

## 3축 가속도 센서를 이용한 위치 검출 알고리즘\*

김남진\*\* · 조영희\*\*\* · 최이권\*\*\*\*

### Position Detection Algorithms Using 3-Axial Accelerometer Sensor\*

Nam-Jin Kim\*\* · Young-Hee Choi\*\*\* · Lee-Kwon Choi\*\*\*\*

#### ■ Abstract ■

In this paper, we consist of three dimensional acceleration sensor as a small-sized sensor module to acquire base technologies that need to estimate exhibition audience' moving distance. and that we developed algorism and device that can calculate acceleration in gravity direction with attaching it to people's body part without regard to three dimensional direction. By making use of the sensor module, we have to process the data that let it quantitatively process possible to measure people's walk and movement by computer system. We normalized sensor output data in the process of change from sensor module to acquisition of data, rectangular coordinates and single scalar acceleration value in gravity direction. Printed out sensor data attaching sensor module to people's body part is used for motion pattern detection after normalization, Motion sensor devised mode change algorism because it print data of other pattern according to attached position of body. For algorism design, we collected data occurring during walking about subject and we also defined occurring problem domain after analyzing the data. We settle defined problem domain and that we simulated the walking number measuring instrument with highly efficient in restricted environment.

Keyword : Sensor, 3-Axial Accelerometer, Detect Algorithm

논문투고일 : 2011년 02월 07일      논문수정완료일 : 2011년 03월 07일      논문게재확정일 : 2011년 03월 15일  
\* 본 연구는 2010년 지식경제부기술혁신사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 “지능형 전시마케팅을 위한 개인화 마케터”의 10035426과제로 지원된 것임.  
\*\* 모전스랩 기술개발 연구소 소장  
\*\*\* 모전스랩 기술개발 연구소 소프트웨어 개발 팀장  
\*\*\*\* 모전스랩 대표이사

## 1. 서 론

전시산업은 21세기 지식집약, 환경 친화적 고부가가치 산업이며, 고 외화 가치를 산업으로 세계적으로 매년 13,000여건 이상의 전시회가 개최되고 있다. 또한 이러한 전시산업은 문화, 관광과 결합되면 국가이미지 제고에도 기여하고 지역 및 국가발전 전략으로 활용되는 산업으로 일본 나고야는 전시회를 지역개발사업으로 활용, 대전의 경우 엑스포를 계기로 과학기술도시로 발돋움 하였다. 전시산업의 선진국이라 할 수 있는 독일의 경우는 전시산업 평균 성장률이 10%, GDP의 1%를 상회함으로써 한화 약 24조 원(410억 마르크), 23만 명의 고용창출이라는 시너지를 가져왔다.

반면 국내전시회는 연간 300개씩 개최되고 있으나, 내실이 부족하며 참가업체수가 400개사가 넘는 전시회는 불과 2~3개 수준으로 소수를 제외하고는 외국 참가업체가 거의 없는 국내행사로 그치고 있다. 2007년 통계청 조사에 따르면 관련 국·내외 전시 박람회에서 기업만족도는 40~60%이며 경기침체로 인한 전시 참여기업 또한 감소하고 있는 추세이다. 전시 산업의 활성화를 위해 무엇보다 많은 참관객(일반인/Buyer/Seller)의 유치가 절실하다. 다양한 디지털매체를 통한 실시간 맞춤형 홍보 서비스는 신규 고객 창출과 기존 고객의 이탈 방지를 위한 도구가 될 것이며, 또한 개인화 맞춤 정보 서비스의 제공으로 참관객들은 전시 공간 내 복잡함을 피하고 공간과 시간의 효율적인 관리가 가능해 짐으로써 만족도가 제고 될 것이다.

참관객에 대한 맞춤 정보를 제공하기 위해 참관객의 이동 정보와 생체 정보 등을 수집 및 가공하는 디지털 신호 처리 기술에 대한 중요성 또한 매우 높다고 할 수 있다[1].

본 논문에서는 전시 참가자의 이동 시 발생하는 움직임 신호를 가속도 센서의 데이터를 처리하여 획득한 후 이를 처리하여 보행 패턴을 추출 하였다. 추출된 보행 패턴 중 걷기와 뛰기 횟수를 이용하여 실내에서의 이동 거리 산정에 보조적으로 사

용될 기반 기술에 관하여 연구하였다.

