



Politechnika Łódzka

Instytut Informatyki

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Badanie zdolności nawigacyjnych człowieka przy użyciu systemu rzeczywistości wirtualnej

Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej

Promotor: dr inż. Przemysław Nowak

Dyplomant: Michał Ladra

Nr albumu: 221617

Kierunek: Informatyka

Specjalność: Systemy Inteligentne i Inżynieria Oprogramowania

Łódź 26.02.2020r.



Instytut Informatyki

90-924 Łódź, ul. Wólczańska 215, **budynek B9**
tel. 042 631 27 97, 042 632 97 57, fax 042 630 34 14 email: office@ics.p.lodz.pl

Streszczenie

Nawigacja jest bardzo ważnym procesem, z którego ludzie korzystają każdego dnia, ponieważ umożliwia on im dotarcie do wybranego celu, na przykład sklepu, znajomych czy pracy. Pomimo, że jej mechanizmami posługujemy się w sposób intuicyjny, do dziś wciąż nie wiadomo, w jaki sposób tak naprawdę one działają.

Badania nad mechanizmami leżącymi u podłoża nawigacji mają swoją długą tradycję. Przez wiele lat ich trwania przeprowadzono liczne eksperymenty, których wyniki stanowiły podstawę powstania różnych teorii mających wyjaśnić działanie tych mechanizmów. Niestety, eksperymenty prowadzone na ludziach często wymagały poruszania się po znacznym terenie, zajmując przez to dużo czasu, a do tego nie wszystkie czynniki w ich trakcie pozostawały pod kontrolą. Część z tych problemów można obecnie wyeliminować dzięki zastosowaniu wirtualnej rzeczywistości, która w ostatnich latach była już z powodzeniem wielokrotnie używana w tego rodzaju badaniach.

Celem niniejszej pracy było stworzenie systemu umożliwiającego prowadzenie badań nad mechanizmami leżącymi u podłoża zdolności nawigacyjnych u ludzi, który byłby oparty o rzeczywistość wirtualną. Istotnym założeniem tego systemu było to, by był on łatwy w konfiguracji oraz pozwalał na zautomatyzowanie procesu zbierania danych.

System został stworzony przy użyciu silnika *Unity*, obecnie bardzo popularnego narzędzia, pozwalającego w prosty i szybki sposób tworzyć pożądane scenerie. System umożliwia łatwe definiowanie eksperymentów za pomocą plików konfiguracyjnych, które służą do określania trybu eksperymentu, przebiegu trasy czy nawet wyglądu samej mapy. Ponadto podczas trwania eksperymentu automatycznie zapisuje on szereg danych, takich jak pozycja uczestnika na mapie, podjęte decyzje na skrzyżowaniach, liczba popełnionych błędów, czas trwania próby i inne.

Aby zweryfikować działanie systemu, przeprowadzono przy jego użyciu badania,

które miały dwojaki charakter. Po pierwsze, zreplikowano jeden z eksperymentów opisanych w literaturze, w którym uczestnicy najpierw uczyli się określonej trasy poprzez wielokrotne jej pokonywanie, a następnie znajomość tej trasy była u nich sprawdzana na podstawie rysowanych przez nich map szkicowych. Po drugie, w celu oceny przydatności systemu do nowych badań, przeprowadzono dodatkowe doświadczenie o charakterze pilotażowym, gdzie uczestnicy mieli za zadanie pokonać różne skrzyżowania leżące na innej, wyuczonej trasie, w sytuacji, gdy dojazd do tych skrzyżowań odbywał się z innego niż normalnie kierunku, a ponadto niektóre punkty charakterystyczne wokół tych skrzyżowań zostały podmienione. Dodatkowo, uczestnicy zostali poproszeni o wypełnienie kwestionariuszy, które między innymi miały na celu uzyskanie informacji zwrotnej dotyczącej korzystania ze stworzonego systemu.

Weryfikacja działania systemu przebiegła pomyślnie: w eksperymencie podlegającym replikacji uzyskano podobne do oryginalnych wyniki, natomiast drugie badanie pozwoliło stwierdzić, że ludzie mogą wykorzystywać różne rodzaje mechanizmów nawigacji w zależności od długości przebywanej trasy. Dodatkowo, konstrukcja systemu sprawdziła się w praktyce: poszczególne doświadczenia okazały się łatwe w konfiguracji, a automatyczne rejestrowanie danych i ich zapis do opracowanego formatu umożliwiły efektywną analizę wyników. Odpowiedzi udzielone przez uczestników za pomocą kwestionariuszy okazały się również pomocne, wskazały bowiem te aspekty systemu, które potencjalnie można by było udoskonalić w przyszłości.

Słowa kluczowe: nawigacja, rzeczywistość wirtualna, uczenie się tras, *Unity*, mapy szkicowe.

Abstract

Navigation is a very important process, which people utilize on everyday basis as it allows them to reach their destinations, such as a store, their friends' place or their work. Although we use it intuitively, the underlying mechanisms are still not clear.

Studies devoted to unravel these mechanisms have a long history. Over the years, numerous experiments have been conducted and their results have formed the basis for various theories proposing how these mechanisms might work. Unfortunately, experiments involving human subjects often required the participants to move over large areas, thus being very time-consuming, and, moreover, not all the factors during such experiments could be controlled. Some of those problems can now be eliminated owing to virtual reality, which has been successfully exploited in this field of research in recent years.

The goal of this thesis was to develop a virtual reality system that would support investigation of the mechanisms underlying human navigation skills. An important requirement for the system was that it could be easily configurable for various tasks and that it would allow automated data collection.

The system has been implemented using the *Unity* engine, currently a very popular tool that makes it possible to create virtual worlds quickly and easily. The system allows one to easily define experimental scenarios by means of configuration files, which specify the mode of the experiment, the route to be travelled, or even some details of the map. Moreover, during the experiment, it automatically collects and stores various data, such as the participant's position on the map over time, decisions that were made at intersections, the number of errors, the duration of the trial etc.

To validate the system, it was employed in a study that comprised two stages. The first stage aimed to reproduce an experiment already described in the literature, in which participants first learned a route by traversing it multiple times, and then

their knowledge of the route was evaluated based on the sketch maps that they were asked to draw. The second stage, on the other hand, aimed to assess usability of the system in novel studies, and to this end an additional pilot experiment was carried out, in which participants, after learning a different route, were supposed to make their way through several intersections on that route, but during these tests they approached those intersections from a different direction than when learning and also several landmarks around the intersections might have been replaced. Moreover, participants were asked to complete a few questionnaires in order to provide their feedback regarding the system.

The validation of the system turned out to be successful. The reproduced experiment yielded similar results to the original one, whereas the results obtained from the novel experiment suggested that people may employ different navigation mechanisms depending on the length of the route they are learning. Moreover, the design of the system has proved practical: both experiments were easy to configure, whereas automated data collection and storage using a custom-designed format facilitated subsequent data analysis. Finally, answers obtained from the participants through questionnaires were also found helpful, as they offered suggestions as to which aspects of the system could potentially be improved in the future.

Keywords: navigation, virtual reality, route learning, *Unity*, sketch maps.

Spis treści

1	Wstęp	8
1.1	Wprowadzenie	8
1.2	Cel i zakres pracy	11
2	Zdolności nawigacyjne człowieka	13
2.1	Definicja nawigacji	13
2.2	Koncepcja mapy poznawczej	15
2.3	Klasyczne ujęcia procesów nawigacyjnych	18
2.4	Zastrzeżenia względem ujęć klasycznych	21
2.5	Nawigacja w nieustrukturyzowanym środowisku	24
2.6	Reprezentacja mapy poznawczej	27
3	Systemy rzeczywistości wirtualnej w badaniach zdolności nawigacyjnych człowieka	33
4	System do badania zdolności nawigacyjnych człowieka oparty na platformie <i>Unity</i>	36
4.1	Ogólna charakterystyka	36
4.2	Przeznaczenie systemu	37
4.3	Opis systemu dla użytkownika	38
4.3.1	Plik konfiguracyjny	39
4.3.2	Uruchomienie systemu	42
4.3.3	Sterowanie	42
4.3.4	Menu główne	43
4.3.5	Przebieg eksperymentu	44

4.3.6	Dane podlegające rejestracji	46
4.4	Opis systemu dla programisty	50
4.4.1	<i>MainMenu</i>	51
4.4.2	<i>ExperimentEnvironment</i>	51
5	Materiały i metody	67
6	Wyniki	74
7	Dyskusja	78
8	Wnioski	82
	Bibliografia	83
	Spis rysunków	85
	Spis listingów	87
	Załączniki	89

Rozdział 1

Wstęp

1.1 Wprowadzenie

Nawigacja jest potrzebna w codziennym życiu zarówno zwierzętom jak i ludziom, ponieważ umożliwia im ona dotarcie do określonych miejsc. W przypadku zwierząt może to być wodopój, źródło pożywienia, ulubiona polana czy legowisko stada. Ludzie wykorzystują ją w ramach wielu codziennych czynności — podczas podróży do pracy, szkoły, domu czy ulubionego sklepu. Dzięki mechanizmom nawigacyjnym możemy bez problemu przemieszczać się po znanych nam terenach oraz szybko odnaleźć się w nowo poznawanych lokalizacjach. Pomimo tego, że korzystamy z nich na co dzień, nadal ich natura oraz zasady działania nie są dla nas do końca zrozumiałe.

Badania dotyczące mechanizmów nawigacyjnych mają dość długą historię. Początkowo prowadzone były na zwierzętach takich jak szczury. Istotnym punktem zwrotnym był rok 1948, kiedy to Edward C. Tolman zaprzeczył powszechnej wówczas teorii behawioralnej, która wyjaśniała sposób nawigowania przez szczury w przestrzeni na zasadzie skojarzeń typu bodziec-reakcja. Tolman zaproponował inną tezę, na poparcie której przytoczył wyniki różnych badań, a mianowicie, że w pamięci szczurów tworzona jest pewnego rodzaju mapa poznawanego środowiska.

W latach 60-tych XX wieku zaczęto prowadzić badania na temat procesów zachodzących w mózgu człowieka związanych z poznawaniem nowych miejsc. Wtedy to Kevin Lynch podjął próbę zdefiniowania podprocesów składających się na proces nawigacji. Od tego czasu przeprowadzano wiele kolejnych badań w celu weryfikacji

zaproponowanych przez niego teorii i stworzenia nowych.

Poznanie i zapamiętywanie tras w środowisku okazuje się wieloetapowym procesem, który opiera się o działanie szeregu podprocesów. Tak duża złożoność uniemożliwia obecnie określenie algorytmu pozwalającego na jego odwzorowanie. Choć w literaturze zostało opisanych wiele różnych teorii na temat tego, w jaki sposób działa ludzki mechanizm nawigacji, do tej pory nie udało się stworzyć pełnego modelu wszystkich faz składających się na proces nawigowania w przestrzeni.

Badanie zdolności nawigacyjnych w naturalnych warunkach stanowi dość duże wyzwanie. W prawdziwym świecie jest zbyt wiele zmiennych, które mają wpływ na przebieg badań, pozostają poza kontrolą eksperymentatora, a przez to mogą potencjalnie zaburzać ich wyniki. Przykład stanowią pewne szczegóły otoczenia, jak pęknięta płyta chodnikowa czy przechylony znak drogowy, lub przypadkowe zjawiska, jak obecność osób postronnych uczestniczących w ruchu na drodze. Przechylony znak drogowy może bowiem stać się w sposób niezamierzony pewną cechą charakterystyczną danego miejsca, umożliwiając łatwiejsze jego zapamiętanie i skojarzenie z wykonywaną tam akcją — badana osoba mogłaby na przykład zapamiętać, że za tym pochyłonym znakiem należy skręcić. Z kolei w jakimś innym miejscu, gdzie widziała ona człowieka w czerwonej kurtce, mogłaby powiązać widok tej osoby z faktem, że powinna dalej iść prosto, co w przyszłości mogłoby z kolei utrudnić jej wybór kierunku, jeśli ponownie zjawi się w tym samym punkcie, a człowieka w czerwonej kurtce tam nie będzie. Jako że tego rodzaju zmienne uniemożliwiają w pełni kontrolowanie środowiska badawczego, wyciągnięte na podstawie takich badań wnioski mogą okazać się błędne.

Inną kwestią utrudniającą badania jest zorganizowanie odpowiedniej przestrzeni do przeprowadzenia eksperymentu. Skala tej przestrzeni może być różna: może to być budynek, park, czy nawet całe miasto. Nie wiadomo jednak, czy te same mechanizmy nawigacyjne uaktywnią się zarówno w przypadku przestrzeni o mniejszej, jak i o większej skali. Kolejny związany z tym problem dotyczy czasu trwania eksperymentu: jeżeli badanie obejmowałoby obszar całego miasta, po którym uczestnicy mieliby poruszać się pieszo, czas pojedynczej próby mógłby trwać nawet kilka godzin — mogłoby się wówczas okazać, że niewiele osób jest chętnych poświęcić tyle swojego czasu na uczestnictwo w takim badaniu.

Z pomocą przyjść mogą nowe technologie. Jedną z nich jest rzeczywistość wirtualna. Przy jej użyciu możliwa jest całkowita kontrola nad każdym aspektem środowiska eksperymentalnego. Pozwala to na wyeliminowanie przypadkowych szczegółów, jak na przykład wspomnianego przechylenia znaku drogowego. Chcąc zbadać określony proces czy mechanizm, można tak zmodyfikować świat, aby żadne inne czynniki nie wypaczyły wyników eksperymentu. W wirtualnym świecie możliwe jest także tworzenie środowisk różnej skali — zarówno budynków, parków, jak i całego miasta, ale ilość czasu potrzebna do przeprowadzenia eksperymentu w takim świecie zależy nie tylko od jego skali, lecz także od prędkości, z jaką porusza się uczestnik: w razie potrzeby prędkość tę można tak dostosować, by czas eksperymentu ograniczyć do kilku lub kilkunastu minut.

Rzeczywistość wirtualna była już z powodzeniem stosowana w badaniach nad mechanizmem ludzkiej nawigacji. Początkowo używano systemów rzeczywistości wirtualnej w postaci prostych symulatorów, w których przy pomocy klawiatury i myszy uczestnik poruszał się po stworzonym świecie, później wykorzystano również zintegrowaną kierownicę, aby badany odczuwał, że przemierza teren jako kierowca samochodu. Następnie, w celu wzbogacenia doznań, zaczęto stosować jeszcze bardziej zaawansowany sprzęt, jak na przykład odpowiednio skonstruowany rower, który zapewniał dodatkowe bodźce proprioceptywne, co — jak się okazało — miało wpływ na wyniki eksperymentów. W ostatnich latach zaczęto także wykorzystywać technologię rzeczywistości wirtualnej opartą o pełne zanurzenie, gdzie uczestnik porusza się fizycznie po oznaczonym obszarze, używając jednocześnie okularów wirtualnej rzeczywistości. Systemy rzeczywistości wirtualnej, które znalazły zastosowanie w badaniach, można zatem podzielić na dwa rodzaje:

- systemy typu *desktop*, gdzie rzeczywistość wirtualna ma postać aplikacji wyświetlanej na ekranie monitora (lub przy pomocy rzutnika), nie zapewnia więc żadnych dodatkowych bodźców poza wzrokowymi i słuchowymi;
- systemy zapewniające *pełne zanurzenie*, gdzie uczestnik zostaje „przeniesiony” do stworzonego świata, zachowując przy tym możliwość fizycznego poruszania się oraz odbioru dodatkowych bodźców proprioceptywnych czy pochodzących ze zmysłu równowagi.

Każdy rodzaj posiada swoje zalety oraz wady. Ze względu jednak na fakt, iż sprzęt

wymagany do uzyskania pełnego zanurzenia jest droższy oraz wymaga zapewnienia dodatkowych warunków, częściej wykorzystywane są systemy typu *desktop*.

Systemy rzeczywistości wirtualnej użyte w opisanych w literaturze badaniach miały jednak pewne mankamenty. Przede wszystkim nie są one ogólnodostępne, a zatem grupy badawcze z innych ośrodków nie mogą z nich skorzystać. Po drugie, nad przebiegiem eksperymentów nierzadko musiało czuwać grono osób, aby zapisywać odpowiednie dane, reakcje uczestników czy reagować na nieprzewidziane zdarzenia w systemie. Po trzecie, każdy z wykorzystanych systemów był inny, miał swoją niepowtarzalną specyfikę, a do tego różne doświadczenia wymagały często odmiennego środowiska czy zbierania innego rodzaju danych.

System, który byłby w znacznym stopniu uniwersalny, pozwalał na proste konfigurowanie różnorodnych eksperymentów, umożliwiał łatwą rozszerzalność, zapewniał zautomatyzowane zbieranie różnego rodzaju danych eksperymentalnych, a do tego byłby oparty o powszechnie dostępny silnik, mógłby pomóc w przyszłych badaniach nad mechanizmem ludzkiej nawigacji. Jego wszechstronność i możliwość adaptacji pozwalałaby bowiem na stosowanie go w rozmaitych badaniach, a łatwość konfiguracji i zautomatyzowane zbieranie danych umożliwiłoby efektywne ich przeprowadzanie.

1.2 Cel i zakres pracy

Głównym celem niniejszej pracy było stworzenie systemu umożliwiającego przeprowadzanie badań nad mechanizmami leżącymi u podłoża zdolności nawigacyjnych człowieka z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej, który byłby łatwy w konfiguracji oraz pozwalał na zautomatyzowane gromadzenie danych podczas eksperymentów, a także przeprowadzenie walidacji tego systemu na grupie ochotników poprzez zreplicowanie badań znanych z literatury, jak i zweryfikowanie jego możliwości w nowych badaniach.

Aby zrealizować powyższy cel, należało osiągnąć następujące cele szczegółowe:

- opracować szczegółową charakterystykę eksperymentów, do których system ma mieć zastosowanie;
- stworzyć system w technologii *Unity 3D* i przeprowadzić jego wstępne testy;

- opracować szczegółowe protokoły eksperymentów pilotażowych;
- przeprowadzić eksperymenty pilotażowe na grupie ochotników;
- przeanalizować i udokumentować uzyskane wyniki.

Przed rozpoczęciem implementacji systemu należało przeprowadzić dogłębną analizę literatury oraz przemyśleć rodzaje potencjalnych badań, do jakich system miałby zastosowanie. Dzięki temu możliwe było precyzyjne określenie charakterystyki eksperymentów, w których system mógłby być używany, a w efekcie — odpowiednie dostosowanie do nich cech systemu. Następnie należało odpowiednio zaprojektować cały system wraz z mechanizmem konfigurowania eksperymentów i automatycznego gromadzenia danych eksperymentalnych oraz zaimplementować go w technologii *Unity 3D*. Po stworzeniu systemu należało zaprojektować eksperymenty pozwalające zweryfikować jego działanie, opracowując odpowiedni protokół eksperymentów badawczych, a następnie przeprowadzić te eksperymenty na grupie ochotników. Na koniec należało przeanalizować i udokumentować uzyskane wyniki, wyciągając jednocześnie wnioski odnośnie poprawności działania systemu.

Dalsza część pracy przedstawia się następująco. W rozdziale 2 omówione zostały zdolności nawigacyjne człowieka na podstawie badań opisanych w literaturze. Rozdział 3 przedstawia wykorzystanie technologii rzeczywistości wirtualnej w doświadczeniach nad mechanizmami ludzkiej nawigacji. Opis stworzonego systemu rzeczywistości wirtualnej znajduje się w rozdziale 4. Rozdział 5 zawiera charakterystykę wykorzystanych materiałów i metod badawczych podczas eksperymentów pilotażowych. Wyniki tych eksperymentów przedstawione są w rozdziale 6, z kolei rozdział 7 zawiera ich analizę. Wnioski z niniejszej pracy znalazły się natomiast w rozdziale 8.

Rozdział 2

Zdolności nawigacyjne człowieka

2.1 Definicja nawigacji

Aby móc dyskutować na temat mechanizmów leżących u podłoża ludzkiej nawigacji, najpierw należałoby przybliżyć jej definicję oraz podać przykłady sytuacji, kiedy mechanizmy te są stosowane. W literaturze istnieje kilka takich definicji, nieco różniących się od siebie. Obszerne omówienia procesu nawigacji wraz z odpowiednimi definicjami można znaleźć między innymi w pracach: Trulliera i in. [18], Franza i Mallota [4], Gallistel [5] czy Levitta i Lawtona [9].

Gallistel definiuje proces nawigacji następująco [5]:

„Nawigacja to proces wyznaczania i utrzymywania kursu lub trajektorii z jednego miejsca do innego. Procesy oszacowywania własnej pozycji w odniesieniu do znanego świata mają tu fundamentalne znaczenie. Znany świat składa się z powierzchni, których wzajemne lokalizacje są reprezentowane na mapie.”

Definicja ta opiera się o dwie kluczowe hipotezy: pierwsza to założenie, że środowisko znane przez człowieka ma swoją reprezentację w pamięci, a druga — że reprezentacja ta może zostać określona mianem mapy.

Z kolei Levitt i Lawton definiują nawigację jako proces odpowiadający na trzy pytania [9]:

1. „Gdzie jestem?”

2. „Gdzie są inne miejsca w odniesieniu do mojej obecnej lokalizacji?”

3. „W jaki sposób mogę dotrzeć do innych miejsc z mojej obecnej lokalizacji?”

W przypadku pierwszego pytania pojawia się problem rozpoznania oraz zidentyfikowania miejsca, w którym człowiek aktualnie się znajduje. Drugie pytanie natomiast sugeruje, że wszystkie napotkane miejsca mają zdefiniowaną określoną relację względem aktualnej pozycji, choć niekoniecznie względem siebie nawzajem. Trzecie pytanie z kolei zakłada istnienie globalnej reprezentacji napotkanych miejsc, a dodatkowo zawiera w sobie element planowania drogi, czyli procesu polegającego na określeniu kierunku i przebiegu trasy z obecnej lokalizacji do miejsca docelowego.

Prescott proponuje podział nawigacji na dwa rodzaje (za: [18]):

- nawigacja lokalna (ang. *local navigation*),
- umiejętność znajdowania drogi (ang. *wayfinding*).

Pierwszy rodzaj to poruszanie się w najbliższym środowisku, gdzie wszystkie istotne elementy niezbędne do podjęcia odpowiedniej decyzji i określenia kierunku są bezpośrednio dostępne człowiekowi, a zatem nie ma potrzeby wewnętrznej reprezentacji obiektów oraz miejsc znajdujących się poza aktualnym zasięgiem percepcji. Decyzja zostaje podjęta wyłącznie na podstawie obserwacji aktualnego środowiska, w którym człowiek się znajduje.

Drugi rodzaj stosowany jest podczas poruszania się w środowisku o dużej skali. Wykorzystuje on obiekty oraz elementy świata, które pozostają poza aktualnym zasięgiem percepcji. W oparciu o nie określany jest kierunek oraz przybliżona lokalizacja miejsca docelowego. Odnajdywanie ścieżki może uwzględniać planowanie trasy. Wynikiem tego rodzaju nawigacji może być trasa składająca się z częściowo znanych odcinków lub takich, które nie zostały wcześniej odwiedzone.

Według Trulliera i in. [18] istnieją co najmniej cztery rodzaje nawigacji, które umożliwiają coraz bardziej złożone zachowania. Proponowany ich podział przedstawia się następująco:

- naprowadzanie (ang. *guidance*) — ograniczone do środowiska lokalnego;
- wykonywanie akcji skojarzonej z rozpoznaniem miejscem (ang. *place recognition-triggered response*) — ograniczone do znajdowania drogi, ale bez jej planowania;

- nawigacja topologiczna (ang. *topological navigation*) — ograniczona do korzystania tylko ze znanych tras;
- nawigacja metryczna (ang. *metric navigation*) — pozwalająca na znajdowanie skrótów przecinających nieznane dotąd obszary środowiska.

