

감시정찰 센서네트워크에서 시공간 연관성을 이용한 효율적인 이벤트 탐지 기법

An Efficient Event Detection Algorithm using Spatio-Temporal Correlation in Surveillance Reconnaissance Sensor Networks

여 명 호* **김 용 현*** **김 훈 규*** **이 노 복***
 Myung-Ho Yeo Yong-Hyun Kim Hun-Kyu Kim Noh-Bok Lee

Abstract

In this paper, we present a new efficient event detection algorithm for sensor networks with faults. We focus on multi-attributed events, which are sets of data points that correspond to interesting or unusual patterns in the underlying phenomenon that the network monitors. Conventional algorithms cannot detect some events because they treat only their own sensor readings which can be affected easily by environmental or physical problem. Our approach exploits spatio-temporal correlation of sensor readings. Sensor nodes exchange a fault-tolerant code encoded their own readings with neighbors, organize virtual sensor readings which have spatio-temporal correlation, and determine a result for multi-attributed events from them. In the result, our proposed algorithm provides improvement of detecting multi-attributed events and reduces the number of false-negatives due to negative environmental effects.

Keywords : Sensor Network(센서네트워크), Multi-Attributes(다중 속성), Event Detection(이벤트 탐지), Spatio-Temporal Correlation(시공간 연관성)

1. 서론

최근 유비쿼터스 응용 분야에 대한 관심이 증가하면서 유비쿼터스 기술의 핵심 인프라인 센서 네트워크에 대한 관심도 증가하고 있다. 센서 네트워크는 다수의 센서 노드들로 구성된다. 센서 노드는 다양한 센

서 모듈을 통해 PIR(Passive Infrared), 진동, 음향, 온도, 습도, 가속도 등과 같은 다양한 정보를 측정하고, 무선 통신을 이용하여 이웃 노드나 기지국으로 데이터를 전송한다. 감시 정찰 분야에서 센서 네트워크는 지형, 지물 등으로 인해 접근이 어려운 감시 취약 지역이나 주요 감시 지역에 설치함으로써 감시경계지역을 이해하는 새로운 수단을 제공한다. 민간 분야에서는 화훼단지, 특용작물 지대 등에 설치되어 동물 또는 외부인의 침입을 감시하는 용도로 활용될 수 있고, 군사용 분야에서는 적 부대 및 무기의 위치, 구성, 이

† 2011년 5월 2일 접수~2011년 7월 22일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 여명호(myungho.yeo@gmail.com)

동방향 등에 대해 근접해서 탐지 및 추적하는 임무, 무인으로 원격 센싱 정보수집 및 모니터링을 통한 감시 정찰, 최전방초소 철책선 침입탐지, 아군 주둔지 및 주요 시설경계, 생화학, 방사능, 핵 오염지역 탐지, 아군 병사 및 주요 장비의 위치와 상태 파악 등에 활용이 가능하다^[1].

감시 정찰을 위한 센서 노드는 환경 센서를 비롯한 PIR, 음향, 진동, 자기 센서 등 복합 센서를 탑재하고 있으며, 센서 신호의 융합을 통해 이벤트를 탐지한다. 센서 네트워크는 노드 결합, 무선통신 장애, 노드 위치 변경, 환경 변화 등 내외부적인 영향에 취약하며, 센서 데이터는 쉽게 결합(또는 오류)을 포함할 수 있다. PIR 센서의 경우 햇빛, 바람, 기온, 습도의 영향을 받으며, 자기장 센서의 ADC(Analog Digital Converter)는 자기장의 미세한 특징과 측정거리의 문제로 인해 쉽게 포화상태가 되며, 회로판에서 발생하는 전자기 잡음은 SNR(Signal Noise Ratio)을 낮춰 신호와 잡음을 구별하는 센싱 알고리즘에 문제를 발생시킨다. 또한 주변 온도의 변화에 따라 센서 신호도 함께 변하는 열이동(thermal drift) 현상이 발생하고, 무선 전송이 자기계 센싱 회로에 간섭을 일으켜 데이터 오류를 발생시킨다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 다중 속성 이벤트의 탐지를 향상시키기 위한 결합 허용 기법을 제안한다. 센서 데이터는 시공간적인 연관성을 가지고 있다. 센서 노드는 과거 데이터를 분석하고, 이웃 노드와 데이터를 교환함으로써 시공간적인 연관성을 분석하고, 다중 속성 이벤트를 탐지한다. 이때, 센서 노드에 탑재된 센서 모듈의 측정 능력과 측정 세기를 통해 탐지 소스의 근사한(approximated) 위치를 계산한다. 그 결과 센서 데이터의 일시적인 또는 장기적인 오류로 인한 탐지 실패 문제를 해결한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 네트워크의 에너지 모델을 기술하고, 기존 복합이벤트 탐지 기법과 그 문제점을 분석한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법에 대한 기술한다. 4장에서는 시물레이션을 통한 성능 평가를 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구를 기술한다.

