z aktualną lokalizacją gracza. Dodatkowo pojawiają się informacje dotyczące pozycji ciała gracza oraz czas wewnętrzny gry.

4. Ekran ukazujący pierwszy etap rezultatów formalnych gry.

5. Końcowy wybór formy dla celów cyfrowej fabrykacji.

Prototyp gry

Prototyp funkcjonalny gry stworzono w formie interaktywnej aplikacji (il. 6). Do przygotowania aplikacji wykorzystano następujące narzędzia: *Rhinoceros 3D*, *Grasshopper* (rozszerzenie *Rhinoceros* do programowania wizualnego) oraz dodatkowe wtyczki do rozszerzenia *Grasshopper* (biblioteki *Boid* i *Firefly*). Aplikacja działa na platformie PC Windows, wykorzystując sensor Microsoft Kinect. Scenariusz gry i akcje gracza zostały zdefiniowane przez następujące po sobie sekwencje ruchów, w postaci rejestru zdarzeń opartych na działaniach i decyzjach projektanta gry oraz gracza (il. 2):

1. Wybór kontekstu przestrzennego przez gracza – wybór kontekstu między modelem wirtualnym a rzeczywistą przestrzenią zdigitalizowaną za pomocą technologii skanowania trójwymiarowego.

2. Wybór lokalizacji punktów startowych dla struktury (*seed*) w kontekście przestrzennym.

3. Wybór lokalizacji atraktorów – lokalizacja punktów, w których kierunku będzie wzrastać tworzona struktura. Lokalizacja możliwa w miejscu głównych stawów człowieka.

4. Początek interakcji człowieka z grą – ruch człowieka w kontekście przestrzennym.

5. Koniec interakcji – zakończenie zapisu ruchu człowieka.

3. Selection of the location of attraction points – the location of points towards which the generative structure will grow.

4. Game beginning – human movement in the spatial context.

5. Game over – end of the recording of human movement.

6. Preliminary evaluation of movement recording results – basic aesthetic evaluation of resulting spatial forms by the player. Binary selection possible – yes/no.

7. The ability to return to step 1.

8. Final evaluation of the generated spatial forms – evaluation and result selection of several (dozen) application iteration. The user chooses favourite form for fabrication purposes.

Figure 6 shows the preview of an early prototype version of the game. The sequence of game steps is as follows:

1. The choice of a digital spatial environment (in this case a pre-defined spatial model based on 3D scans).

2. Presentation of the player's telepresence in 3D space (avatar).

3. Location of the avatar to the game environment.

4. Agents movement record in the form of spatial curves, forming the skeletal structure of the resulting 3D geometry.

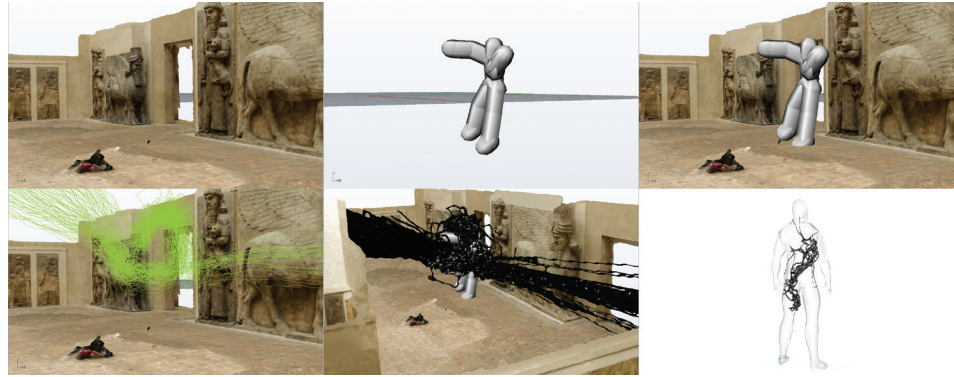
5. Generation of spatial structure based on the player's avatar, 3D environment and recorded agent paths. The last two images present created 3D geometry responding to both the digital spatial context and the player's avatar.

Conceptual simulations of the game space

Through simulations of the game environment in different conceptual contexts, one can better understand the way ideas behind the design work. To find further directions of development it is crucial to check various possibilities of the game design. Conceptual simulations can improve basic concepts. Each testing stage can lead to the development of new ideas how the entire environment could be altered, new experience identified or new functionalities developed.

Il. 6. Zrzuty ekranu pierwszej wersji prototypu funkcjonalnego gry (oprac. M. Nisztuk)

Fig. 6. Screenshots of the game prototype's first version (by M. Nisztuk)



6. Wstępna ewaluacja rezultatu zapisu ruchu – prosta ocena estetyczna powstałej formy przestrzennej przez gracza. Wybór binarny – tak/nie.

7. Możliwość powrotu do kroku 1.

8. Końcowa ewaluacja wygenerowanych form przestrzennych – ocena i wybór rezultatu kilku (kilkunastu) iteracji działania aplikacji. Użytkownik wybiera najlepszą jego zdaniem formę przestrzenną do cyfrowej fabrykacji.

Na ilustracji 6 przedstawiono podgląd wczesnej wersji prototypu gry. Widać na niej sekwencję poszczególnych kroków:

1. Wybór cyfrowego środowiska przestrzennego gry (w tym przypadku predefiniowany model przestrzenny na bazie skanu 3D).

2. Prezentacja teleobecności gracza w przestrzeni 3D (awatar).

3. Nałożenie awataru na środowisko gry.

4. Zapis ruchu agentów w postaci krzywych przestrzennych stanowiących szkielet wynikowej struktury 3D.

5. Wygenerowanie struktury przestrzennej w oparciu o awatar gracza, model 3D otoczenia i zapisany tor ruchu agentów. Dwa ostatnie obrazy ukazują reagowanie tworzonej geometrii 3D zarówno na cyfrowy kontekst przestrzenny, jak i na awatara.

