

Ewa LACH, Katarzyna WADAS  
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

## OCENA ANIMACJI SZKIELETOWYCH POSTACI WIRTUALNYCH

**Streszczenie.** W artykule omówiono nowy algorytm automatycznej oceny jakości animacji postaci szkieletowych. Zaproponowano trzy podstawowe aspekty oceny (poprawność, czas, realizm), które decydują o wpływie poszczególnych składników oceny na końcową ocenę animacji. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły użyteczność proponowanego algorytmu w procesie animacji.

**Słowa kluczowe:** animacja behawioralna, ocena animacji

## THE MEASURE OF ARTICULATED, VIRTUAL CHARACTERS ANIMATION

**Summary.** The paper describes a new algorithm for automatic measurement of articulated characters animation. Three main aspects of the measure: the correctness, the time and the realism were proposed. They decide what influence have each component of the measure on the global value. The usefulness of the proposed algorithm for an animation process was verified during conducted experiments.

**Keywords:** behavioral animation, animation measure

### 1. Wstęp

Na przestrzeni ostatnich kilku lat można zaobserwować ogromny postęp w dziedzinie automatyzacji animacji komputerowych oraz wzrost ich realizmu. Animacje komputerowe wykorzystywane są obecnie nie tylko w silnie rozwijającym się przemyśle gier komputerowych, filmu i reklamy, ale mają również coraz większe zastosowanie w aplikacjach medycznych, z psychologii i architektury. Przykładem mogą być tu systemy wirtualnego szkolenia wojska lub systemy ewakuacji z budynków. Istotne osiągnięcia zanotowano

w rozwoju automatycznie generowanych animacji behawioralnych, w animacjach „myślących” tłumów oraz interaktywności „inteligentnych” postaci trójwymiarowych.

Tematem niniejszej pracy jest stworzenie ilościowej oceny animacji szkieletowych postaci ludzkich, pozwalającej na znaczącą automatyzację pracy animatorów. Obecnie stosowane algorytmy oceny przeznaczone są tylko do konkretnych zastosowań. Na dzień dzisiejszy obserwujemy brak uniwersalnych metod oceny animacji. Opracowanie takiej miary pozwoliłoby stworzyć narzędzia służące do generacji oraz automatycznej oceny animacji wirtualnych postaci trójwymiarowych oraz powstałych z nich tłumów. Oczywiście, systemy te nie zastąpią wizualnej, bardzo subiektywnej oceny animacji przez osoby je oglądające, jednak pozwolą łatwiej, szybciej i efektywniej tworzyć bardziej realistyczne i poprawne animacje postaci ludzkich.

## 2. Animacja trójwymiarowej postaci wirtualnej

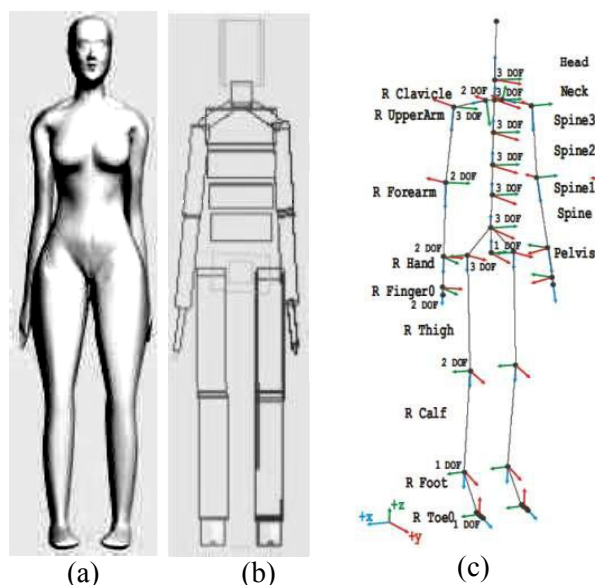
W procesie animacji trójwymiarowej postaci wyróżnić można trzy główne etapy:

- modelowanie – tworzenie modelu trójwymiarowej postaci,
- animowanie – zmiana wartości określonych parametrów charakteryzujących model postaci w funkcji czasu,
- wizualizacja – tworzenie poszczególnych obrazów modelu postaci, uwzględniając m.in. takie informacje, jak pozycja, orientacja i parametry kamery oraz światła, tekstury, przezroczystość obiektów, a także zadaną rozdzielczość oraz liczbę klatek.

W modelu postaci wyróżnić możemy ciało (awatara) oraz umysł (agenta).

Awatar posiada reprezentację graficzną, kontrolery ruchu oraz mechanizmy odpowiedzialne za jego kolizje. Awatar najczęściej tworzony jest z warstw. Mają one odrębne właściwości fizyczne oraz geometryczne z odpowiednimi regułami opisującymi związki pomiędzy poszczególnymi warstwami. Liczba warstw wykorzystywanych w trakcie animacji zależy od wymagań stawianych postaci. Najczęściej stosuje się skórę (rys. 1a), bryły otaczające (rys. 1b) pomocne przy wykrywaniu kolizji oraz szkielet (rys. 1c). W animacjach wymagających większej szczegółowości spotykane są również warstwy mięśni, włosów, futra lub ubrań.

