ISSN 1598-0170 (Print)
ISSN 2287-1136 (Online)
http://www.jksii.or.kr

로드셀 기반의 실내 위치추적 보완 기법

Supplementation of the Indoor Location Tracking Techniques Based-on Load-Cells Mechanism

이 남 수[1] 문 승 진[2*]
Nam-Su YI Seung-Jin Moon

요 약

기존의 실내 침입 탐지 및 대상 객체의 이동 경로 추정은 객체가 수신 장치를 갖고 있어야 하는 문제점과 단일 셀(약 100cm * 100cm)의 공간 내에 객체의 수와 이동 범위를 파악할 수 없는 문제가 지적되어 왔다. 이러한 방법을 해결하기 위해 보편적으로 사용되는 기술인 CCTV를 이용한 방법은 환경적인 변수로 인하여 상당히 제한적일 뿐만 아니라 음영 지역에서(e.g., 상황인식 시스템이 설치되지 않은 곳, 광량이 현저히 낮아 환경의 상황을 파악할 수 없을 경우) 서비스를 받을 수 없다. 이에 본 논문은 센서 네트워크(Sensor Network) 시스템 기반의 객체 탐지 및 대응의 범위 확대가 가능함과 동시에 대상 객체의 이동경로 추적을 능동적으로 대응할 수 있는 실내 보안감시 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 가상의 시나리오에 기반을 두어 구현되었으며, 기존 시설에서 발생할 수 있는 환경적인 단점인 신호의 단절 및 사물의 위치 추정에 대한 손실을 보완하며, 위급한 상황 및 객체에 대한 행동 패턴의 신속한 분석이 가능케 되어, 비상시 사고 예방 및 발생된 상황에 대한 유연한 대처가 가능하리라 사료된다.

☞ 주제어 : 위치추적, 실내 위치추적, 로드셀, 무태그 위치추적, 센서 네트워크

ABSTRACT

Current indoor intrusion detection and location tracking methods have the weakness in seamless operations in tracking the objective because the object must possess a communicating device and the limitation of the single cell size (approximate 100cm * 100cm) exits. Also, the utilization of CCTV technologies show the shortcomings in tracking when the object disappear the area where the CCTV is not installed or illumination is not enough for capturing the scene (e.g. where the context-awarded system is not installed or low illumination presents). Therefore, in this paper we present an improved in-door tracking system based on sensor networks. Such system is built on a simulated scenario and enables us to detect and extend the area of surveillance as well as actively responding the emergency situation. Through simulated studies, we have demonstrated that the proposed system is capable of supplementing the shortcomings of signal cutting, and of estimating the location of the moving object. We expect the study will improve the better analysis of the intruder behavior, the more effective prevention and flexible response to various emergency situations.

☞ keyword : Location tracking, In-door Location Tracking, Load-Cell, Tag-less Location Tracking, Sensor Networks

1. 서 론

현재 LBS(Location-Based Service)를 기반으로 객체(Object)의 위치를 어느 정도 예상할 수 있으나, 특정 공간에서 객체의 침입 탐지와 실시간으로 움직이는 객체의 즉각적인 대응 및 위치추적에는 한계가 존재한다.[1]

[1,2] Department of Computer Science, University of Suwon, Gyeonggi-Do, Korea.
[*] Corresponding author (sjmoon103@hotmail.com)
[Received 18 April 2016, Reviewed 22 April 2016(R2 17 June 2016), Accepted 6 September 2016]
☆ 본 논문은 이남수(2014)의 석사학위 논문을 수정 및 보완한 논문입니다.

