

## 발자국 정보를 이용한 무의식적 개인 식별 방법

정진우, 김대진, \*박광현, 변증남  
한국과학기술원 전자전산학과,  
\*한국과학기술원 인간친화 복지 로봇시스템 연구센터  
전화 : 042-869-8019 / 핸드폰 : 017-504-1988

### Unconscious Personal Recognition Method using Personal Footprint

Jin-Woo Jung, Dae-Jin Kim, Kwang-Hyun Park, Zeungnam Bien  
Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST  
E-mail : jinwoo@ctrsys.kaist.ac.kr

#### Abstract

We introduce a personal identification method which can find user's ID without any help of the user. To do this, there has been two approaches, vision-based and pressure-based. Pressure-based approach has some advantages compared than vision-based one in the aspects of illumination, occlusion, and the amount of data. In the previous study about pressure-based personal identification, there are some restrictions about human body posture for extracting normalized footprints. Since this approach cannot be extended unconscious and continuous identification, we suppose more natural method and verified it by experiments.

#### I. 서론

개인 식별 기술은 국가나 기업의 비밀 정보를 보호하고 도난 방지를 위해 현재까지 많은 발전을 거듭해왔다. 그로 인해 다양한 개인 식별 방법들이 개발되었는데, 가장 두드러진 방법으로는 지문 인식, 홍채 인식, 망막 인식, 음성 인식, 필적 인식 등이 있다.[1] 그러나 이들은 모두 목적하는 식별 정보를 얻기 위해 인간의 협조 하에 의식적으로 관찰이 이루어진다. 그 외 인간

이 의식적으로 협조하지 않고도 개인 식별이 가능한 방법으로 얼굴 영상을 이용한 개인 식별 방법, 발자국 정보를 이용한 개인 식별 방법이 있다.[2] 그 중 얼굴 영상을 이용하는 경우는 조명, 헤어스타일 등과 같이 급변하는 환경에 적용하기가 힘들고 시스템이 개인을 식별하고자 할 때는 항상 사용자가 시스템에게 얼굴을 보여야만 하므로 완전한 의미에서의 무의식적 개인 식별이라 할 수 없다.

발자국 정보에 대한 연구는 수십 년 전부터 걸음새 분석을 위해 진행되어 왔으며 약 10 년 전부터는 발자국 정보를 포함한 여러 정보들로부터 사람의 성별을 구분해보려는 연구가 진행되고 있다.[3] 또한 최근에는 발자국 정보를 이용해 직접 개인을 식별해 보려는 시도 또한 있었다.[2] 이처럼 발자국에 대한 관심이 점차 늘어나는 것은 발자국 정보를 이용한 식별 방법이 가지는 몇 가지 장점 때문이다. 발자국 정보의 경우 무의식적 개인 식별이 가능하다. 즉 사용자가 의식적으로 협조하지 않아도 자신도 느끼지 못하는 사이에 식별이 가능하므로 가장 자연스러운 식별 방법이라고 할 수 있다. 또한, 발자국 정보의 경우 연속적인 식별이 가능하다. 즉, 사용자의 식별이 필요한 경우는 언제든지 센서의 측정 영역 하에서 시스템에 의해 자발적으로 식별이 가능하다. 이는 센서의 측정 영역을 전체 환경으로 구성할 경우 사용자의 위치를 찾아내는 것으로도 응용 가능해진다.

이에 본 논문에서는 사용자의 측면에서 무의식적으로 개인 식별이 이루어질 수 있는 방법을 찾기 위해

발자국 정보를 이용한다. 먼저 발자국에서 개인마다 가지는 독특한 특징들을 찾아내고 이를 이용해 무의식적 개인 식별이 가능한 방법을 소개한다. 그리고 마지막으로 이의 활용 분야들을 검토해 본다.

