

국경 감시망 환경하에서 센서 노드 제어를 통한 네트워크 수명 향상

이재훈*, 김동완*, 안순신*, Nouredine Boudriga**

*고려대학교 전기전자공학과

**카르타고대학교 통신 공학과

wogns2225@korea.ac.kr

Improving the Network Lifetime of WSNs by Using Control of Sensor Nodes in Border Surveillance

Jae-Hun Lee*, Dong-Wan Kim*, Sun-Shin An*, Nouredine Boudriga**

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University, Korea

** Dept. of Communication Engineering, University of Carthage, Tunisia

요 약

무선 센서 네트워크를 이용한 국경 감시망 시스템은 기존 센서 네트워크의 요구 조건인 효율적인 에너지 사용을 만족함과 동시에 침입자에 대한 신속하고 정확한 감지가 요구된다. 본 논문에서는 이러한 요구 사항을 만족하기 위해 위치에 따라 그룹화된 센서 노드들의 센싱 모듈을 차등적으로 sleep 하는 방법과 전송과위를 동적으로 조절하는 방법을 제안한다. 그리고 이를 통해 효율적인 에너지 소비 및 신속한 감지를 하는 시스템을 구축하고, 논문에서 제안하는 기법의 성능 향상을 확인한다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 크기가 작고, 무선 통신이 가능한 센서 노드들로 구성되는 네트워크이다. 주로 사람의 접근이 불가능하거나 넓은 지역(ex: 국경 감시망, 사막, 전쟁지역 등)의 데이터를 얻는데 효과적이다. 센서 네트워크에서 사용되는 노드들은 크기가 매우 작아 에너지 양이 제한되며, 사용하는 환경이 넓고 접근이 어려운 지역이라면 배터리 교체가 어렵다. 이처럼 센서 네트워크에서는 에너지의 효율적인 사용이 중요하며, 본 논문에서는 에너지 효율적인 방법을 제안한다.

센서 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 크게 센싱 모듈, 프로세싱 모듈, 무선 통신 모듈, 파워 공급 모듈로 나누어 볼 수 있다. 일반적으로 센서 노드에서 에너지 사용량이 많은 모듈은 통신 모듈이지만, 고성능 센서 혹은 다수의 센서를 사용하는 경우 센서 모듈이 에너지 소비의 많은 부분을 차지할 수 있다. 따라서, 통신 모듈의 파워 조절기법을 고려함과 동시에, 센싱 모듈의 on/off 를 통한 효율적인 에너지 사용으로 네트워크 수명을 증가시키는 방법을 제안한다.

2. 관련 연구

센서 네트워크가 적용된 모델은 많은 수의 노드가 전개되므로, 모든 노드가 동작하거나 노드의 모든 모듈이 항상 동작하는 것은 바람직하지 않다. 따라서

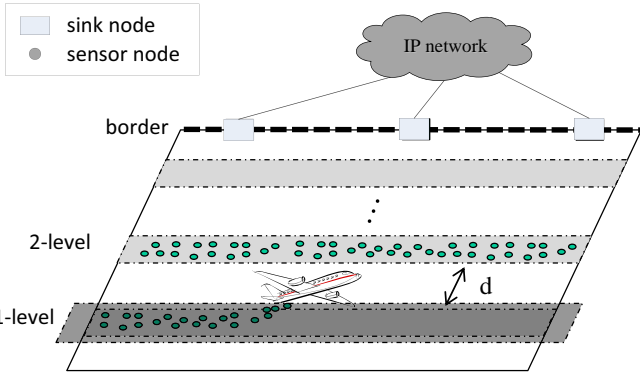
에너지를 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 연장하기 위한 많은 방법들[3]이 연구되었다.

에너지 효율적인 소비에 관한 주제는 크게 duty cycling, data-driven, mobility-based, 3 가지 접근법으로 나누어 볼 수 있다. 먼저, duty cycling 접근법을 통한 방법으로 토폴로지 제어[6], 파워 관리[7]가 있다. 다음으로 data-driven 접근법을 사용하는 방법, 즉 센싱되는 데이터의 내용을 압축하여 전송해야 할 데이터 양을 줄이는 데이터 압축기법[8] 등이 있다. 마지막으로, mobility-based 접근법으로 모바일 노드를 사용하여 네트워크 수명을 연장하는 방법[5] 등이 있다.