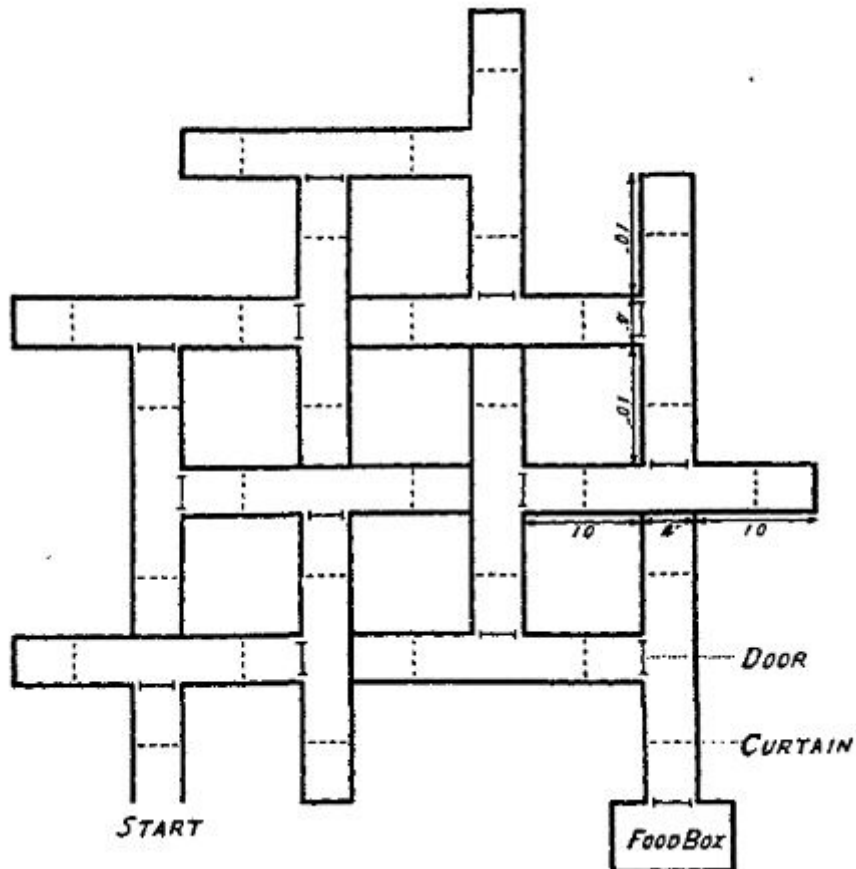
Każdy z tych rodzajów wymaga różnego typu informacji otrzymanych w wyniku obserwacji środowiska. Informacje te muszą zostać przedstawione i utrwalone w odpowiedniej formie umożliwiającej szybką ich analizę i wyciąganie odpowiednich wniosków (np. zaplanowania odpowiedniej drogi do celu). Powstaje tu zatem kluczowe pytanie: w jaki sposób informacje te są zapamiętywane?

2.2 Koncepcja mapy poznawczej

Edward C. Tolman w swoim słynnym artykule z 1948 roku pt. *Cognitive maps in rats and men* [16] opisał eksperymenty przeprowadzone na szczurach przez siebie i swoich asystentów, jak i badaczy z innych ośrodków, na podstawie których wyciągnął dość nowatorskie jak na tamte czasy wnioski. Zazwyczaj w ramach owych eksperymentów pojedynczy głodny szczur był umieszczany przed wejściem do labiryntu, a jego zadaniem było następnie dotarcie do pożywienia, które znajdowało się gdzieś w labiryncie. Dotarcie do niego było jednak utrudnione, bo labirynt posiadał wiele ślepych uliczek. Przykładowy schemat takiego labiryntu jest przedstawiony na rysunku 2.1.

Podczas wykonywania kolejnych prób zaobserwowano, że gryzonie popełniały coraz mniej błędów. Czas dotarcia do pudełka z pożywieniem również stawał się coraz krótszy. Finalnie szczury przebywały trasę do pożywienia bez żadnej pomyłki oraz potrzebowały do tego jedynie kilku sekund.

Według obowiązujących wówczas teorii zachowanie szczurów można było tłumaczyć tworzeniem skojarzeń na zasadzie bodziec-reakcja. Teorie te zakładały, że gryzonie uczyły się kojarzyć określone miejsca labiryntu z własnymi decyzjami dotyczącymi wyboru kierunku dalszej wędrówki, przy czym tylko te decyzje, które finalnie prowadziły do pożywienia, były ostatecznie zapamiętywane. W efekcie w kolejnych próbach szczur, przechodząc przez labirynt, rozpoznawał następujące po sobie punkty decy-



Rysunek 2.1: Schemat labiryntu wykorzystywanego w eksperymentach prowadzonych przez Tolmana i innych badaczy. Etykietą *START* oznaczona została pozycja startowa szczura, zaś *FOODBOX* oznacza pudełko z pożywieniem, do którego gryzoń miał się dostać. Dodatkowo widać, że na drodze umieszczono drzwi (*DOOR*) oraz kurtynę (*CURTAIN*). Źródło: [16]

zyjne i podejmował w nich skojarzone z nimi decyzje, jako że w przeszłości okazały się one słuszne, gdyż umożliwiły mu wówczas dotarcie do pożywienia.

Tymczasem Tolman postawił tezę, że szczury nie uczyły się przechodzenia przez labirynt na zasadzie tworzenia skojarzeń typu bodziec-reakcja, lecz w trakcie nauki tworzyła się w ich pamięci pewnego rodzaju mapa owego labiryntu, którą Tolman określił mianem „mapy poznawczej” (ang. *cognitive map*). Na poparcie tej tezy Tolman przytoczył wyniki szeregu eksperymentów, spośród których dwa zostaną omówione poniżej.

Ukryte uczenie

W pierwszym rodzaju eksperymentu, nazwanym „ukrytym uczeniem”, szczury zostały podzielone na 3 grupy: kontrolną i dwie eksperymentalne. Szczury z grupy kontrolnej otrzymywały jedzenie zawsze po osiągnięciu miejsca docelowego i w kolejnych próbach coraz szybciej do niego docierały. Szczury z pierwszej grupy eksperymentalnej przez pierwsze 7 dni nie otrzymywały natomiast jedzenia po dotarciu do miejsca docelowego — były one karmione dopiero około 2 godziny po zakończeniu eksperymentu. Z kolei szczury z drugiej grupy eksperymentalnej były traktowane podobnie, z tą jednak różnicą, że pożywienie w labiryncie zaczynały otrzymywać już w trzecim dniu. W trakcie prób, podczas których gryzonie z grup eksperymentalnych nie znajdowały w labiryncie pożywienia, nie wykazywały one specjalnie cech uczenia się. Przechodząc przez labirynt, nie popełniały mniej błędów w kolejnych próbach. Przełomową chwilą był jednak moment pierwszego odnalezienia pożywienia w labiryncie: po tym zdarzeniu liczba popełnianych błędów przez szczury z grup eksperymentalnych znacząco malała, szybciej niż u szczurów z grupy kontrolnej w trakcie nauki. Wyglądało na to, jakby podczas prób, w których szczury nie znajdowały pożywienia, zwierzęta te poświęcały czas na eksplorację labiryntu, kiedy jednak pożywienie zaczęło się pojawiać, były w stanie bez problemu do niego dotrzeć, tak jakby znały na pamięć układ labiryntu. Świadczyłoby to o tym, że w pamięci szczurów formowała się pewnego rodzaju reprezentacja labiryntu w trakcie jego eksploracji, nawet wówczas, gdy przejście przez labirynt nie kojarzyło się z żadną nagrodą, jaką stanowiło znalezienie pożywienia.

Orientacja przestrzenna

Drugi rodzaj eksperymentu ukierunkowany był na badanie orientacji przestrzennej szczurów. Szczury zostały wytrenowane, aby pokonywać pewien charakterystyczny typ labiryntu, który składał się tylko z jednej alejki. Alejka ta nie była jednak prosta, lecz zawierała kilka zakrętów w różne strony. Szczury dość szybko nauczyły się pokonywać tę alejkę aż do osiągnięcia punktu końcowego, w którym znajdowało się pożywienie. Wtedy środowisko uległo zmianie: alejka, którą dotychczas przemierzały szczury, została zablokowana, natomiast w punkcie początkowym pojawiły się nowe alejki, rozchodzące się radialnie od tego punktu i pozbawione zakrętów. Szczury, zorientowawszy się, iż oryginalną alejką nie da się przejść, początkowo eksplorowały każdą z alternatywnych alejek po kilka kroków w głąb, po czym wybierały jedną z nich i podążały nią do aż końca. Wybór ostatecznej alejki okazał się nieprzypadkowy: większość szczurów wybierała drogę, która w linii prostej doprowadziłaby ich do miejsca, gdzie zwykle znajdowało się pożywienie, a więc miejsca, które odpowiadało punktowi końcowemu oryginalnej alejki. Wyniki te świadczą o tym, że w pamięci gryzoni formowały się mapy poznawcze środowiska, umożliwiając im kierowanie się w stronę miejsca z pożywieniem nawet wówczas, gdy oryginalny układ bodźców związanych z punktami decyzyjnymi, gdzie wykonywane były skręty, nie pojawiał się w trakcie wędrówki.

Jak zostało wspomniane wcześniej, w swoim artykule Tolman przeanalizował także inne eksperymenty, które według niego potwierdzały teorię map poznawczych. Formułując tę teorię, wyszedł on naprzeciw powszechnie obowiązującemu wówczas paradygmatowi opisującemu uczenie się środowiska na zasadzie skojarzeń typu bodziec-reakcja. Koncepcja map poznawczych okazała się niewątpliwie istotnym krokiem naprzód w zrozumieniu mechanizmów nawigacji u zwierząt i ludzi, zrodziła jednak nowe pytania: w jaki sposób owe mapy poznawcze są reprezentowane i jak formują się one w pamięci?

2.3 Klasyczne ujęcia procesów nawigacyjnych

W 1960 roku Kevin Lynch wydał książkę *The Image of the City* [10]. Jest ona udokumentowaniem jego pięcioletnich badań na temat ludzkiej nawigacji. Na ich podsta-

wie wysnuł on tezę, że ludzie reprezentują w swojej pamięci otaczające ich środowisko w postaci „map mentalnych” (ang. *mental maps*), które składają się z 5 elementów.

Badania zostały przeprowadzone w trzech amerykańskich miastach: Bostonie, Jersey City oraz Los Angeles. W każdym z tych miast badania zostały wykonane na dwa opisane poniżej sposoby.

1. Wytrenowany obserwator poruszał się po określonym terenie miasta i sporządzał notatki. Jego zadaniem było zanotować wszystkie istotne punkty otoczenia, uwzględniając między innymi siłę ich znaczenia podczas nawigacji, widoczność czy połączenia z innymi istotnymi lokalizacjami. Była to subiektywna ocena obserwatora.
2. Drugim etapem był wywiad z mieszkańcami danego miasta lub osobami na stałe tam pracującymi, a zatem z osobami, które codziennie poruszały się po danym mieście. Rozmowa składała się z kilku elementów: proszono takie osoby, aby podały opisy określonych lokalizacji, narysowały odręcznie mapy czy przeprowadziły wirtualną wycieczkę po mieście. Miało to na celu przywołać ich mapę w pamięci reprezentującą fizyczny świat, w którym się na co dzień poruszają. Tutaj ocena była obiektywna z uwagi na to, że odtworzone w ten sposób mapy porównywano z aktualnymi.

W wyniku przeprowadzonych badań Lynch zaproponował podział mapy mentalnej każdego z uczestników eksperymentu na 5 elementów: ścieżki (ang. *paths*), krawędzie (ang. *edges*), dzielnice (ang. *districts*), węzły (ang. *nodes*) oraz punkty orientacyjne (ang. *landmarks*).

Ścieżki zostały zdefiniowane jako kanały, po których poruszała się dana osoba. Mogły nimi być drogi, chodniki czy wydeptane ścieżki. Zwykle pokrywały się one z drogą danej osoby do pracy, szkoły czy sklepu, w którym codziennie robiła ona zakupy. Dla wielu ludzi były one dominującym elementem w stworzonych mapach. Jednak, jako że ludzie, poruszając się daną trasą, oglądają otaczający ich świat, wokół narysowanych ścieżek można dostrzec było inne z wymienionych wyżej elementów.

Drugi element to krawędzie. Są to obiekty niezaklasyfikowane przez obserwatora jako ścieżki. Służą zwykle do oddzielenia dwóch rejonów od siebie lub służą jako ich

łącznik. Dla wielu ludzi pełnią istotną rolę w celu organizacji cech mapy. Krawędź może stanowić na przykład rzeka przepływająca przez miasto.

Trzeci z przedstawionych elementów to dzielnice. Są to średniego lub dużego rozmiaru obszary stanowiące charakterystyczną część miasta, do których dana osoba mogła wejść. Sfery takie są jasno identyfikowane przez obserwatora poprzez ich indywidualny charakter. Wielu z badanych w ten sposób budowało swoją mapę — poprzez „przechodzenie” przez kolejne dzielnice. Granice ich jednak nie były precyzyjnie określone — różniły się znacząco w zależności od ścieżek, jakimi dane osoby poruszały się na co dzień.

Czwartym elementem są węzły. Węzły to punkty, miejsca strategiczne, przez które badany się przemieszcza. Może to być skrzyżowanie, punkt związany z przerwą w podróży (jak przystanek autobusowy) czy rozstaj dróg. Mogą to być także zwykłe miejsca, które stały się węzłami z uwagi na ich cechy charakterystyczne, jak na przykład przekrzywiony znak drogowy na skrzyżowaniu. Niektóre z węzłów stanowią punkt centralny dzielnicy, której są symbolem. Idea węzłów jest ściśle powiązana zarówno z ideą ścieżek, ponieważ skrzyżowania stanowią przecięcie się dróg, jak i z ideą dzielnic, gdyż węzeł w dużej części stanowi centralną część dzielnicy.

Ostatni, piąty element, to punkty orientacyjne. Są to również punktowe miejsca orientacyjne, ale w tym przypadku obserwator nie może przez nie przejść — są one poza jego zasięgiem. Stanowią je zwykle precyzyjnie określone fizyczne obiekty, takie jak budynek, znak, sklep czy wzgórze. Niektóre z punktów orientacyjnych są widoczne z dużej odległości pod różnymi kątami i traktowane jako punkty odniesienia. Mogą znajdować się wewnątrz miasta lub daleko poza nim i wskazywać kierunek.

Badania opisane przez Lyncha i wyciągnięte z nich wnioski jasno pokazują, że mapy mentalne stanowią złożone struktury. Zainspirowały one kolejnych naukowców do dalszego zgłębiania tej tematyki.

Następną przełomową pracą okazał się artykuł Alexandra Siegela i Sheldona White’a pt. *The development of spatial representations of large-scale environments* opublikowany w 1975 roku [13]. Dotyczy on tego, w jaki sposób mapy poznawcze formują się w ludzkiej pamięci. Autorzy na podstawie przeprowadzonych eksperymentów zaprezentowali teorię, według której mapy takie tworzone są w kilku etapach następujących kolejno po sobie. Etapy te obejmują:

1. rozpoznanie punktów orientacyjnych i ich zapamiętanie;
2. powiązanie wykonywanych akcji z rozpoznanymi wcześniej punktami orientacyjnymi;
3. pogrupowanie utworzonych wcześniej punktów orientacyjnych w „minimapy”;
4. wyznaczenie niezależnego układu odniesienia;
5. umieszczenie wcześniej wspomnianych elementów w wyznaczonym niezależnym układzie odniesienia.

Pierwszy etap, jaki wyodrębniono, to rozpoznanie punktów orientacyjnych. Osoba badana, umieszczona w nowym środowisku, początkowo zapamiętuje tylko znajdujące się tam punkty charakterystyczne, ale nie jest jeszcze w stanie powiązać ich z jakimikolwiek akcjami. Dopiero później rozpoczyna się kolejny etap, czyli kojarzenie akcji z zapamiętanymi wcześniej punktami orientacyjnymi. W tym momencie badany jest już w stanie określić, w którą stronę powinien się kierować na swojej drodze w odniesieniu do konkretnego punktu orientacyjnego. Następny etap to łączenie położonych blisko siebie punktów i przypisanych im akcji w grupy. Grupy te zwykle odnoszą się do niewielkich rejonów, tworząc swoiste „minimapy”. Minimapy te funkcjonują w sposób odrębny, ich połączenie w całość nie miałoby sensu, aczkolwiek każda z nich jest wewnętrznie poprawna. Przedostatni etap to zmiana perspektywy postrzegania trasy: dotychczasowa wiedza została bowiem nabyta z perspektywy pierwszej osoby, z kolei na tym etapie perspektywa ta zmienia się z uczestnika wydarzeń na obserwatora — badany próbuje znaleźć niezależny od siebie układ odniesienia. Ostatni etap obejmuje stworzenie finalnej mapy, stanowiącej pełną reprezentację otoczenia, która zostaje osadzona w owym niezależnym układzie odniesienia.

2.4 Zastrzeżenia względem ujęć klasycznych

Praca Siegela i White’a dotycząca formowania się map poznawczych w ludzkiej pamięci [13] uznawana jest za klasyczną w dziedzinie badań nad mechanizmami nawigacji u ludzi. Tym niemniej wyniki niektórych z przeprowadzonych po jej opublikowaniu

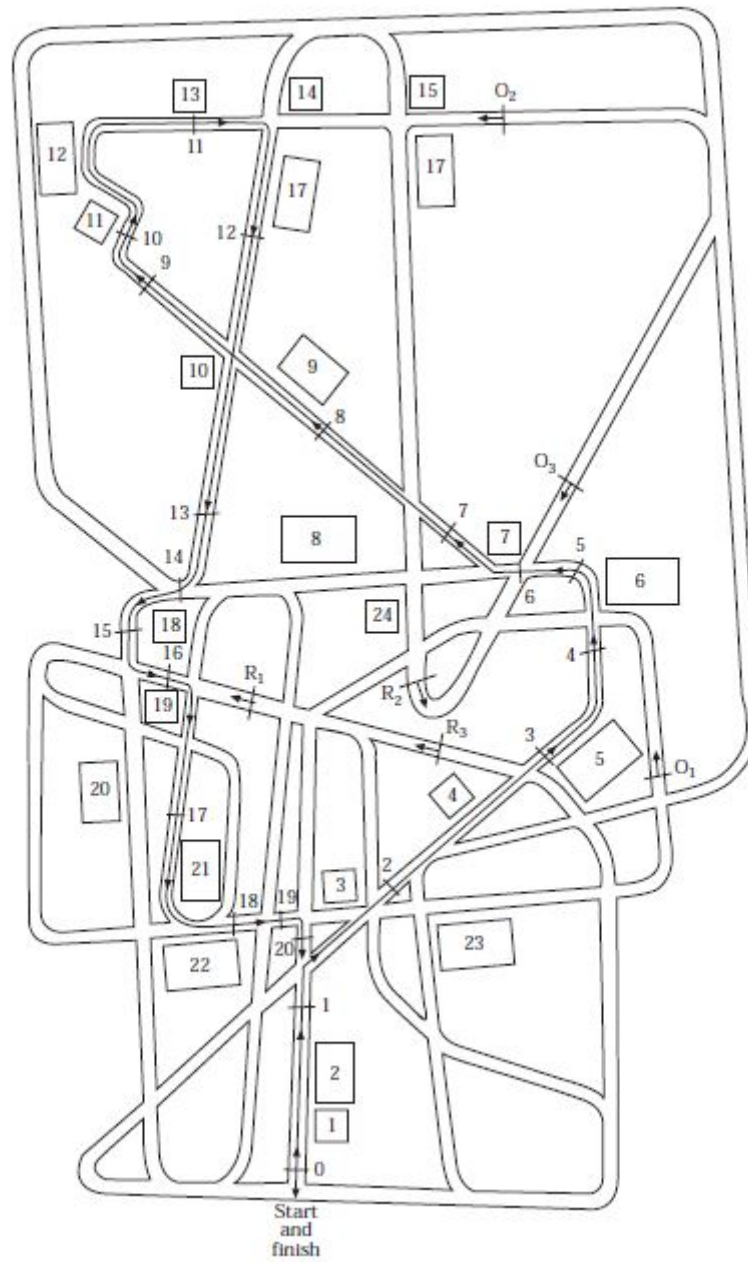
eksperymentów zdawały się podważać — przynajmniej częściowo — zaprezentowaną tam teorię.

Alternatywna koncepcja dotycząca tego, w jaki sposób ludzie uczą się nawigować w przestrzeni, została zaproponowana przez Aginsky i in. [1]. Powstała ona na podstawie wyników eksperymentów, które mają bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia niniejszej pracy. Eksperymenty te zostały przeprowadzone z użyciem systemu wirtualnej rzeczywistości typu *desktop* i składały się z dwóch faz: treningowej oraz testowej. W ramach fazy treningowej osoby badane miały za zadanie nauczyć się przejeżdżania trasy stworzonej w wirtualnym świecie, która zaprezentowana jest na rysunku 2.2. Nie zostały one jednak poinstruowane, aby zwracać jakąś szczególną uwagę na otoczenie. Po trasie kierowane były przez eksperymentatora za pomocą poleceń werbalnych, na przykład: „na najbliższym skrzyżowaniu skręć w lewo”. W późniejszych przejazdach były instruowane tylko przed skrętami, których jeszcze nie zapamiętały, co było łatwe do określenia, ponieważ musiały używać kierunkowskázów przed wykonaniem skrętów. Druga faza, testowa, rozpoczynała się po pierwszym bezbłędnym przejechaniu trasy (bez podpowiedzi ze strony eksperymentatora). Etap ten polegał na sprawdzeniu znajomości trasy poprzez wykonanie 3 testów. Pierwszym z nich było wybranie z zaprezentowanych zdjęć tych, które przedstawiały fragmenty trasy. Podczas drugiego testu badani ponownie używali systemu wirtualnej rzeczywistości: mieli oni za zadanie jeszcze raz pokonać trasę, tym razem jednak informując o wszelkich dostrzeżonych zmianach w otoczeniu, takich jak zmiany kształtów czy kolorów budynków. Ostatni test polegał natomiast na narysowaniu mapy szkicowej przedstawiającej zapamiętaną trasę.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów Aginsky i in. wysnuli wniosek, że mapy poznawcze niekoniecznie muszą powstawać w ramach kolejnych etapów opisanych przez Siegela i White’a. Stwierdzili oni bowiem, że ludzie różnią się między sobą i w związku z tym, zależnie od indywidualnych predyspozycji, mogą wykorzystywać jedną z dwóch strategii:

- skupioną na elementach wizualnych (ang. *visually dominated*);
- skupioną na elementach przestrzennych (ang. *spatially dominated*).

Pierwsza z nich polega na tym, że ludzie, ucząc się trasy, rozpoznają napotymane punkty decyzyjne i kojarzą z nimi swoje decyzje. Miejsca te jednak nie są umieszczane



Rysunek 2.2: Mapa trasy stworzonej w wirtualnym świecie, wzdłuż której poruszały się osoby badane w eksperymencie opisanym przez Aginsky i in. Źródło: [1]

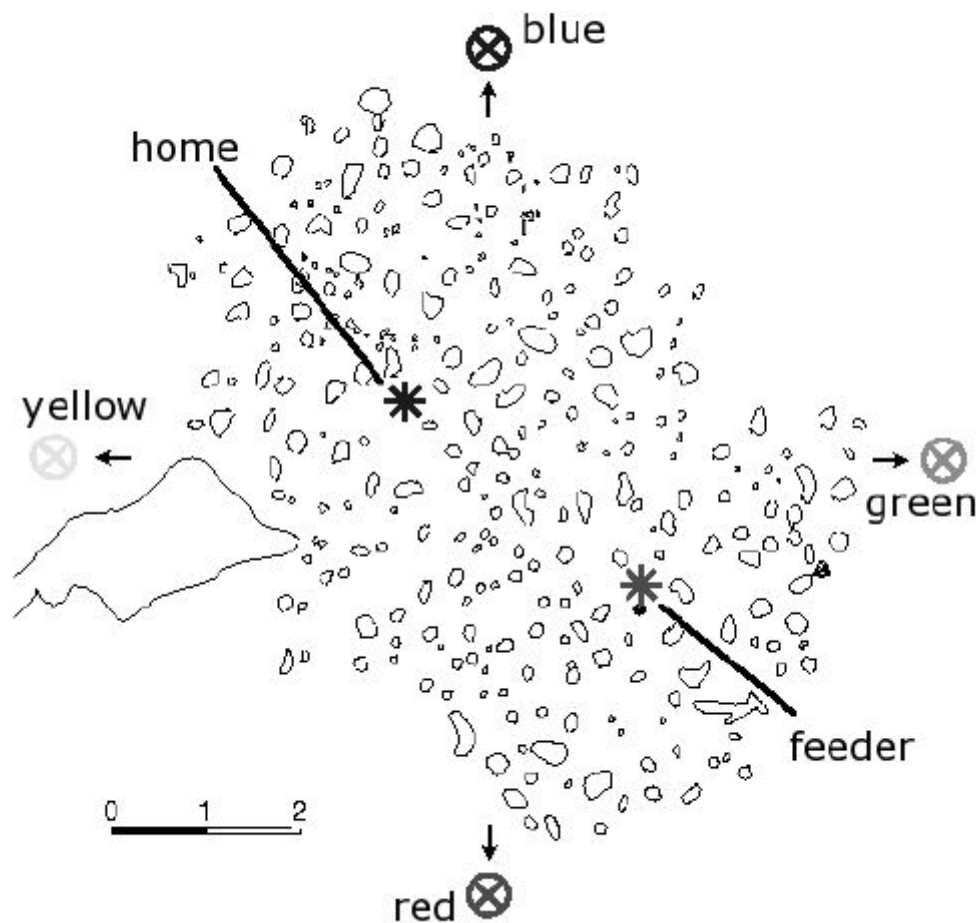
w żadnej ogólnej reprezentacji przestrzennej poznanego środowiska. Druga ze strategii świadczy o tym, że ludzie, napotykając nowe miejsca po raz pierwszy, od razu starają się umieszczać je w przestrzeni, a zatem już od samego początku budują w pamięci reprezentację otoczenia w postaci mapy.

