



특집 07

# 지능형 영상감시를 위한 걸음걸이 인식 기술



정성욱, 유장희 (한국전자통신연구원 영상보안연구실)

- 
- 목 차 »
1. 서 론
  2. 걸음걸이 데이터베이스
  3. 대표적인 걸음걸이 표현 방법
  4. 걸음걸이 인식 기술의 적용
  5. 결 론
- 

## 1. 서 론

2013년 보스턴 마라톤 테러 사건의 용의자를 색출하는 과정은 얼굴인식 시스템이 아닌 제보자에 의한 비디오 검색을 통하여 이루어졌다. 용의자의 얼굴영상이 수집되었으나 화질 및 환경조건이 열악하여, 얼굴인식 시스템에서 용의자를 검색하는데 실패하였기 때문이다. 기존의 CCTV Closed Circuit TeleVision) 환경에서는 이와 같은 문제로 얼굴인식 기술만으로는 사람을 인식하는데 많은 제약 조건이 따르게 된다. 이에 대한 대안으로서 바이오인식(Biometrics) 기술 중 CCTV 영상감시 환경에 적합한 걸음걸이 인식(Gait recognition) 기술이 출현하였다. 사람의 걸음걸이는 얼굴, 흉채, 지문과 같이 개인 고유의 특성을 가지며<sup>[1]</sup>, 성별과 나이에 따라서도 다른 특성을 보인다. 걸음걸이 인식은 기본적으로 사람의 전체 모양과 움직임을 분석하는 기술로서 다른 바이오인식과는 차별성을 보이는 기술이다. 먼저,

비접촉식 인식 기술이며, 원거리에서 인식이 가능하다. 또한, 저 화질, 조명변화에도 강인하며, 위변조가 힘들다는 장점이 있다. 이와 같은 장점 때문에 걸음걸이 인식 기술은 잠재적으로 영상감시 및 포렌식(forensic) 분야 등에 응용이 가능하다.

걸음걸이에 대한 역사는 고대 그리스에서 시작하였으며, 문헌상으로 BC 350년 경의 아리스토텔레스가 처음으로 걸음걸이의 특성에 대하여 언급하였다<sup>[5]</sup>. 1,500년경 레오나르도 다빈치는 걸음걸이에 대하여 “Movement Sketches”에 표현하였고, Muybridge(1830-1904)는 처음으로 사진술을 접목시켜 걸음걸이의 움직임을 기록 및 연구하였다. 이렇게 걸음걸이에 대한 연구는 바이오인식 기술로서가 아닌 의료 및 심리학 분야에서 주로 연구가 시작되었다. 의료 분야에서 걸음걸이는 사람의 컨디션이나 정신 상태를 반영하는 매개체로 이를 분석하여 사람의 심리상태와 건강상태를 분석하는 기술이 먼저 발전되었다. 이 분야에서는 질환에 의한 관점에서 병으로 인한 걸음걸이

의 부자연스러움을 연구하였다. 사람의 몸에 마커를 부착하고, 각 부분의 마커의 움직임을 분석하여 정상 걸음걸이와 비정상적인 걸음걸이에 대한 연구를 하였다. 그에 따른 결과로 사람이 걸을 때는 다리의 각 축 부분이 일정한 걸음걸이 패턴과 주기성을 보이고, 모든 움직임을 고려하였을 때, “걸음걸이는 사람마다 다른 특성을 보인다” 것을 증명하였다<sup>3,4</sup>.

최근 컴퓨터 시각처리 기반의 걸음걸이 분석은 영상처리 및 모션 분석 등에 기초하여 많은 연구가 이루어지고 있다. Niyogi와 Adelson<sup>6</sup>는 시공간적으로서의 걸음걸이 인식 기술(spatio-temporal signature)을 정의하였고, Murase와 Sakai<sup>7</sup>은 시공간에서의 Eigenface 와의 상관관계를 비교 연구하였다. 또한, Little과 Boyd<sup>8</sup>는 걸음걸이 모션

을 옵티칼 플로우(optical flow)를 사용하여 분석하였으며, Huang<sup>9</sup>은 템플릿과 옵티칼 플로우 기반으로 Eigen-Space 변환 및 Canonical 분석을 하였다. Cunado<sup>10</sup>는 모델 기반 걸음걸이 추출 및 인식 기술에 대해서 연구하였다. 이러한 초기 연구에 힘입어서 최근 들어 마커를 제거한 자동 걸음걸이 인식 및 3D 기반 걸음걸이 인식에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>21-24</sup>.

