

선박 USN에서 에너지 효율성을 위한 라우팅 알고리즘

정회원 최 명 수*, 준회원 표 세 준**, 정회원 이 진 석***,
중신회원 윤 석 호****, 정회원 이 성 로**°

Energy Efficiency Routing Algorithm for Vessel Ubiquitous Sensor Network Environments

Myeong Soo Choi* *Regular Member*, Se-Jun Pyo** *Associate Member*,
Jin-Seok Lee*** *Regular Member*, Seokho Yoon**** *Lifelong Member*,
Seong Ro Lee**° *Regular Member*

요 약

본 논문에서 고려하는 선박USN 환경에서는 선박의 특수성으로 인해 멀티홉으로 구성되며 선박의 안전운항과 관련된 센서 노드들은 센싱될 위치에 배치가 완료되면 이동할 필요가 없어지게 되므로 고정되어, 센서노드 모두 FFD(Full Function Device)로 구성 된다고 가정하였다. 무선 센서 네트워크는 고정된 인프라의 도움이 없이 이동 노드만으로 구성된다. 이는 네트워크의 융통성을 높일 수 있지만 센서 노드의 멤버로서의 자유로운 참여와 이탈 또는 전력소모로 인하여 네트워크의 라우팅에 어려움이 발생하게 된다. 본 논문에서는 선박USN 환경의 고정된 센서 네트워크에서 비트맵과 클러스터 방식의 라우팅을 혼합한 알고리즘을 제안하고 모의실험을 통해 제안한 알고리즘의 타당성을 보였다.

Key Words : Vessel-USN, Routing Algorithm, Cluster-based Routing, Clustered-tree, Bit Map

ABSTRACT

In this paper, we assume that sensor nodes organize the multi-hop networks, are fixed, and operate as full function devices(FFD). The wireless sensor network(WSN) only consists of mobile nodes without the assistance from the fixed infrastructure, which increases the flexibility of the network. However, it is difficult to perform routing in the WSN, since sensor nodes freely join in and drop out of the network, and some sensor nodes have very low power. We propose the algorithm combining routing schemes based on the bitmap and cluster methods in this paper. Through computer simulations, we show the validity of the proposed algorithm.

I. 서 론

선박 내 통신에 있어서는 유무선 융합의 개념으로써 SAN(Ship Area Network)의 많은 연구가 현재 진행 중이다. 이는 전력선, Ethernet, Cable, 광 등의 유선

인프라와 ZigBee, Bluetooth, WLAN, UWB, RFID 등의 무선 기술의 유무선 네트워크의 연동으로 이루어진다. 유선인프라의 경우 새롭게 건조하는 선박에서 설계단계에서 고려되어 구축되어질 수 있지만, 이미 건조된 선박에서 유선 인프라를 구축한다는 것은 많

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2010-0028295).

※ 이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0007).

* 목포대학교 정보산업연구소(mschoi@mokpo.ac.kr), ** 목포대학교 정보전자공학과(srlee@mokpo.ac.kr), (°: 교신저자)

*** 정보통신산업진흥원(intlmtg@nipa.kr), **** 성균관대학교 정보통신공학부(syoon@skku.edu)

논문번호 : KICS2011-02-095, 접수일자 : 2011년 2월 7일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 14일

은 어려움이 따르게 된다. 이러한 이유로 선박 내 통신에서 무선 기술이 적용되어야 하며 선박 내 통신은 사용 목적에 따라 어떠한 기술을 적용할 것인지 고려해야 한다. 본 논문에서는 여러 무선 기술 가운데 센싱된 작은 데이터 전송에 적합한 ZigBee 방식을 선정하였다. 표 1에 무선 통신기술들의 특징을 보이고 있다.

대체로 중소형 선박(레저 요트 등)의 경우는 대부분 유리섬유강화플라스틱(FRP; Fiber Reinforced Plastics)으로 건조되고 있는 실정이다. 대형선박의 경우 구조의 대부분이 금속으로 이루어져 있기 때문에 LOS(Line of Sight)가 보장되지 않는 음영지역에서는 단일홉이 아닌 멀티홉을 통해 라우팅이 이루어져야 하거나 센서노드들이 RFD(Reduced Function Device)가 아닌 FFD(Full Function Device)로 구성되어야 한다. 또한 ETRI의 SAN 연구와 같이 유무선 기술을 이용하여 음영지역 문제를 해결하고 있다. ETRI의 유무선 SAN 연구는 Light-Weight Ethernet 기술을 이용해 선박 장치 간의 센서, 항해 정보 및 응용 서비스들과의 다양한 정보를 교환하고 ISIG(Intra-Ship Integrated Gateway) 장치를 통해 다양한 장치의 정보들을 수집하고, 수집한 정보를 위성과 같은 통신 인터페이스를 통해 육상으로 전달하기 위한 통신 인프라 및 이에 대한 응용기술을 개발하고 있다.^[1]