2. 관련연구

가. 에너지 모델

센서 데이터는 일정한 시간 간격이나 요구에 따라

기지국 또는 싱크 노드로 수집된다. 센서 노드는 제한된 에너지를 가지고 있으며, 센서 노드마다 배터리의 용량은 다를 수 있다. 센서 노드는 라디오 신호의 범위를 조정 할 수 있는 무선 송신기(wireless transmitter)와 수신기(receiver)를 가지고 있다. 또한 여러 데이터들은 단일 크기의 데이터로 모으거나 합병될 수 있다. E_{elec} 는 송신기와 수신기 회로에서 소모되는 에너지를 나타내고, E_{TX} 와 E_{RX} 는 송신 증폭기에서 소모되는 에너지를 나타낸다. 각 센서 노드들은 거리 d 만큼 k -비트의 메시지를 송신하거나 수신하기 위해서는 각각의 에너지가 소모된다. 일반적으로 수신시 소모되는 에너지보다 송신시 거리에 따른 증폭기의 에너지 소모비용이 크다는 것을 알 수 있다. 식 (1)과 식 (2)는 송/수신시 소모되는 에너지 비용을 나타낸다.

$$E_{TX}(k,d) = E_{elec} \times k + \epsilon_{fs} \times k \times d^2 \quad (1)$$

$$E_{RX}(k) = E_{elec} \times k \quad (2)$$

나. 센서 데이터의 시공간 연관성

응용 분야에 따라 데이터의 전송 비용을 줄이기 위해서 싱크 노드는 병합된 데이터(aggregated data)를 수집하기도 하고, 싱크 노드에서 고차원적인 데이터 처리를 위해서 개별적인 센서의 데이터를 모두 수집하는 것을 요구하기도 한다. Fig. 1과 Fig. 2는 센서를 통해 수집한 데이터의 특성을 나타낸다. 센서에서 수집한 데이터는 환경적인 특성상 시간적 혹은 공간적 연관성을 지닌다. Fig. 1은 자동차의 디스크, 패드, 브레이크 액에 센서를 부착하여 언덕길 주행 중 브레이크 패달을 밟는 순간 각 부위의 온도 변화를 나타낸다. 이때, 온도는 시간이 변함에 따라 연속적으로 변화한다. 이와 같이 센서를 통해 측정하는 대부분의 물리량은 급격하게 변화하기 보다는 시간적으로 연속적인 값을 가진다. 센서 데이터들은 Fig. 1과 같이 공간적으로도 연관성을 가지고 있다. Fig. 2는 기압을 측정하는 센서들을 배포하여 수집된 데이터를 기반으로 작성한 우리나라 주변의 등압선이다. 인접한 지역인 A 지역과 B 지역의 수집된 기압을 분석해보면 실제로 두 지역의 기압이 연관성을 가지고 있다. 이는 공간적으로 인접한 지역에 배치되어 있는 센서들이 유사한 값을 수집했다는 것을 나타낸다.