본 고에서는 걸음걸이 인식을 위한 데이터베이스 및 기존의 방법들에 대하여 기술하였다. 2장에서는 대표적인 걸음걸이 데이터베이스에 대해서 소개하고, 3장에서는 걸음걸이를 표현하는 대표적인 두 가지 방법론에 대해서 살펴본다. 그리고 4장에서는 지능형 영상감시에 적용하기 위한 걸음걸이 이슈에 대해서 소개한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 걸음걸이 데이터베이스

일반적으로 걸음걸이 자체는 정지영상으로 분석되는 것이 아니라 동영상에서 사람의 모션으로 분석되는 기술로서 여타 바이오인식 기술과는 다르게 대용량의 동영상 데이터베이스가 필요하다. 다양한 종류의 데이터베이스가 이러한 목적으로 구축되었지만, 가용한 데이터베이스 중에서 국제적으로 사용되는 대표적인 데이터베이스는 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency) 프로그램에 의해 구축된 NIST/USF gait challenge data<sup>[11]</sup>, Southampton gait database<sup>[12]</sup>, 그리고 중국의 CASIA에서 구축한 CASIA gait database<sup>[13]</sup>가 있다.

2000년대 이후 미국의 DARPA는 원거리에서 사람을 인식할 수 있는 기술(얼굴, 걸음걸이, 흉채)에 대해서 연구하였다. 이 프로그램에 참여한 대학 중에서 University of Southern Florida에서



(a) 메디컬 분야에서의 걸음걸이 인식



(b) 포렌식 분야에서의 걸음걸이 인식<sup>[15]</sup>

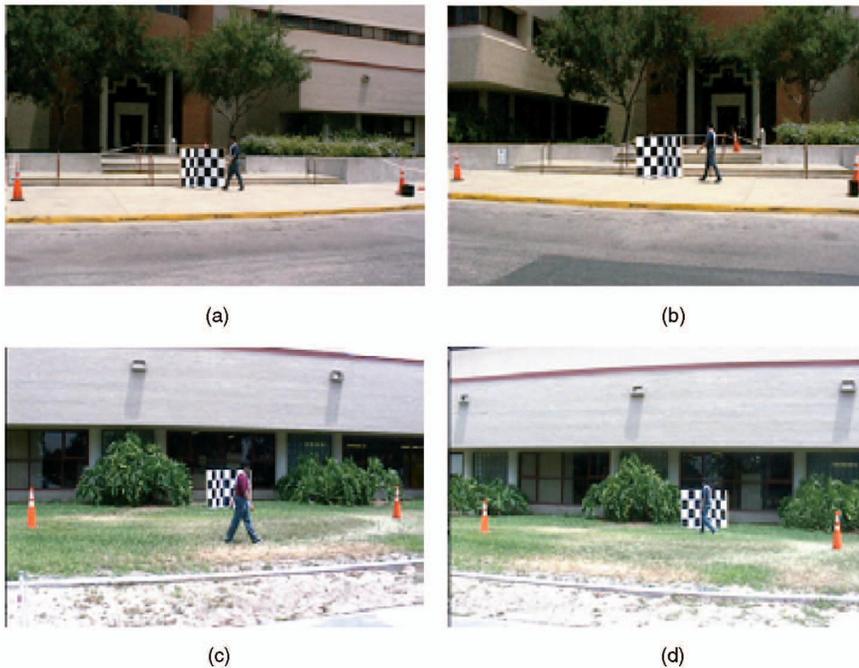
(그림 1) 걸음걸이 인식 응용분야

는 걸음걸이 인식 기술을 위한 NIST/USF gait challenge data를 만들어 공개하였다. 이 데이터베이스는 122개의 객체로 이루어져 있으며, 사람이 적은 실험실 환경뿐만 아니라, 사람의 이동량이 많은 외부환경까지 포함하는 데이터베이스이다. 또한, 걸음걸이 인식에 영향을 주는 주변 환경, 신발, 짐 등의 변화와 알고리즘 평가를 위한 프로토콜이 포함되어 있다. (그림 2)는 데이터베이스 샘플과 촬영구조에 대해서 도시하였다. 그림을 보면 각각의 영상에 카메라 캘리브레이션(Calibration)을 위한 체크보드를 설치하고, 다른 환경과 여러 각도의 뷰에서 영상을 촬영하였다.