선박USN 환경에서의 라우팅은 선박의 크기나 재질에 따라서 단일홉(Single Hop)이나 멀티홉(Multi Hop)으로 구성될 수 있다. 본 논문에서 고려하는 선박USN 환경에서는 선박의 특수성으로 인해 멀티홉으로 구성되며 선박의 안전운항과 관련된 센서 노드들은 센싱될 위치에 배치가 완료되면 이동할 필요가 없어지게 되므로 고정이 되며, 센서노드 모두 FFD로 구성된다고 가정하였다. 무선 센서 네트워크는 고정된 인프라의 도움이 없이 이동 노드만으로 구성된다. 이는 네트워크의 융통성을 높일 수 있지만 센서 노드의

표 1. 무선 통신방식 비교

통신 방식 구분	WLAN 11g	WLAN 11n	Bluetooth	UWB	ZigBee
사용 주파수	2.4GHz	5GHz	2.4GHz	3.1~10.6 GHz	868MHz/915MHz/2.4GHz
전송률	54Mbps	500Mbps	1Mbps	500Mbps	20/40/250 Kbps
전송거리	1Km	1Km	10m	2~10m	30m
다중접속 방식	OFDM/DSSS	MIMO-OFDM	주파수 호핑	DS-CDMA	CSMA/CA

멤버로서의 자유로운 참여와 이탈 또는 전력소모로 인하여 네트워크의 라우팅에 어려움이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 클러스터 헤드 노드는 이동성 지원보다는 센서 노드의 연산 능력과 제한된 에너지를 고려하는 방향으로 라우팅 프로토콜을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 논문에 필요한 관련연구를 2장에서 보이고, 제안하는 라우팅 알고리즘을 3장에서 설명한 다음 4장에서 NS-2를 이용한 모의실험을 통하여 결과를 보인 다음 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1 라우팅 프로토콜

무선 센서네트워크에서 라우팅은 센서네트워크의 전체적인 에너지소모량을 감소시키거나 모든 센서 노드들의 균일한 에너지 소비를 유도해야하며, 특히 데이터가 집중되는 싱크노드에 가까운 센서 노드들은 전송할 데이터의 양이 많아지기 때문에 에너지 소모가 많아지게 되는데 이를 극복하기 위한 연구들이 진행되어왔다. 센서 네트워킹 기술을 네트워크의 구조에 의하여 평면 라우팅(Flat Routing) 프로토콜, 계층적 라우팅(Hierarchical Routing) 프로토콜, 위치기반 라우팅(Location-Based Routing) 프로토콜로 분류할 수 있다.

2.1.1 평면 라우팅 프로토콜

Direct Diffusion 방식^[2]은 질의(Query) 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가지고 있으며 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 Interest로 표현된다. Interest는 싱크 노드에서 시작되어 네트워크 전체에 유포되어 데이터 요청 노드로 질의에 해당하는 데이터를 전송하기 위한 경사(Gradient)를 설정한다. 이때 다중경로를 통하여 요청 노드로 전송되는데 이는 전송 품질이 좋은 몇 개의 경로를 통해 데이터 전송이 이루어지게 하는 방식이다.

SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation) 방식^[3]은 협상과 자원 적응에 의해 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것이며, 센서 노드가 데이터에 대해 광고하고, 싱크 노드로부터의 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심적 라우팅 방법이다. 이는 센서 노드가 데이터를 방송하는 대신에 센서 데이터를 기술하는 메타 데이터를 전송하여 보다 효율적으로 동작하고 에너지를 보존하도록 하는 방식이다.

SAR(Sequential Assignment Routing) 방식⁴⁾은 라우팅 결정을 위하여 각 경로에 있는 에너지 자원과 QoS와 각 패킷의 우선순위를 고려한다. 트리 구조의 다중 경로가 설정되어 특정 경로가 실패할 경우에도 경로 재계산을 위한 오버헤드가 없다는 특징을 가지고 있다.

2.1.2 클러스터링 기반 계층적 라우팅 프로토콜

클러스터 기반의 라우팅은 네트워크를 일정 규모의 지리적인 집합으로 나누어 그룹을 형성한 후 이 그룹 내에서 감지한 데이터를 수집한 후 데이터 병합을 수행하여 전송량을 줄인 후 싱크노드로 최종 전송하는 방식이다. 이는 무선 센서네트워크의 배치 및 동작의 특성상 밀접한 노드들은 상관관계가 높은 데이터를 감지할 수 있기 때문에 국부지역(local area)에서 이를 병합하여 줄임으로써 전체 네트워크의 전송량을 줄일 수 있는 에너지 효율적인 방법이다.

