

감시정찰 센서 네트워크에서 서비스 기반 정보수집을 위한 효율적인 클러스터링 및 데이터 전송 기법

Efficient Clustering and Data Transmission for Service-Centric Data Gathering in Surveillance Sensor Networks

송운섭* 정우성** 서윤* 고영배**
 Woon-Seop Song Woo-Sung Jung Youn Seo Young-Bae Ko

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks, especially supporting for surveillance service, are one of the core properties of network-centric warfare(NCW) that is a key factor of victory in future battlefields. Such a tactical surveillance sensor network must be designed not just for energy efficiency but for real-time requirements of emergency data transmission towards a control center. This paper proposes efficient clustering-based methods for supporting mobile sinks so that the network lifetime can be extended while emergency data can be served as well. We analyze the performance of the proposed scheme and compare it with other existing schemes through simulation via Qualnet 5.0.

Keywords : Surveillance Sensor Networks(감시정찰 센서 네트워크), Energy Efficiency(에너지 효율성), Mobile Sink(이동 싱크), Clustering(클러스터링), Data Gathering(데이터 수집)

1. 서론

미래전은 다양한 센서들로부터 수집된 디지털 전술 정보(예 : 표적, 항적, 위치정보, 피아식별 및 명령 등)를 가공하여 곧바로 타격하는 Sensor-to-Shooter 개념의 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare) 양상을 지닌다. 즉, NCW의 핵심적인 요소들 중 하나로

무선 센서 네트워킹 기술이 대두되고 있으며, 특히 감시정찰용 센서 네트워크는 아군이 접근하기 힘든 지역 또는 기존 플랫폼 중심 감시체계에서 감지할 수 없는 각종 전술정보를 수집함으로써 군사작전의 효율성을 제고한다. 이러한 감시정찰 센서 네트워크 기술은 무인 적 동태(이동방향, 규모 등) 근접 감시 및 표적 위치 탐지분야 그리고 무인 원격 센싱 정보 수집 및 모니터링을 통한 감시정찰, 침입탐지 및 화생방 분야 등에 적용이 가능하다^[1].

감시정찰 센서 네트워크는 센서 노드에 의해 요구되는 저전력, 상대적으로 많은 수의 센서 노드 배치에 따른 확장성, 빈번한 토폴로지 변화에 따른 신뢰성 등

† 2013년 2월 20일 접수~2013년 5월 17일 게재승인

* 아주대학교 NCW공학과, 방위사업청(DAPA)

** 아주대학교 컴퓨터공학과

책임저자 : 고영배(youngko@ajou.ac.kr)

의 특징을 갖는다. 또한, 이는 주변 환경 정보를 감지할 목적으로 관심 지역에 배치되는 다수의 센서들로 구성된 멀티 홉 무선 네트워크로서, 센서에서 수집한 정보를 모아 사용자에게 전달하는 싱크(Sink) 노드로 구성된다. 이 때 싱크 노드는 고정형 또는 이동형이 모두 가능한데 본 논문에서는 모바일 싱크를 가정한다.

무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 자원은 노드가 보유한 에너지이다. 센서 노드는 내장된 배터리를 모두 소진 시에 동작이 불가능한 상태가 되기 때문에 센서 노드들의 배터리 지속시간이 전체 네트워크의 생명 주기를 결정한다. 따라서 군에서 활용하는 감시정찰 센서 네트워크 역시 에너지 효율적인 통신기법이 적용되어야 한다.

일반적인 무선 센서 네트워크에서는 에너지 효율성의 극대화를 위하여 데이터 수집의 실시간성은 크게 고려되지 않는다. 그러나 감시정찰 센서네트워크에서는 침입탐지 및 적 추적정보 등 긴급 서비스의 경우 군 지휘통제소로 신속하게 전달되어야 하는 특성 또한 중요하게 고려되어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 모바일 싱크를 통하여 센싱 데이터를 수집하는 감시정찰 센서 네트워크에서 에너지 효율적이면서도 긴급 정보 전달의 근실시간성을 보장하기 위한 클러스터링 기법을 제안하고 이를 기반으로 한 효율적인 데이터 전송 방안을 제시한다. 제안 기법의 성능 검증을 위하여 QualNet 기반 시뮬레이션을 수행하였으며 모바일 싱크를 통하여 데이터를 수집하는 기존 모델과의 비교 평가 결과를 제시한다.

2. 관련 연구

가. 센서 네트워크 데이터 수집기법

무선 센서 네트워크에서의 데이터 수집방안은 싱크의 이동성 여부에 따라 “고정 싱크 기반”과 “모바일 싱크 기반”으로 구분할 수 있다. 고정 싱크 기반 데이터 수집 기법은 클러스터 기반 혹은 트리 기반으로 크게 나누어지는데 클러스터 기반 데이터 수집기법의 대표적인 예로 LEACH^[2]를 들 수 있다. 이 기법은 확률기반 클러스터링 방법을 이용하며 에너지 잔여량이 많은 센서 노드가 헤더 노드가 될 확률을 높이는 특정 조건을 기반으로 헤더 노드를 선정하고 헤더를 기준으로 인근 노드들이 멤버로 참여하여 클러스터를

구축한다. 또한 센싱 데이터를 싱크 노드로 전송하기 위하여 1차적으로 헤더 노드에서 멤버들의 데이터를 수집하여 가공 처리하고 싱크 노드로 전달하는 방법으로 에너지 효율적인 데이터 전송을 수행한다.

