

Symulacja zachowania się drapieżników i ofiar

Marek Gągolewski

Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych
Politechnika Warszawska

16 kwietnia 2008
rev. 18 kwietnia 2008

Plan prezentacji

- 1 Wprowadzenie. Założenia środowiska symulacyjnego /kwiecień 2008 r./
- 2 Modele zachowania się drapieżników i ofiar. Wyniki empiryczne /czerwiec 2008 r./

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przeptyw sterowania

- Nauka — *metoda* zdobywania wiedzy o świecie.
- Nauka empiryczna — związana ze światem fizycznym.
- Celem nauki — znalezienie wyjaśnienia.

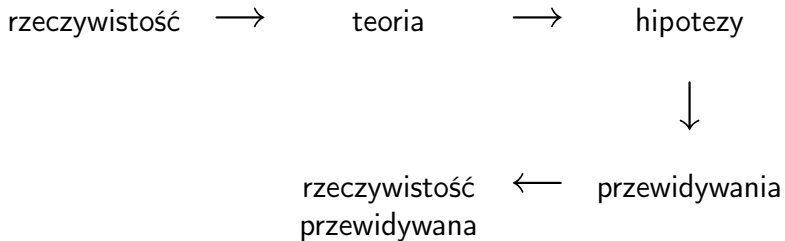
Proces badania naukowego:

- 1 obserwacje wstępne,
- 2 tworzenie hipotezy badawczej,
- 3 weryfikacja (testowanie) hipotezy badawczej,
- 4 przyjęcie bądź odrzucenie hipotezy badawczej.

Francis Bacon (1561–1626) — jedyny sposób pozwalający na testowanie hipotez to:

- kontrolowany eksperyment albo
- obserwacja empiryczna.

Teoria a doświadczenie: Model hipotetyczno-dedukcyjny C. Hempela.

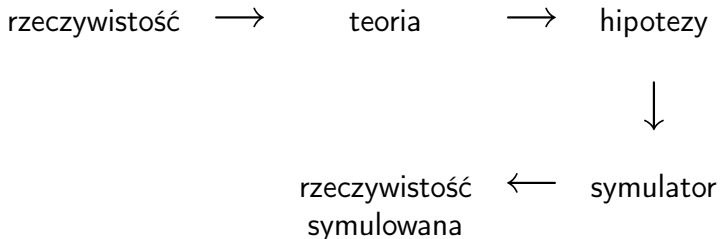


Kluczowe pytanie:

rzeczywistość =? rzeczywistość przewidywana

- W początkowej fazie rozwoju każdej dyscypliny naukowej dominuje niepewna indukcja:
- Rozwój tylko poprzez indukcyjne formułowanie czysto opisowych uogólnień na podstawie obserwacji.
- Funkcja instruująca raczej niż wyjaśniająca.
- Psychologia, etologia, zoologia, . . . :
 - niemożność odizolowania wpływu eksperymentu na zachowanie się badanych obiektów,
 - problem z konstrukcją ilościowych narzędzi pomiarowych.
- Problem: jak rzetelnie porównać *rzeczywistość* z *rzeczywistością przewidywaną*?

Symulacja komputerowa.



Nowe kluczowe pytanie:

rzeczywistość =[?] rzeczywistość symulowana

- Konieczny jest matematyczny (formalny) model teorii.
- Proces weryfikacji hipotez nieco bardziej przypomina eksperyment: mamy wpływ na wartości zmiennych niezależnych.
- Zastosowania: zob. Nowak, 2000 (kognitywistyka) oraz Enquist i Ghirland, 2005 (podstawy użycia sieci neuronowych do modelowania zachowania się zwierząt).

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 **Wprowadzenie**
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przepływ sterowania

- Celem pracy jest stworzenie ogólnego wirtualnego środowiska imitującego środowisko naturalne, w którym możliwa jest weryfikacja modeli teoretycznych dotyczących zachowania się zwierząt i ludzi poprzez symulację.
- W celu pokazania przydatności systemu zaimplementowany zostanie w tym środowisku przykład wzajemnego wpływu na siebie populacji drapieżników i populacji ofiar.

