

국내 환경에 적합한 Kalman-filter 기반 사용자 운동거리 측정 알고리즘 설계 및 구현

장영환¹ · 임수봉² · 박석천³ · 이봉규⁴ · 이상순^{5*}

Design and Implementation of Kalman-filter Based User Movement Distance Algorithm Suitable for Domestic Environment

Young-Hwan Jang¹ · Subong Im² · Seok-Cheon Park³ · Bong-Gyou Lee⁴ · Sang-Soon Lee^{5*}

¹Ph.D student, Dept. of IT Convergence Engineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

²Graduate Student, Dept. of Mobile Software, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

³Professor, Communications Policy Research Center, Yonsei University, Seoul, 03722 Korea

⁴Professor, Graduate School of Information, Yonsei University, Seoul, 03722 Korea

^{5*}Professor, Dept. of Computer Engineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

요 약

세계적으로 스마트 디바이스 보급률이 증가하면서 운동 체크 등과 관련된 서비스들이 주목받고 있다. 그러나 기존 운동량 측정 서비스의 경우 고도 정보를 사용하지 않거나, GPS 고도 오차를 보정하지 않은 알고리즘을 사용하기 때문에 제공되는 운동거리 등이 정확하지 않다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 문제점을 개선하기 위해 Kalman-filter를 기반으로 GPS와 기압고도계 센서 융합 알고리즘을 통해 고도 값 정확도 향상 및 좌표평면 사이 거리 계산을 통해 Kalman-filter 기반 사용자 운동거리 측정 알고리즘을 설계 및 구현하였다. 설계한 알고리즘을 기존 알고리즘들과 비교한 결과, 기존 알고리즘에 비해 평균 약 2.17%의 정확도가 향상된 것을 확인하였다.

ABSTRACT

With the increase in there are smart devices penetration around the world, services related to exercise checks are attracting attention. However, there is existing exercise amount measurement service does not use the altitude information, or because the use of an algorithm that does not corrected the GPS altitude error is not accurate movement distance provided have a problem. Therefore, in this paper, to improve the existing problems, Kalman-filter-based user movement distance measurement algorithm is designed and implementation of improved by using the Kalman-filter based GPS and barometric altimeter sensor fusion algorithm to improve the altitude value the accuracy and of calculate the coordinate plane distance. As a result of comparing the designed and implementation of algorithm with the existing algorithms, it is confirmed that the proposed algorithm improves the accuracy by about 2.17%.

키워드 : 칼만필터, 지리좌표, 오차공분산, 운동거리, 고도 값

Keywords : Kalman-filter, Geographical Grid, Error Covariance, Exercise Distance, Altitude Value

Received 14 August 2019, Revised 24 August 2019, Accepted 17 September 2019

* Corresponding Author Sang-Soon Lee(E-mail:sslee@gachon.ac.kr, Tel:+82-31-750-5333)

Professor, Department of Computer Engineering, Gachon University, Gyeonggi, 13120 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.12.1624>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

전 세계적으로 고령화에 대한 이슈가 사회적으로 나타나면서 삶의 질 향상 및 건강관리에 대한 관심이 급증하고 있다[1].

국내의 경우 고령인구가 점차 증가하면서 심혈관 질환, 만성 질환, 뇌졸중과 같은 질병들이 증가하고 있어 질병 예방이나 건강관리 서비스에 대한 관심이 급증하고 있다[2].

특히 운동의 중요성이 강조되면서 스마트폰 애플리케이션 개발 회사에서는 앱 마켓을 통해 운동에 관련한 다양한 헬스 케어 애플리케이션을 제공하고 있으며 걷기, 수영 등 유산소 운동 관련한 시스템들이 주목받고 있다[3].

이와 같은 유산소 운동을 할 경우 애플리케이션의 핵심 요소는 정확한 운동거리 측정을 통해 사용자가 실제 운동한 거리와 애플리케이션에서 표시하는 거리와의 오차가 적어야 한다[4][5].

그러나 기존 운동량 측정 시스템은 운동거리를 측정할 때 고도정보나 오차가 보정되지 않은 GPS (Global Positioning System)의 고도를 통해 운동거리를 측정하기 때문에 발생하는 문제점이 있다.

