

## 통계적 여과 기법 기반 센서 네트워크에서 라우팅 경로 최적화를 위한 영역별 부분 경로 선택 방법

### Partial Path Selection Method in Each Subregion for Routing Path Optimization in SEF Based Sensor Networks

박혁\* · 조대호\*\*

Hyuk Park and Tae Ho Cho

\* 성균관대학교 정보통신공학부

#### 요 약

무선 센서 네트워크에서 라우팅 경로는 네트워크 보안 유지를 위해 매우 중요하다. 이러한 라우팅 경로를 유지하기 위해선 지속적인 경로 재설정 및 관리가 요구된다. 영역 분할 기반 경로 설정 기법은 통계적 여과 기법이 적용된 센서 네트워크를 여러 개의 하위 영역으로 나누고 각 영역별로 경로 설정 및 관리하는 방법을 제공한다. 이 기법은 부분적인 네트워크 위상 변화 또는 노드의 에너지 고갈 등의 문제로 인한 경로 재설정 시 사용되는 에너지 소모를 많은 부분 절감할 수 있다. 하지만 경로 설정에 사용되는 정보가 해당 영역에만 제한되어 전체 네트워크 관점에서 항상 최적화된 보안 라우팅 경로를 보장하기 어렵다. 본 논문에서는 통계적 여과 기법 기반 센서 네트워크에서 기존 영역 분할 기반 경로 설정 기법으로 설정된 라우팅 경로 최적화를 위한 영역별 부분 경로 선택 방법을 제안한다. 제안 기법에서는 기지 노드가 영역 단위로 설정된 부분 경로 정보를 수집하여 모든 후보 경로들을 평가 함수를 이용해 평가한다. 평가를 통해 결정된 보안 라우팅 경로 정보는 전체 경로 정보 메시지를 통해 각 영역의 최상위 노드(Super DN)에 전달된다. 따라서 각 영역의 최상위 노드는 해당 경로 정보를 이용해 이벤트 발생 위치에 따른 최적화된 라우팅 경로를 제공할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안 기법의 성능을 검증하였으며, 제안 기법은 기존 영역 분할 기반 경로 설정 기법의 성능 향상을 위해 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

**키워드 :** 센서 네트워크, 허위 보고서 주입 공격, 통계적 여과 기법, 보안 라우팅 경로 설정, 경로 최적화

#### Abstract

Routing paths are mightily important for the network security in WSNs. To maintain such routing paths, sustained path re-selection and path management are needed. Region segmentation based path selection method (RSPSM) provides a path selection method that a sensor network is divided into several subregions, so that the regional path selection and path management are available. Therefore, RSPSM can reduce energy consumption when the path re-selection process is executed. However, it is hard to guarantee optimized secure routing path at all times since the information using the path re-selection process is limited in scope. In this paper, we propose partial path selection method in each subregion using preselected partial paths made by RSPSM for routing path optimization in SEF based sensor networks. In the proposed method, the base station collects the information of the all partial paths from every subregion and then, evaluates all the candidates that can be the optimized routing path for each node using a evaluation function. After the evaluation process is done, the result is sent to each super DN using the global routing path information (GPI) message. Thus, each super DN provides the optimized secure routing paths using the GPI. We show the effectiveness of the proposed method via the simulation results. We expect that our method can be useful for the improvement of RSPSM.

**Key Words :** Sensor network, False report injection attack, SEF, Secure routing path selection, Routing path optimization

접수일자: 2011년 7월 15일  
심사(수정)일자: 2012년 1월 13일  
게재확정일자 : 2012년 2월 21일  
\* 교신저자

감사의 글 : 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0004955)

## 1. 서 론

마이크로 전자 기계 시스템(MEMS) 기술, 무선 통신 기술 등의 발전으로 저전력, 저비용의 다기능 소형 센서 노드 개발이 가능하게 되었다[1-2]. 이 같은 다수의 센서 노드와 하나 이상의 기지 노드(base station; 이하 BS)로 구성된 무선 센서 네트워크(wireless sensor network; WSN)는 시간과 장소에 제약을 받지 않고 언

제 어디서나 접속할 수 있는 유비쿼터스(ubiquitous) 환경을 구축할 수 있는 핵심 기술 중 하나로써, 환자의 건강 상태 파악과 같은 의학적 목적과 전장 감시 또는 정찰 등의 군사적 목적, 환경 오염도 측정과 같은 환경적 목적 등 다양한 응용 분야에서 다채롭게 활용될 전망이다[2]. 일반적인 센서 네트워크에서 센서 노드는 개방된 환경에 배치되어 독립적으로 주변의 환경 정보를 감지하고 BS에 전달하며, BS는 전달 받은 정보를 수집하여 사용자에게 전달하는 역할을 담당한다. 하지만 센서 노드는 개방된 무인 환경에서 동작하므로 환경적 제약으로부터 자유로울 수 없으며 더불어 제한적인 메모리 사이즈와 컴퓨팅 성능, 배터리 용량 등의 기계적 제약을 함께 가지고 있어 악의적인 공격자에 의한 보안 위협에 취약하다[3].