Szkielet jest hierarchicznym systemem składającym się z kości połączonych ze sobą za pomocą stawów. Stawy narzucają ograniczenia na ruch połączonych w nich kości. Do szkieletu przypisana jest warstwa skóry, modelowana na przykład siatką wielokątów. Każdy jej wierzchołek zależy od zmian w szkielecie. Wraz z ruchem kości, skóra podlega deformacji. Łączenie skóry postaci ze szkieletem polega na przypisywaniu kości poszczególnych punktów statki za pomocą odpowiednich obwiedni (ang. envelopes).



Rys. 1. Postać kobiety: skóra postaci (a), hierarchia brył otaczających (b), szkielet (c)  
 Fig. 1. Virtual character skin (a), bounding volume hierarchy(b), skeleton(c)

W celu obniżenia liczby testów sprawdzających kolizję postaci z otoczeniem lub pomiędzy częściami ciała postaci tworzone są dwa poziomy drzewa brył otaczających. Pierwsze drzewo odzwierciedla szkielet postaci – jego węzły i liście to bryły otaczające pojedyncze kości. Drugie drzewo tworzy hierarchię brył, w której korzeń jest bryłą otaczającą całą postać, a liście to bryły otaczające pojedynczą kość.

Za określenie akcji, jakie ma wykonać postać oraz sposób ich wykonania, odpowiedzialny jest umysł, który w zależności od złożoności symulowanego myślenia może być w różny sposób reprezentowany (m.in. za pomocą zbioru reguł [9, 10], drzew decyzyjnych [6], skryptów [11, 12], automatów skończonych [13, 14], sieci neuronowych [2, 3]).

Obecnie jedynie proces wizualizacji jest w pełni zautomatyzowany. Komercyjne pakiety animacyjne, szeroko wykorzystywane przez profesjonalistów, takie jak 3D StudioMax lub Maya ułatwiają modelowanie i animacje, ale nie pozwalają na ich automatyzację. Jednym z powodów tego stanu jest brak ilościowej oceny, która pozwoliłaby wyeliminować subiektywne decyzje animatora, dotyczące jakości tworzonej animacji.

### 3. Aspekty oceny animacji

Rozważając problem oceny animacji, warto zadać sobie pytanie, w jakim celu dana ocena powstaje. Innymi miarami oceniać będziemy bowiem animację, jeśli zależy nam na jak najkrótszym czasie jej generacji, nie zważając na walory artystyczne, a inaczej kiedy chcemy uzyskać jak najbardziej realistyczny ruch niezależnie od czasu i środków jego generacji.

Odpowiedzią na wyżej wymieniony problem może być wprowadzenie wag stopniujących wpływ poszczególnych parametrów oceny w zależności od wymagań stawianych animacji.

W niniejszej pracy zaproponowane zostały trzy aspekty analizy animacji postaci wirtualnej:

- poprawność,
- czas,
- realizm.

Pierwszym badanym aspektem oceny animacji postaci ludzkich jest jej **poprawność**, obejmująca:

- spełnienie celu,
- brak kolizji,
- legalność ruchów.

Są one sprawdzane na poszczególnych etapach powstawania animacji. Przykładowo, jeżeli tworzymy animację przywitania przez podanie dłoni, czynnik spełnienia celu wymaga zaprojektowania modelu postaci, która potrafi ruszać ręką, oraz wygenerowania strategii postępowania postaci, która zakłada spotkanie się postaci i podanie sobie przez nich dłoni. Kolizję badać możemy zarówno na etapie modelowania postaci (pomiędzy poszczególnymi częściami jej ciała), jak i w trakcie generowania strategii jej postępowania. Legalność ruchów postaci uwzględnia ograniczenia nakładane na stawy postaci (np. brak możliwości obrotu stawu łokciowego o 180 stopni) oraz jej ruchy (np. uniemożliwienie postaci zawisnięcie w powietrzu).

Kolejnym aspektem, w jakim warto oceniać animację postaci, jest **czas** potrzebny na jej utworzenie, będący istotnym czynnikiem na każdym etapie procesu animacji. Podczas tworzenia postaci ważne jest, jak długo potrwa przygotowanie poszczególnych warstw postaci oraz odpowiednie ich połączenie. Duży wpływ na czas tworzenia animacji ma także czas opracowania oraz samego działania algorytmu wykrywania kolizji. Obecnie nie jest możliwe dokładne wyliczenie czasu potrzebnego na etap modelowania, ponieważ zależy on głównie od konkretnych narzędzi animacyjnych oraz wprawy samego animatora. Są to elementy generowania animacji, które trudno jest, na dzień dzisiejszy, zautomatyzować, ze względu na ich artystyczne korzenie. Proces generacji strategii postępowania postaci także ociera się o sztukę, ale w ostatnich latach w literaturze naukowej możemy zaobserwować wzrost badań nad automatyzacją tego procesu za pomocą sieci neuronowych [2, 3], uczenia ze wzmacnianiem (ang. Reinforcement Learning) [1], programowania genetycznego [4, 5], a także innych mniej rozpowszechnionych technik [6-8]. Oceniając czas generacji strategii postępowania postaci, możemy podzielić proponowane rozwiązania w zależności od tego, czy możliwa jest ich realizacja w czasie rzeczywistym czy nie. Istotne znaczenie ma czynnik

czasu również na etapie samej wizualizacji. W tym przypadku spore znaczenie ma sprzęt, na którym animacja jest wizualizowana.