대부분의 사람의 일상생활 중 가장 빈번하게 이루어지는 것 중의 하나는 보행일 것이다. 자주 일어나는 동작이면서도 신체의 여러 부분에 의한 매우 복잡한 메커니즘을 내포한 신체 운동이다[2]. 보행 운동 측정에 대한 응용의 하나는 관성의 법칙을 이용하여 추의 물리적인 움직임을 횡수로 표시하는 기계식 스텝 카운터(step counter)가 대표적으로 이용되어 왔으나 최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 응용한 소형 가속도 센서를 이용하여 이를 수행하는 응용이 시도되고 있다[3].

가속도 센서를 사람의 보행 및 동작패턴의 측정에 사용할 때에는 사람간의 독특한 동작패턴에 의해 같은 동작을 하였으나, 센서로부터의 출력 데이터가 같은 결과를 출력한다고는 보장할 수 없다. 센서의 데이터가 같은 동작에 의해서 다른 데이터를 출력하는 경우는 크게 네 가지 경우로 구분할 수 있을 것이다.

Case1 : 데이터 잡음, 행동 잡음

Case2 : 노면의 상태가 다른 경우

Case3 : 평균에서 벗어나는 동작 패턴인 경우

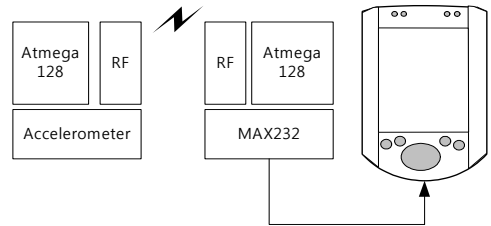
Case4 : 신체부착 위치가 다른 경우

이상과 같은 일정치 않는 패턴을 발생시킬 수 있는 동작 환경으로 인해 컴퓨터 시스템으로 처리가 용이하도록 데이터의 정규화 과정이 요구된다. 본 논문에서는 센서모듈을 사람의 몸에 부착하여 걷기 동작 데이터를 획득 하였다. 획득된 데이터를 스텝 카운터와 같은 응용 시스템에 적용하기 위하여 데이터를 정규화 하였다. 이상에서 획득한 데이터를 이용하여 동작 데이터를 처리하는 경우 센서 모듈의 부착 위치에 따라 상이한 출력 데이터가 발생되어 단일 알고리즘에 의한 구현에 문제를 발생시킨다. 이는 다양한 부착 위치에 따라 변하는 생체 신호를 모두 처리하기에는 알고리즘의 복잡도가 증가하기 때문에 이로 인하여 처리 시간의

증가와 더불어 알고리즘의 구현에 문제를 발생 시킨다.

본 연구는 제 2장에서 가속도 센서로부터 사람의 활동, 특히 보행에 관한 활동량을 센서로부터 수집하여 이를 처리에 용이하도록 데이터를 정규화(normalization) 하였다. 제 3장에서는 정규화된 데이터를 이용하여 센서의 부착 위치 변경을 감지하여 자동으로 해당 모드로 전환하는 신체부착 위치에 따른 모드 변경이 가능한 알고리즘을 제시한다. 알고리즘을 구성하기 위하여 먼저 걷기 동작시 출력되는 신호를 처리할 때 발생할 수 있는 문제 영역(problem domain)을 정의하고, 이에 대한 해결책을 제시한다. 그리고 이를 이용하여 부착 위치에 변경에 따른 실시간 검출 알고리즘을 적용한 응용 프로그램을 휴대장치로 프로그램 하였다.

술한 시스템에 대한 전체 블록 다이어그램이다.

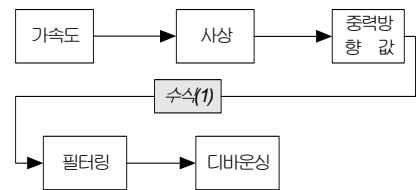


[그림 2] 전체 시스템 블록 다이어그램

출력 데이터의 중력방향으로의 가속도의 세기와 패턴에 대한 데이터를 사용하여 보행 패턴을 추출하기 위해서는 먼저 [그림 3]과 같은 전처리 과정이 요구된다.

## 2. 센서 데이터 정규화

본 연구에서는 센서모듈을 몸의 각 부분에 자유롭게 부착하기 위하여 센서에서 발생된 동작 데이터를 무선으로 처리 시스템에 전송 하였다. 무선 주파수는 RF(Radio Frequency) 433MHz 대역을 사용하는 칩콘(Chipcon)사의 CC1000을 사용 하였으며[4], 전송 패킷(packet)은 [그림 1]과 같이 구성 하였다.



