

Height Prediction Mechanism for Smart Surveillance Systems

Jaeseok Shim[†] · Yujin Lim^{**}

ABSTRACT

Wireless Sensor Network(WSN) has been attracting lots of interest in recent years for smart surveillance systems. WSN-based surveillance systems need to figure out the occurrence or existence of events or objects and to find out where the events have occurred or the objects are present. In our surveillance system, it is needed to give an alarm only when the detected object is human (not pets or rodents) for reducing false alarms and improving the system reliability. In this paper, we propose a height prediction mechanism to determine if the detected object is human using Heron's formula. Finally, we verify the performance of our proposed mechanism through various experiments.

Keywords : Height Prediction, Surveillance System, Wireless Sensor Network

지능형 보안 감시 시스템을 위한 높이 예측 메커니즘

심재석[†] · 임유진^{**}

요약

오늘날 Wireless Sensor Network(WSN)은 보안 감시 시스템의 주요 부분으로 자리 잡고 있다. 이러한 WSN 기반 보안 감시 시스템에서는 감시 대상 영역 내에서 특정한 이벤트의 발생이나 대상체(object)의 발견 및 그 위치를 파악하는 것이 중요하다. 특히 허가받지 않은 외부인의 침입을 감시하는 시스템에서 애완동물이나 설치류 등으로 인한 거짓 경보(false alarm)의 발생은 시스템의 신뢰도를 떨어뜨리게 된다. 따라서 본 논문에서는 감지된 대상체가 사람인지 여부를 판단하기 위하여, 감지된 대상체의 높이를 예측하는 메커니즘을 제안한다. 또한 제안한 메커니즘의 성능분석을 위하여 여러 가지 시나리오에서 예측 정확도를 측정하였다.

키워드 : 높이 예측, 보안 감시 시스템, 무선 센서 네트워크

1. 서론

오늘날 Wireless Sensor Network(WSN)은 재난 방재 시스템, 물류 자동화 시스템, 보안 감시 시스템 등 여러 분야에서 응용되고 있다. 기존의 보안 감시 시스템은 주로 비디오 시스템을 기반으로 하고 있다. 그러나 비디오기반 보안 감시 시스템은 설치 및 유지비용이 높다는 제약점을 가진다. 또한 설치된 비디오 시스템으로부터 유입되는 비디오 스트림 분석 및 온라인 모니터링에 대한 처리 부담도 상당히 높다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 최근 들어, WSN 기반 보안 감시 시스템이 많은 주목을 받고 있다[1]. WSN 기반 보안

감시 시스템은 독자적으로 사용될 수도 있고, 또는 비디오 시스템과 연결되어 사용될 수도 있다. 예를 들어, WSN이 비정상적인 이벤트의 발생을 인식하면, 이를 비디오 시스템에 알림으로써 비디오 시스템을 동작시키게 된다.

이러한 WSN 기반 보안 감시 시스템에서는 감시 대상 영역 내에서 특정한 이벤트의 발생이나 대상체(object)의 발견 및 그 위치를 파악하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 집, 사무실, 또는 연구소와 같은 제한된 실내 공간에서의 보안 감시 시스템에 초점을 맞춘다. 이러한 환경에서는 감시 영역 내 사람이 존재하지 않는 시간에, 허가받지 않은 외부인의 침입을 감시하는 것이 중요하다. 그러나 감지된 모든 대상체가 사람, 즉 침입자는 아니라는 점이다. 다시 말해서, 고양이나 개와 같은 애완동물이나 쥐 등을 침입자로 잘못 오인하여 시스템이 반응한다면, 이는 시스템의 신뢰도를 떨어뜨리는 일이 된다. 따라서 WSN에 의해서 감지된 대상체가 사람인지 여부를 판단하기 위한 메커니즘이 요구된다. 이를 위해서는 감지된 대상체의 크기, 이동 속도, 체온 등과 같은 다양한 물리적인 특징이 사용될 수 있다.