특히 국내의 경우 전체 면적의 약 70% 이상이 산지로 구성되어 있어 고도정보를 반영한 거리측정 알고리즘이 적용되어야 하지만, 이와 같은 특징을 반영하지 않은 알고리즘 적용으로 인해 측정 오차량이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 GPS 센서의 고도 값을 기압고도계 센서의 고도 값을 통해 오차를 보정하고, 좌표평면 사이거리 계산 공식을 활용하여 지리좌표 값을 보정한 운동거리 측정 알고리즘을 설계 및 구현하였다.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 설계하기 위해 기압계 센서의 고도 값 오차 보정을 통해 GPS 센서의 고도 값을 보정하고, 보정된 오차를 평면 상 거리계산 공식에 적용하여 기존 알고리즘의 문제점을 개선한 Kalman-filter 기반 사용자 운동거리 측정 알고리즘을 설계 및 구현하였다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 Kalman-filter와 기존 운동거리 측정 알고리즘을 분석하였다. 3장에서는 고도가 보정된 사용자 운동거리 측정 알고리즘을 설계하고, 4장에서는 기존 DMACA 알고리즘과 설계한 알고리즘의 성능을 테스트 및 평가하였다. 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

막으로 5장에서 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

2.1. Kalman-filter

측정값이 입력되면 Kalman-filter 알고리즘에 의해 처리되고, 추정 값을 출력으로 내보내며, 출력된 추정 값을 다음 단계 계산에 재사용하는 재귀적 알고리즘이다. Kalman-filter 알고리즘 기본 모형은 그림 1과 같다.

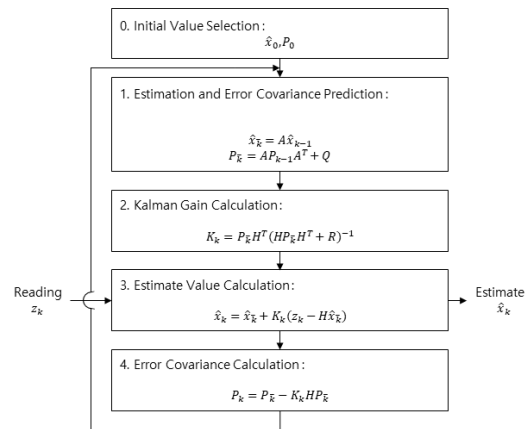


Fig. 1 Basic Model of Kalman-filter Algorithm

Kalman-filter는 최적의 값을 추적하기 위해 반복적인 연산을 진행하는 것을 목적으로 한다. 여기서 최적은 랜덤 변수 r 의 평균 제곱 추정 오차의 최소화를 의미한다. Kalman-filter의 기본 시스템 모델링 방법은 식 (1)과 같다[6][7].

$$\begin{aligned} r_{i+1} &= T_i r_i + V_i \\ m_i &= K_i r_i + W_i \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 r_i 는 상태 변수로, $n \times 1$ 의 형태이며, m_i 는 측정값으로써 $m \times 1$ 의 형태로 나타난다.

T 는 $n \times 1$ 의 열벡터로 r_i 와 r_{i+1} 의 관계로 나타냄으로써, 시간에 따른 시스템 동작 상태를 확인한다.

V_i 는 상태 변수에 영향을 주는 노이즈이며, W_i 는 센서에서 측정되는 노이즈를 나타낸다[8][9].

2.2. 기존 운동거리 측정 알고리즘

기존 운동거리 측정 알고리즘의 경우 운동량에 대한 정확도 측면에서 불편함이 발생하고 있으며, 정확한 운동거리 측정 제공이 이루어지지 않는다는 문제점이 있다.

일반적으로 특정 지점의 위치를 표현하는 방법은 가상의 지리좌표 값을 중심으로 측정하기 때문에 고도 값을 무시한 채로 거리를 측정한다는 문제점이 있다.

이를 보완하기 위해 DMACA (Distance Measuring Algorithm based Considering Altitude)에서는 GPS 고도 값을 받아 지리좌표 값을 통해 지점 위치 파악 및 지점 간 거리를 계산한다[10][11].

그러나 GPS 고도 값은 경사에 따라 오차 값이 발생할 수 있기 때문에 정확도가 저하된다는 문제점이 있어 정확한 고도 값을 통한 운동거리 측정이 필요하다.