2.5 Nawigacja w nieustrukturyzowanym środowisku

Zarówno badania Lyncha [10] jak i eksperymenty Aginsky i in. [1] dotyczyły nawigacji w warunkach miejskich: albo w rzeczywistych miastach — jak u Lyncha, albo w ich wirtualnym odpowiedniku — jak u Aginsky i in. Miasta jednak — ze względu na swoją zabudowę, układ dróg, skrzyżowania oraz inną infrastrukturę — stanowią środowiska mocno ustrukturyzowane, gdzie droga do celu często jest jasno określona oraz gdzie występują łatwo identyfikowalne punkty charakterystyczne.

Badań nad mechanizmem ludzkiej nawigacji w środowisku nieustrukturyzowanym podjęli się Hurlebaus i in. [7]. Celem tych badań było sprawdzenie, według jakich wskazówek będą się orientować ludzie w środowisku, które pozbawione będzie typowych dla miast punktów odniesienia. Eksperymenty przeprowadzono przy użyciu systemu rzeczywistości wirtualnej typu *desktop*, za pomocą którego stworzono środowisko, gdzie na płaskim terenie rozlokowana została znaczna liczba kolumn o tej samej wysokości i teksturze, różniących się jedynie kształtem podstawy. Dodatkowo, na obrzeżach środowiska umieszczono widoczne z daleka, wysokie kolumny w różnych kolorach. Mapę stworzonego środowiska przedstawia rysunek 2.3.

Eksperyment został podzielony na dwie fazy: treningową oraz testową. W ramach fazy treningowej uczestnik miał za zadanie nauczyć się drogi pomiędzy lokalizacją początkową (nazywaną *home*) a docelową (nazywaną *feeder*). Na początku uczestnik umieszczany był w lokalizacji początkowej, otrzymawszy uprzednio od eksperymentatora — w celu ułatwienia mu odnalezienia lokalizacji docelowej — jedynie informację typu: „Patrząc z początkowej lokalizacji, cel znajduje się między czerwoną a zieloną kolumną”. Zadaniem badanych była zatem eksploracja środowiska we wskazanym kierunku, znalezienie lokalizacji docelowej, która była oznaczona za pomocą charakterystycznej bryły, po czym przemierzanie drogi od lokalizacji docelowej do początkowej



Rysunek 2.3: Mapa nieustrukturyzowanego środowiska stworzonego w ramach badań Hurlebaus i in. Nieregularne kształty reprezentują położenie kolumn o różnych podstawach. Etykietą *home* została oznaczona lokalizacja początkowa uczestnika, a etykietą *feeder* — lokalizacja docelowa. Różnokolorowe wysokie kolumny rozmieszczone na obrzeżach środowiska zostały oznaczone etykietami: *blue*, *green*, *red*, *yellow*. Źródło: [7]

w tę i z powrotem w celu nauczania się trasy. Kiedy osoba badana nauczyła się pokonywać tę trasę w tempie powyżej dwóch wędrówek na minutę, przechodziła do fazy testowej.

Podczas fazy testowej badani musieli zmierzyć się z dwoma rodzajami warunków:

- bez lokalnych obiektów;
- ze spowijającą scenę mgłą.

W pierwszym przypadku uczestnicy nadal mieli za zadanie przemieszczać się pomiędzy lokalizacją początkową a docelową, ale tym razem scena była zmodyfikowana: wszystkie kolumny różniące się kształtem podstawy zostały z niej usunięte. Z kolei w drugim przypadku również należało się przemieszczać pomiędzy obiema lokalizacjami, tyle tylko, że spowijająca scenę mgła uniemożliwiała dostrzeżenie obiektów w dalszej odległości. Innymi słowy, w pierwszym przypadku znikwały lokalne punkty odniesienia (kolumny o różnych kształtach podstawy), a w drugim — globalne (różnokolorowe wysokie kolumny rozmieszczone na obrzeżach środowiska).

W trakcie eksperymentu badacze poczynili kilka interesujących obserwacji.

Po pierwsze, uczestnicy wykazali tendencję do dłuższego znajdowania drogi z lokalizacji końcowej do początkowej — powroty zajmowały im więcej czasu. W kolejnych sesjach różnica w czasie zwiększała się: badani potrzebowali coraz mniej czasu, aby dostać się do lokalizacji końcowej, ale czas powrotu nie zmniejszał się znacząco.

Po drugie, wśród badanych dało się wyodrębnić dwie grupy: pierwsza obejmowała osoby, które w kolejnych próbach fazy treningowej podążały od jednej lokalizacji do drugiej niemal dokładnie tą samą ścieżką (przy czym ścieżka od lokalizacji początkowej do lokalizacji końcowej nie musiała się pokrywać ze ścieżką w drugą stronę), natomiast druga grupa obejmowała osoby, których ścieżki w kolejnych próbach tej fazy wykazywały pewną zmienność.

Po trzecie, podczas testu bez lokalnych obiektów osobom z obu grup znacznie trudniej było przemieszczać się pomiędzy lokalizacją początkową a docelową, przy czym liczba popełnianych błędów nie różniła się znacząco między grupami. Zauważono jednak, że osoby, które podążały nieco odmiennymi ścieżkami w kolejnych próbach fazy treningowej, w warunkach testowych wykazywały tendencję do wybierania prostej drogi w kierunku celu, natomiast osoby, których ścieżki w kolejnych próbach

fazy treningowej były niemal identyczne, próbowały w warunkach testowych podążać dokładnie taką samą ścieżką jak w fazie treningowej.

Po czwarte, test ze spowijającą scenę mgłą również przysporzył trudności osobom z obu grup. Tym razem jednak liczba popełnianych błędów różniła się pomiędzy grupami: więcej ich popełniały osoby, których ścieżki w fazie treningowej wykazywały pewną zmienność.

Hurlebaus i in. zinterpretowali uzyskane wyniki w ten sposób, że osoby, których ścieżki różniły się w kolejnych próbach, sugerowały się zasadniczo globalnymi punktami odniesienia — orientując się względem tych punktów, osoby te podążały „mniej więcej” we właściwym kierunku, choć w poszczególnych próbach kierunki te mogły się nieznacznie różnić ze względu na dużą odległość, w jakiej znajdowały się globalne punkty odniesienia i wynikający stąd brak możliwości precyzyjnej nawigacji. Z kolei osoby, które w kolejnych próbach podążały dokładnie tą samą ścieżką, prawdopodobnie orientowały się raczej względem lokalnych punktów odniesienia — ich bliskość umożliwiała znacznie dokładniejszą nawigację. Charakter błędów popełnianych przez każdą z tych grup w fazie testowej wydaje się być zgodny z tą interpretacją.

Wyniki powyższych badań — podobnie jak opisane wcześniej wyniki eksperymentów Aginsky i in. — świadczą o tym, że różni ludzie w tych samych warunkach mogą wykorzystywać różne mechanizmy nawigacji w zależności od indywidualnych predyspozycji. W przypadku badań Hurlebaus i in. mechanizmy te dotyczą wyboru punktów odniesienia podczas nawigacji: dla jednych ważniejsze są punkty lokalne, dla innych zaś — globalne.

2.6 Reprezentacja mapy poznawczej

Wyniki dotychczas przytoczonych badań pokazują, że ludzie różnią się pod względem tego, jakie mechanizmy nawigacyjne wykorzystują w danych warunkach oraz w jaki sposób uczą się środowiska. Jak zatem wygląda reprezentacja przestrzeni w ludzkiej pamięci?

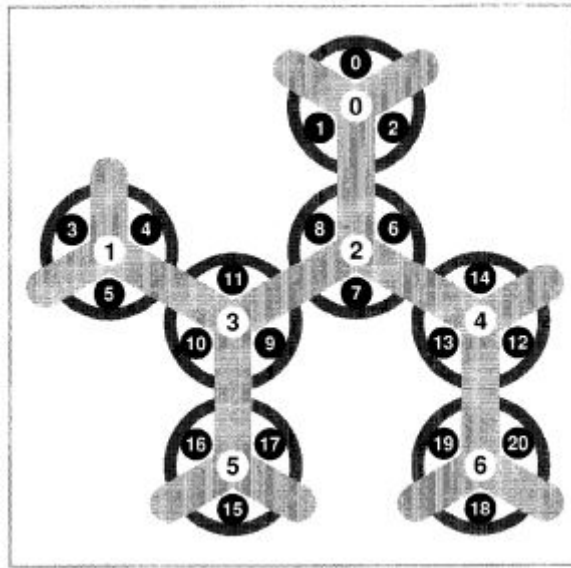
Gillner i Mallot przeprowadzili eksperyment, którego celem było zweryfikowanie hipotezy, że reprezentacja przestrzeni w ludzkiej pamięci oparta jest zasadniczo na dostrzeganych widokach (ang. *view-based*) [6]. Hipoteza ta mówi o tym, że człowiek,

poruszając się w nowym środowisku, zapamiętuje napotymane miejsca w postaci zaobserwowanych tam widoków, a mapy poznawcze stanowią tak naprawdę opis przestrzennych relacji pomiędzy zapamiętanymi widokami.

Eksperyment został przeprowadzony przy użyciu systemu rzeczywistości wirtualnej typu *desktop*, za pomocą którego stworzono wirtualne miasteczko nazwane Hexatown, którego mapa przedstawiona jest na rysunku 2.4. Jego cechą charakterystyczną było to, że wszystkie skrzyżowania miały kształt litery „Y”. Eksperyment składał się z 3 faz: eksploracji, oszacowywania odległości oraz rysowania mapy szkicowej. W pierwszej fazie osoby biorące udział w eksperymencie miały za zadanie odnaleźć w wirtualnym miasteczku przedstawiony im na kartce widok. Aby to osiągnąć, musiały przemieszczać się po ulicach tego miasteczka w poszukiwaniu miejsca, którego widok zgadzałby się z przedstawionym na kartce — nie otrzymywały one bowiem żadnych wskazówek, w którą stronę powinny się udać. Eksplorując w ten sposób miasteczko, zapoznawały się z widokami różnych napotkanych po drodze miejsc. W ramach tej fazy uczestnicy musieli odszukać różne widoki, które były im prezentowane po kolei: po odnalezieniu poprzedniego przechodzili do szukania następnego. W drugiej fazie zadaniem badanych było określenie odległości pomiędzy różnymi parami miejsc, którym odpowiadały zaprezentowane im w tym celu widoki. Trzecia faza polegała natomiast na narysowaniu mapy szkicowej miasteczka.

Na podstawie wyników tego eksperymentu wyciągnięto trzy zasadnicze wnioski:

1. Do bezbłędnego poruszania się po nowo poznawanym środowisku wystarczą tylko informacje lokalne w postaci statycznych obrazów napotkanych miejsc.
2. Reprezentacja przestrzeni w ludzkiej pamięci zawiera elementy lokalne (czyli miejsca lub widoki oraz powiązane z nimi akcje, a także spodziewane konsekwencje tych akcji). Owe elementy lokalne nie muszą być ze sobą spójne ani tworzyć globalnej mapy metrycznej — struktura grafowa, jak się wydaje, byłaby w zupełności wystarczająca do uzyskania otrzymanych wyników.
3. Wyniki eksperymentu nie wskazują jasno, czy węzły takiego grafu odpowiadałyby konkretnym miejscom, czy tylko konkretnym widokom (z danym miejscem może się wszak wiązać kilka widoków, jeżeli miejsce to było oglądane z różnych perspektyw, na przykład gdy docierano do niego z różnych kierunków).



Rysunek 2.4: Mapa wirtualnego miasteczka stworzonego w ramach eksperymentu Gillner i Mallota. Szare odcinki symbolizują drogi, łączące się poprzez skrzyżowania w kształcie litery „Y”, z których każde identyfikowane jest indywidualnym numerem. W pobliżu skrzyżowań porozmieszczane zostały różne budynki, oznaczone ponumerowanymi czarnymi kółkami. Źródło: [6]

Tym niemniej na podstawie otrzymanych wyników nie można wyciągnąć żadnej przesłanki, która by sugerowała, że widoki tego samego miejsca z różnych perspektyw łączone są w pojedynczą reprezentację niezależną od kąta patrzenia.

W świetle uzyskanych rezultatów Gillner i Mallot konkludują, iż wydaje się prawdopodobne, że reprezentacja przestrzeni w ludzkiej pamięci jest w jakimś stopniu oparta na widokach.

Problem, jaka jest forma relacji przestrzennych zawartych w mapie poznawczej, podjęty został przez Warrena i in. [21]. Rozpatrywane były trzy postaci takiej mapy:

- Mapa topologiczna (ang. *topological map*) — relacje przestrzenne reprezentowane są w postaci grafu, w którym węzły odpowiadają znajomym miejscom, a krawędzie — poznanym ścieżkom, łączącym te miejsca. Żadne informacje metryczne dotyczące połączeń nie są w nim jednak przechowywane. Zaletą takiej reprezentacji jest możliwość szybkiego wyszukiwania tras pomiędzy dowolnymi miejscami.

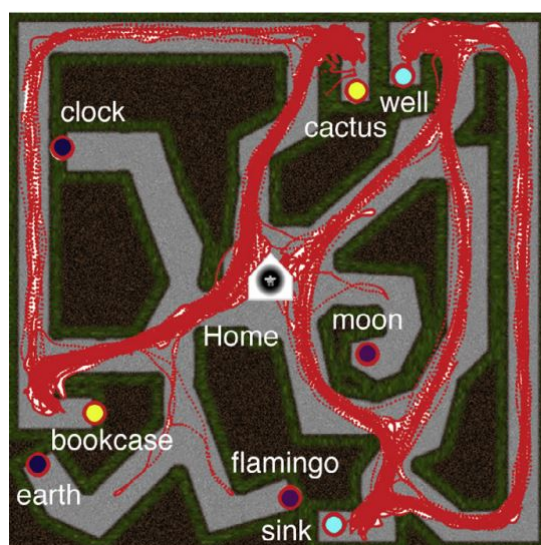
- Mapa metryczna (ang. *metric map*) — relacje przestrzenne reprezentowane są za pomocą globalnego układu współrzędnych, gdzie znajomym miejscom przyporządkowane są odpowiednie współrzędne w tym układzie. Taki układ pozwalałby określać odległości między różnymi miejscami na podstawie metryki euklidesowej, także w przypadku takich par miejsc, między którymi nigdy nie przemieszczano się bezpośrednio.
- Graf etykietowany (ang. *labeled graph*) — koncepcja pośrednia pomiędzy mapą topologiczną a mapą metryczną, w której struktura połączeń — podobnie jak w przypadku mapy topologicznej — ma charakter grafu, ale dodatkowo graf ten zawiera lokalne informacje metryczne opisujące krawędzie oraz kąty między nimi. Co jednak bardzo istotne, w tej reprezentacji — w odróżnieniu od mapy metrycznej — lokalne informacje metryczne nie muszą być globalnie spójne, a zatem takiego grafu nie dałoby się osadzić w globalnym układzie współrzędnych.

Eksperyment został przeprowadzony przy użyciu systemu wirtualnej rzeczywistości zapewniającego pełne zanurzenie. Za jego pomocą stworzono dwa warianty wirtualnego labiryntu z żywopłotu: pierwszy wariant miał charakter euklidesowy, z normalnymi korytarzami, na końcach których znajdowały się charakterystyczne obiekty (takie jak kaktus czy zegar), podczas gdy w drugim wariantcie zostały dodatkowo umieszczone „tunele czasoprzestrzenne” (ang. *wormholes*), które w sposób niezauważalny dla osoby badanej teleportowały ją z jednego miejsca w inne, w efekcie tworząc przestrzeń nieeuklidesową. Schemat obu wariantów labiryntu wraz z naniesionymi na nie przykładami przemieszczania się uczestników przedstawia rysunek 2.5. Osoby badane z kolei zostały podzielone na dwie grupy: kontrolną — która poruszała się w labiryncie euklidesowym, oraz eksperymentalną — która poruszała się w labiryncie nieeuklidesowym. Eksperyment składał się z 3 faz. W pierwszej z nich — fazie eksploracji — badani zapoznawali się z układem labiryntu, mogąc poruszać się po nim w sposób dowolny (przy czym każdy z obiektów musiał w tej fazie zostać odwiedzony przynajmniej raz, a w przypadku wariantu nieeuklidesowego każdy „tunel czasoprzestrzenny” — co najmniej dwukrotnie). Drugą fazę stanowił trening: uczestnicy byli uczeni dojścia do każdego obiektu poczynawszy od startowej lokalizacji (oznaczonej jako *Home*) w mniej niż 30 sekund. Następnie w ostatniej fazie — testowej — osoby badane miały najpierw dotrzeć ze startowej lokalizacji do pierwszego wskazanego obiektu,

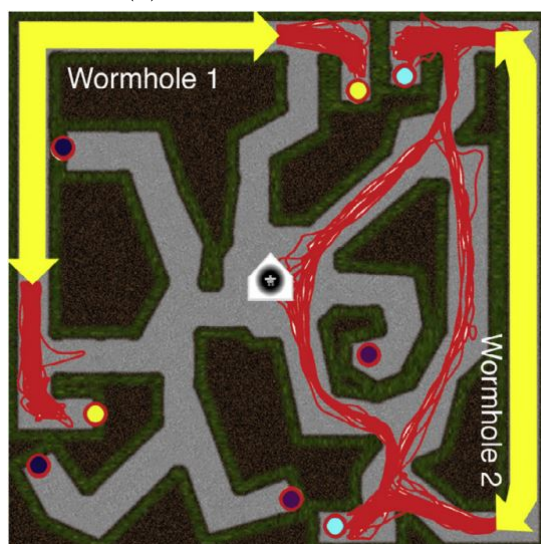
a stamtąd — do drugiego wskazanego obiektu. Test składał się z dwóch zadań: w pierwszym badany przez cały czas przemieszczał się w niezmienionym labiryncie, zaś w drugim, w momencie, gdy dotarł do pierwszego obiektu, ściany labiryntu zniknęły i należało wówczas określić kierunek, w którym najprawdopodobniej znajdował się drugi obiekt, po czym podążać w tę stronę, aż do subiektywnego dotarcia do odpowiedniego miejsca.

Sposoby poruszania się w fazie testowej pomiędzy uczestnikami z grupy eksperymentalnej i testowej zostały następnie porównane i przeanalizowane. Wyniki okazały się niejednoznaczne. Wprawdzie z jednej strony dość mocno przemawiają one za hipotezą reprezentacji przestrzeni w ludzkiej pamięci w postaci grafu etykietowanego, ale — jak stwierdzają sami autorzy — pewne alternatywne wyjaśnienia również są możliwe (jak na przykład chaotyczna mapa euklidesowa).

Rezultaty dotychczas przeprowadzonych badań, z których najważniejsze zostały omówione powyżej, nie wyjaśniają do końca, jak widać, działania mechanizmów ludzkiej nawigacji. Eksperymenty w kierunku ich szczegółowego zrozumienia są wciąż prowadzone, a systemy rzeczywistości wirtualnej mogą się tu okazać niezwykle pomocne.



(a) Wariant euklidesowy



(b) Wariant nieeuklidesowy

Rysunek 2.5: Schemat labiryntu stworzonego w ramach eksperymentu Warrena i in. Korytarze prowadzące do różnych miejsc oznaczone są kolorem szarym, natomiast obiekty znajdujące się na ich końcach — za pomocą kropek (kropki o tych samych kolorach symbolizują pary obiektów wykorzystywane w fazie testowej eksperymentu). Czerwonymi liniami zaznaczono przykładowe trasy, po których poruszali się uczestnicy. W przypadku wariantu nieeuklidesowego „tunele czasoprzestrzenne” oznaczone są poprzez żółte strzałki. Źródło: [21]

Rozdział 3

Systemy rzeczywistości wirtualnej w badaniach zdolności nawigacyjnych człowieka

Jak zostało to opisane w poprzednim rozdziale, początkowo badania dotyczące mechanizmów ludzkiej nawigacji przeprowadzane były w naturalnym środowisku [10, 13]. Jednak, wraz z rozwojem technologii umożliwiającym tworzenie wirtualnych światów, badania te od pewnego czasu zaczęły wykorzystywać również i te technologie.

W trakcie rozwoju owych technologii zaczęto rozróżniać dwa pojęcia związane z symulowanymi światami. Jedno z nich to wirtualne środowiska (ang. *virtual environments*), które oznaczają wirtualne światy w postaci aplikacji komputerowej, z której korzysta uczestnik, siedząc przed ekranem monitora. Drugim pojęciem jest wirtualna rzeczywistość (ang. *virtual reality*), do której można przenieść użytkownika przy wykorzystaniu zaawansowanych technologicznie urządzeń, takich jak specjalistyczne okulary czy odpowiednio przerobione i zintegrowane rowery. W niniejszej pracy pojęcie wirtualnej rzeczywistości jest używane w celu określenia aplikacji wykorzystywanej do symulacji środowiska na potrzeby eksperymentów dotyczących mechanizmów ludzkiej nawigacji, niezależnie od wykorzystywanych urządzeń i zaangażowania uczestnika podczas przebiegu eksperymentu.

Pierwsze zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości do badań nad nawigacją sięgają 1995 roku, w którym to May i in. [11] wykorzystali ją do przeprowadzenia

ludzi po wirtualnym środowisku. Do generowania wirtualnych przestrzeni użyli oni jednostki centralnej Hewlett-Packard RS/25C wyposażonej w kartę graficzną 3D Matrox SM-1281 (256 kolorów, rozdzielczość 1280×1024 pikseli). Obraz był rzutowany na ekran o wymiarach 1.65×2.05 m. Podczas eksperymentu uczestnik siedział przed ekranem bez żadnych dodatkowych sprzętów.

Rok później mechanizmy wirtualnego środowiska zostały wykorzystane ponownie w pracy Tlauka'i i Wilsona [15]. Do stworzenia świata użyto oprogramowania *Dimension International 3-D Construction Kit*. Świat był generowany za pomocą jednostki Commodore PC 486 i prezentowany na ekranie o przekątnej 14 cali. Po stworzonym obszarze uczestnik poruszał się, używając klawiatury.

Kolejna technologia zastosowana w 1995 roku przez Tonga i in. [17] wykorzystywała dodatkowo zintegrowany rower. W efekcie badacze mogli sprawdzić wpływ innych bodźców poza wzrokowymi na funkcjonowanie procesów poznawczych podczas nawigacji. Na podstawie wyników tych eksperymentów doszli oni do wniosku, że dzięki dodatkowym bodźcom osoby, które jechały na rowerze, były w stanie skuteczniej nawigować w przestrzeni.

Następne istotne eksperymenty wykorzystujące technologie wirtualnej rzeczywistości do badań mechanizmów nawigacyjnych człowieka zostały opisane w poprzednim rozdziale.

W najwcześniejszym z nich, przeprowadzonym przez Aginsky i in. [1] w 1997 roku, naukowcy poszli o krok dalej w stosunku do eksperymentu wykorzystującego zintegrowany rower. Tym razem zbudowano symulator pojazdu obejmujący część karoserii. Uczestnicy poruszali się po wirtualnym mieście, wykorzystując w pełni funkcjonalną kierownicę wyposażoną w kierunkowskazy. Ponadto podczas eksperymentu badany odbierał dodatkowe bodźce w postaci dźwięku silnika, który zmieniał się wraz ze zmianą prędkości. Wszystko, co widział uczestnik, było pokazywane na ekranie rzutowanym na ścianę pomieszczenia z częstotliwością 12 klatek na sekundę.

W drugim z eksperymentów, przeprowadzonym przez Gillner i Mallota [6] w 1998 roku, do stworzenia wirtualnego środowiska wykorzystano oprogramowanie *Medit*. Środowisko to animowano przy użyciu stacji roboczej SGI Onyx RealityEngine w tempie 36 klatek na sekundę, a obraz wyświetlano na ekranie monitora. Po wirtualnym świecie uczestnik poruszał się przy użyciu myszy. Mógł się on przy tym poruszać

jedynie po liniach biegnących środkiem drogi — nie było możliwości rozglądania się na boki.

Eksperyment Hurlebaus i in. [7] został przeprowadzony 10 lat później, a zrealizowano go, korzystając z oprogramowania *Virtual Environment Library*. Świat wirtualny był ukazywany uczestnikowi na 19-calowym monitorze. Po stworzonym obszarze badany poruszał się, wykorzystując standardowy joypad (Logitech RumblePad 2). Pomimo użycia innego kontrolera niż klawiatura przypadek ten klasyfikuje się jako środowisko wirtualne z uwagi na brak dodatkowych bodźców oddziałujących na badanego.

Ostatni z opisanych eksperymentów, przeprowadzony przez Warrena i in. [21], w którym wykorzystano efekt „tuneli czasoprzestrzennych”, opierał się już na technologii rzeczywistości wirtualnej znanej dzisiaj. Uczestnicy poruszali się w pełnym zanurzeniu po kwadracie $12\text{ m} \times 12\text{ m}$, wykorzystując hełm wideo Kaiser Pro-View 80 z $63^\circ\text{H} \times 53^\circ\text{V}$ polem widzenia oraz rozdzielczością 640×512 pikseli per oko. Dodatkowo każdy z badanych podczas eksperymentu nosił słuchawki, w których można było usłyszeć wieczorne dźwięki otoczenia.

Jak można zauważyć na podstawie powyższego przeglądu, na przestrzeni lat technologie pozwalające na tworzenie wirtualnych światów rozwinęły się znacząco. Dzięki temu możliwe było przeprowadzanie coraz bardziej zaawansowanych eksperymentów oraz badanie różnych aspektów mających wpływ na działanie mechanizmów ludzkiej nawigacji. Technologie te nadal się rozwijają, co stwarza w tym zakresie jeszcze większe możliwości na przyszłość i otwiera nowe drogi badawcze.