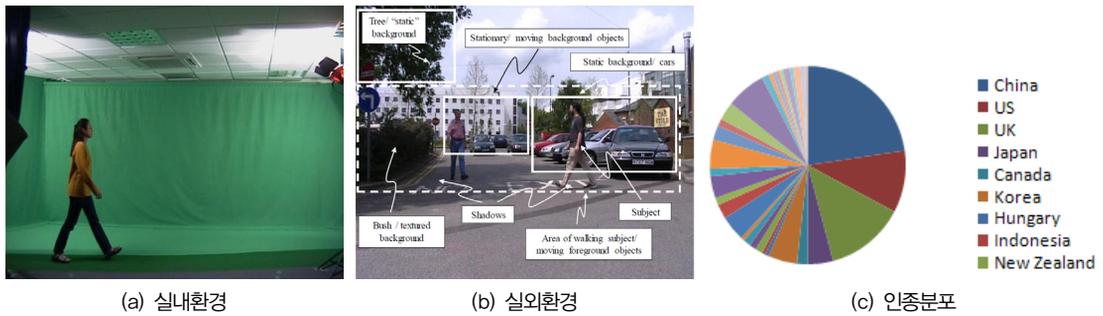
Southampton gait 데이터베이스<sup>[12]</sup>는 100명 이상의 객체로 이루어져 있으며, 실내와 실외에서 각각 촬영되었다. 인종의 구성원은 (그림 3)(c)에 보는 것과 같이 다양한 분포를 이루고 있으며, 실내에서는 측면에서 사람이 걷는 모습을 촬영하

고, 실외에서는 주차장 환경에서 걷는 모습을 촬영하였다. 또한, 걸음걸이에 영향을 주는 인자에 대해 분석하기 위해서 12개 객체에 대해서는 옷차림, 신발, 짐 등을 달리하여 데이터베이스를 구축하였다. (그림 3)은 데이터베이스 구축 환경 및 데이터베이스의 인종 분포를 나타낸다.

CASIA(Institute of Automation, Chinese Academy of Science) 데이터베이스<sup>[13]</sup>는 중국인으로만 이루어진 데이터베이스로 Part A, B, C, D로 이루어져 있다. Part A는 20명의 객체로 이루어져 있으며, 3방향(parallel, 45°, 90°)에서의 걸음걸이 영상을 촬영한 데이터베이스이다. Part B는 124개의 객체로 이루어져 있으며, 각 객체당 11개 방향의 서로 다른 뷰를 제공한다. 또한 옷차림, 짐 등에 따른 걸음걸이 영상도 포함하고 있다. Part C는 153개의 객체로 이루어져 있는 데이터베이스로, 야간에 열상 카메라를 이용하여 촬영하였