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 **Wprowadzenie**
 - Cel pracy
 - Zastosowania**
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przepływ sterowania

- Nauki o zachowaniu się organizmów żywych, modelowanie ekosystemów (również natury nieożywionej),
- Animacja komputerowa (Reynolds, 1987; Tu, 1996; Tang Wang i Patel, 2003),
- Sztuczna inteligencja, sztuczne życie (Halper i in., 2001; Charles i in. 2002; Lin i in., 2004),
- Robotyka (Lakemeyer i in., 2007; Baranowski, 2008),
- ...

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 **Wprowadzenie**
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu**
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przepływ sterowania

- C. Reynolds (1987, 1999, 2008) — idea systemów cząstek (Reeves, 1983) zastosowana do animacji zachowania się stada ptaków (ang. *boids*) — autonomiczni agenci.
Stado:
 - ➊ ruch bezkolizyjny (unikanie zderzeń),
 - ➋ spolaryzowany (wspólny kierunek — dopasowanie prędkości do sąsiadów),
 - ➌ zwarty (trzymanie się blisko sąsiadów).

-

FILM

- G. Miller (1988) — węże i dżdżownice.

FILM

- X. Tu (1994a; 1994b; 1996) — środowisko wodne.
3 rodzaje rybek. Zachowania m.in.: unikanie zderzeń,
jedzenie, atakowanie, ucieczka, grupowanie w ławice,
taniec godowy wraz z zapłodnieniem. Prądy wodne.

FILM



Rysunek: X. Tu (1996)



Rysunek: X. Tu (1996)



Rysunek: X. Tu (1996)

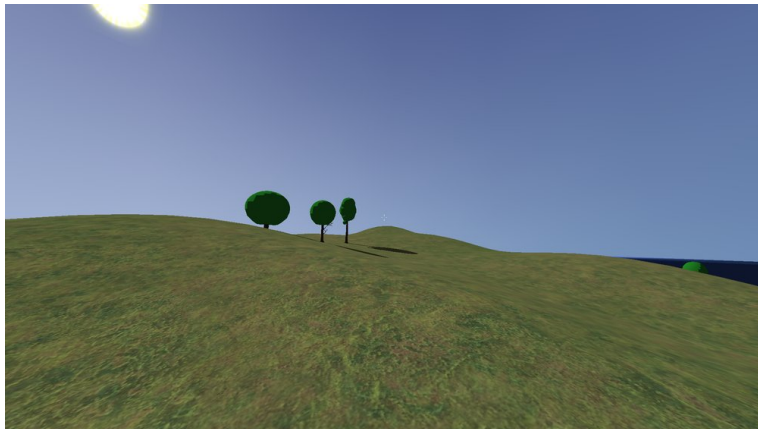
- M. Komosiński i S. Ulatowski (1999, 2008) — *Framsticks* (patyczaki); idea Simsa (1994a, 1994b). Ewolucja stworzeń — budowy ciała i układu decyzyjnego (sieci neuronowej). Możliwy podgląd budowy i zachowania się patyczaków.