Zyskującym obecnie na znaczeniu aspektem oceny współcześnie powstających animacji jest jej **realizm**. Niestety, jest to także aspekt trudno mierzalny i najbardziej subiektywny. Realizm animacji osiąga się na różne sposoby: od w miarę dokładnego odwzorowania budowy ciała postaci przez naturalność jej ruchów, osiąganą za pomocą różnych metod. Jedną z możliwości jest odzwierciedlenie w zachowaniu postaci jej charakteru czy emocjonalności. Inne metody to np. stosowanie nadmiarowych podruchów, zaobserwowanych w rzeczywistych ruchach ludzi. Są to na przykład zamachy przed wyrzutem, zmiany prędkości ruchu, brak całkowitego zatrzymania postaci i inne.

Wymienione aspekty oceny nie są od siebie niezależne. Minimalizując czas generacji animacji, pogarszamy jej poprawność i realizm. Wzrost poprawności wpływa jednak na polepszenie realizmu animacji.

#### 4. Algorytm oceny animacji

Zaproponowany algorytm oceny został podzielony na trzy logiczne części, wynikające z charakteru powstawania współczesnych animacji postaci. Pierwszy etap analizy procesu animacji obejmuje ocenę awatara o określonych parametrach. W ramach drugiego etapu oceniana jest strategia postępowania postaci oraz metoda jej generacji (umysł postaci). Trzecia część oceny animacji dotyczy jej wizualizacji. Po każdym etapie uzyskany produkt badany jest pod kątem poprawności, realizmu oraz czasu powstania. W zależności od aspektu analizy całej animacji, różnym tym czynnikom przypisywane są różne wagi. Algorytm zakłada powtórzenie danego etapu tworzenia animacji, jeśli uzyskana przez niego ocena będzie odpowiednio niska. Jeżeli ocena danego etapu wypadnie „pomyślnie”, tworzenie animacji jest kontynuowane. Po zakończeniu procesu animacji tworzona jest ocena globalna, obejmująca nie tylko ocenę otrzymanego wyniku, ale także nakłady potrzebne na jego uzyskanie. Tak skonstruowany algorytm zapewnia możliwość poprawy animacji na każdym etapie jej powstawania. W przypadku możliwości automatyzacji każdego z analizowanych etapów możliwe będzie stworzenie narzędzia samodzielnie generującego poprawne względem zadanego aspektu oceny animacje. Zadaniem animatora byłoby wtedy wyłącznie określenie parametrów postaci, zdefiniowanie jej celu oraz aspektu oceny. Takie narzędzie nie zastąpiłoby artystów animacji, ale wspomogło generowanie animacji w interaktywnych światach wirtualnych, w symulacjach trójwymiarowych, w grach i w filmach do animacji grup i tłumów. To znaczy wszędzie tam, gdzie wirtualne postacie mają charakter użytkowy.

W niniejszej pracy wartość oceny jest liczbą rzeczywistą należącą do zakresu  $\langle 0,1 \rangle$ , gdzie najlepszą oceną jest 1, najgorszą 0.

Proces analizy animacji rozpoczynamy od określenia wag przydzielanych poszczególnym aspektom oceny. Inaczej będziemy oceniać animację, gdy uznamy za najistotniejszy czas jej tworzenia, a inaczej gdy będziemy maksymalizować jej realizm. Oczywiście, uznanie jednego aspektu oceny za najistotniejszy nie wiąże się z pominięciem pozostałych. Jeżeli wybranym aspektem jest czas: animacja nadal musi charakteryzować się pewnym stopniem poprawności i realizmu. Przeprowadzone wstępne eksperymenty sugerują, że na osiągnięcie najlepszych wyników pozwala przypisanie wagi 0.4 dla aspektu poprawności, 0.2 dla dwóch pozostałych i dodanie dodatkowych 0.2 dla wybranego aspektu. Wyróżnienie aspektu poprawności spowodowane jest celem tworzenia animacji: animacja cechująca się nawet niezwykle realną postacią jeżeli nie posiada pewnego stopnia poprawności, jest bezużyteczna.

Po określeniu wag animator ustala wartości minimalne dla odpowiednich etapów animacji  $T_1$ ,  $T_2$  i  $T_3$ , w zależności od oczekiwań stawianych wobec animacji. Jeżeli otrzymana ocena jest mniejsza od odpowiadającej jej wartości  $T_1$ ,  $T_2$  lub  $T_3$ , dany etap tworzenia animacji jest powtarzany.

Następnie ustalany jest cel postaci. W zaimplementowanym przez autorki artykułu algorytmie oceny oznacza to określenie podstawowych ruchów postaci, których wykonanie powinno przyczynić się do osiągnięcia celu przez postać. Liczbę zdefiniowanych ruchów oznaczamy symbolem  $N_o$ . Algorytm pozwala na definicję ruchów nadmiarowych. Dzięki temu animator nie musi posiadać wiedzy o tym, które dokładnie ruchy pozwolą na stworzenie poprawnej animacji.

