

모바일 장치용 MEMS 기반 보행항법시스템을 위한 맵매칭 알고리즘

Map-Matching Algorithm for MEMS-Based Pedestrian Dead Reckoning System in the Mobile Device

신 승 혁, 김 현 옥, 박 찬 국*, 최 상 언

(Seung Hyuck Shin, Hyun Wook Kim, Chan Gook Park and Sangon Choi)

Abstract : We introduce a MEMS-based pedestrian dead reckoning (PDR) system. A walking navigation algorithm for pedestrians is presented and map-matching algorithm for the navigation system based on dead reckoning (DR) is proposed. The PDR is equipped on the human body and provides the position information of pedestrians. And this is able to be used in ubiquitous sensor network (USN), U-hearth monitoring system, virtual reality (VR) and etc. The PDR detects a step using a novel technique and simultaneously estimates step length. Also an azimuth of the pedestrian is calculated using a fluxgate which is the one of magnetometers. Map-matching algorithm can be formulated to integrate the positioning data with the digital road network data. Map-matching algorithm not only enables the physical location to be identified from navigation system but also improves the positioning accuracy. However most of map-matching algorithms which are developed previously are for the car navigation system (CNS). Therefore they are not appropriate to implement to pedestrian navigation system based on DR system. In this paper, we propose walking navigation system and map-matching algorithm for PDR.

Keywords : map-matching algorithm, PDR, step detection, step length, heading

I. 서론

미래의 모바일 장치(Advanced Navigation (Seamless), Emergency Assistance (E911/E112), Yellow Pages (POI), Geomarked Photo Sharing, 등과 같은)에 다양한 위치기반 서비스를 제공하기 위하여 사람의 위치정보 획득에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. MEMS형 관성센서 기반의 PDR(Pedestrian Dead Reckoning)은 일반적으로 보행자는 걸음을 통하여 위치가 변화한다는 가정하에 개발된 추측항법시스템이다. PDR의 기본 원리는 사람의 걸음 정보를 바탕으로 초기 위치로부터 진행 방향(heading)에 따라 이동거리를 추정하여 현재의 위치를 구하는 추측항법(DR, Dead Reckoning)이다. 따라서 PDR은 걸음 검출 기법(step detection algorithm), 보폭 추정 기법(step length estimation algorithm), 진행 방향 추정 기법(azimuth calculation algorithm)으로 구성된다. 즉, 보행자의 위치를 구하기 위하여 보행자의 걸음을 검출하고 걸음과 걸음 사이의 보폭을 추정하여 이동 거리를 결정한다. 또한 지자기 센서나 자이로 등을 이용하여 보행자의 진행 방향을 추정한다.

걸음 검출 기법은 PDR을 구성하는 알고리즘 중 가장 간단한 구조이며 설계하기 쉽다. 그러나 걸음이 검출되지 않거나 (miss detection) 잘못 검출(false detection)되면 그에 해당하는 만큼의 이동 거리 오차가 발생하게 된다. PDR은 추정된 보폭을 모두 더하여 이동 거리를 계산하기 때문에 걸음 검출 성능은 전체적인 시스템 성능에 큰 영향을 미치게 되므로 매우

중요한 문제이다.

PDR 알고리즘 중 가장 어려운 부분은 보폭 추정 기법 설계이다. 기존에 개발된 보행자의 보폭 추정 기법은 여러 가지가 있다. 보폭 추정 오차를 1차 가우스-마코프 프로세스로 모델링 하여 칼만필터(Kalman filter)와 GPS(Global Positioning System)을 이용한 보폭 추정 기법과[1], 걸음 주파수, 가속도 분산, 상수항 등으로 이루어진 선형결합을 이용한 보폭 추정 기법에 대한 연구[2-4], 신경회로망을 이용한 보폭 추정 기법에 대한 연구도 수행되었다[5]. 한편, 본 논문에서는 지자기 센서를 이용하여 보행자의 진행 방향을 추정한다. 일반적으로 저급항법장치 및 절대방위각 정보가 필요한 시스템에서는 주로 지자기 센서를 사용한다. 이 때, 지자기 센서의 수평 자세각을 보상해 주어야 진행 방향 추정 성능을 향상시킬 수 있다[6,7].

맵매칭(map-matching) 기법은 항법시스템으로부터 추정된 위치 정보와 디지털 지도(digital map)를 결합하여 위치 정보를 제공하는 기법을 의미한다. 일반적으로 항법시스템으로부터 획득된 위치 정보는 좌표로 나타나기 때문에 이를 지도에 표시하여 사용자에게 현재 위치를 식별하기 용이하게 하며, 추정된 위치 정보의 정확도를 향상시키는 역할을 한다. 예를 들면, 차량항법시스템(CNS, Car Navigation System)의 경우, 추정된 차량의 위치가 도로가 아닌 곳으로 나타날 수 있다. 이 때, 차량은 항상 도로에서만 운행된다는 가정하에 추정된 위치를 실제 도로에 정합시킴으로써 위치 정확도가 향상될 수 있다. 본 논문에서는 PDR에 적용 가능한 맵매칭 기법에 대하여 제안한다. 기존에 개발된 맵매칭 기법은 대부분 GPS를 이용하는 차량항법시스템을 위한 연구가 주를 이루고 있으며 보행자에 적용 가능한 맵매칭 기법에 대한 연구는 현재 미약한 상황이다. 기존에 개발된 맵매칭 기법으로는 위치 정보의 기하학적인 특성을 이용한 맵매칭 기법[8], 추정된 위치

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 4., 채택확정 : 2008. 7. 21.