정할 수 있다.

3.2. 사용자 운동거리 측정 알고리즘 구조도

본 논문에서 설계한 사용자 운동거리 측정 알고리즘의 구조도는 모바일 헬스 케어 기반으로 사용자가 운동 경로를 설정하고 이동하면서 스마트 디바이스의 GPS와 기압고도계 센서로부터 지리좌표 값 정보를 실시간으로 수집한다.

수집된 정보 중에서 고도 값을 통해 샘플링 구간으로 분류하여 구간마다 운동거리 측정 및 서버 저장을 진행하고, 서버에서는 해당 값들의 합산 결과를 통해 최종 운동거리를 측정할 수 있다. 설계한 알고리즘의 구조도는 그림 3과 같다.

III. Kalman-filter 기반 사용자 운동거리 측정 알고리즘 설계

3.1. 제안 알고리즘 개요

본 논문에서는 상호 보완적인 GPS와 기압고도계 센서의 지리좌표 값에 Kalman-filter를 적용하여 오차를 보정하는 사용자 운동측정 알고리즘을 설계하였다. 설계한 알고리즘의 개요도는 그림 2와 같다.

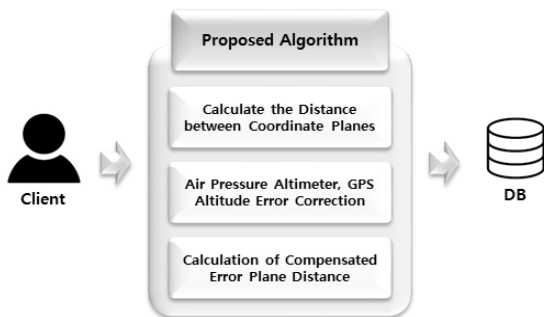


Fig. 2 Overview of Proposed Algorithm

GPS 고도 오차는 주변 환경에 영향을 많이 받지만 시간에 대해 독립적인 반면, 기압고도계는 주변 환경에 영향을 받지 않지만, 표준 모델과 실제 모델이 다를 경우에는 오차가 발생하므로 GPS 고도계와 기압고도계 센서를 Kalman-filter를 활용하여 융합하면 고도 값을 보

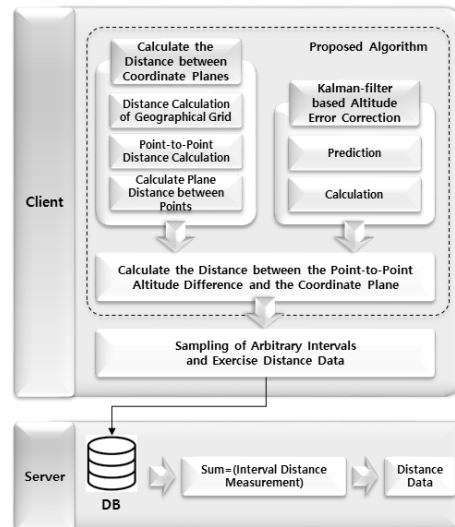


Fig. 3 Structure of Proposed Algorithm

3.3. 전체 알고리즘 설계

설계한 알고리즘은 Kalman-filter 부분과 좌표평면 사이거리 계산 알고리즘의 융합으로 구성되어 있다.

설계한 알고리즘은 GPS 고도 값의 오차 발생 시 Kalman-filter를 적용하여 예측 및 추정의 반복을 통해 GPS의 고도 값 오차범위가 큰 고도 값을 보정하여 정확한 고도 값을 측정하게 된다.

Kalman-filter는 예측, 보정 및 추정 단계로 구분되며, 예측 단계에서는 이전에 추정된 상태를 바탕으로 사용자 입력 시 예상 상태를 계산한다.

보정 및 추정 단계에서는 실제 측정된 상태를 기반으

로 예측 상태와의 비교를 통해 계산한다.

Kalman-filter는 두 단계의 반복을 통해 값을 찾기 때문에 GPS 고도 값의 오차율을 낮추고 정확도를 향상시킬 수 있다. 설계한 전체 알고리즘은 그림 4와 같다.