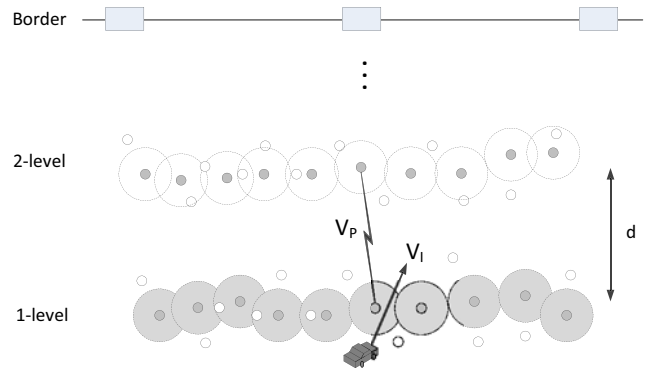
센서 네트워크의 barrier coverage 는 특정 boundary 를 넘는 물체를 감지할 수 있는 기능을 제공한다. 기존에 연구되고 있는 barrier coverage 방법 중 k-discrete barrier coverage 는 k 개의 barrier 를 통하여 원하는 지역에서 침입을 감지할 수 있도록 한다. 본 논문에서는 침입이 이루어지는 방향을 예측할 수 있는 국경감시망이라는 특별한 환경을 활용하여, 신뢰성이 보장되고 에너지 효율적인 네트워크를 설계한다. 이를 duty cycling 의 접근법 중 토폴로지 제어기법과 data-driven 범주로 데이터에 따른 전송과위를 조절하는 방법을 사용하여 신뢰성이 보장된 네트워크의 수명 연장을 목표로 한다.

3. 센서 네트워크 모델, 가정

본 논문에서 언급하는 무선 센서 네트워크는 한정



(그림 1) 노드 전개와 그룹화 된 노드



(그림 2) 센싱 계획

된 배터리가 부착된 대량의 센서 노드들이 그림 1 과 같이 비행기에서 라인을 따라 전개[4]된다고 가정한다. 침입 감지한 센서 노드들은 “싱크노드”라 불리는 게이트웨이 노드에 멀티 홉 통신을 이용하여 정보를 전달하고, 센서 네트워크는 싱크노드를 통해 IP-Network 에 연결된다.

센서 노드들은 서로 주기적으로 정보를 전달하며, 모두 이동이 불가능하고, 노드의 위치는 GPS 를 탑재하고 있는 “참조노드”를 통해서 파악된다. 노드의 센싱 범위는 반지름(R_s)로 이루어지는 원안에 물체가 접근하면 100% 감지가 가능[2]하다고 가정한다.

4. 제안 내용

4.1. 한 라인을 통한 센싱 기법

전개된 라인 별로 노드끼리 그룹이 형성되고[9], 싱크노드로부터 전달되는 메시지의 위치정보를 통해 라인을 구분할 수 있는 level 이 설정된다. 본 논문에서 level 은 국경으로부터 거리가 멀어질수록 라인 별로 형성된 노드 그룹의 level 값이 감소한다고 정한다. 가장 멀리 떨어진 level 을 1 - level 이라 하고, 평상시에 이 라인의 노드들만 센싱 모듈을 작동하여 감시를 시작한다.

1 - level 이외 그룹의 노드들은 자신보다 낮은 level 의 노드, 즉 국경으로부터 자신보다 거리가 먼 level 의 노드로부터 이벤트 메시지를 전달 받았을 때, 센싱 모듈을 작동하여 감시를 시작한다. 이 노드들은 물체를 감지하거나 일정 시간이 지나면 센싱 모듈 작동을 중지한다. 1 - level 이외의 노드들은 침입이 존재하지 않을 때 센싱 모듈이 동작하지 않으므로, 에너지를 소비하지 않고 노드들에 사용되는 센싱 모듈의 파워나 노드에 포함된 센싱 모듈의 수가 증가한다면 더 많은 에너지가 절약 될 것이다. 노드의 에너지 소모 혹은 고장으로 인해 그룹에 센싱 불가지역이 발생하면, 전체 노드 그룹의 level 을 재설정하여 다음 level(2 - level)부터 1 - level 으로 설정한 후 침입을 감지한다.