신승혁, 김현옥 : 서울대학교 기계항공공학부

(mad2407@snu.ac.kr/ kwh0625@snu.ac.kr)

박찬국 : 서울대학교 기계항공공학부 / 자동차시스템공동연구소(ASRI)

(chanpark@snu.ac.kr)

최상언 : 삼성전자(sangon.choi@samsung.com)

※ 본 연구는 삼성종합기술원의 지원에 의한 연구결과임

정보의 확률적 특성을 이용한 기법[9], 퍼지(fuzzy)기반 맵매칭 기법[10] 등이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 본 논문에서 개발된 시스템에 대해서 소개하고 III 장에서는 걸음 검출 기법, 보폭 추정 기법, 진행 방향 결정 기법으로 구성되는 보행 항법알고리즘에 대하여 설명한다. IV 장에서는 맵매칭 알고리즘에 대하여 정리하고 V 장에서 제안된 보행항법알고리즘 및 맵매칭 기법에 대한 실험 결과를 살펴보고자 한다. 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 구성

MEMS형 가속도계, 지자기 센서가 각각 3축으로 구성된 초소형 센서 모듈을 이용하여 보행자의 항법시스템을 개발하였다. 그림 1은 본 논문에서 사용된 PDR 모듈을 보행자의 허리에 장착한 모습을 나타낸다. 센서 모듈에서 출력되는 센서 신호는 블루투스(bluetooth)를 이용하여 항법 컴퓨터(노트북 PC나 PDA)에 전송된다. 그리고 본 논문에서 개발된 PDR 알고리즘의 흐름은 그림 2와 같다. 가속도계와 지자기 센서를 이용하여 보행자의 위치를 추정한 후 디지털 지도 정보와 추정된 위치 정보를 맵매칭 기법을 이용하여 결합하여 보행자에게 현재의 위치 정보를 제공한다. 또한 본 논문에서는 가속도계 3축의 출력(a_x, a_y, a_z)을 식 (1)과 같이 RSS(Root Square Sum) 신호를 이용함으로써 센서 모듈이 보행자에 장착된 이후, 센서의 자세에 변화에 강건한 보행 항법 알고리즘을 설계하였다.

$$a_{RSS}(i) = \sqrt{a_x(i)^2 + a_y(i)^2 + a_z(i)^2} \quad (1)$$

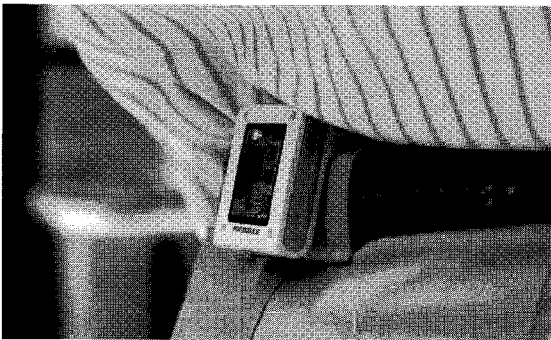


그림 1. PDR 모듈.

Fig. 1. PDR module.

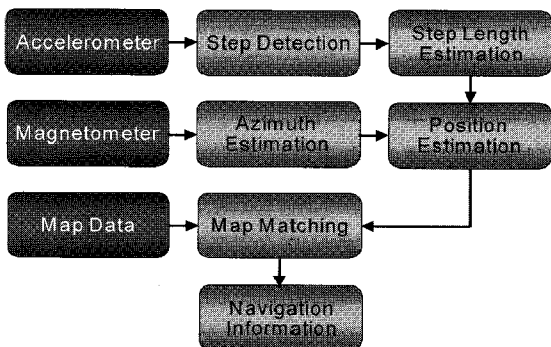


그림 2. PDR 알고리즘 흐름도.

Fig. 2. The flow of PDR algorithm.

III. 보행 항법 알고리즘

1. 걸음 검출 기법

PDR은 보행자의 걸음을 검출함으로써 모든 항법정보를 제공하는 기준으로 사용한다. 이는 일반적인 교통수단을 제외하고, 사람은 보행을 통해서 위치를 변화시킨다는 가정에 의한 것이다. 본 논문에서는 가속도계 출력을 이용하여 보행자의 걸음을 검출한다. 기존에 개발된 걸음 검출 기법에는 피크치 검출기법(peak detection method), 일정구간 검출기법(flat zone detection method), 영교차점 검출기법(zero crossing detection method) 등이 있다. 피크치 검출기법은 보행 속도에 따라 크게 변화는 극점으로 인하여 걸음으로 인식하는 임계값을 설정하기 매우 어렵다[1]. 일정구간 검출기법은 가속도계가 신발에 장착된 경우에만 일시적으로 가속도계 출력의 변화율이 거의 0에 가까운 평행구간이 나타나기 때문에 그림 1처럼 보행자의 허리에 PDR 모듈이 장착된 경우에는 적용할 수 없다[7]. 따라서 본 논문에서는 영교차점 검출기법을 이용하였으며 센서 출력에 포함된 잡음 및 오차 성분을 제거하기 위하여 이동구간합(sliding window summing) 및 신호 차분(signal difference)을 통하여 신호 처리한 후 그림 3과 같이 보행자의 걸음을 검출하였다[3, 4, 11].

