

# САВРЕМЕНИ НАЧИНИ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ОСОБА ПОМОЋУ КАРАКТЕРИСТИКА ХОДА

Прегледни научни рад

DOI: 10.5937/zurbezkrim2202009M	COBISS.RS-ID 137239809	УДК 159.943:796.012-1-05
---------------------------------	------------------------	--------------------------

Саша Мићин<sup>1</sup>  
Данијела Татић<sup>1</sup>  
Милица Хрвач<sup>1</sup>

Факултет безбједносних наука, Универзитет у Бањој Луци

**Апстракт:** Аутоматски системи за идентификацију особа на основу хода заузимају значајно мјесто међу биометријским системима идентификације. Развој информационих технологија је омогућио веома интензиван развој и примјену ових система у различитим областима криминалистике и безбједности. У раду су приказани системи биометријске идентификације особа помоћу карактеристика хода заснованих на улазним подацима, прикупљеним различитим техникама, примијењеним алгоритмима за издвајање и одабир карактеристика, различитим класификаторима у процесу класификације као и базе података које се примјењују у поступку процјене и упоређивање ефикасности система.

**Кључне ријечи:** биометријске карактеристике, препознавање хода, идентификација

## УВОД

Идентификација особа на основу биометријских карактеристика представља једну од најзначајнијих метода идентификације чија примјена је узела значајно мјесто у различитим областима, нарочито криминалистици, форензици и безбједности (Jain, Ross, & Nandakumar, 2011). Развијени системи су засновани на мјерењу и анализи различитих јединствених физичких карактеристика и карактеристика понашања особе. Најчешће коришћене карактеристике су папиларне линије, ирис и ретина, лице, рукопис и глас (Takemura, Makihara, Muramatsu, Echigo, & Yagi, 2018). Идентификација особе на основу начина хода представља методу новијег датума.

Ход је једна од основних човјекових активности и представља основни начин кретања људи. Сврстава се у сложену биометријску карактеристику понашања која је заснована на III Њутновом закону-принципу акције и реакције (Whittle, 2007). Студије су показале да људски ход карактери-

<sup>1</sup> Аутор за кореспонденцију: др Саша Мићин, доцент на Факултету безбједносних наука Универзитета у Бањој Луци. Имејл: sasa.micin@fbn.unibl.org

шу 24 различите компоненте, односно да свака особа посједује специфичну мишићно-скелетну структуру а што представља основ за идентификацију (Kale, Sundaresan, Rajagopalan, Cuntoor, Roy-Chowdhury, Kruger, & Chellappa, 2004). Истраживања су потврдила могућност препознавања особа и пола особе на основу начина хода (Cutting & Kozlowski, 1977). Анализирани су утицаји различитих фактора (пол, тјелесна тежина, осјећање, емоција) на начин хода (Троје, 2002).

Почетак развоја и примјене аутоматских система за идентификацију особа на основу начина хода се може везати за студију коју су представили Ниоги и Аделсон (*Niyogi, Adelson*) а која се заснивала на бази са малим бројем података (Niyogi & Adelson, 1994). Даља истраживања су претежно вршена употребом видео-записа при чему је углавном кориштен тзв. приступ заснован на моделу који подразумева формирање модела људског тијела на основу видео-записа и издвајања карактеристика које одговарају физичком моделу људског тијела (Wang, Ning, Tan, & Hu, 2004). Аутори су у циљу истраживања, испитивања и верификације предложених метода вршили формирање база улазних података са различитим коваријансама<sup>2</sup>. Прва јавно доступна база података за препознавање хода је објављена 2005. године у оквиру програма *HumanID*, а развила ју је Агенција за напредна истраживања у области одбране (*DARPA*)<sup>3</sup> (Sarkar, Jonathon Phillips, Liu, Vega, Grother, & Bowyer, 2005). Развој приступа без модела заснованог на издвајању покретног објекта од позадине и извођењу људске силуете започиње 2006. године (Man & Bhanu, 2006). Даљи развој алгоритама за обраду података је омогућило препознавање људског хода које се користи за идентификацију емоција посматране особе (Mathivanan & Perumal, 2021).