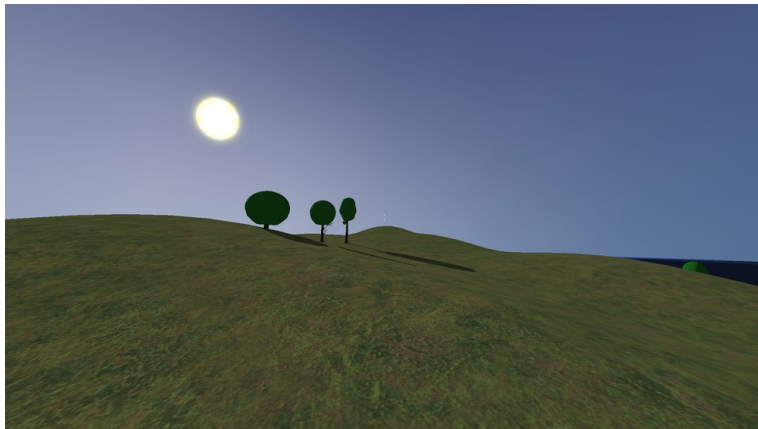
FILM

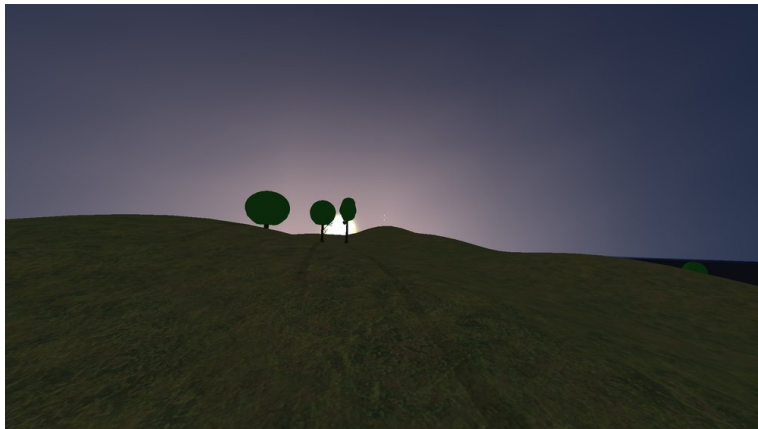
- Benes i Cordoba (2003) — modelowanie wirtualnych ekosystemów roślinnych. Agenci-ogrodnicy pielęgnujący florę.
- Tang, Wang i Patel (2003) — symulacja tłumów wirtualnych ludzi po rozległych obszarach terenu. Podobnie — Reynolds (2006).

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przepływ sterowania

- Reprezentuje oddziaływania dokonywane przez obiekty zewnętrzne.
- Ciała niebieskie, np. Słońce — źródło światła.
- Pozycja Słońca na nieboskłonie (rektascensja, deklinacja) jest wyznaczana na podstawie środowiskowej szerokości geograficznej (stałej) oraz aktualnej daty i czasu.
- Ruch ciał można wyłączyć.
- W przykładowej implementacji nasłonecznienie terenu nie jest brane pod uwagę.







- Możliwe rozszerzenia:
 - zachmurzenie (efekt wizualny; wpływ na nasłonecznienie),
 - Księżyc z fazami (źródło światła w nocy),
 - gwiazdy w nocy (efekt wizualny),
 - opady atmosferyczne (również wpływające na stan terenu — pokrycie śniegiem, kałuże),
 - temperatura,
 - siła i kierunek wiatru,
 - kataklizmy (pożar, susza, wybuch bomby atomowej, powódź, choroby).

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przepływ sterowania

- Składowa, po której poruszają się aktorzy i na której rośnie flora.
- Wbudowane algorytmy losowego generowania map wysokości (m.in. ułamkowych powierzchni Browna, zob. np. Falconer, 2003) — ruchy tektoniczne Mandelbrota (1975; Shankel, 2002); podział romb-kwadrat (Fournier i in., 1982; Miller, 1986; Shankel, 2002b; Olsen, 2004).
- Filtry (np. zrobienie wyspy, zmiana średniej i wariancji itp.).

- Mapa wysokości (dyskretna siatka punktów) → punkty kontrolne zmodyfikowanej powierzchni typu NURBS (gładka powierzchnia typu C^2): $p(u, v)$, $u \in [0, w]$, $v \in [0, h]$.
- np. mapa wysokości rozmiaru 33×33 (4 KB) → siatka 28×28 punktów kontrolnych NURBS → teren 560×560 m (ok. 31 ha).
- x — szerokość, y — długość geograficzna, $z = p(x, y)$ — wysokość n.p.m.
- $z \geq 0$ — teren.
- $z < 0$ — zbiornik wodny (morze, jeziora, rzeki): przeszkoda terenowa, źródło wody dla aktorów; niektórzy aktorzy mogą utonąć, jeśli przebywają zbyt długo pod powierzchnią wody.

- Teren 3D — estetyczna prezentacja, zdefiniowanie zbiorników wodnych, ale przykładowa implementacja aktorów nie będzie brała pod uwagę wypukłości powierzchni.
- Możliwe rozszerzenia:
 - teren nieograniczony (zawijanie),
 - trawa (wzrost, źródło pożywienia),
 - algorytmy widoczności 3D (wykrywanie wypukłości) — przecięcie prosta-NURBS (np. Abert i in., 2006).

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora**
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przepływ sterowania

- Reprezentuje elementy statyczne terenu, np. drzewa, krzewy.
- Nie — trawa.
- Rola:
 - przeszkody terenowe,
 - źródło pożywienia.

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przepływ sterowania

Definicja

Aktor (agent) to obiekt istniejący w środowisku, percypujący je same i jego elementy. Ma zdolność do komunikowania się, aktywnego monitorowania otoczenia, podejmowania autonomicznych decyzji w celu zaspokojenia swych potrzeb.