2. 보폭 추정 기법

보폭은 걸음과 걸음 사이의 거리를 의미하여 PDR에서는 보폭을 누적하여 보행자의 이동거리를 계산한다. 일반적으로 관성항법시스템에서는 가속도계 출력을 이중 적분하여 이동거리를 계산한다. 그러나 출력 신호에 오차성분이 큰 MEMS형 가속도계를 사용하는 PDR에서는 보폭을 가속도계의 출력 신호를 이중 적분할 경우 시간에 따라 급격하게 발산하게 된다. 따라서 PDR에서는 걸음과 걸음 사이의 가속도계 출력 신호에 나타나는 보행 특성을 이용하여 보폭을 추정한다. 본 논문에서는 개발된 PDR이 휴대 전화와 같은 모바일 장치(mobile device)에 적용될 수 있도록 비교적 구성이 간단한 선형결합을 이용한 보폭추정기법을 적용하였다.

본 연구실의 실험 결과 및 기존의 연구들로부터 사람의 보폭은 걸음 주파수(walking frequency)와 가속도 분산(acceleration variance)에 비례하는 것을 확인할 수 있다. 걸음 주파수는 걸음이 발생하는 빈도를 나타내는 지표로서 보행 속도에

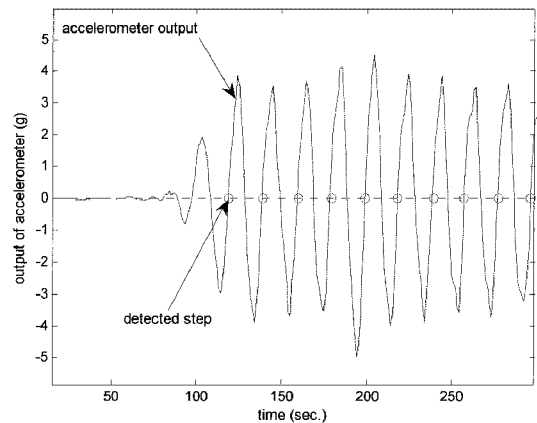


그림 3. 영점교차점검출기법을 이용한 걸음 검출.

Fig. 3. Step detection using the zero crossing detection method.

관련된 정보라 할 수 있다. 일반적으로 사람이 정상적으로 보행한 경우, 보행 속도가 빨라지면 보폭도 증가하게 되며, 보행 속도가 느려지면 보폭도 감소하게 된다. 한편, 가속도 분산은 걸음이 검출된 시점들 사이의 가속도계 출력 신호의 분산을 의미하며, 이는 사람이 보행 시 발이 지면에 닿는 힘을 나타내는 지표이다. 역시, 사람이 정상적인 보행을 할 경우 보폭이 증가할수록 그에 따라 지면에 발이 닿는 힘도 커지게 되며, 보폭이 감소할 경우 발이 지면에 닿는 힘도 감소하게 된다. 즉, 사람의 보행 특성을 나타내는 걸음 주파수와 가속도 분산은 보폭에 대하여 선형적인 관계를 가지게 되므로 이를 이용하여 사람의 보폭을 추정한다. (2)와 (3)은 각각 선형결합을 이용하여 추정된 보폭과 전체 이동거리를 추정하는 식이다.

$$\text{Step Length} = \alpha \cdot WF + \beta \cdot AV + \gamma \quad (2)$$

여기서, α, β, γ = 보폭 추정 파라미터

WF = 걸음 주파수 (Walking Frequency)

AV = 가속도 분산 (Acceleration Variance)

$$\text{Walking distance} = \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot WF_i + \beta \cdot AV_i + \gamma) \quad (3)$$

여기서, n = 전체 걸음 수

i = i 번째 걸음

3. 진행 방향 추정 기법

보행항법시스템에서는 보행자의 이동 방향을 결정하기 위해서 일반적으로 MEMS형 자이로보다 지자기 센서를 사용한다. 이는 MEMS형 자이로의 출력을 적분해서 진행 방향을 계산하면 시간이 지남에 따라 발산하기 때문이다. 그러나 지자기 센서는 그에 비해 상대적으로 상당히 오랜 시간 동안 신뢰도가 높은 방향 정보를 제공한다. (4)에 나타나 있는 식은 센서 모듈의 수평 자세각 보상을 이용하여 계산된 보행자의 진행 방향을 나타낸다[6,7]. 본 논문에서는 지자기 외란이 없는 상황을 가정하고 (4)를 이용하여 보행자의 이동 방향을 계산한다.