허위 보고서 주입 공격(false report injection attack)은 무선 센서 네트워크의 응용 계층에서 발생 가능한 공격 유형 중 하나로써, 공격자가 공격을 목표로 하는 네트워크의 센서 노드들 중 일부 노드를 물리적으로 포획함으로써 가능하다. 공격자는 탈취한 노드로부터 이벤트 보고서 인증에 필요한 메시지 인증 코드(message authentication code; 이하 MAC)과 같은 보안 관련 정보를 획득할 수 있다. 이 MAC 정보를 이용해 공격자는 허위 정보를 네트워크에 주입할 수 있게 된다[4]. 이렇게 허위 정보가 네트워크에 주입되면 보고서 전달 과정에서 노드의 제한된 에너지를 불필요하게 소모하게 되어 네트워크 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 BS까지 전달될 경우 허위 경보를 유발하고 사용자에게 잘못된 정보를 제공하게 된다[5].

이러한 허위 보고서 주입 공격으로부터 네트워크를 안전하게 보호하기 위해 조기에 허위 보고서를 발견하여 여과할 수 있는 다양한 여과 기법들이 제안되었다[5-7]. 또한 제안된 여과 기법들의 성능 향상을 위한 연구도 지속되고 있다[8-9]. Ye[5] 등이 제안한 통계적 여과 기법(statistical en-route filtering scheme; 이하 SEF)은 여러 개의 파티션(partition)으로 분할된 전역 키 풀(global key pool)을 통해 보고서 생성 및 검증에 사용되는 인증키를 관리한다. 각 노드는 네트워크에 배치되기 전에 전역 키 풀의 임의로 선택된 한 파티션으로부터 소수의 키를 랜덤하게 할당받은 후 배치된다. 이벤트가 발생하면 해당 이벤트를 감지한 주변 노드들은 할당받은 키를 이용해 협력적으로 보고서를 생성하고 대표 노드(center of stimulus; CoS)가 BS로 전달한다. 생성된 보고서는 다수의 전달 노드를 거쳐 BS로 전달되는데, 이 과정에서 전달 노드 중 자신이 할당받은 키와 동일한 키로 생성된 MAC을 검증함으로써 보고서의 진위 여부를 판단하게 된다. 따라서 SEF가 적용된 네트워크에서는 가능한 서로 다른 키를 가진 전달 노드들로 라우팅 경로를 구축하여 동일한 MAC의 중복 검증 확률을 낮추고 다양한 MAC을 검증할 수 있게 함으로써 허위 보고서 검출 성능을 향상시킬 수 있다[8-9].

영역 분할 기반 경로 설정 방법(region segmentation based path selection method; 이하 RSPSM)[9]은 SEF의 허위 보고서 검출 성능 및 에너지 효율을 높일 수 있는 방법 중 하나이다. RSPSM에서는 소수의 특징한 노드(distinguishing node; 이하 DN)를 네트워크에 추가적으로 배치하여 네트워크를 여러 개의 하위 영역으

