

**MULTIFILM QAHRAMONINING UCH O'LCHOVLI MODELLARINING
KO'PBURCHAK YUZALARINI O'ZGARTIRISH UCHUN SKELET ANIMATSIYASI
USULLARI**

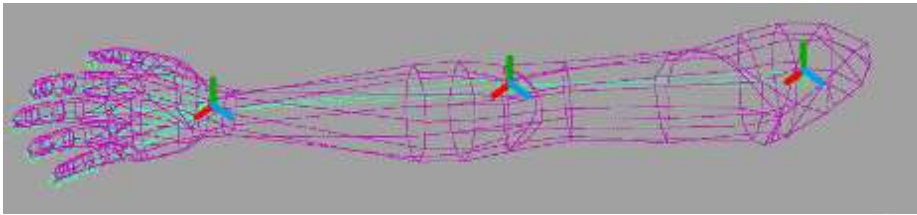
Kucharova Shaxlo Sobir qizi

Magistrant

Rahbar: Beknazarova Saida Safibullayevna

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Skelet animatsiyasi haqida tushuncha



1-rasm. Ko'pburchak qo'l modeli.

Skelet animatsiyasi usullari odatda suyaklarning ierarxik tuzilishi bo'lgan skeletdan foydalanishga asoslangan. Har bir tuzilish tugunining o'z mahalliy koordinata tizimi (1-rasm) va 3D transformatsiyasi mavjud. 3D transformatsiyasini 4x4 matritsa bilan tavsiflash mumkin, uning turli komponentlari mos ravishda aylantirish, tarjima va masshtablash operatsiyalariga mos keladi. Har bir suyak skelet ierarxiyasida o'z o'rnini egallaydi va boshqa suyaklar tomonidan ta'sirlanadi: har bir bola suyagi ota-ona suyagining o'zgarishlarini meros qilib oladi. Modelning asosiy shakliga mos keladigan skelet tugunlarining joylashishi bog'lovchi poza deb ataladi.

Bog'lanish pozitsiyasi uchun skeletning i-bo'g'imining Bi transformatsiya matritsasi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$B_i = \prod_{j=0}^i T_j R_j,$$

bu yerda T_j - j-chi bo'g'inning siljish matritsasi; R_j - j-chi bo'g'inning aylanish matritsasi; $j=0$ indeksli bo'g'in ildiz bo'g'ini, j ko'rsatkichli bo'g'in esa $j+1$ indeksli bo'g'inning ota-onasi, $j=$.

Anchor pozasidan tashqari har qanday poza uchun qo'shma transformatsiya matritsasi xuddi shu tarzda hisoblab chiqiladi. Skelet tugunlarining holatini o'zgartirishning tavsiflangan usuli to'g'ridan-to'g'ri kinematika deb ataladi. Teskari kinematikadan foydalanilganda, animator interaktiv tarzda modelning qo'li yoki oyog'i uchun kerakli pozitsiyani o'rnatadi va dastur avtomatik ravishda sobit o'lchamlar kabi cheklovlarni hisobga olgan holda bo'g'inlarning har biri uchun tegishli burchaklarni hisoblab chiqadi.

Modelning har bir cho'qqisi skeletning ma'lum bir suyagi bilan bog'liq. Bu jarayon bog'lanish deb ataladi. Verteksning bog'lanishi eng yaqin suyakka avtomatik ravishda

amalga oshirilishi mumkin yoki u yanada nozikroq - ulanishlarni qo'lda o'rnatish orqali amalga oshirilishi mumkin. Shunday qilib, alohida suyakning holati o'zgarganda, u bilan bog'liq bo'lgan cho'qqilarning holati o'zgaradi. Bu animatorning ishini sezilarli darajada osonlashtiradi: har bir cho'qqini alohida jonlantirishning hojati yo'q, chunki cho'qqi o'zi bilan bog'liq bo'lgan suyakning o'zgarishlarini meros qilib oladi.

Skelet animatsiyasi algoritmining birlamchi versiyasi 1972 yilda E. Katmul tomonidan taklif qilingan [3]. E.Katmul keyingi maqolasida [4] avtomatlashtirilgan animatsiya muammolarini tavsiflab, 1976 yilda taklif qilingan N. Burtnik va M. Vayn [5] tomonidan 2D skelet animatsiya algoritmini ham eslatib o'tadi.