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{Y_{fg} \cos \phi - Z_{fg} \sin \phi}{X_{fg} \cos \theta - Y_{fg} \sin \theta \sin \phi - Z_{fg} \sin \theta \sin \phi} \right) \quad (4)$$

여기서, ψ = 진행 방향

X_{fg}, Y_{fg}, Z_{fg} = 지자기 센서 출력

$$\theta = \sin^{-1}(a_x / g)$$

$$\phi = \sin^{-1}(a_x / g \cos \theta)$$

IV. 맵매칭 알고리즘

맵매칭(map-matching)이란 디지털 지도 데이터에서 보행자가 보행하고 있는 길을 식별하여 항체의 위치를 표시하는 방법이다. 일반적으로 이러한 맵매칭 기법을 이용하면 실제 공간상에서 위치를 식별할 때 효과적이며, 위치 정보의 정확도

를 향상시킬 수 있다. 그러나 이러한 맵매칭 기법을 이용하여 보다 정확한 위치 정보를 제공하기 위해서는 매우 높은 정확도를 가지는 디지털 지도가 요구되며, 항법 시스템에서 제공하는 위치정보 또한 매우 높은 신뢰도를 가지고 있어야 가능하다. 그림 4와 그림 5는 맵매칭 기법의 기본적인 개념을 나타내고 있다. 그림 4에서는 실제 공간상에서 보행자의 위치를 나타내고 있다. 그림 5는 그림 4에서 나타낸 장소를 디지털 지도로 표시한 것이며 건물이나 배경 이미지를 제외하고 실제 도로정보만 나타낸 것이다. 실제 공간상에서의 모든 길은 디지털 지도에서 길의 중심을 지나는 직선(link, 이하 링크)의 집합으로 나타난다.

PDR이 추정한 보행자의 위치가 그림 5에 나타난 것과 같다면 맵매칭 기법을 통하여 추정된 위치를 지도의 링크에 정합시킨다. 현재까지 개발되어 있는 맵매칭 기법은 대부분 차량항법시스템을 위한 것들이 대부분이며 보행자에 적용되어 있는 맵매칭 기법은 매우 미흡한 상태이다. 맵매칭 기법에는 위치정보의 기하학적인 특성을 이용한 맵매칭, 확률적인 특성을 이용한 맵매칭, 퍼지(Fuzzy)기반 맵매칭 등 여러 가지가 있으나, 기본적으로 차량의 이동 거리, 속도, 방위각 정보를 이용한다는 점에 대해서는 유사하다. 그러나 보행항법시스템에서는 속도 정보를 맵매칭에 이용하는 것은 매우 어렵다. 또한, 보행자를 위한 디지털 지도 데이터는 거의 전무하기 때문에 보행항법시스템에 적용 가능한 맵매칭 기법을 개발하는데 큰 제약이 따른다.

일반적으로 맵매칭 알고리즘의 흐름은 그림 6과 같다.

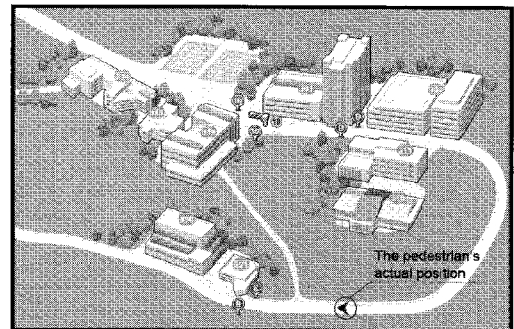


그림 4. 실제 공간상의 보행자의 실제 위치.

Fig. 4. The pedestrian's actual position in the real world.

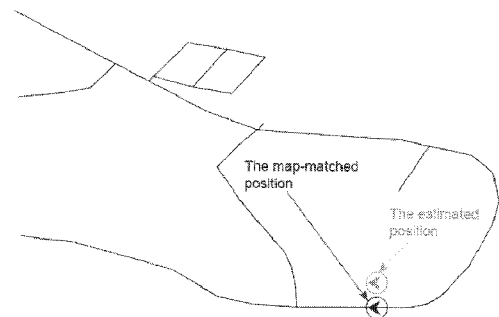


그림 5. 디지털 지도에서의 추정된 위치와 맵매칭된 위치.

Fig. 5. The estimated position & map-matched position in the digital map data.

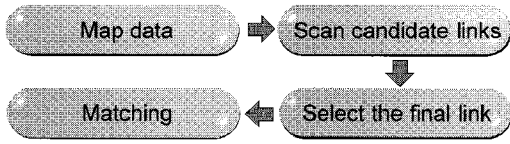


그림 6. 맵매칭 알고리즘 흐름.

Fig. 6. The flow of the map-matching algorithm.

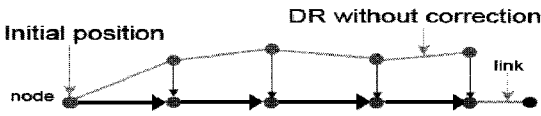


그림 7. 보정하지 않은 DR 기법.

Fig. 7. DR without correction.

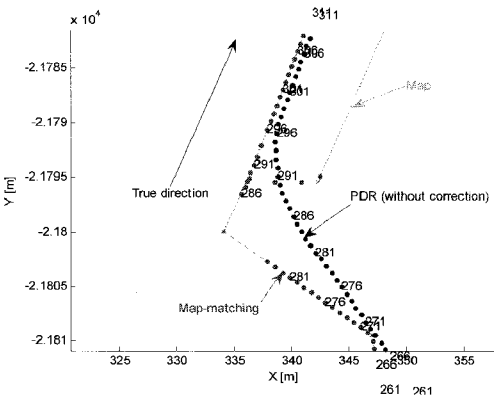


그림 8. 보정하지 않은 DR을 이용한 맵매칭 결과.

Fig. 8. Map-matching experimental result without DR correction.

