

## Využití záznamu kamerového systému pro forenzní identifikaci osob

**Anotace:** Současným problémem je identifikace osoby podle znaků jeho pohybového chování. Článek analyzuje současné výsledky výzkumu a vědecké směry k možnosti nalezení specifických identifikačních křivek lokomoce osoby. Metody řešení identifikace osoby podle dynamického stereotypu chůze jsou založeny na sledování geometrických nebo kinematických hodnot svalově kosterního systému v průběhu lokomoce. Studie ukazuje současnou úroveň řešení tohoto problému.

**Klíčová slova:** kriminalistická identifikace, identifikační znaky, lokomoce, dynamický stereotyp, kinematická analýza.

Nejběžnějšími metodami pro analýzu jsou metody založené na analýze videozáznamu z různých úhlů. Základní problémy identifikace podle chůze, stručný přehled několika databází pro testování a různé metody pro rozeznávání osoby podle chůze popsal RÖKKÖNNEN.<sup>1)</sup> Velmi podrobně a rozsáhle se identifikací osoby podle chůze zabýval NIXON.<sup>2)</sup>

Základy identifikace osob podle chůze položil JOHANSSON ve svých experimentech se zobrazením světelných bodů (v literatuře označované jako PLD).<sup>3)</sup> Jeho experimenty prokázaly schopnost osob rozeznat jinou osobu podle způsobu chůze pouze na základě pozorování 2D křivek vytvořených připevněním žárovek na osoby. Když se tyto body prohlíží jako statické obrázky, jeví se jako hvězdy nebo vánoční stromeček, ale když jsou promítány v sekvenci, jeví se jako charakteristika pohybu. Později bylo zjištěno, že je možné pro osoby rozeznávat rozdílné druhy chůze z PLD. Například skok nebo tancování může být snadno rozeznáno, ale i podrobnější charakteristiky, jako například pohlaví a identita pohybující se osoby. Toto vedlo k závěru, že dynamika chůze pro každou osobu je jedinečná a může být využita jako biometrická charakteristika.<sup>4), 5)</sup>

Kriminalistické využití je spíše ojedinělé a mnohem mladší – první případ, který se zapsal do dějin, se datuje do června 2000, kdy expert z Velké Británie Haydn Kelly provedl identifikaci maskovaného pachatele podle záznamu z průmyslové televize při přepadení zlatnictví.

Prvotní přístupy se zaměřily na rozeznávání v malé populaci, kde data byla limitována účinností výpočetní techniky. Pozornost byla zaměřena ke zvýraznění siluety z obrázku. Tzv. „podpis chůze“ byl odvozen prostorovou analýzou chůze.<sup>6)</sup> Byl sledován pohyb hlavy a pohyb nohou v časových intervalech. Následně byl odvozen model těla, který se skládal z 5 částí. „Podpis chůze“ byl odvozen převedením tohoto modelu a uložen v databázích 26 sekvencí pohybu 5 osob. Podle zvolených faktorů se správná identifikace osoby pohybovala mezi 60 až 80 %.

---

<sup>1)</sup> RÖKKÖNNEN, J. Video Based Gait Analysis in Biometric Person Authentication: A Brief Overview.

<sup>2)</sup> NIXON, M. S., TAN, T. N., CHELLAPPA, R. *Human Identification Based on Gait*. Springer-Science+Business Media Inc., 2006.

<sup>3)</sup> JOHANSSON, G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychologist*, 14 (2), 1973, s. 201 – 211.

<sup>4)</sup> ABDELKABER, B. C. *Gait as biometric for person identification in video sequences*. Technical report, University of Maryland Computer Science Department, 2001.

<sup>5)</sup> NIXON, M. S., CARTER, J. M., NASH, P. S., HUANG, P. S., CUNADO, D., STEVENAGE, S. V. Automatic gait recognition. *Proceedings IEE Colloquium Motion Analysis and Tracking*.

<sup>6)</sup> NIXON, M. S. On gait as a biometric: Progress and prospects.

Později byla vyvinuta metoda tzv. optického toku, metoda se nezabývala modelem lidské chůze, ale popsáním distribuce optického toku. Další přístup se zabýval charakterizací pohybu objektu.

Ze současných přístupů se řada zabývá analýzou vnější siluety osoby, obrysových křivek a jejich změn při lokomoci. Každý z publikovaných přístupů používá nepatrně odlišný přístup k analýze – tyto přístupy mohou zahrnovat vyhodnocení symetrie, statistického pohybu, využití kinematiky a další.

LEE vyvinul několik počítačových algoritmů pro identifikaci a klasifikaci osob.<sup>7)</sup> Analýzu lokomoce prováděl v kanonickém směru, který je kolmý na směr chůze. Siluety chodce jsou dobře rozlišitelné od pozadí díky využití algoritmu pro odečtení pozadí. Aby analýza chůze nebyla závislá na změně oblečení a vzdálenosti kamery a osoby, používal pouze systém normalizované binární siluety. Použil korelaci pohybujících se objektů k rozlišení lidské chůze od pohybujících se objektů, jako jsou například auta. Následně detekoval opakování pohybu těla v optickém toku a použili ji k rozlišení v objektu skákajícím a chodícím, použil časově zpožděný pohyb ke klasifikaci činností.

S využitím siluety osoby zjišťoval sadu momentů 7 částí těla (obr. 1-1) a jejich pohyb studoval v závislosti na čase.



**Obr. 1-1** Silueta osoby kráčející vpřed je rozdělena do 7 regionů a elipsy jsou rozděleny na každý region

Zajímavý příspěvek publikoval LYNNERUP a VEDEL,<sup>8)</sup> pohyb osoby pachatele analyzovali ze záznamu z průmyslové televize v případě loupeže. Pomocí antropometrických měření a analýzy chůze bylo možné identifikovat podezřelého (obr. 1-2).

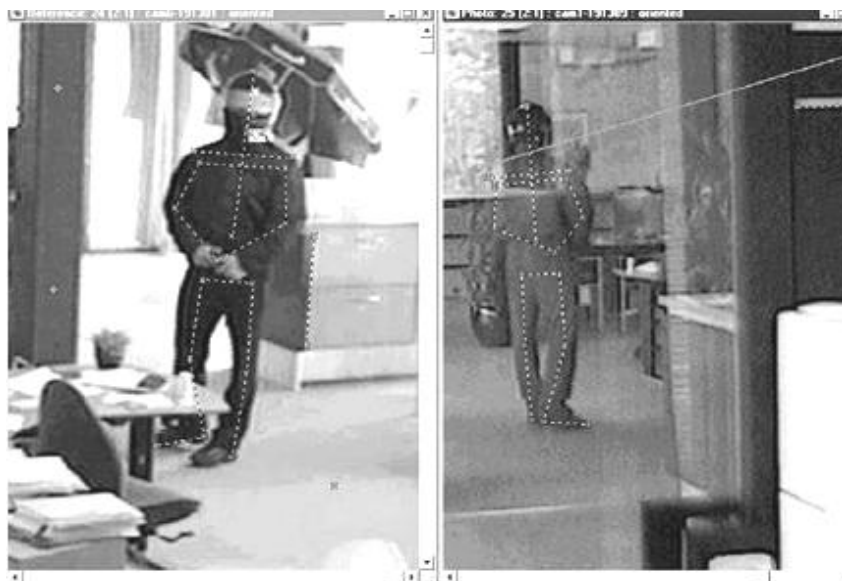
<sup>7)</sup> LEE, L. Gait analysis for recognition and classification. Intelligence Laboratory Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts, 2006.

<sup>8)</sup> LYNNERUP, N, VEDEL, J. Person Identification by Gait Analysis and Photogrammetry. *J. Forensic Sci.*, 50, 1, s. 112 - 118.

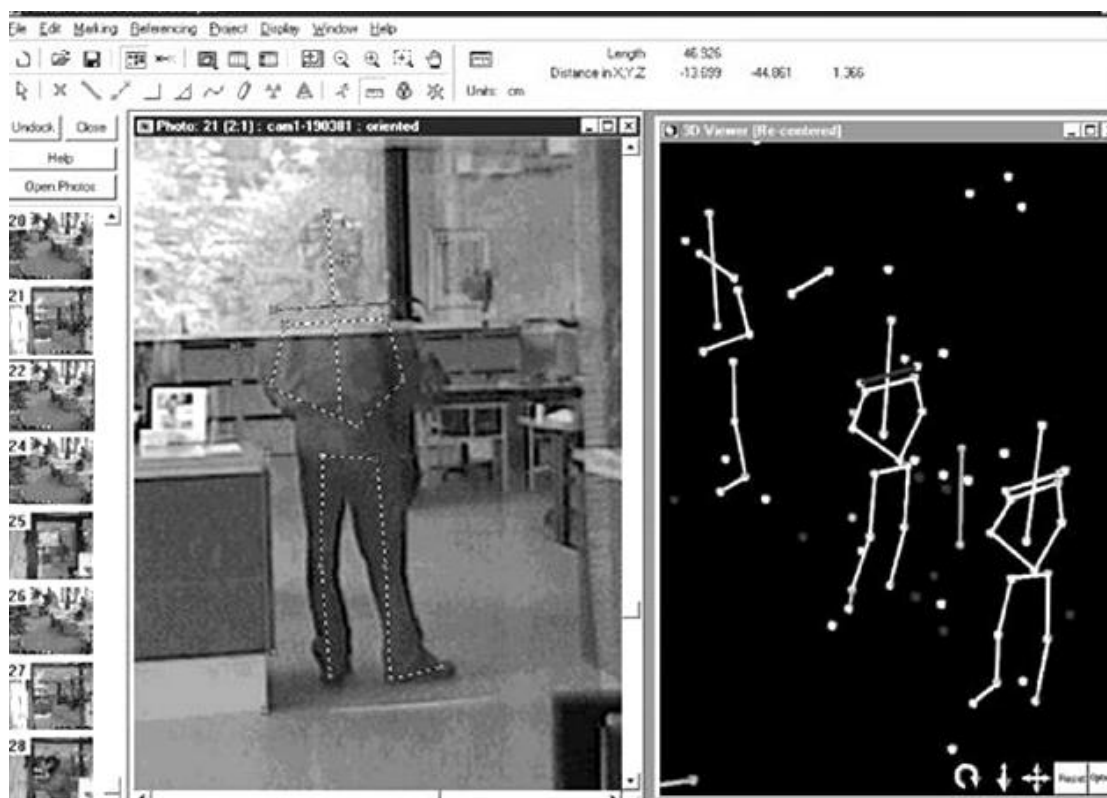


*Obr. 1-2 Záběry pachatele a podezřelého*

Výslednost byla poměrně přesná, vypočtené poznatky a reálné rozměry se v průměru lišily o cca 6 mm. Dále byla použita metoda fotogrammetrie s použitím obrázků, kde se podezřelý pohyboval ve stejném prostoru jako na záznamu z kamery. Pomocí programu Photomodeler Pro bylo provedeno měření a subjekt převeden do velmi přesného 3D obrázku (obr. 1-3 až obr. 1-5).