객체의 위치를 추정하기 위해 일반적으로 위성 신호(GPS;Global Positioning System)를 사용하는 방법과 태그를 기반으로 하는 위치 추정 방법이 사용되고 있으며, 이러한 방법 모두 삼각측량(Triangulation Method)의 원리를 통하여 시작 지점과 마지막 지점의 거리를 계산하는 과정의 반복으로 대략적인 위치를 파악할 수 있다.[2]

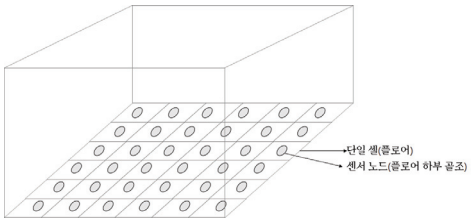
객체의 위치를 추적하기 위해서 영상처리기법인 CCTV(Closed-Circuit Television)를 이용하여 객체를 탐지할 수 있는 영역에서는 문제가 되지 않지만 객체가 탐지 가능한 범위를 벗어나게 되면 객체의 이동 및 경로 탐색에 손실이 생겨 문제가 발생하게 된다.[3]

기존 침입 탐지 및 대상 객체의 이동 경로 추정은 객체가 GPS 신호 및 특정 신호를 인식할 수 있는 수신 장치를

http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2016.17.6.01

갖고 있어야 하는 문제점 및 주변 사물의 신호 간섭으로 정확도가 떨어지게 되며, 단일 셀(Cell)(약 100cm * 100cm)의 공간 내에 존재하는 객체의 수와 이동 범위를 파악할 수 없는 문제가 지적되어 왔다.[4] 이러한 방법을 해결하기 위하여 영상처리기법인 CCTV를 이용한 방법은 환경적인 변수 등으로 객체 탐지에 상당히 제한적일 뿐만 아니라 음영 지역에서(e. g. 상황인식 시스템이 설치되지 않은 곳, 광량이 현저히 낮아 환경의 상황을 즉각 대응할 수 없는 경우)서비스를 받을 수 없다.[5]

기존 시스템의 문제점을 보완하고자 객체의 힘(응력) 작용을 통해 얻어지는 변화 값을 이용하여 움직임에 대한 추측 데이터를 수집한 뒤 무선으로 전송할 수 있도록 센서 노드를 설계하여 수집된 데이터를 바탕으로 단일 표면적에 발생된 부하의 시간차를 계산하고 침입자의 이동 경로를 추정 및 유효성을 증명하기 위하여 통합노드 모듈 설계 상 바닥이 플로어 형태인 특정 공간으로 제한을 두었으며 제한된 영역 내 대상의 침입 탐지와 이동 경로 추정의 유효성 검증을 위해 테스트베드의 연구 모형을 실내로 한정하고, 테스트 베드의 환경은 각각의 플로어 셀이 설치되어 있는 35.8㎡ 공간의 환경에서 실험을 진행하였다.



(그림 1) 단일 셀과 센서 노드 구상도
(Figure 1) Single cell and sensor node design

실측된 플로어의 무게(약 25㎏)와 건장한 성인 한명의 평균 몸무게(약 85㎏)를 초과한(도합 약 105㎏) 범위를 계산하여 합산된 총합 약 0㎏ ~ 160㎏ 범위를 측정할 수 있는 로드셀을 싱크(Sink)에 미리 지정된 위치에 설치하여 하나의 셀의(약 60cm * 60cm 이하 플로어 셀) 좌표 값을 기반으로 대상의 이동 경로를 파악하고 침입자의 움직임이 감지된 플로어 셀의 좌표 영역과 이전에 감지된 플로어 셀의 시간차를 계산하여 침입자의 보행상태(느리게 걷기, 빠르게 걷기, 느리게 뛰기, 빠르게 뛰기)를 추정 계산하며 긴박한 상황에 대한 정황을 포착할 수 있는가에 중점을 두고 연구 진행을 하였다.

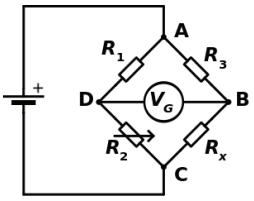
2. 관련 연구

2.1 로드셀

로드셀은 외부의 응력에 의하여 물리적인 비례로 변화하는 탄성체와 이를 전기적인 신호로 바꿔주는 스트레인게이지(Strain Gauge), 자왜식, 자이로식 등을 이용한 하중 감지 센서(Transducer)이다.[6] 로드셀의 작동 원리는 센서에 힘을 가하거나, 하중에 의한 변형이 일어날 경우 탄성변형체(Elastic Strain Member) 감지부에서 발생하는 물리적 변형이 스트레인게이지를 통하여 전기저항으로 변화하고, 전기회로(Wheatstone Bridge)를 구성하여 정밀한 전기 신호로 변환시켜 물체의 하중을 측정하게 된다.[7]