로 나누고 노드들의 파티션 정보와 에너지 정보를 평가하여 라우팅 경로를 설정하고 관리한다. RSPSM은 부분적인 네트워크 위상(topology) 변화와 노드의 에너지 고갈 등의 문제로 인해 경로 재설정이 필요할 때 사용되는 추가적인 에너지 소모를 많은 부분 절감할 수 있고 배치된 노드의 상태를 평가해 보안 메커니즘이 적용된 경로를 제공한다. 하지만 경로 설정에 사용되는 노드의 상태 정보가 해당 영역에만 제한되어 전체 네트워크 관점에서 항상 최적화된 라우팅 경로를 보장하기는 어렵다. 따라서 연결 가능한 부분 경로들 간의 상호운용성(interoperability)을 고려해 라우팅 경로를 구축한다면 더욱 강화된 라우팅 경로를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 RSPSM의 성능을 향상시키기 위해 영역 단위로 설정된 부분 경로들 간의 상호운용성을 고려하여 효과적으로 부분 경로들을 연결할 수 있는 영역별 부분 경로 선택 방법을 제안한다. 제안 기법에서는 BS가 모든 부분 경로 정보를 수집하여 연결 가능한 후보 경로들을 제안한 평가 함수를 이용해 평가한다. 본 논문에서 제안한 기법은 기존 RSPSM과 SEF와 비교하여 허위 보고서를 보다 빠르게 검출함으로써 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장과 3장에서는 배경 이론으로 SEF와 RSPSM에 대해 간단히 설명한다. 4장에서는 제안 기법을 설명하고 5장에서는 시뮬레이션 결과를 통하여 제안 기법의 성능을 보여준다. 마지막으로 6장에서는 결론을 내린다.

## 2. 통계적 여과 기법(SEF)

Ye 등은 센서 네트워크의 응용 계층에서 발생 가능한 공격 유형 중 하나인 허위 보고서 주입 공격에 대응하기 위해 SEF를 제안하였다. SEF에서는 보고서 생성시에 동일한 이벤트를 감지한 노드들이 생성한 MAC를 포함시킨다. 보고서에 포함된 MAC은 여러 중간 노드들을 거쳐 BS까지 전달되는 과정 중 보고서 검증에 사용된다. SEF는 허위 보고서 탐지 및 여과를 위해 배포 전 키 분배, 배포 후 보고서 생성, 중간 노드 여과 및 BS 검증 과정으로 동작한다.

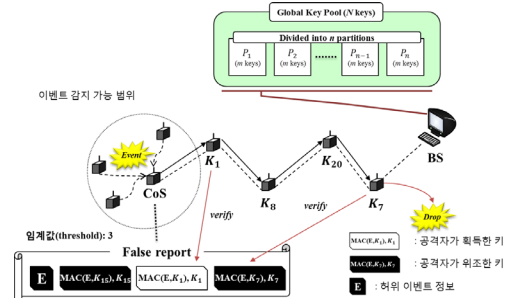


그림 1. SEF 동작 과정  
Fig. 1. SEF operation process

### 2.1 배포 전 키 분배

배포 전 키 분배는 BS가 관리하는 전역 키 풀의 키 정보를 이용한다. 전역 키 풀은 중복되지 않는 n개의

파티션으로 구성되어있다. 각 파티션에는 고유한 키 번호를 가지고 있는  $m$ 개 키들이 속해 있으며, 총  $n$ 개의 파티션은 교집합이 없는 완전히 독립된 집합과 같은 구조이다. 네트워크에서 사용되는 모든 노드는 배포 전 전역 키 풀의 랜덤하게 선택된 한 파티션으로부터  $k$ 개 키를 할당받아 선택된  $k$ 개 키와 키 인덱스(key index)들을 저장하고 관심 지역에 배치된다.

**2.2 보고서 생성**

이벤트가 발생하면 해당 이벤트 감지 가능 범위 내에 위치한 모든 노드들은 이벤트를 감지하고 가장 강하게 이벤트를 감지한 노드를 대표 노드로 선출한다. 그리고 감지 노드들은 자신이 소유한 키 중 하나를 임의로 선택하여 MAC을 생성하고, MAC을 생성하는데 사용된 키의 인덱스와 함께 대표 노드로 전송한다. 대표 노드는 동일한 이벤트를 감지한 주변 노드들로부터 전달받은 MAC과 키 인덱스 쌍(pair)들을 파티션별로 분류한 후, 미리 정해진 임계값(threshold) 만큼의 서로 다른 파티션의 키로 만들어진 MAC과 키 인덱스 쌍을 임의로 선택하여 해당 이벤트 정보에 첨부하여 보고서를 생성한다. 이렇게 완성된 보고서는 다수의 전달 노드들 거쳐 BS로 전달된다.