(그림 2) NIST/USF gait challenge data와 구조도<sup>[11]</sup>



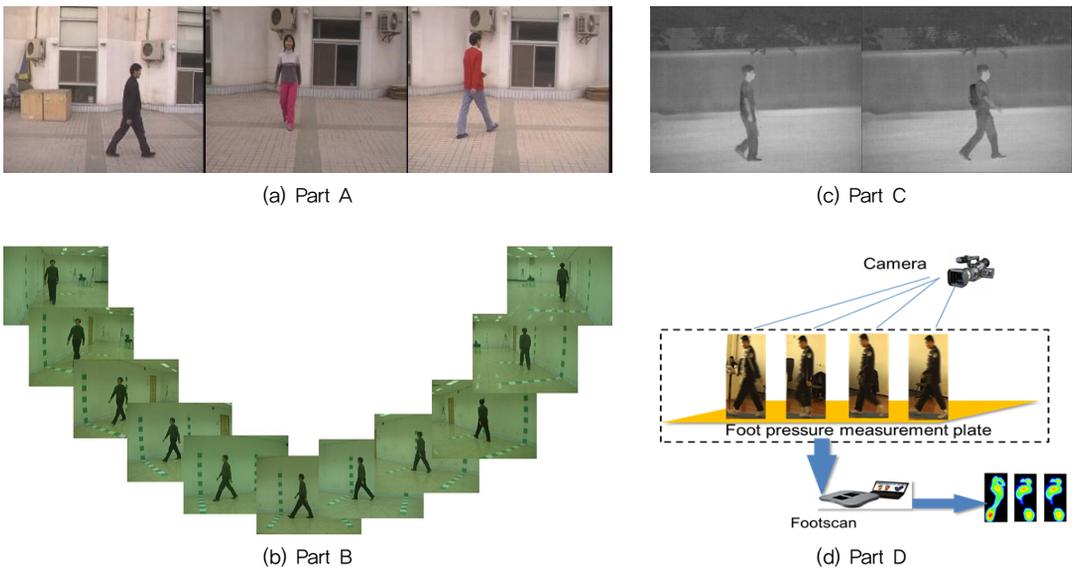
(그림 3) Southampton gait 데이터베이스<sup>[12]</sup>

다. Part D는 영상촬영과 동시에 Foot scan 기기를 이용하여 발자국 압력까지 획득한 데이터베이스로 총 88개의 객체로 이루어져있다. 걸음걸이 인식에 사용되는 데이터베이스는 multi-view를 고려하여 Part B 데이터베이스가 주로 사용되고 있다.

그 외에 데이터베이스로서 CMU, Wuhan, Maryland, MIT, GATech, 그리고, Southampton Multi-biometrics 데이터베이스 등이 있다<sup>[14]</sup>.

### 3. 대표적인 걸음걸이 표현 방법

걸음걸이를 표현하는 방법(Gait descriptor)은 일반적으로 크게 두 가지로 분류될 수 있다<sup>[1]</sup>. 실루엣(Silhouette)으로 표현하는 방법과 움직임 모델링(Modelling Movement)을 통해 표현하는 방법이다. 걸음걸이를 표현하는 방법론은 실루엣 자체의 운동량 및 속도, 실루엣의 평균영상, 그리고, 대칭성을 이용하여 분석하는 방법과, 2차원 또는 3차원 모델 기반으로 각 관절을 모델링하여



(그림 4) CASIA 데이터베이스<sup>[13]</sup>

Approx. Year 1994 to 2000	<i>Model-free analysis</i>		<i>Model-based analysis</i>	
	<b>Moving Shape</b> spatiotemporal pattern; Principal Components Analysis (PCA)		<b>Modeled</b> single oscillator;	
2001 on-wards	<b>Moving Shape</b> unwrapped silhouette; silhouette similarity; relational statistics; self similarity; key frame analysis; frieze patterns; area; symmetry; key pose	<b>Shape + Motion</b> eigenspace sequences; hidden Markov model; average silhouette; moments; ellipsoidal fits; kinematic features; gait style and content	<b>Structural</b> stride parameters; human parameters; joint trajectories	<b>Modeled</b> articulated model; dual oscillator; linked feature trajectories
		video oscillations		

(그림 5) 걸음걸이 표현방법<sup>[20]</sup>

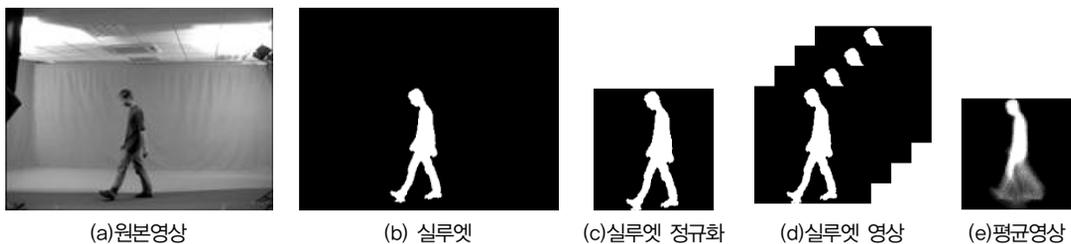
진자 및 진동모델, 뼈대(skeleton) 또는 허벅지(thigh) 모델 등으로 분석하는 방법들이 있다. (그림 5)는 대표적인 방법론에 대해서 분류한 것을 도시하였다.