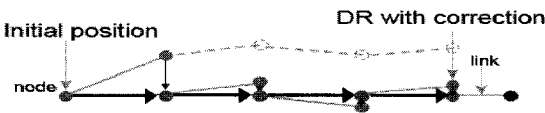


그림 9. 보정된 DR 기법.

Fig. 9. DR with correction.

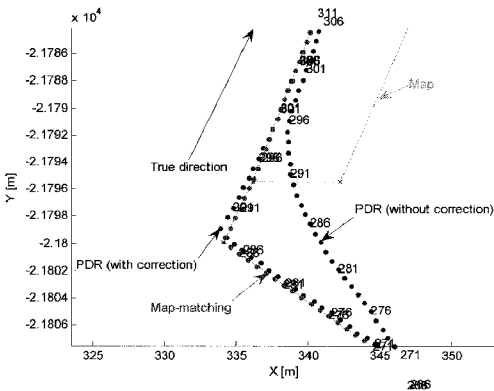


그림 10. 보정된 DR을 이용한 맵매칭 결과.

Fig. 10. Map-matching experimental result with DR correction.

먼저 지도 데이터로부터 보행자가 위치할 가능성이 존재하는 링크들을 검색하여 후보링크(candidate link) 리스트를 만들게 된다. 후보링크가 검색된 후 추정된 위치 정보와 지도

데이터를 비교하여 최종적으로 보행자가 서있는 링크를 선택한다. 이 때, 최종 링크를 선택하는 방법에 따라 여러 맵매칭 기법으로 분류된다. 본 논문에서는 추정된 위치 정보의 기하학적인 특성을 이용한 맵매칭 기법을 적용하였다. 즉, 추정된 위치와 거리가 가까운 링크 중 보행자의 진행 방향과 링크의 방향의 차가 가장 적은 링크를 최종 링크로 선택하는 것이다. 마지막으로 최종 링크가 선택되고 나면 추정된 위치를 선택된 최종 링크로 매칭시키게 된다.

본 논문에서는 DR기반의 보행자 항법시스템을 위한 맵매칭 방법으로서 DR 보정 기법(DR correction method)과 원호를 이용한 매칭 기법(arc matching method)을 제안한다. 기존에 연구된 맵매칭 기법들은 대부분 차량항법시스템을 위한 연구들이 대부분이며 차량항법시스템에 사용되는 항법시스템은 대부분 GPS 이다. GPS는 이전 시간의 위치 정보에 관계 없이 현재 시간의 위치를 추정하는 시스템 (position fixing)이다. 따라서 본 논문에서 제안하는 기법들을 구현할 필요가 없었다. 그러나 PDR은 이전 시간에 추정된 위치로부터 현재의 위치를 추정하는 방식이므로 기존에 개발된 맵매칭 기법을 그대로 적용할 경우 그 성능이 크게 저하될 수 있다.

1. DR 보정 기법 (DR correction method)

PDR은 DR(Dead Reckoning)을 통하여 보행자의 위치를 추정한다. 이 때, DR을 보정하지 않고 맵매칭에 적용시키면 그 정확도가 저하되는 현상이 나타난다. 이러한 현상은 보행자가 교차로나 커브에서 보행하는 경우 특히 빈번하게 나타난다. 또한 추정된 보행자의 이동 경로에 오차가 상대적으로 많이 포함된 경우에도 맵매칭 성능은 크게 저하된다. 그림 7 에는 보정되지 않은 DR을 이용한 맵매칭을 나타내고 있으며, 이 경우 맵매칭 결과가 그림 8에 나타나 있다.

그림 8을 살펴 보면, 맵매칭 결과가 284번째 걸음에서 285 번째 걸음으로 진행되면서 매칭시키는 링크가 바뀌게 되면서, 맵매칭 결과가 직선 거리로 거의 7m 이상 점프하는 현상이 발생된다. 또한 실제로 286번째 걸음과 291번째 걸음은 계속 직선으로 보행하고 있는 상황이지만 교차로에서 링크를 잘못 선택하게 되는 오류를 범하고 있다. 이러한 현상을 해결하기 위하여 본 연구에서는 보정된 DR을 이용하여 맵매칭에 적용시킨다. 보정된 DR은 현재 보행자의 위치를 추정할 때, PDR에서 계산된 이전 단계의 위치부터 DR을 수행하는 것이 아니라, 이전 단계에서 맵매칭된 위치로부터 DR을 수행하는 것이다. 기존의 차량항법용 맵매칭 알고리즘은 position fixing방식의 GPS에 기반한 알고리즘이므로 부분적으로 DR을 보정하지만, PDR은 DR기반의 항법시스템이기 때문에 반드시 지속적으로 적용시켜야 한다. 그림 9에는 DR 보정 기법의 기본 개념을 나타낸다. 그림 10에는 보정된 DR이 적용된 맵매칭 결과를 나타내고 있다. 그림 10을 살펴보면 그림 8의 결과에 비하여 코너 보행 시 맵매칭 결과가 점프하는 현상을 크게 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 291번째 걸음에서도 정확하게 링크를 선택하여 맵매칭 알고리즘이 동작하고 있는 것을 확인할 수 있다.