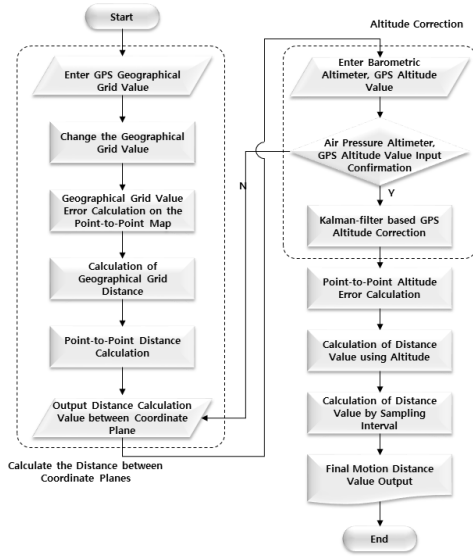


Fig. 4 Design of Full Algorithm

3.3.1. 좌표평면 사이거리 계산 알고리즘 설계

본 논문에서 설계한 알고리즘에 보정 고도를 적용하기에 앞서 기존 DMACA 알고리즘과 동일하도록 좌표평면 사이거리 계산 알고리즘을 적용한다. 좌표평면 사이거리 계산 알고리즘은 그림 5와 같다.

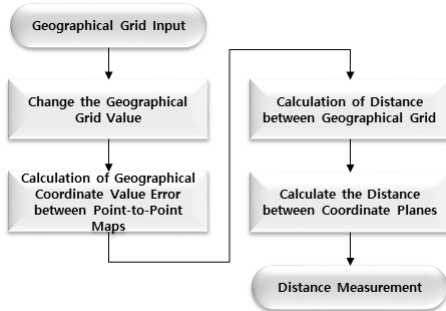


Fig. 5 Distance Calculation Algorithm for Coordinate Plane

좌표평면 사이거리 계산 알고리즘은 GPS를 이용하여 임의의 2 곳의 지점의 좌표 값을 이용하고, 각 지점 간의 거리 계산을 수행한다.

지점 간 좌표 값인 지리좌표 값은 소수점 아래를 절삭하여 정수 값만을 지리좌표 값으로 변경한다.

예를 들어 현재 위치의 위도가 43.38542 라면 이 값을 도/분/초로 분해하기 위해 정수 부분은 소수점 아래를 절삭한 43이 도의 값이 되고, 절삭된 0.38542 값에 60을 곱하여 나온 23.1252의 소수점 아래를 절삭한 정수 값인 23이 분의 값이 된다.

절삭된 0.1252 값에 60을 곱하여 나온 7.512의 정수 값인 7이 초의 값이 되며, 예시의 결과는 현재 위도의 43.38542는 북위 43도 23분 7초로 변경이 가능하다.

3.3.2. Kalman-filter 기반 센서 융합 알고리즘 설계

좌표평면 사이거리 계산 알고리즘을 이용해 2 곳의 지점 간 단순 거리계산을 통해 정확한 고도 적용을 위한 Kalman-filter 기반 사용자 운동거리 측정 알고리즘을 설계하였다. 설계한 알고리즘은 그림 6과 같다.

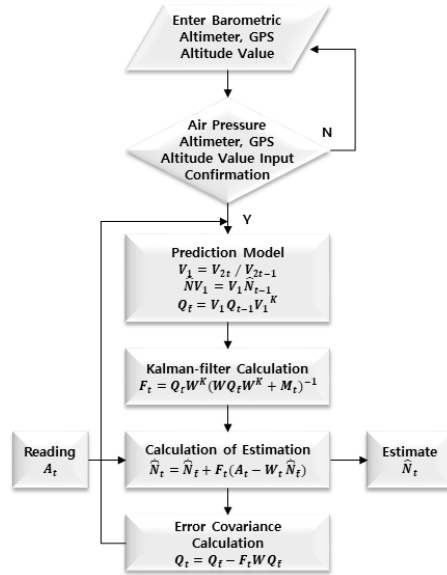


Fig. 6 Motion Distance Measurement Algorithm

Kalman-filter는 예측과 추정으로 구분되어 처리를 진행하며, 예측 값과 추정 값에 동일한 가중치를 곱하고, 곱한 값들을 더하여 최종 추정 값을 계산한다.