센서 네트워크는 일정 지역에 다수의 센서 노드를 밀도있게 배치하기 때문에 네트워크로부터 수집된 센

서 데이터는 시공간적인 연관성을 보인다. 이러한 특성을 이용하여 통신 오류 데이터 추출^[2], 네트워크 트래픽 감소^[3,4], 클러스터링 알고리즘^[5], 오류 정정^[6,7], 표적위치 추정 및 추적^[8,9]을 위한 다양한 연구가 진행되었다. 센서노드가 가혹한 환경과 빈약한 자원으로 인해 오류 데이터(faulty data)를 생성하는 경향이 있으며, 이는 전송되는 데이터의 신뢰도를 떨어뜨린다. [2]는 공간적인 연관성을 결정하기 위해 시간적인 연관성을 사용하는 기법을 제안한다. STCOD 기법은 시공간적인 연관성을 이용하여 오류데이터와 이벤트 데이터를 구분하는 것으로 아웃라이어 자체 탐지(outlier self-detection algorithm), 이웃노드 투표(neighbor-voting algorithm), 아웃라이어 확정(outlier confirming algorithm)으로 구성된다. 그 결과, 기존 기법에 비해 탐지 실패를 30% 줄인다. [3]은 시간적인 연관성을 이용하여 마

지막으로 보고한 센서 데이터가 변화가 없으면 데이터를 전송하지 않는 방식으로 네트워크 트래픽을 줄인다. 이 방법은 데이터 변화가 많지 않을 때 유용하며, 데이터 변화가 큰 지역에서는 효과가 없다. [4]는 이웃 노드에서 전송하는 데이터 값을 지속적으로 수신하고, 해당 노드의 전송 슬롯이 할당될 때 지금까지 수신한 데이터의 평균을 구하고 자신의 데이터 값과 비슷할 경우 전송을 생략하는 방식으로 전송 데이터량을 줄인다. [5]는 데이터 연관성을 기반으로 클러스터링 기법(data correlation based clustering algorithm)을 제안한다. DCC는 클러스터 멤버와 클러스터헤더 간 센서 데이터의 연관성을 높임으로써 데이터 억제율(suppression rate)을 향상 시켜, 네트워크 트래픽을 줄인다. [6]은 센서 데이터의 연관성 기반 데이터 예측기를 통해 발생한 오류를 필터링하는 기법을 제안한다. [7]은 이웃 센서 노드간 데이터의 시공간적인 연관성과 드리프트(drift)의 비연관성을 가정하여 센서 감지 오류를 탐지하고 정정하는 기법을 제안한다. [8, 9]는 클러스터 내 센서 노드로부터 수신한 탐지 결과의 시공간적인 연관성을 이용하여 시간정렬, 공간정렬, 단위정렬을 통해 불필요한 데이터를 필터링하고 유효한 데이터를 선별하는 기법은 제안한다. 그리고, 기지국에서 선별된 센서 노드의 공간 정보와 탐지 정보를 이용해서 표적의 위치를 추적한다.