트리 기반 데이터 수집기법의 대표적인 예로는 TAG^[3]가 있다. 이 기법은 데이터를 최종적으로 수집하는 노드를 최상위 노드로 가지는 트리구조의 라우팅 경로를 생성하고 각 노드들에서 발생하는 데이터들은 정해진 라우팅 트리를 통해 기지국으로 전달된다. 이러한 고정된 싱크를 기반으로 한 데이터 수집기법의 약점 중에 하나는 데이터 핫스팟에 따른 불균등한 에너지 소모가 발생되어 네트워크 라이프 타임이 단축 된다는 것이다. 즉 싱크 노드에 가까이 위치한 노드일수록 데이터 송수신이 더욱 빈번하게 발생하는 데이터 전송 핫스팟이 발생되고 상대적으로 노드의 수명이 단축된다. 이에 고정 싱크 기반의 데이터 수집기법의 문제점을 해결하기 위하여 모바일 싱크 기반의 데이터 수집기법이 연구되고 있다^[4,5].

모바일 싱크를 기반으로 한 데이터 수집기법은 형성된 가상 인프라에 따라 랑데부(Rendezvous) 기반과 백본 기반으로 분류할 수 있으며, 전자는 각 센서가 GPS 등에 기반하여 지리적 위치 정보를 인지하고 각 센서에서 수집한 데이터를 가상 인프라인 랑데부 지역의 노드에게 전달한다. 하나의 예로 RailRoad^[6]는 네트워크 중간 지역에 위치한 Rail이라는 가상 인프라가 적용된다. 소스가 새로운 이벤트를 생성할 때 해당 데이터는 지역적으로 저장되고 이에 상응하는 메타 데이터가 가장 가까운 Rail 노드에게 포워드되며 싱크 노드는 이를 기반으로 데이터 수집이 필요할 때 질의 메시지를 Rail에게 보낸다.

백본 기반 접근법은 자가 구성(Self-Organizing) 개념을 사용하는데 대표적인 예인 HCDD^[7]는 모바일 싱크의 위치를 유지하고 센서에서 싱크로의 데이터 전송 경로를 찾기 위해 계층적 클러스터 아키텍처를 정의한다. 클러스터는 클러스터 헤더, 여러 개의 게이트웨이, 보통의 센서들로 구성되고 모바일 싱크의 정보는 최상위 계층 레벨의 클러스터 헤더(Routing Agent)가 유지하고 있으며 모든 Routing Agent는 2단계의 싱크 등록(Intra-Cluster Phase, Inter-Cluster Phase)을 통해 모바일 싱크의 정보를 획득하고 유지한다.

이러한 모바일 싱크 기반의 데이터 수집은 데이터를 보유한 센서 근처로 이동하여 센서로부터 직접 또는 좀 더 짧은 홉을 통해 데이터를 수집하므로 노드

들의 에너지 소비를 줄여 네트워크 라이프 타임을 향상시킬 수 있고 모바일 싱크는 센서 노드의 밀도가 낮거나 네트워크가 단절이 된 상태에서도 데이터를 수집할 수 있다는 이점이 있으나 모바일 싱크를 활용한 데이터 수집기법을 설계하기 위해서는 이동하는 싱크의 위치 등록 및 이동성 지원과 발생된 이벤트 또는 수집된 정보를 싱크로 전송하는 방법 등을 고려해야 한다^{14,51}.

나. 센서 네트워크의 군 적용 및 고려사항

센서 네트워크를 군에 적용하는 국외 사례를 살펴보면, UC Berkeley와 MLB Company가 수행한 SensIt (Sensor Information Technology) 프로젝트는 UAV를 이용한 센서 노드 배치, 배치된 센서를 통한 타겟 탐지 및 추적, UAV를 매개로한 센서 필드의 정보를 베이스캠프로 전송하는 방안을 연구하였으며 오하이오 주립대학 등이 미국 DARPA의 지원으로 수행한 A Line in Sand 프로젝트는 유선환경을 무선 환경으로, 중앙 집중 데이터 처리를 분산 데이터 처리 방식으로, 고품질 소량의 센서를 사용한 시스템을 저가의 다수 센서를 사용하는 방식, 즉 무선 센서 네트워크(WSN)을 이용하여 진행하였다. 또한 미 육군의 FCS(Future Combat System) 프로젝트는 군용 장비 및 병사를 무선 네트워크로 연결하고 UGS, UAV 등 무인 장비를 통하여 군의 전력을 극대화하는 목표로 진행 중에 있다¹¹.

국내에서는 기존 상용 센서 네트워크 기술을 활용하여 육군 00사단사령부를 대상으로 부대 감시경계 업무에 시범 적용하는 U-Army 실험사업을 '07~'08년 2차에 걸쳐 추진하였다. 주요 시설 및 야전지역에서 적의 접근로에 적외선, 진동, 자기장, 음향 등의 센서를 설치하여 센서 노드에서 이벤트 감지 시 센서 네트워크를 통해 해당 감지 위치의 침입자가 도시되고, 감시 카메라에 의해 해당 위치가 자동으로 영상 감시되어 실무자는 상황을 파악하여 대응 조치할 수 있도록 하였다. 또한, 국방부(ADD)-지경부(ETRI)간 공동 연구개발 사업으로 소형 센서 간 자율적 네트워킹을 통해 근접 표적정보를 실시간으로 획득, 융합하는 감시정찰 센서 네트워크 시스템 기술개발을 진행하였다^{18,91}.

군용 감시정찰 센서 네트워크에서 반드시 고려되어야 할 사항은 에너지 효율성이 좋은 네트워크의 구축과 동시에 적의 침입탐지 정보 등 긴급 정보는 군 지휘통제소에서 신속하게 상황조치가 가능하도록 최대

한 빨리 전송되어야 한다는 것이다.