2. 원호 매칭 기법 (Arc-matching method)

일반적으로 차량 항법용 맵매칭 알고리즘에서는 선택된 링크에 위치를 표시하기 위하여 추정된 위치로부터 선택된

링크로 정사영 시킨다. 이는 GPS처럼 이전 위치와 관계 없이 현재 위치를 추정하는 시스템에 적합한 방법이다. 그러나 PDR에서는 추정된 위치를 링크에 정사영 시키면 전체 이동 거리를 감소시키는 역할을 하게 된다. 본 절에서는 이러한 성능 저하를 방지하기 위하여 선택된 링크에 매칭시키는 경우 원호로 매칭시키는 방법을 적용하였다.

그림 11은 원호를 이용한 맵매칭과 정사영 시키는 맵매칭 방법에 대하여 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 정사영 매칭을 사용하면 맵매칭을 적용하면 e_d 만큼의 이동 거리가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

원호를 이용하여 링크에 매칭시킬 경우, PDR에서 추정되는 보폭을 보존하여 매칭시키는 것이 가능하기 때문에 맵매칭 알고리즘 성능 향상에 기여하게 된다. 이와 같은 매칭 기

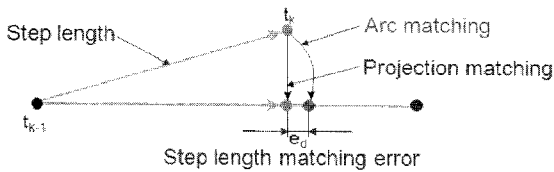


그림 11. 정사영 매칭과 원호 매칭.

Fig. 11. Projection matching and arc matching.

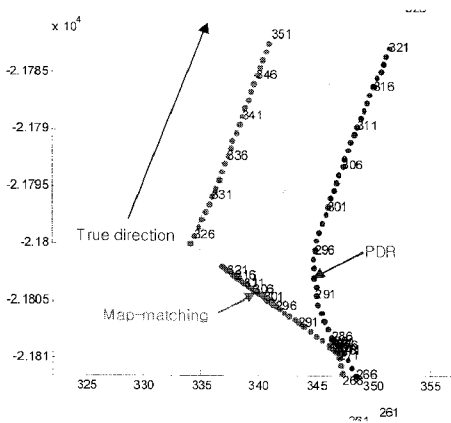


그림 12. 정사영 매칭을 이용한 맵매칭.

Fig. 12. Map-matching using the projection matching.

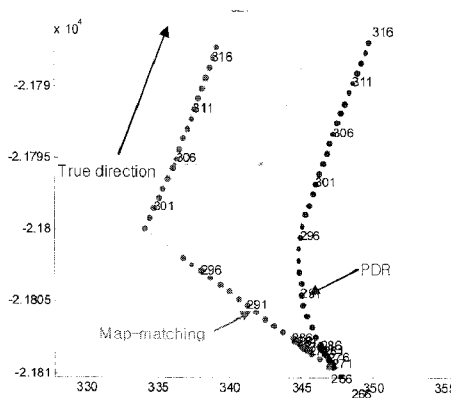


그림 13. 원호 매칭을 이용한 맵매칭.

Fig. 13. Map-matching using the arc matching.

법은 PDR의 오차가 상대적으로 큰 경우 맵매칭 성능의 저하를 막을 수 있다. 그림 12와 그림 13은 각각 정사영 매칭을 이용한 맵매칭 결과와 원호를 이용한 맵매칭 결과를 나타내고 있다.

실제 보행 데이터에 임의로 270번째 걸음부터 286번째 걸음까지의 보폭 추정 오차를 크게 하여 PDR의 정확도를 크게 낮추어서 실험하였다. 그림 12에서 보행자는 실제로 296번째 걸음부터 링크가 바뀌는 형태로 나타나고 있는데, 맵매칭 결과는 325번째 걸음부터 링크가 바뀌어서 매칭이 시작되는 결과를 나타내고 있다. 이는 보행자의 이동 방향이 변화할 때, 링크에 정사영 매칭시켜 맵매칭 할 경우에 오차가 크게 발생되기 때문이다. 반면에 그림 13은 원호를 이용한 맵매칭 결과를 나타낸다. 맵매칭 결과가 299번째 걸음부터 바뀐 링크에 매칭되는 것을 확인할 수 있다. 여전히 약 8 걸음에 해당하는 이동 거리 오차(약 6m)가 존재하지만 정사영 매칭 결과에 비해 맵매칭 정확도가 약 26 걸음에 해당하는 이동거리(약 18m)만큼 향상된 것을 확인할 수 있다.

V. 실험결과

본 논문에서 제안한 보행항법 알고리즘 및 맵매칭 알고리즘의 성능 검증은 위하여 서울대학교에서 실험을 수행하였다. 보폭 추정에 사용된 선형결합에서 보폭 추정 파라미터는 사전에 임의의 구간에서 미리 학습된 값을 사용하였다. 또한 신체에 이상이 없는 건강한 사람이 정상적인 보행을 하는 경우를 가정하였으며, 일상 생활에서 나타날 수 있는 불확실한 동작에 대해서는 고려하지 않았다. 보행항법 알고리즘 성능 시험을 위하여 평지 직선 경로에서 보행 시험을 수행하였다. 느린 걸음, 보통 걸음, 빠른 걸음 각각의 보행 속도로 동일한 경로에서 총 30회의 보행 시험을 수행하였으며, 걸음 검출 오차율은 최대 1.8%, 보폭 추정 오차율은 전체 이동 거리 대비 최대 4.7% 정도의 성능을 나타내었다.