Koncepcyjne symulacje przestrzeni gry

Poprzez symulacje środowiska gry przeprowadzane w różnych kontekstach koncepcyjnych można uzyskać dogłębną wiedzę na temat faktycznego działania idei projektowych. Testowanie różnorodnych wariantów w świecie gry ma kluczowe znaczenie dla określenia dalszych kierunków rozwoju projektu. Symulacje koncepcyjne pozwalają na zrozumienie procesów zachodzących wewnątrz środowiska gry, dzięki czemu w sposób adekwatny usprawnią testowanie założeń projektowych. Każdy etap testów może doprowadzić do rozwinięcia nowych idei dotyczących sposobu funkcjonowania środowiska gry (idee dotyczące doświadczania jej przez człowieka, nowych funkcji interfejsu itp.).

Symulacja przestrzenna środowiska gry została oparta na rozkładzie na jej kluczowe momenty i bazowe elementy. Doprowadziło to do opisu występujących w grze wzorców oraz znalezienia wśród nich pewnych standardów. Na podstawie powstałej systematyki zostały opracowane nowe wzorce ruchowe oraz hipotetyczne rozszerzenia gry

Spatial simulation of the game environment was based on the division of the environment into its key-frames. This led to the description of in-game patterns and observation of standard-like patterns occurring during the game. New movement patterns were described and new peripheral extensions (VR equipment, Robot Arm, etc.), of the system occurred.

To understand key-frames of the game progress initial timeline of the events was created. Time simulation was based on the timeline of in-game events creation. Initially, each stage was described and time values needed to complete each task were assigned. Further analysis of the in-game timeline led to the reformulation of task events and the development of optimized “ideal” timeline without unnecessary key-frames.

Energy simulations of the game environment were conducted to understand correlations between initial game elements. The first stage of the simulation was connected with the creation of the initial force field of the “most influential” elements of the game – background and attraction points (points towards which the generative structure will grow). Different force values of the attraction points were studied. A conceptual model of the energy distribution of in-game elements was created. During the energy values changes of each element, new scenarios appeared. The most interesting game scenario is connected with the lack of virtual background which leads to the appearance of completely new forms.

Info-simulations of the concept nucleus were based on the altering definitions of the in-game elements. Additional substitutions of various elements led to new ideas of further development of the game model. The most interesting is the extension of the human movement through virtual environment again into the material world using the robotic arm and VR equipment. Additional evaluation of the existing model was made.

After conceptual testing, the game scenario has been updated. The improved game sequence is as follows:

1. The player appears in front of the motion sensor (Microsoft Kinect or similar).

2. Selection of spatial game context. Selection options are: pre-defined 3D scans of selected space, simplified planar 3D environment, currently available spatial context (loaded into the game by spatial sensors), empty spatial context.

3. Selection of the attractor points location – location possible anywhere in the avatar.

o nowe urządzenia peryferyjne (sprzęt do VR, ramię robotyczne itp.).

W celu zrozumienia kluczowych zdarzeń zachodzących w trakcie gry opracowano linię czasu etapów jej pierwotnej wersji. Symulacje przepływu czasu oparto na sekwencji kroków wewnątrz gry. Każdy etap opisano poprzez przyporządkowanie wartości czasu potrzebnego do wykonania danego zadania. Dalsza analiza linii czasu gry doprowadziła do przeformułowania sekwencji zadań w grze do postaci zoptymalizowanej, pozbawionej zbędnych fragmentów.

Symulacje energetyczne środowiska gry zostały przeprowadzone w celu zrozumienia zależności między jej początkowymi elementami. Pierwsza faza symulacji była związana ze stworzeniem ideowego „pola sił” najważniejszych elementów gry – kontekstu przestrzennego oraz atraktorów (punktów, w których kierunku „wzrasta” tworzona struktura). Przebadano różne wartości oddziaływania sił dla danych elementów. Został stworzony koncepcyjny model dystrybucji energii elementów w grze. Podczas zmiany wartości energii każdego elementu gry pojawiły się nowe scenariusze. Najciekawszy scenariusz gry jest związany z brakiem kontekstu przestrzennego, kiedy to pojawiają się zupełnie nowe struktury formalne.

Symulacje przepływu informacji koncepcji gry zostały oparte na zmianach definicji kluczowych elementów gry. Zmiany znaczeniowe różnych fragmentów doprowadziły do pojawienia się nowych pomysłów na dalszy rozwój modelu. Najciekawszym z nich jest rozszerzenie ruchu ludzkiego poprzez środowisko wirtualne ponownie do świata materialnego przy zastosowaniu ramienia robotycznego i sprzętu VR.

Po testach koncepcyjnych scenariusz gry został zaktualizowany. Usprawniona sekwencja wygląda następująco:

1. Gracz pojawia się przed czujnikiem ruchu (Microsoft Kinect lub podobne).

2. Wybór kontekstu przestrzennego gry. Możliwe opcje wyboru to: predefiniowany skan 3D pomieszczenia, uproszczony płaszczyznowy model 3D środowiska, aktualnie dostępny kontekst przestrzenny (wczytywany do gry przez sensory przestrzenne), brak środowiska.