NATO C3 Agency에서는 군 무선통신에서의 데이터별 허용지연시간(Time Limit)을 Table 1과 같이 정의하였다.¹⁰¹ 본 논문에서는 전체 센서 네트워크의 라이프 타임은 향상시키면서 침입탐지 및 타겟 트래킹 정보 등 군 지휘통제소로 신속하게 전달되어야 하는 긴급한 정보, 즉 비실시간성 이지만 Time-Critical 전송데이터에 대해서는 이동 중인 모바일 싱크에게 최대한 빨리 전송 되도록 하는 방안을 제안한다.

Table 1. Allowable delay with respect to tactical data type

특 성	허용지연시간(time limit)
Real-Time	< 250ms
Non-Real-Time but Time-Critical	250ms ~ 10second
Non-Real-Time, Lower Priority	10second ~ 1minute
Best Effort	> 1minute

3. 제안 기법

무선 센서 네트워크에서 수집되는 데이터는 대상 환경에 따라 사용자에게 신속하게 전송되어야 하는 긴급 정보와 사용자가 요구하는 시기에 또는 주기적으로 전송되어야 하는 일반 정보로 구분할 수 있다. 예로 군의 감시정찰 센서 네트워크에서는 음향, 진동, 적외선 센서, 카메라 등에서 탐지한 적의 침입탐지 및 타겟 트래킹 정보 등은 군 지휘통제소까지 최단시간 내에 신속하고 정확하게 전송되어야 한다. 그러나 센서의 에너지 잔량 등 센서의 상태정보, 카메라의 변화가 없는 이미지 정보 등은 즉시 전달되지 않아도 작전수행이 가능하다. 이에 본 논문에서는 데이터 수집 시 모바일 싱크를 활용하여 일반정보는 모바일 싱크가 주기적인 이동 경로를 통해 클러스터 헤더를 방문하면서 수집하고 긴급한 정보는 데이터 발생 즉시 이동 중인 모바일 싱크에게 전송 되도록 한다.

본 장에서는 1) 자율적인 클러스터 구성 및 라우팅 경로 생성, 2) 클러스터 헤더와 타 클러스터 헤더를 연결하는 브리지 노드의 선출, 3) 데이터별 전송 경로구

성 및 기법, 4) 클러스터 재구성 및 헤더 재 선출 방안을 설명한다.

가. 클러스터 구성 및 라우팅 경로 생성

클러스터 구성은 모바일 싱크가 정해진 경로를 이동하면서 수집된 긴급 및 일반 정보의 송수신이 가능한 지역의 클러스터 헤더(CH)가 위치한 1차 클러스터와 그 이외의 지역의 클러스터링(2차 클러스터)로 구분한다. 1차 클러스터 구성은 최초 센서 노드가 배치된 상태에서 모바일 싱크가 정해진 경로를 이동하면서 비콘 메시지를 전송하면 모바일 싱크로부터 1홉 거리 내에서 비콘 메시지를 수신한 모든 센서 노드는 클러스터 헤더가 될 수 있는 후보 자격을 가진다. Fig. 1과 같이 모바일 싱크로부터 비콘 메시지를 수신하여 클러스터 헤더가 될 수 있는 후보 센서 노드는 0~1 초 사이에서 하나의 random delay number 값을 선택한 후 자신의 타이머를 동작 시킨다. 타이머가 가장 먼저 종료된 센서 노드가 헤더가 되며 자신이 클러스터의 헤더라는 정보를 담은 Cluster Header Announcement (CHA) 메시지를 주변 센서 노드들에게 브로드캐스팅한다. CHA 메시지를 수신한 노드들은 자동적으로 헤더가 되는 자격을 상실한다. Fig. 1(a)의 ×는 모바일 싱크로부터 비콘 메시지를 수신한 클러스터 헤더가 될 자격을 가진 센서 노드를 표시하며 Fig. 1(b)의 ●는 random delay number 시간동안 타이머가 가장 먼저 종료되어 클러스터 헤더가 된 노드를 나타낸다.

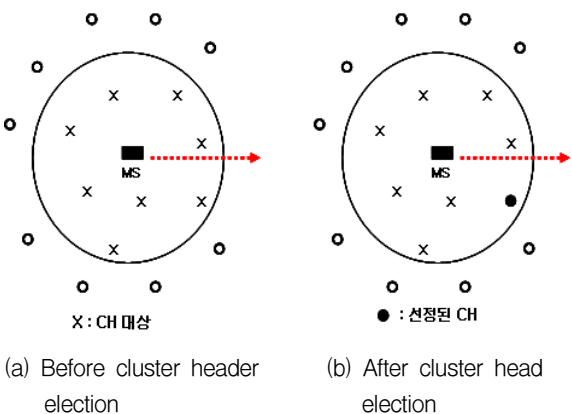


Fig 1. 1st level cluster

Fig. 2는 선출된 클러스터 헤더로부터 CHA 메시지를 수신한 센서 노드들이 해당 클러스터 헤더의 자식

노드가 되는 상황을 나타낸다. 이후, 클러스터의 헤더의 자식 노드는 Child Announcement(CA) 메시지를 주변 센서 노드들에게 브로드캐스트하고 이를 수신한 센서 노드는 CA 송신 노드의 자식 노드가 되는 과정을 통하여 모바일 싱크로부터 2홉 거리의 1차 클러스터를 구성한다.