Kolejnym etapem analizy animacji jest ocena stworzonego awatara pod kątem poprawności, realizmu i czasu. Na dzień dzisiejszy ocena poprawności obejmuje:

- Sprawdzenie, czy awatar jest w stanie wykonać wszystkie ruchy zdefiniowane przez animatora jako istotne do osiągnięcia celu. Liczba poprawnie wykonanych ruchów  $N_c$  dzielona jest przez liczbę ruchów  $N_o$ .
- Sprawdzenie hierarchii brył ograniczających określonej dla modelu postaci w celu wykrywania kolizji pomiędzy częściami ciała postaci. Dla  $N_L$  losowych ruchów ( $N_L$  rośnie wraz z liczbą kości postaci) badane jest, czy proponowana hierarchia wykrywa poprawnie zaistniałe zdarzenie: wystąpienie lub brak kolizji. Następnie liczba poprawnie określonych sytuacji  $C_C$  jest dzielona przez  $N_L$ .
- Sprawdzenie ograniczeń postaci dla  $N_{LO}$  losowych ruchów ( $N_{LO}$  rośnie wraz z liczbą stawów postaci) i podzielenie liczby legalnych ruchów  $O_L$  przez  $N_{LO}$ .

Wzór na ocenę poprawności awatara ma następującą postać:

$$T_{pp} = \frac{1}{3} \left( \frac{N_C}{N_O} + \frac{C_C}{N_L} + \frac{O_L}{N_{LO}} \right) \quad (1)$$

Obecnie, realizm modelu postaci oceniany jest na podstawie liczby możliwych ruchów podstawowych, którymi dysponuje awatar, oraz oceny połączenia skóry postaci z jej szkieletem (oceny deformacji). Zaproponowany przez autorki pracy algorytm oceny deformacji zakłada określenie miejsc, w których najczęściej występują błędy deformacji siatki. Wybór punktu deformacji polega na wyznaczeniu punktu połączenia największej liczby kości. Jeżeli punktów takich jest więcej niż jeden, wybierany jest ten, wokół którego jest najwięcej punktów siatki. Dla wybranego punktu deformacji zapisuje się współrzędne punktu leżącego w środku stawu lub dla jednej kości – najbardziej końcowego punktu kości. Oceniany jest ruch punktów siatki wraz z odpowiadającą im kością. Oznacza to, że dla danego punktu deformacji, przy nieruchomych wszystkich kościach z wyjątkiem jednej, którą poruszamy, punkty siatki będące najbliżej kości (przy łączeniu warstw, nie w ruchu) powinny przemieszczać się w tym samym kierunku co analizowana kość. Im więcej punktów deformacji weźmiemy pod uwagę, tym dokładniejsza będzie ocena, a w konsekwencji bardziej naturalna oraz poprawna deformacja siatki. Zwiększy się przy tym jednak czas budowy postaci, gdyż badanych zostanie więcej połączeń. W ramach algorytmu wybierana jest do oceny jedna kość z ocenianego punktu deformacji oraz wybieranych jest  $n$  punktów siatki leżących najbliżej wybranej kości, gdzie  $n$  jest parametrem otrzymanym w wyniku podzielenia liczby wszystkich punktów siatki przez liczbę wszystkich stawów. Po losowym ruchu kości sprawdzane jest położenie współrzędnych dla  $n$  wybranych punktów siatki. Jeżeli oceniany punkt siatki przemieścił się w tym samym kierunku co kość, przyznawana jest mu ocena równa 1. Ocena dla pojedynczego punktu deformacji jest średnią arytmetyczną ocen punktów siatki. Dla wszystkich punktów deformacji liczona jest średnia z uzyskanych przez nie ocen. Następnie mnożymy otrzymaną ocenę  $T_D$  przez współczynnik realizmu deformacji  $d$ , zgodnie z regułą, że więcej punktów deformacji powiększa dokładność oceny. Współczynnik  $d$  otrzymujemy w wyniku podzielenia liczby sprawdzanych punktów deformacji przez liczbę stopni swobody postaci. Ocenę realizmu awatara  $T_{pr}$  otrzymujemy ze wzoru:

$$T_{pr} = \frac{1}{2} \left( T_D \cdot d + 1 - \frac{1}{\sqrt{N_O}} \right) \quad (2)$$

Ocena etapu modelowania w aspekcie czasu  $T_{pc}$  wyliczana jest ze wzoru:

$$T_{pc} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{\sqrt{N_O}} + \frac{1}{\sqrt{N_J \cdot N_N}} + \frac{N_L}{K_{NP}} \right) \quad (3)$$

gdzie  $K_{NP}$  określa liczbę wykonanych porównań pojedynczych par obiektów. Im więcej ruchów, określonych przez animatora jako niezbędne do osiągnięcia danego celu, tym bardziej złożony jest model postaci. Na złożoność modelu wpływa także liczba stawów szkieletu  $N_J$  oraz punktów siatki skóry  $N_N$ . Wzrost złożoności modelu oznacza wzrost czasu potrzebnego na jego stworzenie. Sprawdzanie kolizji to jedno z najbardziej kosztownych obliczeniowo działań wykonywanych w trakcie animacji. Możliwe jest zmniejszenie czasu sprawdzania kolizji przez ograniczenie liczby wykonywanych testów dla par obiektów trójwymiarowych przez wykorzystanie hierarchii brył ograniczających. Im lepsza hierarchia, tym mniej testów.

