DBpia

논문번호 12-37B-08-04

한국통신학회논문지 '12-08 Vol.37B No.08
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2012.37B.8.637

무선 센서 네트워크에서 링크 비용 최적화를 고려한 감시·정찰 환경의 트리 기반 라우팅 알고리즘에 대한 연구

공 준 익◆, 이 재 호*, 강 지 헌**, 엄 두 섭°

A Tree-Based Routing Algorithm Considering An Optimization for Efficient Link-Cost Estimation in Military WSN Environments

Joon-Ik Kong◆, Jae-ho Lee*, Jiheon Kang**, Doo-seop Eom°

요 약

최근 많은 응용 분야에서 무선 센서 네트워크 기술의 요구가 급증하고 있다. 특히 사람이 접근하기 어려운 환경에 센서 노드들을 설치하면 스스로 네트워크를 형성하고 사용자가 원하는 정보를 쉽게 획득할 수 있다. 그러나 무선 센서 네트워크에서 각 센서 노드들은 소형의 배터리를 사용하기 때문에 에너지를 효율적으로 관리해야 한다. 침입 탐지와 같은 응용에서는 침입자가 언제 나타날지 모르기 때문에, 에너지 효율이 높은 알고리즘으로 네트워크 수명을 연장시키는 노력이 요구된다. 본 논문에서는 침입 탐지 응용에서 데이터 전송의 신뢰성을 위해 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 제안한다. 본 제안 방식은 데이터 집중으로 소모되는 에너지를 막기 위하여 부모와 자식 노드의 링크 설정 시 Load-balancing을 고려한 최적의 링크 비용을 계산하고, 효율적인 라우팅 테이블 관리로 센서 노드의 한정된 메모리 자원의 효율을 높였다. 또한 감시·정찰 환경에서는 침입자의 움직임을 예측할 수 없기 때문에 현실적인 군 운영 환경을 고려하여 다음의 시나리오를 설계하였고, 이에 대한 지연시간, 에너지 소모량 등의 성능을 시뮬레이션 결과를 통하여 입증하였다. 각 시나리오는 첫 번째로 침입자가 노드 설치 경로를 따라 이동하는 경우, 두 번째는 침입자가 노드 설치 경로를 가로지르는 경우, 마지막으로 침입자가 노드 설치 경로를 따라 이동하는 중에 이탈하는 경우로 구분하여 시험하였다.

Key Words : WSN, Tree-Based, Load-Balancing, Routing Table, Intrusion Detection

ABSTRACT

Recently, Wireless Sensor Networks (WSNs) are used in many applications. When sensor nodes are deployed on special areas, where humans have any difficulties to get in, the nodes form network topology themselves. By using the sensor nodes, users are able to obtain environmental information. Due to the lack of the battery capability, sensor nodes should be efficiently managed with energy consumption in WSNs. In specific applications (e.g. in intrusion detections), intruders tend to occur unexpectedly. For the energy efficiency in the applications, an appropriate algorithm is strongly required. In this paper, we propose tree-based routing algorithm for the specific applications, which based on the intrusion detection. In addition, In order to decrease traffic density, the proposed algorithm provides enhanced method considering link cost and load balance, and it establishes efficient links amongst the sensor nodes. Simultaneously, by using the proposed scheme, parent and child nodes are (re-)defined. Furthermore, efficient routing table management facilitates to improve energy efficiency especially in the limited power source. In order to apply a realistic military environment, in this paper, we design three scenarios according to an intruder's moving direction; (1) the intruder is passing along a

※ 본 연구는 민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)의 지원을 받아 수행되었습니다.
◆ 주저자 : 고려대학교 전기전자전파공학과 미래정보망 연구실, joonik@korea.ac.kr, 준회원
° 교신저자 : 고려대학교 전기전자전파공학과 미래정보망 연구실, eomds@korea.ac.kr, 종신회원
* 고려대학교 전기전자전파공학과 미래정보망 연구실, izeho75@korea.ac.kr, 정회원
** (주) 센서웨이, kanghead@sensorway.co.kr, 정회원
논문번호 : KICS2011-12-590, 접수일자 : 2011년 12월 1일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 19일

www.dbpia.co.kr

path where sensor nodes have been already deployed. (2) the intruders are crossing the path. (3) the intruders, who are moving as (1)'s scenario, are certainly deviating from the middle of the path. In conclusion, through the simulation results, we obtain the performance results in terms of latency and energy consumption, and analyze them. Finally, we validate our algorithm is highly able to adapt on such the application environments.

Ⅰ. 서 론

최근 컴퓨팅 기술과 반도체 기술의 발달로 소형화, 저비용, 저전력의 특징을 지닌 무선 센서 네트워크(WSNs : Wireless Sensor Networks)가 많은 응용 분야에서 사용되고 있다. 특히 자동 망 구성 기능을 지닌 무선 센서 네트워크의 설치로 사람이 접근하기 어려운 환경의 정보를 쉽게 획득할 수 있다[1].

그러나 무선 센서 네트워크는 소형의 배터리를 사용하기 때문에 에너지 효율이 중요하다. 무선 센서 네트워크에서 소비되는 에너지는 크게 센싱 에너지, 처리 에너지, 송수신 에너지로 나눌 수 있는데, 이 중 송수신 에너지가 에너지 소비량이 가장 크다. 따라서 효율적인 에너지 활용을 위해 효과적인 MAC, 라우팅 알고리즘 등의 설계로 송수신 에너지 소비를 줄이는 것이 중요하다[2].

MAC과 라우팅 알고리즘은 무선 센서 네트워크가 활용되는 응용 환경에 따라 설계 방향이 결정된다. 즉, 무선 센서 네트워크는 각 센서 노드들이 감지한 데이터를 Sink 노드로 보고하게 되는데[1,3], 감지 환경에 따라 주기적 보고와 비주기적 보고로 구분된다. 예를 들어, 온도·습도 등의 환경 모니터링과 같은 응용은 상태의 변화를 상황실에서 사용자가 계속 관찰하기 때문에 주기적 보고를 한다. 반면에 침입 탐지와 같은 이벤트 발생 시기가 불투명하고 발생 빈도가 높지 않는 응용에서는 에너지 효율을 높이기 위해 비주기적 보고를 한다.