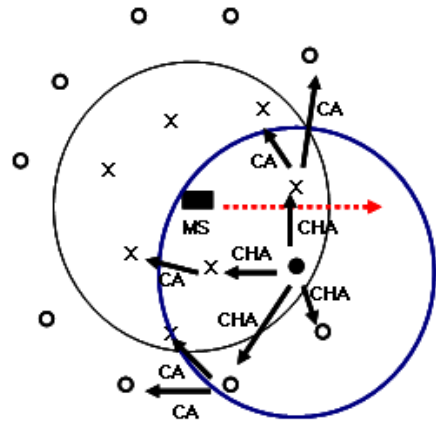


Fig. 2. 1st level cluster formation process

하나의 클러스터에 구성된 센서 노드가 새로이 CHA 혹은 CA 메시지를 수신한 경우에는 자신이 속한 클러스터의 헤더와의 홉 수를 비교하여 홉 수가 적은 쪽의 클러스터 헤더나 일반 센서를 선택하며 홉 수가 같은 경우에는 수신 세기가 강한 쪽을 선택한다. 1차 클러스터의 헤더는 2홉 클러스터를 구성한 후 바로 라우팅 트리 구성 메시지를 브로드캐스팅하여 1차 클러스터 헤더를 중심으로 한 최적의 라우팅 경로를 생성한다. 이는 침입탐지 및 타겟 트래킹 정보 등 센서가 탐지한 긴급한 정보가 이동 중인 모바일 싱크에게 최단 시간 내에 전송 되도록 하기 위한 라우팅 경로이다.

1차 클러스터링 과정에 포함되지 않은 나머지 센서 노드, 즉 일정시간이 지나도 CHA 메시지나 CA 메시지를 수신하지 못한 센서 노드의 2차 클러스터 구성은 라우팅 트리 구성 메시지를 수신한 후 1차 클러스터 구성과 같은 방법으로 이루어진다. 이러한 클러스터 구성 및 1차 클러스터 헤더를 중심으로 한 라우팅 경로 설정 과정을 통하여 각 센서는 Fig. 3와 같이 자신이 속한 클러스터 헤더로 데이터를 전송하는 경로와 1차 클러스터 헤더로 직접 데이터를 전송하는 2개의 데이터 전송 경로를 갖게 된다.

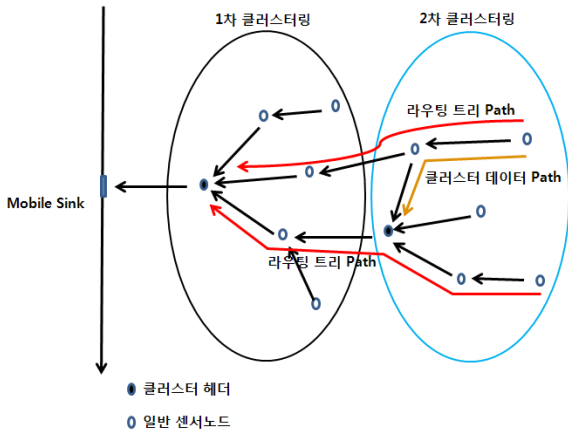


Fig. 3. Routing tree and cluster data path

나. 브리지 노드 선출

두 개 또는 그 이상의 클러스터 헤더로부터 CHA 메시지를 수신한 일반 센서 노드는 브리지 노드(BN)로 선언한다. 만약 하나의 클러스터 헤더로부터 CHA 메시지를 받으면 브리지 대상 노드가 되며, Fig. 4와 같이 두 개 이상의 헤더로부터 CHA 메시지를 받으면 브리지 노드가 된다. 브리지 노드는 CHA 메시지를 전송한 클러스터 헤더들에게 자신의 에너지 잔량을 통보한다. 두 클러스터 헤더 사이에는 여러 개의 브리지 노드가 존재할 수 있으며 이때 전송할 데이터가 있는 클러스터 헤더는 에너지 잔량이 가장 많은 브리지 노드를 첫 번째 경로로 선택하고 나머지는 예비 경로로 유지한다.

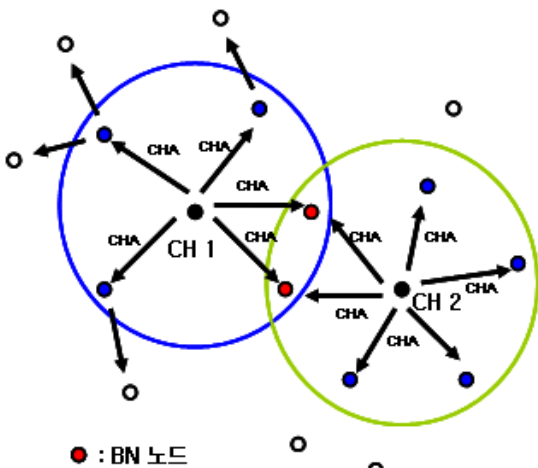


Fig. 4. Bridge Node(BN) election process

다. 데이터별 전송 경로 구성 및 기법

본 논문에서는 전체 센서 네트워크의 라이프 타임을 향상시키기 위하여 일반정보와 긴급 정보로 구분하여 데이터를 전송한다. 일반정보는 일차적으로 각 클러스터 헤더에서 데이터를 Aggregation하고 일정 지연시간 또는 정해진 수량의 패킷이 모이면 1차 클러스터 헤더를 중심으로 한 라우팅 트리 경로를 따라 전달되도록 한다^[11]. 이후 1차 클러스터 헤더는 일반정보를 저장하고 있다가 주기적으로 방문하는 모바일 싱크에게 정보를 전달하도록 하여 네트워크 라이프 타임을 향상시킨다.

반면 각 센서에서 탐지한 침입탐지 및 트래킹 정보 등의 긴급 정보는 센서 네트워크 구축 초기에 설정된 최적의 라우팅 트리 경로를 통하여 1차 클러스터의 헤더까지 즉시 전달한다. 1차 클러스터 헤더에 전달된 긴급 정보가 이동 중인 모바일 싱크까지 전달되기 위한 전송경로는 앞 절에서 설명한 1차 클러스터 구성 및 헤더 선출, 브리지 노드 선출 과정을 수행하면서 자동적으로 구성된다. 즉 Fig. 5와 같이 클러스터 헤더와 브리지 노드가 연결되어 이동 중인 모바일 싱크에게 긴급 정보의 전달이 가능한 경로/링크의 체인이 구성된다.

