

Analýza a vizualizácia ľudskej chôdze

LADISLAV KOČIŠ

MÁRIO LENICKÝ

*Slovenská technická univerzita
Fakulta informatiky a informačných technológií
Ilkovičova 3, 842 16 Bratislava*

lenicky00@student.fiit.stuba.sk

kocis01@student.fiit.stuba.sk

Abstrakt. V oblasti klinickej analýzy ľudskej chôdze boli v poslednom období zaznamenané výrazné pokroky. Technológie analýzy pohybu človeka v reálnom čase sa používajú nielen v medicíne, ale ich výrazné zdokonalenie spôsobil aj filmový priemysel. Tento projekt sa však nezaobrá analýzou pohybu ľudských končatín v reálnom čase, avšak rozdeľuje problém na tri samostatné podúlohy realizované samostatnými softvérovými produktami. Prvou je segmentácia obrazu z nasnímaného viedozáznamu. V praxi to znamená softvérovú lokalizáciu súradníc značiek umiestnených na nohe pacienta, ktoré na videozázname nepredstavujú nič iné ako nejakým spôsobom odlišné obrazové objekty (farba, svetelná intenzita, atď.). Druhou úlohou je analýza segmentovaného videa. Tretia úloha spočíva v rozanimovaní získaných súradníc do pohybu kostry ľudskej nohy. Keďže záznam by mal byť snímaný viacerými kamerami, na prevod súradníc do 3D by mali byť použité techniky epipolárnej geometrie, ktoré zabezpečia trojrozmerný pohyb nohy. Táto problematika nebola realizovaná najmä z dôvodu nedostatku technológií, ktoré boli pre projekt k dispozícii, pričom z dôvodu nedostatku a slabého výkonu použitých kamier bola nakoniec nasnímaná iba jedna noha jednou kamerou, čo bolo rozanimované len prostredníctvom 2D súradníc. Tento postup aj napriek tomu, že cieľ projektu ešte nebol splnený, preukázal funkčnosť upraveného segmentačného programu VideoSQC a posunul projekt o značný kus ďalej. K cieľovej realizácii trojrozmernej animácie by bolo potrebné zabezpečiť lepšie a výkonnejšie technológie a integrovať algoritmus epipolárnej geometrie, ktorý by zabezpečil prevod súradníc na 3D.

Úvod

Náš projekt sa zameriava na oblasť animácie pohybu ľudského tela. V informačných technológiách táto oblasť nie je veľmi rozšírená, aj keď existujú komerčné systémy z danej oblasti, ktoré sú ale nedostupné a veľmi drahé. Náš projekt sa zaoberá konkrétne analýzou chôdze človeka a jej vizualizáciou.

Analýza a vizualizácia ľudskej chôdze, máj 2006, s. 1-9.

Táto oblasť, a konkrétne aj tento projekt zahŕňa mnoho rôznych problémov, ktoré treba riešiť. V prvom rade je to získanie obrazových údajov, z ktorých sa vykonáva analýza, tiež problém ich digitalizácie a rozlíšenia, ako získať požadované údaje, ktoré nám umožnia zobrazíť dynamický pohyb ľudskej nohy v špeciálnom na to určenom softvéri. Projektov z danej oblasti nie je mnoho, a preto sa snažíme vymyslieť čo najlepšie a z hľadiska celkových nákladov aj prijateľné riešenie. V tejto oblasti neexistujú štandardy, z ktorých by bolo na prvý pohľad jasné, ako sa bude riešiť tento projekt, preto veľká časť úloh bude výskumného charakteru, a hlavnou činnosťou bude vymyslieť čo najlepšie riešenie.

Analýza chôdze človeka je sofistikovaná laboratórna technika, ktorá používa modernú elektroniku na analýzu dynamiky pohybu človeka. Slúži pre lekárov, chirurgov a terapeutov pre určenie kvantitatívnych a dynamických hraníc pohybu ľudskeho tela a jeho končatín. Tiež pomáha lekárom rozhodnúť, čo spôsobuje poruchy pohybu končatín a aký je dôsledok pri kompenzovaní týchto porúch.

Pre chirurgický tím je analýza chôdze človeka užitočná pri rozhodnutiach o aplikácii príslušnej chirurgickej procedúry na nápravu nesprávnej chôdze. Pre chirurgiu je tiež užitočná z hľadiska učenia sa, či bola táto porucha použitím danej procedúry napravená.