예측 단계의 경우 예측 값과 오차 공분산 예측 부분으로 동일하게 지정하고, 기압 고도계의 고도 변화율을 이용하여 계산된 변수 V_i 와 고도 예측 값은 이전 단계의 측정 고도 값을 이용해 산출 된다.

오차 공분산의 Q_i 는 이전 단계의 공분산을 통해 예측되고, 예측된 고도의 상태 값과 오차 공분산을 통해 Kalman-gain을 계산한다.

IV. 테스트 및 평가

4.1. 구현 환경

본 논문에서 설계한 사용자 운동거리 측정 알고리즘을 테스트하기 위한 구현 환경은 Windows 10 환경에서 Android SDK와 이클립스를 사용하였으며, Java를 이용해 기본 환경을 구축하였다.

4.2. 알고리즘 구현

설계한 알고리즘을 구현하기에 앞서 서버/클라이언트 모델 환경 구축을 통해 데이터의 유동성을 향상시켰다. 설계한 알고리즘의 구성도는 그림 7과 같다.

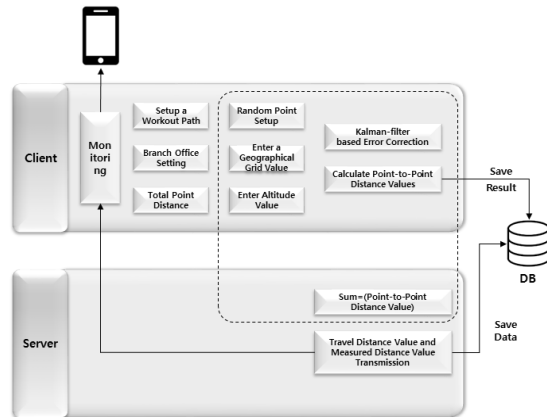


Fig. 7 Design of Algorithm Diagram

클라이언트에서 사용자의 운동 루트가 입력되면 구글 API를 이용하여 거리 값이 계산되며, 실제 거리 측정 및 입력을 통해 서버에 전송 및 저장된다.

실제 거리 측정을 반복하면서 스마트 디바이스 내의 GPS를 통해 지리좌표 값, 고도 값을 입력받고 시작과 끝 지점의 사이 구간들을 샘플링한다.

다음으로 Kalman-filter 기반 융합 알고리즘을 통해 고도 값의 정확도를 향상시키고, 서버에서는 저장된 값에 보정 고도 값을 적용하여 구간 별 거리 계산 및 서버 저장을 수행한다.

마지막으로 사용자가 운동을 종료하면 서버에 저장된 최종 운동거리 값을 클라이언트에 전송함으로써 사용자는 직접 운동한 거리를 모니터링 할 수 있게 된다.

4.3. 평가 방법

설계한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 구글 API를 통하여 운동 경로를 우선 설정하고, 해당 경로를 실제로 이동하면서 실제 측정을 진행한다.

실측한 거리 데이터를 기본 거리로 설정하고, 설계한 알고리즘을 적용한 경우와 비교평가를 진행한다.

또한 운동 경로로 설정한 구간에 DMACA와 설계한 알고리즘을 적용하여 각 운동거리를 실측하고, GPS와 기압고도계 센서를 통해 수집된 고도 데이터를 이용하여 임의의 구간을 샘플링한다.

이후 지점 간 거리에 각각의 알고리즘의 적용하여 계산 및 구간 별 계산 거리의 총합을 통해 최종 거리를 산출한다.

4.3.1. 테스트 시나리오

본 논문에서 제안한 평가 방법을 기준으로 구글 API가 제공하는 거리, DMACA 알고리즘을 적용한 거리, 실측한 운동거리, 제안 알고리즘을 적용한 거리를 비교하고자 한다. 테스트 시나리오는 다음과 같다.

- 구글 API를 기반으로 운동 경로 설정 및 거리를 측정한다.
- 설정된 운동거리 중 일정 거리에 대해 실측을 진행한다.
- 설정한 경로로 이동하면서 스마트 디바이스 내 GPS와 기압고도계 센서를 통해 지리좌표 값을 수집한다.
- 수집된 지리좌표 값을 통해 적분 차를 확인하고, 해당 발생지점을 샘플링 구간으로 구분 및 수집된 지리좌표 값을 DMACA 알고리즘과 제안 알고리즘에 적용한다.
- 각 알고리즘에 적용한 지리좌표 값 및 구간 별 거리를 측정한다.
- 최종적으로 구간 별 거리의 총합을 구하여 최종 거리를 측정한다.