* 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음(GRRC수원2014-B3), 클라우드 기반 지능형 영상 보안 감시 시스템 개발.

** 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2013053435).

† 준 회원: 경기도 지역협력연구센터 U-City 보안감시 기술협력센터 연구원

** 종신회원: 수원대학교 정보미디어학과 교수

Manuscript Received: April 21, 2014

Accepted: June 23, 2014

* Corresponding Author: Yujin Lim(yujin@suwon.ac.kr)

본 논문에서는 WSN에 의해서 감지된 대상체가 사람인지 여부를 판단하기 위하여, 감지된 대상체의 높이를 예측하는 메커니즘을 제안하고자 한다. 예측된 높이가 평균 성인 신장 범위 내에 들어오는 경우[2], 시스템은 감지된 대상체가 침입자인 것으로 판단하여 중앙 통제 센터나 외부에 연결된 다른 시스템에 알리게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 대상체의 높이 예측 기법들을 소개한다. 3절에서는 본 논문에서 제안하는 높이 예측 메커니즘을 설명하며, 4절 성능 평가를 통하여 제안 메커니즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

기존의 높이 예측 메커니즘은 주로 기압 센서(barometric sensor)나 비디오 시스템을 사용하였다. 기압 센서로부터 측정되는 기압 정보는 고도 정보로 변환된 후, 주로 KF (Kalman Filter) 등에 의해 높이 정보로 계산된다[3]. 기압 센서를 이용한 높이 예측 기법은 주로 PDR(Pedestrian Dead Reckoning) 시스템에서 보행자의 높이 변화에 따른 보행자의 위치 추적에 주로 사용된다. 그러나 이러한 기압 정보 기반 방식은 시간에 따른 대기압의 변화에 민감하다는 단점을 가진다. 다시 말해서, 공간 내 움직임의 유무, 문(door)의 개폐, 또는 환기 시스템 등에 의한 공기 순환 변화에 의하여 예측 정확도가 떨어지게 된다.

비디오 시스템에 기반한 높이 측정은 촬영된 비디오 프레임 내에서 대상체의 상대적인 높이를 측정함으로써, 대상체의 실제 높이를 예측하는 방식이다[4]. 이때 비디오 카메라의 위치나 각도 및 대상체와의 거리가 예측 성능을 좌우하게 된다. 또한 대상체의 움직임에 따라 카메라와 대상체간의 거리가 변화하게 되며, 이로 인한 프레임 내 대상체의 상대적인 크기 변화에 예측 성능이 민감하다는 단점이 있다. 뿐만 아니라, 고가의 비디오 시스템 구축 비용 및 실시간 이미지 처리를 위한 오버헤드 증가와 같은 문제도 발생한다.

본 논문의 보안 감시 시스템 환경에서 기압 센서를 사용하기 위해서는 대상체가 기압 센서를 부착하고 있어야 한다. 그러나 정체불명의 침입자 식별을 위한 해당 시스템에서 이러한 방식은 실현가능성이 낮다. 또한 비디오 시스템을 이용하는 경우, 카메라 촬영의 사각지대(blind spot)에 대한 추가적인 문제 해결이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 DMS(Distance Measurement Sensor)를 이용하여 구축 비용이 상대적으로 저렴하고 공기 순환에 덜 민감한 대상체 높이 예측 메커니즘을 제안하고자 한다.

3. 제안된 높이 예측 메커니즘

본 논문에서는 대상체의 높이 예측을 위하여, 먼저 천장에서부터 대상체의 머리까지의 거리를 예측한다. 이렇게 예측된 거리를 기반으로, 감시 공간의 높이와의 차를 계산하여 대상체의 높이를 예측한다. 예측된 대상체의 높이가 평균 성인 신장 범위 내인 경우, 감지된 대상체는 침입자로 판단되어 중앙 통제 센터나 외부에 연결된 다른 시스템에 통보된다.