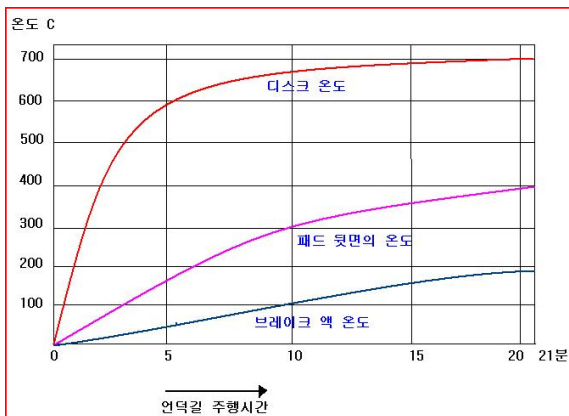


Fig. 1. Temporal correlation of sensor data

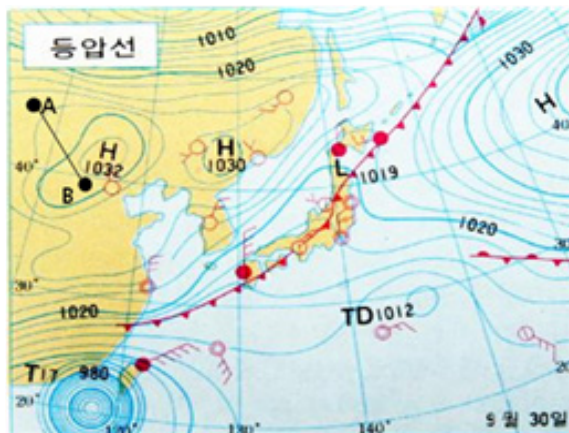


Fig. 2. Spatial correlation of sensor data

3. 제안하는 다중 속성 이벤트 탐지 기법

본 장에서는 센서 데이터의 시공간 연관성을 이용한 다중 속성 이벤트 탐지 기법을 제안한다. 센서는 과거 데이터의 분석을 통해 시간적인 연관(temporal correlation) 정도를 인식하고, 이웃 노드와 데이터를 교환함으로써 센서 데이터의 공간적인 연관(spatial correlation) 정도를 인식하여 현재 센서 데이터를 보정한다. 그 다음, 다중 속성 이벤트와 비교함으로써 센서 노드의 일시 또는 장기적인 오류로 인한 탐지저하 문제를 해결한다. 먼저 센서 데이터의 시공간 연관성을 이용한 다중 속성 이벤트 탐지 기법을 기술하고, 추가적으로 탐지 소스의 위치를 선정하기 위한 기법을 기술한다.

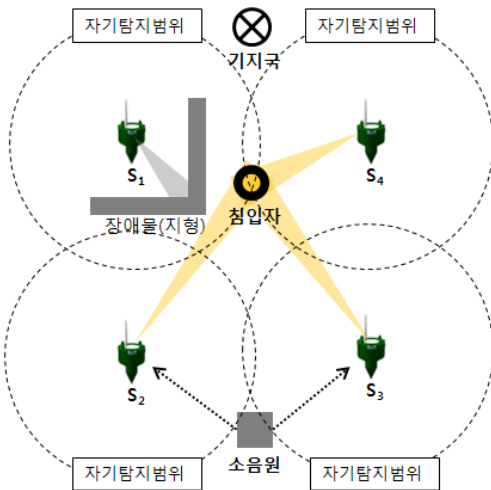
가. 시스템 모델

본 논문에서는 센서 노드가 다수의 센서 모듈을 탐

재하고 있으며 동시에 다중 속성을 가진 센서 데이터를 측정한다고 가정한다. 사용자 요청이나 질의에 의해 정의된 특정 임계치(threshold) 혹은 특정값을 만족하는 센서 데이터를 “이벤트”라고 정의하며 다중 속성의 조건을 만족하는 센서 데이터를 “다중 속성 이벤트(multi-attributed event)”라고 정의한다. 예를 들면, 침입자의 침입을 탐지하기 위한 센서 노드는 PIR, 자기, 음향, 진동을 측정하는 센서 모듈을 탑재하고 있으며, 관리자는 침입자의 침투를 탐지하기 위해 (1) PIR+자기, (2) 자기+음향, (3) PIR+진동, (4) PIR+자기+진동+음향 등의 다양한 다중 속성 이벤트를 정의한다.

나. 시공간 연관성 기반 이벤트 탐지

센서 노드는 배포 환경이나 내외부적인 이유로 인해 각 센서 모듈의 측정값은 오류를 포함할 수 있다. Fig. 3은 다중 속성 이벤트 탐지의 예를 나타낸다. PIR, 자기, 음향, 진동 센서를 탑재한 4개의 센서 노드 {S₁, S₂, S₃, S₄}가 필드에 설치되어 있고, {PIR+자기+음향+진동}의 다중 속성 이벤트를 침입자 탐지한다. 이때, 센서 노드 S₁의 경우 지형적인 장애물로 인해 PIR 측정이 어렵고, 센서 노드 S₂와 S₃ 근처에는 잡음을 발