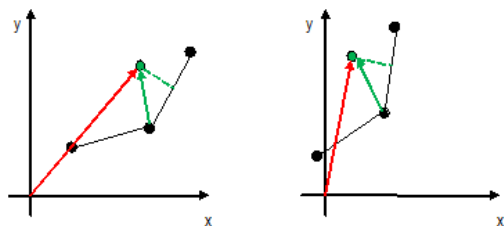
Segment animatsiyasi

Belgilar modelining uch o'lchovli grafikadagi tasvirlaridan biri segmentlar ierarxiyasi bo'lib, ular deformatsiyalanmaydigan sirtlardir [6]; bu animatsiya paytida barcha segment uchlari bir xil tarzda o'zgartirilishini anglatadi. Segment ierarxiyasi keyingi usullarda skelet ierarxiyasining prototipi bo'ldi. Segment modellarini jonlantirish uchun har bir segment uchun segment cho'qqilarining joylashuvi, segment markazi va transformatsiya matrictsasi haqidagi ma'lumotlarni saqlash kifoya. Oddiyli tufayli bu usul dastlabki video o'yinlarda faol ishlatilgan. Usulning asosiy kamchiligi shundaki, uning ish natijalari real ko'rinmaydi. Bunga, boshqa narsalar qatori, animatsiya paytida ierarxiyaning deformatsiyalanmaydigan jismlarining bo'g'inlaridagi muqarrar bo'shliqlar sabab bo'ladi.

Og'irliklarsiz skelet animatsiyasi

Bir suyakka cho'qqi bilan bog'langan animatsiya algoritmi (tikuv, qattiq teri, asosiy skelet animatsiyasi) [7] da batafsil tavsiflangan va alohida segmentlar ierarxiyasidan ko'ra, bitta qobiq bilan ifodalangan belgilar modelidan foydalanadi. Ushbu usul tikuv deb ataladi (so'zma-so'z "tikish"), chunki butun sirt yoki segment suyakka emas, balki har bir cho'qqiga birlashtirilgan.

Alohida cho'qqining o'zgartirilgan holati quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi: , bu erda - cho'qqining asosiy pozitsiyasi; B - bo'g'inning matrictsasi, transformatsiyalari ko'rib chiqilayotgan cho'qqiga meros bo'lib, bog'lanish holatida; W - o'zgartirilgan skelet pozasiga mos keladigan, berilgan bo'g'inning joriy matrictsasi. Formulaning barcha komponentlari global koordinatalarda berilgan. Ushbu formulaga geometrik talqin berilishi mumkin (2-rasm).



2-rasm. Bi transformatsiya matrictsasi geometrik talqini.

Bog'lanish bilan bog'liq bo'lgan koordinatalar tizimiga nisbatan cho'qqi pozitsiyasining o'zgarmasligi.



3-rasm. Og'irliklarsiz skelet animatsiyasi. Ko'pburchak to'rning skeletga qattiq bog'lanishi.

Birinchidan, cho'qqi koordinatalari global koordinatalar tizimidan ko'rib chiqilayotgan bo'g'in bilan bog'liq mahalliy koordinatalar tizimiga tarjima qilinadi. Bo'g'inning o'zi harakatlanayotganda, cho'qqining bo'g'in koordinata tizimidagi holati o'zgarishsiz qoladi. Keyin bo'g'inning o'zgartirilgan pozitsiyasi hisoblanadi - W matritsasi hisoblanadi. Shundan so'ng global koordinatalar tizimiga teskari o'tish amalga oshiriladi: cho'qqi bo'g'inning transformatsiyalarini meros qilib oladi va cho'qqining oxirgi holati quyidagicha hisoblanadi. .

Bunday bog'lash bilan modelning cho'zilishi va o'z-o'zidan kesishishi muqarrar, burmalarda model g'ayritabiiy ko'rinadi.

Tarozi bilan skelet animatsiyasi. Chiziqli aralash teri (LBS)

Terining algoritmlarini ishlab chiqishning keyingi bosqichi og'irliklar bilan skelet animatsiyasidir. Birinchi marta bu tushuncha qo'l harakatini ko'rib chiqadigan asarlarda [8, 9] taqdim etilgan. Ushbu algoritmlar bir nechta nomlar ostida ma'lum: chiziqli aralash teri (LBS), vertex aralashtirish, silliq teri, konvertatsiya, matritsa palitrasasi terisi, Subspace-skeletal deformatsiyalar (SSD) (biz ushbu yondashuvni belgilash uchun LBS qisqartmasidan foydalanamiz). Algoritm ancha erta keng qo'llanila boshlaganiga qaramay, algoritmlarning asosiy tamoyillari adabiyotda faqat 1990-yillarning oxirida taqdim etilgan [10, 11].