Použitím 3D systémov pre analýzu pohybu ([1]) je možné dosiahnuť:

- Presné meranie odchýlok od normálu
- Zistiť príčiny poruchy chôdze
- Poskytnúť informácie pre lekárov pri vykonaní rozhodnutí o chirurgickom zákroku
- Ohodnotiť dôsledok zákroku na maximalizovanie výsledku
- Porovnať chôdzu pacienta pred a po vykonaní zákroku

Analýza chôdze kombinuje odborné znalosti z ortopédie, biomechaniky a „fyzickej terapie“.

Proces tvorby animácie

Videozáznam možno vo všeobecnosti spraviť dvoma typmi kamier, a to digitálnou a analógovou. Záznam vytvorený analógovou kamerou musíme previesť do digitálneho záznamu A/D prevodníkom, ktorý môže byť umiestnený napr. na televíznej karte v počítači. Obraz snímame dvoma a viac kamerami. Následne získaný obraz prevedieme do formátu, s ktorým pracujeme. Pri snímaní obrazu dvoma a viac kamerami je dôležité kamery synchronizovať.

Synchronizácia kamier je dôležitá, pretože kamery sa nedajú spustiť v rovnakom čase a vznikne medzi nimi časová odchylka, ktorá spôsobí desynchronizáciu. Z tohto dôvodu je potrebné navrhnuť mechanizmus, ktorý kamery zosynchronizuje a umožní tak správne spracovať výstupné dáta. Problém je možné riešiť použitím blesku

v momente, keď všetky použité kamery už bežia. Snímky zachytené pred bleskom sa zmažú a zvyšné snímky sa použijú pri ďalšom výpočte.

Získané video je potrebné rozdeliť na jednotlivé snímky, z ktorých sa budú určovať súradnice značiek. Rozdelenie na snímky sa zabezpečí funkciami v programovacom jazyku C++, použitím knižnice MFC. Tiež treba vhodne zvoliť grafický formát snímkov, aby práca s nimi a ich predspracovanie bolo čo najefektívnejšie a vykonávalo sa čo najrýchlejšie.

Zo získaných snímkov je potrebné určiť polohy kĺbov. Toto je najdôležitejšia úloha. Rozpoznávanie polohy kĺbov zo snímkov videozáznamu musí byť dostatočne spoľahlivé a efektívne. Na realizáciu tohto rozpoznania sa v našich experimentoch použili strieborné reflexné značky. Metóda na zisťovanie polohy značiek zo snímkov sa nazýva segmentácia.

Aby bolo možné určiť polohu značiek na grafickom obrázku, ktorý predstavuje jeden *frame* nasnímaného záznamu, a následne z odpovedajúceho snímku nasnímaného z odlišného uhla určiť 3D súradnicu konkrétnej značky, je potrebné snímať každú značku v každom čase minimálne dvoma kamerami, pričom na oboch odpovedajúcich snímkoch (nasnímaných rozdielnymi kamerami v rovnakom časovom okamihu) musí byť značka viditeľná. Na určenie 3D polohy kĺbov sa používa epipolárna geometria. Tá umožňuje umiestniť kamery v ľubovoľnom uhle, čo výrazne uľahčuje adaptáciu na rôzne prostredia.

Po vypočítaní 3D súradníc polôh kĺbov je potrebné previesť ich do takého formátu, aby ich dokázal animačný program zobrazit'. Na animáciu použijeme program BlueBone, ktorý vytvorili predchádzajúce tímy na našej fakulte, pričom ako bude spomenuté v ďalšej časti, program bude upravený tak, aby doňho bola integrovaná podpora segmentačnej aplikácie VideoSQC.

Ciele projektu

Oblasť nášho projektu sa zameriava na zosnímanie ľudskej chôdze a následné animovanie tohto pohybu na zmenšenom modeli spodnej časti ľudskej kostry. Projekt má využitie v oblasti medicíny, najmä pri zisťovaní a analýze porúch chôdze.

Celý proces od zosnímania chôdze až po jej animáciu pozostáva z nasledujúcich krokov:

- Príprava pasívnych reflexných značiek a riešenie ich upevnenia na telo pacienta
- Zosnímanie chôdze viacerými kamerami
- Synchronizácia kamier
- Digitalizácia videozáznamu
- Zistenie polohy kĺbov (značiek)
- Výpočet 3D súradníc polohy kĺbov
- Transformácia 3D súradníc do formátu súboru animačného programu