Rozdział 4

System do badania zdolności nawigacyjnych człowieka oparty na platformie *Unity*

4.1 Ogólna charakterystyka

Każdy z eksperymentów omówionych w poprzednim rozdziale przeprowadzony był przy użyciu innego systemu rzeczywistości wirtualnej, stworzonego specjalnie na potrzeby danych badań. Celem niniejszej pracy była implementacja symulatora w miarę możliwości uniwersalnego, który mógłby być zastosowany do całej gamy różnorodnych eksperymentów. Zgodnie z założeniami symulator ten miał być łatwo adaptowalny do nowych badań, a także automatyzować proces zbierania danych.

System do badań mechanizmów ludzkiej nawigacji zaimplementowany w ramach niniejszej pracy został stworzony przy użyciu silnika *Unity* w wersji 2018.3.6f1 na systemy operacyjne Windows o architekturze 64-bitowej. Skrypty będące składnikiem systemu zostały napisane w języku C#. Stworzony system jest typu *desktop* i nie wykorzystuje dodatkowych sprzętów typu gogle VR.

Kod źródłowy systemu zostanie opublikowany w serwisie GitHub z licencją Apache License 2.0. Pozwoli to na wykorzystanie systemu przez różnych badaczy, prowadzenie eksperymentów w różnych ośrodkach, a także możliwość ich replikacji przez inne osoby. Umożliwi także dalsze jego rozwijanie przez zainteresowane strony.

Dalsza część rozdziału została podzielona na trzy części:

1. przeznaczenie systemu — zawiera informacje o rodzaju eksperymentów, do których stworzony system może znaleźć zastosowanie;
2. opis systemu dla użytkownika — zawiera informacje niezbędne do poprawnego korzystania z systemu oraz opis możliwych modyfikacji systemu bez ingerencji w kod źródłowy;
3. opis systemu dla programisty — zawiera informacje umożliwiające dostosowanie systemu do eksperymentów wymagających dodania nowej mapy lub zmodyfikowania istniejącej, a także pozwalające na bardziej zaawansowane modyfikacje systemu, co wiąże się z koniecznością wytworzenia jego nowej wersji.

4.2 Przeznaczenie systemu

Stworzenie uniwersalnego systemu rzeczywistości wirtualnej do badań mechanizmów ludzkiej nawigacji jest niemożliwe. Eksperymenty różnią się od siebie, czasami nawet znacząco. Jednak wiele z nich posiada podobną charakterystykę, wykorzystuje te same metody badawcze czy wymaga zebrania podobnych danych. Zidentyfikowanie takiego wspólnego mianownika stanowi punkt wyjścia do zaprojektowania systemu umożliwiającego prowadzenie całej gamy badań opartych na określonej metodologii.

Aby system stworzony w ramach niniejszej pracy mógł zostać wykorzystany w danym eksperymencie, eksperyment ten musi spełniać kilka podstawowych warunków. Przede wszystkim, jeśli chodzi o zadanie postawione przed uczestnikiem, powinno ono polegać na pokonaniu zaprojektowanej trasy od punktu początkowego do końcowego — system nie oferuje możliwości swobodnego zwiedzania utworzonego świata. Trasa do pokonania powinna składać się z co najmniej dwóch skrzyżowań. Celem całego eksperymentu lub jego fazy treningowej powinno być przebycie przez osobę badaną owej trasy określoną liczbę razy lub jej bezbłędne pokonanie. System umożliwia prowadzenie treningów w dwóch różnych trybach, a także przeprowadzanie dodatkowych testów, do czego służy trzeci tryb. Wszystkie trzy tryby opisane są w dalszej części rozdziału — różnią się one sposobem nawigacji użytkownika po świecie.

System pozwala dodatkowo na zamianę obiektów świata na różnych etapach prowadzenia eksperymentu. Jest to funkcjonalność opcjonalna, przydatna podczas testów.

Do przeprowadzenia eksperymentu konieczne jest stworzenie dwóch rzeczy: mapy stanowiącej scenę wirtualnego świata oraz pliku konfiguracyjnego kontrolującego przebieg eksperymentu. Dzięki wykorzystaniu silnika *Unity* stworzenie mapy wirtualnego świata jest stosunkowo proste. Każda zaprojektowana mapa w tym środowisku, o ile tylko zawiera pewne niezbędne elementy opisane w dalszej części rozdziału, może być użyta do eksperymentów — jej złożoność jest ograniczona jedynie poprzez zmysł eksperymentatora. Z kolei pliki konfiguracyjne mają postać plików tekstowych, toteż mogą być tworzone i edytowane za pomocą dowolnego edytora.

Podstawowym celem przeprowadzenia każdego eksperymentu jest zebranie danych. System został tak zaprojektowany, aby umożliwiać zbieranie całego ich spektrum, co zostało przedstawione szczegółowo w dalszej części rozdziału.

4.3 Opis systemu dla użytkownika

Przed rozpoczęciem eksperymentu należy zapoznać się ze wszystkimi aspektami systemu umożliwiającymi jego bezproblemowe przeprowadzenie:

- plik konfiguracyjny;
- uruchomienie systemu;
- sterowanie;
- menu główne;
- przebieg eksperymentu;
- dane statystyczne.

Dalsza część podrozdziału została podzielona na części, z których każda opisuje jedną cechę systemu.

4.3.1 Plik konfiguracyjny

Pierwszym etapem — jeszcze przed uruchomieniem systemu — jest stworzenie odpowiedniego pliku konfiguracyjnego. Plik ten odpowiada za odpowiednie skonfigurowanie eksperymentu. Na etapie projektowania i tworzenia systemu zakładano, że zostanie on wykorzystany ponownie do przeprowadzenia podobnych badań. Plik konfiguracyjny umożliwia na przykład zmianę trasy, po której ma za zadanie poruszać się użytkownik, bez ingerencji w kod źródłowy systemu.

Plik zawierający parametry eksperymentu powinien zostać utworzony w formacie JSON. Listing 4.1 przedstawia przykładową strukturę pliku konfiguracyjnego. Posiada on następujące pola:

- *gatheringMovementFrequency* — częstotliwość, z jaką będą zbierane dane dotyczące aktualnej pozycji badanego wyrażone w sekundach;
- *mapName* — nazwa mapy, na której zostanie przeprowadzone doświadczenie;
- *scenarios* — definicje scenariuszy eksperymentalnych, które zostaną przeprowadzone na wcześniej zadeklarowanej mapie.

Parametr *gatheringMovementFrequency* definiuje częstotliwość, z jaką zostaną zbierane dane dotyczące aktualnej pozycji użytkownika na mapie. Wartość zmiennej wyrażona jest w sekundach. Oznacza to, że gdy parametr będzie miał wartość 1, to aktualna pozycja badanego będzie zapisywana co jedną sekundę w postaci dwóch liczb zmiennoprzecinkowych (współrzędne X oraz Z układu współrzędnych). Po zakończeniu eksperymentu zebrane w ten sposób dane zostaną zapisane do pliku *movement.csv*. Wszystkie definicje plików utworzonych po zakończeniu eksperymentu zostaną opisane w podrozdziale 4.3.6.

Nazwa mapy znajdująca się w pliku konfiguracyjnym powinna być jedną z wymienionych w rozdziale 5 lub jedną z nowo dodanych. Nazwa mapy ma wpływ na scenariusze testowe. W przypadku pojedynczego scenariusza definiujemy trasę eksperymentu oraz zamiany budynków, jakie mają zostać dokonane podczas konkretnego wariantu. System spróbuje odtworzyć zdefiniowaną drogę oraz zamiany na mapie o podanej nazwie. W przypadku podania błędnej nazwy system nie będzie w stanie rozpocząć eksperymentu. Należałoby w takim przypadku zmodyfikować plik, aby zawierał poprawne nazewnictwo mapy.

```

{
  "gatheringMovementFrequency": 0.1,
  "mapName": "ExperimentRoad01",
  "scenarios": [
    {
      "mode": "TR1",
      "count": 0,
      "path": [
        "wpt01",
        "int01",
        "int02",
        "int03"
      ],
      "buildingChanges": [
        {
          "object1": "building01",
          "object2": "building02",
          "type": "COLOR"
        },
        {
          "object1": "building03",
          "object2": "building04",
          "type": "PLACEMENT"
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Listing 4.1: Przykładowa zawartość pliku konfiguracyjnego w formacie JSON

Ostatnim parametrem jest tablica scenariuszy, jakim badana osoba zostanie poddana (podejście próbe ich poprawnego wykonania). Pojedynczy scenariusz posiada następujące pola:

- *mode*;

- *count*;
- *path*;
- *buildingChanges*.

Mode definiuje tryb, w jakim ma zostać przeprowadzony scenariusz. Dostępne wartości to:

- *TR1* — tryb treningowy 1. Na ekranie ciągle wyświetlana jest strzałka nawigacyjna, która wskazuje badanemu drogę do celu.
- *TR2* — tryb treningowy nr 2. Strzałka zostaje wyświetlana w przypadku błędnego wyboru na skrzyżowaniu lub w przypadku wciśnięcia klawisza pomocy (domyślnie H).
- *TEST* — tryb testowy, brak jakiejkolwiek wspomagania nawigacji. Istotne jest dokonanie wyboru na skrzyżowaniu. Po błędzie użytkownik nie zostaje cofnięty przed skrzyżowanie. Wszystkie scenariusze w tym trybie niezależnie od ich wyniku są wykonywane tylko jeden raz.

Count oznacza ile razy należy przebyć dany scenariusz przed przystąpieniem do kolejnego. W przypadku ustawienia wartości na 0 lub mniej użytkownik będzie musiał przebyć dany scenariusz bezbłędnie, zanim będzie mógł przejść do kolejnego.

Path jest tablicą nazw skrzyżowań lub punktów pośrednich, które składają się na trasę w ramach danego scenariusza. W scenie i określonej mapie zostają wyszukiwane skrzyżowania lub punkty, które powinny składać się na całą trasę. W przypadku błędnego wpisania nazwy punktu nie będzie możliwości rozpoczęcia eksperymentu. Identyfikatory przecięć dróg oraz punktów są zdefiniowane w każdej z map pod obiektem *ExperimentIntersections* oraz *Waypoints*.

BuildingChanges jest opcjonalnym parametrem, który — jeśli podany — uruchamia mechanizm podmiany budynków w danym scenariuszu. Pojedynczy obiekt zamiany posiada dwa identyfikatory budynków, które mają zostać zamienione, oraz typ zamiany. Dostępne typy zamiany to:

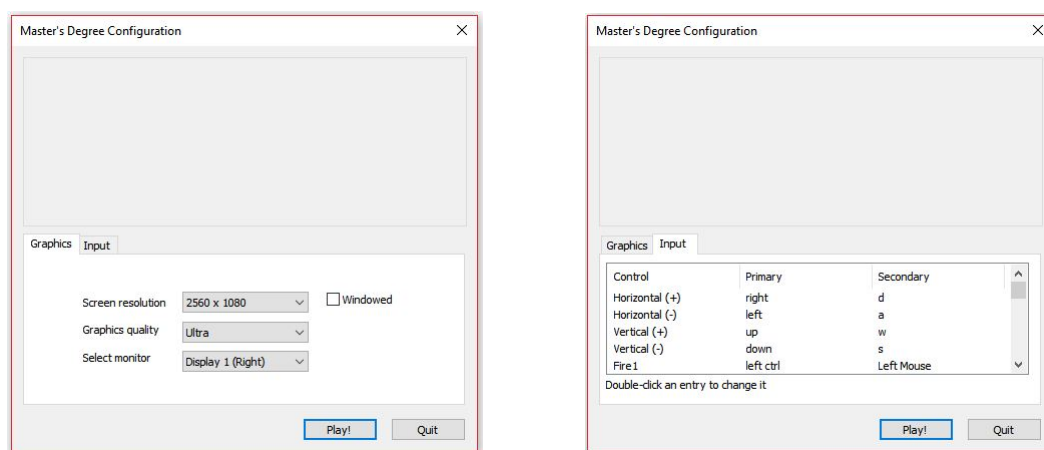
- *COLOR* — zamiana kolorów budynków;

- *PLACEMENT* — zamiana budynków miejscami;
- *COLOR_AND_PLACEMENT* — zamiana budynków kolorami oraz miejscami.

W przypadku podania błędnego parametru zamiany nie będzie możliwości uruchomienia eksperymentu. W takim przypadku należy zmodyfikować plik konfiguracyjny, aby zawierał poprawne dane.

4.3.2 Uruchomienie systemu

Po odpowiednim przygotowaniu pliku konfiguracyjnego można uruchomić system. Oprogramowanie należy uruchomić poprzez odszukanie w katalogu pliku wykonywalnego *NavigationExperimentsSystem.exe*. Po dwukrotnym kliknięciu na plik wyświetlone zostaje okno uruchomieniowe, w którym możemy dostosować ustawienia wyświetlania oraz sterowanie. Przykładowe okno wraz z ustawieniami zostało zaprezentowane na rysunku 4.1. Po odpowiednim dostosowaniu ustawień należy wcisnąć klawisz *Play!* na ekranie.



(a) Ustawienia grafiki

(b) Ustawienia sterowania

Rysunek 4.1: Przykładowe okno uruchomieniowe systemu

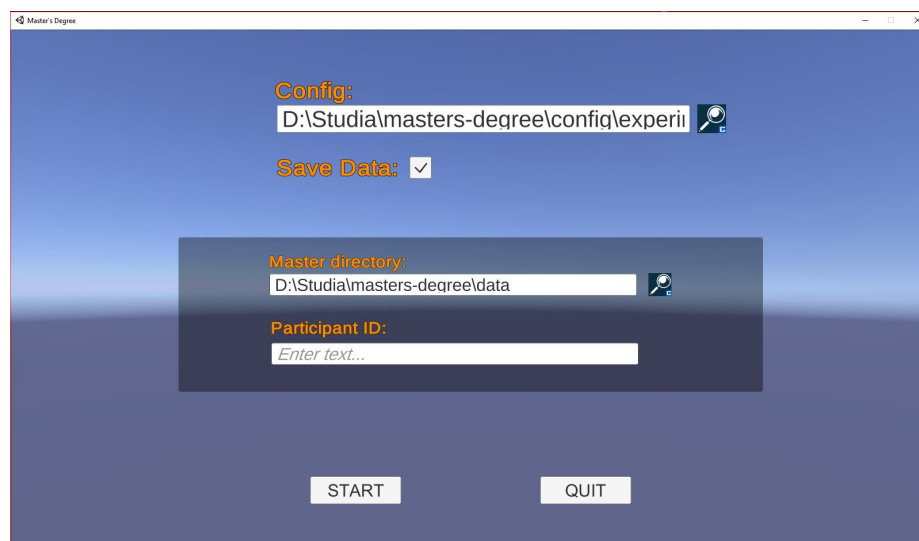
4.3.3 Sterowanie

W przypadku używania domyślnych ustawień sterowania w systemie jako kontrolery wykorzystywane są mysz oraz klawiatura. Mysz służy do obsługi interfejsu

użytkownika, na przykład wybrania odpowiedniego pliku konfiguracyjnego czy rozpoczęcia eksperymentu. W świecie wirtualnym uczestnik do poruszania się używa klawiatury. W środowisku użytkownik porusza się z prędkością nie mniejszą niż prędkość minimalna w kierunku wskazywanym przez kamerę (czyli w kierunku, w którym aktualnie spogląda). W celu przyspieszenia (na przykład na dłuższych prostych odcinkach trasy) należy przytrzymać klawisz W lub strzałkę w górę. Po jego zwolnieniu uczestnik wraca do prędkości minimalnej. Aby zmienić kierunek poruszania się, należy skorzystać z klawiszy A albo D lub — odpowiednio — strzałki w lewo albo w prawo. Zmiana kierunku polega na zmianie rotacji obiektu, którym porusza się użytkownik, względem osi OY . W systemie nie ma możliwości poruszania się wstecz. Dodatkowym wykorzystywanym klawiszem jest H, który uaktywnia strzałkę nawigacyjną — jest on aktywny tylko w trybie *TR2*.

4.3.4 Menu główne

Po uruchomieniu programu pojawia się główne menu, w którym użytkownik ma do wyboru szereg parametrów umożliwiającą odpowiednią modyfikację środowiska eksperymentalnego. Na rysunku 4.2 przedstawiono widok głównego menu ze wszystkimi możliwymi opcjami.



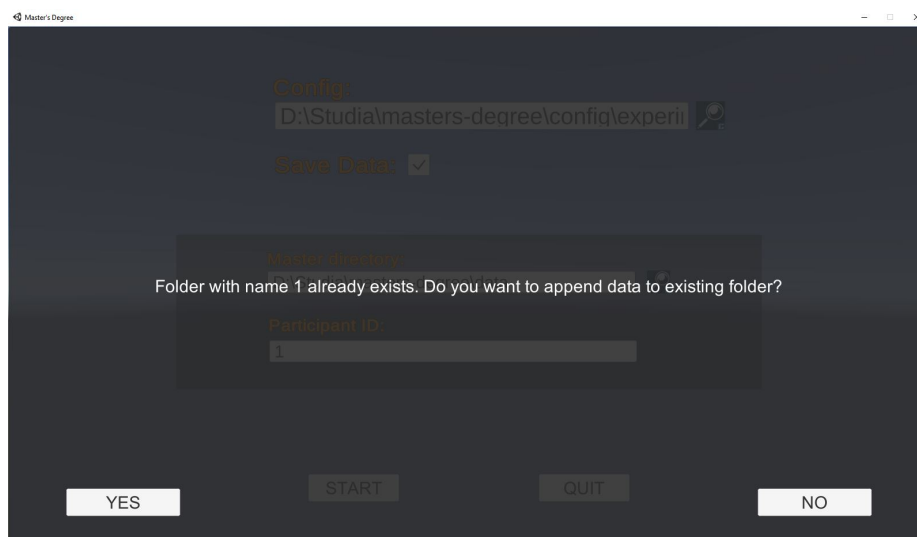
Rysunek 4.2: Widok głównego menu systemu

Pierwszym i wymaganym parametrem jest ścieżka do pliku konfiguracyjnego opi-

sanego w podrozdziale 4.3.1. Lokalizacja pliku może zostać wybrana poprzez kliknięcie na przycisk lupy — ukaże się wtedy okno eksploratora systemowego, który umożliwia wybór odpowiedniego pliku. Alternatywą jest wpisanie ścieżki w miejsce pod etykietą *Config*.

Kolejny parametr — *Save Data* — dotyczy uruchomienia mechanizmu automatycznego zbierania danych statystycznych. Jest zmienną opcjonalną. Jednak w przypadku jej zaznaczenia kolejne dwa parametry są wymagane.

Master directory wskazuje na ścieżkę do katalogu zawierającego podkatalogi z zebranymi danymi podczas różnych eksperymentów. *Participant ID* określa identyfikator osoby badanej podchodzącej do eksperymentu, jednocześnie definiując nazwę pojedynczego podkatalogu, do którego zostaną zapisane dane. Po zakończeniu eksperymentu dane zostaną zatem zapisane pod ścieżką *Master directory/Participant ID*. W przypadku, gdy istnieje już katalog o podanej nazwie, system wyświetli odpowiedni komunikat zaprezentowany na rysunku 4.3.



Rysunek 4.3: Widok ekranu informującego o istnieniu katalogu o podanej nazwie

4.3.5 Przebieg eksperymentu

Po wybraniu wymaganych oraz opcjonalnych parametrów uruchomieniowych można przystąpić do rozpoczęcia eksperymentu. W tym celu należy wcisnąć przycisk *START* w menu głównym. Po jego wciśnięciu nastąpi wczytanie odpowiedniej mapy,

trasy oraz parametrów pierwszego ze scenariuszy zdefiniowanych w pliku konfiguracyjnym.

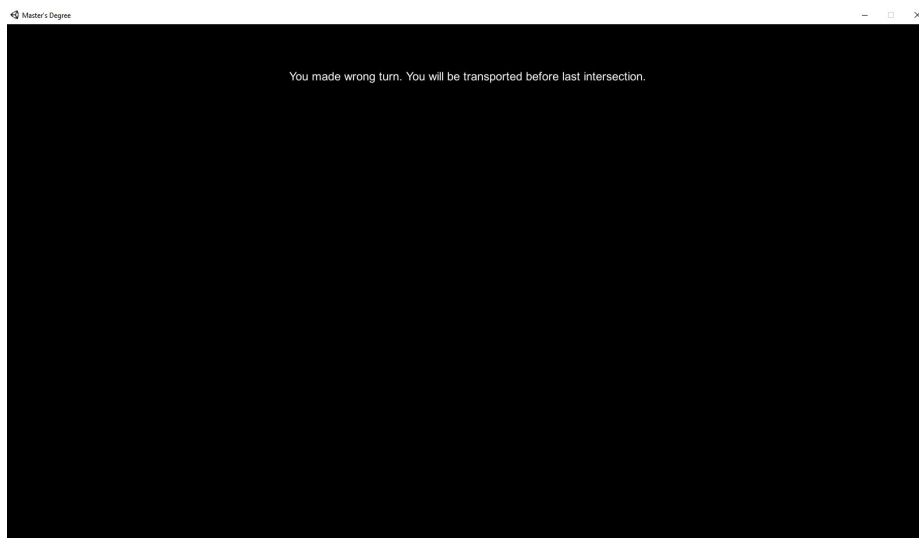
Pierwszym widokiem, jaki pojawi się przed badanym, jest czarne tło z przyciskami *START* oraz *CANCEL*. Po stwierdzeniu gotowości do rozpoczęcia eksperymentu badany powinien wcisnąć pierwszy przycisk. Gdy z jakiegoś powodu nie jest gotowy lub chce przerwać próbę, powinien kliknąć drugi z przycisków. Ekran startowy został zaprezentowany na rysunku 4.4.



Rysunek 4.4: Ekran startowy eksperymentu

Główna część eksperymentu polega na tym, że osoba badana ma przebyć zadaną w pliku konfiguracyjnym trasę. W trybach treningowych w przypadku pomyłki na rozstaju dróg i wykonaniu błędnego manewru zostanie ona przeniesiona przed skrzyżowanie i będzie mogła ponownie dokonać wyboru. W przypadku, gdy parametr *Save Data* został zaznaczony, to po błędnej decyzji zostanie zapisany w danych nowy rekord informujący o pomyłce. Na rysunku 4.5 został przedstawiony ekran informujący o błędnym wyborze i powrocie przed skrzyżowanie.

Po przebyciu zadanej trasy istnieją dwa warianty zachowań systemu zależne od wartości parametru *count*. Pierwszym z nich jest przejście do kolejnego scenariusza — w tym wypadku zostanie użytkownikowi ukazany ekran zademonstrowany na rysunku 4.7. W przeciwnym razie użytkownik zobaczy ekran z rysunku 4.6. Gdy scenariusz był ostatnim i nie ma potrzeby jego powtarzania, nastąpi zakończenie eksperymentu,



Rysunek 4.5: Ekran dokonania błędnej decyzji na skrzyżowaniu

który zakończy się ekranem zaprezentowanym na rysunku 4.8.

4.3.6 Dane podlegające rejestracji

Po zakończeniu eksperymentu w wybranym wcześniej katalogu znajdują się dane zarejestrowane podczas doświadczenia — pod warunkiem zaznaczenia opcji *Save Data*. W katalogu pod ścieżką

Master directory/ParticipantID/<data>_<tryb_eksperymentu>

znajdują się cztery pliki:

- *stats.json*;
- *choices.csv*;
- *events.csv*;
- *movement.csv*.

Ostatni element struktury katalogów — <data>_<tryb_eksperymentu> — jest katalogiem o nazwie składającej się z aktualnej daty podejścia uwzględniającej także czas rozpoczęcia próby oraz trybu eksperymentu. Dokładne wyjaśnienie, w jaki sposób powstaje nazwa katalogu, zawarte jest w kolejnym podrozdziale.



Rysunek 4.6: Ekran kontynuowania obecnego scenariusza

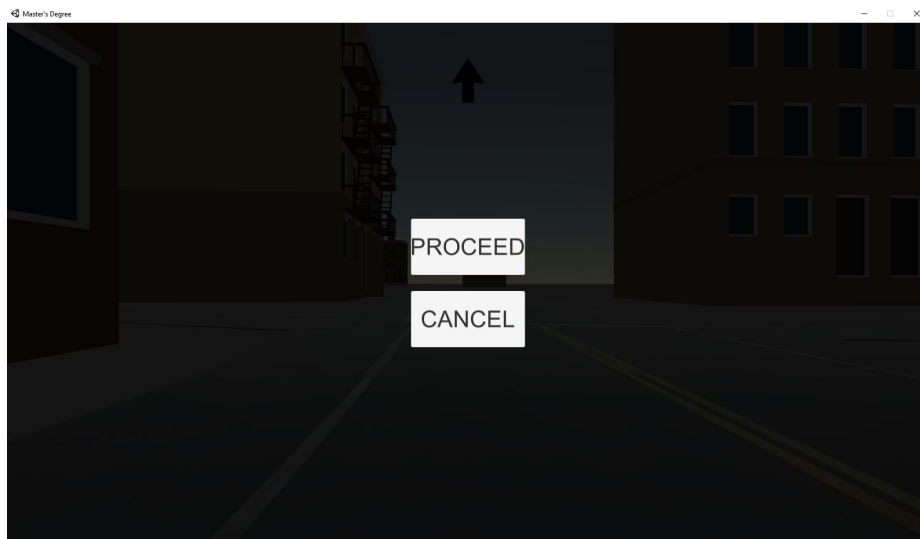
Plik *stats.json* zawiera dane dotyczące ogólnych informacji o eksperymencie. Przykładowa zawartość pliku została przedstawiona na listingu 4.2. Plik posiada informacje o identyfikatorze osoby badanej, której dotyczą zarejestrowane dane, czasie rozpoczęcia eksperymentu oraz jego zakończenia, a także czasie trwania próby.