또한 본 논문에서 제안하는 맵매칭 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 표 1과 같이 서울대학교 내부에서 다양한 형태의 도로가 포함된 경로를 설정하여 보행 시험을 수행하였다. 맵매칭 시험 결과는 그림 14-17과 같으며, DR 보정 기법 및 원호 매칭 기법이 모두 적용된 결과이다. 경로 1의 경우 최종 목적지에서 PDR의 위치 오차는 13.9m(오차율 2.4%)로 나타났으며, 맵매칭 알고리즘을 적용한 결과 최종 목적지에서 위치 오차는 8.9m(오차율 1.5%)로 위치 오차가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 경로 2의 경우 최종 목적지에서 PDR의 위치 오차는 15.9m(오차율 3.3%)로 나타났으며, 맵매칭 알

표 1. 맵매칭 성능 검증 시험 경로.

Table 1. Test trajectory of map-matching algorithm.

	경로 1	경로 2
전체 길이	785m	480m
전체 걸음 수	988	643
보행 시간	9분 10초	6분 20초
특징	경사 경로 포함, 최대 이동 거리, T자 갈림길 포함, 교차로 포함	원형 경로, 되돌아 가기 (시작위치 = 도착위치) Y자 갈림길 포함

고리점을 적용한 결과 최종 목적지에서 위치 오차는 5.7m(오차율 1.2%)로 위치 오차가 감소한 것을 확인할 수 있었다.

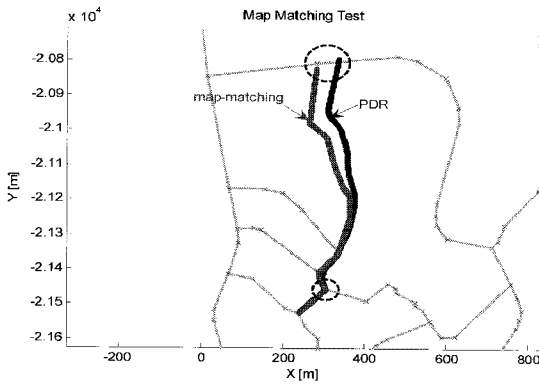
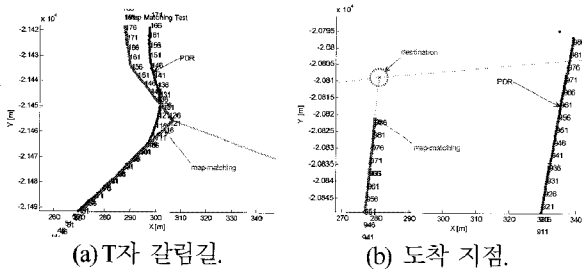


그림 14. 맵매칭 시험 결과 - 경로 1.

Fig. 14. Experimental result of map-matching algorithm - trajectory 1.



(a) T자 갈림길.

(b) 도착 지점.

그림 15. 맵매칭 시험 결과 - 경로 1(확대).

Fig. 15. Experimental result - trajectory 1(enlarged).

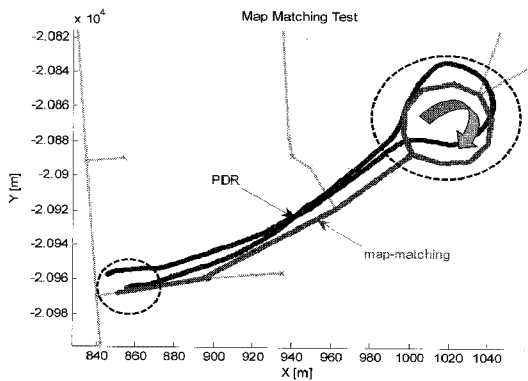
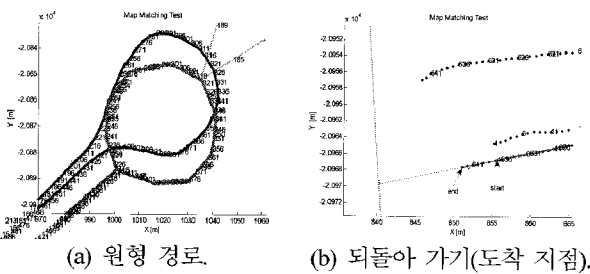


그림 16. 맵매칭 시험 결과 - 경로 2.

Fig. 16. Experimental result of map-matching algorithm - trajectory 2.



(a) 원형 경로.

(b) 되돌아 가기(도착 지점).

그림 17. 맵매칭 시험 결과 - 경로 2(확대).

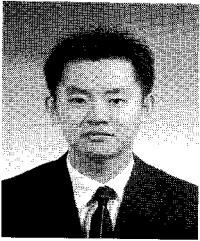
Fig. 17. Experimental result - trajectory 3(enlarged).

