

# 금속 장애물 환경에서 토폴로지 안정성을 개선한 변형 LEACH 프로토콜

정회원 이기원\*, 이재기\*\*, 곽광훈\*

## Modified LEACH Protocol improving the Stabilization of Topology in Metal Obstacle Environment

Ki-One Yi\*, Jae-Kee Lee\*\*, Gwang-Hoon Kwark\*<sup>o</sup> *Regular Members*

### 요 약

선박 등에서의 컨테이너 적치환경은 전원공급의 한계 때문에 무선 센서 네트워크 기술이 이용된다. 이 경우 인프라 설치비용이나 어려움 때문에 많은 싱크노드 적용이 용이하지 않으므로 하나의 싱크노드에 수백에서 수천이라는 다수의 노드가 하나의 네트워크 구성에 참여하게 된다. 이런 대량의 노드들을 관리하기 위해 클러스터링 기반 Proactive 방식의 프로토콜이 적합하다. 하지만 컨테이너가 적치된 금속 장애물 환경에서는 전파의 간섭, 반사, 왜곡 등의 이유로 무선통신 환경이 불안정하다. 이에 따라 본 논문에서는 불안정한 무선통신의 신뢰성을 향상시키기 위해 기존의 변형 LEACH 프로토콜을 개선시켜 추가 변형된 LEACH 프로토콜을 제안한다. 제안 프로토콜에서는 링크 품질을 측정 후 일정 품질 이상의 링크에만 연결설정을 하도록 구현하였다. 이를 통해 안정적인 토폴로지 형성을 유도하였으며, 기존의 프로토콜과 비교하였다. 비교 결과, 본 논문에서 제안한 프로토콜이 불안정한 무선통신 환경에서 기존의 프로토콜보다 안정적인 토폴로지를 형성함을 확인하였다.

**Key Words** : Stabilization of Topology, Metal Obstacle Environment, Routing Protocol, Wireless Sensor Network, Shipping Container Stack Environment

### ABSTRACT

Because of the limitation of supporting power, the current WSN(Wireless Sensor Network) Technologies whose one of the core attributes is low power consumption are the best solution for shipping container networking in stack environment such as on vessel. So it is effective to use the Wireless Sensor Network Technology. In this case, many nodes join in the network through a sink node because there are difficulties to get big money and efforts to set up a lot of sink node. It needs clustering-based proactive protocol to manage many nodes. But it shows low reliability because they have effect on radio frequency in metal obstacle environments(interference, distortion, reflection, and etc) like the intelligent container. In this paper, we proposed an improved Modified LEACH Protocol for stableness radio frequency environment. In the proposed protocol, we tried to join the network and derived stable topology composition after the measuring of link quality. Finally, we verified that the proposed protocol is composing more stable topology than previously protocol in metal obstacle environment.

※ 본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 (B0009720) 지원으로 수행되었음.

\* 미디어디바이스 연구센터 (koyrim@nate.com, paxpia@dau.ac.kr)(<sup>o</sup>:교신저자), \*\* 동아대학교 컴퓨터공학과 (jklee@dau.ac.kr),  
논문번호 : KICS2009-08-367, 접수일자 : 2009년 8월 20일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 9일

## 1. 서 론

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다.

현재 한국은 동북아 지역의 허브 항만으로써, 수출입 의존도가 높고 그 가운데에서 컨테이너 화물 수송에 대한 의존도가 여전히 높은 것으로 나타났다. 빠른 속도의 화물 처리하고 컨테이너를 네트워크로 연결한 지능화 환경을 구축을 통해 화물을 보다 신속하고 안전하게 수송할 수 있을 뿐만 아니라 업무의 효율화를 추구할 수 있다. 또한, 그로 인해 다른 국가의 항구에 비해 더 저렴하고 보다 효율적인 처리를 통해 우위를 점하게 되면 주변 물동량의 흡수를 통해 전체적인 국내 컨테이너 물동량의 증가를 가져올 수 있다. 하지만, 이를 위해서는 선진화된 항구의 설비를 필요로 하고, 컨테이너 화물의 안전하고 신속한 수송을 보장할 수 있다는 전제가 필요하다.

항구 설비를 선진화하기 위해서는 선석을 확보하고 그 크기를 늘리는 방법이나 중소형 크레인 등의 확충 등 다양한 방법이 있지만 이를 위해서는 엄청난 규모의 투자가 필요하다. 또한, 현재 전 세계적으로 컨테이너의 물동량이 줄어들고 있는 현 상황에서는 엄청난 규모의 투자를 하기에는 현재 여건상 불가능에 가까우며, 일부 항만에 대한 집중적인 투자는 항만 발전의 불균형을 가져올 수 있는 부정적인 요소가 있으므로 효율적이지 못하다는 단점이 있다. 또 다른 방법으로는 항만의 지능화 구축을 위해 각각의 컨테이너가 서로 네트워크로 연결되어 있고, 필요로 하는 정보를 요청하고 관리할 수 있는 항만의 자동화 및 지능화 작업이 있을 수 있다. 이는 현재 항만에 설치되어 있는 인프라를 최대한 활용하여 구축이 가능하고, 어느 항만에나 적용할 수 있다는 장점이 있다. 후자는 전자의 경우에 비해 훨씬 적은 투자로 여러 가지 이점을 누릴 수 있다. 즉, 항구에서는 컨테이너의 이동 상태 등을 관리함으로써 인해서보다 빠른 컨테이너의 처리가 가능하고 화주의 입장에서 화물의 현재 위치나 화물의 상태 등을 원하는 시점에 확인할 수 있기 때문에 화물이 수송에 대한 안정성을 보장 받을 수 있으며, 이상 발생 시에는 이에 빠르게 대처할 수 있다. 이의 적용을 위해 컨테이너 간의 네트워크를 위해서는 사용할 수 있는 무선 통신 기술은 다양하게 존

재 한다. 현재 많은 연구가 진행 중인 상황이며, 그 가운데서 센서를 이용한 정보 수집 목적의 자율적인 에드-혹(Ad-hoc) 네트워크 구성을 위한 프로토콜이 현재 가장 활발하게 연구가 진행되고 있다. [8]-[10], [12], [13]

센서를 이용한 에드-혹 네트워크는 센서들이 스스로 네트워크를 구성하여 싱크 노드(Sink Node)와 자율적인 통신이 가능하다는 점과 다수(수 천~수 만)의 노드가 참여하는 대규모 네트워크를 구성할 수 있다는 특징이 있다. 이러한 특징은 최소 수 천개 이상이 적재되는 항만 환경에 적합한 장점이 있다. 이와 같이 센서를 활용한 에드-혹 네트워크가 항만환경에서 사용되기 위해서는 크게 두 가지의 문제점을 반드시 고려한 프로토콜을 설계가 필요하다.