국방 분야에서 무선 센서 네트워크의 활용은 사람의 힘으로 한계가 발생하는 일에 대해 편의성을 제공하고, 또한 인적·물적 자원의 소비를 줄이는 장점이 있다. 예를 들어 적의 침입을 감지하는 응용에서 사람이 사물을 식별할 수 없는 상황이라도 노드에 부착된 센서들을 이용하여 보다 정확하게 감지할 수 있기 때문에 감시·정찰을 위한 노력이 줄어든다. 이와 같은 응용에서는 센서 노드를 설치한 센서 필드에 침입자가 언제 나타날지 모르는 상황에서 데이터 통신을 해야 하기 때문에 비주기적인 데이터 전송을 하며, 이를 위하여 일반적으로 비동기식 MAC을 사용한다. 센서 노드 간 동기를 주기적으로 맞추지 않아도 되는 비동기식 MAC은 이벤트의 발생 빈도가 낮을 경우 동기식 MAC에 비해 에너지 효율이 높은 장점이 있다. 또한 라우팅 관점에서는 고정되어 있는 센서 노드들의 비주기적인 데이터의 신뢰성을 보장하기 위해 Table-driven 방법을 사용하고, 대표적으로 트리 기반의 라우팅 기법을 사용한다.

일반적으로 라우팅 알고리즘에서 Table-driven 방법은 각 노드가 목적 노드까지의 경로 정보를 저장하기 때문에 메모리 효율성이 떨어지고, 트리 토폴로지는 자식 노드의 수가 많을 경우 데이터가 임의의 한 노드로 집중되는 단점이 있다. 이러한 문제로 데이터를 전송하는데 있어서 트래픽이 과도하게 몰려 전송 지연이 발생하고 특정 노드의 배터리가 빨리 고갈되어 전체 네트워크의 수명을 단축시킨다.

본 논문에서는 데이터 전송의 신뢰성을 위해 Proactive 라우팅 알고리즘을 개선한 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 제안하고, 트리 기반 라우팅 알고리즘의 단점인 데이터 집중 문제를 해결하기 위해 링크 비용 최적화를 수행하여 Load-balancing 측면의 분산도를 높여 자식 노드를 결정하고, 효율적인 라우팅 테이블 관리로 센서 노드의 메모리 효율을 높였다. 링크 비용은 홉 수, RSSI, 그리고 보유하고 있는 자식 노드의 수를 이용하였으며, 이를 실험을 통해 성능을 입증하였다.

또한 침입 탐지를 목적으로 예상 침입 경로를 따라 여러 가지 시나리오를 만들어 실험 하고 비동기식 MAC과 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 사용하여 기존의 라우팅 알고리즘과 성능을 비교하였다. 먼저, 센서 노드를 격자 구조로 설치하고 센서 노드가 침입을 감지했을 때 목적 노드까지 전송 지연, 에너지 소모 등의 결과를 측정하였다. 그리고 실제 군 운영 환경을 고려한 네트워크 분석 모델을 현실성 있는 시나리오 형태로 구분하여 제시하였다. 이는 경로를 따라 설치된 센서 노드들에 대해서 예측되는 침입자의 침입 경로를 3가지로 나누어 구분하였으며, 첫 번째로 침입자가 노드 설치 경로를 따라 이동하는 경우, 두 번째는 침입자가 노드 설치 경로를 가로지르는 경우, 마지막으로 침입자가 노드 설치 경로를 따라 이동 중에 이탈하는 경우이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 관련 연구를 요약하고, 제 3장에서는 침입 탐지

www.dbpia.co.kr

응용을 위한 트리 토폴로지 기반의 라우팅 알고리즘과 Load-balancing을 고려하여 자식노드를 선택하기 위한 링크 비용 최적화 방안을 제안한다. 그리고 기존의 Table-driven 방법을 개선하여 효율적인 라우팅 테이블 관리 방법을 제안한다. 제 4장에서는 침입자의 경로에 따른 시나리오를 구성하고, 트리 토폴로지 기반의 라우팅 알고리즘과 기존의 라우팅 알고리즘의 성능 비교를 하였다. 또한 제 5장에서는 본 논문에 대한 결론을 도출하였다.

Ⅱ. 관련연구

무선 센서 네트워크는 제한된 자원을 사용하기 때문에 에너지를 효율적으로 사용해야 한다. 특히 감시 정찰 센서 네트워크에서는 센서 노드가 침입자를 언제 감지할지 모르기 때문에 주기적인 불필요한 데이터 전송으로 에너지 낭비를 할 필요가 없다. B-MAC[4], X-MAC[5], WTE-MAC[6] 등과 같은 비동기식 MAC은 이웃 노드와의 동기를 맞추기 위한 데이터 전송이 불필요하므로 에너지 효율이 높고, 이벤트 발생이 적은 감시 정찰과 같은 환경에 적합하다.

라우팅 알고리즘은 라우팅 경로 탐색 방법에 따라 Reactive 라우팅 알고리즘과 Proactive 라우팅 알고리즘으로 나눈다. 먼저 Reactive 라우팅 알고리즘은 AODV[7]가 잘 알려져 있고, 경로 요청이 발생할 때 flooding을 통해 경로를 찾는 방법이다. 이 알고리즘의 장점은 모든 노드가 라우팅 정보를 유지하지 않기 때문에 메모리 효율이 높다. 그러나 경로를 찾기 위한 overhead가 발생하고 전송지연이 발생한다. DSDV[8]와 같은 Proactive 라우팅 알고리즘의 장점은 각 노드가 라우팅 정보를 모두 저장하고 있고, 주기적으로 다른 노드에 대한 라우팅 정보를 테이블에 유지함으로써, 전송할 데이터가 발생할 때 별도의 경로를 찾는 알고리즘이 필요 없다. 그러나 주기적으로 라우팅 정보를 유지해야하므로 테이블 갱신에 대한 overhead가 발생한다.