### 3.1 실루엣 평균영상

실루엣의 평균영상(Average Silhouette)은 걸음걸이를 표현하는 방식으로 가장 널리 쓰이는 방법이다. 간단하면서도 효과적인 방법으로 여러 연구에서 걸음걸이를 표현하는데 이용되었다. 이

방법은 앞서 설명한 NIST/USF gait challenge data, Southampton gait, CASIA 데이터베이스를 통해 테스트되어 실험결과가 공표되어있다.

실루엣의 평균영상을 만드는 방법은 (그림 6)과 같다. 먼저, 모든 프레임의 배경을 제거한 후 영상을 이진영상으로 변환시킨다. 그 이후 객체의 키를 기준으로 정규화 영상을 만든다. 앞서 만든 정규화 영상들의 평균영상을 구한다. 최종 구해진 영상이 걸음걸이의 특징(signature)이 된다. 이후 실루엣 평균영상을 분석하여 걸음걸이 인식에 사용한다. <표 1>은 CASIA 데이터베이스를



(그림 6) 실루엣 평균영상 추출 과정<sup>[1]</sup>

〈표 1〉 Performance evaluation using CAISA DB [16]

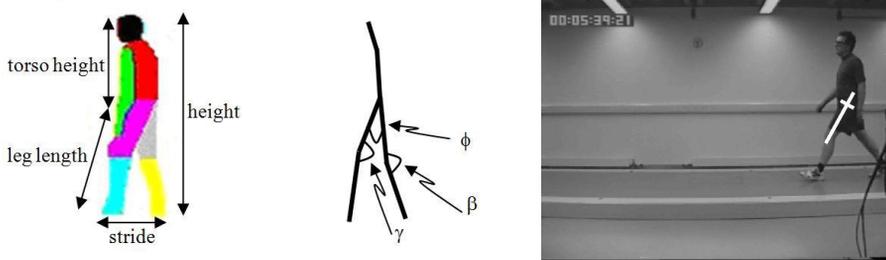
Methods	Top 1(%)	Top 5(%)	Top 10(%)	Computational cost (min/seq)
BenAbdelkader 2001	72,50	88,75	96,25	Medium(8,446)
Collins 2002	71,25	78,75	87,50	High (17,807)
Lee 2002	87,50	98,75	100	Low (2,365)
Phillips 2002	78,75	91,25	98,75	Highest (200)
Wang 2003	82,50	100	100	Lowest(2,054)

이용하여 걸음걸이 인식률을 분석한 결과이다.

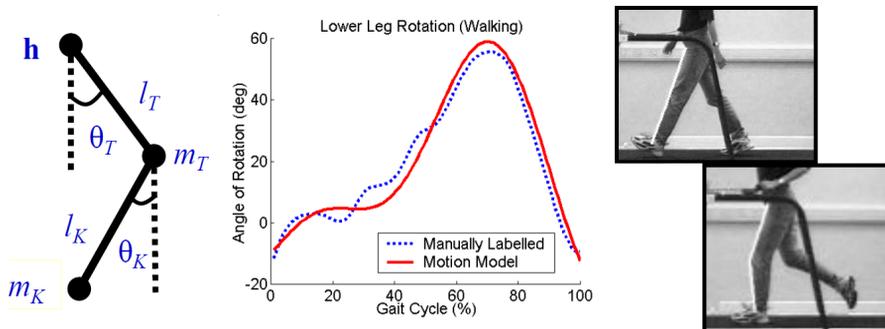
### 3.2 모델기반 방법

모델기반 걸음걸이 인식기술은 각 관절을 모델링하여 움직임 정보를 분석하는 방법이다. 대표적으로 진자운동기반 허벅지 모델 (Pendular thigh model), 복합 오실레이터 모델 (Coupled and forced oscillator model), 사람 몸의 구조에 기초