첫째, 에너지 효율적인 하드웨어와 프로토콜을 설계해야 한다. 센서 노드는 배터리를 사용하기 때문에 지속적으로 에너지를 공급 받을 수 없으므로, 소비전력의 최적화 할 수 있는 하드웨어 선정 및 프로토콜의 설계가 필요하다. 불필요한 데이터의 송수신은 다수의 트래픽을 유발하여 이로 인한 전력 소모에 의해 센서 노드의 수명을 단축을 가져올 수 있다.<sup>[7]</sup>

둘째, 항만에서는 최소 수 천개 이상의 노드가 참여하는 네트워크를 구성하기 때문에 이들을 계층적인 방식으로 관리할 수 있는 프로토콜 설계 및 주소 기법의 설계가 필요하다. 다수의 노드가 하나의 네트워크를 구성하는 경우 센서 노드 하나의 이동, 고장 등이 전체 네트워크에 영향을 줄 수 있기 때문에 영향력의 범위를 최소로 통제할 필요가 있다.<sup>[5]</sup>

현재 위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 에너지 효율적인 프로토콜과 하드웨어들이 지속적으로 연구, 개발되고 있으며, 계층적 프로토콜 사용을 통해서 수 만개의 노드들을 효율적으로 관리할 수 있는 방식 등도 다양하게 존재한다.<sup>[15][16]</sup> 하지만, 이와 같은 프로토콜을 일반적인 환경에 적용할 경우에는 큰 문제가 발생하지 않을 수 있지만 RF(Radio Frequency) 통신을 사용하여 네트워크를 구성하기 위해 컨테이너로 구성되어 있는 항만의 급속 환경에 대한 한가지의 고려가 더 필요하다. RF를 통한 무선 통신을 수행하는 네트워크라면 흔히 발생하는 문제이지만, 급속환경에서는 전파의 반사, 간섭, 왜곡, 신호 감쇄, 음영 지역의 생성으로 인해 통신의 신뢰성 저하가 필연적으로 발생한다.

원래의 LEACH 프로토콜의 성격이 에너지 효율

기반 클러스터링 프로토콜인데 반해 컨테이너 적치 환경에 적합하도록 이동성과 음영지역의 통신 문제점을 해결하고자 변형 LEACH 프로토콜이 제안된 바 있다.<sup>[17]</sup>

본 논문에서는 기존에 제안된 변형 LEACH 프로토콜에 더해 앞서 언급한 RF 통신 신뢰성에 대한 문제점을 극복하기 위해 금속 컨테이너 네트워크 환경을 고려하는 설계를 추가 적용하였다. 즉, 전파의 반사, 간섭, 왜곡, 신호 감쇄로 인해 불안정한 무선통신 상태에서 오는 품질의 저하를 고려한 노드 간의 연결설정 기능을 구현하였다. 기존의 변형 LEACH 프로토콜에서는 RF의 송수신 상태가 불안정할 경우 가끔씩 들어온 패킷이라도 수신 성공 시 연결설정에 들어가기 때문에 링크 간 연결이 오래 유지 되지 않아 수시로 연결설정과 해제가 발생하고, 이는 토폴로지의 구성 상태에 잦은 변경을 가져온다. 하지만 본 논문에서는 연결설정 시 링크 품질에 대한 알고리즘을 추가해, 토폴로지 구성에 대한 견고성을 높이고, 패킷 전송 성공률을 항상 시킬 수 있는 알고리즘을 추가하였다. 또한, 추가 구현된 변형 LEACH 프로토콜을 기존의 변형 LEACH 프로토콜과 토폴로지 안정성을 중심으로 비교 실험하여, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 효율성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서 본 연구의 필요성을 위한 서론, 2장에서는 관련 연구에 관해 간략하게 언급하였다. 3장에서는 제안하는 프로토콜인 변형 LEACH 프로토콜에 대해 기술하고, 4장에서는 기존의 LEACH 프로토콜과 제안하는 변형 LEACH 프로토콜과의 비교 실험을 수행한 결과를 나타내었으며 5장에 결론을 맺는다.

## II. 관련연구

앞서 기술한 것처럼 센서 기술이 적용된 에드-혹 네트워크에서는 일반적인 에드-혹 라우팅 알고리즘을 적용하기에는 에너지 효율이나 라우팅 정보의 계층적 관리라는 측면에서 문제가 있다<sup>[6][7]</sup>. 그러므로 관련 연구에서는 에드-혹 네트워크를 구성하는데 있어 대규모의 노드가 포함되는 경우 적용 가능한 센서 네트워크 라우팅 프로토콜에 관해서 간략하게 기술하였다.

### 2.1 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

#### 2.1.1 평면 라우팅 프로토콜<sup>[1]</sup>

다수의 노드가 포함되는 네트워크에서는 속성에

기반을 둔 어드레싱 기법으로 특정 노드의 에너지 소비를 막고 센싱된 데이터의 전달 과정에서 에너지 낭비를 줄이기 위한 데이터 집약을 수행하여야 네트워크의 전체적인 수명을 증가시킬 수 있다. 아래에 대표적인 평면 라우팅 알고리즘을 간략히 기술하였다.