**Obr. 1-3** Záznamy z programu ukazující výběr bodů. Výběr na obrázku vpravo musí odpovídat podobnému obrázku.<sup>9)</sup>



**Obr. 1-4** Ukázka nahrazení obrázků 3D náčrtkem

<sup>9)</sup> LYNNERUP, N, VEDEL, J. Person Identification by Gait Analysis and Photogrammetry. *J. Forensic Sci.*, 50, 1, s. 112 – 118.



**Obr. 1-5** Schéma měřených parametrů, projekce referenčních bodů <sup>10)</sup>

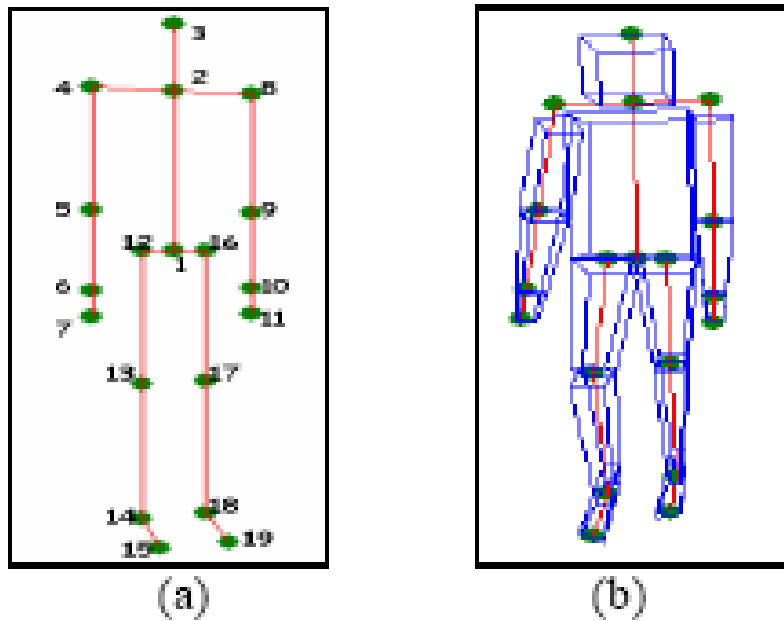
Podstata identifikace spočívala ve dvou typech měření. A to měření výšky (definované jako vzdálenost od podlahy k danému bodu) a šířky. Pro vlastní porovnávání byly použity tři sady obrázků z kamery, ze kterých byla spočítána průměrná hodnota parametrů k podezřelému. Odchytky se pohybovaly okolo 1 cm při měření výšky a okolo 0,6 cm při měření šířky.

SABOUNE studoval lidskou chůzi s cílem zjistit poruchy rovnováhy a tendence u pádů starších osob při znalosti parametrů chůze.<sup>11)</sup> V práci prezentuje novou pomůcku pro analýzu chůze založenou na zachycení obrázku z kamery. Systém převádí obrázek do definovaných bodů (obr. 1-6, obr. 1-7, obr. 1-8). Klíčové je zachytit obrázek osoby a vyloučit od pozadí. Nejzajímavějších výsledků bylo dosaženo až s použitím kamery, která snímá 60 snímků/sekundu. Analogické přístupy publikovali i jiní autoři.<sup>12)</sup>

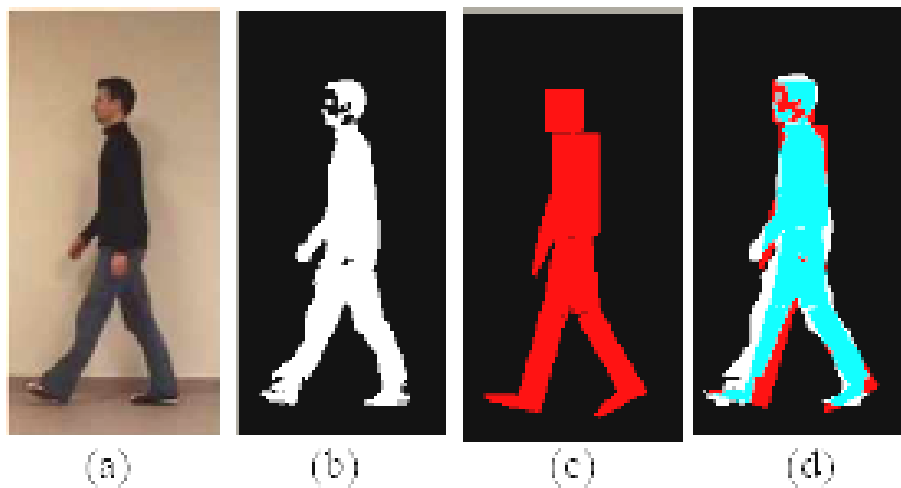
<sup>10)</sup> LYNNERUP, N, VEDEL, J. Person Identification by Gait Analysis and Photogrammetry. *J. Forensic Sci.*, 50, 1, s. 112 – 118.

<sup>11)</sup> SABOUNE, J., CHARPILLET, F. *Markerless human motion capture for gait analysis*. INRIA-LORIA, B. P. 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France, 2006.

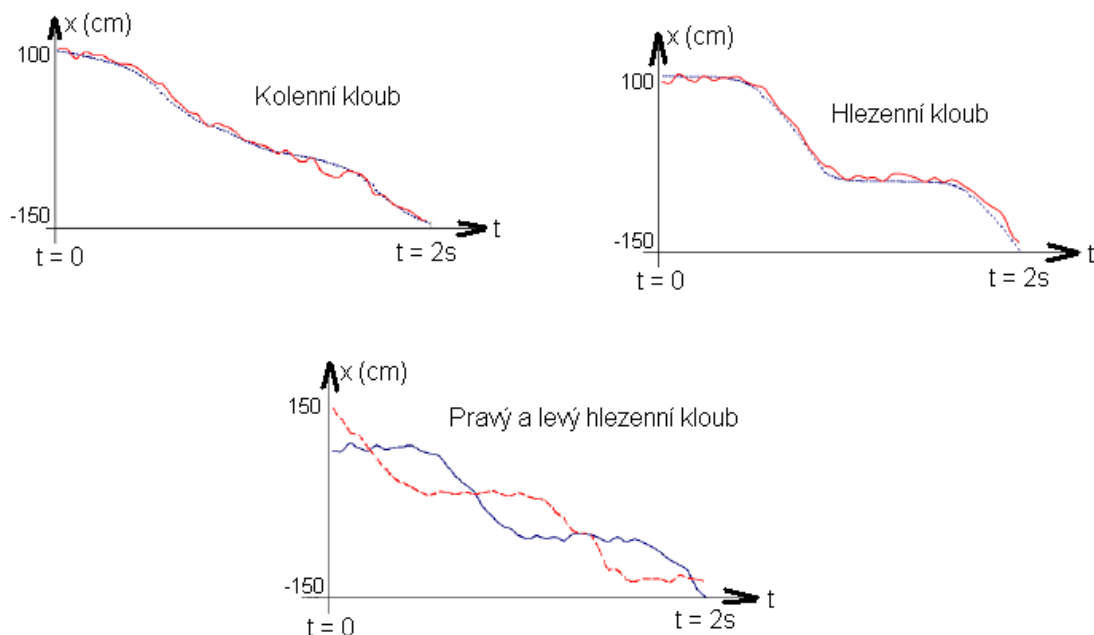
<sup>12)</sup> DEUTSCHER, J., BLAKE, A., REID, I. Articulated body motion capture by annealed particle filtering. *Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition 2000*, 2, pp. 114 – 1149; DEUTSCHER, J., BLAKE, A., NORTH, B., BASCLE, B. Tracking through singularities and discontinuities by random sampling. *Proc. 7th Int. Conf. Computer Vision*, 1999, pp. 1144 – 1149.



**Obr. 1-6** (a) Skeleton je definován pomocí 19 klíčových bodů a 17 segmentů. Tento model se skládá ze 4 spojených kinematických řetězců. Každý bod má daný stupeň volnosti, z těchto bodů lze vytvořit model lidského těla - (b)



**Obr. 1-7** Odhadování pravděpodobnosti. Obrázek (a) je transformován na siluetu pomocí odečtení pixelů od pozadí a aplikací filtrů. Na obrázku (c) je 2D obrázek reprezentující 3D model. Na obrázku (d) porovnáváme syntetizované obrázky odečtením prvního od druhého.



**Obr. 1-8** Pohyb kolenního kloubu a vzdálenost k počátku pohybu v čase

Biometrickou identifikací osob podle chůze se rozsáhle zabývá NIXON,<sup>13)</sup> <sup>14)</sup> který zkoumá automatické rozpoznávání jedince podle chůze ve vývojové skupině ISIS (Image, Speech and Intelligent Systems Group) na katedře elektroniky a informatiky Southampton University. Jeho výzkum podporuje americká armáda prostřednictvím výzkumné agentury DARPA v rámci projektu „identifikace člověka na dálku“.

Současný výzkum v identifikaci osob podle dynamického stereotypu lokomoce je založen principiálně na několika přístupech. Řešení je orientováno na verifikaci osoby, to předpokládá existenci databází již předem zaznamenaných pohybových stereotypů konkrétních osob. Ve světové biomechanické literatuře se citují čtyři druhy databází uváděné pod zkratkou UMD, CMU, UFS a USH. Databáze UMD se skládá ze dvou částí, první obsahuje videosekvence 25 osob pořízené ze 4 různých stanovišť (chůze směrem ke kameře, od kamery, paralelně s chůzí z levé a z pravé strany) v exteriéru. Druhá databáze obsahuje sekvence 55 osob pořízené 2 kamerami ortogonálně jedna k druhé. Sekvence jsou frontální a paralelní chůze v externích podmínkách. Dva vzorové příklady záznamu chůze z databáze UMD jsou na obr. 1-9.

<sup>13)</sup> NIXON, M. S., TAN, T. *Human Identification Based on Gait*. Springer, 2006.

<sup>14)</sup> NIXON, M. S., CARTER, J. N., NASH, J. M., HUANG, P. S., CUNADO, D., STEVENAGE, S. V. Automatic gait recognition. In *Motion Analysis and Tracking (Ref. No. 1999/103)*, IEE Colloquium. 1999, pages 3/1 – 3/6.



*Obr. 1-9 Vzory z UMD databáze*

CMU databáze obsahuje 6 simultánních videosekvencí z různých úhlů 25 osob. Každá se pohybuje 4 různými způsoby. Pomalá chůze, běh, chůze ve svahu a pomalá chůze s míčem v ruce. Sekvence jsou pořízeny v interiéru na chodícím pásu (obr. 1-10).