한 뼈대 모델(Anatomically-guided skeleton model) 등이 있다. (그림 7)은 모델기반의 걸음걸이를 표현한 것을 도시한 것이다. 각각의 다리 축을 모델링하고, 각도 및 각속도를 계산하여 걸음걸이를 표현하게 된다 [1]. (그림 7)의 오른쪽 영상은 진자운동기반 허벅지 모델을 실영상에 적용한 경우를 보여준다. (그림 8)은 다리를 확장된 허벅지 모델을 이용하여 모델링 한 모습이다. 종아리 부분과 허벅지 부분을 두 개의 연결된 진자모델로 모델



(그림 7) 모델 기반 걸음걸이 표현 방법 [20]



(그림 8) 각도기반 확장 걸음걸이 모델링 [17]

링하여 걸음걸이를 표현하는데 사용하였다<sup>[17]</sup>. 더 붙어 앞서 기술한 2차원의 모델링뿐만 아니라 3차원 상에서 걸음걸이를 모델링하여 사용하는 기술들도 활발히 연구되고 있다.

#### 4. 걸음걸이 인식기술의 적용

걸음걸이 인식기술을 지능형 영상감시환경에 적용하기 위해서는 아래와 같은 문제점이 해결되어야 한다.

- 시간, 신발의 종류, 옷차림과 같은 걸음걸이에 영향을 주는 인자에 대해서 걸음걸이의 일관성을 확보하는 문제 (covariance problem)
- 카메라 뷰에 무관한 정규화된 걸음걸이 획득 문제 (invariant viewpoint)
- 외부 환경에서 객체를 검출하는 문제 (human detection)

(그림 9)는 걸음걸이에 영향을 주는 인자들에

대하여 도시하였다. 대표적으로 옷차림에 다리가 가려지게 되면 걸음걸이 모델링하는데 문제점이 생길 수 있으며, 짐을 운반하는 것은 하중의 문제가 달라지어 걸음걸이에 영향을 주게 된다. 또한, 신발에 관련되어서 맨발과 슬리퍼, 운동화와 같은 신발의 종류에 따라 걸음걸이는 영향을 받을 수 있다. (그림 9)(c)는 걸음걸이에 영향을 주는 인자들 (신발, 옷차림, 가방, 걷는 속도)에 따른 걸음걸이 인식을 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 각각에 인자에 따라 인식률의 차이가 있음을 알 수 있다.

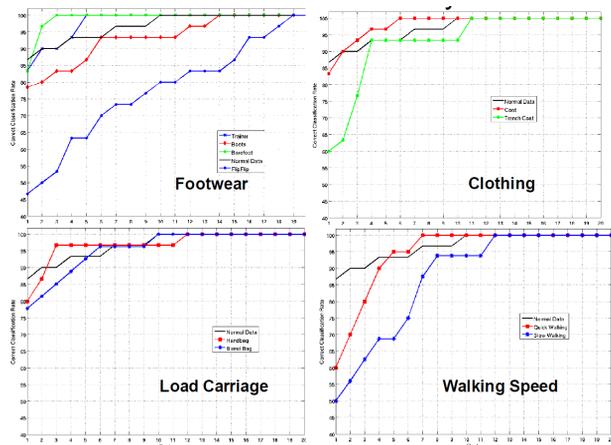
일반적으로 현실 세계에 설치되어 있는 대부분의 CCTV 카메라들은 한 방향에 대해서만 촬영한다. 따라서 사람의 걸음걸이를 인식하기 위해서는 카메라 뷰에 상관없이 동일한 걸음걸이 모션의 획득이 필요하다. (그림 10)과 같은 경우에 실루엣 기반의 접근방법은 동일인임에도 불구하고 카메라의 각도에 따라 다른 실루엣 평균영상을 보이게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 2차원 또는 3차원 모델로부터 카메라 뷰를