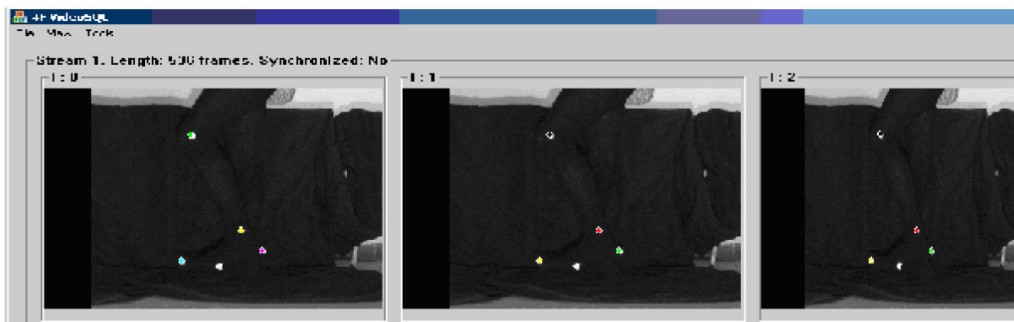
– Animácia pohybu spodnej časti ľudskej kostry

Keďže prvá fáza experimentovania s dvoma kamerami použitím pasívnych reflexných značiek neprinesla aj napriek vykonaniu viacerých experimentov výsledky, ktoré by mohli byť použité na transformovanie záznamu do 3D súradníc, bolo rozhodnuté, že bude použitý záznam len z jednej kamery, čiže synchronizácia nebude potrebná. Na zistenie polohy značiek na snímkoch zaznamenaných kamerou sa použije aplikácia VideoSQC s markantne upravenými algoritmi segmentácie. Výpočet 3D súradníc polohy kĺbov bol vynechaný, pričom v záverečnom procese sme sa zamerali na integráciu formátu zosegmentovaného videa do aplikácie BlueBone, ktorá má vykonať animáciu v 2D.

Súčasný stav a softvérové vybavenie

Proces analýzy a vizualizácie ľudskej chôdze realizujú tri oddelené softvérové produkty, ktorých použitie tvorí jednotlivé fázy požadovanej analýzy a vizualizácie.

VideoSQC



Obr. 1 VideoSQC v akcii.

Program slúži na segmentáciu videozáznamu, konkrétne na rozpoznanie značiek a zistenie ich súradníc z jednotlivých snímkov video záznamu. Z jednotlivých snímkov zisťuje súradnice jednotlivých značiek. Na samotnú segmentáciu je použitý algoritmus lokálnej segmentácie, ktorý je predmetom príbuzného článku [2]. Podstatu tohto algoritmu tvorí myšlienka, že na zistenie polohy značky na snímku nie je potrebné prehľadávanie snímku pixel po pixeli zľava hore smerom nadol vpravo, ale postačuje prehľadať určité okolie súradníc značky ako bola nájdená na predchádzajúcom snímku.

Táto technika umožní markantné zefektívnenie celého segmentačného programu, a v neposlednom rade je účinnejšia pri hľadaní značiek na snímkoch s prílišnou jasnosťou okolia. Tento prístup vyžaduje, aby bola pozícia značiek zadaná explicitne na prvom snímku záznamu. Takto používateľ de facto zadáva množinu iníciaľných

pozícií značiek, ktorých okolie bude algoritmus prehľadávať na ďalšom snímku, pričom na každom ďalšom bude prehľadávať okolie značiek z toho predchádzajúceho.

Na vstup programu je potrebné zadať jeden alebo dva videozáznamy. Každý záznam reprezentuje výstup jednej kamery. Aplikácia podporuje segmentáciu výstupu z dvoch kamier.

Analysér

Aplikácia analyser, ktorá bola vytvorená predchádzajúcimi tímami na našej fakulte, umožňuje zobrazovať grafy pohybu ľudskej nohy. Aplikácia je prehľadne rozdelená na dve hlavné časti, a to oblasť grafov, ktorá sa nachádza na ľavej strane aplikácie, a oblasť ovládania na pravej strane.

Umožňuje zobrazenie nasledovných grafov zvlášť pre ľavú a pravú nohu:

- Bedrový kĺb
- Koleno
- Členok
- Päta
- Prsty
- Uhľová rýchlosť koleno-členok-prsty
- Uhľová rýchlosť koleno-členok-päta

Aplikácia zobrazuje dva typy grafov, a to zobrazenie y-ovej súradnice pohybu bodov na nohe v závislosti od času, a zobrazenie y-ovej osi. Veľmi vhodná a praktická je možnosť zobrazenia súradníc na aktuálnej polohe kurzora myši, keďže na osiach nie sú zobrazené hodnoty súradníc.