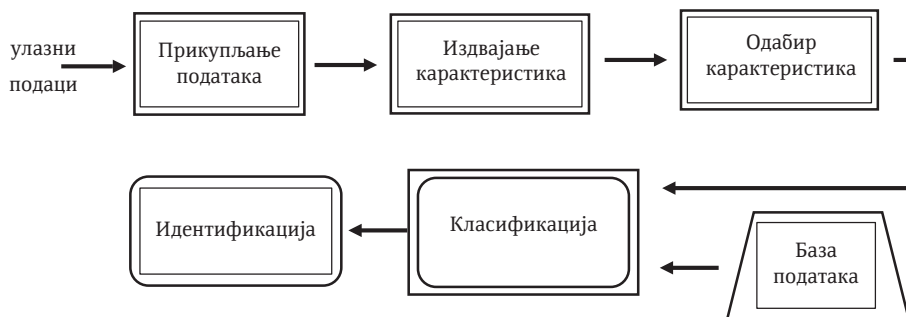
Поједине карактеристике биометријске идентификације помоћу људског хода као што су могућност идентификације на већим дистанцама између објекта идентификације и система за идентификацију, кориштења више различитих једноставних уређаја за снимање са ниском резолуцијом, препознавања без сарадње особе (Kim & Paik, 2010), отежано имитирање карактеристика хода и прикривање покрета дају предност овој методи у односу на друге биометријске методе (Nixon & Carter, 2004).

## САВРЕМЕНИ НАЧИНИ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ НА ОСНОВУ АНАЛИЗЕ ХОДА

Уопштено, основни елементи биометријског система за препознавање особа на основу хода су прикупљање података, издвајање карактеристика, избор карактеристика и класификација (Wan, Wang, & Phoха, 2018).

2 Коваријанса представља мјеру јачине везе између промјене двије промјенљиве.

3 DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), агенција Министарства одбране САД одговорна за развој нових технологија за војску Сједињених Америчких Држава



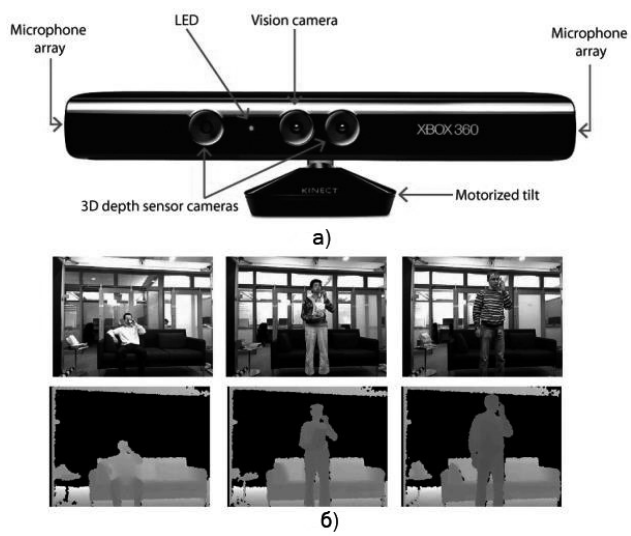
Слика број 1: Блок шема биометријског система за идентификацију особа помоћу хода

Сличну блок шему биометријског система за препознавање особа на основу хода су предложили Кастанотиотис и остали која садржи модул за претходну обраду, модул за екстракцију карактеристика, модул за класификацију узорака и модул резултата (Kastaniotis, Theodorakopoulos, Economidou, & Fotopoulos, 2016).

#### Прикупљање података

Модул прикупљања података подразумева аквизицију просторно-временских података везаних за људски ход. Прикупљање података су вршена помоћу видео-камера, акцелерометра, подних сензора и радара са континуираним таласима (Wan et al., 2018). Најчешће се користе једна или више RGB камера. Употреба једне камере омогућава идентификацију на основу тзв. 2Д потписа хода за разлику од употребе више синхронизованих камера које значајно повећавају могућност примјене улазних података (израда 3Д модела хода, израда 2Д потписа хода са додатним елементима (тзв. 2,5Д потпис хода), препознавање инваријантног погледа) (Makihara, Nixon, & Yagi, 2021; Santos, Tavares, & Rocha, 2022). Слични резултати се могу постићи употребом тзв. сензора дубине од којих је најпознатији Микрософт кинект (*Microsoft Kinect*)<sup>4</sup> (Khoshelham, 2012), на основу којег је развијено више система за препознавање хода (Dikovski, Madjarov, & Gjorgjevikj, 2014).

4 Кинект је линија улазних уређаја за откривање покрета које је произвео Микрософт и први пут је пуштен у продају 2010. Ови уређаји углавном садрже RGB камере, инфрацрвене пројекторе и детекторе који мапирају дубину кроз структурирано свјетло или прорачуне времена лета, што се заузврат може користити за препознавање покрета у реалном времену и детекцију скелета тијела, између осталих могућности. Такође садрже микрофоне који се могу користити за препознавање говора и контролу гласа.