**2.3 중간 노드 여과 및 BS 검증**

보고서가 전달되는 과정에서 해당 보고서가 전달되는 경로 상에 위치한 중간 노드들은 허위 보고서 탐지 및 여과를 위한 검증 작업을 수행한다. 보고서를 수신한 노드는 제일 먼저 해당 보고서에 임계값과 같은 수의 MAC이 포함되어있는지 확인한다. 만약 임계값과 같은 수의 MAC이 존재하지 않는다면 해당 보고서를 허위 보고서로 판단하여 제거한다. 반대로 정상적인 수의 MAC을 포함한 보고서의 경우에는 다음 검증 단계로써, 보고서에 포함된 MAC들 중 자신이 소유한 키들과 동일한 키로 생성된 MAC이 존재하는지 확인한다. 만약 자신이 소유한 키와 동일한 키로 생성된 MAC이 없다면 더 이상 해당 보고서의 검증이 불가능하므로 다음 노드로 전송한다. 반대로 자신이 소유한 키와 동일한 키로 생성된 MAC이 존재한다면 동일한 키로 MAC을 생성하여 해당 보고서의 MAC과 비교하여 동일한 MAC인지 아닌지 확인하는 방법으로 진위 여부를 확인할 수 있다. 라우팅 경로 상에 위치한 모든 중간 노드는 이 같은 과정을 반복적으로 수행하여 허위 보고서를 탐지하고 여과 할 수 있다. BS까지 정상적으로 도착한 보고서는 BS에서 관리하는 전역 키 풀의 모든 키 정보를 이용해 최종적으로 검증된다. SEF에서는 위와 같은 일련의 과정을 통하여 허위 보고서를 검출할 수 있는 보안 메커니즘을 제공한다.

**3. 영역 분할 기반 경로 설정 방법(RSPSM)**

RSPSM은 SEF의 허위 보고서 검출 성능을 향상시키기 위해 네트워크에 배치된 노드들이 가지고 있는 키 분포 상태를 고려하여 라우팅 경로를 설정하는 기법들 중 하나이다. RSPSM에는 센서 네트워크에 소수의 DN들을 추가적으로 배치하여 이를 이용해서 해당 네트워크를 여러 개의 영역으로 나누어 계층적으로 관리한다. 그리하여 네트워크의 잦은 위상 변화와 노드의 에너지 고갈과 같은 문제로 인해 경로 재설정이 필요할 시에도 경로 재설정이 필요한 영역에 대해 제한적으로 경로 재설정이 가능하게 함으로써 라우팅 경로 설정에 사용되는 에너지 소모를 많은 부분 절감할 수 있다. RSPSM은 영역 설정 과정과 영역별 경로 설정 과정으로 동작한다.

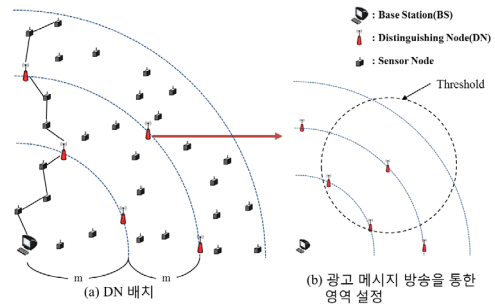


그림 2. 영역 설정  
Fig. 2. Region segmentation

**3.1 영역 설정**

영역 설정을 위해선 BS와 일반적인 센서 노드 이외에 추가적으로 소수의 DN을 해당 네트워크에 배치시켜야한다. 또한 DN은 네트워크에 일정한 간격으로 배치되어야하며 일반적인 센서 노드보다 배터리 용량과 컴퓨팅 성능 측면에서 월등히 뛰어나다. 모든 센서 노드는 네트워크에 배치되기 전에 시스템에서 설정한 수신 신호 세기(received signal strength indication; 이하 RSSI) 임계값을 할당받아 저장한다. RSSI 임계값은 영역 설정 시 해당 영역의 BS 또는 DN으로부터 수신한 메시지 수신 신호 세기와 비교하여 해당 영역의 소속 여부를 결정할 때 사용된다. 모든 DN과 센서 노드가 정상적으로 네트워크에 배치되면 BS와 DN은 영역 설정을 위한 광고 메시지(advertisement message)를 방송한다. 모든 노드는 최소한 하나의 BS 또는 DN으로부터 광고 메시지를 수신하고 영역 설정을 위한 RSSI 임계값과 해당 광고 메시지를 수신한 신호 세기를 비교하여 RSSI 임계값보다 크다면 해당 영역에 소속된다. 영역 설정 과정을 통해 모든 노드는 하나 이상의 영역에 소속된다.