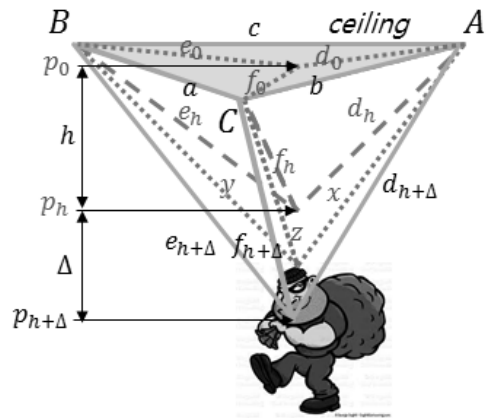


Fig. 1. Concept of height prediction mechanism

제안하는 높이 예측 메커니즘은 대상체의 높이를 예측하기 위해 헤론의 공식을 도입하였다[5]. Fig. 1과 같이 천장의 A, B, C 위치에 거리 측정 센서(DMS)가 설치되어 있고 대상체의 머리끝이 천장에서부터 h와 h+Δ 사이에 있다고 가정한다. A, B, C와 마주보는 변의 길이를 a, b, c라고 하면 ΔABC의 넓이는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$4Area(ABC) = \sqrt{(a+b+c)(-a+b+c)(a-b+c)(a+b-c)} \quad (1)$$

ΔABC의 내부에 위치한 점 P0와 A, B, C를 연결한 선분의 길이를 d0, e0, f0라고 하면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} & \sqrt{(a+b+c)(-a+b+c)(a-b+c)(a+b-c)} \\ &= \sqrt{(a+e_0+f_0)(-a+e_0+f_0)(a-e_0+f_0)(a+e_0-f_0)} \\ &+ \sqrt{(b+f_0+d_0)(-b+f_0+d_0)(b-f_0+d_0)(b+f_0-d_0)} \\ &+ \sqrt{(c+d_0+e_0)(-c+d_0+e_0)(c-d_0+e_0)(c+d_0-e_0)} \end{aligned} \quad (2)$$

P0에서 수직으로 h만큼 떨어진 Pn와 A, B, C를 연결한 선분의 길이를 dn, en, fn라고 하면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} & \sqrt{(a+b+c)(-a+b+c)(a-b+c)(a+b-c)} \\ &= \sqrt{(a+e_n+f_n)(-a+e_n+f_n)(a-e_n+f_n)(a+e_n-f_n)-4a^2h^2} \\ &+ \sqrt{(b+f_n+d_n)(-b+f_n+d_n)(b-f_n+d_n)(b+f_n-d_n)-4b^2h^2} \\ &+ \sqrt{(c+d_n+e_n)(-c+d_n+e_n)(c-d_n+e_n)(c+d_n-e_n)-4c^2h^2} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (2)에서는 없었던 4a²h², 4b²h², 4c²h²은 높이 증가로 인하여 초과되는 넓이를 상쇄한다. 본 논문에서는 식 (3)을 다음과 같이 간략하게 표현한다.

$$\sqrt{s(a,b,c,0)} = \sqrt{s(a,e_n,f_n,h)} + \sqrt{s(b,f_n,d_n,h)} + \sqrt{s(c,d_n,e_n,h)} \quad (4)$$

대상체의 머리끝으로부터 A, B, C까지의 거리를 x, y, z라고 하면 높이 예측 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$f(x,y,z,h) = \sqrt{s(a,y,z,h)} + \sqrt{s(b,z,x,h)} + \sqrt{s(c,x,y,h)} \quad (5)$$

$f(d_h, e_h, f_h, h)$ 는 식 (5)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$f(d_h, e_h, f_h, h) = \sqrt{s(a, e_h, f_h, h)} + \sqrt{s(b, f_h, d_h, h)} + \sqrt{s(c, d_h, e_h, h)} \quad (6)$$