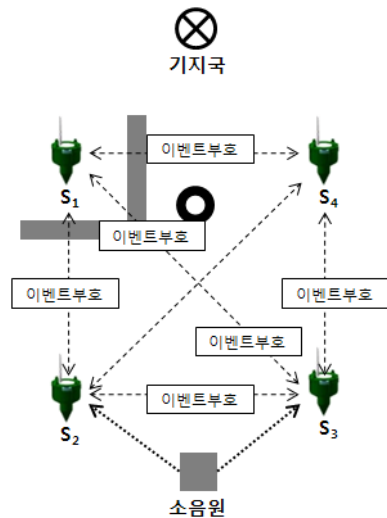


SID	PIR	자기	음향	진동	탐지
S ₁	X(장애)	○	○	○	X
S ₂	○	X	X(장애)	X	X
S ₃	○	X	X(장애)	X	X
S ₄	○	○	○	○	○

Fig. 3. An example of fault occurrence

생시키는 요소가 존재하여 음향 측정을 방해한다고 가정한다. 침입자 침입 지역과 가까이 위치한 S₁과 S₂는 정상적으로 다중 속성 이벤트를 탐지하여야 하나 앞서 언급한 장애 요인으로 인해 S₂만 다중 속성 이벤트를 탐지하고, 기지국으로 탐지를 보고하게 된다.

Fig. 4는 제안하는 기법의 다중 속성 이벤트 탐지의 예를 나타낸다. 센서 데이터의 오류를 보정하기 위하여 다중 속성 이벤트 탐지 연산 이전에 이웃 노드와 수집한 데이터의 이벤트 부호를 교환한다. 이벤트 부호는 다중 속성의 수만큼의 비트로 구성된 비트맵으로 표현되며, 이벤트를 탐지한 경우 ‘1’로, 그렇지 않은 경우 ‘0’으로 표현된다. 즉, 센서 노드 {S₁, S₂, S₃, S₄}가 측정된 다중 속성 이벤트 부호는 {0x0111, 0x1000, 0x1000, 0x1111} 과 같다. 센서 노드 S_n은 공간적으로 인접한 센서 노드로부터 이벤트 부호를 수신하고, 수신한 이벤트 부호 중 i번째 속성의 값이 ‘1’인 이벤트 부호의 비율이 시공간 연관 계수(r)보다 큰 경우 i번째 속성에 해당하는 측정값을 true로 결정한다. 즉, 공간적으로 연관성을 가진 이웃 노드와 데이터를 교환함으로써 센서 노드의 설치 환경의 문제점



SID	PIR	자기	음향	진동	탐지
S ₁	○(복구)	○	○	○	○
S ₂	○	X	X(장애)	X	X
S ₃	○	X	X(장애)	X	X
S ₄	○	○	○	○	○

Fig. 4. Fault-tolerance with exchanging spatio-temporal symbols

을 보정한다. 또한, 데이터 교환시 일정 시간 범위에 과거 데이터를 함께 참조함으로써 일시적인 오류에 대한 문제점을 보정할 수 있다. 예를 들면, 이벤트 부호 교환을 완료한 센서 노드 S_1 은 다수결에 의해 오류를 포함하고 있지 않는 측정값을 기준으로 PIR센서 값을 'O(탐지)'로 보정하고, S_4 와 같이 다중 속성 이벤트를 탐지할 수 있도록 보고한다. 그 결과 내외부적인 오류로 인한 탐지 실패를 줄이게 된다. 하지만, 데이터 교환으로 인해 오경보(False-Alarm)가 발생할 수 있다. 이를 줄이기 위해서 사전에 분석된 센서 네트워크의 장애요인을 제공하거나 침입자 침입 시나리오를 학습하여 오류를 식별할 수 있다.