(a) 옷차림과 짐의 여부

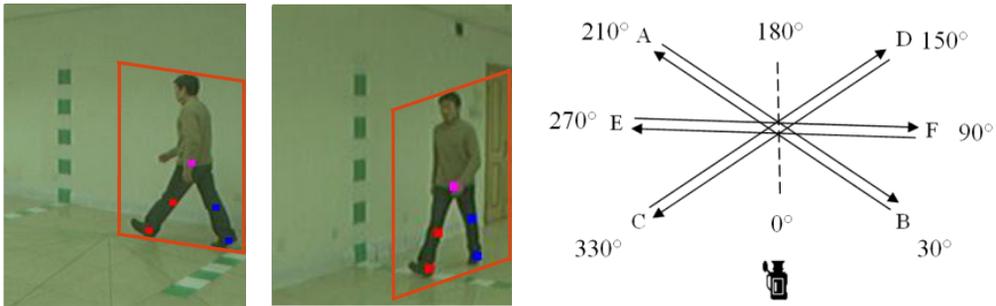


(b) 신발 종류에 따른 변화



(c) 인식률의 변화관계

(그림 9) 걸음걸이에 영향을 주는 인자들 (covariance factors)<sup>[18]</sup>



(그림 10) 카메라뷰에 따른 걸음걸이의 변화<sup>[19]</sup>

정규화 뷰로 변환시키는 연구가 지속되고 있다.

## 5. 결론

걸음걸이로서 사람을 인식 할 수 있다는 개념은 고대 그리스시대로부터 언급되기 시작하였다. 의학계에서 먼저 걸음걸이를 분석하여 사람을 인식하고, 건강상태를 분석하는 연구를 시작하였다. 근대에 이르러 카메라 기술과 영상 분석 기술이 발달하면서 컴퓨터 기반 걸음걸이 인식 기술이 발전하였으며, 2000년대 이후 9.11 사태 및 보스톤 테러 사건 등과 같은 테러 사태로 인하여 바이오인식 기술의 중요성이 부각되었다. 이에 걸음걸이 인식 기술은 영상감시 분야에서 얼굴인식 기술과 더불어 중요한 바이오인식 기술 중의 하나로서 연구되고 있다. 또한 국외에서는 걸음걸이 데이터베이스를 구축하고 알고리즘 개발에 노력하고 있는 상황이다.

앞서 언급한 바와 같이 걸음걸이 인식은 CCTV 영상감시 환경에서 사람을 검출 및 인식하는 데 있어 다른 바이오인식 기술과는 다르게 원거리에서 인식이 가능한 기술이며, 영상화질 및 조명조건에 강인하다는 장점이 있다. 그러나 현실적으로 적용시키기 위해서는 시간, 신발의 종류, 옷차림과 같은 문제에 있어서 걸음걸이의

일관성을 확보하는 문제와 카메라 뷰에 따른 걸음걸이 획득 문제 등 여러 분야에 걸쳐 보다 다양한 연구가 필요하다. 그리고 기본적으로 비디오 기반의 사람 검출 및 인식기술이기 때문에 영상 프레임 속도가 보장 되어야 한다는 단점 또한 존재한다.

현재까지는 학계위주로 연구되고 있는 실정이며, 걸음걸이 연구에 대한 시장은 아직 형성되지 않은 상황이다. 이러한 단점에도 불구하고, 걸음걸이 인식은 사람 개개의 특성을 이용한다는 점과 사람의 모션을 분석한다는 점에서 개인인증, 접근제어 및 CRM(Customer Relationship Management) 분야에 걸쳐 많은 응용 가능성을 가지고 있는 기술이라 할 수 있다. 또한, 걸음걸이 인식 기술은 그 응용성과 응용가능환경을 고려하면 향후에는 영상처리 및 컴퓨터 시각처리의 다른 기술들과의 융합을 통해 영상감시 분야에서 그 효과가 지대할 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] M. S. Nixon, T. Tan, R. Chellappa, *Human identification based on gait*, Springer Science+Business Media, Inc, 2006.
- [2] *The Oxford English Dictionary: 4<sup>th</sup> Edition*, Oxford University Press (Oxford UK), 1951.