**Directed Diffusion<sup>[11]</sup>** : 싱크의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다. Directed diffusion에서 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현되는데 이는 싱크에서 시작되어 네트워크 전체에 유포되고, 데이터 요청 노드로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 경사가 설정된다. 데이터는 다중 경로를 통해 요청 노드로 전송되는데 이 시점에서 더 이상의 플러딩을 막기 위해 여러 개의 경로들 중 전송 품질이 높은 몇 개의 경로들만 선택된다. 그리고 선택된 경로를 통해 데이터 전송이 이루어진다. Directed diffusion은 지속적인 질의에 적합하나 1회성 질의에는 적합하지 않다.

**Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)** : SPIN은 협상과 자원 적응에 의해 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것으로, 센서 노드가 데이터에 대해 광고하고, 싱크로부터 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심적 라우팅 기법이다. 이는 센서 노드가 직접 데이터를 브로드캐스팅하지 않고 센서 데이터를 기술하는 메타 데이터 전송으로 보다 에너지 효율적이다. SPIN은 ADV, REQ, DATA라는 세 가지 주요 메시지를 가지는데 센서 노드는 메타 데이터를 가지는 ADV 메시지를 브로드캐스팅하고, ADV의 메시지를 수신한 이웃 노드가 데이터에 대한 관심을 가지고 REQ 메시지를 전송하면, 이때에만 해당 이웃 노드에게 실제 DATA 메시지를 전송한다.

#### 2.1.2 클러스터링 기법<sup>[14]</sup>

클러스터는 클러스터 헤드라는 하나의 노드와 이 노드로부터 직접 통신 거리, 즉 1 홉 무선 거리에 존재하는 모든 노드의 집합으로서 정의된다. 클러스터 노드 중 게이트웨이는 다른 클러스터의 헤드와 1 홉 거리에 있는 노드, 즉 둘 이상의 클러스터에 속하는 노드로 정의된다. 그림 1과 같이 클러스터가 서로 중첩되지 않게 구성될 경우, 게이트웨이는 인접 클러스터의 클러스터 구성 노드와 직접 통신하는 노드로 정의된다.

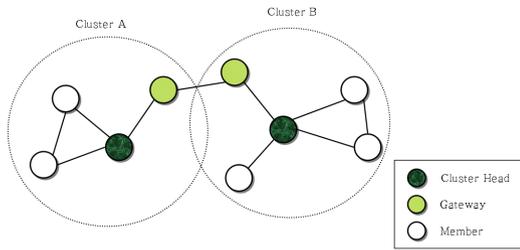


그림 1. 클러스터링에 기반 센서 네트워크

클러스터를 이용한 플러딩을 위해서는 먼저 클러스터를 구성하는 클러스터링이 수행되어야 한다. 클러스터링 방식의 예로 LCA(Linked-Cluster Algorithm)과 HCA(Highest-Connectivity Algorithm)를 들 수 있다<sup>[2]</sup>. 클러스터링에 의해 클러스터가 구성되었을 경우 GWF(Gateway Forwarding) 방식에서는 그림 2-a와 같이 클러스터 헤드, 게이트웨이 및 클러스터에 속하지 않는 노드만이 포워딩 노드가 되어 브로드캐스트 패킷을 플러딩 한다. 그러나 게이트웨이 노드들 간의 플러딩은 서로 중복될 가능성이 있기 때문에 클러스터 헤드에 의해 선택된 일부 게이트웨이만 플러딩을 수행할 수 있는 SGF(Selected Gateway Forwarding) 방식을 사용함으로써 플러딩 성능을 향상시킬 수 있다. 그림 2-b<sup>[2],[4]</sup>.

아래에 대표적인 클러스터링 기반 라우팅 프로토콜에 대해 간략하게 기술한다.

**Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)** : LEACH는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 직접 싱크 노드로 전달한다. LEACH의 주요 특징은 네트워크상에 있는 모든 센서 노드들의 에너지 소비를 공평하게 분산시키기 위해 에너지 소모적 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신 에너지를 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 축약하는 것이다. 이와 같은

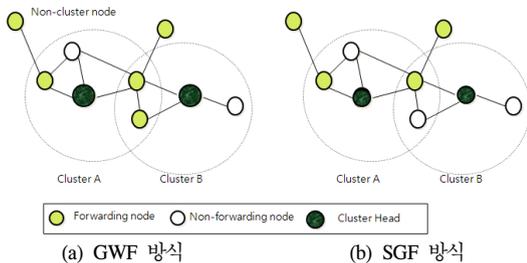


그림 2. 클러스터링 방식에서의 포워딩 노드 선택

목적을 위해서 LEACH의 동작은 그림 3과 같은 라운드(Round)라는 시간 단위로 이루어진다.

각 라운드는 클러스터가 구성되는 설정 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 지속 단계로 이루어진다. 설정 단계가 시작되면 모든 노드는 자신이 현 라운드 동안 클러스터 헤드를 수행할 수 있는지에 대해 이전 라운드 동안 클러스터 헤드였는지와 최적의 클러스터 헤드 수에 기반을 두고 결정을 하게 된다. 현 라운드 기간에 클러스터 헤드가 되기로 결정한 노드는 이를 이웃 노드들에 브로드캐스팅하며, 이를 수신한 비 클러스터 헤드 노드들은 수신 강도나 에너지 잔류량 등의 인자를 기반으로 자신의 클러스터 헤드를 결정하고 이를 클러스터 헤드로 전송하여 클러스터를 구성하게 된다. 지속 단계에서는 클러스터를 구성하는 멤버 노드들이 자신의 전송 슬롯에서만 데이터를 전송하고 나머지 슬롯들에서는 슬립(Sleep) 모드로 전환하여 전력소모를 줄인다. LEACH에서는 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여 노드 간 간섭을 피하고, 각 클러스터 간에서는 확산 코드를 사용하여 클러스터 간의 간섭을 피한다.