Aplikácia umožňuje zobrazit' viacero analýz chôdze v jednom grafe rozlíšením pomocou typu čiary.

Grafy aplikácie sa dajú zväčšovať, zmenšovať a posúvať podľa potreby.

BlueBone

Program zobrazuje zjednodušený model spodnej časti ľudskej kostry. Aplikácia dovoľuje meniť polohu končatín, otáčať, rotovať, približovať a oddiaľovať pohľad na model. Umožňuje vytvoriť animáciu kostry priamo v programe, alebo načítať zo vstupného súboru, ktorý je však vyprodukovaný a interne podporovaný len aplikáciou BlueBone.

Preto bolo jednou z priorít projektu integrovanie formátu výstupného súboru VideoSQC do animačného programu BlueBone. Pre účely tejto integrácie bolo vytvorené oddelené rozhranie a niekoľko nových tried.



Obr. 2 Animácia v aplikácii BlueBone

Značková analýza

Z pohľadu videoanalýzy rozlišujeme dva základné typy značiek:

- aktívne značky
- pasívne značky

Aktívne značky

Sú spravidla zdrojom elektromagnetického žiarenia, ktoré je schopné rozoznávať záznamová videokamera. Najčastejšie sú používané tzv. vysokosvietiace LED diódy (v oblasti viditeľného svetla) alebo infračervené LED diódy.

K aktívnym značkám sa radia aj napr. ultrazvukové značky, avšak v ich prípade sa nepoužíva videoanalýza. K vyhodnocovaniu informácií získaných za pomoci ultrazvukových značiek je potrebné iné zariadenie ako videokamera.

Elegantným riešením značkovej analýzy prostredníctvom aktívnych značiek je použitie infračervených LED diód, ktoré sa zapínajú sekvenčne s presným načasovaním. Sú snímané viacerými (pri niektorých aplikáciách až šestnástimi)

vysokorýchlostnými infračervenými kamerami, pričom systém na základe načasovania presne rozozná o ktorú značku sa jedná.

Pasívne značky

Svojimi vlastnosťami umožňujú odrážanie svetla a tým zvýšenie intenzity osvetlenia v oblasti, kde je značka umiestnená (reflexné značky), prípadne zabezpečia ostrý farebný kontrast značky s jej okolím (kontrastné značky). V praxi sa môže jednať o útvary jasnejších farieb, napr. ploché telesá pokryté retroreflexnou páskou. Postprocesingom obrazu získaného z kamier (napr. prahovanie) sa značky zvýraznia a zamedzí sa zmäteniu segmentačného algoritmu.

Špeciálne značky sa používajú v oblasti infračerveného svetla. V tomto prípade sa obraz sníma infračervenými kamerami s prípadným použitím infračerveného filtra.

Tento prístup výrazne zjednodušuje algoritmus segmentácie obrazu. Pokým pri obyčajnom svetle vo viditeľnej oblasti vzniká v rámci nasnímanej videosekvencie množstvo farebných odtieňov rôznej svetelnej intenzity, čo zvyšuje obtiažnosť lokalizácie značky, pri infračervenom svetle rámec zachytáva v podstate len značky, od ktorých sa infračervené lúče odrazili vo výraznejšej miere v porovnaní s okolitým materiálom.

Postup prác a výsledky

Značková analýza

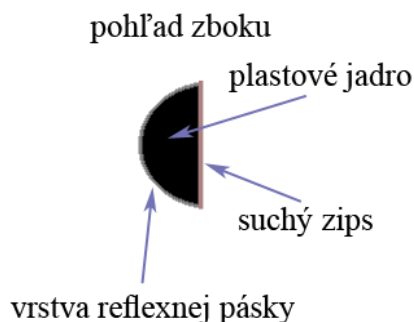
Majúc na zreteli nie veľmi úspešné výsledky snímania predošlého tímu pracujúceho na tomto projekte (viď [4]), ktorý na realizáciu snímania používal aktívne značky určitej farby (LED diódy), bol určený výber pasívneho typu značiek.

Na realizáciu zosnímania nohy pacienta boli použité priliehavé čierne bavlnené punčochy. Na tieto punčochy bolo upevnených päť značiek na rôzne pozície, tak ako ich požaduje animačná aplikácia BlueBone, viď [3].