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 방식⁵⁾은 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 직접 싱크노드로 전달한다. 이방식의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위하여 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 연합하는 방법이다.

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) 방식⁶⁾은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고 LEACH 방식과 유사하게 동작한다. TEEN 방식에서 센서 노드들은 클러스터 결정 시간에 클러스터 헤드가 방송한 임계값에 기반을 두고 현재 감지된 데이터를 전송할지를 결정한다. 이후에는 감지된 데이터의 값이 저장된 값보다 어느 정도 이상일 경우 저장하고 해당 시간 슬롯에 전송하게 된다.

2.1.3 위치 기반 라우팅 프로토콜

GEAR(Geographic and Energy Aware Routing) 방식⁷⁾은 지리적으로 목적지 주소가 있는 노드들이나 네트워크 지역에 패킷을 전달하는 라우팅 방법으로 모든 노드들이 자신의 지리적 위치와 무선 영역 내의 자신의 단일 홉에 위치한 이웃을 알고 있으며, 라우팅 목적지는 정해진 위치에 있는 노드거나 한 네트워크 지역에 있으며, 각 패킷은 장소를 기록하는데 도움이 되기 위해서 추가 라우팅 정보를 보유했을 때

적용되는 방식이다. 이는 링크 비용과 토폴로지 변화를 업데이트 하는데 비용이 적으며, 경로 설정 테이블을 저장하는 오버헤드를 피하면서 요구에 부합한 경로를 찾을 수 있다.

2.2 ZigBee 기술

ZigBee는 저전력, 저가격, 사용의 편리성을 가진 근거리 무선네트워크의 대표적 기술 가운데 하나로 IEEE 802.15.4 표준의 PHY층과 MAC층을 기반으로 상위 프로토콜과 응용을 규격화한 기술로 원격제어 및 관리의 응용에 적합한 홈 오토메이션 등에 적용할 수 있다.

IEEE 802.15.4 표준은 낮은 전력, 낮은 가격, 낮은 복잡도를 필요로 하는 저속 개인영역 네트워크(LR-WPAN)의 표준으로 알려져 있다. IEEE 802.15.4의 물리계층에서 주파수 대역에 대해 전체 27개 채널(2.4GHz 대역에서 16개 채널, 900MHz 대역에서 10개 채널, 868MHz 대역에서 1개 채널)에 대해 정의하고 있으며, MAC 계층에서는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 메커니즘을 이용하여 무선 채널을 액세스하는 것을 제어하고 있다. 또한 IEEE 802.15.4에서는 FFD(Full Function Device)와 RFD(Reduced Function Device)의 두 종류의 장치를 정의하고 있다. FFD는 주변의 어떠한 장치들과도 통신을 할 수 있으며, 코디네이터(coordinator)나 일반 장치로 사용될 수 있다. RFD는 오로지 FFD와 결합하여 통신을 할 수 있는 단순한 장치이다.

ZigBee NWK(Network Layer)는 스타, 트리, 메쉬 토폴로지를 지원한다. 네트워크 디바이스는 다른 네트워크 디바이스의 메시지를 중계한다. 스타 토폴로지에서는 ZigBee 코디네이터가 네트워크를 통제하는데 이 코디네이터는 네트워크 디바이스를 깨우고, 지속시키는 역할을 수행한다. 다른 모든 디바이스는 코디네이터와 직접 통신하는 최종 디바이스가 된다. 메쉬와 트리 토폴로지에서는 코디네이터는 네트워크를 시작하

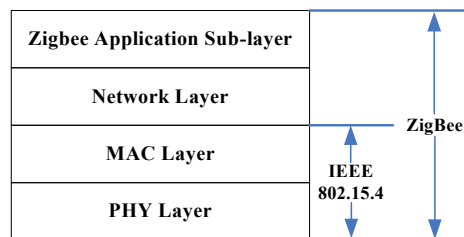


그림 1. ZigBee 프로토콜 스택

고 특정한 중요 네트워크 매개변수를 선택한다. 또한 ZigBee 라우터를 통해 네트워크를 확장할 수 있다. 트리 네트워크에서 라우터는 계층 라우팅 방법으로 네트워크를 통해 데이터를 이동시키고 메시지를 제어한다. 트리 네트워크는 비콘 기반 통신을 사용할 수 있으며, 완전한 P2P(Peer to Peer) 통신을 지원한다. 클러스터 트리 라우팅은 beaconing multi-hop 네트워크에서 유용하게 활용이 되며, 코디네이터와 라우터의 배터리 관리를 허용한다. 또한 비콘 충돌 회피를 위하여 높은 지연을 견디어야 하며, 트리 라우팅을 사용하여야 한다. 메시 라우팅은 이웃 노드에서 라우팅 패킷에 의하여 구성된 경로를 통하여 소스 디바이스로부터 목적지 디바이스로 경로 구성을 허용한다. 라우팅 테이블은 AODV(Ad hoc On Demand Distance Vector)의 단순화된 버전을 사용한다.