LEACH의 성능은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고 클러스터 헤드가 고르게 배치되어야 최적으로 유지되는데, 노드가 스스로를 헤드로 선출하는 방법에서는 이를 보장할 수가 없기 때문에 싱크에서 센서 노드의 위치 정보와 에너지 잔류량을 고려하여 클러스터 헤드와 클러스터를 결정하는 LEACH-C 기법도 존재한다.

**Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (TEEN)** : TEEN은 LEACH와 거의 유사하게 동작하지만 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지고 있지 않다. LEACH는 사전적 센서 네트워크에 적합하지만, TEEN은 시간을 임계점으로 하여 데이터를 처리하기 때문에 반응적 센서 네트워크에 적합하다. TEEN의 클러스터링 형성 기법은 LEACH와 동일하지만 데이터 전송 단계에서 그림 4와 같이 다른 방법을 사용한다.

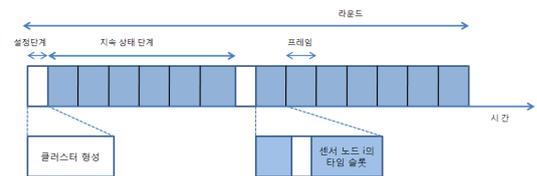


그림 2. LEACH의 라운드 타임



그림 4. TEEN 동작

TEEN에서 센서 노드들은 클러스터 결정시간에 클러스터 헤드가 브로드 캐스팅한 임계값인  $H_t$ 와  $S_t$ 에 기반을 두고 현재 감지된 데이터를 전송할지를 결정한다. 즉, 감지된 데이터의 값이 처음으로  $H_t$ 를 초과하면, 이를 저장하여 해당 시간 슬롯에 전송한다. 이후에는 감지된 데이터의 값이 저장된 값보다  $S_t$  이상으로 큰 경우에 저장하고 해당 시간 슬롯에 전송한다.

### III. 제안한 변형 LEACH 프로토콜

컨테이너 물류 운송 시에는 잦은 이동보다 야적장이나 선박에 적치된 상태의 경우가 총 운송시간 중에서 많은 비중을 차지한다. 그러므로 컨테이너 화물에 대한 실시간적인 모니터링을 위한 네트워크 구성을 위해서는 통신 시 마다 필요에 의해 경로를 탐색하는 Reactive 방식의 프로토콜보다는 전체 경로를 미리 파악해 두는 Proactive 방식인 변형 LEACH 프로토콜을 사용하는 것이 효율적이다. 하지만 실제 금속 컨테이너 환경에서의 테스트를 통해 변형 LEACH 프로토콜만으로는 무선 환경에서 통신 안정성에 대한 부분이 많이 미약함을 알아내었다. 따라서 본 논문에서는 기 구현된 변형 LEACH 프로토콜에 링크에 대한 품질 측정기능을 추가하여 사용한다.

주요 추가된 내용은 통신 노드끼리 전파 범위가 충분하지 않은 곳에 위치하여 수신 성공률이 낮을 경우를 대비한 품질에 따른 노드 간의 연결설정 기능이다. 기존의 변형 LEACH 프로토콜에서는 연결설정 대상 선택 시 싱크 노드로부터의 Tree Depth를 기준으로 토폴로지를 구성하였으나 전송 실패율이 높아 가끔씩 들어온 패킷이라도 수신 성공 시에는 연결설정에 들어가기 때문에 수시로 연결설정과 해제가 발생하여 토폴로지의 구성 상태에 잦은 변경을 가져온다. 본 논문에서는 연결설정 시 링크 품질에 대한 알고리즘을 추가해, 토폴로지 구성에 대한 견고성을 높이고, 패킷 전송 성공률을 향상시킬 수 있다. 이와 같은 동작을 만족시키기 위해 수정된 헤더 선정 프로세스 및 링크 품질 측정 프로세스,

헤더 후보 관리 프로세스가 필요하며, 이를 이용한 Multi-Hop Module을 구현하여 기존의 변형 LEACH 프로토콜을 개선시켰다.

#### 3.1 기존의 변형 LEACH 프로토콜<sup>[17]</sup>

그림 5는 변형 LEACH 프로토콜의 최상단 부를 구성하는 모듈이다. 그림 5의 MHLeachPSM 모듈이 수행하는 것은 우선 각 노드를 초기화하고, 그 이후에 표 1의 3가지 동작을 실행하게 된다.

그림 6은 기존의 LEACH 프로토콜에서 제공되는 부분으로 주기적으로 새로운 라운드를 구성하는 부분이다. 즉 일정시간 마다 전체 토폴로지를 재구성하는데 이때 클러스터 헤드를 새로 선택하게 되며, 이는 LEACH 프로토콜의 특징이기도 하다. 그림 7은 그림 5의 일부로 포함 되어 있는 Status Timer로서 매 주기마다 다음의 동작을 수행한다.

- Advertise를 이웃 노드에게 브로드캐스팅 : 자신의 생존 유무, 싱크 노드로부터의 깊이, 클러스터 헤더 선출 유무, 클러스터 헤더 요구, 새 라운드 시작 유무 등을 알림
- 이웃 노드가 동작 불가능 하거나 전력이 고갈되

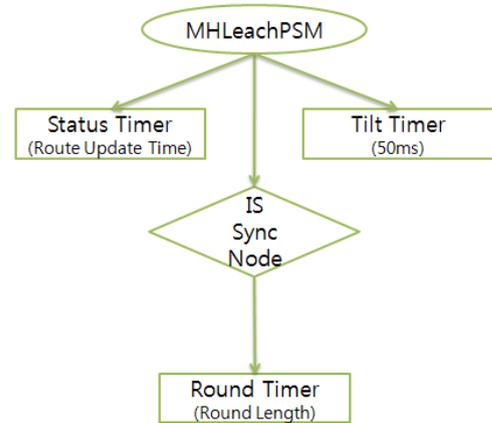


그림 5. 변형 LEACH 프로토콜의 최상단 모듈

표 1. MHLeachPSM 모듈의 내부 모듈 및 동작

모듈	동작
Status Timer	매 주기마다 Advertise Broadcast 및 노드의 Join/Leave 등의 토폴로지 변경을 감지 후 토폴로지 재생성 및 전송 이벤트 발생
Tilt Timer	진동 이벤트를 감지하기 위한 모듈
Round Timer	주기적으로 새로운 라운드를 실행, 싱크 노드에서만 실행