**3.2 영역별 경로 설정**

영역 설정이 정상적으로 완료되면 해당 네트워크는 초기 경로 설정이외에는 경로 재설정이 필요한 영역 단위로 경로 재설정이 가능하다. 각 영역의 최상의 노드인 BS 또는 상위 DN은 경로 설정을 위한 제어 메시지(control message)를 플래딩한다. 제어 메시지는 매 홉(hop)마다 갱신되며 홉 수, 제어 메시지가 전달된 경로

상에 배치된 노드들의 파티션 정보 및 에너지 정보 등이 저장된다. 모든 노드는 자신이 소속된 영역으로부터 온 제어 메시지들을 수신하여 메시지에 포함된 경로 정보를 이용해 RSPSM에서 제안한 2가지 평가함수를 사용하여 라우팅 경로 상에 배치된 노드들의 파티션 정보를 비교하고 가장 다양한 파티션으로 구성되어 가장 다양한 MAC을 검증할 수 있는 확률이 높은 경로를 선택한다.

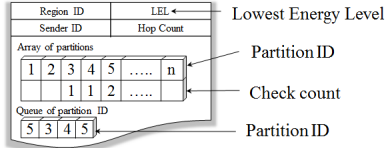


그림 3. 제어 메시지  
Fig. 3. Control message

### 4. 제안 기법

#### 4.1 동기

RSPSM은 네트워크에 배치된 노드들의 잔여 에너지, 소유한 키의 파티션 정보, BS로부터의 거리 등과 같은 노드의 상태 정보를 이용하여 허위 보고서 검출 성능을 향상시킬 수 있는 라우팅 경로를 영역 단위로 설정한다. 또한 소수의 DN을 이용해 영역을 나누어 관리하여 일부 네트워크의 라우팅 경로에 결함이 발생하더라도 결함이 발생한 영역에 제한된 경로 재설정을 가능하게 함으로써, 경로 재설정에 사용되는 에너지 소모를 절감할 수 있다. 하지만 영역 단위로 경로 설정하면 해당 영역에 소속된 노드의 상태 정보만을 수집하여 경로를 평가하므로 전체 네트워크 관점에서 이벤트를 탐지한 노드로부터 BS까지의 최적화된 라우팅 경로를 보장하기 어렵다. 따라서 RSPSM의 성능을 향상시키기 위해 영역 단위로 설정된 부분 경로들 간의 상호운용성을 고려하여 효과적으로 부분 경로들을 연결할 수 있는 영역별 부분 경로 선택 방법을 제안한다.

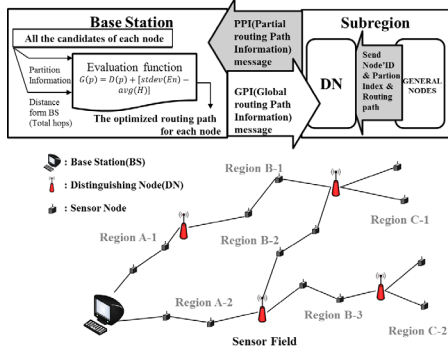


그림 4. 영역별 부분 경로 선택과 연관된 데이터 흐름  
Fig. 4. Data stream associated with the regional partial path selection

#### 4.2 영역별 부분 경로 선택 방법

SEF가 적용된 센서 네트워크에서 라우팅 경로 최적화를 위한 라우팅 경로 평가는 BS에서 실행된다. 따라서 영역별 부분 경로 선택 과정을 수행하기 위해선 기

존 RSPSM을 이용해 각 영역 단위로 설정된 부분 경로들에 대한 정보 수집이 선행되어야 한다. 그림 4는 영역별 부분 경로 선택과 연관된 센서 네트워크의 데이터 흐름을 보여준다. RSPSM에서 제안한 경로 설정 방법을 이용해 경로 설정을 마친 각 노드는 자신의 노드의 ID와 소유한 키가 속한 파티션의 인덱스 정보, 자신이 설정한 경로, 즉 이벤트를 전달할 다음 노드의 ID 등을 해당 영역의 최상위 노드인 상위 DN에 보고한다. 해당 영역에 소속된 모든 노드로부터 경로 정보를 수집한 상위 DN은 해당 영역의 모든 경로 정보를 포함한 부분 라우팅 경로 정보 메시지(partial path routing information message; 이하 PPI 메시지)를 완성하여 BS로 전송한다. 그림 8은 BS로 전송되는 PPI 메시지의 구조를 보여준다.