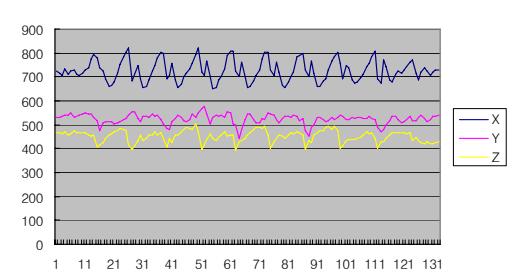
[그림 3] 센서 데이터 전처리 과정

header	x			y			z			footer						
0x7E	0	1	2	3	,	0	1	2	3	,	0	1	2	3	0x0D	0x0A

[그림 1] 패킷 구조

송신측에서 전송한 동작 데이터는 수신측에서 받아 별도의 처리 없이 패킷 처리만을 하여 PDA에 연결된 시리얼 포트를 통해 재전송하도록 구성 하였다. 센서모듈에 사용된 마이크로프로세서(MCU)는 아트멜(ATMEL)사의 Atmega128L을 사용하였으며, 가속도 센서는 카이오닉스사의 KXM52 3축 가속도 센서를 사용하였다[3]. 센서로부터 수신되는 샘플 수는 초당 24개이며, [그림 2]는 이상에서 기

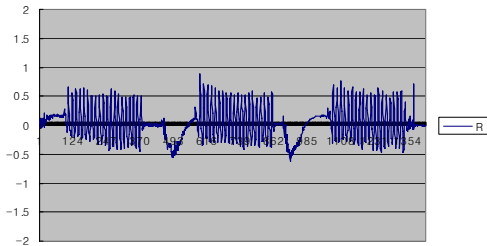
센서로부터 전송된 데이터는 x, y, z 세 방향의 좌표를 나타내는 데이터이고 어떠한 처리도 거치지 않은 데이터이다. [그림 4]는 이를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.



[그림 4] 처리되지 않은 센서 출력 데이터

[그림 4]의 측정값은 센서의 x 방향을 중력방향

으로 흉부에 부착 시키고 걸었을 경우의 센서 출력 데이터이다. 걷기 동작 시에는 대부분의 충격량이 중력 방향으로 작용하므로  $x$  방향의 출력 값이 큰 폭으로 나타나지만 다른 방향은 상대적으로 작게 나타난다. 이상의 센서 데이터를 사용하여 세 방향의 출력 데이터에 대하여 중력방향으로만 작용하는 성분을 추출하였다. 이것이 적용된 센서를 각각  $x, y, z$ 의 임의의 방향으로 흔들었을 때의 값을 그래프로 나타내면 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 중력방향으로만 작용하는 센서 데이터

필터링의 과정은 사용자의 움직임에 의해 발생된 신호들 중에서 저주파 영역인 측정 잡음을 제거하여 한 번의 물리적인 충격에 의해 발생된 신호 중 가장 큰 영역만을 얻기 위한 과정이다. 본 연구에서 사용한 필터는 과거 입력 신호의 일정 비율을 현재 입력 신호에 반영하여 신호잡음을 제거하는 자기회귀 필터(Auto-Regressive filter)이다[5]. 자기회귀 필터의 수식은 식 (1)과 같다.

$$v_k = \sum_{l=1}^n A_l v_{k-l} + w_k \quad (1)$$

이는 차수가  $n$ 인 자기회귀 모델로서, 시간에 따른 데이터  $v_k$ 에 대해 각 순간의 데이터들끼리 특정한 상관관계(correlation)가 있다고 가정하는 것이다. 따라서 데이터  $v_k$ 가 시간에 대해 측정될 때 기존에 측정된 신호에 특정 가중치를 곱한 값의 합에 입력 값  $w_k$ 를 합한 것으로 표현할 수 있다.

그러므로  $k$ 번째 신호  $v_k$ 는 기존의 신호들에 자기회귀 계수라고도 불리는 가중치들( $A_1, \dots, A_n$ )을 각각 곱한 후 합한 값에 입력 값을 더한 값으로 나타낼 수 있다[6].