P_0 에서 수직으로 $h+\Delta$ 만큼 떨어진 $P_{h+\Delta}$ 와 A, B, C 사이의 길이를 $d_{h+\Delta}, e_{h+\Delta}, f_{h+\Delta}$ 라고 하면 $f(d_{h+\Delta}, e_{h+\Delta}, f_{h+\Delta}, h)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} & f(d_{h+\Delta}, e_{h+\Delta}, f_{h+\Delta}, h) \quad (7) \\ &= \sqrt{s(a, e_{h+\Delta}, f_{h+\Delta}, h)} + \sqrt{s(b, f_{h+\Delta}, d_{h+\Delta}, h)} + \sqrt{s(c, d_{h+\Delta}, e_{h+\Delta}, h)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{9}s(a, b, c, 0) + 4a^2\Delta(\Delta + 2h)} + \sqrt{\frac{1}{9}s(a, b, c, 0) + 4b^2\Delta(\Delta + 2h)} \\ &+ \sqrt{\frac{1}{9}s(a, b, c, 0) + 4c^2\Delta(\Delta + 2h)} \end{aligned}$$

또한 x, y, z 의 범위를 아래와 같이 정의하면

$$d_h \leq x \leq d_{h+\Delta}, \quad e_h \leq y \leq e_{h+\Delta}, \quad f_h \leq z \leq f_{h+\Delta} \quad (8)$$

침입자일 가능성이 있는 대상체를 검출하기 위한 높이 예측 함수의 유효범위(effective range)는 다음과 같다.

$$f(d_h, e_h, f_h, h) \leq f(x, y, z, h) \leq f(d_{h+\Delta}, e_{h+\Delta}, f_{h+\Delta}, h) \quad (9)$$

높이 예측 함수를 그래프로 나타내면 Fig. 2와 같다. A, B, C 에 위치한 세 개의 센서가 측정된 대상체와의 거리 x, y, z 를 함수에 대입하였을 때, 그 결과가 유효범위에 존재하면 대상체의 머리끝이 h 와 $h+\Delta$ 사이에 있음을 의미한다. 이 경우 감지된 대상체는 침입자인 것으로 판단되어 중앙 통제 센터나 외부에 연결된 다른 시스템에 경보가 발령된다.

4. 성능 분석

본 논문에서는 제안된 높이 예측 메커니즘의 성능 분석을 위하여 DMS를 장착한 Mote 모듈을 구현하였으며, 모듈 간 통신은 IEEE 802.15.4 표준을 따른다. 구현된 3개의 모듈 즉, 센서들을 Fig. 3과 같이 실험실 천장에 2m 간격으로 설치하고, 천장으로부터 수직으로 0.5m 또는 1m 떨어진 곳에 대상체를 위치시킨 후, 제안된 메커니즘에 의한 높이 예측 정확도 측정 실험을 실시하였다.

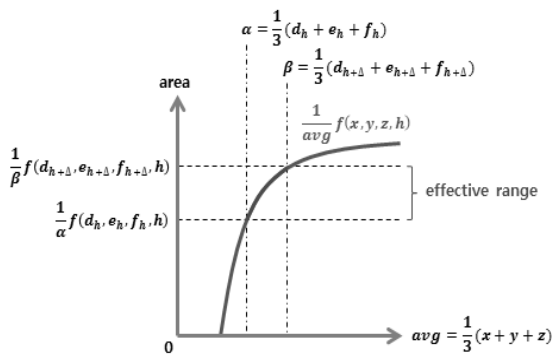


Fig. 2. Effective range of the area for predicting the height

첫 번째 실험 환경에서 대상체는 천장으로부터 수직으로 0.5m 떨어진 곳에 위치하였으며 $h=0m, \Delta=1m$ 로 설정하였다. 500개의 샘플 데이터에 식 (9)와 같은 유효범위를 적용하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다. Fig. 4(a)는 센서와 대상체 사이에 장애물이 없는 경우에 측정된 결과이다. 그림에서 파란점은 각각 샘플데이터를 나타내며, 유효범위(세로축의 값, 즉 계산된 높이 값이 34641과 17320.5 사이) 내에 약 90%의 표본 데이터가 포함되어 있음을 확인할 수 있다. 이는 제안한 메커니즘이 약 90%의 정확도로 천장으로부터 대상체 머리까지의 거리가 h 와 $h+\Delta$ 사이, 즉 0 - 1m 내에 위치해 있다고 예측하였다는 의미이다. Fig. 4(b)는 센서와 대상체 사이에 장애물 (즉, 전등)이 있는 경우에 측정된 결과이다. 장애물로 인한 측정 오차의 증가로 정확도가 약 87%로 소폭 감소하였다.