- Przykłady: robot do grania w piłkę, samochód patrolujący teren, wirtualne zwierzę roślinożerne, wirtualny drapieżnik.

- Na aktorów oddziałują bodźce oraz siły zewnętrzne.
- Każdy aktor wymaga nieustannej aktualizacji swojego stanu — pod wpływem oddziaływań zewnętrznych, własnych celów, popędów i aktualnej sytuacji, w której się znajduje.
- Szczegóły budowy przykładowych aktorów — na następnej prezentacji.

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przeptyw sterowania

- Narzędzia: C++, Qt, OpenGL, OpenAL.
- Złożona hierarchia klas o różnym stopniu ogólności, po których dziedziczenie zwalnia użytkownika z konieczności implementacji najbardziej typowych operacji.
- Użycie drzewa czwórkowego (ang. *quadtree*) w celu redukcji ilości koniecznych porównań do znajdowania obiektów w niewielkiej odległości od siebie ($O(n^2) \rightarrow O\left(\left(\frac{n}{k}\right)^2\right)$).

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 **Szczegóły implementacyjne**
 - Interfejs
 - Bodźce**
 - Zasady ogólne
 - Przeptyw sterowania

- Służą do informowania aktorów o stanie otoczenia, działaniu innych aktorów itp.
- Podstawowe typy bodźców:
 - słuchowe,
 - dotykowe (również ból),
 - węchowe (pożywienie, inni aktorzy),
 - smakowe (spożycie),
 - wzrokowe (wymagają aktywnego przeglądania przestrzeni — dostępne na życzenie),
 - ...

- Bodźce są wysyłane za pośrednictwem środowiska (globalna kolejka komunikatów).
- Każdy aktor jest wyposażony we własną kolejkę bodźców.
- Aktor może:
 - Wysłać bodziec do konkretnego aktora (komunikacja bezpośrednia).
 - Wyemitować bodziec (np. krzyknąć).
 - Odebrać bodziec:
 - od konkretnego aktora (np. usłyszeć krzyk) lub
 - środowiskowy (np. informację o kolizji, informację o usunięciu obiektu ze środowiska).

- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przeptyw sterowania

Każdy aktor jest sam odpowiedzialny za:

- wyświetlenie samego siebie na żądanie środowiska,
- zapytanie się środowiska o widoczne przez niego obiekty,
- przetworzenie bodźców wejściowych,
- decyzję co do dalszego postępowania,
- wykonanie ruchu zgodnie z uproszczonymi prawami fizyki — brak kontroli ze strony środowiska,
- stworzenie nowych aktorów (np. w wyniku rozmnażania),
- uśmiercenie samego siebie (np. w wyniku utonięcia, zdechnięcia z głodu, bycia zagryzionym przez drapieżnika),
- emisję bodźców zapachowych w celu poinformowania innych zwierząt o swojej obecności („Uwaga! Ja pachnę!”).

- Środowisko nie narzuca zbyt wielu ograniczeń na zachowanie się agentów.
- Duża autonomia.
- Ogólność — efekt uboczny: mniejsza wydajność systemu w porównaniu z ewentualnymi rozwiązaniami specyficznymi.

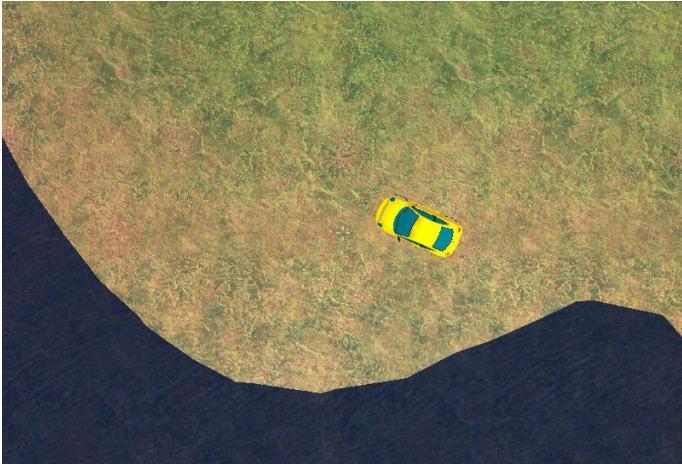
Środowisko zapewnia:

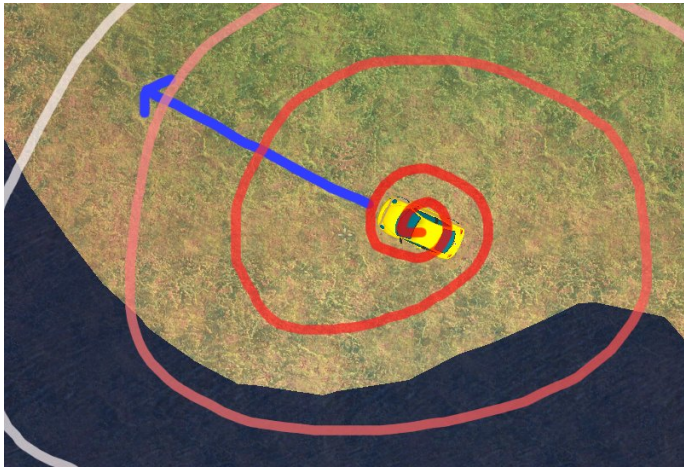
- wymianę komunikatów (bodźców) między agentami, biorącą pod uwagę siłę bodźca, jego zasięg itp.
- wykrywanie kolizji agent-obiekt środowiskowy,
- przeszukiwanie wzrokowe otoczenia (np. w poszukiwaniu najbliższej przeszkody terenowej),
- dostęp do terenu (wysokość, rodzaj),
- dostęp do aktualnych własności środowiska (nasłonecznienie, temperatura, data i czas, współczynnik przyspieszenia ziemskiego itp.),
- wywoływanie procedury aktualizacji aktorów w stałym interwale czasowym Δt .

Czas CPU niewykorzystany na obliczenia aktualizujące środowisko przeznaczony jest na graficzną reprezentację symulacji (miara wydajności) i przetwarzanie sygnałów wejściowych.

Symulator sekwencyjny: Procesy aktualizacji i renderingu są niezależne od siebie, ale nie mogą być wykonywane równoległe (choć możliwa jest modyfikacja systemu w celu przetwarzania równoległego).

Bodźce — przykład I: samochody.







Bodźce — przykład II: stado i drapieżnik.













- 1 Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
- 2 Wprowadzenie
 - Cel pracy
 - Zastosowania
 - Przegląd literatury przedmiotu
- 3 Części składowe środowiska
 - Nieboskłon
 - Teren i woda
 - Flora
 - Aktorzy
- 4 Szczegóły implementacyjne
 - Interfejs
 - Bodźce
 - Zasady ogólne
 - Przeptyw sterowania

1. Inicjacja.

- 1 Inicjacja generatora liczb pseudolosowych (determinizm!).
- 2 Inicjacja systemu obsługi dźwięku i grafiki.
- 3 Generowanie i filtrowanie terenu.
- 4 Generowanie roślinności.
- 5 Generowanie aktorów.
- 6 Ustawienie czasu środowiskowego.
- 7 Inicjacja graficzna wszystkich obiektów.
- 8 Generowanie drzewa czwórkowego.
- 9 Uruchomienie zegara.

2. Pętla główna (odpowiedź na zdarzenie zegara, wejściowe bądź żądanie przerysowania).

- Reakcja na polecenia z urządzeń wejściowych (klawiatura, mysz).
- Rendering sceny 3D.
- Aktualizacja stanu obiektów — stały interwał czasowy.
 - 1 Aktualizacja czasu środowiskowego.
 - 2 Aktualizacja obiektów na nieboskłonie.
 - 3 Wysyłanie bodźców z kolejki komunikatów do zainteresowanych aktorów.
 - 4 Wykrywanie kolizji.
 - 5 Aktualizacja aktorów — podejmowanie decyzji.
 - 6 Aktualizacja aktorów — modyfikacja stanu.
 - 7 Aktualizacja drzewa czwórkowego.
 - 8 Aktualizacja systemu dźwiękowego.

3. Zakończenie.

- 1 Usunięcie obiektów.
- 2 Zamknięcie systemu obsługi dźwięku i grafiki.

Plan
Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
Wprowadzenie
Części składowe środowiska
Szczegóły implementacyjne

Interfejs
Bodźce
Zasady ogólne
Przeływ sterowania

Co dalej?

Plan
Problem nauk „miękkich”. Symulacja komputerowa
Wprowadzenie
Części składowe środowiska
Szczegóły implementacyjne

Interfejs
Bodźce
Zasady ogólne
Przeływ sterowania

Dziękuję za uwagę!