2.3 IEEE 802.15.5 네트워크 계층 프로토콜

IEEE 802.15.5는 IEEE 802.15.3/4 PHY/MAC 규격 위에 메시 네트워킹 기능을 지원하도록 한 것이다. IEEE 802.15.5의 주소할당 방법은 초기에 PAN이 형성되면 일정한 시간 내에 단말 노드로부터 자신을 포함한 하위 노드의 노드 개수 정보를 메시 코디네이터에게 전송하여 적당한 주소공간 확보를 위한 블록 주소할당을 한다. 주소할당이 모두 이루어지면 제한된 홉 수 내에 Hello 프레임을 브로드캐스팅으로 교환하여 자신의 LST(Link State Table)을 형성한다. 이를 바탕으로 제한된 홉 수 내에는 LST 테이블정보를 이용하여 최단 노드 라우팅이 가능하며 이를 벗어난 노드에 대한 라우팅은 블록주소 체계를 이용한 트리 기반 라우팅으로 데이터를 전달하게 된다⁸⁾.

2.4 비트맵을 사용하는 라우팅 알고리즘

센서 노드는 한정된 에너지를 가지고 있기 때문에 메시지를 전송할 때 에너지를 가장 많이 필요로 하고, 프로세싱에 필요한 에너지는 메시지를 수신할 때 필요로 하는 에너지보다 더 적은 양을 필요로 하기 때문에 라우팅 경로를 설정하기 위해 전송되는 메시지 수를 줄이는 것이 제한된 에너지를 효율적으로 사용하는 가장 좋은 방법이다⁹⁾.

센서네트워크에서 필요한 라우팅 테이블을 구성하기 위해 센서 노드는 식별자를 가져야 하며, 노드 식별자 정보를 이용하여 노드와 노드 사이의 연결 정보를 비트로 표시할 수 있다. 노드의 식별자는 IP-기반의 네트워크와 같이 전역 주소를 가질 필요는 없고, 센서 영역에서 유일하게 식별되는 역할을 수행하면

된다. 각 노드는 비트맵을 저장할 수 있는 메모리를 가진다. 이 비트맵은 이웃 노드와의 연결 유무에 따라 0 또는 1로 표현되는 비트로 구성된다.

노드 내에서 비트맵을 구성하기 위해서는 싱크 노드가 이웃의 모든 노드에게 질의를 발송한다. 질의를 받은 노드는 질의의 내용을 살펴보고 일치하는 작업이 없는 경우 라우팅 알고리즘을 실행한 후 이웃 노드에게 질의와 비트맵을 브로드캐스팅한다. 이 작업은 질의가 일치하는 노드가 발견될 때까지 계속 수행된다.

2.5 ETRI의 유무선기반 SAN 기술

현재 ETRI에서는 선내의 다양한 선박 장치들의 정보를 종합적으로 통합하고 관리하기 위한 선내 통신 인프라 기술인 선박용 유무선 SAN 기술을 개발하고 있다. 이는 IEC TC 80의 Light-Weight Ethernet 기술을 이용해 선박 장치 간의 센서, 항해 정보 및 응용서비스들과의 다양한 정보를 교환하고 ISIG(Intra-Ship Integrated Gateway) 장치를 통해 다양한 장치의 정보들을 수집하고, 수집한 정보를 위성과 같은 통신 인터페이스를 육상으로 전달하기 위한 통신 인프라 및 이에 대한 응용기술을 개발하고 있다.

Light-Weight Ethernet은 많은 제조사들이 Ethernet의 충분한 대역폭을 활용하면서, 동시에 항해 정보를 간단하게 전송하기 원하는 장비 제조사들의 요구에 의해 시작되었다. 이는 항해 장치들을 어떻게 간단하게 구현하고 제공할 수 있느냐에 초점을 맞추고 있으며, 단지 UDP 멀티캐스팅을 사용해 항해 정보를 전송하기 위한 메커니즘을 제공하고 있다¹¹⁾.

III. 제안하는 라우팅 알고리즘

본 장에서는 [9]와 [10]의 연구를 기반으로 센서 네트워크의 생존 시간과 에너지 효율성을 향상시킨 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 선박 USN 환경에서 모니터링 할 수 있는 정보를 측정할 수 있는 데이터의 종류별로 ID를 부여한 다음 같은 ID를 가진 각 노드는 클러스터를 구성하며, 구성된 클러스터에 포함된 노드들의 연결정보를 0또는 1로 표현하는 비트맵 라우팅 테이블을 가지도록 하였다. 또한 구성된 클러스터 내에서 클러스터 헤드의 잔여전력을 비교하여 클러스터 헤드를 변경함으로써 에너지 효율성 및 네트워크의 생존 시간을 향상시켰다. 아래의 그림 2는 제안하는 알고리즘의 기본 개념을 보여주고 있다.