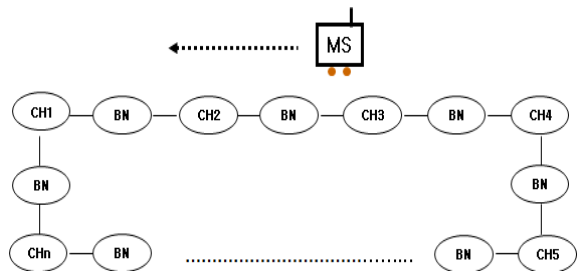


Fig. 5. Route/Link chain between cluster headers

데이터를 수신한 1차 클러스터 헤더는 모바일 싱크의 위치를 예측하고 정보 전송경로가 짧다고 판단되는 방향으로 전달한다. 이때 긴급 정보의 전송경로 판단기준은 모바일 싱크가 각 클러스터 헤더 자신에게 돌아오는데 소요되는 시간인 이동 주기와 클러스터 헤더가 모바일 싱크로부터 마지막으로 비컨 메시지를 수신한 시간인 모바일 싱크가 최근에 지나간 시간, 이 두 가지 정보를 기반으로 어느 쪽 클러스터 헤더 방향이 더 가까운지를 판단하여 데이터를 전송한다. 예로 모바일 싱크의 이동 주기가 600초라면 Fig. 6과 같

이 CH2가 긴급 정보를 수신하였을 때 CH2는 이동 주기가 600초이고 모바일 싱크가 마지막으로 방문한 시간이 590초 지난 것을 알기 때문에 CH3 방향으로 긴급 정보를 전송한다. 또한 CH5가 긴급 정보를 수신한 경우에는 모바일 싱크가 방문한지 20초 지났으므로 CH4 방향으로 전송한다.

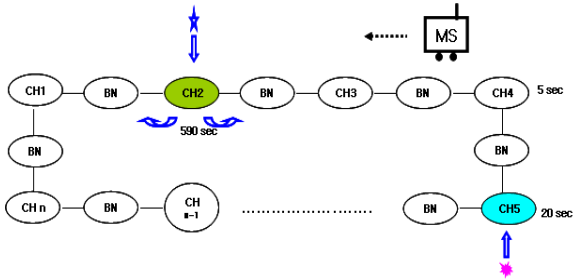


Fig. 6. Route decision for emergency data

라. 클러스터 재구성 및 헤더 재선출

클러스터 헤더의 에너지 소비를 분산시키기 위하여 사전 정해진 특정 기준에 도달하면 클러스터 헤더를 변경해 주는 것이 필요하다. 본 논문에서는 아래와 같은 절차로 클러스터 재구성 및 헤더를 재 선출한다.

- 1) 기존 선출/운영 중인 1차 클러스터 헤더 중 자신의 에너지 잔량이 일정 수준 이하가 되면 클러스터 헤더 포기 메시지를 전체 네트워크로 브로드캐스트 한다.
- 2) 클러스터 헤더 포기 메시지를 수신한 1차 클러스터링내의 센서노드는 에너지 잔여량과 이전 클러스터 선출과정에 수신한 비콘 메시지 개수를 고려한 값(타이머 동작 값 : 에너지 잔여량이 많고 수신한 비콘 메시지가 많을수록 타이머가 동작하는 시간은 짧게 설계)을 계산하여 타이머를 동작한다.
- 3) 타이머가 가장 먼저 중단되는 센서 노드가 CHA 메시지를 브로드캐스트 하여 2홉의 1차 클러스터를 재구성한다.
- 4) 1차 클러스터의 헤더는 2홉 클러스터가 구성된 후 바로 1차 클러스터 헤더를 중심으로 한 트리 경로를 생성하기 위하여 라우팅 트리 구성 메시지를 브로드캐스팅하여 최적의 경로를 설정한다.
- 5) 1차 클러스터링에 포함되지 않은 나머지 센서 노드, 즉 일정시간이 지나도 CHA 메시지나 CA 메시지를 수신하지 못한 센서 노드의 클러스터 구성은

라우팅 트리 구성 메시지를 수신한 후 1~2초 사이에 하나의 random delay number 값을 선택한 후 그 시간동안 자신의 타이머를 동작 시킨다. 타이머가 가장 먼저 종료된 센서 노드가 클러스터 헤더가 되며 1차 클러스터 구성과 같은 방법으로 나머지 센서들도 자율적으로 2홉 클러스터를 구성하여 클러스터 재구성 및 헤더를 재선출 한다.

4. 성능 분석 및 평가

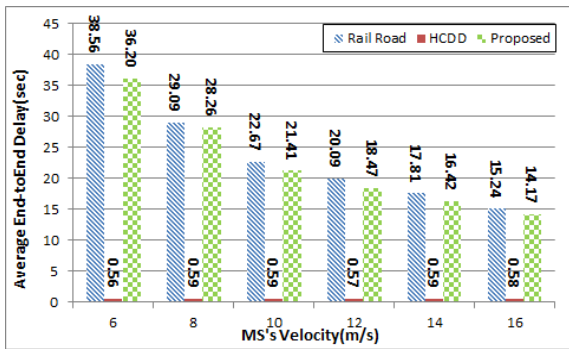
Table 2. Simulation environment

시뮬레이터	QualNet 5.0
영역 크기	1000m × 1000m
센서 수	443개(모바일싱크 1개 + 센서442개)
센서 간 간격	50m
통신 거리	60m
토폴로지	Grid topology
데이터 종류	periodic event / emergency event
패킷 생성 주기	실험 1 : 5sec 실험 2 : 5, 10, 20, 40sec
패킷 생성 시간	periodic event : 450sec emergency event : 400sec
패킷 발생 노드	periodic event : 442개 emergency event : 8개
모바일 싱크 속도(m/s)	실험 1 : 6, 8, 10, 12, 14, 16 실험 2 : 12
모바일 싱크 이동 거리	600m