(그림 2) 로드셀의 객체 힘(응력) 측정 순서
(Figure 2) The object of a stress on a sequence of measures

환경적인 측면에서 로드셀은 매우 민감한데, 50℃이상일 경우 온도에 대한 보상을 반드시 해야 한다. 온도가 1℃증가할 때마다 0.0015%의 오차를 벗어나면 안 되며, 영점내의 온도 보상에서는 0.0027% 안에 들어와야 하고[8] 측정하고자 하는 객체의 특성 및 용량, 정밀도 등을 판단하기 위해서는 탄성 변형체에 가해진 하중에 반응하여 스트레인게이지를 부착한 지점에 집중적인 변형률을 발생시켜야 하며, 하중의 크기에 비례하여 직선적 변화를 가져야 한다.[9]



(그림 3) 전기회로(Wheatstone Bridge)의 구성
(Figure 3) Components for whetstone bridge

2.2 센서 네트워크(Sensor Network)

2.2.1 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)

Ad-Hoc 기반으로 구성되는 네트워크는 기지국이 필요 없이 자체적으로 네트워크 환경을 조성하여 특정 지역의 이벤트를 감지하고 지역 내 구성되어 있는 센서 노드(Sensor Node)를 활용하여 환경의 변화에 따라 반영된 데이터를 받을 수 있다.[10] 각 센서 노드는 데이터 수집을 위하여 존재하며 수집된 데이터를 각 센서 노드가 공유하고 베이스 스테이션으로 보내며 이 데이터를 바탕으로 정보로 가공된다. 사용자는 센서 주변의 정보를 원격으로 수집하여 활용할 수 있게 된다.

2.2.2 Zigbee

직비(Zigbee)는 유비쿼터스 센서 네트워크의 대표적인 기술 중 하나로서 IEEE 802.15.4 표준의 물리 계층을 근간으로 개인 통신망(PAN;Personal Area Network) 용도를 위해 만들어졌다.[11] 독립적 역할을 수행, 개인통신망의 네트워크 참여 및 요청, 직비 노드의 검색 및 자체 보안에 관련하여 여러 가지 기능의 능동적인 네트워크 환경을 구축할 수 있다.[12]

3. 시스템 설계 및 구현

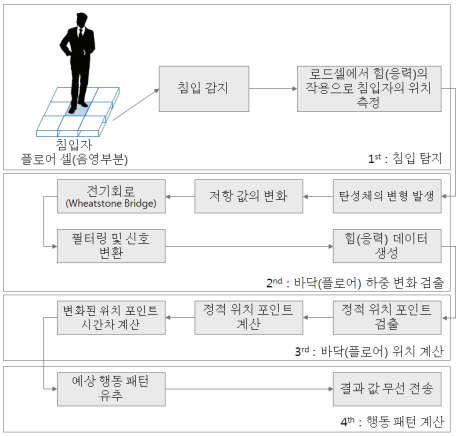
본 논문에서는 로드셀이 장착된 센서 네트워크 노드를 제작하여 기존 플로어의 무게에 가중된 데이터를 기반으로 침입자 탐지와 미리 지정된 위치에 설치된 노드의 좌표 값으로 대상의 이동 경로 파악을 가능하게 하고, 침입자의 움직임이 감지되면 이동된 노드의 좌표 범위와 감지된 시간을 계산하여 침입자의 보행상태를 추정 가능한 시스템을 제안하였다. 그림 4는 본 논문에서 제한하는 전체 시스템 흐름도를 나타내었다.

1단계에서는 본 논문에서 제안된 시스템을 위해 제작된 로드셀 센서와 네트워크 통신용 모듈을 통합한 노드(이하 통합노드)로부터 수신된 데이터를 기반으로 적정 하중을 계산하여 침입탐지를 수행한다.

침입 탐지가 이루어진 경우 2단계에서 침입자가 밟고 있는 플로어의 무게 변화량을 감지하기 위한 통합노드의 계산이 수행된다.