3. Wybór lokalizacji atraktorów – umiejscowienie możliwe w dowolnym miejscu awatara.

4. Wybór lokalizacji punktów startowych dla struktury (*seed*) w kontekście przestrzennym gry (lokalizacja losowa lub we wskazanym fragmencie kontekstu gry).

5. Rozpoczęcie interakcji – ruch człowieka w kontekście przestrzennym.

6. Koniec interakcji – zakończenie zapisu ruchu człowieka.

7. Wstępna ewaluacja rezultatu zapisu ruchu – prosta ocena estetyczna powstałej formy przestrzennej przez gracza. Wybór binarny – tak/nie.

8. Możliwość powrotu do kroku 1. Liczba iteracji oparta na decyzji gracza.

9. Końcowa ewaluacja wygenerowanych form przestrzennych – ocena i wybór rezultatu kilku lub kilkunastu iteracji działania aplikacji. Użytkownik wybiera najlepszą jego zdaniem formę przestrzenną do cyfrowej fabrykacji i technikę cyfrowej fabrykacji (druk 3D, frez 3D).

4. Selection of the location for seed points in the spatial context of the game (random location or in the specified place in the game context).

5. Beginning of human interaction with the game – human movement in a spatial context.

6. End of interaction – end of the player movement recording.

7. Preliminary evaluation of the motion result – basic aesthetic evaluation of the resulting spatial forms by the player. Binary selection – yes/no.

8. Possibility to return to step 1. A number of iterations based on the player’s decision.

9. Final evaluation of the generated spatial forms – evaluation and selection of one or several forms. The player selects the preferred 3D model of generated structure for the materialization by the selected digital fabrication technique (3D printing, 3D milling)

SWOT analysis and NUF⁸ tests (New, Useful, Feasible) were basic for the functional prototype evaluation and showed the most interesting aspects of game properties.

Through the game concept tests and simulations, the original scenario has been enhanced with additional elements. New types of 3D backgrounds and possibility to change the force of attractor and spatial environment influence (thereby altering the impact on the generated structure) have been added. Completely new possibilities of expanding the game with new peripherals also appeared which could significantly increase the creative potential of the concept. Due to lack of appropriate equipment at this research stage, the improved version of the game scenario will be implemented at the stage of further research.

Tests and evaluation of the game concept and prototype

The evaluation of the game model and its implications were divided into two phases: assessment of the concept and evaluation of the game prototype. Each stage is divided into basic elements to identify the most important criteria and objectives of the evaluation.

Verification of the game concept

In order to determine the value of the developed game, the created model had to be tested. These tests were divided into two stages. The first stage envisaged examination of the game concept in order to identify the most important evaluation criteria and objectives for the second phase of testing – verification of the game prototype. In the course of the study of the concepts, the following criteria for game concept evaluation were identified and divided into three main categories:

– System efficiency measurements [8] – determining the effectiveness of the system in time to create spatial

⁸ The NUF (New, Useful, Feasible) test is an efficient evaluation of the idea effectiveness by scoring its three key criteria: innovation, usability and feasibility. The NUF test allows to identify the concept weaknesses and its full formulation before the implementation phase.

Przeprowadzona analiza SWOT oraz testy NUF⁸ (*New, Useful, Feasible*) istniejącego prototypu gry stały się podstawą do funkcjonalnej oceny prototypu. Dzięki przeprowadzonym analizom udało się określić najciekawsze aspekty i właściwości gry.

Dzięki symulacjom przestrzeni gry i testom koncepcji pierwotny scenariusz został ulepszony o nowe elementy. Dodane zostały nowe rodzaje tła 3D, wprowadzono również możliwość ingerowania w siłę przyciągania atraktorów i środowiska przestrzennego, zmieniając tym samym ich wpływ na generowaną strukturę. W toku testów koncepcji gry pojawiły się również zupełnie nowe możliwości rozszerzenia gry o nowe urządzenia peryferyjne znacznie zwiększające potencjał kreatywny koncepcji. W związku z brakiem odpowiedniego wyposażenia na obecnym etapie prac ulepszona wersja scenariusza gry dotyczy przyszłości i zostanie rozwinięta w trakcie dalszych badań nad aplikacją.

Testy oraz ocena koncepcji i prototypu gry

Ocena modelu gry została podzielona na dwa etapy: ocenę koncepcji gry i weryfikację powstałego prototypu. Każdy etap został rozgraniczony na podstawowe elementy, aby zidentyfikować najważniejsze kryteria i cele ewaluacji.

Weryfikacja koncepcji gry

Aby zbadać wartość gry, przeprowadzono testy jej modelu. Testy te zostały podzielone na dwa etapy. Pierwszy etap zakładał przebadanie koncepcji gry, by znaleźć najważniejsze kryteria i cele oceny dla drugiego etapu testów – weryfikacji prototypu. Otrzymane kryteria podzielono na trzy najważniejsze kategorie:

- szybkość działania systemu [8] – kategoria opisująca efektywność czasową systemu do tworzenia form przestrzennych o określonych parametrach; pomiar potencjalnej efektywności działania systemu poprzez mierzenie kierunkowości rezultatów symulacji, klasyfikacji dominujących wektorów tworzonych form oraz mierzenia lokalnych przemieszczeń geometrii,
- różnorodność powstałych form [7] – subiektywna ocena estetyki kształtów przestrzennych, ich różnorodność, możliwe klasy, deformacje; opis możliwych do uzyskania przez działanie systemu zmian formalnych poprzez klasyfikację powstałych form i mierzenie różnorodności geometrycznej struktur,
- niezależność – poziom niezależności od gracza opracowanego systemu pod kątem potencjału generowania form przestrzennych poprzez klasyfikację zbioru możliwych do otrzymania form i miarę zmian geometrycznych w czasie.