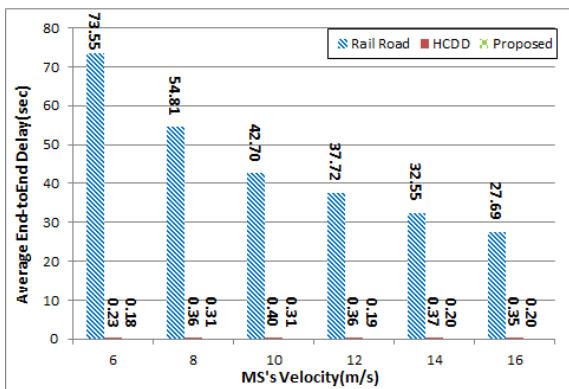
제안된 알고리즘의 성능 평가를 위하여 QualNet 5.0 시뮬레이터^[12]를 사용하였으며 실험 환경은 Table 2 와 같다. 1000m × 1000m 크기의 영역에 443개의 센서를 그리드 방식으로 분산 배치하고 센서의 통신거리는 60m로, 패킷 생성 시간은 periodic event는 450초, emergency event는 400초로 설정하였다. 실험은 모바일 싱크 이동속도 변화에 따른 성능분석과 일반 데이터의 발생주기 변화에 따른 성능 분석으로 진행되었다. 실험 1의 패킷 생성 주기는 두 데이터 모두 5초에 1개씩 생성 하였고, 모바일 싱크의 속도는 6~16m/sec로 변화

하며 실험을 진행하였다. 실험 2의 패킷 생성 주기는 5~40초로 하였고, 모바일 싱크의 속도는 12m/s로 설정하였다. 모바일 싱크는 600m를 이동하면서 데이터를 수집한 후 다시 원위치로 돌아온다. 본 논문에서는 제안 기법과 유사한 RailRoad^[6]과 HCDD^[7]를 비교분석하였다.

첫 번째 실험에서는 모바일 싱크 이동 속도 변화에 따른 성능 평가를 보여준다. Fig. 7은 모바일 싱크 이동 변화에 따른 평균 지연 시간의 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 7의 (a)에서 제안 기법과 RailRoad는 모두 모바일 싱크가 통신 가능 거리에 도착 하였을 때 데이터를 전달하기 때문에 비슷한 지연 시간을 보여주며 RailRoad의 경우 제안 기법보다 많은 양의 패킷을 전송하기 때문에 추가적인 지연 시간이 발생한다. 반면 HCDD는 모든 데이터 패킷에 대해서 모바일 싱크를 찾아 즉시 전송을 시도하게 되므로 지연 시간이 두 기법에 비해서 좋을 수 있다.



(a) Average delay for total data packet

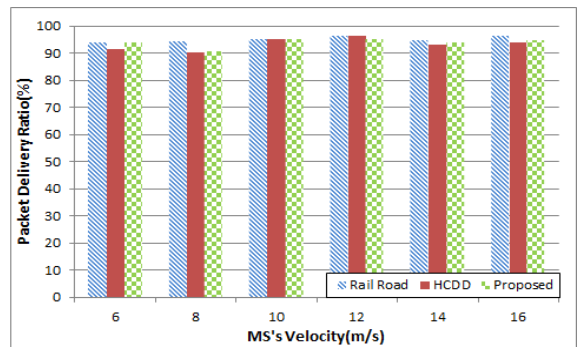


(b) Average delay for emergency data packet

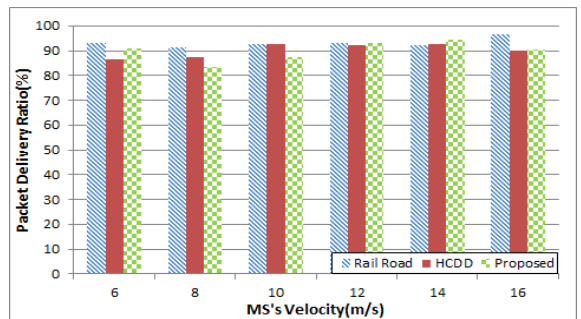
Fig. 7. Average End-to-End delay

Fig. 7(b)는 emergency 패킷의 평균 지연 시간을 보여준다. emergency event의 경우 주로 외곽 지역에서 발생을 하게 되므로 RailRoad의 경우 일반 패킷을 포함하는 전체적인 평균 지연 시간보다 크게 나타난다. 하지만 제안 기법의 경우 CH에서 모바일 싱크를 기다리지 않고 바로 전송하기 때문에 제안 기법과 HCDD가 거의 동일한 성능을 보여주고 있다. 따라서 제안 기법은 일반적인 데이터 패킷과 긴급한 데이터 패킷 모두에 대해서 Table 1에서 언급한 Time-critical한 지연 시간 기준을 만족한다.

패킷 전송 성공률은 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 세 가지 기법 모두 비슷한 성능을 보여주고 있다. 하지만 Fig. 7에서 확인한 것과 같이 동일한 데이터를 전송 하더라도 평균 지연 시간이 크게 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.



(a) Average packet delivery ratio for total data packet



(b) Average packet delivery ratio for emergency data packet

Fig. 8. Average packet delivery ratio

Fig. 9는 평균 에너지 소모량을 비교한 결과이다. 본 논문의 제안 기법은 Fig. 8에서 확인한 것과 같이 다

른 두 기법과 동일한 패킷 처리 성능을 보여주면서 두 기법에 비해서 높은 에너지 효율성을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 제안 기법은 모바일 싱크의 이동 속도에 관계없이 긴급히 처리해야 하는 emergency event를 처리 할 수 있으면서도 다른 두 기법보다도 에너지 소모가 적어 전체 네트워크 라이프 타임을 향상시킬 수 있다.