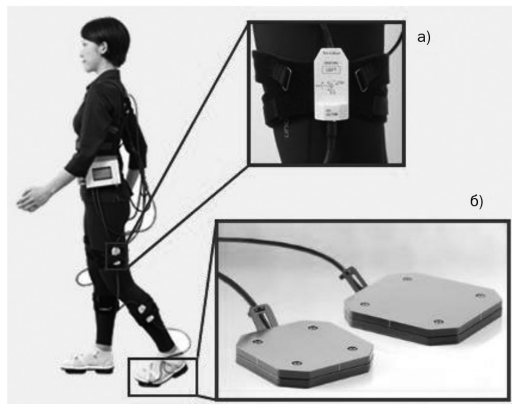
Слика број 2: Приказ 3Д камере и улазних RGB-D података  
 а) Микрософт кинект уређај б) улазни RGB-D подаци (слике) снимљени помоћу Микрософт кинект уређаја (Ly Quoc Ngoc, Vo Hoai Viet, Tran Thai Son, & Pham Minh Hoang, 2016).

Улазни подаци прикупљени акцелерометром<sup>5</sup> су употребљени за развој биометријских идентификационих система на основу хода (Derawi & Bours, 2013). Уопштено, системи засновани на акцелерометру се постављају на људско тијело при чему се региструју тродимензионална убрзања карактеристичних тачака на тијелу приликом хода која представљају улазне податке за дати систем (Semwal, Gaud, Lalwani, Vijalwan, & Alok, 2021).

Приликом хода, различите особе продукују различити интензитет притиска на подлогу по којој се крећу што пружа могућност идентификације. На основу улазних података добијених помоћу подних сензора врши се моделирање начина хода а затим идентификација особе (Nakajima, Mizukami, Tanaka, & Tamura, 2000). Развијен је класификациони алгоритам за обраду корака под називом Квантизација вектора учења осјетљивог на разликовање (Distinction-Sensitive Learning Vector Quantization, DSLVQ) (Suutala & Rönning, 2004). Показано је да се може умањити утицај обуће на улазне податке (Orr & Abowd, 2000). У кориштене подне сензоре се сврставају платформе силе OP6-7, сензорска простирка, ћелије за оптерећење и електрометални филм (EMFi)<sup>6</sup> (Wan et al., 2018).

<sup>5</sup> Акцелерометри су сензори за мјерење акцелерације, односно силе инерције. Могу мјерити акцелерацију у једном или више смјерова, при чему су ти смјерови окомити један на други.

<sup>6</sup> Танак, флексибилан материјал који се састоји од ћелијске биаксијално оријентисане полипропиленске фолије обложене металним електродама. Спољна сила која утиче на површину EMFi-а узрокује промјену дебљине филма а које резултира наелектрисањем између проводних



Слика број 3: Систем носивих сензора а) инерцијални сензор (акцелерометар) б) подни сензори (Muro-de-la-Herran, Garcia-Zapirain, & Mendez-Zorrilla, 2014).

Осим претходно наведених начина прикупљања улазних података, вршена су истраживања везана за употребу радарских система у сврху идентификације особа помоћу људског хода. Принцип функционисања система се заснива на Доплеровом ефекту употребом радара континуираног спектра<sup>7</sup> са електромагнетним таласима карактеристичним за микроталасно подручје спектра електромагнетног зрачења. Такође су вршена испитивања са ултраширокопојасним Доплеровим радаром<sup>8</sup> и радаром са микро Доплеровим ефектом<sup>9</sup> (Wan et al., 2018). Јамада (Yamada) и други су на основу претходних истраживања представили методу биометријске идентификације на основу људског хода кориштењем вишелинијског LiDAR<sup>10</sup>-а у реалном времену (Yamada, Ahn, Martinez Mozos, Iwashita, & Kurazume, 2020) за прикупљање улазних информација.

### Издвајање карактеристика

Карактеристике људског хода које се користе у системима за препознавање особа на основу хода могу се класификовати у двије групе, статичке

металних слојева. Оно се може детектовати као напон, који описује промјене у притиску који утиче на филм.

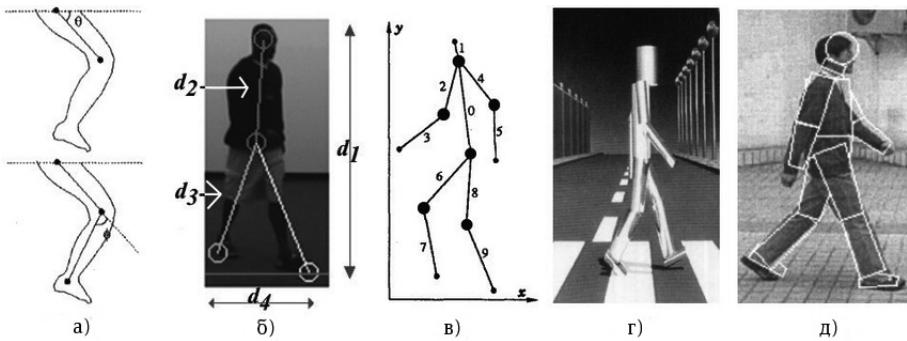
7 Непрекидни талас или континуирани талас (CW) јесте електромагнетни талас константне амплитуде и фреквенције, типично синусниталас, за који се за математичку анализу сматра да има бесконачно трајање.