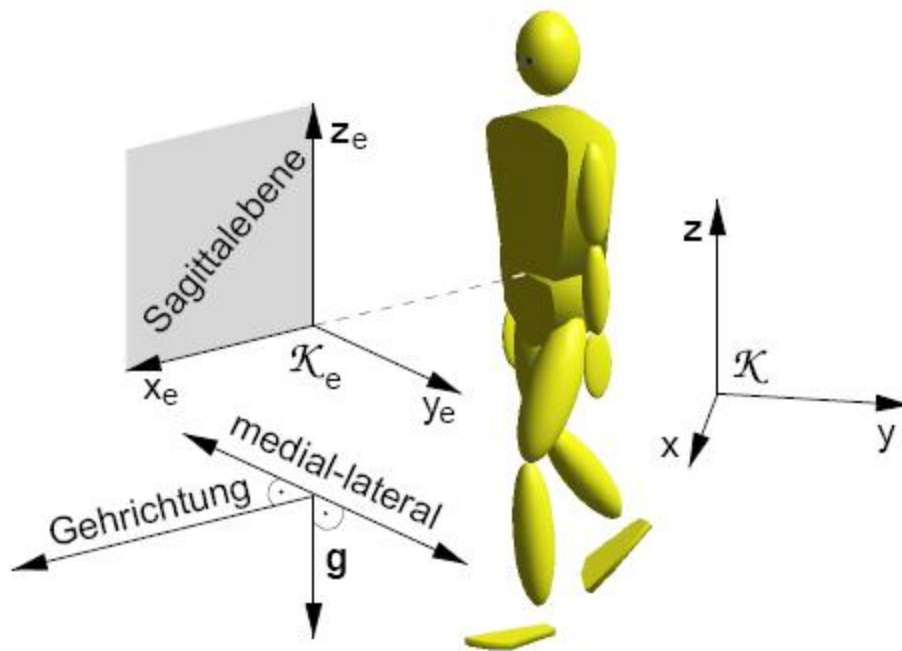
*Obr. 1-10 Ukázky z CMU databáze*

USF databáze obsahuje 71 videosekvencí. USH databáze obsahuje 28 videosekvencí pohybu. Kamera je kolmo ke směru chůze a je použito souvisle zelené pozadí k lepší extrakci siluet.

Vytvoření modelu lidského těla popis lokomoce se objevuje i v německé odborné literatuře,<sup>15)</sup> kde HENZE vytvořil teoretický trojdimenzionální model lidského těla a simulaci pohybu lidské lokomoce (obr. 1-11).

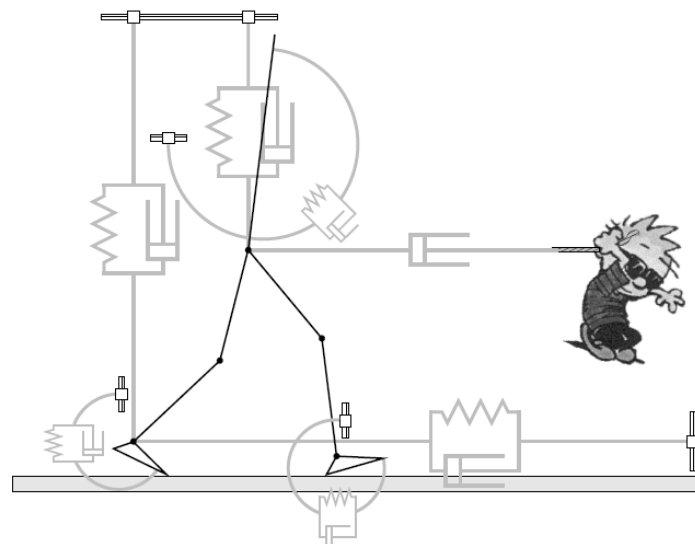
<sup>15)</sup> HENZE, A. *Dreidimensionale biomechanische Modellierung und die Entwicklung einer Regel zur Simulation zweibeinigen Gehens*. Diss., Eberhard-Karsl-Universität zu Tübingen, 2002, s. 90.





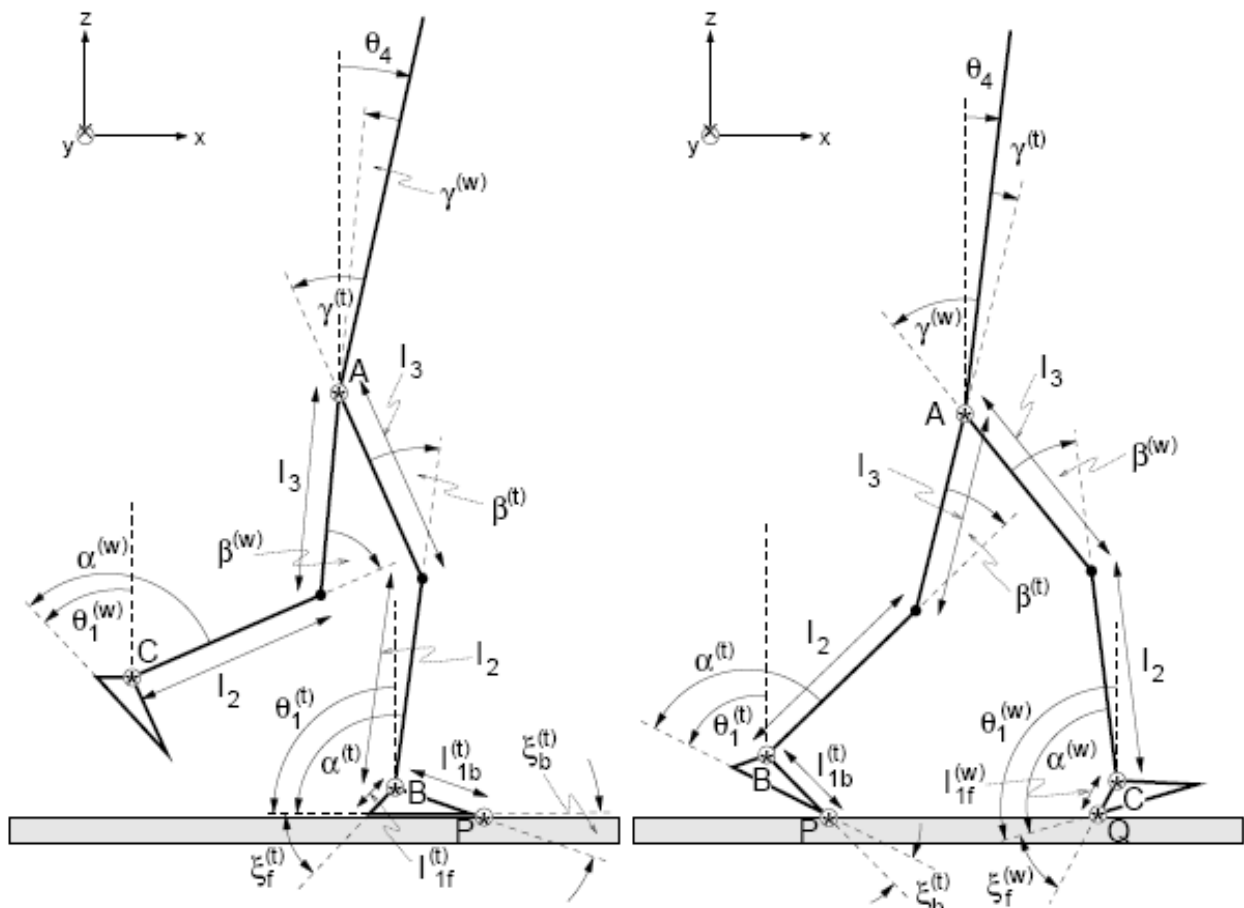
**Obr. 1-11** Definování referenčního systému pro lidské tělo a model

Lidské tělo modeloval jako otevřený kinematický řetězec a přesně popsal pohybové a biomechanické možnosti jednotlivých kloubních spojení (obr. 1-12, obr. 1-13, obr. 1-14).



**Obr. 1-12** Virtuální model řízení pohybu a virtuální silové prvky<sup>16)</sup>

<sup>16)</sup> HENZE, A. *Dreidimensionale biomechanische Modellierung und die Entwicklung einer Regel zur Simulation zweibeinigen Gehens*. Diss., Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen, 2002, s. 65.

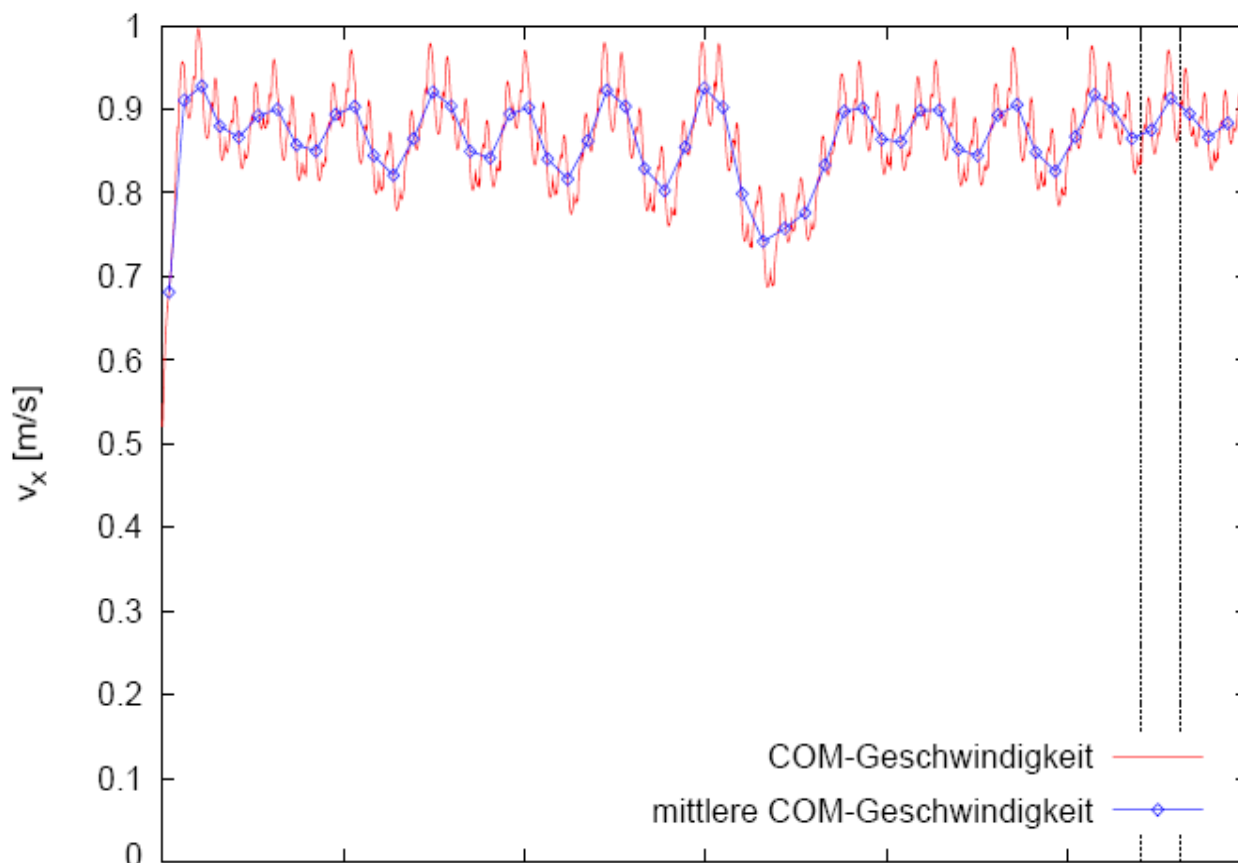


**Obr. 1-13** Popis úhlových změn pro transformaci těla v sagitální rovině pro švihovou a dvouoporovou fázi chůze<sup>17)</sup>

Existuje množství metod pro identifikaci podle chůze, které používají různé složky a analýzu. V literatuře bylo popsáno několik metodologicky odlišných přístupů, obecně je možné ve všech případech generovat tři hlavní kroky řešení:

- První částí je extrakce osoby z každého snímku videosekvence. Výsledkem může být extrakce siluety osoby.
- Druhou částí je extrakce důležitých charakteristik. Obvykle jsou používány dodatečné metody ke zjednodušení dat nebo k redukci šumu. Například PCA analýza.
- Posledním úkolem je klasifikace dat a rozhodnutí. Například rozhodnout o identitě osoby nebo, že náleží do určité skupiny.