두 번째 실험 환경에서 대상체는 천장으로부터 수직으로 1m 떨어진 곳에 위치하였으며 $h=0.5m, \Delta=1m$ 로 설정하였다. 첫 번째 실험과 동일한 수의 샘플 데이터를 바탕으로 Fig. 5와 같은 결과를 얻었다. Fig. 5(a)는 센서와 대상체 사이에 장애물이 없는 경우에 측정된 결과이다. 이 경우 정확도가 약 89%임을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 센서와 대상체 사이에 장애물이 있는 경우에 측정된 결과이다. 첫 번째 실험과 마찬가지로 정확도가 약 87%로 소폭 감소하였다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안하는 메커니즘이 높은 정확도로 천장과 대상체사이의 거리를 예측할 수 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 감시 영역 내 환경 구성 및 환경 변화에 따라 (예를 들어, 센서와 대상체 사이에 장애물이 있는 경우), 높이 예측 정확도가 영향을 받는다는 점에 착안하여, Fig. 6에서와 같이 센서의 개수 변화에 따른 성능을 측정하였다. 본 논문은 삼각형의 넓이를 계산하는 헤론의 공식을 기반으로 대상체의 높이를 예측하므로, 최소 3개의 센서에서 측정된 거리 값을 요구한다. 따라서 본 실험에서는 센서의 개수를 3, 4, 5개로 늘려가며 예측 정확도를 측정하였다. 실험 환경은 실험실 천장에 3~5개의 센서를 설치하고 천장으로부터 수직으로 1m 떨어진 곳에 대상체를 위치시켰다. 또한 하나의 센서와 대상체 사이에 장애물을 설치하였다. 그림에서 보는 바와 같이 센서가 3개인 경우 예측 정확도는 약 87%이다. 센서가 4개인 경우는 대상체를 포함하는 3개의 센서 두 쌍을 통하여 높이를 예측하였으며, 예측된 값의 평균을 취하여 예측정확도

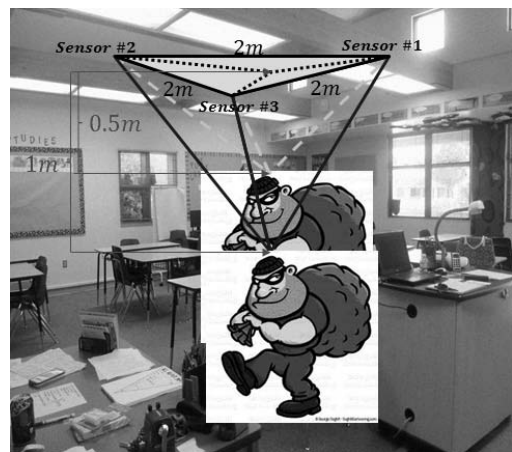
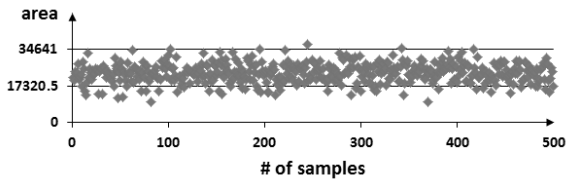
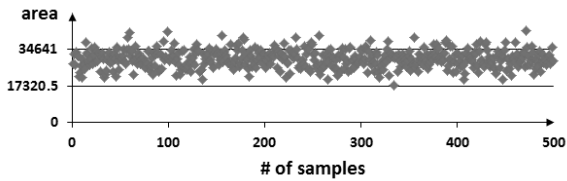