4.4. 평가 결과

제안하는 평가 방법 및 테스트 시나리오를 통해 설계한 알고리즘을 테스트하였으며, 기존 알고리즘과 비교

를 통해 결과 값을 제시하였다.

테스트는 경기도 성남 지역에서 테스트를 진행하고, 구글 API를 통해 거리 측정 및 실측을 수행하였으며, 스마트 디바이스의 GPS와 기압고도계 센서를 통해 현재 위치와 고도 값을 수집한다.

수집한 값은 서버 저장 및 해당 값을 이용하여 기존 알고리즘과 설계한 알고리즘을 비교하였다.

이동 지점에서 수집된 고도 값의 차이를 이용하여 적분 값이 존재할 때 지점 간 사이의 구간을 샘플링 공간으로 지정하였다. 비교 결과는 그림 8과 같다.

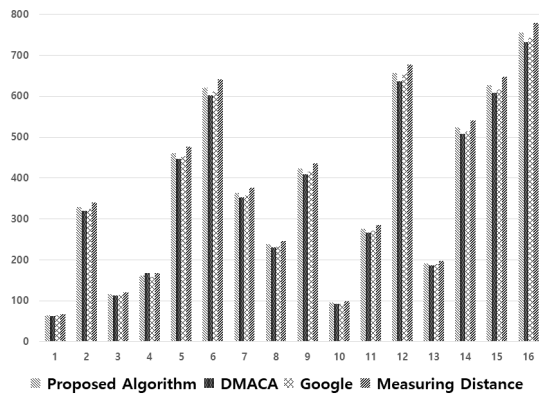


Fig. 8 Result of Comparison

수집된 고도 값을 통해 16개의 샘플링 구간을 선정하여 각 구간들에 대한 운동거리를 측정하였으며, 구간마다 설계한 알고리즘을 적용하여 실측한 거리와 비교하여 비교 대상 중에서 설계한 알고리즘이 가장 차이가 적은 것을 확인하였다.

또한 샘플링 구간 중에서 임의의 구간에 대해 비교 대상 및 설계한 알고리즘을 비교 평가하였으며, 실측 거리는 780m, 기존 DMACA 알고리즘의 거리 값은 732m, 설계한 알고리즘은 756m로 나타났다.

기존 DMACA 알고리즘의 경우 설계한 알고리즘과 동일하게 고도 값은 적용되지만 DMACA 알고리즘은 오차가 보정되지 않기 때문에 고도를 보정하고 거리를 측정할 설계한 알고리즘의 정확도가 더 높은 것을 확인하였다.

특히 테스트 대상 지역인 성남 지역에서 샘플링한 구간의 평균 고도 높낮이가 다른 구간에 비해 차이가 심하기 때문에 고도 값이 적용되지 않거나 오차가 보정되지

않은 기존 알고리즘에 비해 고도 및 오차가 보정된 설계한 알고리즘의 정확도가 향상된 것을 확인하였다.

V. 결론

최근 고령인구가 증가하면서 건강관리를 통한 삶의 질 향상에 대한 관심이 급증하고 있다.

특히 IT 기술 발전 및 스마트 디바이스 보급률이 급증하면서 조깅이나 걷기, 심박수 체크 등과 같은 유산소 운동과 관련된 서비스들이 주목받고 있다.

이러한 서비스들을 제공하기 위한 핵심 요소는 정확한 운동거리 측정이며, 이를 통해 사용자에게 운동시간 및 운동량, 운동거리 등 다양한 정보를 제공한다.

그러나 기존의 운동량 측정 서비스의 경우 고도 정보를 사용하지 않거나, GPS 고도의 오차를 보정하지 않은 거리 측정 알고리즘을 이용하기 때문에 제공되는 거리 및 운동량이 정확하지 않다는 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 문제점을 개선하고자 Kalman-filter 기반 GPS와 기압고도계 센서 융합 알고리즘을 통해 고도 값의 정확도를 향상시키고, 좌표평면 사이거리 계산을 통해 Kalman-filter 기반 사용자 운동거리 측정 알고리즘을 설계 및 구현하였다.