Powyższe kryteria posłużyły do wypracowania celów oceny koncepcji gry oraz powstałego prototypu, wraz ze

formami z konkretnymi parametrami. Weryfikacja potencjalnej efektywności systemu została przeprowadzona poprzez pomiar kierunkowości wyników symulacji, klasyfikację dominujących wektorów w utworzonych geometriach i pomiar ich lokalnych przemieszczeń.

– The diversity of resulting shapes [7] – a subjective aesthetics assessment of created spatial shapes, their diversity, possible classes, deformations. Description of possible formal changes by classifying the resulting forms and measuring geometrical diversity of the 3D structures.

– Level of independence – the level of independence from the player of the developed system in terms of the ability to generate spatial forms by classifying the sets of possible forms and measurement of geometric changes over time.

Criteria for evaluating the game concept were used to establish the key objectives of the concept and the resulting prototype evaluation, along with methods for their measurement. The objectives of the game concept evaluation are divided into three main categories:

– Influence of spatial context on simulation result – measurement of time and geometric efficiency of the simulation depending on the type of spatial context.

– Interactivity measurement of the system – determining whether the game concept bears the hallmarks of an interactive system. This property was measured by searching for the classification of emerging spatial patterns and descriptions of changes in the states of spatial forms in time.

– The interactivity of the system – to determine the importance of generativity of the system for emerging forms.

The stage of game concept testing was to determine the most important criteria for evaluation of the game prototype. Based on the above criteria, it was found that the most important criteria for prototype evaluation should be its computational speed, the system interactivity and the effectiveness of the prototype in achieving formal variety.

Weryfikacja prototypu gry

The second stage of research project verification was the evaluation of the functional prototype, based on the efficiency (speed, ease of use, intuitiveness) and creativity (diversity of generative forms, attractiveness). Ease of use was measured by speed, intuitiveness of interface, readability of movement and predictable results. Intuitiveness connects directly to the ease of use measurements and was further assessed by an overall understanding of the concept of the game for users. Aesthetics of generated forms was evaluated by subjective assessment of generated shapes.

The main conclusions of the prototype tests are shown in the Table 1. Dark gray rectangles show the unsatisfactory test results and show further improvement directions. Light gray rectangles mark the positive test results.

Further studies of the structure of game prototype were performed. The game prototype was analyzed based on functional performance and possible improvements in various categories:

- optimization – overall performance of the prototype,

⁸ Test NUF polega na szybkiej weryfikacji efektywności pomysłu poprzez ocenę punktową jego trzech kluczowych kryteriów: nowatorstwa, użyteczności i wykonalności. Test NUF umożliwia identyfikację słabych stron pomysłu i jego pełne ukształtowanie przed etapem realizacji.

sposobami ich pomiaru. Cele oceny koncepcji gry zostały podzielone na trzy najważniejsze kategorie:

- wpływ kontekstu przestrzennego na wynik symulacji – pomiar efektywności czasowej i geometrycznej symulacji w zależności od typu kontekstu przestrzennego,
- miara interaktywności systemu – określenie, czy koncepcja gry nosi znamiona systemu interaktywnego; cecha ta była mierzona poprzez poszukiwanie klasyfikacji powstających wzorów przestrzennych oraz opisy zmiany stanów brył przestrzennych w czasie,
- interaktywność systemu – charakterystyka znaczenia *generatywności* systemu dla powstających form.

Pierwszy etap testów koncepcji gry miał na celu wyznaczenie najważniejszych kryteriów oceny testowej prototypu gry. Na podstawie powyższych zidentyfikowanych kryteriów ustalono, że najważniejszymi kryteriami oceny prototypu powinny być szybkość działania prototypu, interaktywność działania i możliwości kreacji formalnej tworzonego prototypu gry.

Weryfikacja prototypu gry

Drugim etapem weryfikacji projektu była ocena prototypu funkcjonalnego gry w oparciu o efektywność działania (szybkość, łatwość obsługi, intuicyjność) i zdolność do kreowania atrakcyjnych i różnorodnych form przestrzennych. Łatwość obsługi była mierzona przez szybkość działania, intuicyjność interfejsu, czytelność ruchów, przewidywalność rezultatów. Intuicyjność łączy się bezpośrednio z łatwością obsługi i była dodatkowo określana za pomocą miary ogólnego zrozumienia koncepcji gry przez użytkowników. Estetyka powstałych form przestrzennych była ewaluowana poprzez subiektywną ocenę wygenerowanych kształtów.

Główne wnioski z testów prototypu gry przedstawiono w tabeli 1. Ciemnoszare prostokąty oznaczają niesatysfakcjonujące wyniki badań i wskazują dalsze możliwe kierunki zmian. Jasnoszare prostokąty oznaczają pozytywne wyniki testów.

Dodatkowo zostały wykonane badania struktury prototypu. Przeprowadzono analizę pod kątem funkcjonalności i możliwych ulepszeń w wybranych kategoriach:

- optymalizacja – szybkość działania prototypu,
- racjonalizacja – racjonalność rozwiązań projektowych, logika wykorzystania zasobów komputera,
- złożoność – określenie, czy sposób działania prototypu nie jest niepotrzebnie skomplikowany,
- czytelność – czytelność i intuicyjność projektowanych interfejsów graficznych,
- interaktywność – wpływ gracza na sposób funkcjonowania prototypu,
- elastyczność – poziom adaptacji projektowanego prototypu do potrzeb użytkownika.