8 Ултраширокопојасни (UWB) радари производе веома кратке радио-фреквентне (RF) импулсе у опсегу од суб-наносекунде и користе се за апликације осјетљивости и снимања.

9 Ако посматрани / снимани објекат има механичке вибрације или ротације, могу се индуковати фреквенције модулације на повратном сигналу који генеришу бочне траке око доплерове фреквенције посматраног објекта.

10 LiDAR, ласерски радар (Light Detection and Ranging) – оптички инструмент који емитује ласерске зраке и детектује одбијене ласерске зраке.

и динамичке карактеристике (Rao, Sahu, & Parida, 2021). Статичке карактеристике се односе на антропометријске параметре док су динамички параметри везани за трајекторију појединих елемената скелетног система. Развијена су два приступа обраде улазних необрађених података и презентовања обрађених података прикупљених путем видео-камера. Приступ заснован на моделу (*Model-based approach*) представља моделирање кретања и израчунавање карактеристика хода на основу израђеног модела кретања чији основ су просторно временски подаци (Lee & Grimson, 2002). Код овог приступа, користи се структура људског тијела, претежно кинематичке карактеристике локомоторног система човјека. Овај приступ захтијева улазне податке (сlike) веће резолуције и условљен је већим трошковима рачунарске обраде (Makihara et al., 2021). Након формирања модела кретања врши се издвајање карактеристика из датог модела. Код приступа заснованог на моделу издвојене карактеристике претежно укључују растојање и углове појединих тачака на људском тијелу.



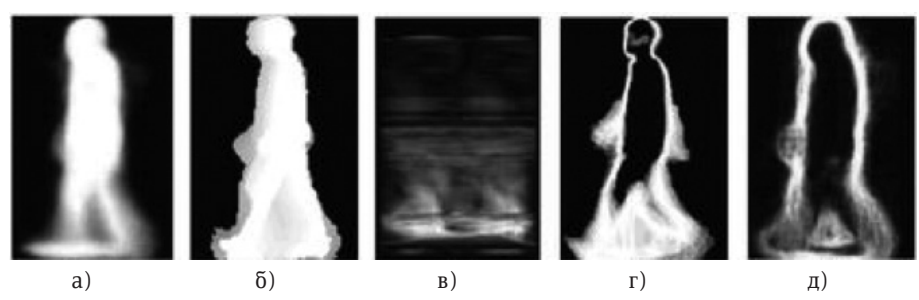
Слика број 4: Обрада улазних података помоћу приступа заснованог на моделу (*Model-based approach*): а) зглобни модел; б) статички људски параметри; в) модел штапића; г) волуметријски модел; д) статичке и динамичке карактеристике (Sun, Wang, & Li, 2017)

Представљено је више биометријских система идентификације особа помоћу хода заснованих на различитим моделима (табела 1).

Табела 1: Модел коришћени за израду модела кретања (Makihara et al., 2021; Wan et al., 2018)

Модел	
Један осцилатор	Зглобни модел
Елипсоидни кројеви	Двоструки осцилатор
Кинематичке карактеристике	Трајекторије повезаних обележја
Параметри корака	Модел штапића
Људски параметри	Слојевити деформабилни модел
Зглобне путање	Марионетни модел са опругом

Методе засноване на приступу без модела (*Model-free approach*) користе образац комплетног кретања људског тијела, односно улазни подаци се директно преузимају са секвенци кретања посматраног субјекта без претходног формирања модела (Makihara et al., 2021).



Слика број 5: Обрада улазних података помоћу приступа без модела (*Model-free approach*): а) слика енергије хода; б) слика силуете покрета; в) слика варијације облика; г) слика енергије хода; д) компримоване слике силуета (Sun et al., 2017)

У поступку издвајања и представљања карактеристика људског хода кориштени су различити алгоритми за обраду појединих карактеристика (табела 2).

Табела 2: Модел представљања и издвајања карактеристика људског хода на основу приступа без модела (Makihara et al., 2021; Wan et al., 2018)

модел
Сличност силуете
Слика историје кретања ( <i>Motion History Image, MHI</i> )
Слика енергије кретања ( <i>Motion Energy Image, MEI</i> )
Слика историје хода ( <i>Gait History Image, GHI</i> )
Слика енергије хода ( <i>Gait Energy Image, GEI</i> )
Обим енергије хода ( <i>Gait energy volumen, GEV</i> )
Слика енергије разлике оквира ( <i>Frame Difference Energy Image, FDEI</i> )
Гаусова слика хода ( <i>Gait Gaussian Image, GGI</i> )
Слика ентропије хода ( <i>Gait Entropy Image, GenI</i> )
Енергетска слика хистограма протока ( <i>Flow Histogram Energy Image, FHEI</i> )
Гаусова слика хистограма градијента ( <i>Gradient Histogram Gaussian Image, GHGI</i> )
Слика активне енергије ( <i>Active Energy Image, AEI</i> )
Карактеристике засноване на удаљености
Габор филтер
Научене карактеристике помоћу конволуционе неуронске мреже ( <i>Convolution Neural Network, CNN</i> )
Скривени Марковљев модел ( <i>Hidden Markov Model</i> )