제안하는 기법이 적용되지 않았을 때, 센싱 에너지(E_s), 하나의 level 그룹의 노드 수(m), 배치된 level 의 수가 L 일 때의 네트워크 수명(t_L)을 고려할 때, 센싱에 소비되는 총 에너지 소모(E_t)는 식 1 과 같다.

$$E_t = E_s * m * L * t_L \quad (1)$$

뒤에서 언급될 위치정보를 이용하여 k 번째 노드의 센싱모듈의 작동연기시간($t_{d,k}$)을 고려하여 제안하는 기법이 적용되었을 때, t_L 동안 센싱에 소비되는 i th - level 의 총 에너지 소모($E_{t,i}$)는 식 2 와 같다

$$E_{t,i} = \begin{cases} E_s * m * t_L & (i = 1) \\ \sum_{k=1}^m E_s * \left(\frac{d}{V_i} - t_{d,k}\right) & (i \neq 1) \end{cases} \quad (2)$$

따라서 1 - level 을 제외한 그룹들은 침입이 발생하는 경우에만 에너지 소모가 감소하여 네트워크 수명 연장이 가능하다.

그림 2 에서 보는 것처럼 인접한 센서노드 그룹의 거리를 d 라고 하고 침입속도와 RF 통신을 위한 전파속도가 각각 V_i , V_p 일때, 침입자의 이동속도를 $V_i \ll V_p$ 로 고려한다

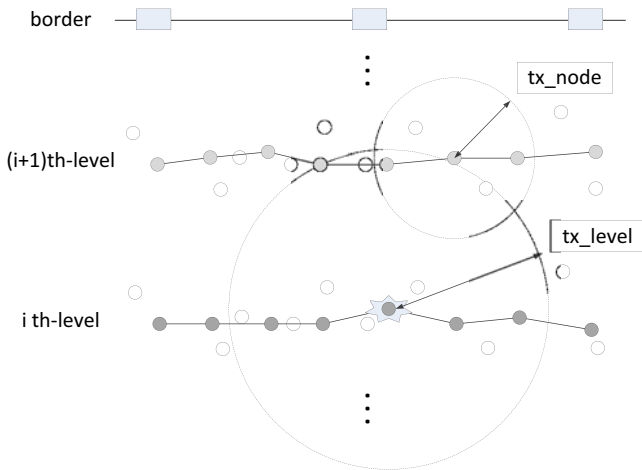
따라서 1 - level 의 센서노드 그룹이 계속 작동을 하고 있다면, 침입을 다음 level(2 - level)에서도 100% 감지가 가능하다. 또, 국경으로부터 가장 먼 노드들로부터 감지가 이루어 지므로 가장 빠른 시간 안에 침입자를 감지하여 대처할 수 있다.

나아가서 국경에 가장 가까운 이벤트 전송에 우선순위를 높여, 중요한 정보를 빠르게 싱크노드에 전달하여 보다 신뢰성 있는 감시망을 구축할 수 있다.

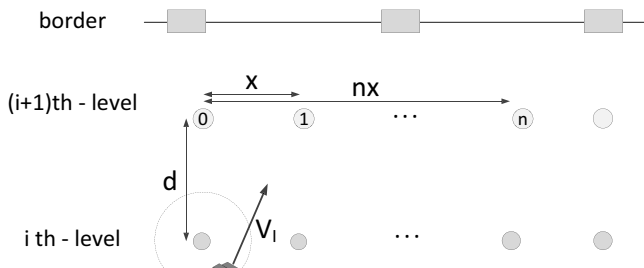
4.2. 메시지에 따른 동적인 전송파워 조절 기법

메시지가 전달되어야 하는 상황을 두 가지로 고려하였다. 첫째, 노드들은 침입이 감지되었을 때 자신보다 높은 level 그룹의 노드, 즉 국경에 가까운 그룹의 노드에게 메시지를 전달하여 센싱모듈을 작동시키도록 한다. 둘째, 낮은 level 그룹의 노드로부터 메시지를 전달받은 노드는 같은 level 의 노드들에게 메시지를 전달하여 센싱모듈을 작동 시키도록 한다.