VI. 결론

본 논문은 보행자의 위치를 추정하기 위하여 MEMS형 관성센서기반의 보행자의 걸음 검출 기법, 보폭 추정 기법, 진행 방향 추정 기법에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 디지털 지도 데이터와의 연결을 위하여 보행자 항법시스템에 적용 가능한 맵매칭 기법을 개발하였다. 제안된 맵매칭 기법은 보행자의 위치, 방위각 정보를 이용하여 매칭시키는 기법이며, 맵매칭 정확도를 향상시키기 위하여 DR 보정, 원호를 이용한 매칭 기법을 제안하였다. 또한 제안된 맵매칭 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 다양한 경로에서 보행 시험을 수행하였다. 그러나 DR을 기반으로 하는 맵매칭 알고리즘의 큰 문제점은 추정된 위치로부터 후보 링크를 검색하여 최종 링크를 선택할 때, 최종 링크를 잘못 선택하면 DR의 특성상 시간이 지나도 올바른 링크로 매칭 될 수 없다는 것이다. 따라서 이를 해결하기 위한 연구가 수행되어야 한다.

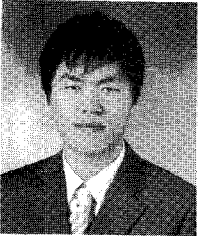
참고문헌

- [1] R. Jirawimut, P. Ptasinski, V. Garaj, F. Cecelja and W. Balachandran, "A Method for Dead Reckoning Parameter Correction in Pedestrian Navigation System," *Proc. of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conf.*, Budapest, Hungary, May 2001.
- [2] Q. Ladetto, "On foot navigation: continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering," *Proc. of ION-GPS 2000*, pp.1735~1740., Salt Lake, Utah, USA, Sep. 2000.
- [3] S. H. Shin, C. G. Park, H. S. Hong and J. M. Lee, "MEMS-based Personal Navigator Equipped on the User's Body," *Proc. ION GNSS 2005*, Long Beach, CA, Sep. 2005.
- [4] S. H. Shin, C. G. Park, J. W. Kim, H. S. Hong and J. M. Lee, "Adaptive Step Length Estimation Algorithm Using Low-Cost MEMS Inertial Sensors," *Sensors Applications Symposium*, 2007. IEEE, Feb. 2007, San Diego, USA.
- [5] K. Aminian, Ph. Robert, E. Jequier and Y. Schutz, "Level, Downhill and Uphill Walking Identification using Neural Networks," *Electronics Letters* 19th vol.29, no.17, Aug. 1993.
- [6] S. Y. Cho and C. G. Park, "Tilt compensation algorithm for a 2-axis magnetic compass," *IEE Electronic Letters*, vol.39, Issue 22, Oct. 2003.
- [7] S. Y. Cho, "Design of a Pedestrian Navigation System and the Error Compensation Using RHKF Filter" *ph.D. dissertation*, Kwangwoon Univ., South Korea, Feb. 2004.
- [8] C. E. White, D. Bernstein and A.L. Kornhauser, "Some Map Matching Algorithms for Personal Navigation Assistants," *Transportation Research: Part C8*, pp. 91-108, 2000.
- [9] W. Y. Ochieng, M. A. Quddus and R. B. Noland, "Integrated positioning algorithms for transport telematics applications," *2004 ION Annual Conference*, CA, USA, 692-705, Sep. 2004.
- [10] Quddus, M.A., Ochieng, W.Y., Noland, R.B., "A High Accuracy Fuzzy Logic Based Map Matching Algorithm for Road Transport," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 103-115, 2006.
- [11] H. Leppakoskik, J. Kapi, J. Syrjarinne and J. Takala, "Error Analysis of Step Length Estimation Pedestrian Dead Reckoning," *Proc. ION GPS*, Portland, OR, pp. 1136-1142. Sep. 2002.



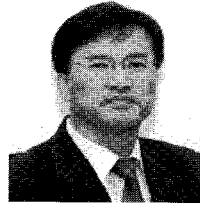
신승혁

2004년 광운대학교 정보제어공학과 졸업. 2004년~현재 서울대학교 기계항공공학부 석박통합과정 재학 중. 관심분야는 MEMS 센서 기반 보행항법알고리즘 및 실내측위 시스템.



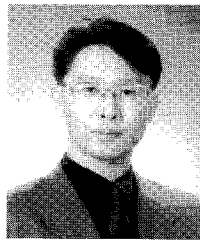
김현욱

2007년 서울대학교 기계항공공학부 졸업. 2007년~현재 동 대학원 석사과정 재학 중. 관심분야는 MEMS 센서 기반 보행항법알고리즘 및 관성항법시스템



박찬국

1985년 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학박사). 1993년 서울대학교 제어계측신기술연구센터 Post Doc. 1994년~2002년 광운대학교 정보제어공학과 조교수/부교수. 1998년 미국 UCLA 기계항공공학과 방문연구원. 1994년~2003년 서울대학교 자동제어특화연구센터 책임연구원. 2003년~현재 서울대학교 기계항공공학부 부교수/교수. 연구 관심분야는 INS/GPS 결합 알고리즘, MEMS IMU 응용 시스템 개발, 영상항법시스템, USN을 이용한 Ubiquitous Positioning, 필터링 기법, FDIR 시스템



최상언

1991 영남대학교 전자공학과 학사. 1994 일본 토요하시기술과학대 전기전자공학 석사. 1997 일본 토요하시기술과학대 시스템정보공학 박사. 1997~2008.5 삼성종합기술원 전문연구원. 2008.6~현재 삼성전자 디지털미디어총괄 영상디스플레이 사업부 수석연구원. 관심분야는 센서기반 User Interface