Celem powyższych testów było wytypowanie i usprawnienie wadliwych funkcji prototypu. Usprawnienia wiążą się bezpośrednio z kierunkiem przeprowadzanych testów. Na podstawie powyższych zidentyfikowano następujące możliwe ulepszenia prototypu gry:

- przyspieszenie działania gry podczas generowania struktury przestrzennej i pracy sensora ruchu,

- racjonalizacja – racjonalność rozwiązań, racjonalne wykorzystanie zasobów komputera,
- złożoność – określenie, czy funkcje prototypu nie są niepotrzebnie skomplikowane,
- czytelność – jasność i intuicyjność zaprojektowanych interfejsów graficznych,
- interaktywność – poziom wpływu gracza na działanie prototypu,
- elastyczność – poziom adaptacji prototypu do potrzeb użytkownika.

Celem tej analizy było wytypowanie i usprawnienie wadliwych funkcjonalności prototypu. Te poprawki są bezpośrednio związane z kierunkiem testów. Na podstawie powyższych, następujące poprawki prototypu gry zostały zidentyfikowane:

- przyspieszenie działania podczas generowania struktury przestrzennej i pracy sensora ruchu,
- poprawa interaktywności gry przez rozszerzenie zakresu wyboru kontekstu gry i dodanie możliwości wpływu na parametry generowania struktury,
- poprawa czytelności interfejsu,
- zwiększenie liczby estetycznych wyborów – obecnie tylko jedna biomorficzna estetyka jest dostępna,
- rozszerzenie wyboru technik produkcyjnych przez dodatkowe technologie,
- rozszerzenie wariantów scenariuszy ruchu gracza.

Wybrane poprawki zostaną wprowadzone do kolejnej wersji gry, pokazując cenne kierunki dalszego rozwoju koncepcji i prototypu gry.

Results of the game prototype actions

Ten rozdział przedstawia wyniki pierwszej implementacji prototypu gry, pokazując wizualizację i dokumentację procesu tworzenia 3D struktury opartej na symulacji inteligencji szkodliwej, która wypełniała 3D skan wybranego kontekstu przestrzennego. Przez czas symulacji, każdy agent dynamicznie odpowiada na otoczenie, które jest określone przez materiał i cyfrowe środowisko przestrzenne i dynamicznego gracza.

Dla celów oceny, pierwszą wersją gry została wybrana. Ta wersja gry nie posiada modułu wyboru konfiguracji sprzętu i akcesoriów (VR sprzęt, robotyczny ramię, itp.). Testowy scenariusz gry miał następujące cechy:

1. Zdefiniowany kontekst przestrzenny – gotowy 3D skan wybranego obszaru.
2. Losowa lokalizacja punktów nasienia w kontekście 3D gry.
3. Dwa punkty przyciągające znajdujące się w rękawicy gracza.

Było to pięć rund testowych, które dały różne struktury przestrzenne (Fig. 7). W testach, ta sama postać tańcząca powtarzała powtarzalne, niekondycyjne ruchy intuicyjnej tańca. Ruch postaci był rejestrowany w formie bitmapy i mapy głębi przez sensor Kinecta (Fig. 8), a następnie przetworzony

Tabela 1. Podsumowanie oceny prototypu funkcjonalnego gry (oprac. M. Nisztuk)
Table 1. Evaluation of game prototype conclusions (by M. Nisztuk)

Kryteria projektowe prototypu gry <i>Design criteria of prototype</i>	Kryteria oceny prototypu gry <i>Evaluation criteria of prototype</i>	Wnioski <i>Conclusions</i>
Łatwość użytkowania <i>Ease of use</i>	zbyt skomplikowana kontrola <i>too complicated to control</i>	prototyp jest nieużyteczny z powodu braku optymalizacji <i>prototype is hard to use due to optimized technology</i>
	zbyt przypadkowy ruch <i>too random movement</i>	przypadkowość i czułość powinny zostać zmienione <i>randomness and sensitivity should be changed</i>
	zbyt duża czułość <i>too sensitive</i>	wyбір punktów startowych i atraktorów jest odpowiedni <i>control points and seed points have sufficient selection options</i>
	intuicyjny sposób wyboru punktów bazowych <i>intuitive seed point choice</i>	–
	nieprzewidywalne rezultaty <i>unpredictable results</i>	–
Intuicyjność <i>Intuitiveness</i>	intuicyjność ruchu <i>intuitive movement</i>	ruch jest intuicyjny <i>movement is natural</i>
	nieczytelna koncepcja gry <i>game concept is not clear</i>	koncepcja powinna zostać zaprezentowana na początku działania gry, w postaci jasnego komunikatu <i>the concept should be presented at the beginning of the game, in the form of a clear message</i>
	brak zdigitalizowanych rzeczywistych kontekstów przestrzennych <i>lack of digitized real spatial contexts</i>	skany przestrzenne kontekstów przestrzennych powinny być zaimplementowane w aplikację <i>3D scan data should be preloaded</i>
Atrakcyjność formalna <i>Formal attractiveness</i>	tylko podstawowe typy geometrii <i>only base geometry</i>	szersze możliwości wyboru dla typów geometrii <i>wider choices of geometrical choices</i>
	tworzenie geometrii na podstawie tylko jednego wzorca postępowania <i>resulting forms based only on one scheme of designer choice</i>	wyбір wzorców postępowania powinien być szerszy <i>selection of possible choices should be wider</i>
	brak wsparcia druku 3D <i>lack of 3D printing option</i>	implementacja modułu druku 3D <i>3D print implementation</i>
	chaotyczność formy <i>chaotic forms</i>	porządek formy <i>order of form</i>