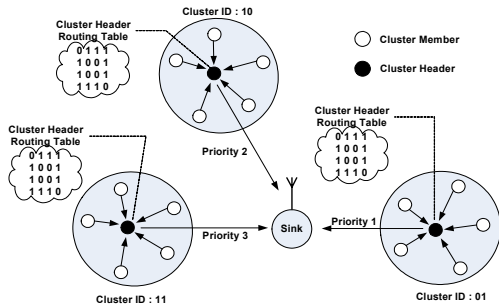


그림 2. 제안 알고리즘의 기본 개념

표 2. 측정센서별 우선순위

우선순위	측정 센서	ID
1	온도/습도	01
2	조도	10
3	진동	11

제안하는 라우팅 알고리즘에서는 표 2와 같이 선박 환경에서 모니터링할 수 있는 정보(온도/습도, 조도, 진동 등)를 측정할 수 있는 데이터의 종류별로 클러스터를 형성하여 우선순위를 부여하였다.

우선순위는 라우팅 과정에서 클러스터 헤드가 싱크 노드 또는 상위 클러스터 헤드에 데이터를 전송하는 순서이다.

클러스터를 형성할 때 모든 노드들은 클러스터를 결정하지 못한 상태에서 미리 정의된 고유ID를 포함하는 Hello 메시지를 보내게 되는데 노드가 클러스터 헤드로부터 Hello 메시지를 수신하게 되면 그 노드는 해당 클러스터 멤버에 등록이 되게 된다. 아래 그림 3은 클러스터 ID 전파과정이며 해당 클러스터 멤버에 등록과정을 보여주고 있다.

멤버 등록이 완료되고서, 하나의 소스 노드에서 목

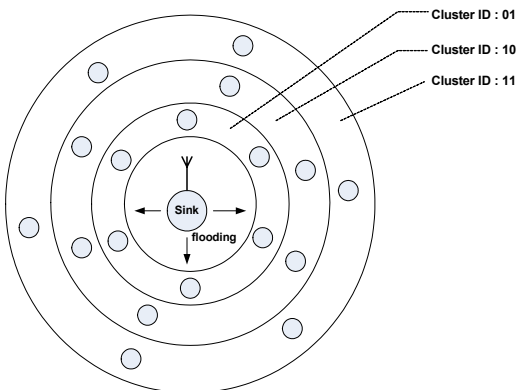


그림 3. 클러스터 ID 전파과정

적지 노드로 측정된 데이터를 보내려할 때 목적지 노드의 위치를 결정하기 위해 비트맵으로 구성된 라우팅 테이블을 체크하게 된다.

비트맵으로 구성된 라우팅 테이블을 살펴보면 센서 네트워크에서 필요한 라우팅 테이블을 구성하기 위해 센서 노드는 식별자를 가져야 한다. 노드 식별자 정보를 이용하여 노드와 노드 사이의 연결정보를 비트로 표시할 수 있는데, 이 비트맵은 이웃 노드와의 연결 유무에 따라 0 또는 1로 표현되는 비트로 구성된다. 다음의 식 (2)는 노드가 가지는 비트맵의 구조를 보인다.

$$map[i][j] = \begin{bmatrix} id & id & \dots & id \\ id & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ id & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서, $map[0][0]$ 는 노드 자신의 식별자를 의미한다. 노드 i 와 j 의 교차점은 링크의 존재 여부에 따라서 존재하면 1, 존재하지 않으면 0으로 표시된다. 싱크 노드에서 시작된 Interest의 점화로 각 노드는 라우팅 테이블을 전달하는데, 전달 받은 비트맵은 단 한번의 브로드캐스트로 이웃 노드들에게 전달한다. 이 노드가 브로드캐스트를 수행한 후 이웃 노드들로부터 동일한 Interest를 받게 되면, 이웃 노드의 식별자를 판별하여 자신의 비트맵의 행과 열을 갱신한다^[9]. 모든 노드들은 Interest를 전달 받아 비트맵을 구성한 다음 브로드캐스트를 수행한다. 브로드캐스트를 수행한 다음 다른 노드로부터 동일한 Interest를 전달받으면 노드 식별자가 동일한 비트맵의 행과 열을 OR 연산을 수행한다^[9]. 각 노드에서 비트맵을 전달 받으면 자신의 비트맵을 갱신하고 다음 노드에 비트맵을 전달한다. 이때 노드는 브로드캐스팅 이후에 이웃 노드에게 비트맵을 전달 받으면 자신의 비트맵을 갱신하게 되는데 이 과정은 노드가 응용에 대한 응답을 수행할 때까지 반복된다^[9].