3단계에서는 무게변화에 반응한 플로어의 위치를 고정 좌표를 통해 산출하고, 이동시 발생된 플로어의 이동 위치와 속도를 계산한다.

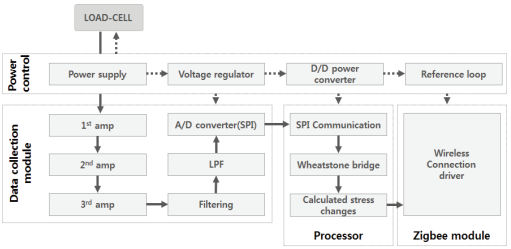
마지막 4단계에서는 계산 되어진 플로어의 위치, 속도 등을 기반으로 침입자의 보행상태 및 이동 경로 등을 추정한 후 각 이종 보안 시스템으로 전달하게 된다.



(그림 4) 시스템의 흐름도
(Figure 4) System implementation diagram

침입자는 로드셀이 설치된 플로어를 일정 보폭 또는 이동하면서 각 플로어 셀이 침입자의 하중을 인식하게 된다.[13] 설치된 셀의 좌표 값을 기반으로 침입자의 이동 경로와 이전 셀과 현재 셀의 시간차를 통해 보행상태를 추정할 수 있다. 로드셀은 데이터 시트에서 100ms 단위로 응답 성능을 보이나, 본 논문에서 제시된 로드셀 데이터 성능개선 알고리즘 처리로 인해 최소 400ms의 시간이 필요하다. 로드셀의 정확한 측정의 최적 조건인 23℃에서 작동 시 초기 무부하 상태(Zero balance) 값 보정을 수행하도록 되어 있다. 이에 따라 제안하는 시스템에서는 약 500ms 단위로 연속 측정이 가능하도록 설계하였다.

설계된 시스템은 그림 5와 같이



(그림 5) 통합노드 모듈의 흐름도
(Figure 5) Development of Integrated module diagram

(1) 정전압을 공급받기 위한 모듈
(2) 데이터 수집 및 3차 미소신호 증폭과 신호 증폭에 따른 white 노이즈 제거 필터와 로우패스 필터(LPF)로부터 최종 수집된 데이터를 디지털(SPI; Serial Peripheral Interface) 신호 처리부
(3) 로드셀 전기회로(Wheatstone Bridge)와 값 계산을 위한 프로세서
(4) 저전력 통신을 위한 직비(Zigbee) 모듈을 부착하여 1:n 통신이 가능한 통합 모듈을 제작하였다.

직비를 이용한 센서 네트워크 환경은 다중 통합 모듈의 원활한 통신과 네트워크 복잡도를 개선하기 위해 초기 전원 인가 후 각 통합모듈 간 초기화 메시지를 주고받으며, 초기 메시지에는 시간 동기화를 위한 패킷이 포함되어 각 통합노드는 다음과 같은 단계를 위한 준비 상태로 전환한다.

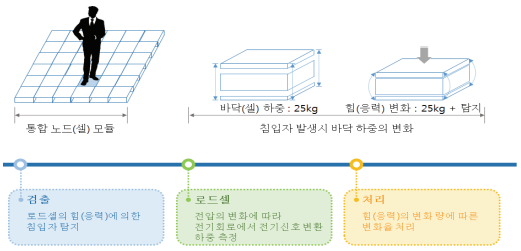
(1) 베이스 스테이션으로부터의 동기화
(2) 플로어의 힘(응력) 계산
(3) 가중된 힘(응력) 측정값의 보정 및 패킷화
(4) 생성된 패킷의 베이스 스테이션 전송 및 2번 항목 반복(Looping)

동일한 센서에서도 오차가 존재하기 때문에(Signal to Noise Ratio) 오차를 줄이기 위한 표준 샘플링 데이터를 필요로 한다.

3.1 플로어의 침입 탐지 예측

본 논문에서 지정된 공간에 설치된 플로어의 기본 무게와 침입 탐지 시 플로어의 하중 변화를 측정해야 한다. 따라서

(1) 일반 상태에서의 통합 노드에 인가된 하중 평준화
(2) 침입 탐지 시 변화된 플로어의 하중 계산이 반드시 수반되어야 한다.