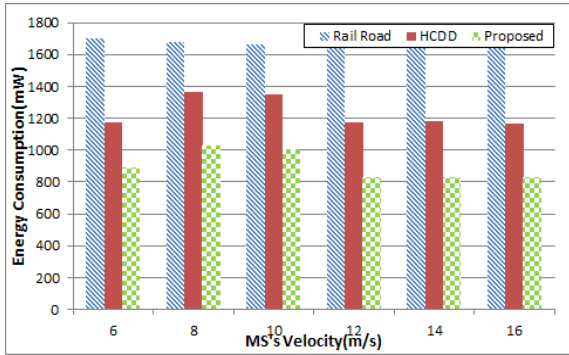
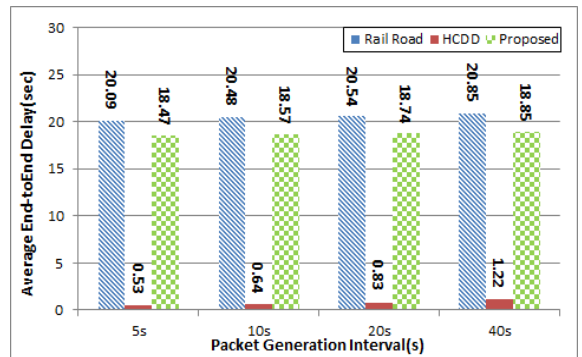


Fig. 9. Average Energy consumption

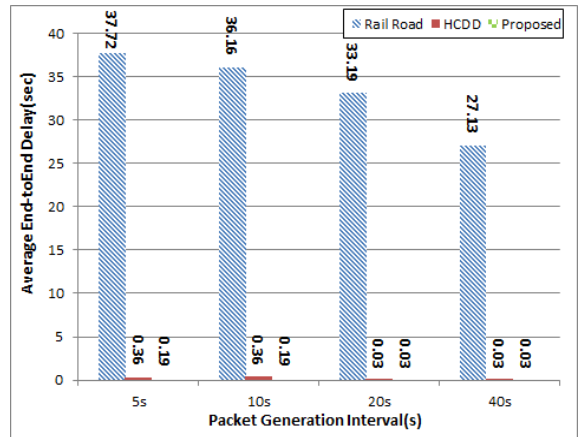
두 번째 실험은 모바일 싱크의 속도가 일정할 때 일반 데이터의 발생 주기 변화에 따른 성능 변화를 보여 준다. Fig. 10은 두 번째 실험에서 전체 패킷과 emergency 패킷의 평균 지연 시간을 나타낸다. Fig. 10의 (a)와 같이 패킷의 발생 주기가 길어질수록 약간의 지연 시간의 차이를 보이긴 하지만 전체적으로는 비슷한 지연 시간을 보인다. 네트워크 혼잡이 감소하였음에도 불구하고 RailRoad와 제안 기법이 비슷한 성능을 보이는 것은 모바일 싱크에 전송하기 위해서 대기하는 시간이 트리를 따라 올라오는 시간에 비해서 매우 크기 때문이다. Fig. 10의 (b)에서 RailRoad 기법의 지연시간이 발생 주기가 길어짐에 따라 줄어드는 것은 그만큼 패킷의 발생량이 적어 전체 네트워크의 혼잡이 적어져서 외각 지역에서 중앙으로 전송되는 emergency event의 지연시간도 줄어든 것으로 분석된다. 앞선 실험과 같이 제안된 기법은 전송 지연 시간에 있어서 Table 1에 제시된 기준을 모두 만족한다고 할 수 있다.

패킷 전송 성공률은 Fig. 11에서 알 수 있듯이 세 가지 기법 모두 패킷 생성 인터벌에 따른 성능의 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 Fig. 12의 평균 에너지 소모량 결과에서 볼 수 있듯이 세 가지 기법 모두 발생 주기가 길어지면서 패킷 발생 주기가 길어지면서 전체적

인 패킷의 전송횟수가 줄어들기 때문에 에너지 소비량 역시 줄어드는 것을 볼 수 있다. 따라서 발생 주기가 늘어나는 비율에 따라 에너지 소모량도 그에 맞춰 줄어드는 현상을 볼 수 있다. 또한 주요 특징으로 패킷의 발생 주기가 어느 정도 이상으로 길어지게 된다면 RailRoad보다 HCDD의 에너지 효율성이 떨어지게 되는데 이러한 현상은 HCDD가 주기적으로 모바일 싱크의 위치를 파악하기 위해 사용되는 에너지 소모량이 데이터 전송에 사용되는 에너지 소모량에 비해서 크기 때문에 나타나는 결과이다.



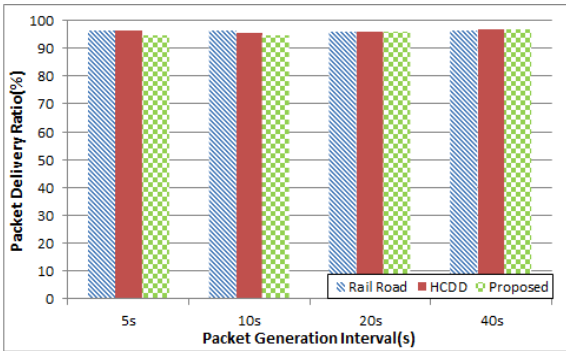
(a) Average delay for total data packet



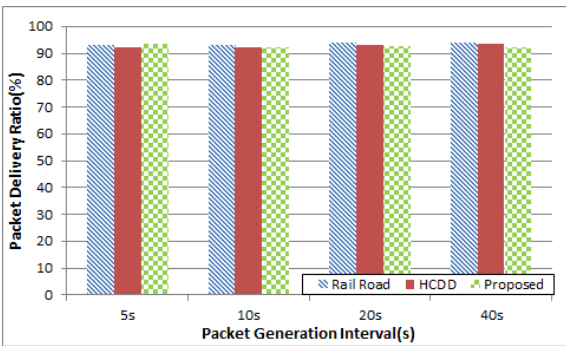
(b) Average delay for emergency data packet

Fig. 10. Average End-to-End delay

본 실험을 통해서 모바일 싱크의 속도가 같으면 패킷 발생 주기에 따른 성능 변화는 없지만, 제안 기법의 에너지 소모량이 첫 번째 실험과 마찬가지로 다른 두 기법에 비해 우수하다고 할 수 있다.