<sup>17)</sup> HENZE, A. *Dreidimensionale biomechanische Modellierung und die Entwicklung einer Regel zur Simulation zweibeinigen Gehens*. Diss., Eberhard-Karsl-Universität zu Tübingen, 2002, s. 72.



**Obr. 1-14** Průběh rychlosti těžiště těla modelu a lidského těla<sup>18)</sup>

Cílem všech těchto metod je individualizace osoby založená na srovnávacích datech. Ve stručnosti se zmíníme o základních vědeckých přístupech, které exaktně kvantifikují vybrané (a přesně definované) parametry pohybu a výsledkem jsou **charakteristiky využívané k analýze chůze**.

**Šířka vnějších obrysů** – KALE a další<sup>19)</sup> použili šířku vnějších obrysů jako základní charakteristiku osoby. Tento vektor obsahuje informaci o pohybu končetiny nebo okrajové části těla během chůze. Na druhou stranu informace o postoji je ztracena. Variace každé složky daného vektoru vytváří „podpis chůze“.

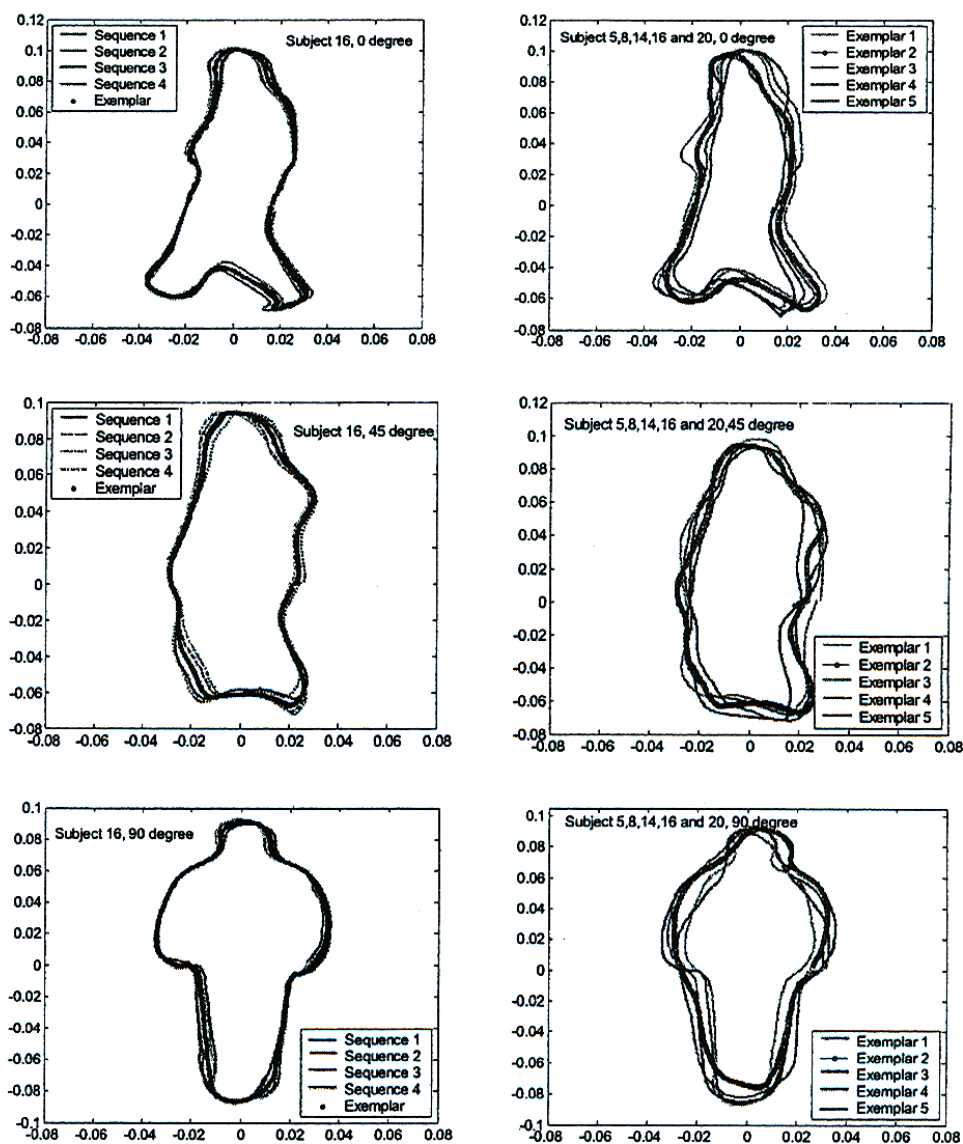
S touto metodou je analogický přístup, který studuje změny v tzv. „obalové křivce“ pohybující se osoby.<sup>20)</sup> Podstata spočívá v tom, že se vytvoří typický obrys osoby v přesně definovaných fázích pohybu<sup>21)</sup> (obr. 1-15).

<sup>18)</sup> HENZE, A. *Dreidimensionale biomechanische Modellierung und die Entwicklung einer Regel zur Simulation zweibeinigen Gehens*. Diss., Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen, 2002, s. 103.

<sup>19)</sup> KALE, A. RAJAGOPALAN, A. N. SUNDARESAN, CUNTOOR, A. N. ROYCHOWDHURY, A. KRUGER, V. CHELLAPPA, R. Identification of Humans Using Gait, *IEEE TIP* (forthcoming), 2004.

<sup>20)</sup> NIXON, M. S., TAN, T. N., CHELLAPPA, R. *Human Identification Based on Gait*. Springer-Science+Business Media Inc., 2006.

<sup>21)</sup> NIXON, M. S. et al. Automatic Gait Recognition. In A. K. JAIN et al. (Eds.) *Biometrics: Personal Identification in Networked Society*, pp 231 – 250, Kluwer, 1999.



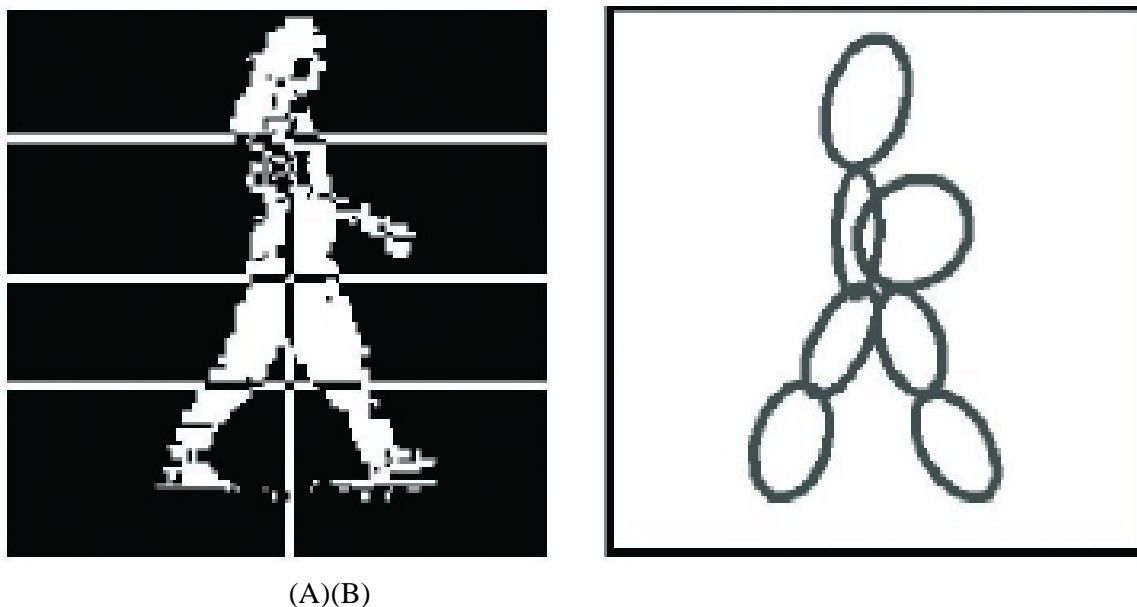
**Obr. 1-15** Obalové křivky, vlevo obalové křivky pro jednu osobu v různých fázích lokomoce (4 opakování), vpravo obalové křivky pro 5 různých osob<sup>22)</sup>

**Moment extrahovaný ze siluety** - LEE a GRIMSON rozdělili siluetu kráčející osoby do 7 částí<sup>23)</sup> (obr. 1-16). Pro každý segment byla použita elipsa. Z elipsy byly získány 4 parametry: střed, hlavní a vedlejší osa elipsy a orientace elipsy. Ty představují charakteristiky každého segmentu těla. Dále je uvažována výška celé siluety. Z těchto charakteristik byla získána odchylka během času a velikost a fáze každého regionu vztážená k frekvenci chůze. Toto vedlo k vytvoření 57 parametrů. Pokud osoba použila rozdílné oblečení, než nosila během tréninkových dnů, klasifikace zpravidla selhala.

<sup>22)</sup> NIXON, M. S., TAN, T. N., CHELLAPPA, R. *Human Identification Based on Gait*. Springer-Science+Business Media Inc., 2006.

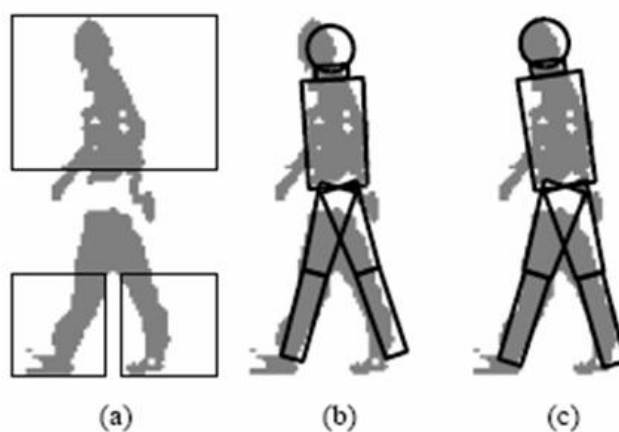
<sup>23)</sup> LEE, L., GRIMSON, W. E. L. Gait analysis for recognition and classification. *Proceedings of the IEEE Conference on Face and Gesture Recognition*, 2002, pp. 155 – 161.