그리고 라우팅 알고리즘에서 각 노드 간 링크 비용(link cost)을 결정하여 최적의 경로를 설정하는 연구가 진행되어 왔다. 하지만 최소의 링크 비용을 결정하는 문제는 NP-Complete 문제로 휴리스틱(Heuristic)한 방법으로 결정해야 한다[9-11]. 따라서 링크 비용의 최적화는 상대적이고 응용에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서는 감시 정찰 응용의 특성을 고려하여 데이터 전송의 신뢰성을 보장하기 위해 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 제안한다. 그리고 트리 기반의 라우팅 알고리즘은 자식 노드의 수가 많으면 부모 노드로의 데이터 집중 문제로 에너지 소모량이 증가하여 네트워크 수명이 단축되기 때문에 부모/자식 노드 간의 링크 설정이 중요하다. 따라서 Load-balancing을 고려한 링크 비용 최적화로 부모/자식 노드의 링크를 설정하도록 하였다.

Ⅲ. 침입 탐지 응용의 라우팅 알고리즘

라우팅은 데이터를 전송하기 위해 소스 노드에서 목적 노드까지 최적의 경로를 결정하는 과정이다. 특히 침입 탐지와 같은 응용에서 가장 중요한 것은 목적 노드까지 신뢰성을 보장하여 데이터 전송을 해야 한다는 점이다. 트리 기반의 라우팅 알고리즘은 경로 설정이 간단하고 데이터 전송이 빠르고 신뢰성이 보장되는 장점이 있다. 이러한 장점을 기반으로 본 논문에서는 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 제안하고, 센서 노드들 간에 링크 비용을 계산하여 Load-balancing 측면의 분산도를 높여 자식 노드를 설정하고, 트리 기반의 라우팅 알고리즘에서 메모리의 효율적인 라우팅 테이블 관리 방법을 제안한다.

3.1. 트리 기반의 라우팅 알고리즘

일반적으로 센서 노드들은 스스로 네트워크를 형성하는 자동 망 구성 기능을 지닌다. 본 논문의 트리 기반의 라우팅 알고리즘 또한 스스로 네트워크를 형성하고, 다음 절에서 설명할 링크 비용 계산을 통해 최적의 경로를 찾는다. 먼저, Sink 노드를 루트(root)로 하여 트리를 형성하기 위해 랜덤하게 설치되어진 모든 센서 노드들은 초기에 브로드캐스트(Broadcast)를 통해 서로의 이웃을 발견하고 이웃 테이블(Neighbor Table : NT)을 만든다. 이러한 과정에서 자신이 Sink 노드와 이웃인지 확인할 수 있고, 만약 Sink 노드와 이웃이라면 Sink 노드로 링크 요청(link_req) 메시지를 전송한다. Sink 노드는 링크 요청을 받아 자신의 자식 노드로 설정하기 위한 링크 허락(link_accept) 메시지를 전송하여 1홉의 링크가 형성된다. 그리고 Sink 노드와 이웃이 아닌 노드들은 Sink 노드와 링크가 형성된 이웃 노드 중 링크 비용 계산을 통해 얻어진 최적의 노드를 찾아 링크 요청(link_req) 메시지를 전송한다. 그림 1은 Sink 노드와 이웃한 노드 A, 이웃하지 않은 노드 B와 노드 C의 관계를 나타내었다. 이 그림에서 노드

www.dbpia.co.kr

A의 이웃 테이블에 Sink 노드가 있는 것을 확인하고, 링크 요청(link_req) 메시지를 전송한다. Sink 노드로부터 링크 허락(link_accept) 메시지를 받으면 Sink 노드는 부모 노드가 되고 노드 A는 자식 노드의 역할을 수행하게 된다. 그리고 노드 A는 주변의 노드들에게 이웃 테이블을 갱신할 수 있도록 이웃 테이블 갱신(update NT) 메시지를 전송한다. 이 과정을 통해 노드 B는 노드 A가 Sink 노드와 연결되어 있다는 것을 확인할 수 있고, 링크 요청(link_req) 메시지를 노드 A로 전송하여 서로 링크를 형성한다. 같은 과정을 반복하여 노드 B는 주변의 노드들에게 이웃 테이블 갱신(update NT) 메시지를 전송하여 노드 C와 링크를 형성할 수 있도록 한다. 이때 각 링크가 설정될 때마다 Sink 노드까지 자신의 부모 노드를 통해 라우팅 테이블 갱신 메시지(update RT)를 통해 링크 연결 정보를 알려 라우팅 테이블을 만든다.

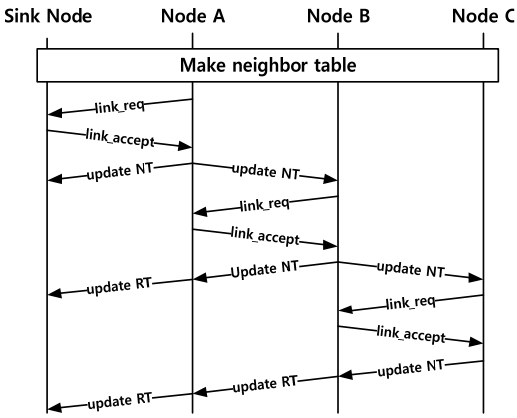


그림 1. 트리 토폴로지 형성과정
Fig. 1. Formating a Tree-based topology process

이러한 방식으로 트리 형태의 토폴로지를 구성하면 그림 2와 같이 각 노드들은 Sink 노드로부터 몇 홉 떨어졌는지 쉽게 확인할 수 있고, 같은 레벨의 노드들을 구별하여 관리할 수 있다. 또한 주변의 모든 노드 상태를 알 필요 없이 자신의 부모 노드와 자식 노드들의 상태만 관리하여 데이터 전송을 하기 때문에 보다 효율적이고 신뢰할 수 있다.