Ocena pierwszego etapu animacji ( $T_p$ ) liczona jest ze wzoru:

$$T_p = a \cdot T_{pp} + b \cdot T_{pr} + c \cdot T_{pc} \quad (4)$$

gdzie  $T_{pp}$  jest oceną poprawności modelu postaci,  $T_{pr}$ : oceną realizmu postaci,  $T_{pc}$ : oceną czasochłonności tworzenia i korzystania z awatara,  $a$ ,  $b$  i  $c$  – wagami aspektów oceny.

Jeżeli otrzymana ocena  $T_p$  jest większa od wartości  $T_1$ , przechodzimy do oceny strategii. Ocena poprawności strategii  $T_{sp}$  obejmuje zdefiniowaną przez animatora funkcję celu  $f_c$ , której wzrost powoduje pogorszenie oceny  $T_{sp}$ . Funkcja celu konstruowana jest na podstawie następujących miar ilościowych:

- odległość między trójwymiarowymi obiektami wirtualnego świata (np. odległość ręki od kubka, odległość ręki od twarzy),
- orientacje między trójwymiarowymi obiektami wirtualnego świata (np. między kością uda i łydki, dłonią a kubkiem),
- punkty za spełnienie określonych warunków.

Dodatkowo do  $f_c$  dodawane są:

- punkty za spowodowane kolizje  $p_K$ ,
- punkty za wykonane nielegalne ruchy  $p_L$ .

$T_{sp}$  jest wyliczana ze wzoru:

$$T_{sp} = \frac{1}{\sqrt{f_c + p_K + p_L}} \quad (5)$$

Na obecnym etapie badań poprawność jest utożsamiana z realizmem. W ramach dalszych prac planuje się opracowanie ilościowej oceny realizmu strategii z wykorzystaniem charakteru i uczuć wirtualnej postaci oraz wprowadzenia elementu energii zużywanej przez postać w trakcie ruchu.

Ocena czasu generowania strategii na dzień dzisiejszy wyznaczana jest w sekundach. Wynika to z faktu, że brak parametrów, które pozwoliłyby na wspólny opis różnych technik (np. ręcznego tworzenia lub generowania za pomocą programowania genetycznego). Ocena nakładów czasowych przeznaczonych na wykonanie strategii obejmuje:



- liczbę ruchów  $N_o$ ,
- liczbę wykonanych ruchów  $N_w$ ,
- liczbę wykonanych porównań kolizyjnych  $K_{NP}$  pojedynczych par obiektów,
- czas  $K_P$  potrzebny na porównanie kolizyjne jednej pary brył ograniczających liczony w maksymalnej liczbie operacji arytmetycznych i relacji,
- czas  $O_P$  potrzebny na sprawdzenie ograniczeń pojedynczego stawu, liczony w maksymalnej liczbie operacji arytmetycznych i relacji.

Ostateczny wzór na czas wykonania strategii  $T_{sc}$  ma następującą postać:

$$T_{sc} = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{\sqrt{N_o}} + \frac{1}{\sqrt{N_w}} + \frac{1}{\sqrt{K_{NP} \cdot K_P}} + \frac{1}{\sqrt{N_w \cdot O_P}} \right) \quad (6)$$

Ze względu na pełną automatyzację procesu wizualizacji testowany przez autorki pracy algorytm oceny chwilowo pomija ten etap oceny. W ramach przyszłych prac przewidywane są badania nad automatycznym dopasowaniem parametrów wizualizacji do parametrów modelu i strategii na podstawie aspektu oceny animacji.

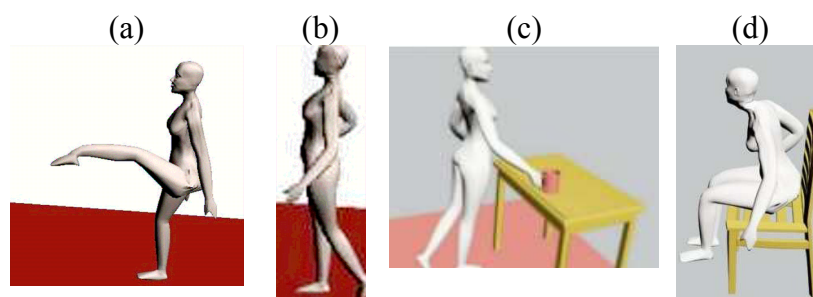
Analiza animacji kończy się określeniem globalnej oceny dla wszystkich etapów. Występuje w dwóch wersjach: *maksymalna* nie uwzględnia ocen poniżej  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , których osiągnięcie powodowało powtórzenie etapu, *pełna* zwraca sumę średnich z ocen uzyskanych dla każdego etapu podzieloną przez liczbę etapów.

## 5. Eksperymenty, wyniki, wnioski

Eksperymenty przeprowadzone zostały dla modelu postaci (rys. 1) złożonego z 3 warstw: szkieletu, skóry oraz hierarchii prostopadłościanów. Szkielet postaci zbudowany został z 33 kości. Postać ma zdefiniowanych 85 stopni swobody.