```
{
  "time": {
    "startTime": "2019-12-27 15:00:00",
    "endTime": "2019-12-27 15:01:15",
    "duration": "00:01:15"
  },
  "participant": {
    "identifier": "PersonIdentifierX"
  }
}
```

Listing 4.2: Przykładowa zawartość pliku *stats.json*

Plik *choices.csv* zawiera informację o decyzjach podejmowanych przez użytkownika podczas pokonywania trasy. Składa się on z czterech kolumn:

1. czas od rozpoczęcia eksperymentu wyrażony w sekundach;



Rysunek 4.7: Ekran przejścia do kolejnego scenariusza

2. identyfikator skrzyżowania, na którym dokonywano wyboru;
3. identyfikator bryły kolizyjnej, przez którą przeszedł użytkownik;
4. określenie poprawności wyboru.

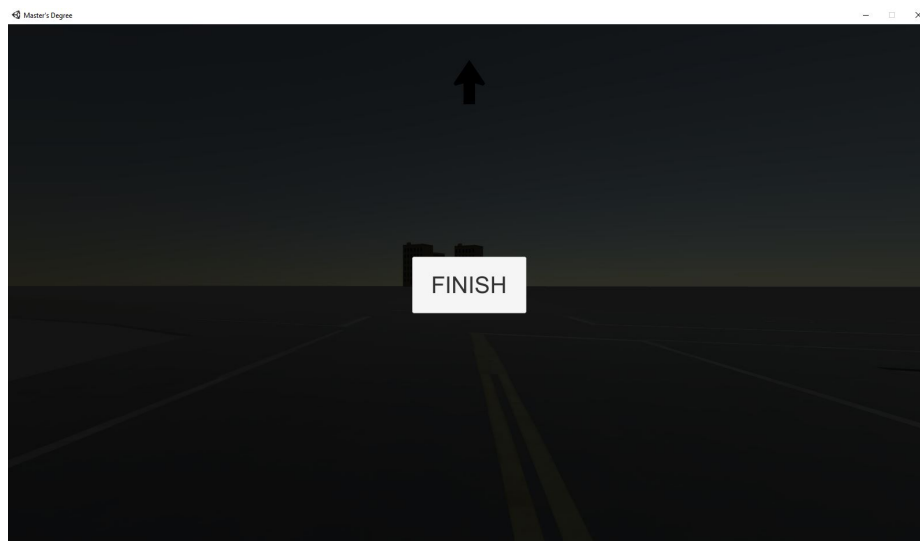
Identyfikator bryły kolizyjnej jest tworzony według następującego wzorca: `coll_<identyfikator skrzyżowania>_<kąt skrętu>`. Umożliwia to dokładniejszą analizę wyników na późniejszym etapie i wychwycenie predyspozycji badanych do pomyłek w danym kierunku. Poprawność wyboru przyjmuje wartości: 0 (błędny) lub 1 (poprawny). Przykładowa zawartość pliku została przedstawiona na listingu 4.3.

```
5.0;int09;coll_int09_45;1
9.9;int02;coll_int02_96;0
12.5;int02;coll_int02_12;1
```

Listing 4.3: Przykładowa zawartość pliku *choices.json*

Trzeci z plików — *events.csv* — zawiera informacje o zdarzeniach, jakie miały miejsce podczas pokonywania trasy. Listing 4.4 zawiera przykładową zawartość pliku. Pierwsza kolumna pliku opisuje typ zdarzenia, które wystąpiło. Możliwe są trzy typy:

- C — użytkownik przeszedł przez bryłę kolizyjną;



Rysunek 4.8: Ekran zakończenia eksperymentu

- H — użytkownik wcisnął klawisz *HELP* (domyślnie H);
- R — użytkownik dokonał błędnej decyzji na skrzyżowaniu i został przeniesiony przed skrzyżowanie.

Druga kolumna określa czas, w którym nastąpiło zdarzenie, liczony od rozpoczęcia próby. Ostatnia z kolumn określa bryłę kolizyjną bądź skrzyżowanie, którego ono dotyczy.

```
C;22.3;coll_wpt01_-170
C;23.0;coll_wpt02_125
C;27.5;coll_int02_-169
C;28.5;coll_int02_12
C;35.1;coll_wpt02_116
```

Listing 4.4: Przykładowa zawartość pliku *events.json*

Ostatni plik — *movement.csv* — zawiera informacje odnośnie pozycji użytkownika. Plik zawiera kolejno:

1. czas od rozpoczęcia próby wyrażony w sekundach;
2. współrzędną X układu współrzędnych;

3. współrzędną Z układu współrzędnych;

Jego przykładowa zawartość została przedstawiona na listingu 4.5.