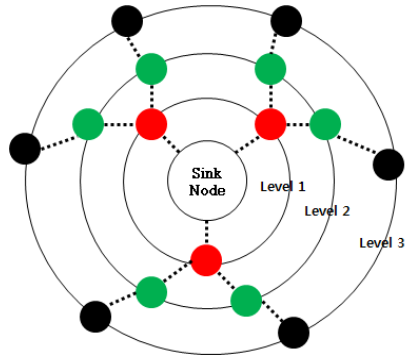


그림 2. 트리 토폴로지 형성
Fig. 2. An example of established topology

3.2. 노드 간 링크 설정을 위한 링크 비용 최적화

랜덤하게 설치된 센서 노드들은 스스로 네트워크를 형성하기 때문에 어느 노드가 자신과 링크가 형성될지 알 수 없다. 예를 들어 임의의 노드에서 주위에 있는 노드들을 전부 자식 노드로 선정하여 링크를 형성하다고 가정할 경우, 이 노드는 자식 노드들을 관리하고 데이터를 전송하는데 있어서 트래픽이 과도하게 몰리는 단점이 발생하게 된다. 따라서 트리 토폴로지 형성 과정에서 센서 노드 간 링크 비용을 계산하여 트래픽이 한쪽으로 몰리지 않도록 Load-balancing 측면의 분산도를 고려한 부모와 자식 노드 선정 방법은 중요한 문제이다. 본 논문에서는 링크 비용 최적화를 고려하여 링크를 형성하고자 하는 대상 노드 선정할 때 다음의 3가지 고려사항을 제안하며, 이는 루트 노드까지의 Hop 수, 최대로 가질 수 있는 자식 노드의 수, 그리고 RSSI 값으로 구성된다.

링크 비용(L_c)의 계산은 식(1)과 같이 링크를 연결하고자 하는 대상 노드가 Sink 노드와 얼마나 떨어져 있는 가를 나타내는 홉 수(H), 대상 노드와의 RSSI($R(R_{cur})$), 그리고 대상 노드가 포함하고 있는 자식 노드의 수($C(C_{cur})$)를 이용한다. 먼저 홉 수(H)는 자연수로 우선순위를 가장 높게 하여, 거리가 비슷하고 포함하고 있는 자식 노드들의 수가 같을 경우 홉 수로 링크 비용을 결정한다. 하지만 무조건 홉 수가 작은 쪽으로 링크를 형성하는 것은 아니다. 예를 들어 트리 구조에서 자식 노드가 한 방향으로 치우쳐 설정되어 있다면, 식(1)의 자식 노드의 수($C(C_{cur})$) 때문에 링크 비용이 증가 한다. 따라서 홉 수의 우선순위가 높더라도 트래픽이 집중되는 문제를 고려하여 상대적으로 홉 수가 큰 쪽으로 링크를 형성할 수도 있다.

www.dbpia.co.kr

$$L_c = H(\alpha R(R_{cur}) + (1-\alpha) C(C_{cur})) \quad (1)$$

대상 노드와의 RSSI(R(R_{cur}))는 그림 3과 같이 threshold(R_{th})값을 결정하고, 이 범위 안에서 일정하게 d 등분하여 노드의 위치에 따라 현재의 RSSI 값이 비율적으로 어느 정도 위치하는지 정수로 표현한다 (R_{cur} : R_{th} = x : d). 예를 들어 threshold가 -100 dBm이라고 가정했을 때, 현재 RSSI가 -30dBm일 경우 식(2)에 따라 [0.3d]가 계산 된다. 따라서 [0.3d]는 d의 값에 따라 정수 값이 결정된다. 반대로 측정된 RSSI 값이 threshold값보다 작을 경우 노드 간 통신이 어렵기 때문에 링크 비용을 매우 크게 설정한다. 따라서 다른 이웃 노드의 링크 비용과 비교했을 때 값이 커지므로 우선순위가 낮게 된다.

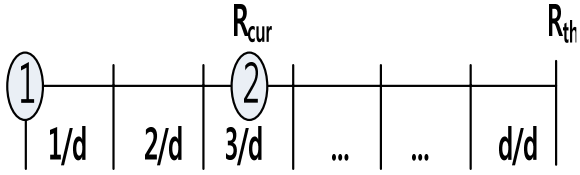


그림 3. 링크 비용 계산에서 RSSI 값 결정
Fig. 3. Determining a current value between RSSI range

마지막으로 링크를 연결하고자 하는 대상 노드의 자식 노드 수를 측정한다. 이는 Load-balancing을 위해 하나의 노드에 트래픽이 집중되지 않도록 하기 위함이다. 식(3)에서 노드가 가질 수 있는 최대 자식 노드의 수(C_{th}) 범위 안에 있을 때 1로 값을 정한다. 그 이유는 노드가 자식 노드로부터 올라오는 데이터의 양을 감내할 수 있는 범위를 넘지 않기 때문이다. 그리고 자식 노드의 수가 최대 자식 노드의 수를 초과할 경우 링크 비용을 선형적으로 증가 시켜 다른 노드와 링크를 설정하도록 유도한다.

$$R(R_{cur}) = \begin{cases} \infty & (R_{th} > R_{cur}) \\ \left\lfloor d * \frac{R_{cur}}{R_{th}} \right\rfloor & (R_{th} \le R_{cur},\ d \ge 2 \text{정수}) \end{cases} \quad (2)$$

$$C(C_{cur}) = \begin{cases} C_{cur} - C_{th} & (C_{th} < C_{cur}) \\ 1 & (C_{th} \ge C_{cur}) \end{cases} \quad (3)$$

3.3. 메모리 효율적인 라우팅 테이블

소스 노드가 데이터를 전송할 때 목적 노드까지 도착할 수 있도록 각 노드는 라우팅 테이블을 갖는다. 라우팅 알고리즘에서 Table-driven 방법은 일반적으로 소스 노드로부터 목적 노드까지 경로에 포함되는 모든 노드들의 주소를 각 노드의 라우팅 테이블에 포함시키는데, 이러한 방법은 센서 노드의 제한된 메모리로 인하여 문제가 발생한다. 하지만 제안된 트리 기반의 라우팅 테이블은 자신의 부모 노드와 1홉 관계의 자식 노드들의 정보만 저장하면 기존의 방법보다 메모리 효율을 높일 수 있다. 즉, N개의 센서 노드가 설치되어 있는 환경에서 기존의 Table-driven 방법은 모든 노드에서 생성되는 라우팅 테이블은 N^2이지만, 제안된 방법은 트리 토폴로지가 완전 이진트리로 형성될 경우 각 노드는 자신의 하위 노드의 라우팅 정보만 가지면 되므로 모든 노드에서 생성되는 라우팅 테이블은

$$2^0 \cdot \sum_{n=1}^{Depth} 2^n + 2^1 \cdot \sum_{m=1}^{Depth-1} 2^m + \cdots + 2^{Depth-1} \cdot \sum_{k=1}^{1} 2^k$$