그림 3 에서 센서노드(i th - level)가 침입을 감지 하였다면 레벨간의 송수신을 위한 전송 파워인 $P(tx_level)$ 으로 설정한 후 wake up 메시지를 센서 노드($(i+1)$ th - level)에게 전송한다. 이 메시지를 받은 노드($(i+1)$ th - level)는 같은 level 간의 송수신을 위한 전



(그림 3) 침입 감지 후 메시지의 전달



(그림 4) 센싱지역에 기반한 순차적 센싱

송 파워인 $P(tx_node)$ 로 센서노드들에게 전파하여 센싱모듈을 작동하도록 한다.

$P(tx_level)$ 가 $P(tx_node)$ 보다 소비되는 파워가 크므로 상황에 따라 전송파워를 조절하는 것으로 에너지를 절약한다.

4.3. 위치정보를 이용한 센싱모듈 작동시간 조절

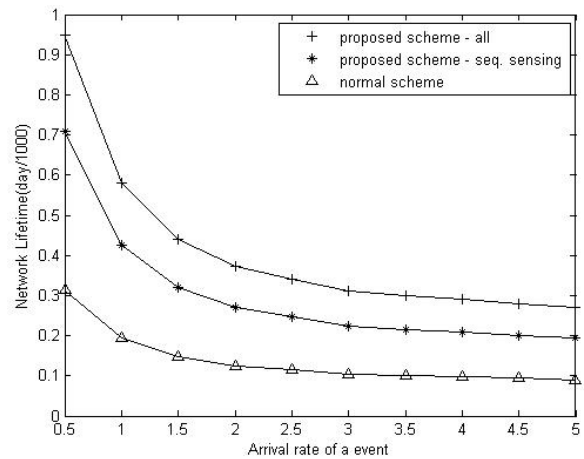
침입 감지로 인한 이벤트 발생시, 감지 지역으로부터 노드까지의 거리를 예측하여 거리에 따라 센싱 모듈이 작동하는 시간을 조절한다.

그림 4와 같이 ith -level 그룹의 노드에 침입이 발생하였을 때 메시지를 $(i+1)th$ -level의 노드로 전달하고, 메시지를 받은 $(i+1)th$ -level의 노드는 같은 level의 노드에게 침입 감지 메시지를 전파한다. 침입자의 이동 속도를 알 수 있을 때, 이벤트 수신 후부터 침입을 감지하기 위해 $(i+1)th$ -level의 각 노드의 센싱모듈이 작동해야 할 시간을 알 수 있고, 그 시간 동안 센싱 모듈을 동작을 연기하여 에너지를 절약할 수 있다.

레벨간의 거리(d), 노드간의 거리(x), 물체의 이동 속도(V_1), 홉의 수(n)을 고려할 때, 침입자의 속도는 변하지 않으며 최소거리인 직선방향으로 침입하는 상황을 고려한다. $(i+1)th$ -level에서 노드들이 작동을 연기해야 할 시간($t_{d,k}$)을 식 3과 같이 파악이 가능하고, 그 시간 동안 에너지 절약이 가능하다. 환경 혹은 애플리케이션 성격에 따라 필요한 추가 시간을 설

<표 1> 실험을 위한 변수 값

Parameter	Value	Note
Initial amount Energy	32400 J	Two AA batteries[5]
Power_consumption (Tx_Level)	0.052 J/s	200m [11]
Power_consumption (Tx_node)	0.030 J/s	40m [11]
Power_consumption (Sensing)	0.15 J/s	[10]
Radius of sensing range	$R_s = 20m$	[5]
The number of events	15000	
The number of nodes	30	



(그림 5) 이벤트 발생률에 따른 네트워크 수명

정하여 신뢰성을 보장할 수 있다.

$$t_{d,k} < \frac{\sqrt{d^2 + (nx)^2}}{V_1} \tag{3}$$

5. 실험

제안된 기법의 성능향상을 확인하기 위하여 C++를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 모든 평균 결과는 100 번의 실험 결과 값의 평균으로 측정하여 사용한다.

실험 환경은 노드의 수는 30 개로 하나의 Level 당 10 개의 노드를 사용하여 총 3 개의 Level 으로 실험하였다. 또, $R_s = 20m$, $R_t = (40, 200m)$, $400m * 240m$ 의 센싱 지역으로 가정하였으며 표 1에 표기하였다. 침입이 발생하는 시간이 지수 분포를 따른다고 가정하였다.