– zwiększenie interaktywności gry poprzez poszerzenie spektrum wyboru kontekstów gry i możliwości wpływania na parametry generowania struktury przestrzennej,

- poprawa czytelności interfejsu gry,
- podwyższenie liczby typów estetycznych wyborów geometrii – obecnie prototyp umożliwia działanie tylko w geometrii o estetyce biomorficznej,
- rozszerzenie możliwości wyboru technik fabrykacji o dodatkowe technologie (np. frezowanie przestrzenne),
- poszerzenie różnorodności scenariuszy ruchowych.

Wytypowane usprawnienia, stanowiąc cenne kierunki rozwoju aplikacji gry, będą wprowadzane w jej kolejnych wersjach.

Wyniki działania prototypu

Ta sekcja artykułu prezentuje wyniki działania pierwszego prototypu gry, dokumentując proces tworzenia struktury 3D opartej na cyfrowej symulacji inteligencji roju w wybranym kontekście przestrzennym. W trakcie trwania symulacji każdy agent dynamicznie reaguje na

to a simplified skeletal avatar – player telepresence in the game context, interacting with the swarm agents. The structure modelling process was divided into three main stages:

1. 3D scanning of the spatial context (Fig. 4).
2. Simulation process during which the skeletal shape of the structure is established via dynamic interaction between agents, digital environment and player avatar (Fig. 3).
3. Translation of the agent's movement lines to 3D mesh geometry (Fig. 7).

As a result of the experiments, spatial models were generated (Fig. 7) being the recorded impact of the dancer's movement on the simulated points.

Future works

Final tests of the initial concept nucleus and its first functional prototype showed that the idea needs further refinement and development. Various elements of the game do not work correctly or do not work at all. Various simulations of the game concept nucleus show additional



Il. 7. Wynik działania obecnej wersji prototypu gry. Rezultatem gry jest zapis interakcji ruchu gracza i symulacji inteligencji roju w przestrzeni w postaci siatkowych modeli 3D (oprac. M. Nisztuk)

Fig. 7. The result of the current game prototype version. The result of the game is the record of player movement interaction with the swarm intelligence simulation in the game world depicted in the form of 3D mesh geometries (by M. Nisztuk)

otaczający go kontekst przestrzenny, determinowany przez cyfrowe środowisko przestrzenne oraz awatara gracza.

Do celów oceny został wybrany pierwszy prototyp aplikacji. Ta wersja nie ma modułu wyboru formy przeznaczonej do fabrykacji, a także dodatkowych modułów i akcesoriów peryferyjnych (sprzęt VR, ramię robotyczne itp.). Testowy scenariusz gry miał następujące właściwości:

1. Predefiniowany kontekst przestrzenny – przygotowany skan 3D wybranej przestrzeni.
2. Przypadkowa lokalizacja punktów bazowych struktury (*seed*) na geometrii kontekstu 3D gry.
3. Dwa atraktory zlokalizowane w nadgarstkach awatara gracza.

Odbyło się pięć rund testów, w wyniku których powstały zróżnicowane struktury przestrzenne (il. 7). W testach uczestniczyła tancerka, wykonując powtarzalne, nieartykułowane ruchy tańca intuicyjnego. Jej ruch był zapisywany w czasie rzeczywistym w postaci bitmapy oraz mapy głębokości przez sensor ruchu Kinect (il. 8) i tłumaczony na uproszczony model szkieletowy człowieka, stanowiący awatar gracza w przestrzeni gry wchodzący w interakcje z agentami. Proces modelowania geometrii wynikowej dzielił się na trzy główne etapy:

1. Skanowanie 3D kontekstu przestrzennego (il. 4).
2. Proces symulacji, w trakcie którego kształt układu jest ustalany przez dynamiczne oddziaływanie między agentami, środowiskiem cyfrowym i awatarem gracza (il. 3).
3. Tłumaczenie linii ruchu agenta do postaci geometrii siatki 3D (il. 7).

W wyniku przeprowadzonych prób powstały modele przestrzenne (il. 7) będące zapisem oddziaływania ruchu tancerki na symulowane punkty.

Przyszłe prace

Końcowe testy założeń gry i jej pierwszego prototypu funkcjonalnego pokazały, że idea wymaga dopracowania i dalszego rozwoju. Wiele elementów aplikacji nie działa poprawnie lub nie działa w ogóle. Symulacje konceptualne

possibilities which can be implemented in the next versions of the game. Further development of the application will be based on the model tests and analysis conducted during the course of initial stage of research project.

Possible future enhancements include the addition of peripheral equipment (VR goggles with additional motion sensors) and synchronization of the player movement with robotic arm which could perform the same movements as the player back into the material reality.

Next iterations of the application will include improved speed and motion capture sensitivity, improved in-game controls, simplified action scenarios, digital fabrication module, form selection module, VR equipment compatibility, robot arm extension compatibility and wider choice of the movement representation.