으로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 그림 4와 같이 15개의 노드가 설치되어 있는 경우를 고려해보자. 먼저, 기존의 라우팅 알고리즘은 토폴로지 구조와 관계없이 각 노드의 라우팅 테이블은 15개로 전체의 라우팅 테이블은 225개가 된다. 하지만 제안된 트리 구조의 라우팅 알고리즘은 하위 노드의 정보만 가지면 된다. 즉, 그림 4와 같이 완전 이진트리일 경우 각 depth에 따라 14, 6, 2개의 라우팅 테이블을 갖고 전체 라우팅 테이블은 34개가 된다.

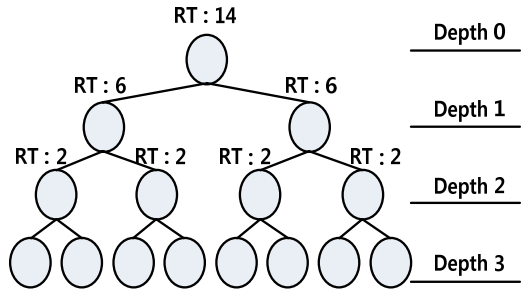


그림 4. 완전 이진트리
Fig. 4. Complete B-Tree

각 센서 노드들은 자신의 하위 노드 정보에 대한 라우팅 테이블을 갖고 그에 따라 목적 노드로 전송할 데이터의 경로를 찾는다. 그림 5에서는 임의의 노드에 대한 라우팅 테이블을 나타낸다. 이처럼 목적 노드로 가는 경로가 노드 3을 경유할 경우 노드 3은 목적 노드로 가는 모든 경로를 라우팅 테이블에 저장하는 것이 아니라, 목적 노드로 가기 위해 노드 3의 자식 노드(노드 4와 노드5) 중에 어느 것

www.dbpia.co.kr

을 선택해야 할지 결정한다. 예를 들어, 목적 노드가 노드 7이라면 노드 3은 라우팅 테이블에서 목적지(dst field)가 노드 7인 것을 검색한 후, 해당되는 자식 노드(next field)인 노드 5로 포워딩한다. 포워딩한 데이터를 받은 노드 5는 자신의 라우팅 테이블을 참조하여 동일한 절차를 반복하고 목적 노드까지 전송한다.

이와 같이, 본 제안 방식은 자신의 하위 노드들에 대한 정보를 최소화하여 메모리 자원을 절약할 수 있다. 하지만 라우팅 테이블에 목적 노드의 정보가 포함되어 있지 않은 경우가 발생할 수도 있다. 이 경우에는 데이터 전송을 부모 노드로 위임한다. 예를 들어 그림 5에서 노드 6이 노드 4로 데이터를 전송할 경우, 노드 6의 라우팅 테이블에 노드 4의 경로 정보가 없기 때문에, 노드 6의 부모 노드인 노드 5로 데이터를 포워딩한다. 또한 노드 5 역시 동일한 이유로 노드 3으로 포워딩한다. 이때, 노드 3은 노드 4의 경로 정보를 보유하고 있기 때문에 성공적으로 전송할 수 있다. 트리 토폴로지 특성상 레벨이 한 단계 높아지면 목적 노드를 발견할 확률이 높아진다. 최악의 경우 네트워크의 모든 노드의 정보를 갖고 있는 루트 노드까지 위임을 받게 되고, 루트 노드의 라우팅 테이블을 통해 목적 노드로 데이터 전송을 성공한다.

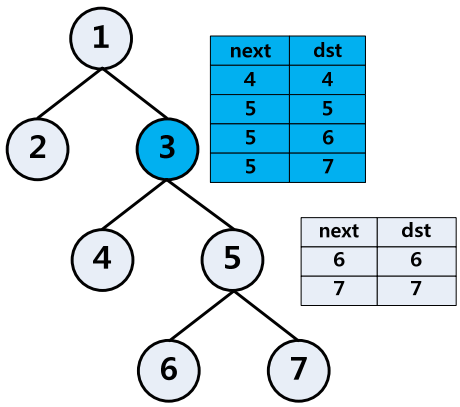


그림 5. 임의 노드에서의 라우팅 테이블
Fig. 5. An example of routing tables in Node 3 and 5

Ⅳ. 시나리오 환경 및 성능 분석

본 장에서는 네트워크 성능 평가를 위해 표 1과 같은 환경을 구성한 NS-2[12]를 이용해 앞서 설명한 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 구현하고, 현실적인 군 운용 환경을 고려한 다음과 같은 시나리오를 분석하였다. 먼저, 센서 노드들을 50m 간격으로 격자 구조(Grid)로 배치하여 라우팅 경로의 구성 및 성능을 평가하였고, 침입이 예상되는 경로를 따라 2열로 배치된 센서 노드들을 기준으로 침입자의 움직임에 따라 3가지 시나리오 형태로 분석 모델을 설계 하였다. 첫 번째로 침입자가 노드 설치 경로를 따라 이동하는 경우, 두 번째로 침입자가 노드 설치경로를 가로지르는 경우, 마지막으로 침입자가 노드 설치 경로를 따라 이동 중에 이탈하는 경우이다.

표 2. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation Environment

MAC Type	X-MAC
Topology	Tree Structure
Packet Interval	0.5 sec
Packet Generation Period	20/40/60/100 sec
Traffic Type	CBR
Data Length	64 byte

4.1. 격자구조(Grid)

그림 6와 같이 격자 구조로 배치된 구조에서 제안된 트리 기반의 라우팅 알고리즘의 성능을 다른 라우팅 알고리즘과 비교 분석하였다.