Методe издвајања карактеристика на основу улазних података прикупљених акцелерометром се могу подијелити у двије групе. Карактеристике засноване на цикличности хода (*Gait-cycle-based Feature*) заснивају се на просјечном циклусу хода који представља основ за поступак класификације (Wan et al., 2018). Издвајање и представљање карактеристика засновано на оквирима (*Frame-based Feature*) врши подјелу улазних података у више појединачних група од којих се за сваку групу издваја вектор карактеристике. Скуп издвојених вектора представља основ за класификацију (San-Segundo, Cordoba, Ferreiros, & D'Haro-Enriquez, 2016). У претходном временском периоду се приступило развоју биометријских система идентификације на основу хода кориштењем више акцелерометара, односно спајању издвојених карактеристика са више акцелерометара истовремено кориштених (Chen, Liang, Zhao, Hu, & Tian, 2009a).

Издвојене карактеристике на основу података подних сензора обухватају масу тијела, ритам и дужину корака (Jenkins & Ellis, 2007).

Доплерово фреквентно помјерање представља основ за издвајање карактеристика приликом кориштења радарских биометријских идентификационих система особа на основу хода (Wan et al., 2018).

#### *Одабир (редукција) карактеристика*

Одабир (редукција) карактеристика, претходно издвојених, представља издвајање неважних и неприкладних карактеристика путем одговарајућих алгоритама. Разликују се различити приступи редукције карактеристика: а) на основу филтера (*Filter-based approach*)<sup>11</sup>, б) на основу тзв. омотача (*Wrapper-based approach*)<sup>12</sup>, в) на основу уграђених елемената (*Embedded-based approach*)<sup>13</sup> (Јовић, Бркић, & Богуновић, 2015).

Најчешће кориштени алгоритми за одабир издвојених карактеристика су анализа главних компоненти (*principal component analysis, PCA*), линеарна дискриминантна анализа (*linear discriminant analysis, LDA*), комбинација анализе главних компоненти и линеарне дискриминантне анализе, линеарна функција по линијским сегментима (*Piecewise Linear Representation, PLR*) (Rao et al., 2021), дискретна косинус трансформација (*Discrete Cosine Transform, DCT*) (Fan, Jiang, Weng, He, & Liu, 2016) и И вектор (*I-vector*) (San-Segundo, Echeverry-Correa, Salamea-Palacios, Lutfi, & Pardo, 2017).

Осим претходно наведених алгоритама који се користе за одабир карактеристика, у литератури су приказани примјена Габорових карактеристика и општа тензорска дискриминантна анализа, модификована анализа независних компоненти (*Modified Independent Component Analysis, MICA*), дискретна таласна трансформација (*discrete wavelet transformation, DWT*), Фуријеови де-

11 Приступ заснован на филтерима.

12 Процењује скупове атрибута кориштењем шеме учења. Унакрсна валидација се користи за процену тачности шеме учења за скуп атрибута.

13 Уграђене методе комбинују квалитете филтера и метода омотача. Имплементирају га алгоритми који имају своје уграђене методе одабира карактеристика.



скриптори (*Fourier Descriptors*), канонска анализа (*canonical analysis*), петка билинеарна дискриминантна анализа (*sparse bilinear discriminant analysis, SBDA*), општа тензорска дискриминантна анализа (*general tensor discriminant analysis, GTDA*) и дискриминантна анализа са тензорском репрезентацијом (*discriminant analysis with tensor representation, DATER*) (Wan et al., 2018).

У овом модулу, осим процеса одабира (редукције) карактеристика које се претежно односи на уклањање неважних карактеристика, савремени биометријски системи препознавања на основу хода врше и уклањање карактеристика лошег квалитета. У карактеристике лошег квалитета се убрајају недостаци у једном кадру, одступање у скуповима података, одступања у видео-снимку хода и одступања узрокована одјећом (Wan et al., 2018).

### Класификација

Поступак класификације подразумијева поређење прикупљених и претходно обрађених карактеристика (кроз модул прикупљања, издвајања и одабира карактеристика) са прикупљеним карактеристикама у базама података. За поступак класификације су кориштени удаљеност, корелација, машинско учење, скривени Марковљев модел и Бајесова класификација (Rao et al., 2021).