라우팅 테이블의 체크가 이루어지면 경로가 설정되고 통신반경 내에 위치한 목적지 노드와 가장 가까운 노드에게 패킷을 보냄으로써 목적지 노드까지 데이터를 전송하게 된다. 센서 노드는 제한된 에너지를 가지고 있기 때문에 메시지를 발송할 때 가장 많은 에너지를 필요로 하고 프로세싱에 필요한 에너지는 메시지를 수신할 때 필요로 하는 에너지보다 적은 양을 필요로 한다.

[10]의 연구에서와 같이 기존의 LEACH 알고리즘은 단지 확률에만 의존하여 클러스터 헤드를 선출하며, 이로 인해 각 노드들의 에너지 소모를 균형적으로

유지할 수 없기 때문에 노드 간 에너지 균형을 위해 노드의 잔여 에너지를 고려하여 LEACH 알고리즘을 개선한 방식을 사용하였다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N-k \times (r \bmod \frac{N}{k})} \times E_{node} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 i 는 노드의 식별자, t 는 시간, N 은 전체 노드의 수, k 는 클러스터의 수, r 은 라운드, E_{node} 는 노드의 현재 잔여 에너지의 값을 나타낸다. 새로운 라운드가 시작되면 0과 1사이의 난수를 선택한 후 임계값($P_i(t)$)를 계산한다. 선택한 난수가 임계값 보다 작으면 클러스터 헤드로 선출된다. 그림 4에서는 동일 클러스터 내에서 식 (1)로부터 클러스터 헤드가 변경된 그림을 보이고 있다.

무선 센서 네트워크의 특성상 설정된 경로는 계속해서 변하게 된다. 하지만 본 논문의 선박USN 환경에서의 고정된 센서 노드 배치 때문에 무선 센서 네트워크는 경로의 변화 없이 라우팅이 이루어진다. 이렇듯 특정 경로의 라우팅이 이루어지게 될 경우 라우팅이 빈번히 발생하는 클러스터 헤드 노드의 전력소모가 증가하게 되어 특정 센서 노드의 수명이 짧아져 네트워크의 수명이 단축된다. 이러한 문제점 해결을 위하여 센서노드의 남은 전력을 고려하여 클러스터 헤드 노드를 바꾸고, 비트맵을 이용한 라우팅 테이블을 사용함으로써 센서 네트워크의 수명을 연장시킨다.

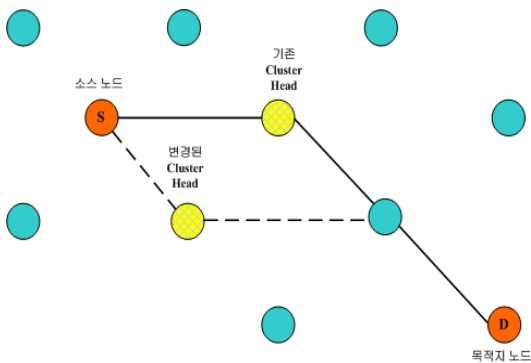


그림 4. 동일 클러스터 내에서 잔여전력에 따른 헤드 노드의 변경

IV. 모의실험 및 결과

4.1 모의실험 환경

이 장에서는 3장에서 제안한 알고리즘을 토대로

IEEE 802.15.4 기반의 NS-2를 사용하였고, IEEE 802.15.5 주소할당 알고리즘을 추가하여 시뮬레이터를 개발하였다.

개발된 시뮬레이터는 그림 5와 같이 선박환경에서 노드들은 지정된 위치에서 해당 데이터만을 센싱하기 때문에 이동성이 없이 고정되어 있다고 가정하였다. 모의실험에 사용된 파라미터는 아래 표 3에 보이고 있다.

센서노드의 개수는 101개를 사용하였고, 이 101개의 노드를 25, 50, 75, 101개의 노드 수로 구분하여 네트워크를 구성하여 실험하였다. 센서는 기본적으로 무선 통신의 범위가 9m로 설정하였으며, 80m × 80m의 정사각형 형태의 공간에서 노드간 간격을 7m로 균일하게 노드를 생성하여 배치하였다. 이 트리는 각각의 노드에 일정한 거리를 두고 구성되며, 노드들은 IEEE 802.15.5 주소 할당 알고리즘에 기반하여 이웃 노드 리스트를 유지한다. sink 노드(0번 노드)에서부터 시작하여 노드들은 네트워크에 참여하게 되고 클러스터 트리가 구성되게 된다.

그림 6은 모의실험을 위해 작성한 tcl 파일을 통해 생성된 트레이스 파일의 한 부분을 보여준다.