## II. 무의식적 개인 식별을 위한 발바닥 압력 특징들

### 2.1 기존의 발바닥 압력 이용 방법에서의 특징들

기존의 발바닥 압력에 대한 연구는 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 보행 패턴을 분석해서 사람의 보행 자세가 올바른지 체크하거나 또는 전자 의족의 보행에 연결시키려는 연구, 그리고 사람의 성별을 식별하거나 각 개인을 식별해보려는 시도가 그것이다. 보행 패턴 연구에서는 걷는 자세에서 나타나는 stride length, step length, step width, stride duration, step duration, swing duration, double support duration 등을 이용하였다. (그림1 참조)[4]

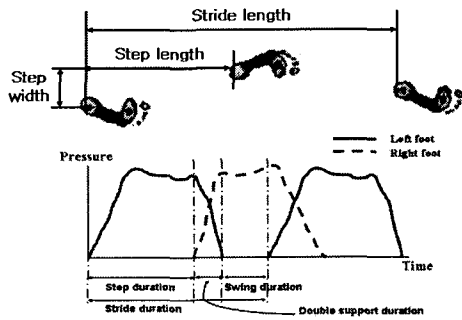


그림3 걷는 자세에서의 압력 특징들

걷는 자세에서의 보행 패턴 특징들은 자연스런 자세에서 시작되었으므로 무의식적, 연속적 식별로의 응용이 용이하리라 생각되지만 실제 보행 패턴은 기본적으로 각 개인별로도 시간에 따라 매우 다른 패턴을 보여 주므로 식별을 위한 특징으로 사용되기가 힘들다(표1).

또한 발바닥 압력을 이용해 각 개인을 식별하는 연구는 2000년 첫 논문이 발표되었으나 특정한 자세에서의 발바닥 압력 분포의 총합과 두 발 압력 중심 사이의 거리 및 발 각도라는 아주 단순한 압력 특징들만 이용하여 최대 85%까지의 인식률을 보였다. (그림2 참조) [2] 이 연구는 또한 지문 인식과 같이 특정한 자세로 인한 정규화된 패턴을 만들 수 있다는 가정 하에서 시작된 것이므로 무의식적, 연속적 식별로의 응용이 힘든 단점이 있다.

ID	stride length(mm)	step length(mm)	step width(mm)
1	1263.9	630.4	89.6
2	1210.3	603.3	46.3
3	1242.3	617.7	61.0
4	1264.0	632.0	82.0

ID	stride(s)	step(s)	swing(s)	double support(s)
1	1.195	0.608	0.470	0.143
2	1.063	0.537	0.440	0.113
3	1.003	0.513	0.390	0.117
4	1.215	0.620	0.475	0.150

표 1 걷는 자세에서 압력 특징들 값

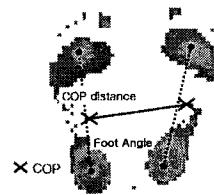


그림4 기존의 발바닥 압력 이용 개인 식별의 특징들

### 2.2 무의식적 개인 식별을 위한 압력 특징들

발바닥 인식에서의 특징은 크게 두 가지로 생각할 수 있다. 첫 번째는 발 크기, 발 모양, 몸무게 등의 요인에서 기인되는 고정된 특징들이고 두 번째는 사용자의 자세로부터 기인되는 변화하는 특징들이다. 기존의 식별 방법들에서는 정규화 되기 어려운 변화하는 특징들을 대부분 무시하였지만, 무의식적이고 연속적인 개인 식별을 위해서는 사용자의 습관적인 행동으로부터 기인되는 자세에 대한 학습이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 습관에 의해 표현되는 자세 정보에 기초한 특징들을 제안한다.