그림 6. 라운드 타이머

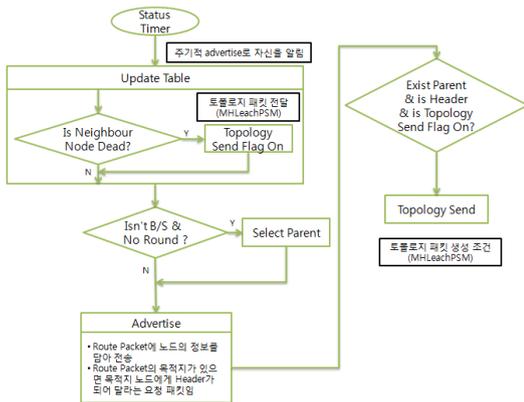


그림 7. 상태 타이머

면 노드의 추가/삭제

- 본 노드의 부모 노드가 변경될 경우, 새로운 토폴로지 패킷을 생성 후 전송

그림 8은 특정 노드가 부모 노드를 선택하는 알고리즘으로서 특정 노드가 토폴로지 정보 전송을 위해서 자신의 부모 노드를 선택하는 알고리즘이다. 동작은 매 Status Time 마다 Advertise (Route 패킷)를 보낼 곳(부모 노드)을 탐색하는데 그 조건은 아래의 두 가지를 따른다.

- Depth가 낮은 클러스터 헤드를 부모 노드로 선택 (5 홉을 넘을 수 없음)
- 일정시간 동안 적절한 부모 노드가 없을 시에는 Depth가 작은 리프 (Leaf) 노드에게 부모 노드가 되어줄 것을 요청

이를 통해서 모든 노드들은 자신의 부모 노드를 선택할 수 있고, 네트워크 토폴로지를 결정할 수 있

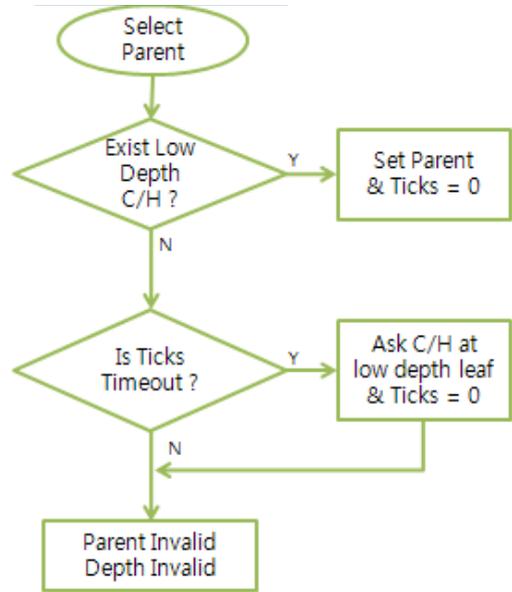


그림 8. 부모 노드 선택 알고리즘

다. 이 알고리즘 부분으로 인해 향후 특정 지능형 노드들의 유니캐스트 명령도 전송할 수 있다.

하지만 기존의 알고리즘에서는 급속 환경에서의 불안정한 RF 특성이 고려가 되지 않았기에, 링크에 대한 신뢰성이나 신호의 세기와는 관계없이 간단하게 연결설정이 이루어 졌다. 이는 불안정한 링크 발생 시 곧 연결설정이 해제되어 버려 네트워크에 대한 토폴로지 변경이 높은 빈도로 발생하였다.

그림 10에서의 네트워크 상황을 가정해보면, Leaf 노드는 두 개의 Header 노드의 RF Range에 모두 들어가 있다. 하지만 Header 1 노드의 경우 Leaf 노드가 Header 1 노드 RF Range의 경계지점에 존재하고 있다. 이 경우 급속 환경에서는 RF의 간섭현상으로 인해 기존의 RF Range보다 더 경계 지점이 불명확해져, 노드 간에 접속연결까지는 성공하였더라도 곧 연결이 끊어져버리는 경우가 쉽게

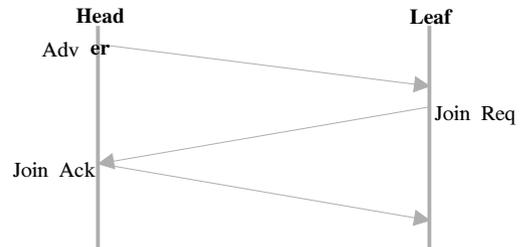


그림 9. 기존의 연결설정 프로세스

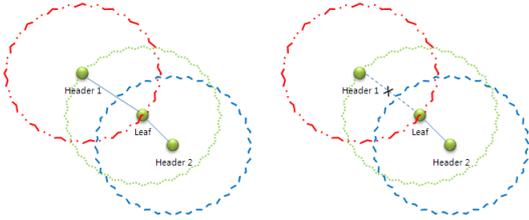


그림 10. 불안정한 RF Range에서 Join 동작

일어날 수 있다. 이로 인해 발생하는 잦은 토폴로지 변경은 라우팅 패스에 대한 신뢰성을 낮추고 동시에 데이터 전송에 대한 송/수신율에도 영향을 준다. 게다가 잦은 연결설정으로 인해 증가한 패킷 발생률은 에너지 소모 측면에서도 비효율적인 상황을 가져오게 된다.

### 3.2 링크 품질 측정을 통한 안정적 토폴로지 구성 알고리즘

컨테이너가 적치된 금속 환경에서 불안정한 RF 통신을 보완하기 위해서 본 논문에서는 기존의 변형 LEACH 프로토콜에 몇 가지 프로세스를 추가하였다. 기 구현된 Multi-Hop Module을 활용하였고 여기에 보완 프로세스들을 추가하여 링크를 견고히 해 라우팅 기능의 신뢰성을 더욱 높였다.