Konštrukcia pasívnych značiek prebehla v zmysle filozofie maximalizácie reflektovania svetla, aby boli na snímkoch zobrazené s najväčšou možnou intenzitou dosiahnuteľnou za našich podmienok. Z hľadiska ich tvaru bol odsúhlasený mierne vystupujúci polguľovitý tvar, ktorý zabezpečoval ich viditeľnosť z viacerých smerov. Materiál, z ktorého mali byť značky vyrobené, musel byť ľahký, nakoniec bol zvolený plast, z ktorého boli vysústružené. Použitý diameter základne značiek bol cca 2 cm. Približný tvar značiek znázorňuje obr. 3.

Na pokrytie povrchu značky bola použitá strieborná reflexná páska akú používajú požiarnici, a na uchytenie značiek na povrch pančúch bol použitý vysokoúčinný suchý zips čiernej farby.

Snímanie takýchto značiek prinieslo veľmi uspokojivé výsledky.



Obr. 3 Konštrukcia použitých pasívnych reflexných značiek.

Lokálna segmentácia obrazu

Lokálna segmentácia nasnímaného videozáznamu splnila ciele projektu, keďže všetky značky na všetkých framoch videozáznamu boli zachytené správne. Stredy značiek boli určené s minimálnymi odchýlkami vzhľadom k rozlíšeniu videozáznamu (rádovo iba niekoľko pixelov).

Upravený segmentačný algoritmus nielenže dokázal lokalizovať všetky potrebné značky a správne určiť ich súradnice, ale v neposlednom rade aj zvýšil časovú efektívnosť celkového procesu segmentácie.

Animácia súradníc získaných segmentáciou

Ako už bolo načrtnuté v predošlých fázach, BlueBone [3] bol integrovaný s VideoSQC tak, aby rozumel výstupnému formátu tejto aplikácie. Integrácia bola relatívne úspešná. Zbehli sme pokusný videozáznam zosegmentovaný VideoSQC. Celkový počet framov záznamu bol 537, pričom každý záznam obsahoval súradnice 5 značiek. Z-ová súradnica bola pre všetky prípady rovná nule, keďže sme vykonávali animáciu len v 2D.

Spodná časť kostry viditeľne kopírovala pohyb nohy z videozáznamu.

Záver a vízia budúcnosti projektu

Pri použití jednej kamery a jedného videozáznamu sme boli schopní použitím pasívnych značiek a lokálneho segmentačného algoritmu dospieť k uspokojivým výsledkom. Aplikácie, ktoré tvoria základ procesu animácie sú de facto dotiahnuté k úspešnému koncu.

Pri použití väčšieho množstva kvalitnejších kamier (odhadujeme aspoň 6) a ich efektívnom rozložení v priestore sa domnievame, že by bolo možné pokračovať na projekte cestou k 3D animácii a 3D analýze chôdze. V budúcnosti je teda potrebné okrem získania potrebného hardvéru aj implementovať techniku epipolárnej geometrie

na výstupné súbory aplikácie VideoSQC, ktoré zodpovedajú jednotlivým záznamom použitých kamier, aplikovať na ne transformáciu epipolárnou geometriou a dospieť k jednému VideoSQC súboru, ktorý bude obsahovať trojdimenzionálne súradnice značiek. Tento súbor je potom možné cez rozhranie, ktoré je už implementované, naimportovať do animačnej aplikácie BlueBone, ktorá sa postará o vykonanie výslednej animácie v 3D.

Budúce tímy, ktoré by mohli eventuelne pracovať na tomto projekte, budú mať dve základné úlohy. Prvou je získanie kvalitnejšej technológie pre nasnímanie pohybu. Druhou nemenej náročnejšou by bola integrácia algoritmov epipolárnej geometrie na výstup aplikácie VideoSQC, alebo na vstup aplikácie BlueBone. Týmto by bol vykonaný výrazný krok na ceste trojrozmernej animácii.

Referencie

1. Ariel Dynamics: Marker sets supported by APAS/Gait. Júl 2001. <http://www.sportsci.com/adi2001/adi/services/support/manuals/gait/markersets.asp>
2. Kotrba A., Kročka L.: Metódy segmentácie snímkov a ich využitie pri analýze chôdze človeka. Máj 2006. Príbuzný článok.
3. Mareták, J., Matuška, M., Petreje, J., Sás, I.: Animácia a vizuálna analýza chôdze človeka. Tímový projekt FIIT STU. Bratislava 2004.
4. Lučenič, E. a kol.: Animácia a vizuálna analýza chôdze človeka. Tímový projekt FIIT STU. Bratislava 2005.
5. Kročka, L. a kol.: Animácia a vizuálna analýza chôdze človeka. Tímový projekt FIIT STU. Bratislava 2006.