- 본 논문에서 사용한 8종류의 특징들은 다음과 같다.
- 1) 몸무게를 표현해 주는 발바닥 압력 분포의 총합
  - 2) 발 모양을 표현해 주는 압력 영상에서의 Blob 개수

CASE: Blob number = 5



그림3 Blob 개수

- 3) 발 크기를 표현해 주는 각 Blob들 면적의 총합
- 4) 직립자세에 대한 습관을 표현해 주는, 좌우 발바닥의 압력 영상 면적 비율
- 5) 직립 자세에 대한 습관을 표현해 주는, 각 발에서 압력 중심점의 blob 크기에 대한 상대적 위치 비율 (COP: Center Of Pressure, COA: Center Of Area)

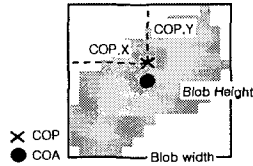


그림4 압력 중심점의 blob 크기에 대한 위치 비율

- 6) 직립 자세에 대한 습관을 표현해 주는, n번째 Blob이 나타나기 시작하는 압력의 첫 번째 Blob이 나타나기 시작하는 압력에 대한 비율

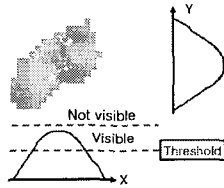


그림5 n번째 Blob이 나타나기 시작하는 압력

- 7) 직립 자세에 대한 습관을 표현해 주는, 좌우 발바닥 중심점 사이의 거리
- 8) 직립 자세에 대한 습관을 표현해 주는 발각도

위의 특징들을 찾아내기 위해 실험한 4명의 신체 데이터는 표2와 같다.

ID	Sex	Height	Weight	UB	LB	Foot		
						L	LS	SS
1	M	172	68	73	98	25	10.5	5
2	M	170	93	75	95	24.5	11	5.5
3	F	160	53	69	91	24	9	5
4	F	162	52	70	92	23.5	10	6

표2 특징 추출 대상자의 신체 데이터 (UB: 허리 위 길이, LB: 허리 아래 길이, 단위는 cm)

특징 추출은 NITTA사의 High-Reso MAT 센서를 이용하였다. 이는 44\*48cm의 면적에 86\*96개의 센서를 내장하고 있고 Sampling 속도는 60Hz이다.

특징 추출 시 피 실험자의 자세는 150cm 떨어져고 170cm 높이의 벽에 부착된 표식을 쳐다보게 하는 자

세, 차려 자세, 그리고 스스로 가장 자연스럽게 느끼는 자세, 이렇게 세 가지 자세에 대해 하루 동안 세 차례 특징을 추출하였다. 각 사용자의 특징 평균값은 다음 표와 같다.

ID	Total Pressure	Number of blobs	Total Area	Area Ratio
1	16555	8.5	579	3.76
2	21257	9.0	584	0.92
3	15601	6.2	300	1.35
4	14880	11.5	461	2.18

ID	COP X ratio	COP Y ratio	COA X ratio	COA Y ratio
1	0.46	0.29	0.46	0.41
2	0.54	0.47	0.53	0.48
3	0.44	0.41	0.43	0.47
4	0.45	0.46	0.50	0.53

ID	2nd blob pressure	3rd blob pressure	COP distance	COA distance	Foot angle
1	76.1	73.8	19.1	25.1	10.17
2	96.5	95.7	33.8	32.3	13.00
3	48.2	42.7	17.4	18.5	6.62
4	91.1	82.9	24.2	22.9	3.22

표3 각 사용자들의 특징들 값 (단위: 면적 pixel<sup>2</sup>, 거리 pixel, 각도degree)



그림6 각 사용자들의 발 압력 영상

### III. 신경회로망을 이용한 개인 식별 실험

#### 3.1 개인 식별을 위한 신경회로망의 구성

실험을 통해 구한 사람당 480 개의 샘플 중에서 360 개 샘플을 학습에 이용하였고 120개를 테스트 데이터로 사용하였다. 입력은 위에서 찾은 13개의 특징 값을 이용하였고 출력은 4개의 node에서 각자일 확률을 표

현하도록 구성하였다. 신경회로망의 구조는 2개의 layer로 구성된 Feedforward 타입으로 각각 10개씩의 node를 가지고 있다. activation 함수는 hidden layer에서는 sigmoid 함수를 그리고 출력부에서는 linear 함수를 사용하였다. 그리고 실제 구현은 MATLAB을 이용한다.