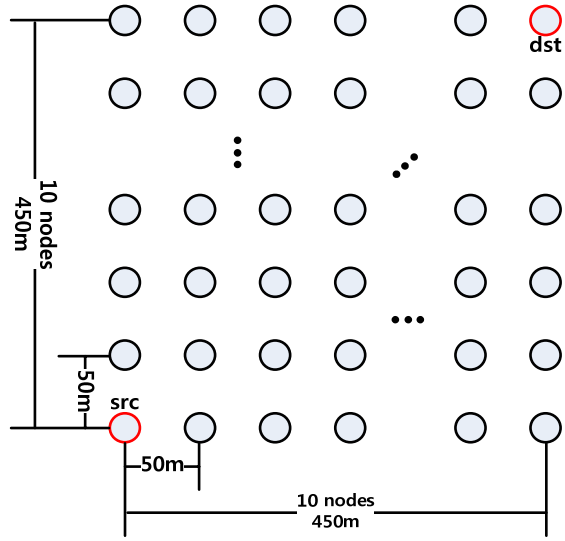
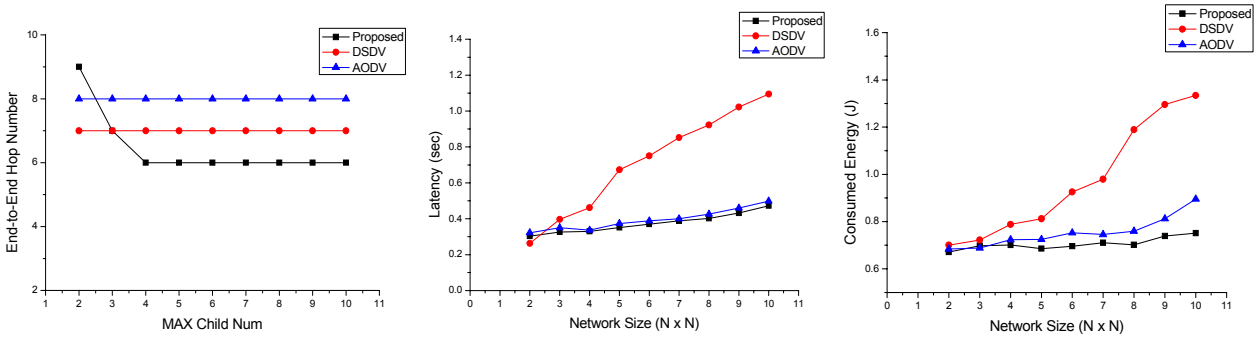


그림 6. 센서 노드 배치
Fig. 6. sensor nodes' deployment

www.dbpia.co.kr



(a) 각 라우팅 알고리즘의 홉 수
(a) hop counts

(b) 격자 구조에서 전송 지연
(b) latency

(c) 격자 구조에서 소비된 에너지
(c) energy consumption

그림 7. 격자 구조에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Performance results in the Grid topology

그림 7(a)는 소스 노드에서 목적 노드까지의 평균 홉 길이에 대하여, 트리 기반의 라우팅 알고리즘과 다른 라우팅 알고리즘(AODV, DSDV)을 비교하였다. AODV와 DSDV는 소스 노드에서 목적 노드까지의 최적의 경로를 매번 재설정하는 방식으로써 각각 8홉, 7홉으로 결정된다. 제안하는 트리 기반의 라우팅 알고리즘은 최대 자식 노드의 수를 4개 이상으로 설정할 경우 목적 노드까지 평균 6홉으로 경로가 결정된다. 그러나 자식 노드의 수가 4개 이상일 경우 목적 노드까지 홉 수가 같은 6홉이라 할지라도 내부적으로 트리 토폴로지의 구조가 달라진다. 즉, 자식 노드가 한 쪽으로 집중되는 경우가 발생하여 Load-balancing 측면에서 부하 분산에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 트리 기반의 라우팅 알고리즘에서 최적의 자식 노드 수는 4개라는 것을 확인할 수 있다.

그림 7(b)와 그림 7(c)는 각각 목적 노드까지 데이터 전송 지연과 에너지 소모에 대한 결과를 나타낸다. 먼저 DSDV는 대표적인 Proactive 라우팅 알고리즘으로서 모든 노드에 대한 라우팅 테이블을 갖는다. 따라서 주기적으로 라우팅 테이블 갱신 메시지를 교환하기 때문에 네트워크의 규모가 커질수록 전송 지연과 에너지 소모가 증가하는 것을 확인할 수 있다. AODV는 제안하는 트리 기반 라우팅 알고리즘과 전송 지연 측면에서 거의 비슷한 성능을 보이지만, 목적 노드까지의 경로를 on-demand 방법으로 결정하기 때문에 실시간성 경로 재탐색 과정을 수행한다. 따라서 네트워크의 규모가 커질수록 트리 기반 라우팅 알고리즘 보다 에너지 소모가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 트리 기반 라우팅 알고리즘은 부모와 자식 노드와의 링크 상태 정보만 유지 하면 되고, 불필요한 경로 재탐색 과정을 하지 않기 때문에 다른 알고리즘에 비해 좋은 성능을 보인다.

4.2. 운영 시나리오에 따른 성능 분석

감시 정찰 환경에서 침입자의 움직임은 예측할 수 없기 때문에, 현실적인 군 운영 환경을 고려하여 다음의 시나리오를 설계하였다. 그리고 실험을 통해 전송 지연 시간과 에너지 소모량을 측정하였다.