- [3] M. P. Murray, A. B. Drought, and R. C. Kory, "Walking patterns of normal man", *Journal of Bone and Joint Surgery*, **46-A**(2), pp 335-360, 1964.
- [4] M. P. Murray, "Gait as a total pattern of movement", *American Journal of Physical Medicine*, **46**(1), pp 290-332, 1967.
- [5] Aristotle, *On the Motion of Animals*, B. C. 350 (available at [http://classics.mit.edu/Aristotle/motion\\_animals.html](http://classics.mit.edu/Aristotle/motion_animals.html), 2004).
- [6] S. A. Niyogi, and E. H. Adelson, "Analyzing and recognizing walking figures in XYT", *Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, pp 469-474, 1994.
- [7] H. Murase and R. Sakai, "Moving object recognition in eigenspace representation: gait analysis and lip reading", *Pattern Recognition Letters*, **17**, pp 155-162, 1996.
- [8] J. Little and J. Boyd, "Recognizing people by their gait: the shape of motion", *Videre*, **1**(2), pp. 1-32, 1998.
- [9] P. S. Huang, "Automatic gait recognition via statistical approaches for extended template features", *IEE Proc. Vision, Image and Signal Processing*, **146**(2), pp. 93-100, 1999.
- [10] D. Cunado, M. S. Nixon and J. N. Carter, "Automatic extraction and description of human gait models for recognition purposes", *Computer Vision and Image Understanding*, **90**(1), pp 1-41, 2003.
- [11] S. Sarkar, P. J. Phillips, Z. Liu, I. R. Vega, P. Grother, and K. Bowyer, "The humanID gait challenge problem: Data sets, performance and analysis", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **27**(2), pp. 162-177, Feb. 2005.
- [12] Southampton gait database, available at: <http://www.gait.ecs.soton.ac.uk>
- [13] CASIA database, available at: <http://www.cb.sr.ia.ac.cn/english/Gait%20Databases.asp>
- [14] M. S. Nixon and J. N. Carter, "Advanced in automatic gait recognition", *Proc. Int. Conf. Face and Gesture Recognition*, pp. 11-16, 2004.
- [15] N. Lynnerup, J. Vedel, "Person identification by gait analysis and photogrammetry", *Journal of Forensic Sci.*, **50**(1), 112-128, 2005.
- [16] L. Wang, T. Tan, H. Z. Ning, and W. M. Hu, "Silhouette analysis-based gait recognition for human identification", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **25**(12), pp. 1505-1528, 2003.
- [17] C. Y. Yam, M. S. Nixon, and J. N. Carter, "Extended model-based automatic gait recognition of walking and running", *LNCS 2091*, pp. 272-277, 2001.
- [18] I. Bouchrika and M. S. Nixon, "Exploratory factor analysis of gait recognition", *Proc. Int. Conf. Face and Gesture Recognition*, pp. 1-6, 2008.
- [19] M. Goffredo, R. D. Seely, J. N. Carter, M. S. Nixon, "Markless view independent gait analysis with self-camera calibration", *Proc. Int. Conf. Face and Gesture Recognition*, pp. 1-6, 2008.
- [20] M. S. Nixon and J. N. Carter, "Automatic recognition by gait", *Proceedings of the IEEE*, **94**(11), Nov. 2006.
- [21] B. Bhanu and J. Han, *Human recognition at a distance in video*, Springer, 2010.
- [22] I. Venkat and P. DeWilde, "Robust gait recognition by learning and exploiting sub-gait characteristics," *Int. J. Comput. Vis.*, **91**(1), pp. 7-23, Jan., 2011.
- [23] M. Hu, Y. Wang, Z. Zhang, and D. Zhang, "Multi-view multi-stance gait identification," *Proc. IEEE Int. Conf. Image Process.*, pp. 541-544, 2011.

[24] D. S. Matovski, M. S. Nixon, S. Mahmoodi, J. N. Carter, "The effect of time on gait recognition performance", *IEEE Trans. Infor. Forensics and Security*, 7(2), pp. 543-552, 2012.



유 장 희

이메일 : jhy@etri.re.kr

- 2004년 University of Southampton, ECS (박사)
- 1989년 11월~현재 한국전자통신연구원 영상보안연구실 실장
- 2007년 03월~현재 과학기술연합대학원대학교(UST) 정보보호공학전공 책임교수 (겸임)
- 관심분야: 임베디드 컴퓨터 비전, 생체인식, 지능형 영상보안, HCI 및 지능형 로봇 등

## 저 자 약 력



정 성 욱

이메일 : brcastle@etri.re.kr

- 2012년 University of Southampton, ECS (박사)
- 2005년~현재 한국전자통신연구원 영상보안연구실 선임연구원
- 관심분야: 컴퓨터 비전, 바이오인식, 지능형 영상보안 등