Do eksperymentów wybrane zostały 3 cele postaci: wykonanie kroku (rys. 2b), siadanie na krześle (rys. 2d), chwytanie kubka (rys. 2c). Dla każdego celu określone zostały ruchy podstawowe, które musi umieć wykonać postać, aby mogła zrealizować postawiony przed nią cel. Dla wybranego aspektu realizmu oceny, oprócz ruchów uznawanych przez autorki pracy za niezbędne do osiągnięcia przez postać przedstawionego przed nią celu, wprowadzono dodatkowe ruchy, które mają zwiększyć realizm animacji (tabela 1).

Postać ma zdefiniowanych 85 stopni swobody.



Rys. 2. Wygenerowane klatki animacji dla postaci stawiającej krok (a, b), chwytającej kubek (c), siadającej (d)

Fig. 2. Animation frames for different aims: step (a,b), reaching a cup (c), sitting (d)

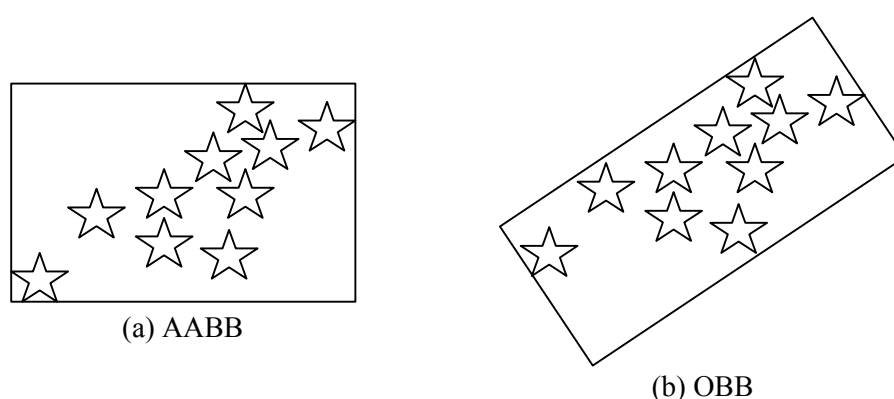
Pierwsze testy oceniające awatara dotyczyły jego poprawności. Dla wszystkich celów postaci (tabela 1) ocena przygotowania awatara z punktu widzenia celu wynosiła 1. Aby przetestować poprawność zaproponowanych brył ograniczających, stworzono dwie hierarchie: wykorzystującą bryły ograniczające AABBs (ang. axis-aligned bounding boxes) oraz wykorzystującą OBBs (ang. oriented bounding boxes) przedstawione na rys. 3. Otrzymana ocena wynosiła odpowiednio dla AABB – 0.27, OBB – 0.94. Duża rozpiętość ocen wskazuje na wyraźną przewagę jakościową OBB do aproksymacji kości postaci.

Tabela 1

Podstawowe ruchy postaci wspomagające osiągnięcie jej celu

Cel postaci	Ruchy niezbędne dla stworzenia poprawnej animacji	Ruchy zwiększające realizm animacji
Krok	przemieszczenie miednicy, obroty ud, łydek i stóp	obroty głowy, szyi, obojczyków, ramion, przedramion, dłoni, kręgosłupa
Siadanie	przemieszczenie miednicy, obroty ud i łydek	obroty ramion, przedramion, dłoni, kręgow, szyi, głowy
Chwytnie kubka	obroty obojczyka, ramienia, przedramienia, dłoni	obroty szyi i głowy

Analiza ograniczeń stawów awatara w postaci limitów ustawianych dla poszczególnych stawów polegała na porównaniu otrzymanych wyników z wynikami algorytmu porównawczego (ALGP) ustawionego dla wygimnastykowanej postaci ludzkiej. Zaproponowany ALGP łączy kosztowniejszą obliczeniowo metodę stożków ograniczeń z metodą limitów liczbowych nakładanych na stawy. Połączenia dokonano ze względu na fakt, iż w zależności od rodzaju stawu różne metody dają lepsze efekty. Ponieważ ograniczenia sprawdzane są przy każdym ruchu postaci i występuje duża różnica w czasie wykonania metody zaproponowanej dla naszej postaci i ALGP, otrzymany wynik 0.87 wydaje się zadowalający.



Rys. 3. Dwie, przybliżające kształt obiektów, bryły ograniczające: AABB, OBB  
 Fig. 3. Approximations of objects by two bounding volumes: AABB and OBB

W ramach oceny realizmu postaci dokonano analizy połączenia skóry ze szkieletem. Testy wykonano dla różnej liczby punktów deformacji. W tabeli 2 przedstawiono uśrednione wyniki otrzymane w wielokrotnych eksperymentach, w których postać wykonywała losowe ruchy kośćmi związanymi z punktami deformacji. Interesujący jest wzrost oceny deformacji wraz ze zwiększaniem liczby sprawdzanych punktów deformacji. Jest to spowodowane zmniejszaniem wpływu pojedynczych błędów na globalną ocenę. W przypadku modelu z niepoprawnie wykonanym nałożeniem skóry obserwujemy trend odwrotny spowodowany niwelowaniem wpływu pojedynczych wyników poprawnych na globalną ocenę deformacji. Przy wyliczaniu oceny awatara  $T_p$  wzięta została pod uwagę ocena realizmu dla 16 punktów deformacji.