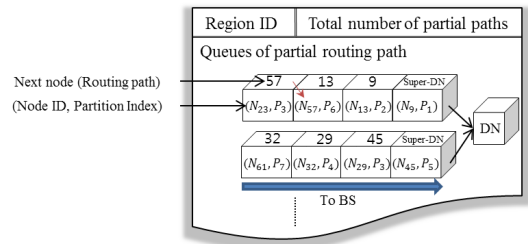


그림 5. 부분 라우팅 경로 정보 메시지 구조  
Fig. 5. Partial routing Path Information (PPI) message structure

BS는 모든 영역의 상위 DN으로부터 PPI 메시지를 수신함으로써 해당 네트워크에 구축된 모든 부분 경로 상에 배치된 노드들의 ID와 파티션 정보를 획득할 수 있다. 만약 네트워크에 n개 노드가 배치되고 고립된 노드가 없다고 가정하면, 실제로 n개의 BS까지 연결되는 각기 다른 라우팅 경로가 존재한다. 따라서 각 노드별로 최적화된 라우팅 경로를 제공하기 위해 각 노드 기준으로 부분 라우팅 경로를 연결한 최적화된 라우팅 경로가 될 수 있는 모든 후보 경로들을 추출한다. 그림 6은 특정한 한 노드의 최적화된 경로가 될 수 있는 후보 경로들의 예를 보여준다.

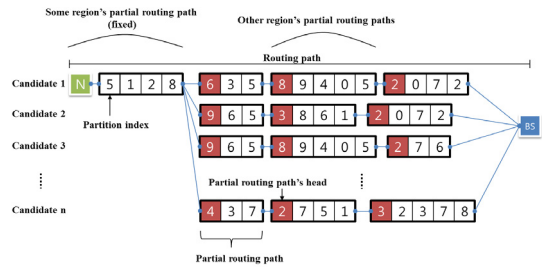


그림 6. 후보 경로의 예  
Fig. 6. Example of the candidates for a node's optimized routing path

각 노드별로 모든 후보 경로들의 보안성 및 에너지 효율성을 평가하기 위해 평가 함수를 사용한다. 평가 함수 통해 각 후보 경로의 전체 홉 수, 연결된 부분 경로들 간



의 각 파티션별 중복 횟수 및 중복 간격을 고려하여, 상대적으로 다양한 MAC을 검증할 수 있으면서도 에너지 효율이 좋은 경로를 최적화된 라우팅 경로로 선택할 수 있다. 노드의 라우팅 경로 설정을 위한 평가 함수  $G(p)$ 의 값이 최소인 후보 경로가 해당 노드의 라우팅 경로로 선택되며, 평가 함수  $G(p)$ 는 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$G(p) = D(p) + [stdev(En) - avg(H)] \quad (1)$$

식 (1)에서  $p$ 는 경로,  $D(p)$ 는 경로  $p$ 의 전체 거리(홉수)를 의미한다.  $stdev(En)$ 는 경로  $p$ 에 포함되는 부분 경로들 간의 파티션 중복 횟수를 체크한 배열(표 1)의 값들 간의 표준 편차 값을 의미하며,  $avg(H)$ 는 경로  $p$ 에 포함되는 부분 경로들 간의 파티션이 중복되는 간격(홉수)의 평균값을 의미한다.  $stdev(En)$ 은 0에 가까울수록 다양한 파티션별로 고르게 키를 가진 노드들로 구성된 경로를 의미하고,  $avg(H)$ 는 클수록 단거리 내에서 MAC의 중복 검증 확률이 낮음을 의미한다.

평가 함수를 통해 각 노드별로 전체 경로가 결정되면 BS는 영역별로 각 노드의 전체 경로 정보를 분류하고, 영역별 전체 라우팅 경로 메시지(global path routing information message; 이하 GPI 메시지)를 생성하여 각 영역의 상위 DN에 전송한다. GPI 메시지를 수신한 상위 DN은 이를 통하여 해당 영역에 소속된 모든 노드의 최적화된 전체 경로 정보를 알 수 있게 된다. 따라서 특정한 노드로부터 발생한 이벤트 보고서가 상위 DN을 거쳐 갈 때 상위 DN은 해당 노드에서 발생한 보고서의 가장 최적화된 부분 경로와 연결해줄 수 있다. 표 1은 그림 6의 후보 경로 1의 파티션 평가 배열을 나타낸다. 후보 경로 1은 파티션 5의 중복 회수가 2회이며, 파티션 0, 2, 8의 중복 회수는 각 1회씩이다. 중복 회수가 0인 파티션 1, 3, 4, 6, 7, 그리고 9는 후보 경로에 포함은 되어있지만 구간 내에 반복되지 않은 파티션을 의미한다. 파티션별 평균 중복 홉수는 각 파티션의 평균 중복 구간 거리를 나타낸다.