다. 탐지 소스의 위치 선정 문제

제안하는 기법은 이웃 노드와 센서 데이터를 교환하고, 공유함으로써 탐지 실패를 줄인다. 하지만 지역적으로 인접한 센서 노드가 센서 데이터 공유함에 따라 센서 노드의 위치를 기반으로 탐지 소스의 위치를 결정하는 것은 어려운 문제이다. 본 절에서는 센서별 탐지 가능 거리와 탐지 신호 세기를 이용하여 탐지 소스의 위치를 선정하기 위한 접근 방법을 제안한다.

1) 센서별 탐지 가능 거리 가중치

센서 노드에 포함된 이중 센서의 탐지 가능 거리는 다르다. 이러한 특성을 이용하여 미리 정의된 센서별 탐지 거리를 이용하여 탐지 소스 위치를 선정한다. Fig. 4는 탐지 가능 거리 가중치에 의한 탐지 소스 위치 선정을 나타낸다. 센서 노드 S_3 , S_4 는 자기 신호를 탐지하였고, 센서 노드 S_5 는 진동 신호를 탐지하였다고 가정할 때, 최대 탐지 거리가 더 짧은 진동 신호를 탐지한 S_5 에 탐지 소스가 가깝게 위치한다.

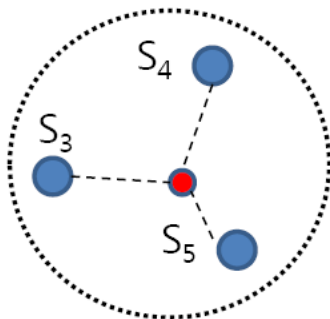


Fig. 5. Detection range based location detection (자기 : Max 100m, 진동 : Max 10m 탐지 가능)

2) 센서 노드별 탐지 신호 세기 가중치

센서 노드에 탑재된 센서 소자는 탐지 소스의 위치에 따라 아날로그 신호를 감지한다. 탐지 신호 세기를 정규화하여 비교함으로써 탐지 소스의 위치를 선정한다. Fig. 6은 탐지 신호 세기 가중치를 이용한 탐지 소스 위치 선정을 나타낸다. 센서 노드 S_3 , S_4 , S_5 는 서로 다른 탐지 세기(탐지 세기 : $S_3 > S_4 > S_5$)를 가진 센서 신호를 탐지했다고 가정하자. 상대적으로 신호 세기가 높은 S_3 와 S_4 에 가깝게 탐지 소스의 위치를 선정한다.

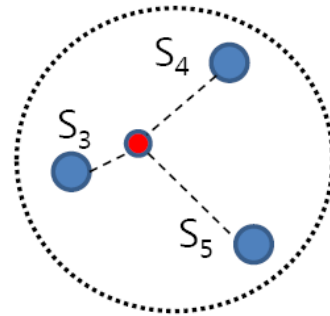


Fig. 6. Radio signal strength indication based location detection(RSSI : $S_3 > S_4 > S_5$)

4. 성능평가

제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해서 제안하는 이벤트 탐지 기법이 적용된 경우와 적용되지 않은 경우의 이벤트 탐지율과 오경보(false-alarm) 수를 측정하였다. 실험에서 사용한 데이터는 인텔 버클리 연구실에서 Fig. 7과 같은 환경에 54개의 센서를 설치하여 수집된 실제 환경 데이터이다. 온도, 습도, 빛세기를 측정하며 수집 주기별로 통신 오류나 센서 노드 자체의 문제로 인해 일부 센서 데이터를 수집하지 못했기 때문에 수집 주기와 상관없이 수집 순서를 기준으로 성능을 비교하였다. Table 1은 시뮬레이션에 사용된 다중 속성 이벤트의 조건을 나타낸다. 이벤트 탐지가 전체 네트워크에서 발생할 수 있도록 온도, 습도, 광량의 조건을 조정하였으며, 각 조건별 전체 데이터의 70% 이상의 결과가 도출하도록 지정하였으며, 3가지 조건을 모두 만족하는 다중 속성 이벤트의 경우 선택 도는 23.50%이다.