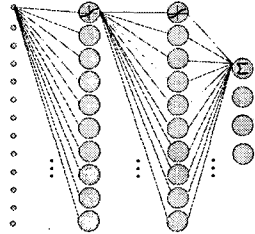


그림7 개인 식별을 위한 신경회로망의 구성

### 3.3 개인 식별 실험 결과

개인 식별 실험 결과는 다음과 같다.

	Success rate	Failure rate
Total	99.79 %	0.21 %
User 1	99.17 %	0.83 %
User 2	100 %	0 %
User 3	100 %	0 %
User 4	100 %	0 %

표4. 개인별 식별 결과

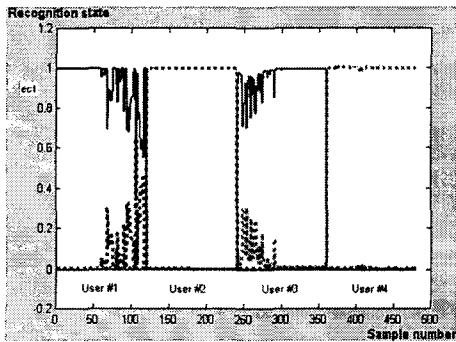


그림8 신경 회로망 학습 결과

전체적으로 99% 이상의 인식률로 높은 성능을 보이고 있다. 단지 특정 추출 대상자의 수가 적고 학습 샘플과 테스트 샘플 사이의 연관성이 크므로 많은 사용자에 대해서, 그리고 오랜 기간에 걸쳐서 데이터를 수집할 경우의 성능 차이 확인을 필요로 한다.

## IV. 결론

본 논문에서는 NITTA사의 평면형 압력 센서인 High-Reso Mat와 Gait Scan을 이용해 4명의 피 실험자를 통해 얻은 정지 및 보행시의 발바닥 압력 데이터들을 이용해서, 각각의 개인들을 구분해낼 수 있는 8 종류의 기본적인 특징들을 찾아내었다. 그리고 이 기본적인 특징들에 기초해서 신경회로망을 이용한 학습을 통해 개인을 식별해내는 방법을 개발하였고 실험을 통해 그 성능을 확인하였다. 기존의 연구 결과에 비해 무의식적, 연속적 측정이 가능하다는 점에서 큰 장점을 가진다고 말할 수 있다.

응용분야의 예로는 첨단 은행 경비 시스템, 사용자 맞춤 서비스 시스템 등을 들 수 있다.

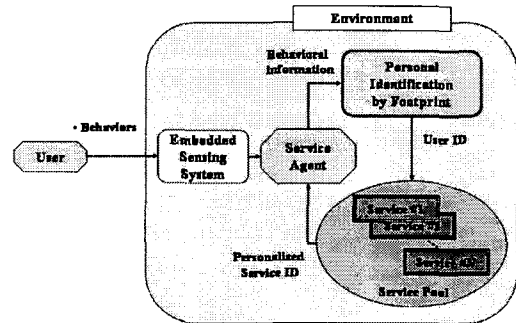


그림9 발바닥 정보를 이용한 사용자 맞춤 서비스 시스템

## Acknowledgment

본 논문 연구를 위해 연구 기자재를 제공해주시고 조언을 해주셨던 일본 동경 대학 Tomomasa Sato 교수님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 한국전자통신연구원, 생체측정시스템, 2000
- [2] K. Nakajima, Y. Mizukami, K. Tanaka, and T. Tamura, "Foot-Based Personal Recognition", IEEE Tr. on Biomedical Engineering, Vol.47, No.11, 2000
- [3] K. Sudo, J. Yamato, and A. Tomono, "Determining Gender of Walking People Using Multiple Sensors", IEEE/SICE/RSJ Int. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 1996
- [4] NITTA sensor manual