(그림 6) 객체의 단일 표면적 부하 발생 흐름도
(Figure 6) Single surface area on load of object flow chart

플로어 셀의 객체 탐지를 위해 로드셀에서 힘(응력)의 변화 값을 측정하게 되는데 초기 변화 분에 변형 길이의 비로 변형률을 측정한다. 측정된 변형률은 식 1과 같이 변화 값을 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned} e &= k \times STRAIN \times E \\ &= dR/R \times E \end{aligned} \tag{1}$$

이때 e는 로드셀의 출력 값이고, E는 인가된 전압, k는 상수로 표현한다.

사용된 센서의 특성상 위 수식에서 로드셀의 출력 값은 단면적에 의한 값을 이용하였으므로, 이에 대한 전체 면적의 응력과 변형률을 변환해야 한다. 이때 저항변화와 변형률의 선형적인 표현을 위해 식 2를 사용하여 계산한다.

$$\frac{\Delta R}{R} = K\frac{\Delta L}{L} = K \times \varepsilon = K\frac{\sigma}{E} \tag{2}$$

여기서 R은 스트레인 게이지 저항 값이고, K는 스트레인 게이지의 게이지 상수(Gauge Factor)이며, ε은 변형율, σ은 응력, E는 물체의 탄성계수이다.

로드셀에 응력의 변화로 변형률이 발생된 경우 스트레인 게이지의 전기회로(Wheatstone Bridge)에 의해 전압 변화량으로 환산할 경우 식 3과 같이 나타낼 수 있다.[14]

$$V_{out} = V_{IN}\left[\frac{\Delta R_1}{R_1 + R_4} - \frac{\Delta R_2}{R_2 + R_3}\right] \tag{3}$$

이때 R은 스트레인 게이지 저항변화이고, V_{out}는 출력전압, V_{IN}은 입력전압이다.

식 3으로부터 얻어진 값은 미소전압으로 본 논문에서 사용된 ARM9 계열의 프로세서에서 정밀한 탐지가 불가능하므로 증폭과 필터링 과정이 필요하다. 미소전압의 증폭은 회로를 구성하여 식 4와 같이 미소 전류를 증폭하였다.

$$\begin{aligned} V_{out} = {} & V_{IN} + \left(1 + \frac{2R_{F2}}{R_G}\right)R_4\left(\frac{R_1 + R_2}{(R_3 + R_4)R_1}\right) - \\ & V_{IN} - \left(1 + \frac{2R_{F1}}{R_G}\right)\left(\frac{R_2}{R_1}\right) + V_{ref}R_3\left(\frac{R_1 + R_2}{(R_3 + R_4)R_1}\right) \end{aligned} \tag{4}$$

식 (10)의 $R_{F2} = R_{F1}, R_1 = R_3, R_2 = R_4$일 경우 간략하게 변경하면 식 5와 같다.

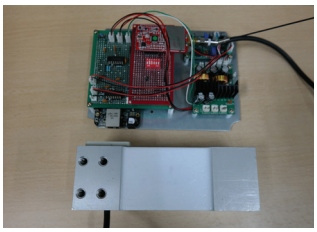
$$V_{out} = (V_{IN+} - V_{IN-})\left(1 + \frac{2R_F}{R_G}\right) + V_{ref} \tag{5}$$

3.2 평면 좌표계의 이동 경로 및 보행상태 추정

객체는 플로어 셀을 일정 보폭 혹은 주행으로 이동하면서 단일 표면적에 부하를 발생 시킨다. 설치된 셀의 좌표 값을 기반으로 객체의 이동 경로와 이전 셀과 현재 셀의 시간차를 통해 보행상태(느리게 걷기, 빠르게 걷기, 느리게 뛰기, 빠르게 뛰기 등)를 추정할 수 있다.

4. 실험 및 유효성 검증

제안하는 시스템에 대한 유효성 검증을 위해 각각 플로어 셀의 싱크(Sink)에 그림 7의 통합노드를 설치하였다.