Fig. 3. Test scenario for the performance evaluation

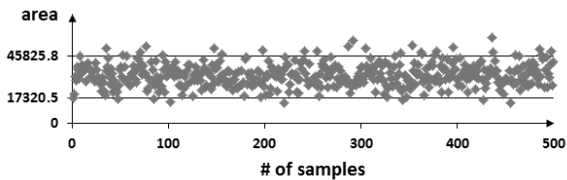


(a) no obstacle between a sensor and an object

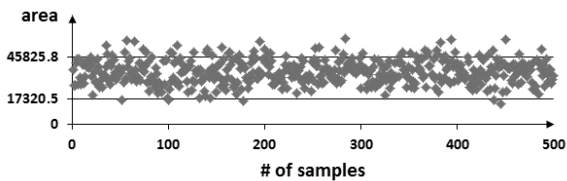


(b) one obstacle between a sensor and an object

Fig. 4. Prediction accuracy in the first scenario



(a) no obstacle between a sensor and an object



(b) one obstacle between a sensor and an object

Fig. 5. Prediction accuracy in the second scenario

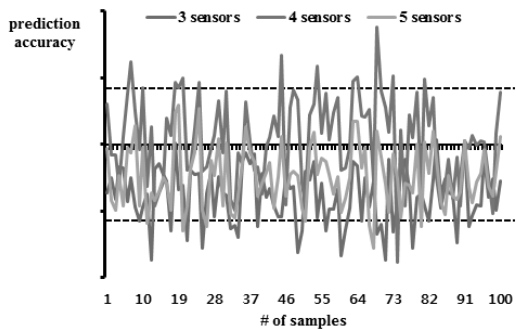


Fig. 6. Prediction accuracy with varying the number of sensors

90%를 보인다. 센서가 5개인 경우는 3개의 센서 세 쌍을 통하여 예측하였으며 예측 정확도는 약 91%이다.

5. 결론

본 논문에서는 WSN 기반 보안 감시 시스템에서 감지된

대상체가 사람인지 여부를 판단하기 위하여, 감지된 대상체의 높이를 예측하는 메커니즘을 제안하였다. 대상체의 높이 측정을 위하여 삼각형의 넓이를 계산하는 헤론의 법칙을 이용하였다. 또한 제안한 메커니즘의 성능분석을 위하여 여러 가지 시나리오에서 예측 정확도를 측정하였다.

Reference

- [1] S. K. Dash, J. P. Sahoo, S. Mohapatra, and S. P. Pati, "Sensor-cloud: assimilation of wireless sensor network and the cloud," *Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, SpringerLink, Vol.84, pp.455-464, 2012.
- [2] R. Butturini, J. Midgett, and D. Larue, "Discrimination of children from adults in safety systems," *Consumer Product Safety Commission*, US, Dec. 2004 (available at <http://www.cpsc.gov>).
- [3] Y. Kim, Y. Hwang, S. Choi, and J. Lee, "Height estimation scheme of low-cost pedestrian dead-reckoning system using kalman filter and walk condition estimation algorithm," In *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp.1492-1497, 2013.
- [4] Z. Xu, J. Watada, and Z. B. Musa, "Particle filter-based height estimation in human tracking," In *Proceedings of the IEEE International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, pp.385-388, 2011.
- [5] T. L. Heath, *A History of Greek Mathematics* (Vol II), Oxford University Press, pp.321-323, 1921.



심재석

e-mail : sjs0915@suwon.ac.kr
 2012년 수원대학교 정보미디어학과(학사)
 2014년 수원대학교 컴퓨터학과(석사)
 2012년~현 재 경기도 지역협력연구센터
 U-City 보안감시 기술협력센터 연구원
 관심분야: Big Data Analysis & Cloud Computing



임유진

e-mail : yujin@suwon.ac.kr
 2000년 숙명여자대학교 전산학과(박사)
 2013년 Tohoku University, Dept. of Information Sciences(박사)
 2014년~현 재 수원대학교 정보미디어학과 교수
 관심분야: Wireless Communication, Cloud Computing