Metoda byla testována také pro určení pohlaví. Testy byly prováděny s využitím 57 charakteristik a 6 nejlepších charakteristik z databáze. Jedna z charakteristik poskytuje až 94 % spolehlivost.



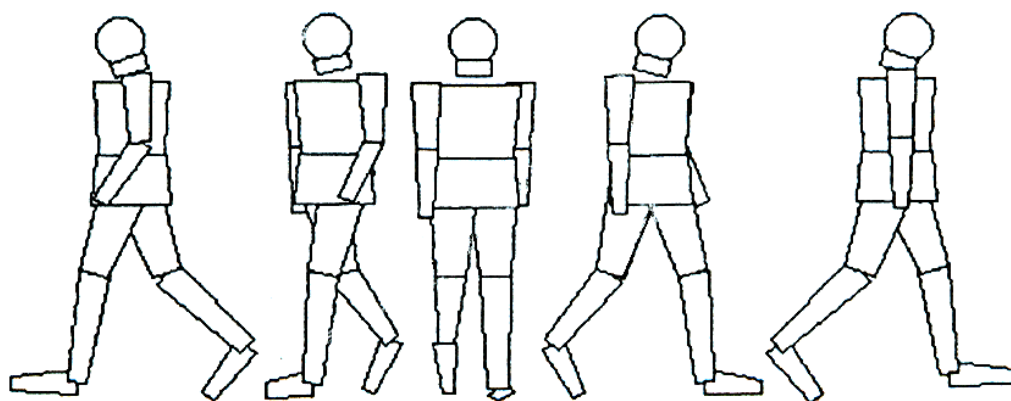
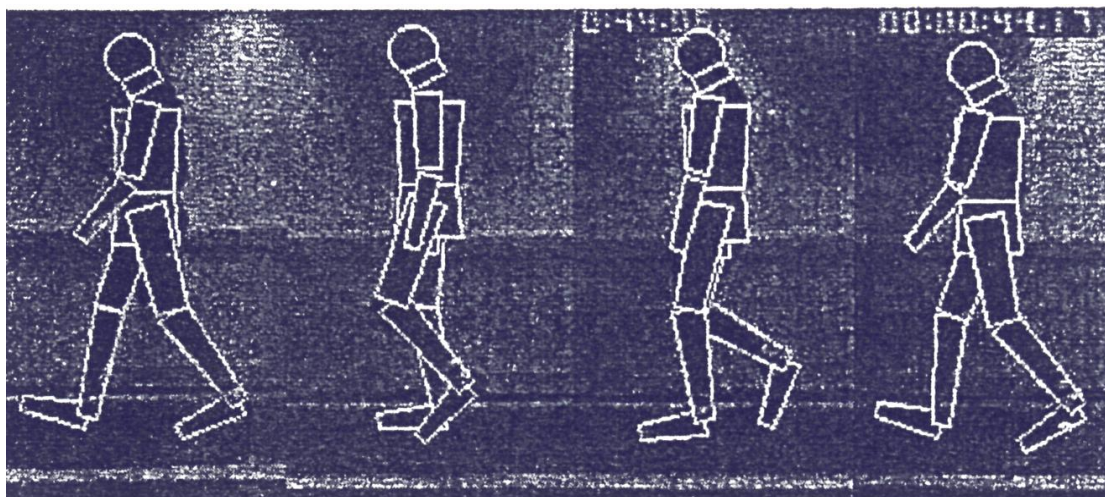
**Obr. 1-16** Silueta kráčeující osoby rozdělená do 7 regionů (A)  
a elipsy umístěné na každý region (B)

Analogicky postupoval a řešil problém identifikace osoby podle chůze NIXON.<sup>24)</sup> Snažil se zachytit polohu jednotlivých segmentů lidského těla v přesně definovaných časových úsecích, poté definoval okrajové linie a siluetu těla nahradil ohraničenými segmenty (obr. 1-17 až obr. 1-19).



**Obr. 1-17** Polohy segmentů lidského těla

<sup>24)</sup> NIXON, M. S., TAN, T. N., CHELLAPPA, R. *Human Identification Based on Gait*. Springer-Science+Business Media Inc., 2006.

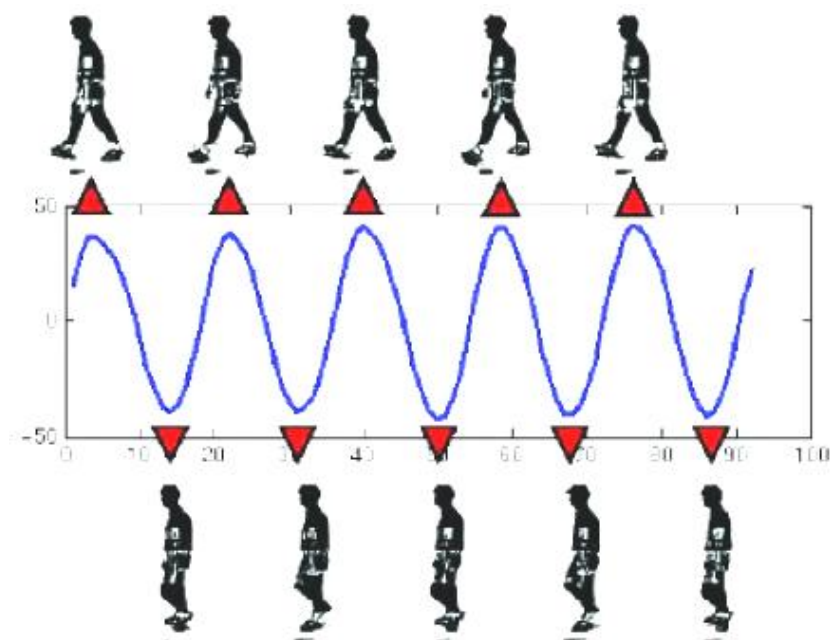


**Obr. 1-18** Schématické znázornění simulace pohybu lokomoce a tvorba segmentů lidského těla  
(podle: NIXON, M. S., TAN, T. N., CHELLAPPA, R., 2006)



**Obr. 1-19** Ukázka tvorby periferie segmentů

**Tvar těla a chůze extrahovaná ze siluety** – tuto metodu popsal COLLINS a kolektiv.<sup>25)</sup> Využívá binární siluety kráčející osoby. Po získání siluet je prvním úkolem identifikovat klíčové sekvence sledováním periodických dynamických změn siluety (obr. 1-20).



**Obr. 1-20** Extrahování klíčových snímků: chůze na obou nohou (nahore) a mezistupeň (dole). Osa Y je šířka siluety a osa X je čas.

Klíčové snímky jsou zmenšeny tak, že silueta je 80 pixelů vysoká, a umístěny do šablony o rozměrech 80 x 128 pixelů. Šablony tréninkových dat jsou následně porovnávány s testovanými šablonami využívajícími normalizovanou korelaci s pomocí Fourierovy transformace.<sup>26)</sup> Výsledkem této komparace je korelační skóre mezi každou osobou a relevantní šablonou v tréninkové sadě. Následně čtyři charakteristiky poskytují informaci o kompletním průběhu chůze (stání na obou nohou s levou vpředu, na pravé noze, na obou nohou s pravou vpředu, stání na levé noze). Skóre pro kompletní periodu je klasifikováno.

Metoda byla použita k porovnávání různých stylů chůze. Nejtěžší bylo porovnávání pomalé a rychlé chůze, které poskytovalo 76 % spolehlivost. Podle autora nejpravděpodobnější příčiny pro selhání jsou efekty přesnosti extrakce siluety, např. různé světelné podmínky, různé oblečení a úpravy vlasů.

**Délka kroku a frekvence chůze** – jsou nazývány jako prostorově časové parametry chůze. ABDELKADER a kolektiv<sup>27)</sup> využili tyto charakteristiky pro rekognici. Metody

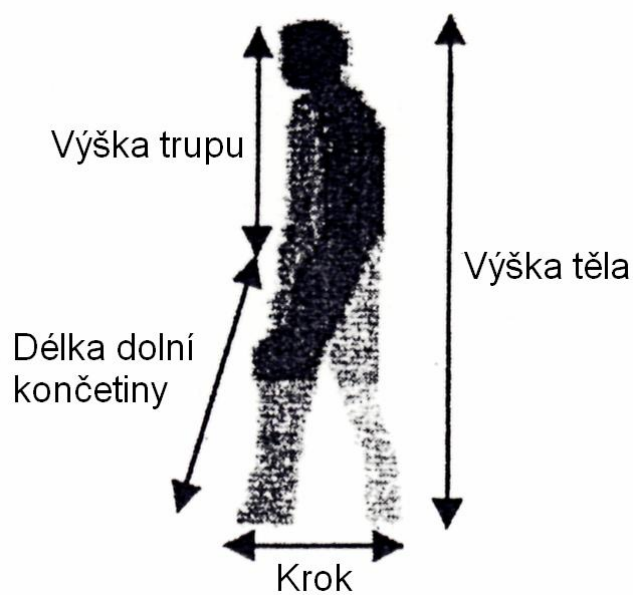
<sup>25)</sup> COLLINS, R., GROSS, R., SHI, J. Silhouette-based Human Identification from Body Shape and Gait. *Proc. IEEE Conf. FG '02*, 2002, pp 366-371.

<sup>26)</sup> COLLINS, R., GROSS, R., SHI, J. Silhouette-based Human Identification from Body Shape and Gait. *Proc. IEEE Conf. FG '02*, 2002, pp 366 – 371.

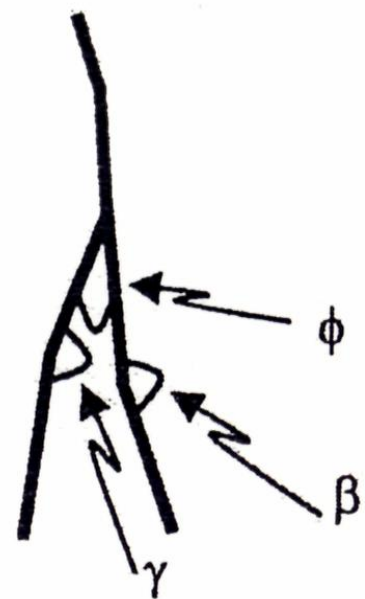
<sup>27)</sup> ABDELKADER, C. B., CUTLER, R., NANDA, H., DAVIS, L. Eigen Gait: Motion-Based Recognition Using Image Self-Similarity, *LNCS 2091*, 2001, pp 289 – 294.

využívají následující předpoklady: rychlost chůze je konstantní a osoba se pohybuje přímo 10–15 sekund. Kamera je nastavená na podložku a rychlost sběru snímků je alespoň 2x větší než frekvence chůze. Klíčová je periodicitá lidské chůze.