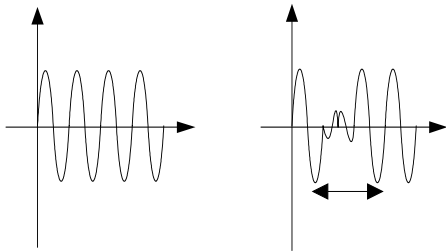
### 3. 위치 검출 알고리즘

동작 센서 모듈을 신체에 부착 하였을 때 먼저 사람의 어떠한 특정 행동에 어떤 데이터가 출력되는지를 표준적인 데이터가 있어야 한다. 이를 위하여 20인의 남녀를 대상으로 표본 데이터를 추출하여 분석하였다. 각 표본 대상자는 20~30대 10명, 40~60대 10명을 기준으로 각각 남녀 비율을 5:5로 하여 모듈 착용 후 1000보씩 5회를 걷도록 하였다. 보행은 고른 노면을 바른 자세로 걷도록 하여 표준 보행 패턴을 추출하였다.

분석결과 신체의 특정 위치 간에 크게 구분되는 상이한 데이터 패턴이 출력 된다는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 분석 자료를 기초로 하여 특정 부착 위치 부착위치 A와 B(휴대형 센서를 부착한 임의의 신체 위치)의 변화에 따라 동적으로 모드 변경을 수행에 문제점을 다음과 같이 문제영역(problem domain)으로 정의 하였다.

- 보행 노면의 상태 차이
- 신체 부착 위치 차이
- 실험자간 보행 형태 차이

이상에서 제시한 세 가지 문제 영역 중 보행 노면의 상태에 따라 발생하는 문제는 노면의 상태가 고르지 못할 경우 반복적인 동일한 데이터 출력이 이루어지지 않는다. 이러한 경우 알고리즘에서는 일반적으로 사람의 보행이 매우 규칙적으로 반복되는 것이기 때문에 이를 전제로 행동 패턴을 추론하여 해결을 하였다. [그림 6]과 [그림 7]은 정상적인 경우와 그렇지 않은 경우의 데이터 패턴을 나타낸다.

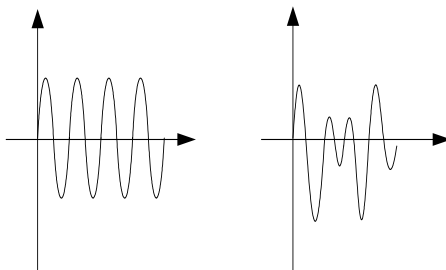


[그림 6] 정상패턴 [그림 7] 불규칙 패턴

[그림 6]의 경우는 고른 노면에서 일정한 속도와 강도로 걸을 때의 이상적인(ideal)한 출력 파형이다. [그림 7]의 경우에는 그렇지 않은 경우에 고르지 못한 데이터 파형을 나타낸다. [그림 7]의 경우가 일정 패턴을 검출하는 알고리즘의 적용 시에 문제가 되는 부분이다. 알고리즘은 이러한 경우에 대하여 화살표 구간전과 구간후의 패턴을 고려하여야 한다. 사람의 보행은 매우 규칙적인 형태를 가지기 때문에 규칙적이지 못한 화살표 구간은 실패하였으나 이전과 이후의 연속성으로 추론하여 실패 패턴 발생 부분의 데이터 샘플수를 고려하여 보행한 것으로 할 수 있을 것이다. 이러한 해결 방법의 사용을 위한 전제는 다음과 같다.

- 사람의 보행은 규칙적이다.
- 보행간의 샘플 수는 일정하다.

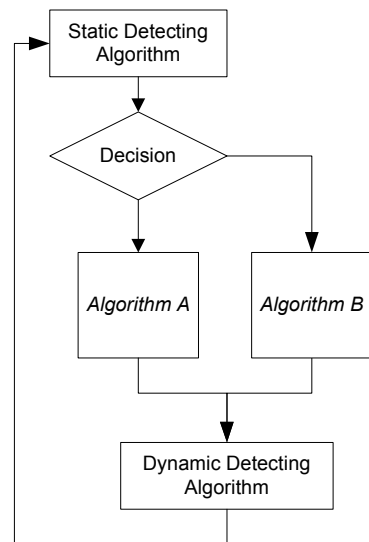
두 번째 신체 부착 위치에 따라 다른 양상을 나타내는 데이터 패턴은 [그림 8]과 [그림 9]와 같다.



[그림 8] 부착위치 A [그림 9] 부착위치 B

이상의 [그림 8]은 신체의 위치 A일 때의 전형적인 출력파형이다. [그림 9]는 신체의 위치 B일 때의 전형적인 출력 파형이다.