표 1. 후보 경로 평가 배열 (그림 6의 후보 경로 1)  
Table 1. Evaluation array of the candidate 1 in Fig. 6

Partition index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Overlapping Count	1	0	1	0	0	2	0	0	1	0
Average overlapping hops	3	17	10	17	17	5.5	17	17	4	17

### 5. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 각 노드별 라우팅 경로 최적화를 위한 영역별 부분 경로 선택 방법의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 제안 기법의 성능을 비교하기 위하여 SEF와 RSPSM이 제안 기법과 동일한 환경에서 시뮬레이션 되어 비교 대상으로 활용되었

다. 시뮬레이션에 사용된 가상 네트워크는  $900 \times 900m^2$ 의 크기로 구성하였다. 총 2,000개의 센서 노드와 1개의 BS, 9개의 DN이 가상 네트워크에 배치되었으며, 제안 기법과 RSPSM에 대한 시뮬레이션의 경우, RSPSM에서 제안한 영역 설정 방법을 사용하여 18개의 하위 영역이 설정되었다. 전역 키 풀은 총 500개의 키들이 10개의 파티션으로 나뉘어 구성되었고 각 노드는 5개 키를 할당하였다. 이벤트 생성 및 검증에 사용되는 MAC의 임계값은 5로 설정하였으며, 영역 설정에 필요한 광고 메시지 크기는 15bytes, 이벤트 보고서의 원본 크기는 12bytes, 이벤트 보고서에 첨부되는 MAC은 하나 당 1byte로 설정되었다. 각 노드는 byte 당 송/수신에  $16.56\mu J/12.5\mu J$ 의 에너지를 소비하고, MAC을 생성하는데  $15\mu J$ 의 에너지를 소비한다 [5,10-11]. 시뮬레이션을 진행하는 동안 랜덤하게 훼손된 노드에서 총 1000번의 허위 이벤트를 발생시켰다.

성능 평가 지표는 총 3가지로써 전체 노드들 중 훼손 노드 비율에 따른 허위 보고서 여과율, 에너지 소모량, 보고서가 전달된 누적 홉수이다.

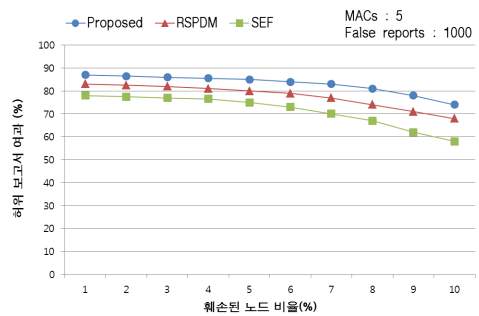


그림 7. 허위 보고서 여과율  
Fig. 7. Filtered false reports ratio

그림 7은 1000개의 허위 이벤트 발생 시 훼손된 노드 비율에 따른 허위 보고서 여과율을 보여준다. 제안 기법은 SEF와 비교해 최대 약 18%, RSPSM과 비교해 최대 약 8% 정도 허위 보고서 검출 확률을 증가시켰음을 확인할 수 있다.

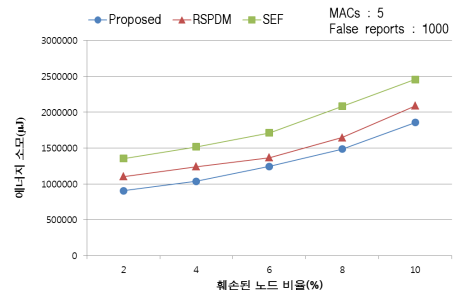


그림 8. 에너지 소모량  
Fig. 8. Energy consumption

그림 8은 1000개의 허위 이벤트 발생 시 훼손된 노드 비율에 따른 에너지 소모량을 보여준다. 위 결과를 통하여 제안 기법은 기존 두 기법에 비해 허위 보고서

를 검출하는데 있어 상당히 많은 양의 에너지를 절약할 수 있음을 확인하였다.

그림 9는 1000개의 허위 이벤트 발생 시 훼손된 노드 비율에 따른 보고서가 전달된 누적 홉 수를 보여준다. 제안 기법은 기존 두 기법에 비해 적은 량의 통신으로 허위 보고서를 조기에 검출했음을 확인 할 수 있다.