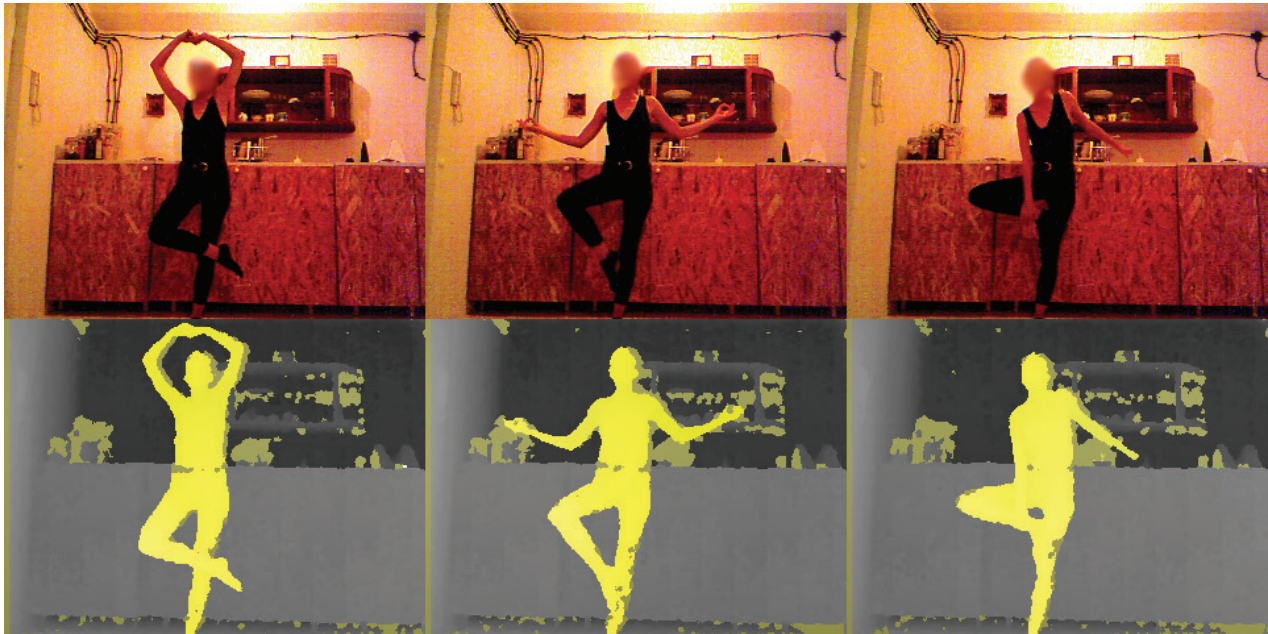
Further development of the game system can lead to its transformation onto an interior design tool, which could be based on the real-time representation of the material context. Various tools could be used to sketch furniture in the real context. This furniture and objects could be then fabricated using digital fabrication or direct connection with the robotic arms.

The current prototype leaves full freedom in the player's movements without specifying their purpose. An interesting direction for future research may be to give a meaning to the player's movements by creating specific scenarios of behaviour or actions within the game.

Conclusion

Current studies resulted in better understanding of spatial relations between the human body and spatial context. In addition, exploration of new possibilities of interaction between generative environment and real context have been recorded.

During the course of the current, preliminary stage of the research project, the potential of new technologies in the digital 3D forms creation is investigated. The presented studies show interesting biomorphic spatial structures.



Il. 8. Zapis ruchu tancerki w postaci bitmapy oraz mapy głębokości rejestrowanego obrazu
(oprac. M. Nisztuk)

Fig. 8. Record of the dancer's motion in the form of a bitmap and depth map images
(by M. Nisztuk)

modelu gry pokazują dodatkowe funkcjonalności, które mogą zostać wdrożone w kolejnych wersjach. Przyszły rozwój aplikacji będzie oparty na analizach i testach modelu gry przeprowadzonych w trakcie obecnej fazy projektu badawczego.

Możliwe przyszłe ulepszenia to przede wszystkim włączenie do gry dodatkowych sprzętów peryferyjnych (gogli VR wraz z dodatkowymi sensorami ruchu) oraz zsynchronizowanie ruchów gracza z ramieniem robotycznym, które mogłoby wykonywać te same ruchy co gracz, przenosząc je ponownie w materialną rzeczywistość.

Następne iteracje gry będą mieć usprawnioną szybkość i czułość modułu wykrywającego ruch. Zostanie poprawiona kontrola gracza nad środowiskiem gry. Dodatkowo zostanie uproszczony scenariusz, pojawią się nowe moduły (moduł cyfrowej fabrykacji powstałych form, moduł wyboru formy, kompatybilność sprzętu VR) i szersze możliwości przedstawienia ruchu ludzkiego ciała w przestrzeni wirtualnej.

Przyszły rozwój systemu gry może doprowadzić do jego przemiany na narzędzia do projektowania wnętrz, bazującego na przedstawieniu realnego kontekstu przestrzennego w czasie rzeczywistym. Różne narzędzia mogłyby być stosowane do tworzenia szkiców obiektów w prawdziwym kontekście. Obiekty te mogłyby być następnie wykonane przy użyciu cyfrowej fabrykacji lub bezpośrednio w trakcie szkicowania przez ramię robotyczne.

Obecny prototyp gry pozostawia pełną dowolność w zakresie wykonywanych ruchów gracza, nie określając żadnego ich celu. Ciekawym kierunkiem przyszłych badań może być również nadanie określonego znaczenia ruchom gracza poprzez stworzenie wewnątrz gry konkretnych scenariuszy zachowań lub czynności.

Further work is needed to fully explore the set of possible solutions. The current initial phase of the project is a valuable starting point for further research. The game model and its testing simulations stage proved its creative potential and a suitable tool for the exploration of the generative systems formulation capabilities.