시간 당 침입자 발생 수에 따른 전체 네트워크 수명을 관찰하여 본 결과 그림 5의 결과 그래프를 얻었다. 그래프의 normal scheme은 국경을 감시하고 있는 네트워크에 속한 노드들의 센싱 모듈이 모두 작동하며, 메시지에 따라 동적인 파워 조절을 하지 않는 결과[3], proposed scheme - seq. sensing은 1-level 노드들만 항상 센싱 하도록 하는 기법을 사용한 결과이고 proposed scheme - all은 seq. sensing 기법에 동적인 전송파워 선택 기법과 위치정보를 이용한 센싱 모듈 작동시간을 조절한 기법을 사용하여 나타낸 결과이다.

3 개의 level 을 사용하였으므로 4.1 에서 제안한 기법을 사용한다면 모든 노드들의 센싱 모듈이 작동하는 것과 비교하여 3 배의 네트워크 향상의 효율을 보일 것 이라 생각하였지만 메시지 송수신으로 인한 에너지 소모로 3 배에 이하의 성능 향상을 보였다.

추가로 제안한 동적인 전송과워 조절기법과 위치정보를 이용한 센싱모듈 작동시간 조절기법을 통하여 약 3 배의 성능 향상을 확인하였다.

6. 결론

이 논문에서는 국경 감시 지역에 배치된 이동이 불가능한 노드들로 이루어진 무선 센서 네트워크의 수명을 높이기 위해 두 가지 기법을 제안하였다. 라인을 따라 배치된 노드들은 해당 지역을 감시 할 수 있는 센서 노드 그룹이 형성 되었을 때 센싱 모듈의 동작과 전송과워 동작을 조절하는 방법을 제안하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문의 기법이 사용된 네트워크의 수명이 약 3 배 향상 되었음을 확인하였다.

앞으로는 국경 감시망 상황에서, 센서노드가 전개 되었을 때 커버리지를 유지하면서 에너지 효율적인 그룹을 형성하기 위한 알고리즘, 위치정보 없이 그룹을 생성하는 기법, 이동이 가능한 센서노드, 싱크노드를 이용한 에너지 효율 향상 방안 등을 연구할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2014 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2012K1A3A1A09026959).

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor network: a survey" Computer Networks, vol. 38, no. 4, pp.393-422, Mar. 2002.
- [2] Ghosh and S. K. Das, "Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks", Pervasive and Mobile Computing, Elsevier, vol.4, no. 3, pp.303-334, June 2008
- [3] G. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, and A. Passarella, "Energy conservation in wireless sensor networks: A survey," AdHoc Networks, vol. 7, no. 3, pp 537-568, May 2009
- [4] A. Saipulla, C. Westphal, B. Liu, and J Wang, "Barrier Coverage of Line-Based Deployed Wireless Sensor Networks", INFOCOM 2009, pp 127-135, April 2009
- [5] R. Katsuma, Y. Murata, N. Shibata, K. Yasumoto, M. Ito, "Extending k-Coverage Lifetime of Wireless Sensor Networks Using Mobile Sensor Nodes", WIMOB 2009, pp 48-54, Oct. 2009
- [6] J. Du, K. Wang, H. Liu, and D. Guo, "Maximizing the lifetime of k-discrete barrier", Sensors Journal, IEEE, vol. 13, no. 12, pp.4690-4701, Dec.2013
- [7] Khalil, S. Bagchi, and N. B. Shroff, "SLAM: Sleep-Wake Aware Local Monitoring in Sensor Networks," Proc. 37th IEEE/IFIP Int'l. Conf. Dependable Sys, and Net., pp.

565-74, 2007

- [8] M. Wu, C.W. Chen, Multiple Bit Stream Image Transmission over Wireless Sensor Networks, Book Sensor Network Operations, IEEE& Wiley Interscience, 2006. pp. 677-687 (Chapter 13).
- [9] G. Yang and D. Qiao, "Barrier information coverage with wireless sensor," in Proc. INFOCOM, pp. 918-926, Apr. 2009.
- [10] Sensor Module:
http://www.logiccamp.co.kr/data/file/kor_manual/31380874_9b0f8cb8_NR-KBRM24S-K+BBE7BFEBEC0DA+BCB3B8EDBCAD.pdf
- [11] Chipcon, "CC2420" Datasheet