Класификатор на основи удаљености подразумијева израчунавање разлике између прикупљених података о ходу и образаца хода у бази података. Примењене методе израчунавања разлика обухватају Еуклидова дистанца<sup>14</sup>, Менхетн дистанца<sup>15</sup>, динамичко временско савијање (*dynamic time warping, DTW*)<sup>16</sup> и метода к-најближих суседа (*K-Nearest Neighbor, k-NN*)<sup>17</sup> (Wan et al., 2018).

Корелација описује статистички однос који укључује зависност, односно степен до којег се двије варијабле крећу у координацији једна са другом. Истраживања су вршена примјеном Пирсоновог корелационог коефицијента (Khurelbaatar, Kim, Lee, & Kim, 2015).

Класификатори засновани на машинском учењу (*machine learning*)<sup>18</sup> користе различите алгоритме за обраду података у које се сврставају метода

14 Еуклидско растојање између двије тачке у еуклидском простору је дужина одсјека између двије тачке.

15 Удаљеност Менхетна је метрика удаљености између двије тачке у Н димензионалном векторском простору. То је збир дужина пројекција сегмента праве између тачака на координатне осе. Једноставно речено, то је збира апсолутне разлике између мјера у свим димензијама двије тачке.

16 Динамичко временско савијање (DVS) јесте алгоритам за мјерење сличности између двије временске секвенце које могу да варирају у времену и брзини.

17 К-најближих суседа (или скраћено к-NN) представља непараметарски метод који се користи за класификацију и регресију.

18 Машинско учење (ML) јесте врста вјештачке интелигенције (AI) која омогућава софтверским апликацијама да постану тачније у предвиђању исхода без експлицитног програмирања да то ураде. Алгоритми машинског учења користе историјске податке као улаз за предвиђање нових излазних вриједности.

подржавајућих вектора (*Support vector machine, SVM*), линеарна дискриминантна анализа (*linear discriminant analysis, LDA*), ансамбл стабла одлука (*Decision Tree Ensemble Classifier, DTEC*)<sup>19</sup>, неуронска мрежа (*Neural Network Classifier*)<sup>20</sup> и тзв. дубоко учење у препознавању хода (*Deep Learning*)<sup>21</sup> (Wan et al., 2018).

Скривени Марковљев<sup>22</sup> модел се широко примјењује у поступку класификације у биометријским системима за препознавање хода. Кориштене су различите варијанте овог алгорита као што су пуни скривени Марковљев модел (*full hidden Markov models, FHMM*) и паралелни скривени Марковљев модел (*parallel hidden Markov models, PHMM*) (Chen, Liang, Zhao, Hu, & Tian, 2009б).

Бајесов класификатор се заснива на Бајесовој теорему<sup>23</sup> помоћу којега се израчунава вјероватноћа подударана обрађених карактеристика са подацима из базе података (Bazin & Nixon, 2005).

У претходном временском периоду, ради процене и упоређивања ефикасности, за биометријске идентификационе системе са различитим начином прикупљања улазних података, развијено је више специфичних база података.

У табели 3. су приказане доступне базе података које се употребљавају у поступку класификације код система за препознавање на основу улазних података прикупљених видео-камерама (Wan et al., 2018; Rao et al., 2021; Makihara et al., 2021).

Табела 3: Базе података које се користе у поступку класификације

Назив базе података			
CMU MoBo	SOTON Temporal	OU-ISIR, Treadmill B	WOSG
Georgia Tech	USF HumanID	OU-ISIR, Treadmill C	AVA
NID-UMD	CASIA A	OU-ISIR, Treadmill D	AVAMVG
SOTON Small Database	CASIA B	OU-ISIR, LP	OU-ISIR MVLP
SOTON Large Database	CASIA C	TUM-IITKGP	NIST
SOTON Multimodal	OU-ISIR, Treadmill A	TUM-GAID	KY 4D

19 Методе ансамбла, које комбинују неколико стабала одлучивања да би се произвеле боље предиктивне перформансе од коришћења једног стабла одлучивања.

20 Неуронска мрежа се састоји од јединица (неурона), распоређених у слојеве, који претварају улазни вектор у неки излазни. Свака јединица узима улаз, примјењује (често нелинеарну) функцију на њу и затим прослијеђује излаз на сљедећи слој.

21 Дубоко учење (познато као дубоко структурно учење или хијерархијско учење) дио је шире породице метода машинског учења базиране на учењу репрезентације података, наспрот алгоритмима који се базирају на листама наредби.

22 Скривени Марковљев модел (HMM) јесте статистички Марковљев модел коме се претпоставља да је систем који се моделује Марковљев процес са неочљивим („скривеним“) стањима.