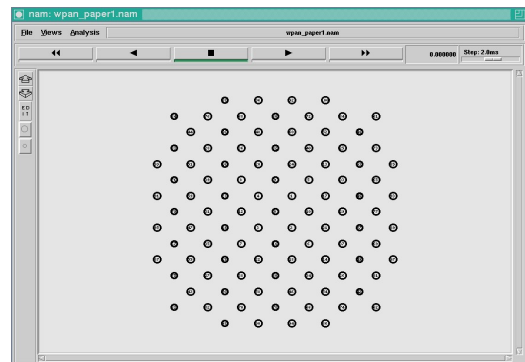


그림 5. 개발된 시뮬레이터

표 3. 모의실험 파라미터

변수	값
네트워크 크기	80m × 80m
노드 수	101 개
노드간 간격	7 m
모의실험 시간	100 sec
이벤트 발생률	0.5 events/sec
무선 전송범위	9 m
초기 에너지값	0.5 joules

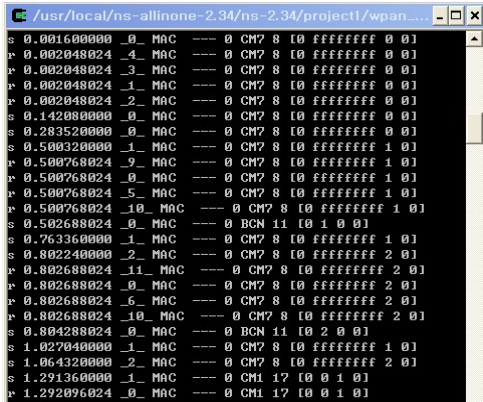


그림 6. 모의실험시 생성된 트레이스 파일의 일부분

4.2 모의실험 결과 및 분석

전체 메시지 수는 송신 메시지 수와 수신 메시지 수를 더해서 구하게 되는데 그림 7에서는 Directed Diffusion 알고리즘과 3장에서 제안한 알고리즘의 전체 메시지 수를 보이고 있다. 그림 7에서 보는 바와 같이 제안한 알고리즘의 전체 메시지 수가 2x2개의 센서 영역에서는 약 28%의 메시지 수 감소 효과가 있었으며, 4x4개의 센서 영역에서는 약 13%의 메시지 수 감소 효과를 보이고 있다.

그림 8은 노드의 증가에 따른 기존의 방식과 제안한 알고리즘의 라우팅 오버헤드를 비교한 결과이다. 이 결과를 통해 라우팅 오버헤드는 라우팅 프로토콜 배치와는 상관없이 노드의 수에 따라 증가함을 알 수 있고, 노드가 네트워크의 제한된 크기에 의해 노드의 수가 선형적으로 증가하지 않기 때문에 라우팅 오버헤드는 낮은 크기로 증가한다는 것을 알 수 있다.

클러스터내의 게이트웨이와 모든 센서노드 사이의 통신으로부터 요구된 평균 통신 에너지를 측정하였다. 이에 대한 결과는 그림 9에 보이고 있으며, 통신 에너