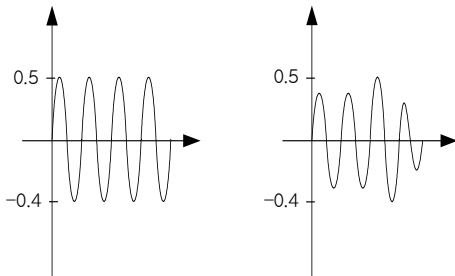
이러한 두 가지의 상이한 데이터 파형에 대한 처리를 하기 위해서 본 연구에서는 일정 샘플동안 출력되는 데이터의 패턴을 실시간으로 분석하여 부착 위치가 변할 때 해당 위치에 맞도록 설계된 알고리즘이 선택되도록 하는 다중 알고리즘(multi-algorithm)을 사용하였다. 다중 알고리즘은 측정 시작시 정적검출알고리즘(Static Detecting Algorithm : SDA) 모듈에 의해 일정 샘플동안 보행 형태를 추적하여 적합한 알고리즘을 선택하도록 한다. 알고리즘이 선택된 후, 보행시 사용자에게 의해서 동적으로 변한 센서모듈의 위치는 동적 검출 알고리즘(Dynamic Detecting Algorithm : DDA) 모듈에 의해서 위치 변화를 인식하면 DDA에 의해 SDA 모듈을 호출한다. 이는 SDA에 의해 재평가 되어 해당 신체 위치에 적합한 알고리즘을 다시 선택한다. 이상의 상태 전환에 대한 상태도(state machine)는 [그림 6]과 같다.



[그림 10] 전환 알고리즘 상태도

세 번째의 실험자 간의 보행 형태의 차이는 대

부분의 경우 [그림 6]~[그림 9]와 유사한 패턴을 나타내며, 차이점은 보행시의 충격량의 차이, 속도 및 보행 안정성 등에 의해 발생할 수 있는 진폭의 크기와 샘플수의 차이이다. [그림 11]과 [그림 12]는 보행자간에 보행 형태에 따른 다른 형태의 파형을 나타낸다.

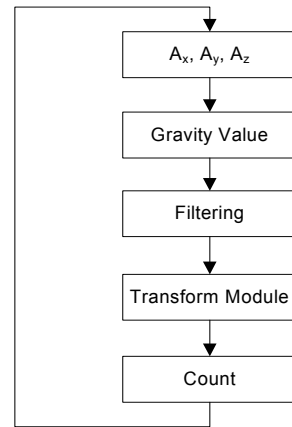


[그림 11] 이상적인 패턴 [그림 12] 일반적인 패턴

이상의 [그림 11]은 이상적인 경우에 매우 고른 노면에서 안정감 있게 걸었을 때의 파형이라고 할 수 있다. 그러나 실제 실험을 통해 나타나는 대개의 경우는 노면이 고르더라도 [그림 12]와 같은 양상을 보인다. 이러한 경우의 1회의 보행 결정시 만족 되어야하는 최대/최소 임계값(threshold)을 유연하게 설정하여 해결할 수 있다. 그러나 지나치게 낮은 임계값의 설정은 오히려 보행이 아닌 미세한 움직임을 보행한 것으로 결정하는 경우가 있기 때문에 실험을 통한 일반적인 값의 결정이 있어야 한다.

지금까지 동작 센서를 사용하여 사람의 보행 횟수를 세는 데에 있어서 발생할 수 있는 문제를 크게 세 가지로 나누고, 이에 대한 해결 방법도 언급하였다. [그림 13]은 동작 센서를 이용한 보행 횟수 측정 알고리즘에 대한 전체 블록다이어그램이다.

[그림 13]의 알고리즘은 이상에서 제시한 문제 영역들을 해결 하였다. 보행 노면에 따른 문제의 해결은 <Count> 모듈에서 성공적으로 걸기로 세어진 구간들에 대한 정보를 유지하며 이 구간과 구간 사이의 오류 부분은 알고리즘에 의해 제거한다.



[그림 13] 전체 알고리즘

신체 부착 위치에 따른 상이한 데이터 패턴에 대한 처리는 [그림 10]의 <Transform module>에 의해 실시간으로 측정되고 판단하여 적절한 알고리즘을 선택하도록 한다. 마지막으로 실험자간의 보행 형태의 차이는 <Count> 모듈에서 실험에 의해 측정된 피 실험자의 평균적인 측정 데이터에 의해 문제를 해결 하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 본 연구에서는 전시 참가자의 이동 거리 산정에 필요한 기반 기술 확보를 위해 가속도 센서를 이용한 보행 패턴 데이터 가공과 산출에 관하여 연구하였다. 센서모듈은 신체에 자유롭게 부착시키기 위하여 무선 송/수신 모듈로 설계하였다. 피실험자의 흥부에 센서모듈을 부착하고 걸었을 때의 데이터를 획득하여 이를 동작분석 및 보행 분석 등의 처리에 용이하도록 데이터를 가공 하였다. 데이터의 처리 과정은 데이터 사상, 중력방향으로 작용하는 성분의 추출, 필터링과 디바운싱으로 수행하였다. 정규화된 센서 데이터를 사용하여 보행 측정을 하였으며, 제한된 환경에서의 실험 결과 정확도는 97%에 가까운 성능을 나타내었다. 알고리즘을 구성하기 전에 먼저 문제가