```
21.1;868.47;236.13
21.2;868.47;236.13
21.2;895.66;-84.80
21.3;895.58;-84.31
21.4;895.51;-83.81
21.5;895.43;-83.32
21.6;895.37;-82.87
21.7;895.18;-81.64
21.8;894.77;-78.89
22.0;894.13;-74.66
```

Listing 4.5: Przykładowa zawartość pliku *moevent.csv*

4.4 Opis systemu dla programisty

W celu zmiany zachowania systemu, dodania nowej mapy lub zmodyfikowania istniejącej należy zmodyfikować kod źródłowy lub scenę, a następnie wytworzyć nową wersję oprogramowania. Aby zrealizować powyższe czynności, należy posłużyć się edytorem *Unity* w wersji co najmniej 2018.3.6f1. Podczas tworzenia systemu zostały dodatkowo wykorzystane następujące biblioteki:

- *Road Architect* v1.7 — umożliwia tworzenie systemu dróg w przystępny i przyjemny sposób [12];
- *File Browser* v2019.5.2 — udostępnia funkcjonalność wyboru pliku (uruchamia domyślny eksplorator systemowy i zwraca referencję do pliku bądź katalogu) [3].

Dalsza część podrozdziału zawiera opis struktury scen oraz tego, jak można dodać nową lub zmodyfikować istniejącą mapę. Ponadto omówione zostaną grupy klas kodu źródłowego i ich odpowiedzialności, pominięte natomiast zostaną szczegóły dotyczące bibliotek, których dokumentację można zaczerpnąć ze źródeł.

Po otwarciu projektu w edytorze *Unity* mamy do wyboru jedną z dwóch scen: *MainMenu* oraz *ExperimentEnvironment*. Pierwsza z nich zawiera układ przycisków

oraz wejść w głównym menu. Tutaj ustawiane zostają odpowiednie parametry uruchomieniowe programu, m. in. ścieżka do pliku konfiguracyjnego. Druga ze scen zawiera strukturę i niezbędne komponenty środowiska eksperymentalnego — to w niej należy umieścić nowo tworzoną mapę lub szukać odpowiedniej do modyfikacji.

4.4.1 *MainMenu*

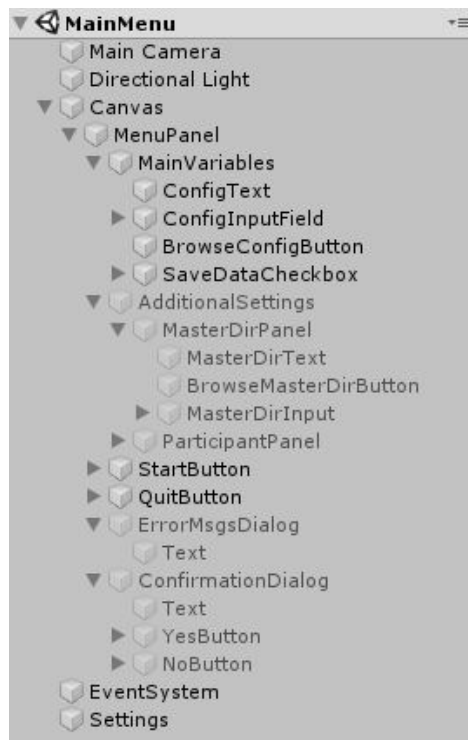
Struktura sceny głównego menu nie jest skomplikowana i została zaprezentowana na rysunku 4.9. Jej główną częścią jest *Canvas*, w którym znajdują się wszystkie elementy menu. Więcej informacji odnośnie tego komponentu można znaleźć w [2]. W celu poprawnego działania menu oraz odpowiedniej walidacji wpisywanych wartości możemy wyróżnić 6 głównych elementów:

1. Pole do wprowadzenia ścieżki pliku konfiguracyjnego oraz checkbox *Save Data* (*MainVariables*). Wszystkie wymagane parametry uruchomieniowe powinny zostać umieszczone pod obiektem *MainVariables*.
2. Panel z dodatkowymi informacjami (ścieżka do zapisu danych, identyfikator osoby badanej) uaktywniane odpowiednio po zaznaczeniu opcji *Save Data* (*AdditionalSettings*).
3. Przycisk rozpoczynający eksperyment (*StartButton*).
4. Przycisk umożliwiający zakończenie działania systemu (*QuitButton*).
5. Panel zawierający informację o błędnie wprowadzonych danych (*ErrorMsgsDialog*).
6. Dialog informujący o istnieniu katalogu do zapisu danych (*ConfirmationDialog*).

Wszystkie elementy widoku użytkownika są domyślnymi kontrolkami, których dokumentację można znaleźć na stronie *Unity* [20]. Dodatkowo w celu stylizacji estetycznej GUI i większej możliwości modyfikacji tekstów (kolor, rozmiar tekstu, czcionka) wykorzystano pakiet *TextMesh Pro* [14].

4.4.2 *ExperimentEnvironment*

Druga ze scen — *ExperimentEnvironment* — zawiera elementy docelowego środowiska eksperymentalnego. Zasady przypisywania komponentów do obiektów sceny

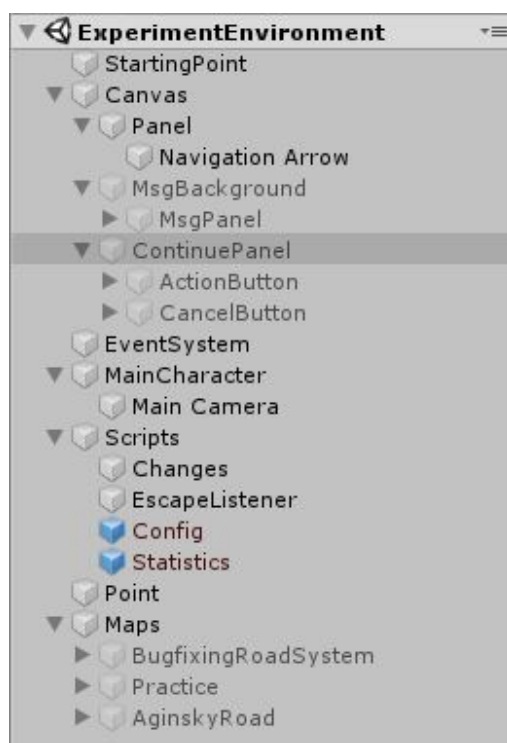


Rysunek 4.9: Struktura sceny głównego menu

oraz ogólne zasady tworzenia scen można znaleźć w dokumentacji oraz na stronie *unity Learn* [19, 20]. Struktura obiektów sceny w tym wypadku jest bardziej skomplikowana od poprzedniej, jednak już na bazie projektowania starano się zadbać o to, aby była stosunkowo prosta oraz otwarta na modyfikacje. Hierarchię obiektów można zobaczyć na rysunku 4.10.

Podobnie jak w poprzedniej scenie jest tu kilka elementów, na które należy zwrócić szczególną uwagę. Są nimi:

1. Canvas;
2. MainCharacter;
3. Scripts;
4. Maps.



Rysunek 4.10: Struktura sceny środowiska eksperymentalnego

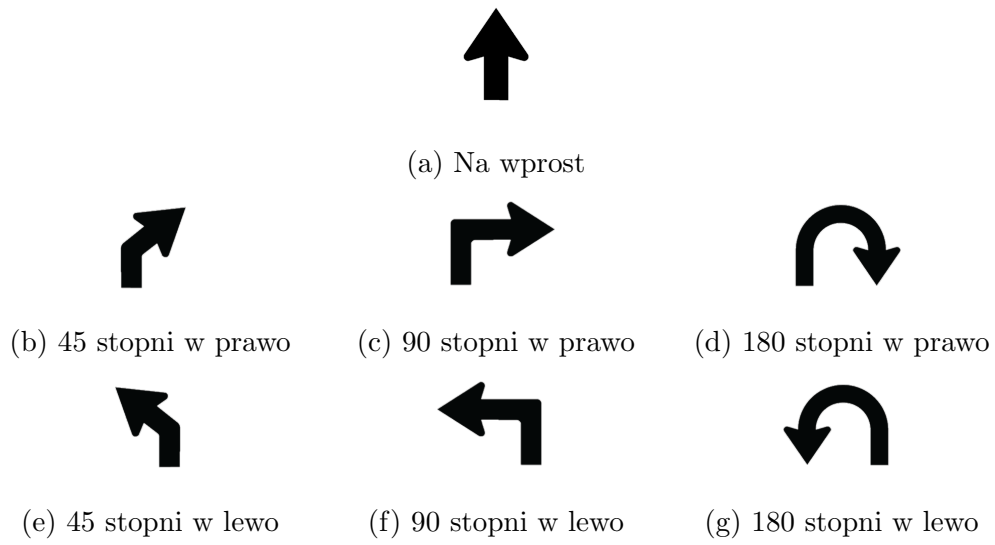
Canvas

Analogicznie do obiektu w poprzedniej scenie, również tutaj **Canvas** pełni taką samą rolę — zawiera w sobie elementy interfejsu użytkownika, które są wyświetlane na ekranie. W stworzonym systemie mamy trzy rodzaje elementów, jakie zostają wyświetlone dla osoby badanej: strzałkę nawigacyjną, ekran z informacją o popełnionym błędzie oraz ekran kontynuacji eksperymentu.

Pierwszym elementem, który najczęściej będzie widział użytkownik podczas eksperymentu, jest strzałka nawigacyjna. Zostaje ona wyświetlana w 6 wariantach zaprezentowanych na rysunku 4.11.

Kierunek strzałki jest wybierany na podstawie kąta pomiędzy wektorem wskazującym kierunek do kolejnego punktu na trasie a wektorem rotacji kamery. Innymi słowy, jest to kąt między kierunkiem patrzenia użytkownika a kierunkiem do kolejnego punktu. Odpowiednia forma strzałki jest wybierana na podstawie wartości kąta opisanego wcześniej, według danych zawartych w tabeli 4.1.

Zasady działania mechanizmu wspomagania nawigacji różnią się w zależności od



Rysunek 4.11: Możliwe warianty strzałki nawigacyjnej

Kąt pomiędzy wektorami	Wariant strzałki
$\langle -45^\circ; 45^\circ \rangle$	a
$\langle 45^\circ; 90^\circ \rangle$	b
$\langle 90^\circ; 135^\circ \rangle$	c
$\langle 135^\circ; 180^\circ \rangle$	d
$\langle -45^\circ; -90^\circ \rangle$	e
$\langle -90^\circ; -135^\circ \rangle$	f
$\langle -135^\circ; -180^\circ \rangle$	g

Tabela 4.1: Warianty strzałki nawigacyjnej w zależności od kąta między wektorem kierunku rotacji kamery względem osi Y oraz wektorem wskazującym kierunek do kolejnego punktu na ścieżce eksperymentu. Kształty strzałek odpowiadają oznaczeniom z rysunku 4.11.

trybu eksperymentu. W systemie wyróżniamy 3 tryby uruchomieniowe:

- *TR1* — tryb treningowy 1. Użytkownik ciągle widzi strzałkę nawigacyjną wskazującą kolejny punkt na trasie, a więc pokazującą kierunek, w którym powinien się poruszać.
- *TR2* — tryb treningowy 2. Badany uzyskuje podpowiedzi w postaci strzałki na swoje wyraźne żądanie (wcisnięcie przycisku *Help* — domyślnie klawisz *H*) lub po podjęciu niepoprawnej decyzji na jednym z rozwidleń (skrzyżowań). Ikona zostaje pokazana na czas 5 sekund.
- *TEST* — tryb testowy. Osoba biorąca udział w doświadczeniu nie uzyskuje żadnej pomocy — mechanizm wspomagania nawigacji jest nieaktywny.

Drugim elementem, jaki można zaobserwować na ekranie, to widok wiadomości — konkretnie widok informujący o błędnej decyzji podjętej na skrzyżowaniu (rysunek 4.5). Zostaje on aktywowany na 3 sekundy po wykryciu pomyłki na rozwidleniu. Po upływie czasu badany zostaje przeniesiony do punktu leżącego przed skrzyżowaniem i może podjąć decyzję ponownie. W przypadku trybu *TR2* zostaje również uaktywniona strzałka nawigacyjna na 5 sekund. W hierarchii obiektów (rysunek 4.10) panel wiadomości znajduje się pod nazwą `MsgBackground`, a w nim z kolei znajduje się panel `MsgPanel` posiadający odpowiedni tekst.

Ostatnią częścią interfejsu użytkownika jest panel kontynuacji doświadczenia. Widnieje on w hierarchii obiektów (rysunek 4.10) pod nazwą `ContinuePanel`. Zostaje on uaktywniony w przypadku zakończenia scenariusza lub zakończenia całego eksperymentu. Zakończenie eksperymentu definiujemy jako ukończenie wszystkich scenariuszy ze skutkiem pozytywnym. Każdy z ekranów zawiera `CancelButton`, który w każdej chwili pozwala na przerwanie eksperymentu i powrót do głównego menu, oraz opcjonalnie `ActionButton`, który umożliwia wykonanie innej akcji niż zakończenie eksperymentu (przeniesienie na początek trasy w ramach pojedynczego scenariusza lub do innej lokalizacji w kolejnym scenariuszu). W systemie można rozróżnić 3 typy ekranów kontynuacji:

- Pierwszym z nich jest ekran, na którym widnieją dwa przyciski: `CONTINUE` oraz `CANCEL` (rysunek 4.6). Oznacza to, że scenariusz został zakończony, ale należy go przebiec ponownie. Kolejne próby w ramach pojedynczego scenariusza

są uwarunkowane zmienną *count* omówioną w podrozdziale 4.3.1. Badany po kliknięciu na klawisz **CONTINUE** zostanie przeniesiony do początkowego punktu scenariusza.

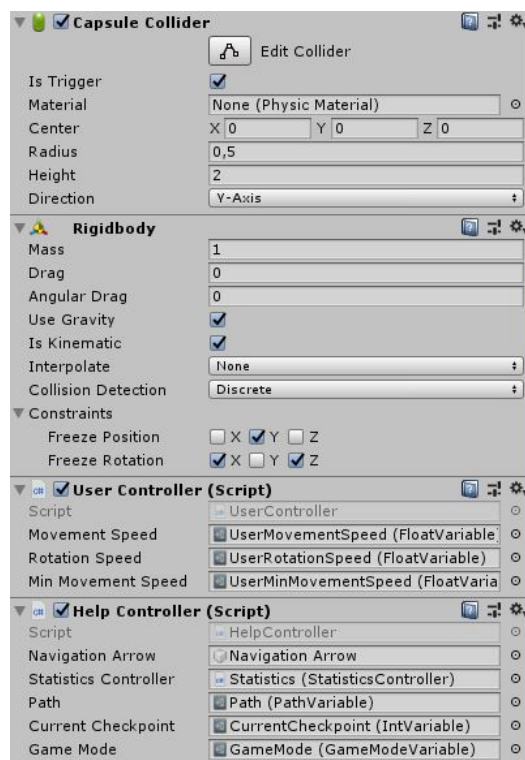
- Kolejny widok informuje o zakończeniu scenariusza i przejściu do następnego (rysunek 4.7). Po wciśnięciu przycisku **PROCEED** użytkownik zostaje przeniesiony do początkowej lokalizacji następnego scenariusza.
- Ostatni z ekranów nie posiada przycisku akcji **ActionButton** (rysunek 4.8). Świadczy to o zakończeniu całego eksperymentu.

Na ekranie nie widnieją żadne informacje dla osoby badanej o tym, czy pracuje nadal nad tym samym scenariuszem. Informacja ta jest przekazywana pośrednio eksperymentatorowi poprzez odpowiedni układ przycisków. Umożliwia to odpowiednie zorientowanie się, co robi i na jakim etapie eksperymentu znajduje się badany, oraz reakcję na przejście do kolejnego scenariusza.

MainCharacter

Kamera w scenie **Main Camera** jest umieszczona w obiekcie **MainCharacter**. Umożliwia to jej poruszanie się zgodnie z obiektem nadrzędnym. W głównym obiekcie mamy 4 komponenty (rysunek 4.12), które są niezbędne do jego prawidłowego działania:

- **Capsule Collider** — udostępnia bryłę kolizyjną w kształcie kapsułki. Komponent ten umożliwia skorzystanie z odpowiednich metod *Unity* odpowiadających na wykrycie kolizji z innym obiektem. Więcej na temat kolizji znajdzie się w dalszej części rozdziału.
- **Rigidbody** — jest niezbędny do poprawnego wykrywania kolizji z innymi obiektami i reagowania na nie.
- **User Controller** — skrypt stworzony na potrzeby systemu. Odpowiada za poprawne poruszanie się gracza wewnątrz wirtualnego świata. Przyjmuje jako argument 3 zmienne: **Movement Speed**, **Rotation Speed** i **Min Movement Speed**. **Movement Speed** odpowiada za prędkość poruszania się użytkownika po wciśnięciu odpowiedniego klawisza (domyślnie **W**). Drugi z parametrów — **Rotation**



Rysunek 4.12: Widok komponentów obiektu Main Character oraz ich przykładowej konfiguracji

Speed — odpowiada za szybkość obrotu obiektu po wciśnięciu jednego z klawiszy rotacyjnych (domyślnie A lub D). W systemie nie ma możliwości poruszania się do tyłu. Ostatnia zmienna definiuje minimalną prędkość użytkownika, gdy nie wciska żadnego z przycisków. Zabieg ten jest podyktowany przypadkiem, w którym jeden z testerów zatrzymał się i bardzo długo czekał przed skrzyżowaniem. Spowodowało to znaczące zaburzenie otrzymanych wyników. Mechanizm ten nie pozwala na unieważnienie podejścia (z uwagi na nieskończenie długi czas realizacji), jednocześnie zmuszając użytkownika do podjęcia decyzji na rozwinięciu.

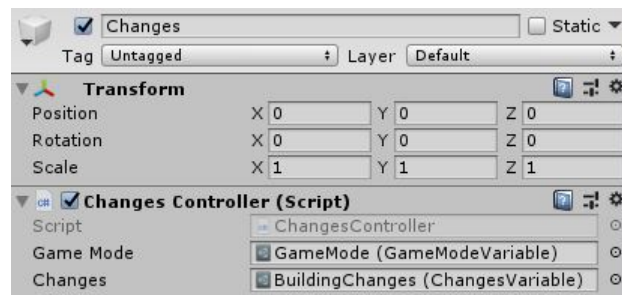
- **Help Collider** — skrypt obsługujący klawisz pomocy (domyślnie H). Jest aktywny tylko podczas trybu *TR2*. Jego głównym zadaniem jest nasłuchiwanie na wciśnięcie klawisza pomocy przez użytkownika. Po wykryciu zdarzenia skrypt uaktywnia strzałkę nawigacyjną na 5 sekund oraz zapisuje wydarzenie w odpowiednim pliku z danymi - *events.csv*.

Scripts

W scenie umieszczono skrypty odpowiedzialne za poprawne działanie systemu. W celu ich odróżnienia oraz przejrzystego poruszania się po strukturze sceny wydzielono osobny obiekt **Scripts**. W jego hierarchii znajdują się kolejne elementy, z których każdy ma przypisany inny skrypt.

Pierwszy ze skryptów to **Changes Controller**. Jest odpowiedzialny za zamianę budynków w scenie według wskazań z pliku konfiguracyjnego. W zależności od przekazanego typu zamiany budynki są podmieniane w inny sposób, zgodnie z zasadami opisanymi w podrozdziale 4.3.1. Przyjmuje on dwa parametry: **Game Mode** oraz **Changes**. Pierwszy z nich to obiekt skryptowy (ang. *ScriptableObject*) przechowujący wartość wybranego trybu eksperymentu (*TR1*, *TR2* lub *TEST*). Skrypt jest aktywny tylko w trybie *TEST*, zatem zamiany budynków również dokonywane są tylko w tym trybie. Drugim argumentem są zdefiniowane zamiany budynków, które również są przechowywane w obiekcie skryptowym. Są to sparsowane zamiany z pliku konfiguracyjnego. Przykładową konfigurację komponentu można zobaczyć na rysunku 4.13. Więcej na temat typu *ScriptableObject* można znaleźć w dokumentacji *Unity* [20].

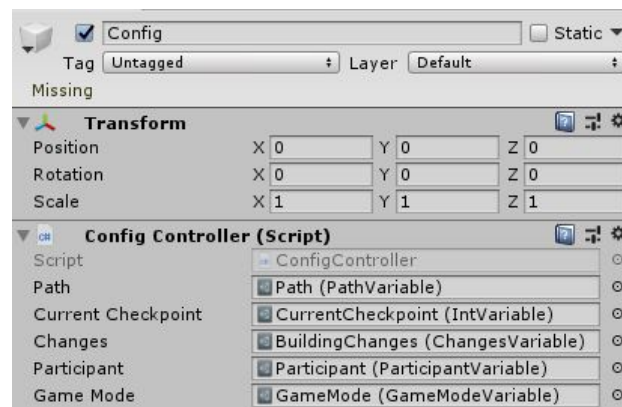
Drugi skrypt to **EscapeListener**. Nasłuchuje on na wciśnięcie klawisza wyjścia



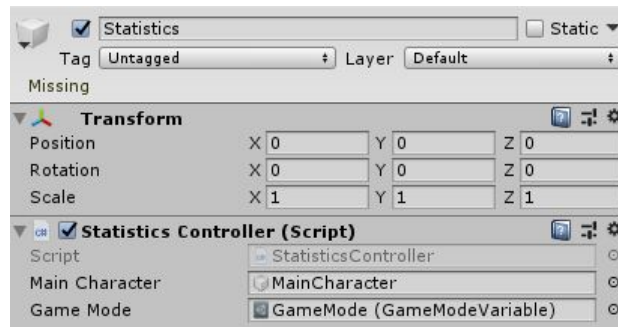
Rysunek 4.13: Przykładowa konfiguracja kontrolera odpowiedzialnego za zamiany budynków w trybie testowym eksperymentu

(domyślnie **Esc**). Mechanizm aktywny jest we wszystkich trzech trybach i dostępny w każdej chwili. Powoduje on przerwanie eksperymentu bez zapisu dotychczasowych danych i przejście do głównego menu.

Trzeci skrypt to **ConfigController**. Jest on odpowiedzialny, w pierwszej kolejności, za znalezienie wszystkich dostępnych map w scenie — znajdują się one w hierarchii obiektu **Maps** (rysunek 4.10). Następnie do pamięci zostaje wczytany wcześniej wybrany plik konfiguracyjny. W efekcie zostaje wczytana nazwa wybranej mapy, na której odbywał się będzie eksperyment, odpowiednio przygotowana trasa oraz zamiany budynków. Ostatnim procesem jest odpowiednie nazwanie brył kolizyjnych na trasie według schematu `coll_<identyfikator skrzyżowania>_<kąt skrętu>`. Przykładowa konfiguracja skryptu widoczna jest na rysunku 4.14. W tym przypadku wszystkie



Rysunek 4.14: Przykładowa konfiguracja kontrolera odpowiedzialnego za odpowiednie wczytanie konfiguracji eksperymentu do pamięci



Rysunek 4.15: Przykładowa konfiguracja kontrolera `StatisticsController`

zmienne podane jako argumenty skryptu służą do ich inicjacji. Innymi słowy, skrypt ustawia odpowiednie wartości dla podanych argumentów. Dzięki temu, że są one zaimplementowane jako *ScriptableObject*, możliwe jest przekazanie ich referencji do innych skryptów, bez konieczności odwoływania się i tworzenia odpowiednich obiektów singletonów.

Ostatnim ze skryptów jest `Statistics Controller`. Jego zadaniem jest obsługa rejestracji danych. Kontroler udostępnia szereg metod wykorzystywanych przez inne klasy w celu odpowiedniego zapisania odpowiednich zmiennych eksperymentu. Przez cały przebieg próby informacje zapisywane są w pamięci. Po zakończeniu podejścia wszystkie rekordy zostają utrwalone w plikach opisanych w podrozdziale 4.3.6. Skrypt przyjmuje dwa parametry: obiekt użytkownika (`Main Character`) oraz tryb eksperymentu (`Game Mode`). Przykładowa konfiguracja skryptu została pokazana na rysunku (rysunek 4.15). Pliki zostają zapisane w podkatalogu stworzonym w ramach katalogu znajdującego się pod ścieżką `Master directory/ParticipantID`. Podkatalogi nazywane są według schematu `yyyyMMdd_HH:mm:ss_<tryb_eksperymentu>`, gdzie:

- `yyyy` — rok rozpoczęcia eksperymentu;
- `MM` — miesiąc rozpoczęcia eksperymentu;
- `dd` — dzień rozpoczęcia eksperymentu;
- `HH` — godzina rozpoczęcia eksperymentu;
- `mm` — minuta rozpoczęcia eksperymentu;
- `ss` — sekunda rozpoczęcia eksperymentu;

- `<tryb_eksperymentu>` — jedna z wartości: *tr1*, *tr2* lub *test* (w zależności od trybu zawartego w scenariuszu).

Taka organizacja umożliwia odseparowanie kolejnych podejść do eksperymentu użytkownika oraz łatwiejsze filtrowanie, na przykład po trybie eksperymentu. W każdym z podkatalogów znajdować się będą 4 pliki: *stats.json*, *choices.csv*, *events.csv* oraz *movement.csv*.

Maps

Każda z map stworzonych w ramach wytworzonej wersji systemu znajduje się w hierarchii obiektu **Maps** (rysunek 4.10). Obecnie znajdują się tam 3 mapy:

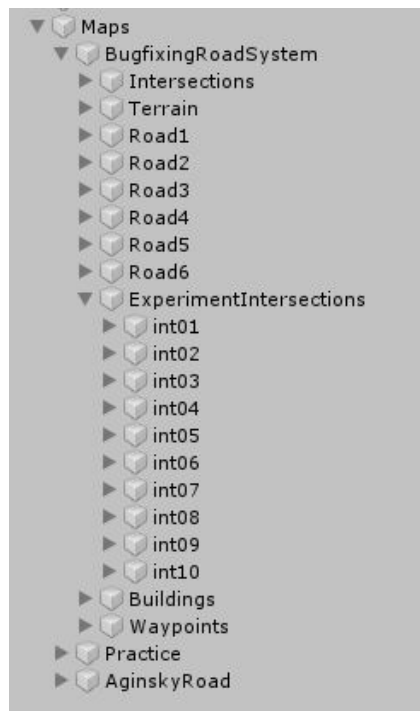
- **BugfixingRoadSystem** — mapa stworzona do testowania. Jednak okazało się, że zawiera w sobie wszystkie niezbędne elementy do przeprowadzenia II fazy eksperymentu.
- **Practice** — mapa zapoznawcza dla użytkowników systemu. Nie znajdują się na niej budynki ani inne obiekty wokół trasy. Służy tylko do zapoznania się ze sterowaniem oraz środowiskiem eksperymentalnym.
- **AginskyRoad** — odtworzona mapa z doświadczenia Aginsky i in. [1], użyta do I fazy eksperymentu.

Każda z nich ma bliźniaczą strukturę zaprezentowaną na rysunku 4.16.

Dalszy opis będzie bazował na mapie **BugfixingRoadSystem**. Sam obiekt jest stworzonym systemem dróg (ang. *road system*) przy pomocy biblioteki *Road Architect*. Po spreparowaniu drogi w ramach pojedynczego obiektu *road system* powstają dwa rodzaje obiektów:

- **Intersections** - stworzone skrzyżowania,
- **RoadN** - *N* obiektów dróg, gdzie każdy z nich symbolizuje pojedynczą ulicę stworzoną w ramach systemu dróg.

Z kolei obiekt **Terrain** zawiera wszystkie fragmenty terenu, na których umiejscowione są drogi. Z dokumentacji *Road Architecta* [12] wiadomo, że drogi można budować tylko na obiektach terenu środowiska *Unity*.

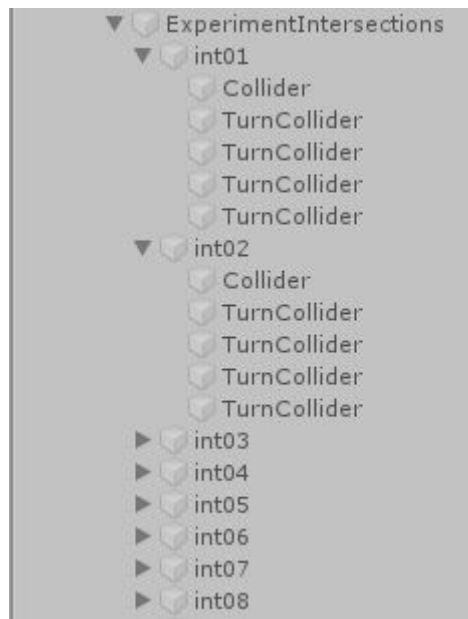


Rysunek 4.16: Struktura pojedynczej mapy stworzonej w systemie

Pozostałe 3 elementy hierarchii mapy zostały stworzone na potrzeby przeprowadzenia eksperymentów.

Obiekt `ExperimentIntersection` zawiera w sobie niezbędne bryły kolizyjne i komponenty w ramach pojedynczego skrzyżowania. W przypadku mapy `BugfixingRoadSystem` można zauważyć 10 skrzyżowań. Każde z nich ma podobne cechy (rysunek 4.17). Struktura rozwidlenia powinna zostać utworzona według następujących zasad:

1. Definicja skrzyżowania powinna zostać umieszczona w hierarchii obiektu `ExperimentIntersections`.
2. Nazewnictwo skrzyżowań powinno być tworzone według schematu `intN`, gdzie `N` to kolejny numer skrzyżowania.
3. Nadrzędny obiekt skrzyżowania (o nazwie utworzonej zgodnie z zasadą z poprzedniego punktu) powinien mieć przypisany komponent `IntersectionStateController`.



Rysunek 4.17: Struktura hierarchii pojedynczego skrzyżowania

4. W ramach jednego skrzyżowania powinna istnieć odpowiednia liczba obiektów o nazwie **TurnCollider**. Obiekty tego typu powinny zostać ustawione na każdej możliwej drodze umożliwiającej opuszczenie skrzyżowania. Taki element powinien posiadać przypisaną bryłę kolizyjną oraz komponent **TurnController**.

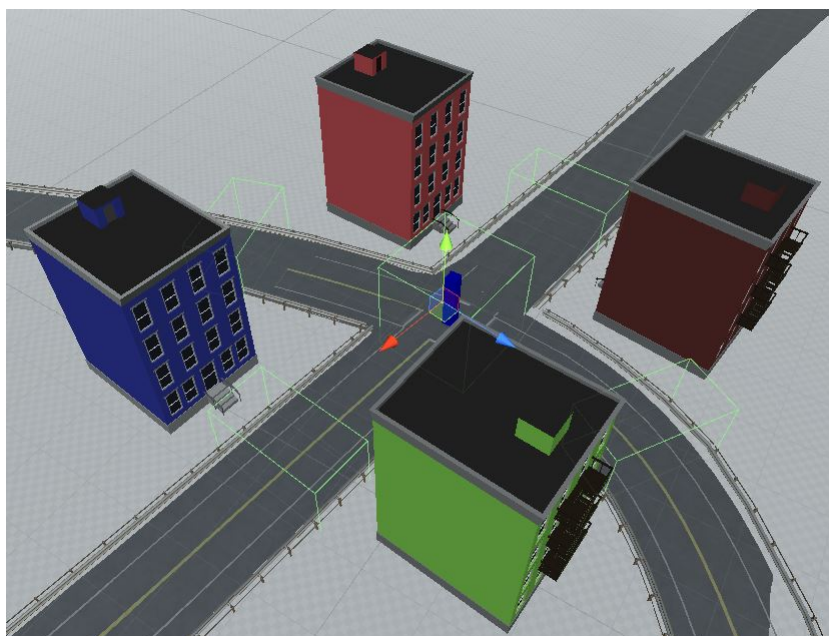
Przykładowy rozkład brył i ustawienia skrzyżowania widoczne są na rysunku 4.18. Wszystkie obiekty sceny symbolizujące wyjścia ze skrzyżowań powinny mieć nazwę **TurnCollider** (dokładnie taką), ponieważ podczas wczytywania trasy i późniejszej inicjalizacji danych nazwy tych obiektów zostają zamienione na odpowiadające im nazwy wyliczone na podstawie kąta skrętu danej drogi. Tak samo skrzyżowania zdefiniowane w pliku konfiguracyjnym są wyszukiwane w obiekcie danej mapy pod ścieżką **ExperimentIntersections**.

Każda z dróg wyjazdowych skrzyżowania posiada ustawioną bryłę kolizyjną i przypisany do niej komponent **TurnController**. Jest on odpowiedzialny za monitorowanie aktualnego punktu trasy, na którym znajduje się uczestnik. Po kolizji z prostopadłością ustawionym na drodze wykonywana jest logika komponentu, w wyniku której następują takie operacje jak: aktualizacja strzałki nawigacyjnej, aktualizacja bieżącego punktu trasy, ewentualne zakończenie podejścia (pojedynczego przejazdu).

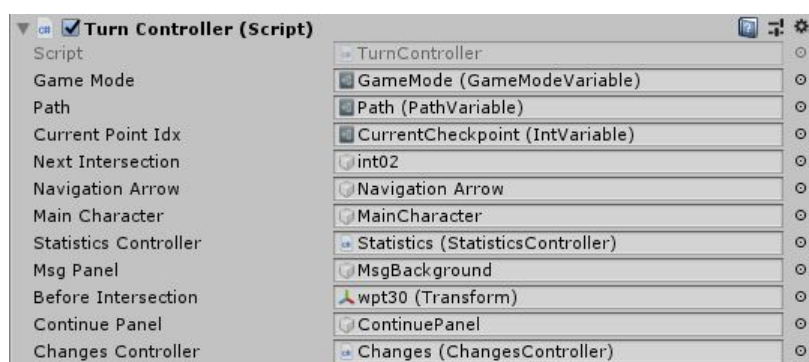
Przykładowa konfiguracja komponentu widoczna jest na rysunku 4.19. Posiada on szereg parametrów:

- *Game mode* — referencja do instancji obiektu skryptowego przechowującego aktualny tryb eksperymentu;
- *Path* — referencja do instancji obiektu skryptowego przechowującego skonfigurowaną ścieżkę eksperymentu;
- *Current Point Idx* — referencja do instancji obiektu skryptowego przechowującego ostatni numer skrzyżowania, jakie pokonał uczestnik;
- *Next Intersection* — referencja do obiektu sceny symbolizującego skrzyżowanie, do którego prowadzi dany wyjazd z rozwidlenia;
- *Navigation Arrow* — referencja do obiektu sceny odpowiadającego za strzałkę nawigacyjną;
- *Main Character* — referencja do obiektu sceny, którym porusza się użytkownik;
- *Statistics Controller* — referencja do obiektu sceny przetrzymującego kontroler odpowiedzialny za rejestrowanie danych;
- *Msg Panel* — referencja do obiektu sceny z panelem wiadomości;
- *Before Intersection* — referencja do obiektu sceny określającego punkt powrotu po podjęciu błędnej decyzji na skrzyżowaniu;
- *Continue Panel* — referencja do obiektu sceny z panelem kontynuacyjnym;
- *Changes Controller* - referencja do obiektu posiadającego komponent odpowiedzialny za zamianę budynków w scenie.

Wiele z tych zmiennych przyjmuje takie same wartości we wszystkich obiektach posiadających komponent **TurnController**. Skutkuje to tym, że w jego logice istnieje możliwość użycia metod innego komponentu i tym samym odseparowania odpowiedzialności poszczególnych klas implementacyjnych. Przykładem może być zapis danych: komponent **StatisticsController** posiada całą mechanikę niezbędną do zapisania danych, a **TurnController** wykorzystuje ją w odpowiednich momentach w celu zapisania informacji na dysk lub dodania rekordu do pamięci.



Rysunek 4.18: Przykładowy układ brył i ustawienie skrzyżowania w systemie. Zielonymi liniami zaznaczono bryły symbolizujące bryły kolizyjne. Gdy uczestnik przez nie przejedzie, zostanie wykonana odpowiednia akcja z komponentu `TurnController`.



Rysunek 4.19: Przykładowa konfiguracja kontrolera `TurnController`

W obiekcie `Buildings` znajdują się odpowiednie obiekty świata gry, takie jak budynki czy inne obiekty sceny, które na etapie inicjalizacji zostaną podmienione zgodnie z informacjami zawartymi w pliku konfiguracyjnym. Nazwa obiektu musi być jak podana wyżej, ponieważ w tym obiekcie wyszukiwane są odpowiednie nazwy elementów do zamiany.

Obiekt `Waypoints` zawiera punkty pośrednie podawane jako argument komponentu `TurnController`. Są to punkty, do których użytkownik zostaje cofnięty w przypadku błędnego wyboru na skrzyżowaniu lub punkty definiujące koniec mapy. Mogą to być również punkty pośrednie, które pomagają w zdefiniowaniu kierunku, w którym powinna się poruszać osoba badana. Podczas testów wykryto przypadek, w którym dwie drogi prowadziły do tego samego skrzyżowania — jedna z nich w sposób okrężny. Bez umieszczenia punktów pośrednich na owej okrężnej drodze uzyskanie strzałki, która pokazywałaby użytkownikowi, że powinien w nią skręcić, byłoby niemożliwe.