Tabela 2

Ocena realizmu awatara z różną liczbą dostępnych ruchów (wzór 2)

Liczba punktów deformacji	Ocena deformacji	$T_{pr}(7)$	$T_{pr}(19)$
6	0.7	0.336	0.410
14	0.8	0.377	0.451
16	0.9	0.396	0.470

Następnie wyliczone zostały wartości oceny czasu tworzenia modelu postaci (wzór 3). W tabeli 3 przedstawiono ocenę dla postaci, której celem jest wykonanie kroku dla dwóch sytuacji: dążymy do maksymalnie realnej animacji, w pozostałych przypadkach. Otrzymane wyniki są zgodne z oczekiwaniami. Ocena jest niższa w pierwszym przypadku.

Tabela 3

Ocena czasu tworzenia awatara wykonującego krok

Aspekt animacji (oceny)	$N_o$	Liczba kości	Liczba punktów siatki	$N_L$	$K_{NP}$	$T_{pc}$
Realizm	19	33	50000	15	376	0.09
Poprawność, czas	7	33	20000	15	376	0.14

Tabela 4 prezentuje wartości oceny awatara wykonującego krok dla poszczególnych aspektów oceny. Widać tu wyraźnie powiązanie poszczególnych ocen cząstkowych między

sobą. Zwiększając poprawność i realizm, obniżamy ocenę czasu. Szczególnie jest to zauważalne dla liczby dostępnych przez awatara ruchów. Im większe  $N_o$ , tym bardziej realna postać i dłuższy czas jej tworzenia. Dla  $T_l=0.5$  wszystkie oceny  $T_p$  z tabeli 4 pozwalają na przejście do kolejnego etapu animacji. Natomiast, przykładowo, ocena (0.479) awatara chwytającego kubek, który do wykrywania kolizji używa brył AABB, wskazywała na potrzebę poprawy postaci.

Tabela 4

Ocena awatara wykonującego krok dla poszczególnych aspektów oceny				
Aspekt	$T_{pp}$	$T_{pc}$	$T_{pr}$	$T_p$
Realizm	0.937	0.09	0.47	0.581
Czas		0.14	0.396	0.510
Poprawność				0.669

W celu otrzymania oceny strategii przeprowadzono wielokrotne eksperymenty dla różnych warunków początkowych: położenia i orientacji awatara oraz jego kości. Dla poszczególnych celów postaci zdefiniowano odrębne funkcje celu. Dla „kroku” funkcja celu sprawdza, czy postać znalazła się w jednym z trzech kluczowych stanów (w odpowiedniej kolejności), długość wykonanego kroku oraz ile ruchów zostało wykonanych w ramach strategii. Stan kluczowy opisany jest za pomocą dopuszczalnych orientacji i położenia kości. Funkcja celu wyliczana jest w trakcie wykonywania strategii: jeżeli postać znajdzie się w prawidłowym stanie kluczowym od początkowej funkcji celu równej 300 odejmowanych jest 100 punktów. Następnie po zakończeniu animacji do  $fc$  dodajemy liczbę wykonanych ruchów oraz punkty za długość kroku: im bardziej odbiega ona od zadanej, tym więcej punktów. Dla strategii siadania  $fc$  jest wyliczana po wykonaniu animacji na podstawie kąta pomiędzy kością uda oraz łydki oraz uda i kręgosłupa, oraz liczby wykonanych ruchów. Funkcja strategii dla animacji chwytania kubka bierze pod uwagę orientację i odległość dłoni od kubka oraz liczbę wykonanych ruchów. Do otrzymanych wartości dodawane były punkty za kolizję i nielegalne ruchy. Dla kroku kolizję badano pomiędzy postacią a płaskim podłożem, dla siadania pomiędzy postacią, krzesłem i podłożem, dla chwytania kubka pomiędzy postacią a podłożem, stołem oraz kubkiem. Następnie wyliczana była ocena poprawności strategii zgodnie ze wzorem (5). Przykładowe oceny dla kilku strategii tworzących animację kroku zaprezentowano w tabeli 5. Ostatnia strategia w tabeli została wygenerowana ręcznie, pozostałe za pomocą programowania genetycznego [5].

Kolejnym krokiem w przeprowadzonych eksperymentach było wyliczenie oceny Nakładów czasowych przeznaczonych na wykonanie strategii. Tabela 6 przedstawia przykładowe oceny dla dwóch pierwszych i ostatniej strategii z tabeli 5 wyliczonych ze wzoru (6).

Tabela 5

## Ocena poprawności strategii

Liczba stanów kluczowych	Liczba ruchów	Punkty za długość kroku	Kolizje	Nielegalne ruchy	$T_{sp}$
3	12	5	0	0	0.243
2	15	25	0	1	0.084
2	32	16	2	3	0.081
3	67	9	1	13	0.105
1	5	33	0	0	0.065
0	19	22	1	7	0.053
3	9	0	0	0	0.333

$T_2$  został ustalony na 0.15. Oznacza to, że jedna z trzech strategii z tabeli 6 wymaga poprawy (rys. 2a). Na koniec zostały wyliczone oceny globalne. Przykładowo, dla strategii pierwszej z tabeli 6 ocena globalna w aspekcie poprawności wynosiła 0.452.