LBS bitta emas, balki bir nechta suyaklarning cho'qqiga ta'sir qilishiga imkon beradi. Har bir suyak uchun o'z vazni, ya'ni bu suyakning cho'qqi harakatiga ta'sir qilish darajasi aniqlanadi. Muayyan suyakning og'irligi qanchalik katta bo'lsa, uning ta'siri ostida cho'qqi shunchalik ko'p harakat qiladi. Og'irlik koeffitsientlarini o'rnatish va sozlash amalda ushbu algoritmlarning ko'p vaqt talab qiladigan jihati hisoblanadi, chunki u belgilar harakatining butun doirasini qamrab olishni va turli bo'g'inlarning og'irliklari orasidagi o'zaro bog'lanishlarni hisobga olishni talab qiladi [12]. Bitta cho'qqining o'zgartirilgan pozitsiyasi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\hat{v}^i = \sum_i w_i W_i B_i^{-1} \hat{v}, \quad \sum_i w_i = 1,$$

Bu erda w_i - i -chi suyakning og'irligi.

Vainoning ta'kidlashicha, LBS terini terishning umumiy qabul qilingan texnologiyasi bo'lib qolmoqda [15, 16, 17]. LBS-ga bo'lgan talab vizual effektlar, animatsion filmlar va video o'yinlar ishlab chiqarishda professional darajada ajralib turadi [18]. Biz LBS ning afzalliklari va kamchiliklarini qayd etamiz.

LBS afzalliklari:

1. Skelet topologiyasiga o'xshash boshqa modellarga animatsiyani ko'chirish imkoniyati.

2. Hisoblashning soddaligi va yuqori hisoblash samaradorligi.

3. Algoritmni apparatli amalga oshirishning soddaligi [19].

LBS ning kamchiliklari:

1. Realizmning yo'qligi, mushaklar simulyatsiyasi, terining deformatsiyasi.

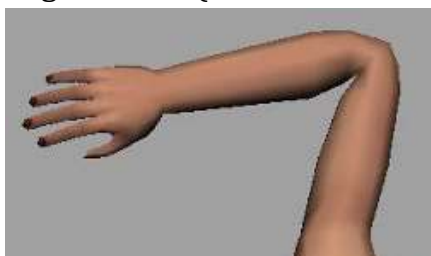
2. Model uchun skelet ierarxiyasini o'ylab ko'rish va yaratish zarurati.

3. Og'irliklarni sozlashning murakkabligi.

LBS bilan ishlashni soddalashtirish uchun belgilar modeliga muvofiq skeletni avtomatik ravishda qurish imkonini beruvchi ma'lum yordamchi vositalar ishlab chiqilgan [20, 21, 22, 23]. Bundan tashqari, og'irliklar bilan ishlash qulayligi uchun tasvir orqali bilvosita og'irliklar bilan ishlash imkonini beruvchi virtual havo cho'tkasi, shuningdek, og'irliklarni avtomatik taqsimlash algoritmlari yaratildi [22, 24].

LBS ning asosiy kamchiligi - olingan tasvirlarda realizmning yo'qligi. LBS artefaktlari (masalan, [2, 13]) algoritmning moslashuvchanligi yo'qligiga ishora qiladi. LBS artefaktlarining ayniqsa yorqin misollari tirsakdagi qo'lning burmalarining rivojlanishi bilan bog'liq. Ushbu artefaktlar skelet animatsiyasida suyaklar va bo'g'inlar kengaytirilgan ob'ektlar sifatida modellashtirilmaganligi sababli yuzaga keladi; bo'g'in - bu matematik abstraktsiya - tananing bir qismi aylanadigan nuqta [14].

Bükme paytida tirsak sohasidagi LBS ning odatiy buzilishlari odatda yiqilib tushadigan tirsak (lit. "tekislash tirsagi") deb ataladi (4-rasm).



4-rasm. Tirsakda tekislash (LBS).