(그림 7) 제작된 통합노드
(Figure 7) Manufactured in a modular system

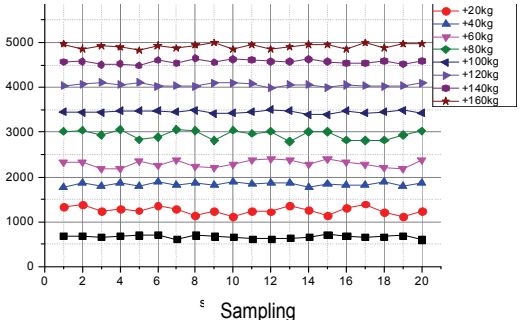
표 1는 시스템의 유효성검증을 위한 항목으로
(1) 객체의 하중 별 가중치 설정
(2) 부하 시점으로부터 침입자의 이동경로
(3) 객체의 보행상태 추정 항목으로 구성하여 각 20회씩 측정하여 유효성을 검증하였다.

(표 1) 대표 유효성 검증 항목 기준
(Table 1) Effectiveness verification method

평가항목	평가방법
1. 객체탐지 능력	객체의 하중 별 가중치 수집 능력
2. 이동경로 추정 능력	플로어 셀에 부하 발생 시 시간영역대 비교
3. 보행상태 추정 능력	부하가 발생된 플로어 셀의 인접한 플로어 셀

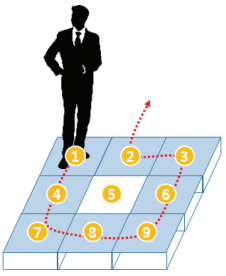
항목 1은 객체의 하중 별로 플로어 셀의 단일 표면적에 발생된 부하의 전압 차이를 알아보기 위하여 건장한 신체의 남성(약 85Kg), 청소년(약 43Kg), 고양이(약 5.2Kg)등 여러 객체를 샘플링한 결과는 그림 8과 같다.

노드에서 데이터를 받은 결과 로드셀의 데이터 시트와 출력 전압이 약 240㎷정도 차이가 있었으나, 본 연구의 목적은 정확한 무게 측정이 아니므로 각 객체 영역별 하중 전압이 명확히 구분될 수 있기 때문에 이동경로 추정에 문제가 없었다.



(그림 8) 객체의 하중별 가중치
(Figure 8) Load weight of the object

다음은 항목 2와 항목 3의 검증을 위하여 그림 9와 같이 객체가 위치한 플로어 셀 1 영역에서 임의의 이동 패턴을 가정하여 4-7-8-9-6-3-2의 순서로 이동한 결과는 그림 10과 같다.



(그림 9) 침입 탐지 및 이동 경로 추정을 위한 이동 패턴
(Figure 9) Intrusion detection and movement pattern to the move route estimation

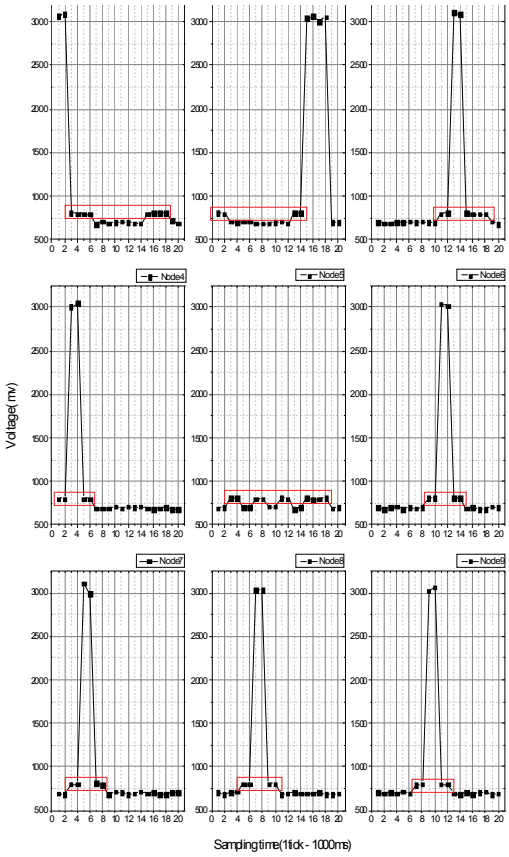
그림 10에서 x축은 센싱에 필요한 500ms의 단위로 연속 측정한 값이고, y축은 측정된 전압(㎷)이다.