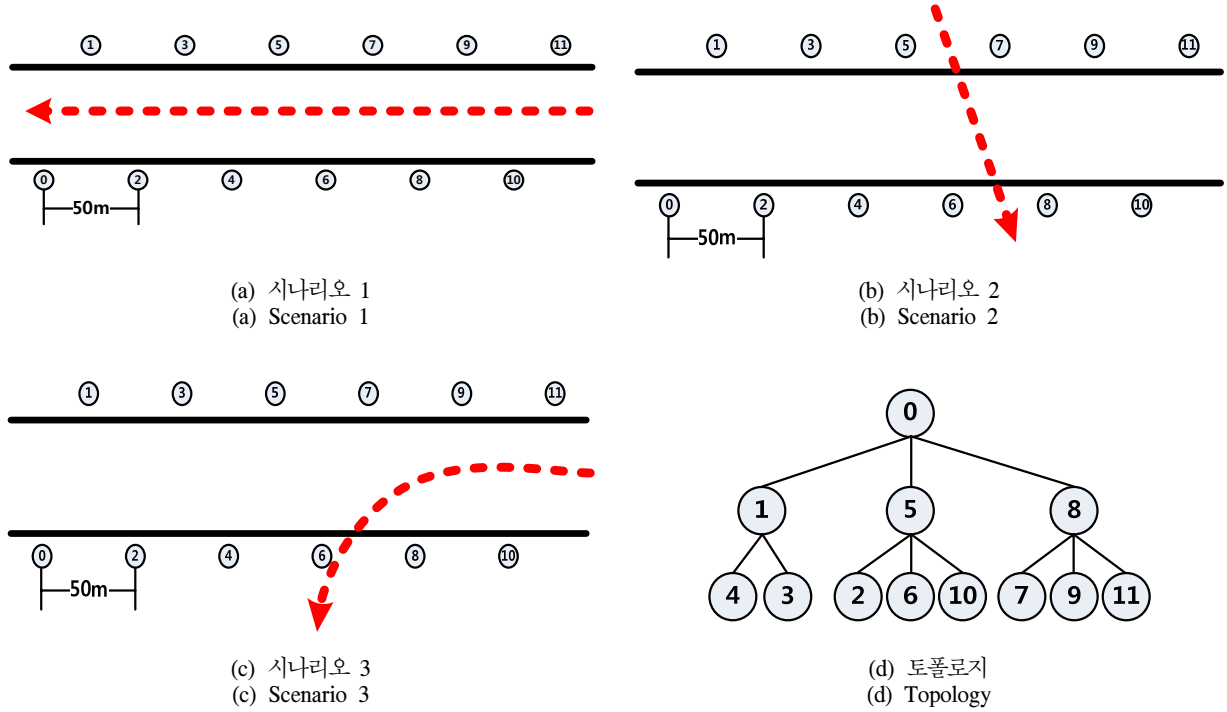
4.2.1. 노드 설치 경로를 따라 이동

시나리오 1은 그림 8(a)와 같이 침입자가 노드 설치 경로를 따라 이동하는 경우이다. 이 경우에는 설치된 센서 노드 전체가 침입자를 순차적으로 감지하여 Sink 노드로 보고하게 된다. 그림 9(a)에서는 침입자의 이동 속도에 따라 발생되는 패킷의 양이 달라지고, 이에 따른 전송 지연 시간을 측정하였다. 그 결과 침입자의 이동 속도와 관계없이 전송지연이 일정한 것을 확인할 수 있다. 그림 9(b)에서는 평균 에너지 소모량을 측정하였는데, 모든 센서 노드들이 이벤트를 감지하므로 Sink 노드로 감지한 데이터를 전송하기 위한 에너지 소모로 다른 시나리오에 대비하여 많은 에너지가 소모되었다. 그리고 그림 9(c)와 같이 각 노드가 소비한 에너지는 그림 8(d)와 같이 형성된 트리 토폴로지의 특성상 중간 노드인 노드 1, 5, 8에서 다른 노드에 비해 에너지 소모가 많이 발생한다.

4.2.2. 노드 설치 경로를 가로지르는 경우

시나리오 2는 그림 8(b)와 같이 침입자가 노드 설치 경로를 가로지르는 경우이다. 이 경우에는 설

www.dbpia.co.kr



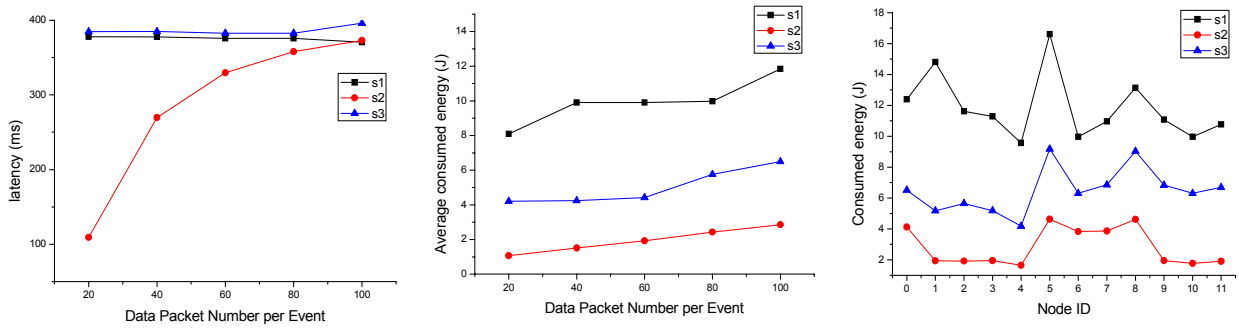
(a) 시나리오 1
(a) Scenario 1

(b) 시나리오 2
(b) Scenario 2

(c) 시나리오 3
(c) Scenario 3

(d) 토폴로지
(d) Topology

그림 8. 각 시나리오 및 트리 토폴로지의 형성
Fig. 8. Scenarios and an established Tree-based topology



(a) 이벤트 발생에 따른 전송 지연
(a) Latency against events

(b) 이벤트 발생에 따른 에너지 소모량
(b) Energy consumption throughout the network

(c) 노드 당 소비한 에너지
(c) Energy consumption of every node

그림 9. 각 시나리오에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation results of our scenarios

치된 센서 노드 중 침입자의 이동 경로 상에 있는 4개의 센서 노드가 침입을 감지한다. 그림 9(a)에서 침입자의 이동 속도가 빠를 때 전송 지연 시간이 짧게 측정되었는데, 이는 침입자를 감지하는 노드 수가 얼마 없기 때문에 Sink 노드로 보고되는 데이터의 발생량이 적어 네트워크 혼잡도(congestion)가 감소되고 데이터 충돌도 적게 발생하기 때문이다. 하지만 침입자의 이동 속도가 느릴 경우 네트워크 혼잡도가 증가하기 때문에 다른 시나리오와 비슷한 결과가 측정된다. 그림 9(b)에서는 다른 시나리오에 비해 가장 적은 평균 에너지 소모량이 측정 되었는데, 이는 침입자를 감지한 4개의 노드를 중심으로 많은 에너지가 소모되었고 다른 노드들은 에너지를 거의 소모하지 않았기 때문이다. 그림 9(c)는 노드

www.dbpia.co.kr

당 소모된 에너지를 보여준다. 침입자를 감지한 노드 5, 6, 7, 8에서 다른 노드에 비해 많은 에너지 소모가 발생하였고, 특히 노드 5, 8은 그림 8(d)와 같은 트리 구조의 중간 노드이기 때문에 노드 6, 7과 비교해서 조금 더 많은 에너지가 소모되었다. 그리고 노드 0은 Sink 노드로 보고된 데이터를 수신하기 위해 에너지가 소모되었다는 것을 확인할 수 있다.