23 Описује вјероватноћу догађаја, засновану на претходном познавању услова који би могли бити повезани са догађајем.

Базе података које се користе приликом евалуације биометријских система заснованих на улазним подацима прикупљеним путем акцелерометра су база података о брзини (Speed Dataset), база података базирана на сензору покрета (Motion-Recording-Sensor-Based Dataset), база података о узорку ходања (Walking Pattern Dataset), Гугл Г1 база за андроид телефоне (Android phone Google G1 Dataset) те скуп података о људским активностима и постуралним транзицијама (Human Activities and Postural Transitions Dataset), (Wan et al., 2018).

Представљено је више база података које се употребљавају код система препознавања заснованих на улазним подацима добијеним помоћу подних сензора и радарских система (Jenkins & Ellis, 2007; Middleton, Buss, Bazin, & Nixon, 2005).

## ЗАКЉУЧАК

Биометријски системи за препознавање особа на основу начина хода представљају системе новијег датума које карактерише интензиван развој уз примјену одговарајућих информационих технологија. Предности ових система се огледају у могућем кориштењу већим удаљеностима између објекта идентификације и система за идентификацију, употреба више различитих једноставних уређаја за снимање са ниском резолуцијом, препознавање независно од сарадње посматране особе, као и смањена могућност опонашања карактеристика хода и прикривање покрета. Развој софтвера и хардвера је омогућио примјену сложених математичких алгоритама што је за посљедицу имало висок степен поузданости развијених система.

## ЛИТЕРАТУРА

- Bazin, A, I, & Nixon, M, S. (2005). Probabilistic combination of static and dynamic gait features for verification. *Proceedings SPIE, Biometric Technology for Human Identification II*, 5779, 23–30.
- Dikovski, B, Madjarov, G, & Gjorgjevikj, D. (2014). Evaluation of different feature sets for gait recognition using skeletal data from kinect, *37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Proceedings (1304-1308)*. *Пујека*: Croatian Society for Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics – MIPRO.
- Derawi, M, & Bours, P. (2013). Gait and activity recognition using commercial phones. *Computers & Security*, 39(39), 137–144.
- Jain, A, K, Ross, A, & Nandakumar, K. (2011). *Introduction to biometrics*. Boston: Springer.
- Jenkins, J, & Ellis, C. (2007). Using ground reaction forces from gait analysis: Body mass as a weak biometric. 5th International Conference, Pervasives 2007, proceedings (251-267). Berlin, Heidelberg: Springer

- Јовић, А, Бркић, К, & Богуновић, К. (2015). A review of feature selection methods with applications. *38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Proceedings (1200-1205)*. *Pujeka: Croatian Society for Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics – MIPRO*.
- Kale, A, Sundaresan, A, Rajagopalan, A, N, Cuntoor, N, P, Roy-Chowdhury, A, K, Kruger, V, & Chellappa, R. (2004). Identification of humans using gait. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(9), 1163–1173.
- Kastaniotis, D, Theodorakopoulos, I, Economou, G, & Fotopoulos, S. (2016). Gait based recognition via fusing information from euclidean and riemannian manifolds. *Pattern Recognition Letters*, 84(1), 245–251.
- Kim, D, & Paik, J. (2010). Gait recognition using active shapemodel and motion prediction. *IET Computer Vision*, 4(1), 25–36.
- Khoshelham, K. (2012). Accuracy analysis of kinect depth data. *ISPRS—International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3812(5), 133–138.
- Khurelbaatar, T, Kim, K, Lee, S, K, & Kim, Y, H. (2015). Consistent accuracy in whole-body joint kinetics during gait using wearable inertial motion sensors and in-shoe pressure sensors. *Gait & Posture*, 42(1), 65-69.
- Lee, L, & Grimson, W, E, L. (2002). Gait analysis for recognition and classification. *5th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Proceedings (155–162)*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Ly Quoc Ngoc, Vo Hoai Viet, Tran Thai Son, & Pham Minh Hoang. (2016). A Robust Approach for Action Recognition Based on Spatio-Temporal Features in RGB-D Sequences, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(5), 166–177.
- Makihara, Y, Nixon, M, S, & Yagi, Y. (2021). *Gait Recognition: Databases, Representations, and Applications*. Cham : Springer.
- Man, J, & Bhanu, B. (2006). Individual recognition using gait energy image. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 28(2), 316–322.
- Mathivanan, B, & Perumal, P. (2021). Gait Recognition analysis for Human Identification Analysis-A Hybrid Deep Learning. Приступљено 20. 5. 2022. <https://www.researchsquare.com/article/rs-549846/v1>
- Middleton, L, Buss, A, A, Bazin, A, & Nixon, M, S. (2005). A floor sensor system for gait recognition. *4th IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies, Proceedings (171–176)*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Muro-de-la-Herran, A, Garcia-Zapirain, B, & Mendez-Zorrilla, A. (2014). Gait Analysis Methods: An Overview of Wearable and Non-Wearable Systems, Highlighting Clinical Applications. *Sensors*, 14, 3362–3394.
- Nakajima, K, Mizukami, Y, Tanaka, K, & Tamura, T. (2000). Footprint-based personal recognition. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 47(11), 1534-1537.