공간 연관성을 살펴보기 위해서 센서 노드의 통신

반경에 따른 이웃 노드의 수와 이벤트 연관성을 측정하였다. 이벤트 연관성은 센서 노드 자신의 이벤트 탐지와 이웃 노드의 이벤트 탐지의 일치 정도를 나타낸다. 측정 결과, Fig. 8과 같이 통신 반경이 커짐에 따라 이웃노드의 비율은 증가하지만 선택도가 약 70%인 다중 속성 이벤트 정의 조건에 따라 이벤트 연관성은 60~70%로 수렴한다.

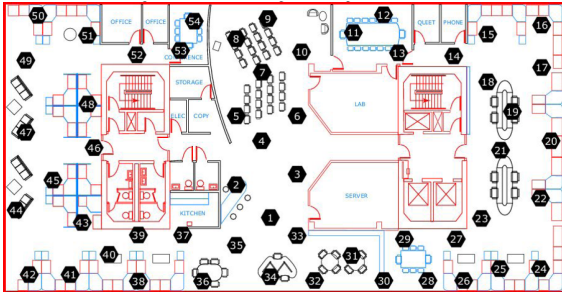


Fig. 7. Sensor network with 54 nodes

Table 1. Definition of multi-attributed event

	조건	선택도
온도	18.5도 이상	70.06%
습도	35.6% 이상	70.41%
광량	102 lux 이상	70.30%
다중 속성 이벤트	-	23.50%

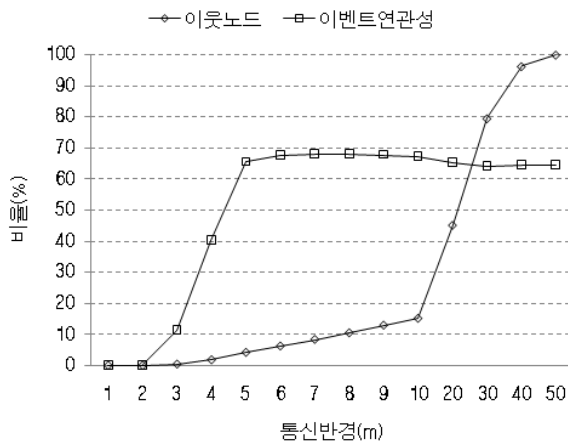


Fig. 8. Correlation ratio between neighbors

Fig. 9는 에러율에 따른 이벤트 탐지율 변화를 나타낸다. 에러가 균등분포로 발생한다고 가정하였기 때문에 에러율이 증가할수록 이벤트 탐지율은 선형적으로 감소한다. Fig. 10은 에러율을 7%로 고정하고, 시공간 연관 계수를 0.0~1.0 범위로 조정하면서 탐지향상 정도와 오경보를 측정하였다. 시공간 연관 계수가 작을수록 주변 센서 노드의 이벤트 탐지에 대한 의존도가 높기 때문에 기지국을 보고되는 이벤트수는 증가하지만 오경보율도 함께 증가한다. 시공간 연관 계수가 증가할수록 이벤트탐지율과 오경보율이 감소하지만 이벤트 탐지율에 비해 오경보율이 더 빠르게 감소하여 식 (3)에 의한 이벤트 탐지 향상도(EE)는 시공간 연관 계수가 0.5~0.6 일 때 가장 좋은 성능을 보인다.