설계한 알고리즘을 기존 DMACA 알고리즘과 비교 평가한 결과 설계한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 평균 약 2.17%의 정확도가 향상된 것을 확인하였다.

본 연구에서 설계한 알고리즘은 운동량 측정의 정확도 향상, 웨어러블 디바이스 등에 관한 연구의 기반 자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

References

[1] H. S. Kim, T. Y. Kim, and J. B. Chai, "Study of Online Sensor Calibration Monitoring Using a Kalman Filter," *Journal of Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A*, vol. 42, no. 4, pp. 301-309, Apr. 2018.

[2] G. B. Lee, "A Fast Moving Object Tracking Method by the Combination of Covariance Matrix and Kalman Filter Algorithm," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 6, pp. 1477-1484, Jun, 2015.

- [3] J. H. Jung, J. E. Song, and J. H. Ahn, "Localization of Mobile Users with the Improved Kalman Filter Algorithm using Smart Traffic Lights in Self-driving Environments," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 24, no. 5, pp. 67-72, May, 2019.
- [4] Y. S. Park, "Approaching Target above Ground Tracking Technique Based on Noise Covariance Estimation Method-Kalman Filter," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no 10, pp. 810-818, Oct, 2017.
- [5] G. S. Park, and D. M. Lee, "A Study on the Localization Algorithm of Moving Object Based on Kalman Filter in Indoor Wi-Fi Environment," in *Proceeding of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, South Korea, pp. 411-412, 2017.
- [6] D. H. Kim, "Exercising Measuring System Based On Smart phone GPS," Master Thesis of Kangwon University, 2011.
- [7] Y. S. Lee, "Abrupt Error Detection of Mobile Robot Using LMS Algorithm to Residuals of Kalman Filter," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 10, no. 7, pp. 1332-1337, Jul, 2006.
- [8] J. S. Park, and Y. A. Kwon, "Sensorless Control of 3-phase PFC AC/DC Converter using Kalman Filter," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 5, pp. 998-1004, May, 2016.
- [9] G. S. Park, B. Labinghisa, J. W. Choi, and D. M. Lee, "A Study on the Efficiency of the Indoor Localization Algorithm based on Kalman Filter in NLOS Environment," in *Proceeding of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, South Korea, pp. 182-183, 2016.
- [10] H. J. Kim, and B. H. Lee, "Kalman Filter based IMU and SLAM Pose Information Fusion for 2D Mapping," in *Proceeding of the Institute of Control, Robotics and Systems*, South Korea, p. 482-483, 2018.
- [11] S. Y. Park, J. H. Park, H. Y. Wang, J. H. No, and U. Y. Huh, "Localization using Fuzzy-Extended Kalman Filter," *Journal of the Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 63, no. 2, pp. 277-283, Feb, 2014.



장영환(Young-Hwan Jang)

가천대학교 IT융합공학과 컴퓨터공학(석사 졸업)
가천대학교 IT융합공학과 컴퓨터공학(박사과정)

※관심분야: IoT, 헬스케어, 네트워크



임수봉(Subong Im)

가천대학교 모바일소프트웨어학과(석사 졸업)

※관심분야: 헬스케어, 모바일, 네트워크



박석천(Seok-Cheon Park)

고려대학교 컴퓨터공학(공학박사 졸업)
가천대학교 IT대학 컴퓨터공학과 정교수 역임
연세대학교 방송통신정책연구소 소장

※관심분야: 네트워크, 모바일, 빅데이터



이봉규(Bong-Gyou Lee)

Cornell University, Dept. of CRP(박사 졸업)
연세대학교 정보대학원 ICT·콘텐츠트랙 교수
연세대학교 학술정보원 원장(CIO, CPO)

※관심분야: 네트워크, 헬스케어, IoT



이상순(Sang-Soon Lee)

인하대학교 컴퓨터공학(공학박사 졸업)
가천대학교 컴퓨터공학과 교수

※관심분야: 네트워크, 모바일, IoT