그래프 상에 표현된 사각형 박스 부분은 객체가 단일 표면적에 부하를 발생시킨 상태를 나타내고 있다. 고양이와 같이 무게가 영역별 하중에 미치지 못하는 경우 탐지 목적에 부합하지 않아 무시하도록 설정하였으며, 실제 침입 탐지에 영향을 주지 않았다. 각 통합노드의 데이터를

확인하면 시간에 따라 부하된 데이터를 얻을 수 있었고, 그래프로 표현하면 그림 10과 같은 형태의 침입자 이동 경로를 추정할 수 있게 된다. 플로어 셀 2 영역에서는 약 2000ms 대기함을 그래프 상에서 확인 할 수 있었다.

그림 10에서 얻을 수 있는 결과는

(1) 객체의 단일 표면적 부하 감지
(2) 객체의 이동 경로 파악
(3) 인접한 플로어 셀의 가중치 데이터는 무시함
(4) 데이터 표본화에 따른 노드별 오차범위 축소를 확인
(5) 플로어 셀 별 이동경로의 시간차이를 파악하여 보행상태(느리게 걷기, 빠르게 걷기, 느리게 뛰기, 빠르게 뛰기 등)를 추정할 수 있을 것으로 판단한다.



(그림 10) 이동패턴에 따른 플로어셀의 변화 값 추이
(Figure 10) Changes as the floor cell variables to the movement pattern

5. 결 론

본 논문에서는 로드셀에서 응력의 작용을 통해 얻어지는 전기적인 신호를 기반으로 객체의 침입 탐지를 예상하고, 플로어 셀의 단일 표면적에 발생된 부하를 통해 객체의 이동경로 파악 및 보행상태를 추정할 수 있는 연구를 테스트 베드 내 실험을 통하여 증명 및 검증을 하였다.

실내 위치 탐색의 단점으로 제시되고 있는 신호 단절 및 사물 위치의 탐색 손실률을 미연에 방지함으로서 기존 보안 감시 시스템의 환경적인 변수를 오차 범위 내에서 지속적인 감시가 가능하게 되므로 설치된 영역에 어떠한 상황이 발생되었고, 단일 표면적에 발생된 부하 데이터를 측정하여 객체의 이동상태 및 보행상태를 추정함으로서 상황에 맞는 적절한 대응을 할 수 있을 것이라 사료된다. 현재 구축된 플로어 셀은 하나의 로드셀로서 플로어 평면에서 얻어지는 부하의 값의 신호만으로 60cm * 60cm의 전체를 포함하게 되어 다중 객체의 판단이 떨어지게 된다. 향후에는 이를 보완하고자 셀의 하부 각 모서리 점(Anchor Point)과 중앙 점(Center Point)을 구분 짓고 총 5개의 3축 로드셀 포인트를 X 형태로 분산 시켜 로드셀의 변위각에 따른 평균값을 축척하여 위치 정확성 및 다중 객체의 추정이 가능하리라 판단한다. 이번 연구를 통하여 실내의 위치 추정의 단점으로 제시되고 있는

(1) 객체가 위치 추정을 위하여 태그를 소지해야하는 것과
(2) 보안감시 영역에서 벗어나는 상황 또는
(3) 신호의 단절 및 사물의 위치에 따른 위치 추정에 대한 손실 발생 시 이를 보완하는 것이 가능하다고 사료된다.