컨테이너 환경에서는 RF 통신이 금속의 영향을 받아 비금속 환경에서보다 불안정한 품질을 보인다. 이는 패킷 전송 실패로 인한 재전송율을 높하게 되고, 잦은 네트워크 접속과 이탈로 인해 에너지 소비 측면에서 매우 비효율적이며, 라우팅에 대한 신뢰성이 떨어져 패킷 수신율도 저하 될 수 있다. 이럴 경우 연결설정 시 링크 품질이 안정적인 곳으로 유도하여 네트워크를 구성하면 견고한 토폴로지를 형성할 수 있다.

이를 위해 헤더 노드 선정 알고리즘이 수정되었다. 그림 11과 같이 기존의 알고리즘에서 후보 관리 프로세스 및 링크 품질 측정 프로세스가 추가되었다.

후보 관리 프로세스에서는 헤더의 자격을 갖춘 노드들에 대한 정보들을 관리한다. 관리되는 정보들은 후보 노드에 대한 아이디와 링크 품질 측정을 위해 전송한 테스트 패킷의 성공 횟수를 저장하고 있다. 이들 정보는 헤더 노드 선정 프로세스에서 안정적인 링크를 가진 헤더를 선출할 경우 사용된다. 헤더 노드가 선출되었을 경우에는 더 이상 정보들을 관리하지 않고 후보 목록을 삭제한다. 이는 유동적인 무선 네트워크 환경에서는 이전의 링크 품질

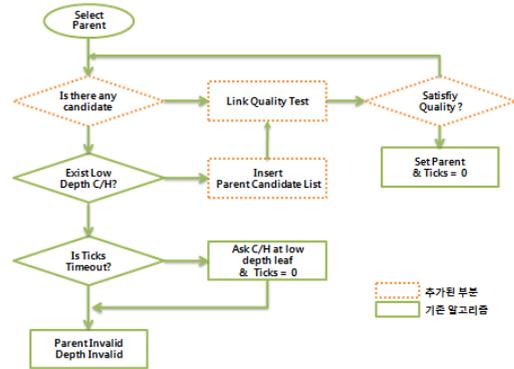


그림 11. 개선된 헤더 노드 선정 알고리즘

을 업데이트 하지 않은 채 계속 가지고 있는 것은 잦은 네트워크 구성 변경으로 인해 유용한 정보가 될 수 없을 뿐 아니라 안정적 토폴로지 형성에 오히려 방해 요소가 될 수 있기 때문이다. 후보 관리 프로세스에서 헤더 요청을 할 노드들이 만들어 졌다면, 헤더 노드 선출을 위해 링크 품질 측정 프로세스를 수행한다. 이 프로세스를 통해서 헤더 후보들 중 가장 안정적인 링크를 가진 노드에게 연결설정을 하여, 불안정한 네트워크 구성을 방지한다. 이를 위해 링크 품질 측정 프로세스에서는 그림 12에서와 같이 테스트 패킷을 첫 번째 후보 노드에게 보낸다.

3회에 걸쳐 테스트 패킷을 보내고 그에 대한 Acknowledgement로 테스트 패킷의 성공 횟수를 측정한다. 이 정보는 앞서 말했듯이 후보 관리 프로세스에 의해 저장되고, 이 값이 링크 품질에 대한 인

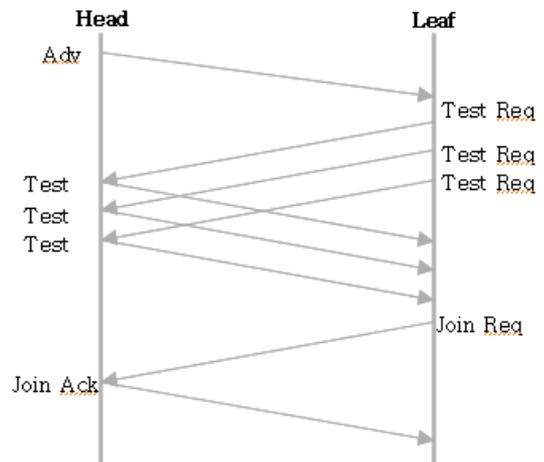


그림 12. 개선된 연결설정 프로세스

자로 이용된다. 3회의 테스트 패킷에 대한 Acknowledgement가 2회 이상 수신되었다면, 링크 품질에 대해 신뢰할 만함을 의미하여 기존의 헤더 노드 선정 프로세스를 연결해서 수행한다. 만약 2회 미만의 Acknowledgement를 수신하였다면, 이 링크는 견고하지 못한 링크로 판단하고 다음 후보 노드에게 품질 측정 프로세스가 수행된다. 이를 통해 급속 환경에서의 불안정한 무선 통신에 대해 비교적 신뢰할 수 있는 링크에 대해서만 연결설정을 함으로써 기존의 알고리즘 보다 개선된 토폴로지를 형성 할 수 있다.

#### IV. 실험 환경 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 실험은 토폴로지 안정성을 기준으로 진행하였다. 실험을 통하여 기존의 변형 LEACH 프로토콜에 존재하지 않는 링크 품질 측정 알고리즘을 도입하여, 급속 환경에서의 불안정한 무선 통신을 함에도 불구하고 네트워크 구성에 있어서 잦은 연결설정을 하지 않음에 따라 안정된 토폴로지가 형성된 것을 확인하였다.

##### 4.1 실험 환경

실험 환경은 표 2와 같다. 실험 인자는 네트워크 전체 구성 시까지의 토폴로지의 안정성을 기준으로 실험하였다.