4.2.3. 노드 설치 경로를 따라 이동 중 이탈

시나리오 3은 그림 8(c)와 같이 침입자가 노드 설치 경로를 따라 가던 중 이탈하는 경우이다. 이 경우에는 시나리오 1과 유사하기 때문에 그림 9(a)와 같이 비슷한 전송 지연 시간이 측정되었다. 그림 9(b)는 침입자 감지에 참여한 노드의 수가 시나리오 1의 절반 수준이 되기 때문에 평균 에너지 소모량도 절반 수준으로 측정되었다. 그리고 노드 당 소모되는 에너지를 측정한 그림 9(c)처럼 침입 탐지에 참여한 노드들은 비참여한 노드보다 많은 에너지를 소모하고, 특히 그림 8(d)의 트리 구조에 따라 노드 5, 8에서 더 많은 에너지가 소모된다.

V. 결 론

본 논문에서는 침입 탐지를 목적으로 효율적인 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 또한 라우팅 경로를 설정할 때 홉 수, RSSI, 그리고 자식 노드의 수를 고려하여 이웃 노드들의 링크 비용을 최적화 시킬 수 있는 효율적인 링크 비용 산출 방안을 설계하였다. 이러한 과정을 통해 Load-balancing 측면의 분산도를 고려하여 하나의 노드로 트래픽이 집중되지 않도록 하였으며, 이에 대한 평가를 위하여 실제 군 운용 환경을 고려한 현실적인 네트워크 분석 모델을 제시하고, 제안 방식의 우수성을 증명하였다.

그러나 Load-balancing을 고려하여 에너지 소모에 대해 개선된 트리 구조를 설계했지만, 트리 구조의 특성으로 중간 노드에서의 에너지 소비 및 병목 현상은 피할 수 없다. 따라서 에너지 잔량을 고려한 동적 트리 구조 알고리즘으로 전체 네트워크 수명을 연장하는 연구가 필요하다.

References

[1] J. aYick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, “Wireless sensor network survey”, *Computer Networks*, vol. 52., issue 12, pp. 2292-2330, Aug. 2008

[2] V. Shnayder, M. Hempstead, B. chen, G. W. Allen, and M. Welsh, “Simulating the power Consumption of Large-Scale Sensor Network Applications”, *In Sensys*, 2004

[3] R. Biradar, V. Patil, S. Sawant, and R. Mudholkar, “Classification and comparison of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks”, *Special Issue on Ubiquitous Computing Security systems, UbiCC Journal*, vol. 4, pp. 704-711, 2009

[4] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, “Versatile low power media access for wireless sensor networks”, *in Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys ’04)*, pp. 95-107, Baltimore, Md, USA, November 2004

[5] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, “X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks”, *in Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys ’06)*, pp. 307-320, November 2006

[6] Jae-Ho Lee, Kyeong Hur, and Doo-Seop Eom, “WTE-MAC: Wakeup Time Estimation MAC for Improving End-to-End Delay Performance in WSN”, *The 2011 Military Communications Conference (MILCOM 2011)*, pp. 902-907, November 2011

[7] W. Qin, E.Skafidas, and P. Hao, “Enhanced Tree Routing for Wireless Sensor Networks”, *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 3, pp. 638-650, May 2009

[8] Ur Rahman Khan K., Reddy A.V., Zaman R.U., Reddy K.A., and Harsha T.S., “An Efficient DSDV Routing Protocol for Wireless Mobile Ad Hoc Networks and its Performance Comparison”, *Second UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, Sep. 2008

www.dbpia.co.kr

[9] H. Wang, H. Xu, S. Yi, and Z. Shi, "A tree-growth based ant colony algorithm for QoS multicast routing problem", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, issue 9, pp. 11787-11795, Sep 2011

[10] N. Aitsaadi, N. Achir, K. Boussetta, and G. Pujolle, "Artificial potential field approach in WSN deployment: Cost, QoM, connectivity, and lifetime constraints", *Computer Networks,* vol. 55, issue 1, pp. 84- 105, Jan 2011

[11] S. Q. Zhen, J. Wang, B. Yang, and M. Yang, "Minimum-cost multiple paths subject to minimum link and node sharing in a network", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 18, issue 5, Oct 2010

[12] http://isi.edu/nsnam/ns/

공 준 익 (Joon-Ik Kong)

2010년 고려대 전자공학과 석사
2010년 3월~현재 고려대 전자공학과 박사과정
<관심분야> WSN, WBAN, Ad-Hoc, Clustering

이 재 호 (Jae-ho Lee)

2005년 고려대 전자공학과 석사
2008년 3월~현재 고려대 전자공학과 박사과정
2011년 3월~현재 서일대 겸임교수
<관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN

강 지 헌 (Jiheon Kang)

2008년~현재 ㈜ 센서웨이
2010년 3월~현재 고려대 전자공학과 석사과정
<관심분야> 센서네트워크, MAC, Routing, RTOS

엄 두 섭 (Doo-seop Eom) 종신회원

1987년 고려대 전자공학과 학사
1989년 고려대 전자공학과 석사
1999년 일본 오사카대학 보통신공학과 박사
1989년 2월~1999년 8월 한국전자통신연구소 연구원
1999년 9월~2000년 8월 원광대학교 전임강사
2000년 9월~현재 고려대 전기전자전파공학부 교수
<관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, IP 네트워크

www.dbpia.co.kr