$$EE = \text{오경보} / (\text{오경보} + \text{탐지향상}) \quad (3)$$

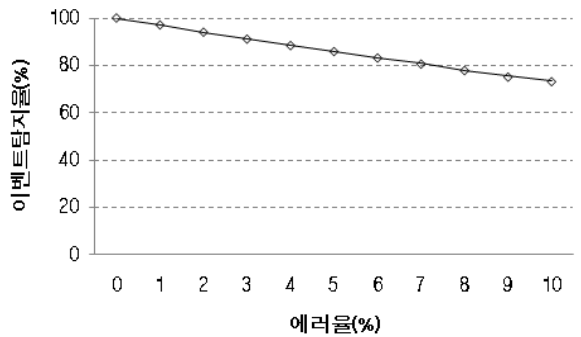


Fig. 9. Event detection ratio with different error ratio

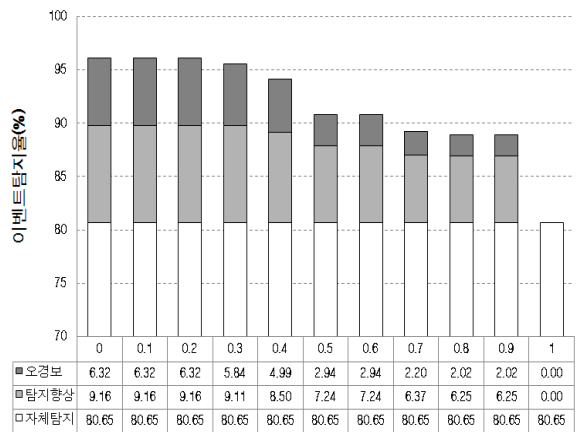


Fig. 10. Event detection ratio with r

5. 결론 및 향후 연구

군 정찰 감시 분야에서 센서 네트워크는 적군 침입을 감시하기 위해서 다중 센서를 이용하여 다중 속성 데이터를 측정한다. 그 다음, 다중 신호의 융합을 통해 복합 이벤트를 탐지 하게 된다. 기존 탐지 기법의 경우, 센서 네트워크의 내외부적인 오류로 인해 많은 탐지 실패를 발생시킨다. 제안하는 기법은 센서 데이터의 시공간 연관성을 이용하여 이웃 노드간 센서 데이터를 교환하고 보정함으로써 오류로 인한 탐지 실패를 줄인다. 또한, 탐지 신호 세기와 탐지 가능 거리를 이용하여 탐지 소스의 위치를 선정한다. 향후 연구는 제안된 기법을 시뮬레이션을 통해 분석하고, 테스트베드에 적용하여 성능을 평가하는 것이다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 민군겸용기술사업(Dual Use Technology Program) 지원으로 수행하였습니다.

References

[1] 이동준, 한상록, 이노복, “USN의 군 체계 적용방안”, 한국지능정보시스템학회 2007년 추계학술대회 논문집, pp. 319~323, 2007년 11월.
 [2] M. Wang and Z. Wu, “Spatio-Temporal Correlation Based Outlier Detection Algorithm in Sensor Network”, International Conference on Computer and

Automation Engineering, pp. 424~427, Feb. 2010.
 [3] X. Meng, L. Li, T. Nandagopal and S. Lu, “Event Contour : An Efficient and Robust Mechanism for Tasks in Sensor Networks”, Technical report, UCLA, 2004.
 [4] S. Pattem, B. Krishnamachari and R. Govindan, “The Impact of Spatial Correlation on Routing with Compression in Wireless Sensor Networks”, Transactions on Sensor Networks, Vol. 4, No. 4, Aug. 2008.
 [5] M. Yeo, D. Seo and J. Yoo, “Data Correlation-Based Clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks”, KSII Transactions on Internet and Information Systems, Vol. 3, No. 3, pp. 331~343, Jun. 2009.
 [6] S. Mukhopadhyay, D. Panigrahi and S. Dey, “Data Aware, Low Cost Error Correction for Wireless Sensor Networks”, Wireless Communications and Networking Conference, pp. 2492~2497, Mar. 2004.
 [7] M. Takruri, S. Challa and R. Yunis, “Data Fusion Techniques for Auto Calibration in Wireless Sensor Networks”, International Conference on Information Fusion 2009, pp. 132~139, Jul. 2009.
 [8] M. C. Vuran and O. B. Akan, “Spatio-temporal Characteristics of Point and Field Sources in Wireless Sensor Networks”, IEEE International Conference on Communications, pp. 234~239, Jun. 2006.
 [9] 전기남, 조승제, 장병현, 김훈규, “감시정찰 센서네트워크 환경에서의 위치기반 표적 탐지 및 추적 시스템 설계에 관한 연구”, 제12차 통신/전자 학술대회 C4I체계 발전방향 세미나, 2008년 10월.