표 2 실험환경

항목	값
하드웨어 플랫폼	Intel(R) Xeon(TM) CPU 3.00GHz / 3.25GB RAM
운영체제	Microsoft Windows Server 2003
시뮬레이터	Qualnet
노드 수	5개, 10개, 20개
전파 세기	0 dBm
실험 회수	5회씩 측정 후 평균값 계산

##### 4.2 토폴로지 안정성 비교

토폴로지 안정성을 측정하는 실험은 전체 네트워크가 구성 완료시까지의 헤더 선출 횟수를 기준으로 측정하였다. 측정은 하나의 일반 노드에서 헤더 노드와의 연결설정이 완료되는 횟수를 기준으로 기존의 알고리즘에 비해 얼마나 적은 횟수로 네트워크를 구성할 수 있는가를 중점으로 하였다. 사용된 노드는 하나의 싱크노드와 일반 노드의 수를 5개,

10개, 20개를 기준으로 실험하였다.

제안 알고리즘과 기존 알고리즘을 비교하기 위해 각각 5회씩 실험한 결과 그림 14~그림 16과 같이 제안 알고리즘이 훨씬 작은 수의 연결설정만으로 전체 네트워크 구성을 완료하였다. 비율로 환산하면 평균적으로 기존의 알고리즘에 비해 21.73% 향상된 연결접속 시도횟수를 보이고 있다. 기존의 알고리즘의 경우 잠시 동안만 정상적으로 통신이 되더라도 연결설정이 되어버리고 곧 불안정한 링크 품질에 의해 연결설정이 해제될 경우가 잦아 많은 횟수의 연결설정을 시도하게 된다.

이에 반해 제안 알고리즘은 테스트를 통해 적정 수준이상의 링크 품질을 가진 헤더 노드에 연결설정을 하게 됨에 따라 급속 환경에서 더 안정적인 토폴로지 형성을 달성할 수 있다.

토폴로지 안정성에 대한 요구사항이 컨테이너 적 치장이나 컨테이너 선박 등의 급속 환경에서 무선

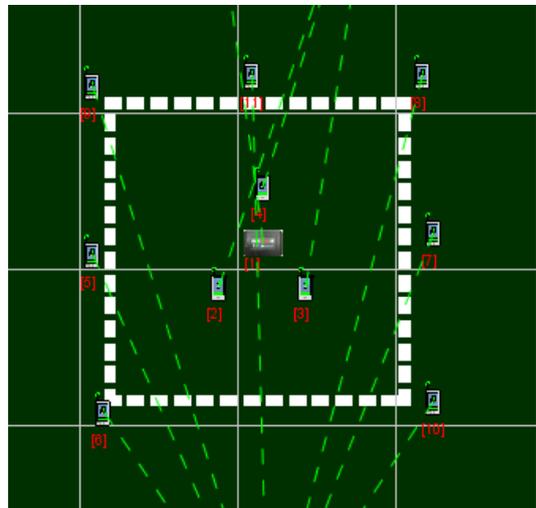


그림 13. 10개 노드에 대한 시뮬레이션 화면

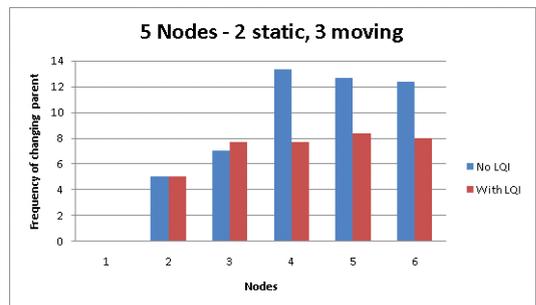


그림 14. 5개 노드에 대한 5회 평균 접속시도율

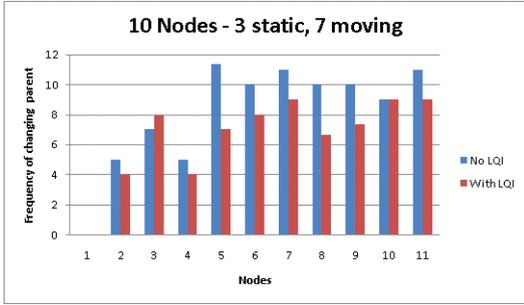


그림 15. 10개 노드에 대한 5회 평균 접속시도율

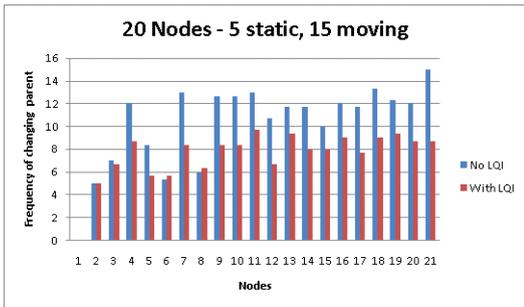


그림 16. 20개 노드에 대한 5회 평균 접속시도율

통신을 위해서 존재한다. 이는 컨테이너 정보에 대해 실시간적으로 데이터를 전송 받거나, 양방향 통신을 위해서는 네트워크의 정확한 토폴로지가 파악이 되어야 정보 전달이 가능하기 때문이다. 위 그림은 이에 대해 기존 알고리즘보다 확실히 개선된 성능을 보이고 있다.

## V. 결 론

본 논문은 기존의 변형 LEACH 프로토콜을 항만이나 선박과 같이 지능형 컨테이너가 적치된 금속 장애물 환경에서 불안정함을 보이는 경우를 개선시키는 것을 주제로 하였다. 이는 항만이나 선박환경에서 지능형 컨테이너의 경우 이동으로 인한 토폴로지 변화보다는 컨테이너 적치상태의 금속 장애물 환경에서 발생하는 전파에 대한 반사, 간섭, 왜곡, 신호 감쇄, 음영 지역의 생성 등으로 무선통신이 불안정하기 때문에 발생하는 토폴로지 변화가 더 빈번하기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 기존에 실시간 모니터링을 위해 개발되었던 Proactive 방식의 변형 LEACH 프로토콜에 금속 장애물 환경에서 불안정한 무선통신을 고려하였다. 네트워크 구성 시 링크의 품질을 확인하여

적정 수준이상의 링크를 가진 노드에만 연결설정을 하도록 제안 알고리즘을 추가하였다.