Jako první je z každého obrázku videosekvence extrahována binární silueta. Šířka siluety je následně vypočítána pro každou siluetu. Pomocí autokorelace je vypočítána frekvence chůze, dále je odhadnuta vzdálenost uražená za určitý časový okamžik. To může být provedeno, protože kamera je statická a osoba se pohybuje lineárně. Dále může být vypočítán počet kroků. Ze všech těchto parametrů může být určena délka kroku a frekvence chůze (obr. 1-23, 1-24). Použití prostorově časových parametrů je principiálně nezávislé na pohledu. Na druhou stranu metoda poskytuje nejlepší výsledky při paralelním pohledu, jak je ukázáno na obr. 1-21.

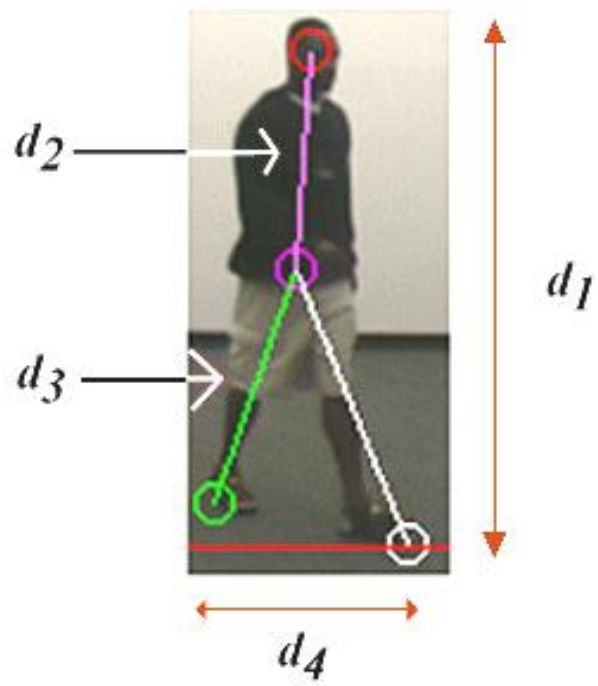


*Obr. 1-21*



*Obr. 1-22*





*Obr. 1-23 Princip modelování pohybu těla pro kriminalistickou identifikaci*

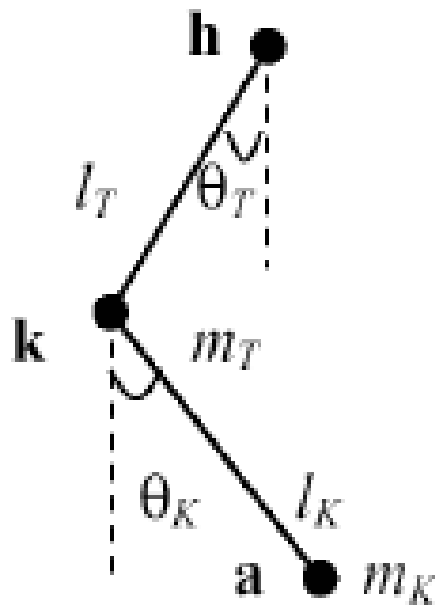


**Obr. 1-24** Příklad typické trajektorie dané osoby

**Rotace stehna a lýtka** – YAM a další popsal metodu pro identifikaci podle chůze.<sup>28)</sup> Myšlenka vychází z použití Fourierovy transformace. Rotaci stehna a lýtka lze sledovat jako změnu úhlu v kolenním kloubu. Analogicky NOVACHEK<sup>29)</sup> studovat biomechaniku chůze a běhu z hlediska úhlových změn v kinematických řetězcích dolní končetiny. Individuální rozdíly byly zjištěny jak v časových relacích mezi jednooporovou a dvouoporovou fází každého jedince u chůze, tak i v letové fázi při běhu. Lokomoci každého člověka lze podle autorů individualizovat jako funkci úhlových změn v závislosti na fázi chůze (obr. 1-25).

<sup>28)</sup> YAM, C. Y., NIXON, M. S., CARTER, J. N. Automated Markerless Analysis of Human Walking and Running by Computer Vision. *Proc. World Cong. Biomechanics*, 2002. YAM, C. Y., NIXON, M. S., CARTER, J. N. Automated Person Recognition by Walking and Running via Model- Based Approaches. *Pattern Recog.* 37 (forthcoming), 2004.

<sup>29)</sup> NOVACHEK, T. F. The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 1998, 7, pp. 77-95.

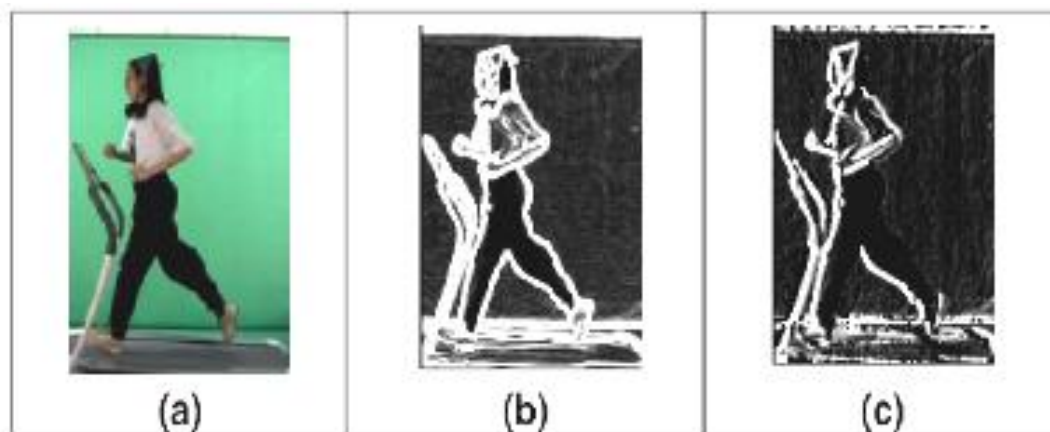


**Obr. 1-25** Model. Horní modely stehna a lýtka spojené v kolenním kloubu -  $m$  je hmotnost,  $\theta$  je úhlové vychýlení,  $l$  je délka stehna, index  $k$  charakterizuje stehno a lýtko.

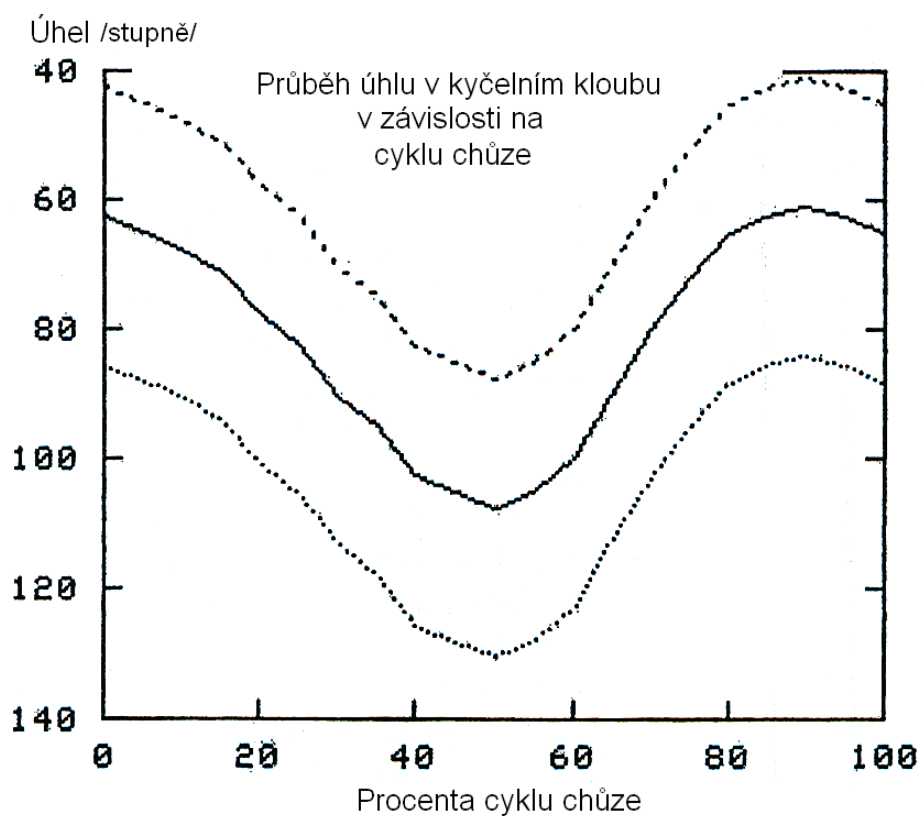
K extrakci úhlu rotace byl vytvořen model pohybu stehna a lýtka, který je použit jako pracovní šablona, model je využit ke zpracování obrázků z videosekvence (obr. 1-26 až obr. 1-32).