Nixon, M, S, & Carter, J, N. (2004). Advances in automatic gait recognition. *6th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Proceedings (139–144)*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Niyogi, S, A, & Adelson, E, H. (1994). Analyzing and recognizing walking figures in XYT. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings (469–474)*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Orr, R, J, & Abowd, G, D. (2000). The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking. *CHI00: Human Factors in Computing Systems, Proceedings (275–276)*. New York: Association for Computing Machinery.

Rao, P, S, Sahu, G, & Parida, P. (2021). Methods for Automatic Gait Recognition: A Review. *10th International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications (IBICA 2019), Proceedings (57-65)*. Cham: Springer.

Sarkar, S, Jonathon Phillips, P, Liu, Z, Vega, I, R, Grother, P, & Bowyer, K, W. (2005). The human ID gait challenge problem: Data sets, performance, and analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 27(2)*, 162–177.

Santos, G, Tavares, T, & Rocha, A. (2022). Reliability and generalization of gait biometrics using 3D inertial sensor data and 3D optical system trajectories. *Scientific Reports, 12*, 8414.

San-Segundo, R, Cordoba, R, Ferreiros, J, & D’Haro-Enriquez, L, F. (2016). Frequency features and GMMUBM approach for gait-based person identification using smartphone inertial signals. *Pattern Recognition Letters, 73(C)*, 60–67.

San-Segundo, R, Echeverry-Correa, J, D, Salamea-Palacios, C, Lutfi, S, L, & Pardo, J, M. (2017). I-vector analysis for gait-based person identification using smartphone inertial signals. *Pervasive & Mobile Computing, 38(38)*, 140–153.

Semwal, V, B, Gaud, N, Lalwani, P, Bijalwan, V, & Alok, A, K. (2022). Pattern identification of different human joints for different human walking styles using inertial measurement unit (IMU) sensor. *Artificial Intelligence Review, 55*, 1149-1169.

Suutala, J, & Röning, J. (2004). Towards the adaptive identification of walkers: Automated feature selection of footsteps using distinction-sensitive LVQ. *International Workshop on Processing Sensory Information for Proactive Systems (PSIPS’04), Proceedings (61-67)*. Oulu: University of Oulu.

Sun, J, Wang, Y, & Li, J. (2017). Gait Recognition. In Carlos Travieso-Gonzalez, C. (Ed), *Motion Tracking and Gesture Recognition (pp.143-164)*. London,UK: IntechOpen Limited.

Takemura, N, Makihara, Y, Muramatsu, D, Echigo, T, & Yagi, Y. (2018). Multi-view large population gait dataset and its performance evaluation for cross-view gait recognition. *IPSA Transactions on Computer Vision and Applications, 10(4)*, 1-14.

Troje, N, F. (2002). Decomposing biological motion: A framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision, 2*, 371–387.

Fan, Z, Jiang, J, Weng, Sh, He, Z. & Liu, Z. (2016). Human gait recognition based on discrete cosine transform and linear discriminant analysis. *2016 IEEE International*

*Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), Proceedings (1-6)*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Cutting, J, E, & Kozlowski, L, T. (1977). Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of Psychonomic Society*, 9(5), 353–356.

Chen, Ch, Liang, J, Zhao, H, Hu, H, & Tian, J. (2009a). Frame difference energy image for gait recognition with incomplete silhouettes. *Pattern Recognition Letters*, 30(11), 977–984.

Chen, Ch, Liang, J, Zhao, H, Hu, H, & Tian, J. (2009b). Factorial HMM and parallel HMM forgait recognition. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 39(1), 114–123.

Wang, L, Ning, H, Tan, T, & Hu, W. (2004). Fusion of static and dynamic body biometrics forgait recognition. *IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology*, 14(2), 149–158.

Wan, CH, Wang, L, & Phoha, V, V, A. (2018). A Survey on Gait Recognition. *ACM Computing Surveys*, 51(5), 1-35.

Whittle, M, W. (2007). *Gait Analysis an Introduction*. Michigan, USA: Butterworth-Heinemann

Yamada, H, Ahn, J, Mozos, O, M., Iwashita, Y, & Kurazume, R. (2020). Gait-based person identification using 3D LiDAR and long short-term memory deep networks. *Advanced Robotics*, 34(18), 1201–1211.

Рад примљен: 28. 9. 2022.

Рад прихваћен: 23.11. 2022.