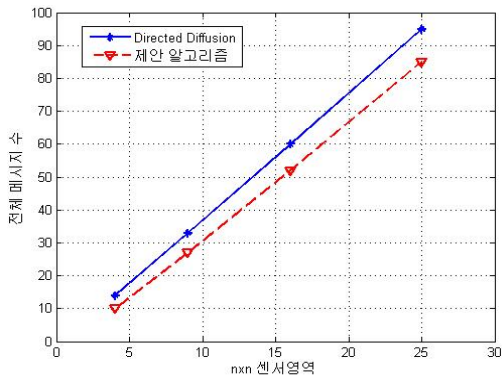


그림 7. DD알고리즘과 제안 알고리즘의 메시지 수 비교

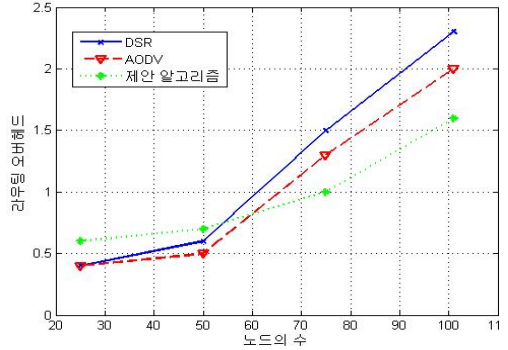


그림 8. 노드의 증가에 따른 라우팅 오버헤드

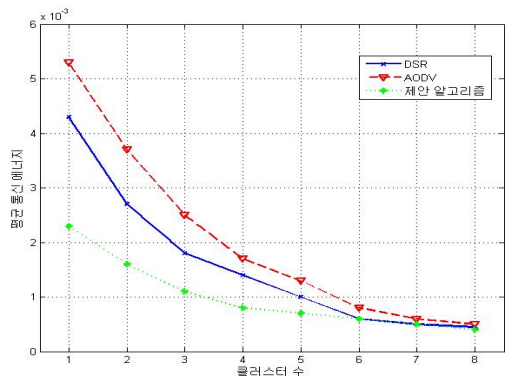


그림 9. 통신에 사용되는 클러스터당 평균 에너지

지는 직접적으로 두 노드 사이의 거리에 비례한다. 만일 클러스터가 짧은 거리로 형성되면 소비된 평균 에너지는 최소가 된다. 또한 클러스터 헤드 노드의 잔여 전력을 비교하여 클러스터 헤드를 변경하면서 네트워크의 수명을 더 연장할 수 있었고, 클러스터의 수가 증가할수록 평균통신에너지는 비슷해짐을 알 수 있었다.

V. 결론

이 논문에서는 선박USN 환경에서 무선 센서 네트워크를 구성하는 노드들과의 연결정보를 0 또는 1로 표현하는 비트맵을 가지도록 하고, 선박환경에서 모니터링 할 수 있는 정보를 측정하는 데이터의 종류별로 클러스터를 형성하여 우선순위를 부여하였다. 또한 클러스터 헤드의 잔여전력을 비교하여 클러스터 헤드를 변경하였다. 4장의 모의실험 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. 클러스터 수가 증가할수록 평균 통신 에너지 소비 비율이 기존의 방법보다 제안된 기법이 평균 13% 정도 낮은 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구에 있어서 무선 센서 네트워크 라우팅

알고리즘을 설계하는데 있어 모의실험이 아닌 실제 선박에 mote를 부착하여 본 논문의 실험 결과의 타당성을 증명하고, 더욱 개선된 라우팅 알고리즘에 대한 연구가 더 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] 이광일, 박준희, 최원석, 문경덕, “선내 통신 국제 표준화 동향”, TTA저널/정보통신표준화소식 126호, pp.45-51, 2009년 11월.

[2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, “Directed diffusion: A Scalable and robust communication paradigm for sensor networks”, Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00), August 2000.

[3] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, “Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks”, Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '99), August 1999.

[4] K. Sohrabi, et al., “Protocols for self-organization of a wireless sensor network”, IEEE Personal Communications, Vol.7, No.5, pp.16-27, October 2000.

[5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, HICSS 2000.

[6] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, “TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks”, Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, April 2001.

[7] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, “Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks”, UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023, May 2001.

[8] <http://www.ieee802.org/15/>

[9] 정상준, “무선 센서 네트워크에서의 비트맵 브로드캐스팅 라우팅 알고리즘”, 한국통신학회논문

지 제31권 제5A호, pp.459-468, 2006년 5월.

[10] 박용민, 김경목, 오영환, “센서 네트워크에서 클러스터 기반 에너지 효율성을 고려한 개선된 라우팅 프로토콜”, 대한전자공학회논문지 제45권 TC편 제9호, pp. 1-7, 2008년 9월.

최 명 수 (Myeong Soo Choi)

정회원



2000년 2월 목포대학교 전자공학과 졸업
2002년 2월 목포대학교 전자공학과 석사
2009년 2월 목포대학교 전자공학과 박사
2009년 3월 목포대학교 해양텔

레매틱스 기술개발센터 박사후연구원
2009년 12월~현재 목포대학교 정보산업연구소 연구교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 무선통신분야(USN, 배열신호처리), 임베디드시스템, 생체인식시스템

표 세 준 (Se-Jun Pyo)

준회원



2010년 2월 목포대학교 전자공학과 졸업
2011년 2월~현재 목포대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 디지털통신시스템, 무선통신분야(USN), 임베디드시스템

이 진 석 (Jin-Seok Lee)

정회원



1997년 2월 충남대학교 대학원 무역학과 졸업
2000년 2월 충남대학교 대학원 무역학과 경영학 석사
2007년 8월 충남대학교 대학원 무역학과 경영학박사
2002년 3월~현재 정보통신산

업진흥원 책임연구원
<관심분야> IT접목서비스, 전자무역, SCM, IT인력 양성정책

윤 석 호 (Seokho Yoon)

중신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학사(최우등)
1999년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학석사
2002년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학박사
2002년 3월~2002년 6월 MIT

박사후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사후 연
구원

2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전
임 강사, 조교수, 부교수

2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 수상

2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재

2007년 IEEE 준석학회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재

2009년 한국통신학회 LG 학술상 수상

<관심분야> 통신 이론, 이동통신, 통계학적 신호처리

이 성 로 (Seong Ro Lee)

정회원



1987년 2월 고려대학교 전자공
학과 졸업
1990년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 석사
1996년 8월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 박사
1997년 9월~현재 목포대학교

공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시
스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템