Tabela 6

## Ocena strategii dla aspektu poprawności i czasu

$N_O$	$N_W$	$K_{NP}$	$K_P$	$O_P$	$T_{sc}$	$T_s$ (poprawność)	$T_s$ (czas)
7	12	12	200	6	0.201	0.234	0.226
7	15	15	200	6	0.190	0.105	0.127
7	9	9	200	6	0.218	0.310	0.287

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że możliwe jest automatyczne porównywanie różnych animacji, a otrzymane oceny odzwierciedlają jakość tworzonego modelu postaci i generowanych strategii postępowania. Istotną zaletą proponowanego algorytmu oceniania animacji jest jego uniezależnienie od metody tworzenia postaci i jej postępowania oraz od środowiska w którym pracuje animator. Wynika to z faktu, że oceniane są produkty poszczególnych etapów procesu animacji. Przeprowadzone eksperymenty wskazują także na konieczność dalszych badań. Dobór ocen poprawności, czasu i realizmu określonych etapów animacji wymaga dalszych testów. Szczególnie istotne wydaje się określenie współczynników dla składników poszczególnych ocen. Obecnie wpływ składników oceny (np. liczby możliwych ruchów podstawowych i oceny deformacji na  $T_{pr}$ ) nie jest równomierny.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Remagnino P., Szarowicz A.: Avatars that learn how to behave. European Conference on Artificial Intelligence, 2004, s. 554÷558.
2. Bryant B., Miikkulainen R.: Evolving stochastic controller networks for intelligent game agents. Congress on Evolutionary Computation, 2006.

3. Spronck P., Sprinkhuizen-Kuyper I., Postma E.: Improving opponent intelligence through machine learning. Belgium-Netherlands Conference on Artificial Intelligence, 2002, s. 299÷306.
4. Cho D., Zhang B.: Evolving complex group behaviors using genetic programming with fitness switching. *Artificial Life and Robotics*, 2000, s. 103÷108.
5. Lach E.: Automatic Strategies for Autonomous Virtual Characters. IX International Conference on Artificial Intelligence, Siedlce 2007, t. 4, nr 27, s. 39÷47.
6. Huang H., Liang Ch.: Strategy-based decision making of a soccer robot system using a real-time self-organizing fuzzy decision tree. *Fuzzy Sets and Systems*, 2002, s. 49÷64.
7. Morineau T., Parenthoen M., Tisseau J.: Believable decision for virtual actors. International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2002, s. 6÷9.
8. Chunyan M., Leong P.: Fuzzy cognitive agents in shared virtual worlds. International Conference on Cyberworlds, 2005, s. 368÷372.
9. Li H., Simpson D., Tang W.: Behaviour based motion simulation for fire evacuation procedures. *Theory and Practice of Computer Graphics*, 2004, s. 112÷118.
10. Becker-Villamil M., Braun A., Raupp-Musse M.: A rules-based model used to describe group dynamics for games. Symposium on Computer Graphics and Image Processing, 2003, s. 91÷98.
11. Goncalves L., Kallmann M., Thalmann D.: Defining behaviors for autonomous agents based on local perception and smart objects. *Computers and Graphics*, 2002, t. 26, s. 887÷897.
12. Sprinkhuizen - Kuyper I., Spronck P., Ponsen M., Postma E.: Adaptive game AI with dynamic scripting. *Machine Learning*, 2006, t. 63, nr 3, s. 217÷248.
13. Egges A., Zhang X., Kshirsagar S., Magnenat-Thalmann N.: Emotional communication with virtual humans. *Multimedia Modelling*, 2003.
14. Hernandez E., Kogler J., Miranda F., Netto M.: An artificial life approach for the animation of cognitive characters. *Computers and Graphics*, 2001, s. 955÷964.

Recenzent: Dr hab. inż. Bogdan Smółka, prof. Pol. Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji 26 listopada 2009 r.

## **Abstract**

The paper describes a new algorithm for automatic measurement of articulated characters animation. Currently used algorithms are designed only for selected applications. There is no

universal methods for an animation evaluation. Such a measure could be used to construct a tool for automatic generation and measurement of an animation of virtual characters and their crowds.

Considering a problem of an animation evaluation it is necessary to ask what is important to us in an animation process. We look differently at an animation if the time of animation generation is believed to be the most important aspect of an animation. We agree to some simplifications of characters motions, that we would not agree if a realism of an animation was our primary goal. To address this problem three main aspects of the measure: the correctness, the time and the realism were proposed. They decide what influence each component of the measure has on the global value during every step of an animation creation: the modeling, the animation and the rendering.

The proposed algorithm was divided into three logical parts according to the contemporary method of creating a character animation. In the first step we analyze an avatar, its layers and connections between those layers. Next we measure character's behavioral strategy. Then rendering is studied.

Various experiments were conducted. They verified the usefulness of the proposed algorithm for an animation process. The obtained values reflect quality of the created model and character's behaviors.

### **Adresy**

Ewa LACH: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Polska, ewa.lach@polsl.pl.

Katarzyna WADAS: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Polska, katewadas@yahoo.com.