Shuni ta'kidlash kerakki, ushbu turdagi barcha bo'g'inlarni, ayniqsa elkani jonlantirishda hajmning yo'qolishi ushbu usulga xosdir. Bo'g'imning 180° ga aylanishi bilan bog'liq artefakt konfet o'rami (lit. "konfet o'rash") deb nomlangan. Keling, ushbu artefaktga nima sabab bo'lganini ko'rib chiqaylik. Cho'qqisi ikkita i va j suyaklarining bo'g'in maydonida bo'lsin va ular teng ta'sir ko'rsatsin ($w_i = w_j = 0,5$), bu erda i - ona suyagi va j - bola; va $(0, y, 0)$ uning j suyagi bilan bog'langan mahalliy koordinatalar sistemasidagi o'rni bo'lsin. Bola suyagi Ox o'qi atrofida 180° aylantirilganda, cho'qqining o'zgartirilgan holati $= w_i(0, y, 0) + w_j(0, -y, 0) = (0, 0, 0)$, ya'ni hammasi ikkala suyakning ta'sir darajasi teng bo'lgan cho'qqilar bir nuqtaga qisqaradi (5-rasm).



5-rasm. Tirsak aylanishi 180° (LBS), konfet o'rash effekti.

Ushbu nuqsonlarni an'anaviy LBS algoritmi yordamida, shu jumladan sirtlarning g'ayritabiiy o'zgaruvchan qismlarini tuzatuvchi qo'shimcha suyaklarni kiritish orqali yo'q qilish mumkin. Biroq, bu suyaklar sonining sezilarli darajada ko'payishiga va skeletning murakkablashishiga olib keladi, shuningdek, sirtni suyaklarga bog'lash tartibini murakkablashtiradi, bu esa amalda bunday modellarning animatsiyasini qiyinlashtiradi va kam qo'llaniladi. Haddan tashqari holatda, har bir cho'qqini alohida jonlantirilgan suyak bilan bog'lash, albatta, har qanday LBS nuqsonlarini bartaraf etishga qodir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Vasilakis, A. A. GPU rigid skinning based on a refined skeletonization method / A. A. Vasilakis, I. Fudos // *Comput. Animat. Virtual Worlds.*— 2011.— January.— Vol. 22.— Pp. 27-46.
2. McLaughlin, T. Character rigging, deformations, and simulations in film and game production / T. McLaughlin, L. Cutler, D. Coleman // *ACM SIGGRAPH 2011 Courses.*— SIGGRAPH'11.— New York, NY, USA: ACM, 2011.— Pp. 5:1-5:18.
3. Lee, M. Seven ways to skin a mesh: Character skinning revisited for modern gpus. / M. Lee // *In Proceedings of GameFest, Microsoft Game Technology Conference.* – 2007.
4. Verroust, A. Extracting skeletal curves from 3d scattered data / A. Verroust, F. Lazarus // *Shape Modeling and Applications, International Conference on.*— 1999.— P. 194.
5. Hagland, T. A Fast and Simple Skinning Technique / T. Hagland // *Game Programming Gems* / Ed. by M. DeLoura.— Rockland, MA, USA: Charles River Media, 2000.— 614 pp.
6. Baran, I. Automatic rigging and animation of 3D characters / I. Baran, J. Popovic // *ACM SIGGRAPH 2007 papers.*— SIGGRAPH '07.— New York, NY, USA: ACM, 2007.
7. Harmonic Skeleton for Realistic Character Animation / G. Aujay, F. Hetroy, F. Lazarus, C. Depraz // *ACM-SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation* / edited by D. Metaxas, J. Popovic.— San Diego, United States: ACM, 2007.
8. Wareham, R. Bone glow: An improved method for the assignment of weights for mesh deformation / R. Wareham, J. Lasenby // *AMDO 2008* / Ed. by F. J. P. L'opez, R. B. Fisher.— Vol. 5098.— Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.

9. Lee, G. S. Practical experiences with pose space deformation / G. S. Lee, F. Hanner // ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Sketches.— SIGGRAPH ASIA '09.— New York, NY, USA: ACM, 2009.— Pp. 43:1-43:1.
10. Rhee, T. Real-Time Weighted Pose-Space Deformation on the GPU / T. Rhee, J. P. Lewis, U. Neumann // Computer Graphics Forum.— 2006.— Vol. 25, no. 3.— Pp. 439-448.
11. Sloan, P.-P. J. Shape by example / P.-P. J. Sloan, C. F. Rose, III, M. F. Cohen // Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics.— I3D '01.— New York, NY, USA: ACM, 2001.— Pp. 135-143.
12. Allen, B. Articulated body deformation from range scan data / B. Allen, B. Curless, Z. Popovic // Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques.— SIGGRAPH '02.— New York, NY, USA: ACM, 2002.— Pp. 612-619.