**Obr. 1-26** Extrakce pohybu nohou - obsahuje fáze a velikost složek rotace stehna a lýtka

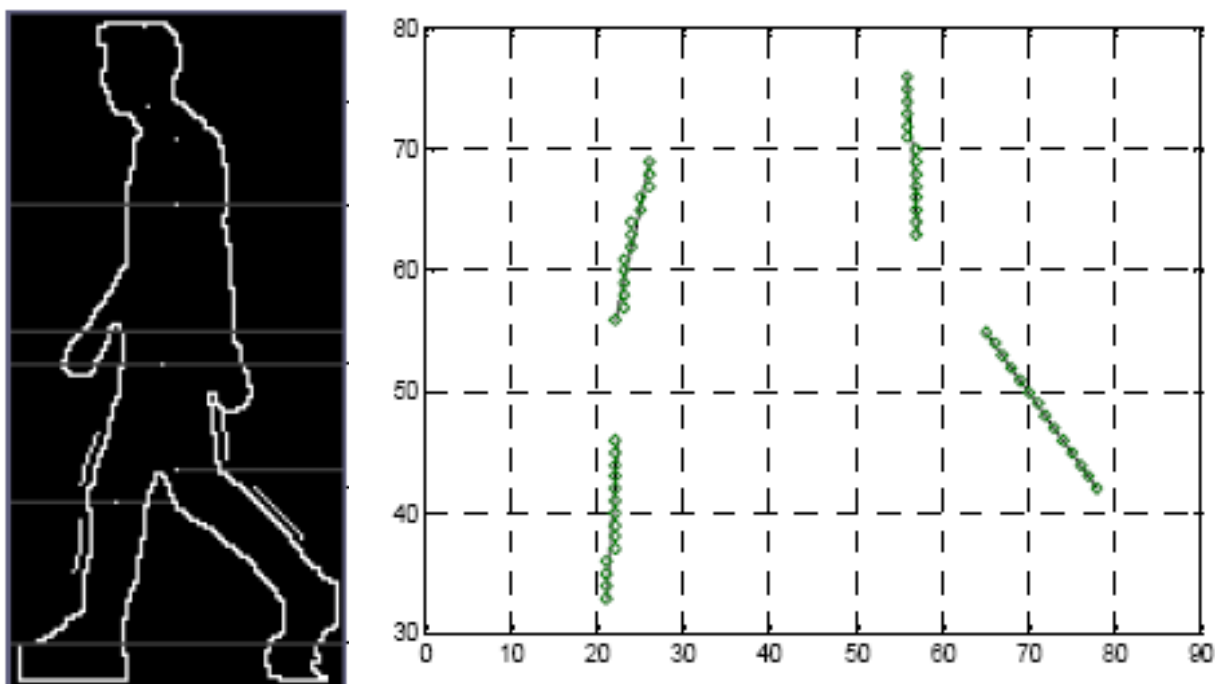


**Obr. 1-27** Zpracování obrázku na nižší úrovni.  
Barevný obrázek (a), sobelův okraj (b) a hraniční okraj (c)

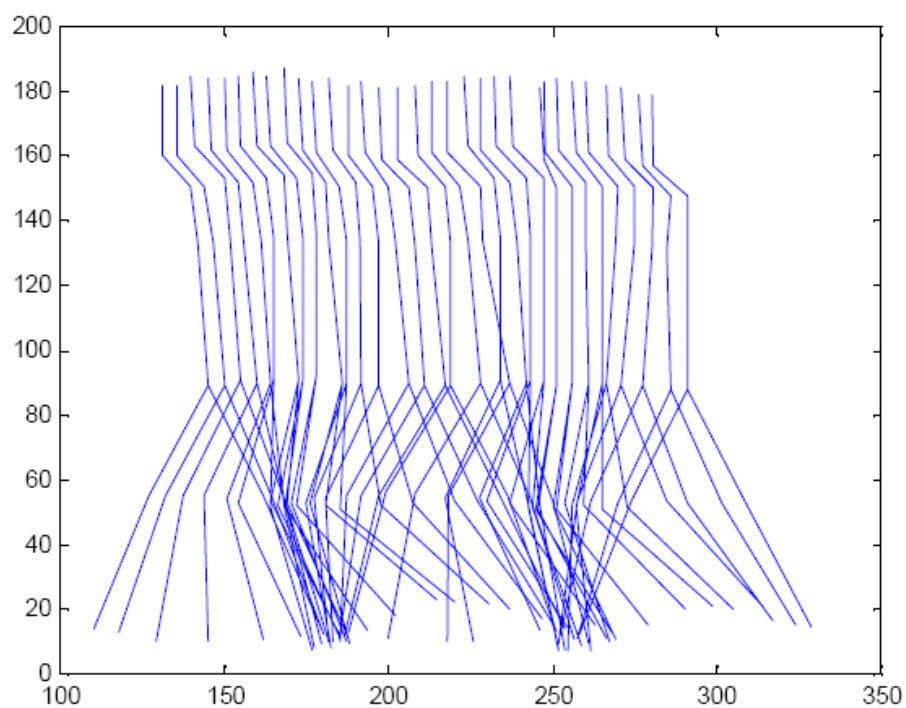


**Obr. 1-28** Úhlové změny rotace kyčelního kloubu při chůzi podle NIXONA<sup>30)</sup>

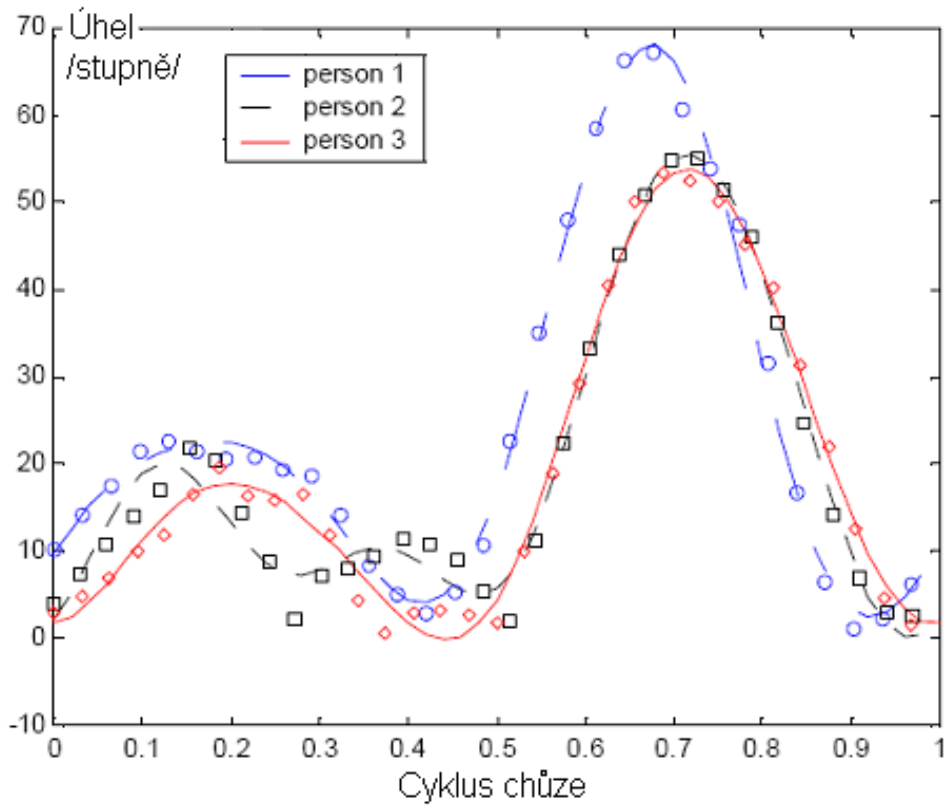
<sup>30)</sup> NIXON, M. S., TAN, T. N., CHELLAPPA, R. *Human Identification Based on Gait*. Springer-Science+Business Media Inc., 2006.



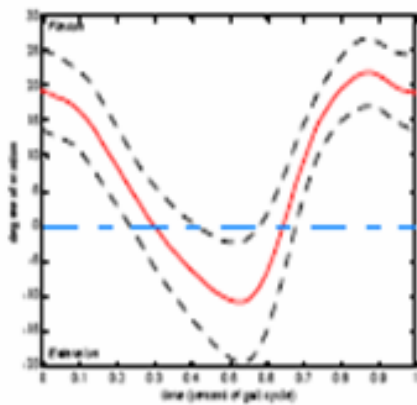
*Obr. 1-29 Silueta osoby a schéma měření úhlových změn v kyčelním a kolenním kloubu*



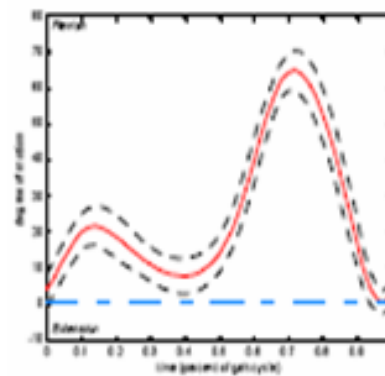
*Obr. 1-29 Jednotlivé cykly chůze*



**Obr. 1-30** Úhlové změny v kolenním kloubu (podle: YOO, NIXON, HARRIS 2006)<sup>31)</sup>



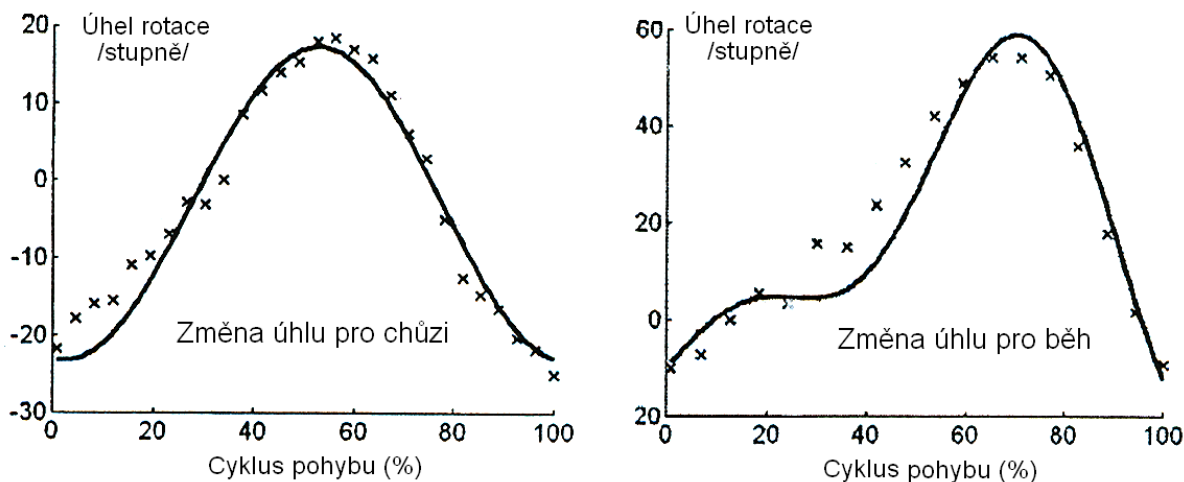
Kyčel-úhlové změny



Kolenní kloub-úhlové změny

**Obr. 1-31** Úhlové změny lokomoce pro kyčelní a kolenní kloub

<sup>31)</sup> YOO, J., NIXON, M., HARRIS, C. J. *Extracting Gait Signatures based on Anatomical Knowledge*. University of Southampton, SO17 1BJ, UK, 2006.



**Obr. 1-32** Změna úhlu rotace v kolenním kloubu pro chůzi a běh <sup>32)</sup>

Pro testování byla použita databáze 20 osob jdoucích a běžících na pásech. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s využitím původních obrázků běhu (91,7 %). Změnu v úhlech v jednotlivých kloubech uvádějí GROSS, R., SHI, J.,<sup>33)</sup> kteří provedli několik experimentálních měření s 25 subjekty. Autoři uvádějí velmi vysokou přesnost identifikace podle změn v úhlech dolních končetin. Uvádějí 96 % úspěšnost pro identifikaci osoby.

V polovině roku 2007 byl publikován příspěvek německých kriminalistů (HEUBROCK)<sup>34)</sup>, kteří postupují při výzkumu identifikace osob podle chůze analogickým principem, který je dosud využíván u nás (srovnej se STRAUS, JONÁK).<sup>35), 36)</sup> Pohybový projev lokomoce filmovali na rychloběžnou kameru a zjišťovali průběh identifikačních křivek v sagitální rovině pohybu. Pozornost zaměřili pouze na tři klouby dolní končetiny, a to na kyčelní, kolenní a hlezenní kloub. Analýzou kinematiky pohybu zjistili rozdíly v lokomoci různých osob. Jako příklad rozdílu lokomoce dvou osob je uveden na obr. 1-33.