향후 본 연구를 지속 발전할시 위급한 상황에 따른 침입자에 대한 행동 패턴을 정밀하게 분석하여 환경적인 상황을 즉각 추정하고, 이를 통하여 실내의 보안 감시 체계의 단점을 보완할 수 있을 것으로 예측한다.[15]

참 고 문 헌 (Reference)

[1] H. Jang, J. Choi, “A Study on the LBS-Based Path Deviation Detection”, Inf. Technology, Vol 11, pp.183-189, 2013.
http://dx.doi.org/10.14801/kiitr.2013.11.3.183

[2] S. Yeh, W. Hsu, “A study on outdoor positioning technology using GPS and WiFi networks”, ICNSC ‘09 International Conference on, Vol 2009, pp.597-601, 2009. http://dx.doi.org/10.1109/icnsc.2009.4919345

[3] W. Park, Y. Seo, “Efficient Object Selection Algorithm by Detection of Human Activity”, Signal Process., Vol 47, pp.61-69, 2010. http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01447997

[4] Y. Morales, T. Tsubouchi, “DGPS, RTK-GPS and StarFire DGPS Performance Under Tree Shading Environments”, ICIT ’07. IEEE International Conference on, Vol 2007, pp.519-524, 2007. http://dx.doi.org/10.1109/icitechnology.2007.4290370

[5] T. Seo, S. Lee, “An Analysis of Vulnerabilities and Performance on the CCTV Security Monitoring and Control”, J. KOREA Multimed. Soc., Vol 15, pp.93-100, 2012. http://dx.doi.org/10.9717/kmms.2012.15.1.093

[6] A. J. Feilzer, A. J. De Gee, C. L. Davidson, “Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration”, J. Dent. Res., Vol 66, pp.1636-1639, 1987. http://dx.doi.org/10.1177/00220345870660110601

[7] T. Park, M. Yang, T. Baek, “Design and Assembling of Load and Strain Measuring Equipment using Strain Gage and A/D Converter”, Korean Society Of Precision Engineering, Vol 2006, pp.293-294, 2006. http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE00846267

[8] G. Park, G. Choi, K. An, “A Study on the Temperature Compensation of Load Cell Weighing Sensor”, The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol 1993, pp.1298-1300, 1993. http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01346589

[9] V. E. Cowles, R. E. Condon, “A quarter Wheatstone bridge strain gage force transducer for recording gut motility”, Am. J. Dig. Dis., Vol 23, pp.936-939, 1978. http://dx.doi.org/10.1007/bf01072470

[10] P. Baronti, P. Pillai, “Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards”, Computer Commun., Vol 30, pp.1655-1695, 2007. http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2006.12.020

[11] KINNEY, Patrick, “Zigbee technology: Wireless control that simply works”, Communications design conference, p. 1-7, 2003. http://www.academia.edu/download/26250418/home_toys_article_-_zigbee..pdf

[12] R. C. Shah, J. M. Rabaey, “Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks”, Wireless Communications and Networking Conference, Vol 1, pp.350-355, 2002. http://dx.doi.org/10.1109/wcnc.2002.993520

[13] K. Ie-Sung, S. Won-Kyung, K. Wha-Jung, “Development of the Smart Concrete Applied Wheatstone Bridge”, J. Archit. Inst. KOREA Struct. Constr., Vol 21, pp.113-119, 2005. http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE00585346

[14] S. Chu, J. Park, J. Lee, J. Park, “Development of 3-axis Loadcell for Measuring the Side Force of MPV Using Design of Experiment”, Korean Soc. Automot. Eng., Vol 15, pp.83-93, 2007. http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.353-358.2802

[15] N. YI, “Estimating Location based on Changes in Stress Measured with Load-Cell”, University of Suwon, pp.1-45, 2014. http://www.riss.kr/link?id=T13727912

◐ 저 자 소 개 ◑

이 남 수 (Nam-Su YI)
2013년 수원대학교 컴퓨터학과(공학사)
2015년 수원대학교 대학원 컴퓨터학과(이학석사)
관심분야 : 센서네트워크, 위치기반서비스, 그리드컴퓨팅, HMI 등.
E-mail : namsu@suwon.ac.kr

문 승 진 (Seung-Jin Moon)
1986년 미국 텍사스 주립대학교 컴퓨터학과(이학사)
1991년 미국 플로리다 주립대학교 컴퓨터학과(이학석사)
1997년 미국 플로리다 주립대학교 컴퓨터학과(이학박사)
1997~현재 수원대학교 컴퓨터학과 교수
관심분야 : 실시간 센서네트워크 운영체제, 실시간 데이터베이스, 센서네트워크, 위치추적 등.
E-mail : sjmoon@suwon.ac.kr