되는 부분에 대하여 문제영역을 구성하고, 이를 해결하기 위한 방법을 연구하였다. 제시한 해결 방법을 근거로 알고리즘을 구성하였다.

본 연구에서 구성한 동작 센서를 이용한 보행 측정 알고리즘은 전시 참가자의 이동 동선의 파악을 위해 사용하는 Zigbee 기반 위치추적 시스템의 정밀도를 높이기 위한 보조 수단으로서 제공될 것이다. 센서 처리 기술과 센서 출력 데이터에 대한 가공 기술은 향후 상황 인지 및 사용자와 인터페이스를 구현하는 데에 있어서 매우 중요한 기반 기술이 될 것이다. 기술의 특성상 많은 시행착오 및 단계적인 기술의 축적이 요구되므로 본 논문에서의 센서 처리 방법 및 처리 결과는 향후 센서 기반 응용 서비스에서 매우 중요한 기반 기술이 될 것이다. 향후 보다 다양한 환경에서의 판별 성능의 향상을 위하여 뛰기 모드, 계단 보행, 오르막 및 내리막 보행등에서도 정확도가 낮아지지 않도록 알고리즘의 개선이 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이지은, 신민수, 우정은, “모바일 웨젯기반 개인화 서비스의 영향 요인에 관한 연구”, 『한국IT서비스학회지』, 제9권, 제2호(2010), pp. 21-41,
- [2] Boulic, R., N. M. Thalmann, and D. Thalmann, “A Global Human Walking Model with Real-Time Kinematic Personification”, *The Visual Computer*, Vol.6, No.6(1991), pp. 344-358.
- [3] Kionix Ltd, The KXM52 Product Series DataSheet, Vol.13(2005).
- [4] Chipcon Ltd, The CC1000 Product Series DataSheet, Datasheet, Vol.22(2004).
- [5] Primak, S. L. and J. LoVetri, “Auto-Regressive Filter-Based E-Pulse Discriminating Scheme”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.47, No.1(1999), pp.216-218.
- [6] Sharf, L. L., *Statistical Signal Processing. Detection, Estimation, and Time Series Analysis* Reading, Addison-Wesley, 1991.
- [7] Hinckley, K., J. Pierce, M. Sinclair, and E. Horvitz, “Sensing Techniques for Mobile Interaction”, *ACM UIST2000, CHI Letters*, Vol.2(2000), pp.91-100.

[1] 이지은, 신민수, 우정은, “모바일 웨젯기반 개인화 서비스의 영향 요인에 관한 연구”, 『한

## ◆ 저 자 소 개 ◆

**김 남 진 (njkim@mogencelab.com)**

단국대학교 물리학 학사를 취득하고 동 대학원의 전자계산학과 석사(2008)와 전자계산 박사(2010)를 취득하였다. 주요 관심분야는 Real-Time OS, Low Power O/S, Motion Artifact, Sensor이다.

**조 영 희 (bluesnm@mogencelab.com)**

단국대학교 전자계산학 학사를 취득하고 동 대학원의 전자계산학과 석사(2000)와 전자계산 박사(2009)를 취득하였다. 주요 관심분야는 데이터마이닝, 기계학습, 에이전트등이다. 현재 모바일 솔루션 개발 IT 업체의 부설연구소에서 전서관련 시스템 인티그레이션과 모바일 솔루션에 관하여 연구하고 있다.

**최 이 권 (ceo@mogencelab.com)**

단국대학교 전자계산학 학사를 취득하고 동 대학원의 전자계산학과 석사(2002)와 전자계산 박사(2008)를 취득하였다. 2004년부터는 모바일 IT 업체를 설립하여 대표이사를 역임하고 있다. 2009년부터 현재까지 CT학회 이사, 지능정보학회 이사를 맡아 활동 중이다. 주요 관심분야는 무선 인터넷 기술, S/W 프로세스, 저작권 기술등이다.