위와 같은 시뮬레이션 결과를 통하여 제안 기법은 SEF와 RSPSM과 비교하여 보다 조기에 많은 양의 허위 보고서를 검출함으로써 허위 보고서 탐지 및 여과에 사용되는 에너지를 많은 부분 절약할 수 있음을 확인하였다.

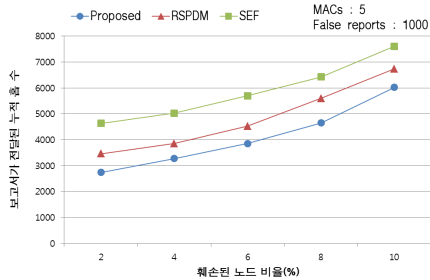


그림 9. 보고서가 전달된 누적 홉 수  
Fig. 9. Total number of traveled hops of reports

## 6. 결론

SEF가 적용된 센서 네트워크에서 각 노드의 라우팅 경로 최적화를 위한 영역별 부분 경로 선택 방법을 제안하였다. 제안 기법에서 BS는 RSPSM에서 제안한 경로 설정 방법을 이용해 영역별로 설정된 모든 부분 경로 정보를 수집한다. 수집한 부분 경로 정보를 이용하여 네트워크 배치된 모든 노드에 대해 각 노드로부터 BS까지의 최적화된 라우팅 경로가 될 수 있는 모든 후보 경로를 추출한다. 모든 후보 경로들을 제한한 평가 함수를 이용해 평가하고 각각의 노드에게 최적화된 라우팅 경로를 제공한다. 시뮬레이션을 통하여 제안 기법이 기존 SEF와 RSPSM과 비교하여 허위 보고서 검출 성능 및 에너지 효율을 상당 부분 개선하였음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 기법은 RSPSM의 성능 향상을 위해 유용하게 사용될 것이라 기대된다.

## 참 고 문 헌

[1] I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Wireless Communication Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-144, 2002.  
 [2] J. Yick, B. Mukherjee, D Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, Vol. 52, No. 12, pp. 2292-2330, 2008.  
 [3] J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE Wireless Communication Magazine*, Vol. 11, No. 6, pp. 6-28, 2004.

[4] C. Karlof and D. Wagner, "Secure Routing in Wireless Sensor Networks: Attacks and Countermeasures," *Elsevier's Ad Hoc Networks Journal, Special Issue on Sensor Network Protocols and Applications*, Vol. 1, No. 2-3, pp. 293-315, 2003.  
 [5] F. Ye, H. Luo and S. Lu, "Statistical En-Route Filtering of Injected False Data in Sensor Networks," *IEEE J. Sel. Area Comm.*, Vol. 23, No. 4, pp. 839-850, 2005.  
 [6] Z. Yu and Y. Guan, "A Dynamic En-route Scheme for Filtering False Data Injection in Wireless Sensor Networks," *ACM, Proc. of Sensys*, pp. 294-295, 2005.  
 [7] F. Li and J. Wu, "A probabilistic voting-based filtering scheme in wireless sensor networks," *Proc. IWCMC*, pp. 27 - 32, 2006.  
 [8] C. I. Sun, H. Y. Lee and T. H. Cho, "A Path Selection Method for Improving the Detection Power of Statistical Filtering in Sensor Networks," *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 25, No. 4, pp. 1163-1175, 2009.  
 [9] H. Park, S. Y. Moon, and T. H. Cho, "A Region Segmentation Based Path Selection Method for WSNs," *IJCSNS*, Vol. 11, No. 2, pp 88-93, 2011.  
 [10] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister, "System Architecture Directions for Networked Sensors," *In Proc. of ACM ASPLOS IX*, pp. 93-104, 2000.  
 [11] Xbow sensor networks, <http://www.xbow.com>

## 저 자 소 개



### 박 혁 (Hyuk Park)

2010년: 세명대학교 전자상거래학과 학사  
 2010년~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정

관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 무선 센서 네트워크, 인공 지능, 네트워크 보안, EFP 시스템  
 E-mail : hpark@ece.skku.ac.kr



### 조 대 호 (Tae Ho Cho)

1983년: 성균관대학교 전자공학과 학사  
 1988년: Univ. of Alabama 전자공학과 석사  
 1993년: Univ. of Arizona 전자 및 컴퓨터공학과 박사

관심분야 : 무선 센서 네트워크, 모델링 및 시뮬레이션, 지능 시스템, 모델링 방법론  
 E-mail : taecho@ece.skku.ac.kr