(a) Average packet delivery ratio for total data packet



(b) Average packet delivery ratio for emergency data packet

Fig. 11. Average packet delivery ratio

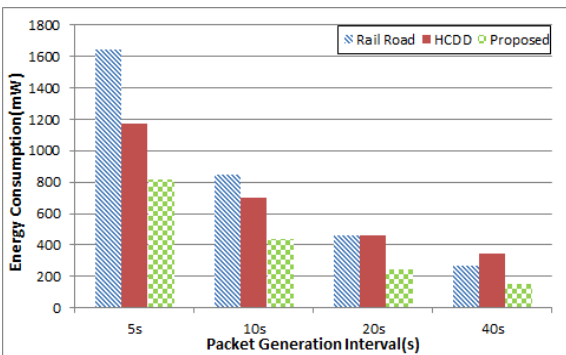


Fig. 12. Average Energy consumption

5. 결론

미래의 전장이 NCW 환경으로 변화하고 있고 무선 센서 네트워크 체계는 네트워크 중심전의 필수 요소

로 군의 중요한 감시정찰 수단이 되고 있다. 따라서 무선 센서 네트워크의 응용 시스템인 군용 감시정찰 센서 네트워크에서 요구되는 사항은 네트워크의 라이프 타임을 향상 시키고 동시에 적의 침입탐지 등 긴급 정보는 지휘통제소에 신속하게 상황조치가 가능하도록 근실시간으로 전송되어야 한다.

이에 본 논문에서는 전체 센서 네트워크의 수명은 늘이면서 침입탐지 및 타겟 트래킹 정보 등 긴급한 정보에 대해서는 탐지한 센서 노드로부터 이동하고 있는 모바일 싱크까지 근실시간으로 전송이 가능하도록 자율적인 클러스터 구성 및 라우팅 경로 생성, 클러스터 헤더와 타 클러스터 헤더를 연결하는 브리지 노드의 선출, 데이터별 전송 경로구성 및 기법, 클러스터 재구성 및 헤더 재 선출 방안을 제안하였다.

제안기법에 대하여 시뮬레이션 통해 모바일 싱크를 기반으로 데이터를 수집하는 두 가지 모델(RailRoad, HCDD)과 성능을 비교/분석한 결과 모바일 싱크 이동 속도의 변화, 일반 데이터 발생 주기의 변화와 관계없이 비교 모델과 동일한 패킷처리 성능을 보이면서도 Emergency event의 근실시간 전송 및 전체 네트워크 라이프 타임측면에서 제안기법이 우수함을 확인하였다.

향후 연구는 에너지 잔여량 및 통신 환경을 고려한 효율적인 클러스터 관리기법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] “감시정찰 센서네트워크 개발”, 과제 보고서, 한국 전자통신연구원, 2009. 10.
- [2] W. Heinzelman, “Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Networks”, Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, Cambridge, MA, June 2000.
- [3] S. Madden, M. J. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, “TAG : A Tiny Aggregation Service for Ad Hoc Sensor Networks”, in Proc. of the 5th Symposium on Operating Systems Design and Implementation(OSDI2002), Dec. 2002.
- [4] E. B. Hamida and G. Chelius, “Strategies for Data Dissemination to Mobile Sink in Wireless Sensor Networks”, IEEE Wireless Communications, Vol. 15 (6), pp. 31~37, Dec. 2008.

- [5] E. Ekici, Y. Gu and D. Bozdogan “Mobility-Based Communication in Wireless Sensor Networks”, IEEE Communication Magazine, pp. 56~62, Jul. 2006.
- [6] J. H. Shin et al, “RailRoad : Virtual Infrastructure for Data Dissemination in Wireless Sensor Networks”, in Proc. of 2nd ACM Int'l Workshop Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks(PE-WASUN 2005), Oct. 2005.
- [7] C.-J. Lin, P.-L. Chou, and C.-F. Chou, “HCDD : Hierarchical Cluster-Based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink”, in Proc. of the International Wireless Communication and Mobile Computing Conference(IWCMC 2006), Jul. 2006.
- [8] “'12년 국방정보화 U-실험사업 소요제출”, 2011. 9 ('08년 U-Defense(실험) 사업실적).
- [9] “감시정찰 센서네트워크 개발”, 국과연 PPT 자료, 2011. 7. 8.
- [10] M. D. Street and F. Szczucki, “Wireless Communications Architecture(Land) : Scenarios, Requirements and Operational View”, NATO C3 Agency, Tech. Note 1246, Dec. 2006.
- [11] He, T., Gu, L., Luo, L., Yan, T., Stankovic, J., and Son, S., “An Overview of Data Aggregation Architecture for Real-Time Tracking with Sensor Networks”, In Proceedings of 20 th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, Greece, Apr., 2006.
- [12] Scalable Network Technologies(2013) Qualnet Official Web Site, Available Online : <http://www.scalable-networks.com/> Accessed 7 January, 2013.