*Translated by
Maciej Nisztuk*

Wnioski

Przeprowadzone badania oraz analiza rezultatów doprowadziła do lepszego zrozumienia relacji przestrzennych między ludzkim ciałem a kontekstem przestrzennym w rzeczywistości wirtualnej i odnalezienia nowych możliwości interakcji między środowiskiem generatywnym a kontekstem fizycznym.

W trakcie obecnej, wstępnej fazy projektu badawczego został przestudiowany potencjał nowych technologii

w tworzeniu form przestrzennych. Prezentowana koncepcja gry ukazuje ciekawe biomorficzne struktury przestrzenne. Konieczne są dalsze prace, aby w pełni poznać zbiór możliwych rozwiązań opracowywanej aplikacji. Omówiona faza projektu stanowi cenny punkt wyjścia dalszych badań. Sporządzony wstępny model gry i etapy jego testowania za pomocą symulacji konceptualnych pokazały ich twórczy potencjał i okazały się odpowiednim narzędziem do poszukiwania możliwości kreacji formy przez systemy generatywne.

Bibliografia/References

- [1] Cheng G., Wan Y., Saudagar A.N., Namuduri K., Buckles B.P., *Advances in Human Action Recognition: A Survey*, arXiv:1501.05964, 2015.
- [2] Kinerd N., *Motion Capture Study of Human Movement Recognition*, All Theses, 2012, Paper 1512.
- [3] Weinland D., Ronfard R., Boyer E., *A survey of vision-based methods for action representation, segmentation and recognition*, „Computer Vision and Image Understanding” 2011, Vol. 115, Iss. 2, 224–241.
- [4] Johansson G., *Visual motion perception*, „Scientific American” 1975, Vol. 232, No. 6, 76–88.
- [5] Jinil Park, *Drawings*, 2013, <http://www.jinilpark.com/work/> [accessed: 20.02.2016].
- [6] Front, *Sketch furniture*, 2004, <http://www.friedmanbenda.com/artists/front-design> [accessed: 20.02.2016].
- [7] Mhox, Edgelab S., *Collagen*, 2013, <http://mhoxdesign.com/collagene-en.html> [accessed: 20.02.2016].
- [8] VRClay, *Sculpting with Oculius*, 2015, <http://vrclay.com/> [accessed: 20.02.2016].
- [9] Takeuchi M., Phillips F., *Asphyxia*, 2015, <http://www.thisiscosossal.com/2015/03/asphyxia-a-striking-fusion-of-dance-and-motion-capture-technology/> [accessed: 20.02.2016].
- [10] Franke D., Kiefer C., *Unnamed Soundsculpture*, 2012, <http://wearechopchop.com/%E2%80%9Cunnamed-soundsculpture%E2%80%9D/> [accessed: 20.02.2016].
- [11] Rasmusen E., *Games and Information: An Introduction to Game Theory*, 4th ed., Wiley-Blackwell, Malden–Oxford–Victoria 2006.

Streszczenie

Niniejszy artykuł przedstawia zasady i cele projektu *Kinetyczna morfogeneza* starającego się opisać ruch człowieka poprzez interaktywny system przechwytywania ruchu i tworzonej generatywnie geometrii na podstawie rzeczywistego kontekstu przestrzennego. Artykuł opisuje proces opracowania wytycznych dotyczących aplikacji, prezentuje efekty działania pierwszego prototypu, a także wskazuje kierunki dalszych prac badawczych. Celem opracowania jest odnalezienie i opisanie piękna form biologicznych powstających w oparciu o ruch człowieka. Najważniejszym aspektem badań jest czysta eksploracja formy oraz zacierającej się granicy między realnym, materialnym światem a przestrzenią wirtualną. Głównym zakładanym rezultatem projektu jest znalezienie różnorodnych możliwości generatywnej wizualizacji procesów w czasie rzeczywistym poprzez narzędzia interaktywne. Przeprowadzone badania oraz analiza rezultatów doprowadziła do lepszego zrozumienia relacji przestrzennych między ludzkim ciałem a rzeczywistym/wirtualnym kontekstem przestrzennym i odnalezienia nowych możliwości interakcji między środowiskiem generatywnym (proces cyfrowy, w którym obiekt generatywny ma szansę zaistnieć; stanowi zbiór zasad, skryptów, algorytmów określonych przez projektanta; zawiera w sobie również moduł ewaluacji, pozwalający oceniać wartość estetyczną danego obiektu generatywnego przez projektanta) a kontekstem fizycznym.

Słowa kluczowe: przechwytywanie ruchu, projektowanie generatywne, interaktywność, rozwój strukturalny

Abstract

The article outlines the principles and goals of the research project *Kinetic morphogenesis* trying to describe human movement through interactive motion capture and generative geometry based on real spatial context. In addition, the article describes the process of design guidelines development, demonstrates the effects of the first prototype, and outlines the direction of further research related to the project. The aim is to find the beauty in biological forms which arise based on human movement. The research here is about pure form finding and blurring the boundary between real, material world and virtual space. The main assumed outcome is the exploration of various possibilities of generative process visualization in real time through an interactive tool. Additional findings resulted in better understanding of spatial relations between the human body and real (or virtual) spatial context. In addition, exploration of new possibilities of interaction between generative environment (a digital process in which the generative object has a chance to occur; is a set of rules, scripts or algorithms specified by the designer. It also has a module of evaluation which allows assessing the aesthetic value of the generative object) and real context.

Key words: motion capture, generative design, interactivity, structural expansion