Rozdział 5

Materiały i metody

W eksperymencie mającym na celu weryfikację działania stworzonego systemu zgodziło się wziąć udział 9 osób: 3 kobiety oraz 6 mężczyzn. Średnia wieku uczestników wyniosła 27,44 lat, zaś mediana — 27 lat. Najmłodsza osoba miała 24 lata, a najstarsza — 32 lata.

Eksperyment został przeprowadzony według ustalonego protokołu (patrz *Załącznik 2*, str. 91). Został on podzielony na fazę wstępną i 2 fazy główne. Każda z faz głównych była realizowana innego dnia. Wszystkie osoby badane wzięły udział we wszystkich fazach.

Pierwszego dnia została przeprowadzana faza wstępna oraz pierwsza faza główna eksperymentu. Przed przeniesieniem się do wirtualnego świata każdy z badanych otrzymał do wypełnienia *Kwestionariusz 1* (patrz *Załącznik 3*, str. 95). Następnie, w ramach fazy wstępnej, osoby badane miały nieograniczoną ilość czasu, aby zaznajomić się ze środowiskiem wirtualnym oraz sposobem poruszania się w wirtualnym świecie, do czego wykorzystana była mapa *Practice*. Zapoznanie się ze środowiskiem nie zajęło żadnemu uczestnikowi dłużej niż 5 minut. Pierwsza faza główna to odtworzenie zadania opisanego w pracy Aginsky i in. [1]. Na potrzeby tej fazy w systemie została utworzona mapa o nazwie *AginskyRoad*, która odpowiadała mapie przedstawionej we wspomnianym artykule (rysunek 5.1). Dodatkowo stworzony został plik konfiguracyjny, które odpowiadał warunkom zadania z tego artykułu. Uczestnicy mieli najpierw dwukrotnie pokonać zadaną trasę w trybie *TR1*, a następnie pokonywać tę trasę tak długo w trybie *TR2*, aż ją przebyli bezbłędnie. W przypadku popełnienia chociaż jed-



Rysunek 5.1: Rzut mapy utworzonej w systemie na wzór użytej w eksperymencie Aginsky i in. Mapa z oryginalnego eksperymentu została zaprezentowana na rysunku 2.2.

nej pomyłki trasa musiała być pokonana jeszcze raz. Po poprawnym przebyciu trasy każdy z uczestników miał za zadanie narysować na czystym arkuszu w formacie A4 mapę szkicową poznanej trasy (włączając w to napotkane budynki oraz ich kolory). Na koniec tej fazy osoba badana wypełniała *Kwestionariusz 2* (patrz *Załącznik 4*, str. 96) i tak kończył się pierwszy dzień eksperymentu.

Otrzymane wyniki zostały przeanalizowane z wykorzystaniem tych samych metod i miar, których użyto w oryginalnej pracy badawczej. Obliczone zostały statystyki dotyczące liczby przejazdów niezbędnych do bezbłędного pokonania trasy (minimalna, średnia oraz maksymalna). Mapy narysowane przez uczestników zaklasyfikowano do jednej z 3 kategorii:

1. *0-D* — Wyizolowane miejsca, każde z nich posiadające lokalną strukturę przestrzenną. Miejsca te mogą zawierać informacje dotyczące ich charakterystycznego wyglądu, ułatwiające ich rozpoznanie. Poszczególne odcinki trasy nie są odwzorowane poprawnie, o ile w ogóle.

2. *1-D* — Istotne miejsca napotymane po sobie są ze sobą połączone. Mapa posiada jedynie minimalistyczną strukturę globalną. Napotkane miejsca zwykle są znacząco powiększone w stosunku do prostych odcinków. Poszczególne odcinki trasy nie są odwzorowane poprawnie.
3. *2-D* — Istotne miejsca napotymane po sobie są ze sobą połączone. Ponadto obszary nie napotkane na drodze są w pewien sposób połączone z przebytą trasą. Odległości na mapie są odwzorowywane poprawnie.

Ponadto, w celu dokładniejszej analizy uzyskanych map wykorzystano dodatkową metodę ich oceny, opracowaną przez Krukara i in. [8]. Ocena ta polega na wyznaczeniu wskaźnika nazwanego *route-likeness*, który opiera się na oszacowaniu 6 cech:

1. *Continuous route* — określa, czy narysowana trasa nie ma żadnych luk, przerw lub brakujących elementów, uniemożliwiających przemieszczenie się z jednego jej fragmentu do drugiego.
2. *Turns included* — określa, czy na trasie zostały zaznaczone wyraźnie określone kierunki skrętu.
3. *Side streets at decision points* — określa, czy na skrzyżowaniach znajdujących się na trasie, na których należało wykonać skręt, czyli w tzw. punktach decyzyjnych, zamieszczono informacje o innych możliwościach skrętu.
4. *Side streets outside decision points* — określa, czy mapa zawiera informacje dotyczące bocznych dróg odchodzących od trasy poza punktami decyzyjnymi, np. czy zaznaczone zostały skrzyżowania na prostych odcinkach pomiędzy poszczególnymi skrętami.
5. *Local landmarks at decision points* — określa, czy mapa zawiera informacje o punktach charakterystycznych (np. budowlach) w pobliżu punktów decyzyjnych.
6. *Local landmarks not at decision points, but along the route* — określa, czy narysowana droga zawiera informacje o punktach charakterystycznych poza punktami decyzyjnymi na trasie.

Za spełnienie każdego z kryterium do wartości wskaźnika dodawana jest liczba 1. Skala ocen mapy według tej metody przyjmuje zatem wartości od 0 do 6.

W swojej pracy Krukar i in. zaproponowali również drugi wskaźnik do oceny map, nazwany *survey-likeness*. Niestety, nie mógł on zostać tutaj wykorzystany ze względu na to, że w dużej mierze opierał się na odwzorowaniu na mapie globalnych punktów charakterystycznych, widocznych z daleka z różnych perspektyw, takich jak na przykład wieża katedry, oraz zaznaczaniu wyróżniających się obszarów, przykładowo dzielnicy bogatych domów, które to elementy na mapie użytej w eksperymencie Aginsky i in. nie występowały.

Drugi dzień eksperymentu rozpoczynał się od opcjonalnego przypomnienia sobie sposobu poruszania się w wirtualnym świecie przy użyciu mapy *Practice*. Uczestnicy, jeżeli w ogóle, potrzebowali na to około 3–5 minut. Następnie badani przechodzili do drugiej fazy głównej eksperymentu. W ramach tej fazy wykorzystywana była inna mapa o nazwie *BugfixingRoadSystem*, przedstawiona na rysunku 5.2, oraz odpowiednio przygotowany plik konfiguracyjny. Zadanie do wykonania było takie same jak poprzednio: uczestnicy najpierw musieli dwukrotnie pokonać trasę w trybie *TR1*, a następnie tak długo pokonywać ją w trybie *TR2*, aż przebyli ją bezbłędnie. Po bezbłędnym przejechaniu poddawani byli oni właściwemu testowi. Test ten polegał na jednokrotnym pokonaniu 3 skrzyżowań znajdujących się na trasie (oznaczonych na rysunku 5.2 cyframi 1, 2 i 3) w następujących warunkach:

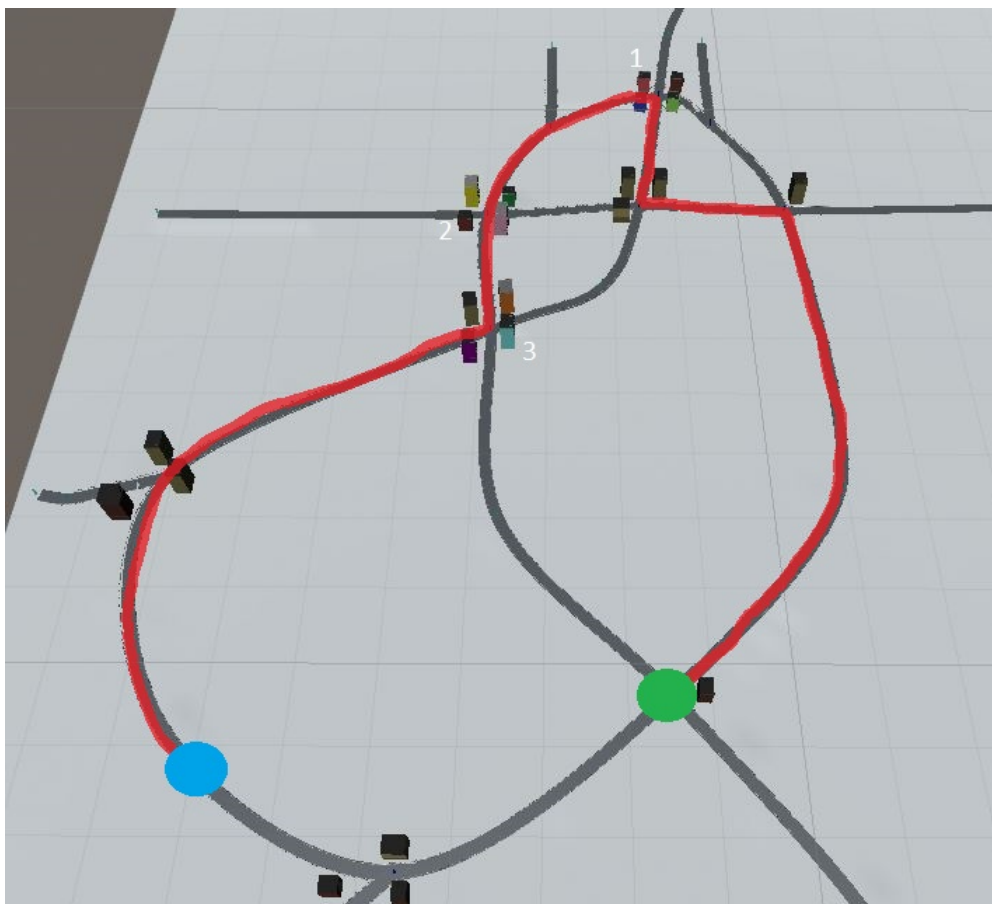
1. do skrzyżowania badany zbliżał się z innego kierunku niż podczas nauki trasy;
2. badany miał za zadanie pokonać skrzyżowanie w taki sposób, aby opuścić je w kierunku końca trasy;
3. dodatkowo, w niektórych sytuacjach (tzw. warunkach eksperymentalnych) na skrzyżowaniu niektóre budynki były zamienione w stosunku do tego, jak wyglądało to w trakcie nauki trasy (w tzw. warunkach kontrolnych zamiany nie występowały).

Owe 3 skrzyżowania uczestnik napotykał podczas testu w tej samej kolejności co podczas nauki. Pokonanie pojedynczego skrzyżowania polegało na rozpoczęciu ruchu przed skrzyżowaniem, wykonaniu odpowiedniego manewru na skrzyżowaniu (na przykład skrętu w lewo), po czym, po oddaleniu się na niewielką odległość od skrzyżowa-

nia, podejście ulegało zakończeniu. Dwa spośród tych skrzyżowań (pierwsze i trzecie) miały podczas nauki trasy tzw. charakter aktywny, albowiem wymagały wykonania skrętu, natomiast jedno (drugie) — tzw. charakter pasywny, jako że przejeżdżało się przez nie na wprost.

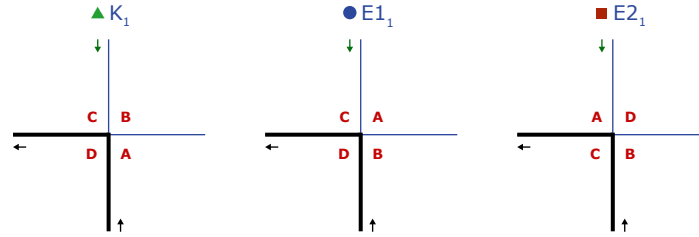
Uczestników w ramach testu podzielono losowo na 3 grupy, określone jako zielona, niebieska i czerwona. Każda z nich musiała pokonać ten sam zestaw skrzyżowań, ale w innych warunkach. Warunki kontrolne oznaczały, że układ budynków okalających skrzyżowanie był taki sam jak w trakcie nauki, z kolei w warunkach eksperymentalnych niektóre budynki zostały zamienione miejscami, przy czym istniało kilka wariantów tych zamian. Każda z grup jedno ze skrzyżowań pokonywała w warunkach kontrolnych (w celu zweryfikowania, czy badany uda się powrócić na trasę przy niezamienionych budynkach), natomiast pozostałe dwa — w odpowiednim wariancie warunków eksperymentalnych. Szczegółowy podział na grupy wraz z przyporządkowanymi warunkami dla poszczególnych skrzyżowań został przedstawiony na rysunku 5.3.

Po zakończeniu testu uczestnicy proszeni byli o wypełnienie *Kwestionariusza 3* (patrz *Załącznik 5*, str. 97), po czym cały eksperyment dla pojedynczego badanego się kończył.

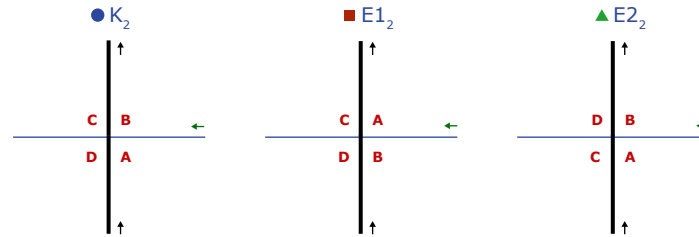


Rysunek 5.2: Rzut mapy utworzonej w systemie na potrzeby drugiej fazy eksperymentu. Zielonym kółkiem oznaczono punkt początkowy, a niebieskim — punkt końcowy trasy. Dokładny przebieg trasy został wyróżniony na czerwono. Cyframi 1, 2 i 3 zostały oznaczone skrzyżowania (punkty decyzyjne), które zostały wykorzystane podczas przeprowadzania testu.

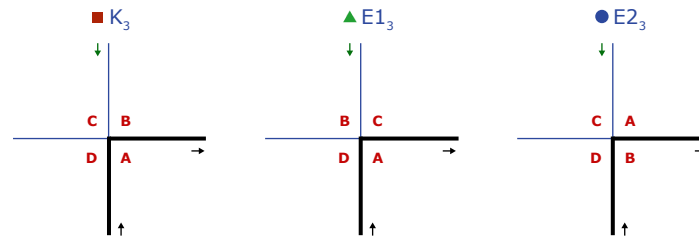
T1 - skrzyżowanie aktywne (skręt w lewo)



T2 - skrzyżowanie pasywne



T3 - skrzyżowanie aktywne (skręt w prawo)



Rysunek 5.3: Podział na grupy uczestników eksperymentu oraz odpowiadające grupom warianty skrzyżowań. Osoby badane zostały podzielone na 3 grupy: zieloną, niebieską oraz czerwoną. Skrzyżowanie T1 odpowiada skrzyżowaniu oznaczonemu cyfrą 1 na rysunku 5.2, skrzyżowanie T2 — oznaczonemu cyfrą 2, zaś skrzyżowanie T3 — oznaczonemu cyfrą 3. Literami A, B, C i D zostały oznaczone budynki okalające każde ze skrzyżowań. Czarne strzałki oznaczają kierunek zbliżania się do skrzyżowania podczas nauki, a pogrubiona linia pokazuje sposób jego pokonania. Zielona strzałka oznacza kierunek, z którego nadjeżdża badany podczas testu. Literą K oznaczone zostały warunki kontrolne, natomiast literami E — warunki testowe.

Rozdział 6

Wyniki

I faza

Podczas pierwszego dnia eksperymentu zadaniem uczestników było nauczenie się pokonywania trasy stworzonej na wzór tej, która była wykorzystana w eksperymencie Aginsky i in. [1]. Wszystkim badanym udało się w ciągu kilku prób nauczyć przejeżdżać trasę bez popełniania pomyłek. Wyniki żadnej z osób nie zostały zdyskwalifikowane. Maksymalna liczba przejazdów niezbędna do bezbłędnego pokonania trasy była równa 7, minimalna — 3, zaś średnia wyniosła 5.6 ± 1.3 . Czas pojedynczego przejazdu zawierał się w przedziale od 1 min. 51 sek. do 6 min. 58 sek. Średni czas próby wyniósł 3 min 57 sek $\pm$ 1 min 20 sek.

Po zakończeniu nauki znajomość trasy przez każdego z uczestników była oceniana na podstawie narysowanych przez nich jej map szkicowych. Mapy zostały ocenione za pomocą tej samej metodologii, którą zastosowano w pracy Aginsky i in. [1], oraz na podstawie wskaźnika *route-likeness* zaproponowanego przez Krukara i in. [8]. Wyniki klasyfikacji map przy użyciu metodologii z pracy Aginsky i in. pokazuje Tabela 6.1. Z kolei Tabela 6.2 przedstawia oceny map dokonane za pomocą wskaźnika *route-likeness*. W tym ostatnim przypadku najwyższa ocena w całej grupie badanych wyniosła 4 (przy maksymalnej możliwej równej 6) i została uzyskana przez 2 osoby (22%), natomiast najniższa ocena wyniosła 1 (przy minimalnej równej 0) i została uzyskana przez 1 osobę (11%). Średnia ocena dla całej grupy była równa 2.78 ± 0.92 .

Typ mapy	Liczba map	%
0-D	2	22%
1-D	7	77%
2-D	0	0%

Tabela 6.1: Tabela przedstawiająca klasyfikację map szkicowych według metodologii zastosowanej w pracy Aginsky i in. [1].

II faza

W drugiej fazie eksperymentu uczestnicy mieli za zadanie najpierw nauczyć się przejeżdżać inną trasę, a następnie pokonać 3 skrzyżowania należące do tej trasy, ale w sytuacji, gdy zbliżali się do nich z innego kierunku niż w trakcie nauki, a do tego część budynków okalających te skrzyżowania mogła zostać podmieniona. W przypadku każdego ze skrzyżowań celem było jego opuszczenie w kierunku końca trasy. Tylko 1 osoba (11%) podjęła poprawną decyzję na skrzyżowaniu kontrolnym, gdzie żadna zamiana budynków nie miała miejsca — w związku z tym tylko jej przypadek zostanie omówiony dalej. Uczestnik, który podjął poprawną decyzję na skrzyżowaniu kontrolnym, należał do zielonej grupy (rysunek 5.3). Na pozostałych dwóch skrzyżowaniach, które pokonywał przy zamienionych już budynkach, również podjął poprawne decyzje.

Kwestionariusze

Podczas całego eksperymentu badani proszeni byli o wypełnienie łącznie 3 kwestionariuszy (których treści dostępne są w odpowiednich załącznikach) na różnych jego etapach.

W *Kwestionariuszu 1* każdy z uczestników określił swoje umiejętności nawigowania na poziomie co najmniej średnim. Większość uczestników (88%, 8/9) stwierdziła, że stopień ich spostrzegawczości zależy od postawionego przed nimi zadania. Tylko jedna osoba (11%) miała styczność z grami komputerowymi wymagającymi nawigacji co najmniej raz w tygodniu. Reszta (88%, 8/9) okazała się sporadycznie grać w tego rodzaju gry. Zaobserwowano po jednej skrajnej odpowiedzi odnośnie pamięci: jedna

Identyfikator uczestnika	Continous route	Turns included	Side streets at decision points	Side street outside decision points	Local landmarks at decision points	Local landmarks not at decision points	Ocena końcowa
0612	1	1	0	0	1	0	3
0666	1	1	0	0	1	1	4
1234	1	1	0	0	0	0	2
2137	0	1	0	0	1	0	2
2169	1	1	0	0	1	0	3
4444	0	1	0	0	1	1	3
4856	0	1	0	0	0	0	1
7542	1	1	0	0	1	1	4
7778	1	1	0	0	1	0	3

Tabela 6.2: Tabela przedstawiająca ocenę map szkicowych za pomocą wskaźnika *route-likeness* zaproponowanego przez Krukara i in. [8]. Najwyższa uzyskana ocena wyniosła 4 i została oznaczona kolorem zielonym, natomiast najniższa była równa 1 i została oznaczona kolorem czerwonym.

osoba (11%) stwierdziła, że ma tendencje do częstego zapominania o różnych rzeczach, a jedna (11%) — że rzadko zdarza jej się o czymś zapomnieć. Reszta uczestników (77%, 7/9) oceniła, że zdarza im się o czymś zapomnieć raz na jakiś czas.

W przypadku drugiego kwestionariusza 66% uczestników (6/9) zaznaczyło, że trasa w ramach I fazy była zbyt długa oraz męcząca. Mogło to powodować zmalenie skuteczności mechanizmów nawigacji. Eksperymentator zaobserwował, iż badani mieli większe problemy z nawigacją na dalszych etapach trasy. Brakowało im też (33%, 3/9) bardziej charakterystycznych obiektów na mapie czy innych elementów infrastruktury miejskiej. Pomimo tego, wielu z nich (77%, 7/9) potrafiło wskazać kilka budynków o różnych kolorach, które zapadły im w pamięć. Kilka uwag dotyczyło błędów środowiska czy nieodpowiedniego ustawienia kamery. Odnotowano dwie uwagi odnośnie tempa poruszania się: dla jednej z osób (11%, 1/9) było ono za szybkie, dla drugiej (11%, 1/9) — za wolne. W odpowiedziach pojawiły się również sugestie o poprawienie jakości grafiki na bardziej realistyczną (22%, 2/9).

Z *Kwestionariusza 3* wynika, że trasa w ramach II fazy uznana została za niezbyt długą. Około połowy osób (55%, 5/9) zadeklarowało, że na wszystkich skrzyżowaniach trudność podjęcia decyzji podczas testu była na podobnym poziomie. Reszta stwierdziła, że na jednym z nich łatwiej im było podjąć decyzję. Tylko dwie osoby (22%) zauważyły, że do skrzyżowań podchodziły z innej strony niż podczas nauki jazdy. Natomiast tylko jedna osoba (11%) dostrzegła, że budynki zostały zamienione miejscami. Podobnie jak w poprzednim kwestionariuszu uczestnikom zapadały w pamięć różnokolorowe budynki. Jedna osoba (11%) zwróciła uwagę na charakterystyczny typ skrzyżowania (w kształcie „Y”) występujący na trasie tylko raz — dlatego je zapamiętała. Dla tego samego uczestnika charakterystyczna była również sekwencja skrętów, jakie należało wykonać w celu pokonania trasy, a mianowicie lewo-prawo-lewo-prawo.

Ocena systemu w oczach uczestników nie była jednoznaczna. Jednym się podobało, innym mniej. Niektórzy w szybkim tempie przyswoili sposób sterowania, ale dla pewnej grupy poruszanie się było nieco problematyczne. Również elementy graficzne zapadły w pamięć osobom badanym — wołałyby one jednak środowisko wirtualne stworzone bardziej na wzór rzeczywistego. Pojawiły się także sugestie (44%, 4/9), aby zamienić obiekt, którym się użytkownik porusza po wirtualnym świecie, na pojazd jedno- lub wielośladowy.

Rozdział 7

Dyskusja

I faza przeprowadzanego eksperymentu miała na celu odtworzenie eksperymentu z 1997 roku zrealizowanego przez Aginsky i in. [1]. W oryginalnym eksperymencie wzięło udział 16 uczestników. Średnio badany potrzebował tam 7.7 ± 1.4 powtórzeń, aby nauczyć się trasy. Jest to wynik wyższy w porównaniu z uzyskanym tutaj. Mała próba biorących udział w odtwarzanym eksperymencie mogła spowodować zaniżenie rezultatu. Innym czynnikiem mogącym mieć wpływ na wyniki może być długość trasy i związany z nią czas, jaki potrzebowali uczestnicy na jej pokonanie. W oryginalnym eksperymencie czas jej przebycia wahał się między 2 minutami a 4 minutami, natomiast tutaj — mieścił się w przedziale od prawie 2 minut do prawie 7 minut.

Istotną częścią wyników była klasyfikacja narysowanych map szkicowych. Tutaj procent uczestników, których mapy zostały zaklasyfikowane jako *1-D*, była o wiele większa od tej w oryginalnej pracy (77%, 7/9 do 50%, 8/16). Natomiast odsetek osób, których mapy określono jako typu *0-D*, był bardzo zbliżony (22%, 2/7 do 19%, 3/16). W odtwarzanym eksperymencie nie zaobserwowano map typu *2-D*, podczas gdy w oryginalnym było ich 31% (5/16). Tutaj tylko jedna osoba (11%) zaznaczyła na mapie informację o tym, że początek oraz koniec trasy znajdował się w obrębie tego samego skrzyżowania. Mało kto również zaznaczył, że na trasie była pętla. Można wnioskować, że brak map typu *2-D* ponownie wynika z małej grupy badawczej. Innym wyjaśnieniem może być sposób działania mechanizmów ludzkiej nawigacji. Ludzie mogli zapamiętywać sekwencję skrętów zamiast punktów charakterystycznych. W przypadku wielu map wskaźnik *route-likeness* zawiera cechy *continuous route* oraz

turns included, co może potwierdzać tę hipotezę.

Jeśli chodzi o wskaźnik *route-likeness*, najniższa uzyskana ocena to 1, a najwyższa — 4 (w 6-stopniowej skali). Z tabeli 6.2 wynika, że wszystkie badane osoby zapamiętywały sekwencje skrętów — w kolumnie *Turns included* widnieją same wartości 1. Drugim najczęściej występującym elementem na mapach były punkty charakterystyczne znajdujące się w pobliżu punktów decyzyjnych. Statystyki te potwierdzają teorię, według której ludzie na krótszych trasach zapamiętują sekwencje podjętych decyzji aniżeli tworzą reprezentację przestrzeni w postaci mapy poznawczej. Prawdopodobnie długość trasy minimalnie przekraczała próg, powyżej którego pożyteczne okazuje się zapamiętanie punktów charakterystycznych i skojarzonych z nimi akcji niż tylko sekwencji decyzji.

II faza przeprowadzonego eksperymentu miała na celu przetestowanie działania systemu w warunkach zupełnie nowego badania. Po opanowaniu trasy uczestnicy mieli podjąć decyzje na 3 skrzyżowaniach, które umożliwiłyby im powrót na poznaną trasę. Tylko jedna osoba badana (11%) podczas treningu potrzebowała dwóch przejazdów w trybie *TR2*, aby przejechać bezbłędnie całą trasę. Reszta uczestników zrobiła to już za pierwszym razem. Mimo to w znakomitej większości nie byli oni w stanie podczas testu podjąć poprawnych decyzji. Decyzja tylko jednej z 9 badanych osób (11%) okazała się właściwa w warunkach kontrolnych (bez zamienionych budynków). Ta sama osoba na reszcie skrzyżowań również podjęła poprawne decyzje. Na podstawie danych uzyskanych od jednej osoby nie można jednak wysnuć daleko idących wniosków. Tym niemniej wyniki te wydają się wspierać wspomnianą wcześniej hipotezę, że uczestnicy najprawdopodobniej zapamiętywali sekwencję skrętów do wykonania. Z uwagi na to, że trasa w II fazie była o wiele krótsza od tej z I fazy, zadanie to mogło być dla nich o wiele łatwiejsze. W jednym z kwestionariuszy jeden z badanych wspomina nawet o tym, że łatwo mu było zapamiętać kolejność podjętych działań. Mimo błędnych decyzji uczestnicy w kwestionariuszach zaznaczali głównie opcję mówiącą o tym, że na każdym ze skrzyżowań w ramach testu trudność podjęcia decyzji była na podobnym poziomie. Może to sugerować, że w ogóle nie zwracali uwagi na otaczające ich budynki i nie mieli pojęcia o otaczającym ich środowisku, ponieważ byli za bardzo skupieni na zapamiętaniu kolejności wykonywanych akcji.

W kwestionariuszach uczestnicy wpisywali, że elementami, które zwróciły ich uwa-

gę, były różnokolorowe budynki. W ramach I fazy były to zwykłe budynki, które nanosili na narysowane mapy. Podczas II fazy natomiast rzadziej określali konkretny typ budynku lub jego kolor czy powiazaną z nim akcję — w przypadku tej fazy były to raczej określenia typu „jaskrawe budynki” czy „kolorowe budynki”.

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki można pokusić się o stwierdzenie, że zastosowany mechanizm nawigacji może różnić się w zależności od długości trasy. W I fazie eksperymentu badani byli w stanie dokonać zdecydowanego rozróżnienia budynków — zarówno przy rysowaniu mapy szkicowej, jak i przy odpowiadaniu na pytania zawarte w kwestionariuszu, natomiast w II fazie posługiwali się jedynie ogólnikowymi pojęciami, nie odnosząc się do żadnych obiektów w sposób konkretny.

Kwestionariusze pozwoliły stwierdzić, co w trakcie przejazdów przykuło uwagę uczestników. Bez odpowiedniego sprzętu umożliwiającego monitorowanie ruchu gałek ocznych bezpośrednia ocena nie jest możliwa. W ten sposób małym kosztem uzyskano ważne informacje. Kwestionariusze okazały się także pomocne w zebraniu informacji o uczestnikach, które potencjalnie mogłyby mieć wpływ na uzyskane wyniki (na przykład związanych z doświadczeniem w grach komputerowych o podobnej charakterystyce). Umożliwiły one również uzyskanie dodatkowych opinii dotyczących utworzonego systemu i sugerowanych poprawek.