제안 알고리즘의 성능평가를 위해 토폴로지 안정성을 중심으로 테스트를 하였다. 그 결과 기존의 알고리즘보다 적은 횟수의 연결설정으로 전체 토폴로지가 구성됨을 확인하였다. 제안한 알고리즘을 활용하면 항만이나 선박환경 이 외의 다른 금속 환경에서도 통신 신뢰성이 뛰어난 링크를 선택함으로써 안정적인 토폴로지 구성을 유도해 내 인해 기존의 변형 LEACH 프로토콜에 비해 개선된 성능을 보일 것이다.

하지만 통신 신뢰성을 높이기 위해 제안된 알고리즘을 사용 시에는 기존의 알고리즘 보다 연결설정 과정에서 더 많은 설정 패킷을 주고받음으로써 추가 에너지 소모와 링크 간 통신 부하가 높아질 수 있다. 향후 연구 과제로 이를 최소화하기 위해 제안한 알고리즘을 에너지 소모 측면에서 최적화하는 방안에 대하여 연구할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] <http://www.etri.re.kr/> : 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜
- [2] 신재욱, 권혜연, 김승배, “이동 ad-hoc 네트워크에서 Flooding 기술”, 전자통신동향분석, 제18권, 제6호, pp.8-18, 2003. 12
- [3] Dali Wei, “Clustering Ad Hoc Networks: Schemes and Classifications,” IEEE Journal of Comm, pp.920-926, 2006. 9.
- [4] 한옥표, 김승남, “무선 센서 네트워크를 위한 에너지 인식 하이브리드 클러스터링”, Journal of Telecommunication and Inforamtion, Vol.11, pp.57-64, 2007.
- [5] 남춘성, “무선 센서 네트워크에서 데이터 중복 방지를 위한 클러스터링 기반 라우팅 기법”, 송실대학교 컴퓨터공학과, 석사학위논문, 2006. 12.
- [6] 이성일, 임재성, 양성현, “에너지 효율적인 무선 센서 망 구성을 위한 Hybrid Cluster-Mesh 구성 기법”, 아주대학교 정보통신 기술연구소, 논문지 제2권, 제 1호, pp.90-94, 2007. 3
- [7] 최종식, “무선 센서네트워크 MAC계층에서 충돌 예측 및 회피를 통한 저전력 통신기법 연구”, 강원대학교, 통신멀티미디어공학과, 석사학위논문, 2007. 2.
- [8] 김영웅, 조동호, “이동 ad-hoc 망에서 트래픽 속

성을 고려한 클러스터링 방안”, 한국통신학회논문지, Vol.26, No.3, pp.462-471, 2004. 8.

[9] Hans. J., “The Application-Based Clustering Concept and Requirements for InterDevice Network,” IEEE Communication Magazine, pp.108-113, 2005. 4.

[10] Ian F.Akyildiz et al., “A survey on Sensor Networks,” IEEE Communication Magazine, Vol.40, No.8, pp.102-114, Aug. 2004.

[11] C. Intangagonwivat et al., “Directed diffusion for Wireless sensor Networking,” IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol.11, No.1, pp.2-16, Feb. 2003.

[12] WenDi B. Heinzelman et al., “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,” IEEE Transaction on Wireless Communication, Vol.1, No.4, pp.660-670, Oct. 2004.

[13] Juan Carlos Cano et al. “A Low Power Protocol to Broadcast Real-Time Data Traffic in a Clustered Ad Hoc Network,” IEEE Communication Magazine, Vol.2, pp.2916-2920, April, 2005.

[14] Jari Tenhunen et. al, “Stability-Based Multi-Hop Clustering Protocol,” IEEE 16th International Symposium on personal, Indoor and Mobile Radio Communication, pp.958-962, 2005.

[15] 한백전자 기술 연구소, “유비쿼터스 센서네트워크 시스템”, Info-Tech Corea, 2007. 11. 4

[16] 남상엽, 송병훈, “MOTE-KIT를 이용한 무선 센서 네트워크 활용”, 상학당, 2006. 2. 25

[17] 이양민, 이기원, 광광훈, 이재기, “컨테이너 환경에서 토폴로지 재구성 시간을 개선한 변형 LEACH 프로토콜”, 정보처리학회논문지 : C 제 15-C권 제4호 통권 제121호 (2008년 8월) pp.311-320, 2008. 8. 31

**이 기 원 (Ki-One Yi)**

정회원



2009년 2월 동아대학교 컴퓨터 공학과 졸업 (공학사)  
2009년 3월~현재 동아대학교 컴퓨터 공학과 석사과정  
2008년 10월~현재 동아대학교 미디어디바이스 연구센터 (연구원)

<관심분야> 유비쿼터스 네트워크, WPAN 등

**이 재 기 (Jae-Kee Lee)**

정회원



1978년 2월 영남대학교 전자 공학과(공학사)  
1983년 2월 영남대학교 전자 공학과(공학석사)  
1990년 2월 일본 동경대학교 전자정보공학 전공(공학박사)  
1984년~1990년 한국전자통신

연구소 (연구원)

1990년~현재 동아대학교 컴퓨터공학과(교수)

2000년~2001년 일본 마쿠하리 기가비트 연구센터 (초빙연구원)

<관심분야> 차세대 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 분산시스템 등

**곽 광 훈 (Gwang-Hoon Kwark)**

정회원



1989년 2월 부산대학교 전기 공학과(공학사)  
1999년2월 포항공과대학교 정보통신공학 전공(공학석사)  
1989년~1999년 포스코, 포스 데이터

2000년~2002년 i2Sof(연구소장)

2002년~2003년 한국전자통신연구원 (선임연구원)

2005년~현재 동아대학교 미디어디바이스연구센터 (책임연구원)

<관심분야> WPAN, IPv6, 유비쿼터스 네트워크, 퓨처인터넷 등