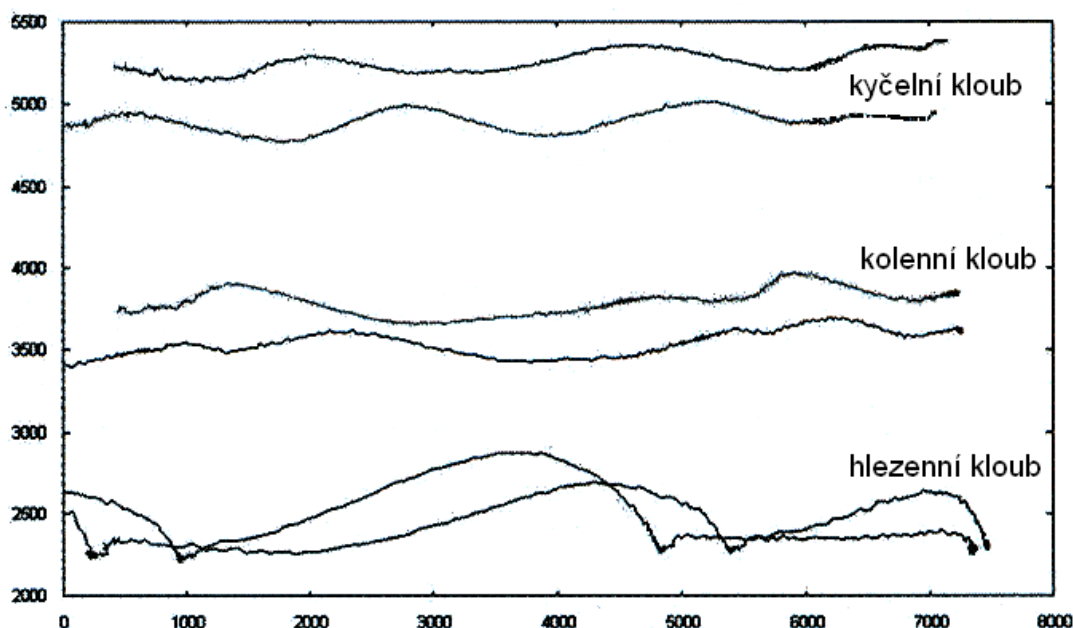
<sup>32)</sup> NOVACHECK, T. F. The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 1998, 7, pp. 77-95.

<sup>33)</sup> GROSS, R., SHI, J. *The CMU Motion of Body Database*. Technical report CMU-RI-TR-01-18. Robotic Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburg, PA, 6, 2001.

<sup>34)</sup> HEUBROCK, D. Demaskiert-erkannt am Gang. *Deutsche Polizei*, 2007, č. 7, s. 8 – 12.

<sup>35)</sup> STRAUS, J., JONÁK, J. Lokomoce člověka z hlediska forenzní biomechaniky. *Pohybové ústrojí*, 2004, roč. 11, č. 1-2, s. 130 – 131.

<sup>36)</sup> STRAUS, J., JONÁK, J. Je možné identifikovat osobu podle pohybového projevu lokomoce? In *Policajná teória a prax*, Bratislava : Akadémia PZ, 2005, č. 3, s. 109 – 120.



*Obr. 1-33 Srovnání kinematiky pohybu dvou osob. Na kloubech byly připevněny reflexní body a snímán jejich pohyb v průběhu chůze.*

Analýzou všech literárních údajů můžeme stanovit základní informace o možných chybách a identifikačním zkoumání lidské lokomoce. Existuje množství příčin, které mohou způsobit chyby při sběru dat a omezit přesnost určení identity. Můžeme hovořit o **vnitřních a vnějších podmínkách ovlivňujících přesnost identifikace**. Některé identifikační metody vycházejí z předpokladu, že většina vnitřních a vnějších podmínek se nemění. To ovšem není pravda v mnoha životních situacích. V analýze chůze lze rozlišovat vnitřní a vnější faktory, které výrazně ovlivňují analýzu chůze.

### **Vnitřní faktory**

- **Rychlost chůze.** Pokud osoba kráčí pomaleji nebo rychleji, dochází jak ke změně způsobu chůze, délky kroku a frekvence pozice těla, tak ke změně rychlosti pohybu paží.
- **Povrch.** Pokud osoba kráčí po hladkém povrchu bez nerovností, pak je způsob chůze opakovatelný a periodický. Pokud ovšem povrch není hladký, musí chodec přemýšlet nad způsobem chůze v důsledku opatrnosti a způsob chůze změní.
- **Fyzický stav chodce.** Chodec může změnit chůzi v důsledku fyzických příčin. Ke změnám dochází například v těhotenství, při únavě (tělesné i duševní) nebo při opilosti. Osoba může změnit způsob chůze také v důsledku zranění.
- **Nesení zátěže.** Pokud osoba něco přenáší, dochází k ovlivnění jejího postoje a dynamiky chůze. Také dochází k tomu, že zavazadlo samo o sobě změní obrysy osoby. V případě, že zavazadlo je nesené, informace o švihů rukou při chůzi nejsou použitelné.
- **Různé oblečení.** Nošení například sukně místo kalhot ovlivní siluetu a skrývá data, která jsou zjistitelná z pohybu nohou. Obuť osoby také ovlivňuje postoj a způsob chůze (např. pokud osoba kráčí na vysokých podpatcích, její způsob chůze je jiný, než pokud jde například v holínkách).



## Vnější faktory

- **Úhel nastavení kamery.** Změna úhlu kamery má významný efekt na dynamiku chůze. Dynamika chodce je velmi odlišná, když je osoba pozorována zepředu v porovnání s bočním pohledem. Problém je obvykle vyřešen použitím několika záznamů z různých úhlů nebo jednodušeji použitím obrázků pouze ze stejného úhlu.
- **Světelné podmínky.** Světelné podmínky ovlivňují kvalitu snímků extrahovaných z videosekvence a mohou způsobit chyby při určování siluety.
- **Kontrast mezi oblečením a pozadím.** Pokud je kontrast mezi pozadím a oblečením osoby příliš malý, může být těžké zjistit hranice objektu, což zase přináší problémy při extrakci siluety. Barva oblečení zřídka ovlivní tento proces, protože se nejčastěji používají binární obrázky.

## Literatura

- ABDELKADER, C. B., CUTLER, R., NANDA, H., DAVIS, L. Eigen Gait: Motion-Based Recognition Using Image Self-Similarity, *LNCS 2091*, 2001, pp 289 – 294.
- ABDELKABER, B. C. *Gait as biometric for person identification in video sequences*. Technical report, University of Maryland Computer Science Department, 2001.
- COLLINS, R., GROSS, R., SHI, J. Silhouette-based Human Identification from Body Shape and Gait. *Proc. IEEE Conf. FG '02*, 2002, pp 366 – 371.
- DEUTSCHER, J., BLAKE, A., REID, I. Articulated body motion capture by annealed particle filtering. *Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition 2000*, 2, pp. 1144 – 1149;
- DEUTSCHER, J., BLAKE, A., NORTH, B., BASCLE, B. Tracking through singularities and discontinuities by random sampling. *Proc. 7th Int. Conf. Computer Vision*, 1999, pp. 1144 – 1149.
- GROSS, R., SHI, J. The CMU Motion of Body Database. Technical report CMU-RI-TR-01-18. Robotic Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburg, PA, 6, 2001.
- HENZE, A. *Dreidimensionale biomechanische Modellierung und die Entwicklung einer Regel zur Simulation zweibeinigen Gehens*. Diss., Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen, 2002, s. 90.
- HEUBROCK, D. Demaskiert-erkannt am Gang. *Deutsche Polizei*, 2007, č. 7, s. 8 – 12.
- JOHANSSON, G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychologist*, 14 (2), 1973, s. 201 – 211.
- KALE, A. RAJAGOPALAN, A. N. SUNDARESAN, CUNTOOR, A. N. ROYCHOWDHURY, A. KRUGER, V. CHELLAPPA, R. Identification of Humans Using Gait, *IEEE TIP* (forthcoming), 2004.
- LEE, L. Gait analysis for recognition and classification. Intelligence Laboratory Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts, 2006.
- LEE, L., GRIMSON, W. E. L. Gait analysis for recognition and classification. *Proceedings of the IEEE Conference on Face and Gesture Recognition*, 2002, pp. 155 – 161.
- LYNNERUP, N., VEDEL, J. Person Identification by Gait Analysis and Photogrammetry. *J. Forensic Sci.*, 50, 1, s. 112 – 118.
- NOVACHECK, T. F. The biomechanics of running. *Gait and Posture*, 1998, 7, pp. 77 – 95.
- NIXON, M. S., CARTER, J. M., NASH, P. S. HUANG, P. S., CUNADO, D., STEVENAGE, S. V. Automatic gait recognition. *Proceedings IEE Colloquium Motion Analysis and*

### *Tracking.*

NIXON, M. S., TAN, T. N., CHELLAPPA, R. *Human Identification Based on Gait.* Springer-Science+Business Media Inc., 2006.

NIXON, M. S., TAN, T. *Human Identification Based on Gait.* Springer, 2006.

metry. *J. Forensic Sci.*, 50, 1, s. 112 – 118.

NIXON, M. S. et al. Automatic Gait Recognition. In A. K. JAIN et al. (Eds.) *Biometrics: Personal Identification in Networked Society*, pp 231 – 250, Kluwer, 1999.

RÖKKÖNNEN, J. Video Based Gait Analysis in Biometric Person Authentication: A Brief Overview.

SABOUNE, J., CHARPILLET, F. *Markerless human motion capture for gait analysis.* INRIA-LORIA, B. P. 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France, 2006.

STRAUS, J., JONÁK, J. Lokomoce člověka z hlediska forenzní biomechaniky. *Pohybové ústrojí*, 2004, roč. 11, č. 1 – 2, s. 130 – 131.

STRAUS, J., JONÁK, J. Je možné identifikovat osobu podle pohybového projevu lokomoce? In *Policajná teória a prax*, Bratislava : Akadémia PZ, 2005, č. 3, s. 109 – 120.

YAM, C. Y., NIXON, M. S., CARTER, J. N. Automated Markerless Analysis of Human Walking and Running by Computer Vision. *Proc. World Cong. Biomechanics*, 2002. YAM, C. Y., NIXON, M. S., CARTER, J. N. Automated Person Recognition by Walking and Running via Model- Based Approaches. *Pattern Recog.* 37 (forthcoming), 2004.

YOO, J., NIXON, M., HARRIS, C. J. Extracting Gait Signatures based on Anatomical Knowledge. University of Southampton, SO17 1BJ, UK, 2006.

**Key words:** criminalistic identification, identification signs, locomotion, dynamic stereotype, cinematic analysis

### **Summary**

The article summarizes core scientific approaches towards the locomotion analysis and identification of persons on the basis of one's walk. Authors have carried out an extensive study, literature confrontation where they analyse core approaches towards the person's identification. The issue of the person's identification on the basis of one's walk is not a new phenomenon; the first applications emerged in the early 90's of the 20<sup>th</sup> century. A forensic analysis of human locomotion is highly interesting for the field of security, protection of persons and objects. Forensic analysis of current approaches shows that in principal, it is possible to employ two ways. The first direction shows the possibility to reduce a person's movement onto a wire model of the muscular-skeletal system and its movement shaping in 3D dimension. The second way presents a movement analysis in a sagittal level, observation of a trajectory of the body centre and angle changes in lower extremities joints depending upon time. The study points out respective scientific approaches in detail.

*prof. PhDr. Jiří Straus, DrSc.*

*Ing. Jiří Jonák, PhD.*

*Policejní akademie ČR v Praze*

*e-mail: straus@polac.cz*

*jonak@polac.cz*

Recenzenti: prof. Ing. A. Tallo, CSc., doc. Ing. Jaroslav Suchánek, CSc., doc. Ing. Václav Sochor, DrSc.