Z analizy opinii zawartych w kwestionariuszach wynika, że system wymagałby kilku usprawnień. Zdarzyły się przypadki, że badany zboczył z trasy mimo ustawionych wokół niej barierek. Uczestnicy podnosili też kwestię, że modele obiektów wykorzystane podczas tworzenia w systemie map do eksperymentów nie są zbyt szczegółowe — wiele osób preferowałoby bardziej realistyczne środowisko. Tego rodzaju aspekty mogą mieć również wpływ na otrzymane rezultaty. W wyniku braku podobnego odczucia jak w realnym świecie człowiek może nie używać takich samych mechanizmów nawigacji i stosować w zamian uproszczone, aby przy minimalnym wysiłku nauczyć się trasy. Jednak zastosowanie elementów graficznych o takiej jakości było zamierzonym działaniem z uwagi na próbę jak najlepszego odwzorowania eksperymentu z 1997 roku. Podjęto decyzję, aby faza II wykorzystywała tę samą stylistykę, żeby nie zaskakiwać osób badanych.

Po wprowadzeniu do systemu pożądaných usprawnień dobrym kierunkiem dalszego jego rozwoju byłoby dodanie możliwości korzystania z urządzeń typu gogle VR

w celu dostarczenia badanym podczas eksperymentów innego rodzaju bodźców niż tylko wzrokowe. W dalszej perspektywie można byłoby również rozbudować system, wzbogacając go o technologię podobną do wykorzystanej w eksperymencie Warrena i in. [21], gdzie uczestnicy poruszali się w pełnym zanurzeniu po kwadracie o boku 12 m. W ten sposób badani mogliby odbierać jeszcze jeden rodzaj bodźców, a mianowicie bodźce proprioceptywne. Wartościowy wydaje się także pomysł zastosowania oprogramowania monitorującego ruch gałek ocznych — dzięki temu można by było określić, na co uczestnik zwraca uwagę w trakcie każdego momentu pokonywania trasy. Być może pozwoliłoby to ustalić, jak zmienia się koncentracja uwagi na elementach środowiska wraz ze wzrostem znajomości trasy podczas kolejnych przejazdów.

Natomiast odpowiednim kierunkiem dalszych badań bazujących na wynikach uzyskanych w ramach przeprowadzonych eksperymentów byłoby zweryfikowanie, czy ludzie stosują różne mechanizmy nawigacji na trasach krótkich i na trasach długich. Postawienie takiej hipotezy w świetle tychże wyników wydaje się uzasadnione.

Podsumowując, główny cel pracy został osiągnięty. Stworzony został system umożliwiający prowadzenie badań nad mechanizmami leżącymi u podłoża zdolności nawigacyjnych człowieka z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej, który powstał w oparciu o silnik *Unity*. Przeprowadzona weryfikacja działania systemu wykazała, że możliwe jest za jego pomocą zreplikowanie eksperymentów znanych w przeszłości, a także zastosowanie go do nowych badań. System zapewnił ponadto automatyczne zbieranie różnorodnych danych w trakcie trwania eksperymentu, ułatwiając jego realizację.

Rozdział 8

Wnioski

- W ramach niniejszej pracy powstał w pełni funkcjonalny system umożliwiający przeprowadzanie badań nad mechanizmami leżącymi u podłoża zdolności nawigacyjnych człowieka z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej, który został stworzony przy użyciu silnika *Unity*.
- Walidacja systemu polegająca na zreplikowaniu jednego z eksperymentów opisanych w literaturze wykazała, że system działa poprawnie, o czym świadczy uzyskanie wyników, które okazały się podobne do oryginalnych.
- Weryfikacja przydatności systemu do nowych badań wypadła pomyślnie: zastosowanie systemu w nowym eksperymencie o charakterze pilotażowym pozwoliło uzyskać wyniki świadczące o tym, że ludzie mogą wykorzystywać różne rodzaje mechanizmów nawigacji w zależności od długości przebywanej trasy. W szczególności w przeprowadzonym badaniu uczestnicy w większości najprawdopodobniej zapamiętywali sekwencję decyzji podejmowanych podczas pokonywania trasy niż elementy otaczającego tę trasę środowiska.
- Konstrukcja systemu sprawdziła się w praktyce: poszczególne doświadczenia okazały się proste w konfiguracji, a automatyczne rejestrowanie danych i ich zapis do opracowanego formatu umożliwiły efektywną analizę wyników. Ponadto wszechstronność systemu i łatwa jego rozszerzalność sugerują, że z powodzeniem będzie on mógł być wykorzystywany w rozmaitych badaniach dotyczących mechanizmów nawigacyjnych u ludzi.

- Odpowiedzi udzielone za pomocą kwestionariuszy przez uczestników przeprowadzonych badań wskazały pewne aspekty systemu, które potencjalnie można by było udoskonalić w przyszłości.

Bibliografia

- [1] V. Aginsky, C. Harris, R. Rensink, and J. Beusmans. “Two strategies for learning a route in a driving simulator”. In: *Journal of Environmental Psychology* 17 (1997), pp. 317–331.
- [2] *Canvas*. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/UICanvas.html>. (dostęp: 28.12.2019).
- [3] *File Browser (free)*. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/utilities/file-browser-free-98716>. (pobrano: 15.09.2019).
- [4] M. O. Franz and H. A. Mallot. “Biomimetic robot navigation”. In: *Robotics and Autonomous Systems* 30 (2000), pp. 133–153.
- [5] C. R. Gallistel. *The Organization of Learning*. MIT Press, Cambridge, MA, 1990.
- [6] S. Gillner and H. A. Mallot. “Navigation and Acquisition of Spatial Knowledge in a Virtual Maze”. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 10.4 (1998), pp. 445–463.
- [7] R. Hurlebaus, K. Basten, H. A. Mallot, and J. M. Wiener. “Route Learning Strategies in a Virtual Cluttered Environment”. In: *Spatial Cognition* VI (2008), pp. 104–120.
- [8] J. Krukar, S. Münzer, L. Lörch, V. J. Anacta, S. Fuest, and A. Schwering. “Distingiushing Sketch Map Types: A Flexible Feature-Based Classification”. In: *Spatial Cognition 2018* (2018), pp. 279–292.
- [9] T. S. Levitt and D. T. Lawton. “Qualitative navigation for mobile robots”. In: *Artificial Intelligence* 44 (1990), pp. 305–360.
- [10] Kevin Lynch. *The Image of the city*. The M.I.T. Press, 1960.

- [11] M. May, P. Péruch, and A. Savoyant. “Navigating in a virtual environment with map-acquired knowledge: Encoding and alignment effects”. In: *Ecological Psychology* 7.1 (1995), pp. 21–36.
- [12] *RoadArchitect*. URL: <https://github.com/MicroGSD/RoadArchitect>. (dostep: 28.12.2019).
- [13] A. W. Siegel and S. H. White. “The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments”. In: (1975).
- [14] *TextMesh Pro*. URL: <https://assetstore.unity.com/packages/essentials/beta-projects/textmesh-pro-84126>. (dostep: 28.12.2019).
- [15] M. Tlauka and P.N. Wilson. “Orientation-free representations from navigation through a computer-simulated environment”. In: *Environment and Behavior* 28.5 (1996), pp. 647–664.
- [16] E. C. Tolman. “Cognitive maps in rats and man”. In: *The Psychological Review* 55.4 (1948), pp. 189–208.
- [17] F. H. Tong, S. G. Marlin, and B. J. Frost. “Visual-motor integration and spatial representation in a visual virtual environment”. In: *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 36 (1995).
- [18] O. Trullier, S. I. Wiener, A. Berthoz, and J. Arcady-Meyer. “Biologically based artificial navigation systems: Review and prospects”. In: *Progress in Neurobiology* 51 (1997), pp. 483–544.
- [19] *unity Learn*. URL: <https://learn.unity.com/>. (dostep: 28.12.2019).
- [20] *Unity User Manual (2018.3)*. URL: <https://docs.unity3d.com/2018.3/Documentation/Manual/index.html>. (dostep: 28.12.2019).
- [21] W. H. Warren, D. B. Rothman, B. H. Schnapp, and J. D. Ericson. “Wormholes in virtual space: From cognitive maps to cognitive graphs”. In: *Cognition* 166 (2017), pp. 152–163.

Spis rysunków

2.1	Schemat labiryntu wykorzystywanego w eksperymentach prowadzonych przez Tolmana i innych badaczy	16
2.2	Mapa trasy stworzonej w wirtualnym świecie, wzdłuż której poruszały się osoby badane w eksperymencie opisanym przez Aginsky i in. . . .	23
2.3	Mapa nieustrukturyzowanego środowiska stworzonego w ramach badań Hurlebaus i in.	25
2.4	Mapa wirtualnego miasteczka stworzonego w ramach eksperymentu Gillner i Mallota	29
2.5	Schemat labiryntu stworzonego w ramach eksperymentu Warrena i in.	32
4.1	Przykładowe okno uruchomieniowe systemu	42
4.2	Widok głównego menu systemu	43
4.3	Widok ekranu informującego o istnieniu katalogu o podanej nazwie .	44
4.4	Ekran startowy eksperymentu	45
4.5	Ekran dokonania błędnej decyzji na skrzyżowaniu	46
4.6	Ekran kontynuowania obecnego scenariusza	47
4.7	Ekran przejścia do kolejnego scenariusza	48
4.8	Ekran zakończenia eksperymentu	49
4.9	Struktura sceny głównego menu	52
4.10	Struktura sceny środowiska eksperymentalnego	53
4.11	Możliwe warianty strzałki nawigacyjnej	54
4.12	Widok komponentów obiektu <code>Main Character</code> oraz ich przykładowej konfiguracji	57
4.13	Przykładowa konfiguracja kontrolera odpowiedzialnego za zamiany budynków w trybie testowym eksperymentu	59

4.14	Przykładowa konfiguracja kontrolera odpowiedzialnego za odpowiednie wczytanie konfiguracji eksperymentu do pamięci	59
4.15	Przykładowa konfiguracja kontrolera StatisticsController	60
4.16	Struktura pojedynczej mapy stworzonej w systemie	62
4.17	Struktura hierarchii pojedynczego skrzyżowania	63
4.18	Przykładowy układ brył i ustawienie skrzyżowania w systemie	65
4.19	Przykładowa konfiguracja kontrolera TurnController	65
5.1	Rzut mapy utworzonej w systemie na wzór użytej w eksperymencie Aginsky i in.	68
5.2	Rzut mapy utworzonej w systemie na potrzeby drugiej fazy eksperymentu	72
5.3	Podział na grupy uczestników eksperymentu oraz odpowiadające gru- pom warianty skrzyżowań	73

Spis listingów

4.1	Przykładowa zawartość pliku konfiguracyjnego w formacie JSON . . .	40
4.2	Przykładowa zawartość pliku <i>stats.json</i>	47
4.3	Przykładowa zawartość pliku <i>choices.json</i>	48
4.4	Przykładowa zawartość pliku <i>events.json</i>	49
4.5	Przykładowa zawartość pliku <i>moevent.csv</i>	50

Załączniki

1. Płyta CD
2. Protokół eksperymentów pilotażowych
3. Kwestionariusz 1
4. Kwestionariusz 2
5. Kwestionariusz 3

Zawartość płyty CD

1. Katalog `code`:

- podkatalog `build` — wybudowana wersja symulatora;
- podkatalog `src` — pliki źródłowe symulatora.

2. Katalog `data`:

- plik `register.csv` — rejestr wszystkich uczestników;
- plik `statistics.csv` — zestawienie wyliczeń statystycznych;
- podkatalogi `NNNN` (gdzie `NNNN` — identyfikator pojedynczego uczestnika):
 - podkatalog `simulator` — dane zebrane automatycznie przez system podczas eksperymentu z danym uczestnikiem;
 - podkatalog `scans` — skany kwestionariuszy wypełnionych przez danego uczestnika oraz skan narysowanej przez niego mapy szkicowej.

3. Katalog `docs`:

- plik `tresc_pracy.pdf` — treść pracy;
- podkatalog `latex` — pliki źródłowe programu LaTeX.

Protokół eksperymentów badawczych

P01-DVR-200120

Data: 20 stycznia 2020 roku

Cele

1. Przetestowanie możliwości zastosowania nowego symulatora zaimplementowanego w środowisku Unity do eksperymentów związanych z badaniem zdolności nawigacyjnych człowieka poprzez:
 - powtórzenie tej części badań opublikowanych w [1], która dotyczyła uczenia się trasy i rysowania jej mapy szkicowej;
 - przeprowadzenie wstępnych badań związanych z określaniem kierunku przejazdu przez skrzyżowanie leżące na znanej trasie, gdy dojazd do skrzyżowania odbywa się z innego niż normalnie kierunku, a dodatkowo niektóre punkty charakterystyczne wokół skrzyżowania zostały podmienione.

Istotne aspekty

- Charakter eksperymentów: pilotażowy.

Informacje ogólne

Eksperymenty przeprowadzane są na grupie ochotników. Uczestnictwo w eksperymentach jest całkowicie dobrowolne. Za swój udział uczestnicy nie otrzymują jakiegokolwiek rekompensaty.

Każdy z uczestników podlega badaniom indywidualnie i niezależnie od innych uczestników. Eksperyment przeprowadzany na każdym z uczestników podzielony jest na 3 fazy, które realizowane są przez 2 dni, przy czym nie muszą to być dni następujące bezpośrednio po sobie.

Każdy z uczestników zostaje przyporządkowany do jednej z 3 grup eksperymentalnych. Przyporządkowanie odbywa się za pomocą metody karuzelowej. Przyporządkowanie to ma znaczenie tylko w trzeciej fazie eksperymentów.

Aby zapewnić bezstronność oceny uzyskanych wyników, każdemu uczestnikowi zostaje przyznany indywidualny i niepowtarzalny numer identyfikacyjny. Numer ten służy do identyfikowania wszelkich danych zebranych podczas eksperymentu od uczestnika, któremu został przyznany.

Na potrzeby eksperymentów prowadzony jest rejestr uczestników. Rejestr ten ma postać tabeli, w której każdy wiersz odpowiada jednemu uczestnikowi. W rejestrze gromadzone są następujące dane dotyczące uczestników:

- przyznany numer identyfikacyjny;
- imię;
- nazwisko;
- przyporządkowanie do grupy eksperymentalnej;

- data pierwszego dnia eksperymentów;
- data drugiego dnia eksperymentów.

Procedura

Dzień 1

1. Eksperymentator przedstawia potencjalnemu uczestnikowi warunki udziału w eksperymencie, z pominięciem tych szczegółów, które mogłyby mieć wpływ na wyniki badań. W szczególności informuje on, że eksperyment będzie polegał na przejeżdżaniu wyznaczonej trasy w wirtualnym mieście przy użyciu komputera, będzie podzielony na 3 fazy, które będą realizowane przez 2 dni, oraz że uczestnik będzie także proszony o wypełnienie 3 kwestionariuszy.
2. Potencjalny uczestnik w obecności eksperymentatora wyraża ustnie zgodę na udział w eksperymencie.
3. Eksperymentator przyznaje uczestnikowi indywidualny i niepowtarzalny numer identyfikacyjny, który składa się z czterech losowych cyfr.
4. Eksperymentator przyporządkowuje uczestnika do odpowiedniej grupy eksperymentalnej za pomocą metody karuzelowej.
5. Eksperymentator zapisuje w rejestrze uczestników przyznany numer identyfikacyjny uczestnika oraz imię i nazwisko uczestnika, a także jego przyporządkowanie do grupy eksperymentalnej, jak również bieżącą datę jako datę pierwszego dnia eksperymentu.
6. Uczestnik wypełnia otrzymany od eksperymentatora *Kwestionariusz 1*. Czas wypełniania kwestionariusza nie jest ograniczony.
7. Uczestnik przystępuje do pierwszej fazy eksperymentu. Celem tej fazy jest zapoznanie się przez uczestnika z mechaniką symulacji i sposobem poruszania się w wirtualnym świecie.
8. Eksperymentator wyjaśnia uczestnikowi zasady poruszania się w wirtualnym świecie przy użyciu komputera.
9. Eksperymentator uruchamia symulator i aktywuje w nim scenę *Practice*.
10. Uczestnik wykonuje przejazdy wzdłuż trasy wyznaczonej w ramach sceny *Practice*. Przejazdy kontynuowane są tak długo, aż uczestnik stwierdzi, że opanował sposób poruszania się w wirtualnym świecie. Po stwierdzeniu przez uczestnika, że sposób poruszania się w wirtualnym świecie został przez niego opanowany, eksperymentator przerywa dalsze przejazdy.
11. Uczestnik przystępuje do drugiej fazy eksperymentu. Celem tej fazy jest nauczenie się przez uczestnika trasy używanej w badaniach opublikowanych w [1], a następnie zbadanie znajomości przez uczestnika tej trasy na podstawie narysowanej przez niego jej mapy szkicowej.
12. Eksperymentator aktywuje w symulatorze scenę *AginskyRoad*.
13. Uczestnik wykonuje przejazdy wzdłuż trasy wyznaczonej w ramach sceny *AginskyRoad* według następującego schematu:
 - najpierw 2 przejazdy w trybie *TR1*;
 - następnie kolejne przejazdy w trybie *TR2* aż do bezbłędnego pokonania trasy.

14. Uczestnik rysuje mapę szkicową przejechanej trasy na otrzymanym od eksperymentatora arkuszu A4. Czas rysowania mapy nie jest ograniczony.
15. Uczestnik wypełnia otrzymany od eksperymentatora *Kwestionariusz 2*. Czas wypełniania kwestionariusza nie jest ograniczony.

Dzień 2

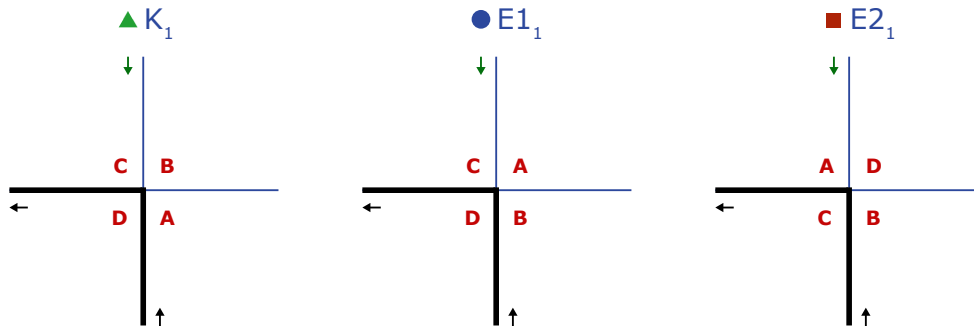
1. Eksperymentator zapisuje w rejestrze uczestników w wierszu zawierającym dane uczestnika bieżącą datę jako datę drugiego dnia eksperymentu oraz uruchamia symulator.
2. Eksperymentator pyta uczestnika, czy chciałby on przypomnieć sobie sposób poruszania się w wirtualnym świecie. Jeżeli uczestnik odpowie przecząco, następuje przejście do kolejnego punktu procedury. Jeżeli natomiast uczestnik odpowie twierdząco, wówczas eksperymentator aktywuje w symulatorze scenę *Practice*, po czym uczestnik wykonuje przejazdy wzdłuż trasy wyznaczonej w ramach tej sceny tak długo, aż stwierdzi, że przypomniał sobie sposób poruszania się w wirtualnym świecie.
3. Uczestnik przystępuje do trzeciej fazy eksperymentu. Celem tej fazy jest nauczanie się przez uczestnika nowej trasy, a następnie zbadanie, w jaki sposób uczestnik pokona 3 skrzyżowania leżące na tej trasie, gdy dojazd do skrzyżowań odbywać się będzie z innego niż normalnie kierunku, a dodatkowo niektóre punkty charakterystyczne wokół skrzyżowań zostaną podmienione, przy czym za każdym razem zadanie będzie polegało na zjechaniu ze skrzyżowania zjazdem prowadzącym w kierunku końca trasy.
4. Eksperymentator aktywuje w symulatorze scenę *BugfixingRoadSystem*.
5. Uczestnik wykonuje przejazdy wzdłuż trasy wyznaczonej w ramach sceny *BugfixingRoadSystem* według następującego schematu:
 - najpierw 2 przejazdy w trybie *TR1*;
 - następnie kolejne przejazdy w trybie *TR2* aż do bezbłędnego pokonania trasy.
6. Uczestnik wykonuje przejazd w trybie *TEST* polegający na pokonaniu 3 testowych skrzyżowań zgodnie ze swoim przyporządkowaniem do grupy eksperymentalnej.
7. Uczestnik wypełnia otrzymany od eksperymentatora *Kwestionariusz 3*. Czas wypełniania kwestionariusza nie jest ograniczony.

Grupy eksperymentalne

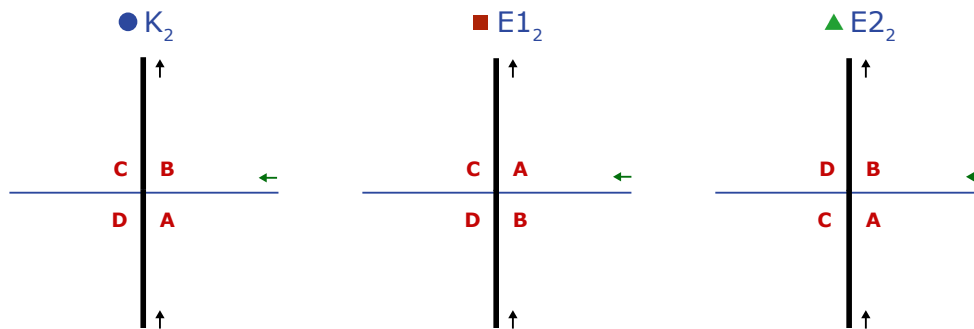
Każdy uczestnik zostaje przyporządkowany do jednej z 3 grup eksperymentalnych. Grupy oznaczone są jako: zielona, niebieska i czerwona. Przyporządkowanie do grupy wyznacza warunki, jakie napotka uczestnik podczas pokonywania 3 testowych skrzyżowań w trzeciej fazie eksperymentu. Uczestnicy w każdej grupie eksperymentalnej pokonują jedno z tych skrzyżowań w warunkach kontrolnych (tj. dojeżdżają do skrzyżowania z innego niż normalnie kierunku, ale żadne punkty charakterystyczne wokół skrzyżowania nie są podmienione), natomiast pozostałe dwa - w warunkach eksperymentalnych (tj. dojeżdżają do skrzyżowania z innego niż normalnie kierunku i dodatkowo niektóre punkty charakterystyczne wokół skrzyżowania są podmienione).

Schematyczne określenie warunków dla poszczególnych grup eksperymentalnych przedstawia poniższy rysunek:

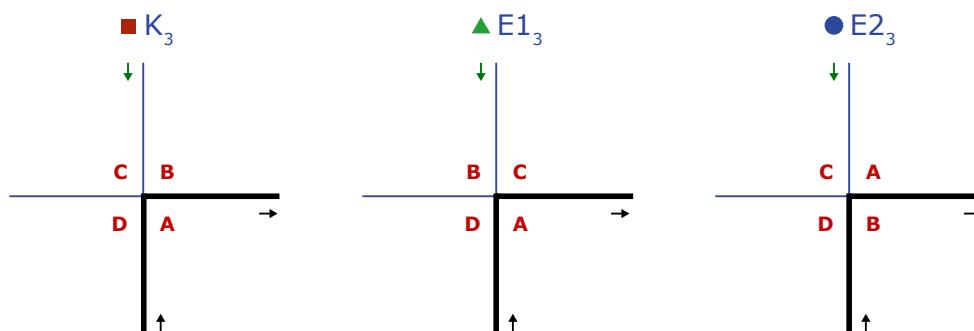
T1 - skrzyżowanie aktywne (skręt w lewo)



T2 - skrzyżowanie pasywne



T3 - skrzyżowanie aktywne (skręt w prawo)



Literatura

[1] Aginsky V, Harris C, Rensink R, Beusmans J. Two strategies for learning a route in a driving simulator. *Journal of Environmental Psychology* 1997; 7:317-331.

Identyfikator uczestnika: _____	Data: ____/____/____	Godzina: ____:____
---------------------------------	----------------------	--------------------

KWESTIONARIUSZ 1

W przypadku pytań zamkniętych wybierz odpowiedź poprzez otoczenie odpowiedniej litery okręgiem, zaś w przypadku pytań otwartych odpowiedzi udziel w postaci opisowej w przeznaczonym do tego miejscu.

1. Płeć:

- A. Kobieta
- B. Mężczyzna

2. Wiek (w latach): _____

3. Jak oceniasz swoje umiejętności odnajdywania się w terenie?

- A. Słabo orientuję się w terenie, mam tendencje do gubienia się
- B. Średnio orientuję się w terenie, potrzebuję trochę czasu, by zapamiętać drogę i odnaleźć się w nowym miejscu
- C. Dobrze orientuję się w terenie, łatwo zapamiętuję drogę i szybko potrafię się odnaleźć w nowym miejscu

4. Jak oceniasz swoją spostrzegawczość?

- A. Łatwo zauważam nowe rzeczy lub zmiany w znanych mi miejscach
- B. To zależy od okoliczności: czasem łatwo zauważam nowe rzeczy lub zmiany w znanych mi miejscach, a czasem nie
- C. Z reguły rzadko udaje mi się szybko zauważyć nowe rzeczy lub zmiany w znanych mi miejscach

5. Jak często w ciągu ostatnich 3 lat grałeś/eś w gry komputerowe wymagające poruszania się w nowym terenie (np. wyścigi samochodowe, tzw. strzelanki pierwszoosobowe)?

- A. Przynajmniej raz w tygodniu
- B. Kilka razy w miesiącu
- C. Kilka lub kilkanaście razy w roku
- D. Nigdy lub prawie nigdy

6. Jak oceniasz swoją pamięć?

- A. Mam tendencje do częstego zapominania o różnych rzeczach, które mam do zrobienia, jak również do zapominania szczegółów wydarzeń z przeszłości
- B. Zazwyczaj pamiętam o rzeczach, które mam do zrobienia, jak i o ważnych wydarzeniach z przeszłości, choć czasami zdarza mi się o czymś zapomnieć
- C. Rzadko zdarza mi się zapomnieć o jakiejś rzeczy do zrobienia, z reguły bardzo dobrze i dość szczegółowo pamiętam też ważne wydarzenia z przeszłości

Identyfikator uczestnika: _____	Data: ____/____/____	Godzina: ____:____
---------------------------------	----------------------	--------------------

KWESTIONARIUSZ 2

W przypadku pytań zamkniętych wybierz odpowiedź poprzez otoczenie odpowiedniej litery okręgiem, zaś w przypadku pytań otwartych odpowiedzi udziel w postaci opisowej w przeznaczonym do tego miejscu.

1. Jak wygodnie kierowało Ci się poruszaniem podczas jazdy?

2. Czy widoczność podczas jazdy była odpowiednia, a jeśli nie - to dlaczego?

3. Czy było coś, co rozpraszało Cię podczas jazdy, a jeśli tak - to co?

4. Czy na trasie było coś, co szczególnie przyciągnęło Twoją uwagę, a jeśli tak - to co?

5. Jak oceniasz długość trasy do przejechania?

- A. Niezbyt długa
- B. Dość długa
- C. Bardzo długa

6. Czy kartki do rysowania map miały odpowiedni rozmiar?

7. Czy jazda po trasie była męcząca?

- A. Niezbyt
- B. Trochę
- C. Bardzo

8. Inne Twoje uwagi dotyczące przebiegu badania:

Identyfikator uczestnika: _____	Data: ____/____/____	Godzina: ____:____
---------------------------------	----------------------	--------------------

KWESTIONARIUSZ 3

W przypadku pytań zamkniętych wybierz odpowiedź poprzez otoczenie odpowiedniej litery okręgiem, zaś w przypadku pytań otwartych odpowiedzi udziel w postaci opisowej w przeznaczonym do tego miejscu.

1. Jak oceniasz długość trasy do przejechania?

- A. Niezbyt długa
- B. Dość długa
- C. Bardzo długa

2. Czy na trasie było coś, co szczególnie przyciągnęło Twoją uwagę, a jeśli tak - to co?

3. Czy skrzyżowania, które przejeżdżałaś/eś podczas przejazdów testowych, występowały na trasie?

- A. Tak, wszystkie
- B. Tylko jedno lub dwa
- C. Żadne
- D. Nie wiem, ciężko mi ocenić

4. Na którym spośród skrzyżowań do przejechania podczas przejazdów testowych najłatwiej było Ci podjąć decyzję o wyborze kierunku?

- A. Pierwszym
- B. Drugim
- C. Trzecim
- D. Na wszystkich było podobnie
- E. Nie pamiętam

5. Inne Twoje uwagi dotyczące przebiegu badania:
