

# 듀얼 슈퍼 클러스터 헤드 해양 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

장영일<sup>1</sup> · 신수영<sup>1</sup> · 박현문<sup>1</sup> · 박수현<sup>1\*</sup>

## Dual Super Cluster Head Underwater Sensor Network Routing Protocol

Young-il Chang · Soo-young Shin · Hyun-Mun Park · Soo-Huyn Park

### ABSTRACT

Wireless Sensor Network (WSN) is researched in various filed. Underwater Sensor Network (UWSN) is used various purpose such as underwater environment monitoring. But, WSN is researched in the terrestrial that uses mainly radio frequency, The existing terrestrial research is incongruent to apply to underwater. Therefore, we propose UWSN architecture that considers underwater environment. In this paper, UWSN applied cluster technique and functional node constructs. Each cluster collects and sends cluster data. Dual super cluster head receives cluster data and transmits each in the base-station. We implement UWSN routing algorithm, and construct test-bed and analyze cluster data receive rate.

**Key words** : Underwater, Acoustic, Sensor Network, Routing, Cluster

### 요 약

무선 센서 네트워크는 다양한 분야에서 연구되고 있다. 그 중 해양 센서 네트워크는 해양 환경 감시와 같은 다양한 목적으로 사용 될 수 있다. 그러나 무선 센서 네트워크는 주로 지상에서 연구된다. 기존에 지상에서의 연구는 해양에 적용하기에 부적합하다. 따라서, 해양 환경을 고려한 해양 센서 네트워크 구조를 제안한다. 본 논문에서는 해양 센서 네트워크에 클러스터링 기법과 기능별 노드 구축을 적용하였다. 각 클러스터는 클러스터 데이터를 수집하여 전송한다. 이중의 슈퍼 클러스터 헤드는 각각 수신한 클러스터 데이터를 베이스 스테이션에 전송한다. 제안한 해양 음파 센서 네트워크 라우팅 알고리즘을 구현하고, 테스트 베드를 구축하여 클러스터 데이터의 수신율을 분석한다.

주요어 : 해양, 음파, 센서 네트워크, 라우팅, 클러스터

## 1. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)는 새롭게 부각되는 연구 분야로 저가의 초소형, 저 전력 장

\* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2006-C1090-0603-0044)

2006년 11월 27일 접수, 2006년 12월 8일 채택

<sup>1)</sup> 국민대학교 비즈니스IT전문대학원 비즈니스 정보통신 연구실

주 저자 : 장영일

교신저자 : 박수현

E-mail; skych@kookmin.ac.kr

치들의 발전과 무선 통신 기술의 발달을 통해서 발전하였다. 특히, 자동화된 원격 정보 수집을 통해서 군사용, 홈 네트워크, 환경 모니터링, 지능형 빌딩, 텔레메틱스, 물류 서비스 등 그 적용분야가 매우 다양하다. 또한 기술적 제약 조건과 환경적 요인에 따라 많은 연구 분야로 구분된다.<sup>[1]</sup>

무선 센서 네트워크는 센서가 부착된 센서 노드가 하나의 네트워크에 수백 또는 수천으로 구성되어 일정한 지역에 배치된 후, 센서 노드가 주위의 환경을 감지하여 정보를 가공하고, 무선 통신을 통하여 싱크 노드에게 전송하는 기술이다. 또한 높은 에러율의 채널 특성, 낮은 데이터 전송률, 제한된 에너지 및 배터리 충전 및 교체의 어려움 등의 기술적 제약 사항을 가지고 있으며 특히 전체 네

트위크의 에너지 소비를 분산 시켜 네트워크 라이프 타임(Network Lifetime)을 최대한 유지 할 수 있는 라우팅 프로토콜이 필요하다<sup>2)</sup>.

이런 무선 센서 네트워크는 해양 환경에서 환경오염 실태 분석과 생물 서식 분포 및 예측, 해저 지형 및 생태 분석, 해양 방지 등 많은 분야에서 연구가 진행 될 수 있다<sup>3)</sup>. 해양 센서 네트워크(UWSN: Underwater Sensor Network)의 특징은 무선 통신을 위해서 음파(Acoustic)를 이용한다. 수중에서는 지상에서 사용하는 RF파의 극심한 감쇠현상과 매우 짧은 전송거리로 인하여 30~300Hz 대역의 음파 무선 통신을 이용한다.<sup>4,5)</sup> 본 논문에서는 데이터 전송에 대한 수신율을 높이기 위한 해양 센서 네트워크의 아키텍처와 라우팅 기법을 제안하였다. 센서 노드들의 효율적인 관리와 에너지 소비, 에너지 소모 분산을 위해 계층적 클러스터링(Clustering) 기법과 클러스터 헤드의 그룹화를 이용하였고, 데이터 전송의 대한 수신율을 높이기 위해 이중의 슈퍼 클러스터 헤드를 이용하였다. 구성 요소의 기능에 따른 센서 노드의 설정과 특정 지역에서 정보 수집을 위하여 사전 계획을 통한 고정적인 네트워크 배치를 통해 네트워크 토폴로지 유지를 위한 추가적인 데이터 송/수신을 최소화 하였다.

제한한 무선 센서 네트워크와 라우팅 알고리즘을 구현하여 테스트 베드를 구축하여 클러스터 데이터의 수신율을 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 센서 네트워크에 대한 개요에 대해 설명하고 3장에서는 제안된 프로토콜의 대한 모델과 알고리즘에 대해 알아본다. 4장에서는 테스트 베드를 통한 실험 과정과 연구 방향으로 끝을 맺는다.

## 2. 관련 연구

최근 센서 기술, MEMS 기술, 저 전력 전자 공학 기술, SoC(System on Chip), 저 전력 RF설계 기술 등의 발전으로 인하여 저가, 소형, 저 전력의 센서 노드들이 개발되었다. 센서들은 통신 기능과 데이터 프로세싱 기능을 장착하게 되었고, 주위의 환경에서 감지한 데이터를 처리하여, RF를 통해서 싱크(Sink)나 게이트웨이(Gateway)에 데이터를 전송 할 수 있게 되었다. 많은 센서들이 특정 지역에서 특정 이벤트들을 감지하여 전송된 데이터를 처리할 수 있다.

WSN 기술은 군사적 목적이나 공공시설에서 보안, 감

시, 재앙 관리 등에 사용될 수 있다. 센서 네트워크를 구성하기 위해 센서 노드들은 에너지 공급과 대역폭에 제한을 받는다. 제약 사항들은 센서 네트워크 설계와 관리에 관한 다양한 연구를 부과하게 된다. WSN의 주요 이슈는 네트워크 프로토콜 스택 전반에 관한 에너지 인지(Energy-awareness)이다. 하드웨어 레벨에서 시스템 파워, 통신 하드웨어, 시스템 분리 등을 기반으로 하는 연구가 진행되고, 소프트웨어 레벨에서는 효율적인 경로 탐색 설정과 신뢰할 수 있는 데이터 전달을 통한 시스템의 라이프 타임의 증가를 주요 연구 분야로 나눌 수 있다. 표 1은 센서 네트워크 설계 시 고려 사항이다.

센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 종류에 따라 데이터 중심형 라우팅 프로토콜(Data-centric protocols), 계층적 라우팅 프로토콜(Hierarchical protocols), 위치 기반 라우팅 프로토콜(Location-Based protocols)로 분류 될 수 있고, 본 논문에서 사용하는 계층적 라우팅 프로토콜은 노드 간 데이터 수집의 중복과 에너지 효율성을 주요 고려사항으로 보는 라우팅 프로토콜이다. 네트워크에서 하나의 게이트웨이에 과다한 센서 노드들은 과부하와 센서의 밀도(Density)를 증가 시킨다. 과부하는 통신의 지연을 증가시킬 것이고, 이벤트 트래킹에 부적합하게 된다. 게다가 싱글 게이트웨이 구조는 넓은 지역에서의 많은 센서 노드들을 수용하기에 부적합하다. 서비스의 품질에 상관 없이 넓은 지역을 수용 할 수 있게 클러스터링 기법을 사용한다. 계층적 라우팅의 주요 목적은 특정 노드들을 클러스터를 통해서 통신에 사용되는 에너지 소비를 줄이고 싱크 노드에 전송 패킷 수를 감소시키기 위해 데이터 융합을 수행한다. 그림 1에 따라 클러스터는 하나의 클러스

표 1. 센서 네트워크 설계 시 고려사항

디자인 요소	고려 사항
Network dynamics	노드들의 이동성 지원 필요 이동 노드 간 경로 설정 필요
Node deployment	라우팅 프로토콜에 따라 달라짐 자가 구성이 필요
Energy consideration	경로설정제 따른 에너지 소비 고려 멀티-홉 라우팅은 에너지 소비에 효율
Data delivery models	주기적, 이벤트-드리븐, 쿼리-드리븐 방식으로 구분
Node capabilities	응용에 따라 노드 기능 차별화 가능
Data aggregation	노드의 위치에 따라 중복 데이터 데이터 융합을 통해 에너지 소비 효율

터 헤드와 센서 노드들로 구성되고 센서 노드들은 수집한 데이터를 클러스터 헤드에 전달하고 클러스터 헤드는 그 데이터들을 융합하여 싱크 노드에게 전달한다.

### 3. 제안된 해양 센서 네트워크 시스템

#### 3.1 해양 센서 네트워크 적용을 위한 고려 사항

해양 환경에서는 무선 통신을 위해 RF보다는 음파를 사용한다. RF는 수중에서 극단적인 전송 거리의 감소와 감쇠 현상으로 해양 환경에 적용하기 어려워 음파를 이용한 무선 통신을 한다. 음파는 수중에서 약 1500m/1sec의 속도와 30~300Hz 대역을 이용한다. 음파는 환경적 요인에 따라 전파 손실이 발생한다. 매질의 깊이, 압력, 밀도에 따라 다양한 전파 지연이 발생하고 수중에서 다양한 소음은 전파 손실을 야기한다<sup>[6]</sup>. 따라서 해양 환경의 다양한 음파 전달에 관한 단점을 보완하기 위해 네트워크 경로 유지를 위한 통신의 최소화를 위해 각 노드들은 자신이 데이터를 전송할 부모 노드들 알고 있다.

제안한 시스템의 구성은 표 2와 같이 베이스 스테이션(BS: Base Station), 슈퍼 클러스터 헤드(SCH: Super Cluster Head), 클러스터 헤드(CH: Cluster Head), 센서 노드(SN: Sensor Node)로 구성된다. 다수의 센서 노드와 한 그룹의

클러스터 헤드로 클러스터(Cluster)가 구성되고, 클러스터 헤드는 이중의 슈퍼 클러스터 헤드를 부모로 하여 데이터를 전송한다. 슈퍼 클러스터 헤드는 계층적 클러스터에서 클러스터 헤드들과 통신하여 데이터를 베이스 스테이션에 전송하는 역할을 한다<sup>[7]</sup>. 각 클러스터는 센서 노드가 감지한 데이터를 베이스 스테이션에 의해 설정된 전송 할당 시간에 슈퍼 클러스터 헤드에게 전송하고 슈퍼 클러스터 헤드는 클러스터들의 데이터를 수신하여 베이스 스테이션에게 전송한다. 해양 환경에서의 높은 데이터 손실률로 인하여 네트워크 유지를 위한 시그널을 최소화시켜 각 클러스터에게 전송 할당 시간 통보하여 그 시간에만 통신을 허용하고, 그 이외의 시간에는 통신 모듈을 Sleep<sup>[8]</sup>하여 에너지 소비 효율성을 높이는 스케줄링을 수행한다.

네트워크의 구성은 사전에 구성요소들의 위치를 계획하여 고정적으로 배치한다<sup>[9]</sup>. 각 구성요소들은 주위 환경의 정보를 수집하기 때문에 계획된 장소에 고정적으로 배치된다. 시스템 구성 요소는 각각 기능별 노드로 구성되어, 각기 다른 음파 송/수신 안테나를 장비하고, 노드별 안테나는 송/수신 범위는 사전 배치에 따라 정해진다.

제안된 네트워크 구조는 그림 2, 3과 같이 슈퍼 클러스터 헤드는 이중(Dual)으로 배치되고, 각 클러스터 헤드는 시스템에서 수집하는 정보의 허용범위를 가지고, 클러

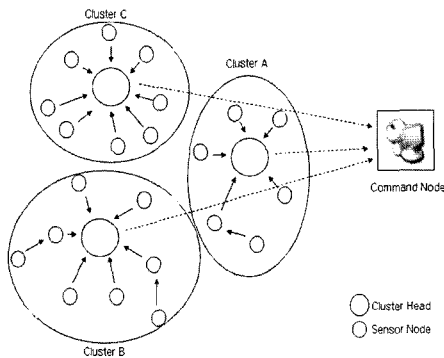


그림 1. 클러스터링 기반 센서 네트워크

표 2. 제안한 해양 센서 네트워크 시스템 기능별 노드

구분	기능	비고
베이스 스테이션	네트워크 초기화 네트워크 관리	
슈퍼 클러스터 헤드	데이터 릴레이 데이터 보정	이중 배치
클러스터 헤드	클러스터 초기화 데이터 병합	그룹화
센서 노드	환경 정보 수집 데이터 전송	

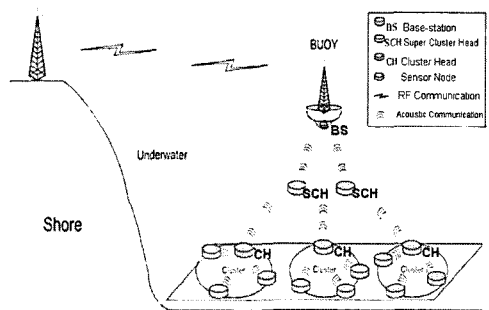


그림 2. 제안된 해양 센서 네트워크 시스템 구성도

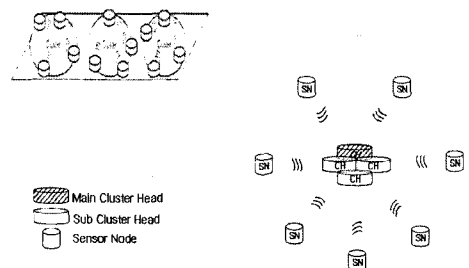


그림 3. 클러스터 구성도

스터에서 전송되는 클러스터 데이터를 수신하여 오차내의 데이터는 베이스 스테이션에 전송하고, 그렇지 않을 경우 데이터를 폐기한다. 베이스 스테이션은 듀얼 슈퍼 클러스터 헤드로부터 클러스터 데이터를 수신하여 베이스 스테이션이 클러스터 데이터를 수신율을 높여 데이터 전송의 신뢰성을 높인다.

클러스터 헤드는 클러스터 초기화, 슈퍼 클러스터 헤드와 센서 노드들 간의 데이터 송/수신 등 시스템 내에서 가장 많은 작업을 처리한다. 제안하는 시스템에서는 기능별 노드로 인하여 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 라우팅 프로토콜처럼 하나의 노드가 센서 노드와 클러스터 헤드를 병행 할 수 없고, 일정 기간마다 새로운 클러스터 헤드를 선출하기 위한 추가적인 데이터 통신으로 인한 에너지 소모를 막기 위해 클러스터 헤드를 다수 배치한다. 또한 클러스터 헤드의 그룹화는 클러스터 헤드가 전력의 완전 소비, 유실, 고장 등이 발생할 경우 다른 클러스터 헤드를 선출하여 클러스터의 기능 정지를 방지한다.

### 3.2 DSCH 라우팅 알고리즘

DSCH(Dual Super Cluster Head) 해양 센서 네트워크는 사전 계획된 네트워크 토폴로지에 따라 노드들을 배치한다. DSCH 라우팅 알고리즘은 라운드(Round)로 구분된다. Round 0은 네트워크 초기화를 수행하기 위해 요청-응답(Request and Response) 기법을 사용하고, Round n에서는 센서 노드가 데이터 수집을 수행하기 위해 이벤트 유도(Event-driven) 기법을 사용한다.

베이스 스테이션은 초기화 과정을 통해 각 클러스터의 데이터 전송 할당 시간을 설정하여 슈퍼 클러스터 헤드를 통해서 각 클러스터의 클러스터 헤드에게 전달하고 클러스터 헤드는 클러스터를 초기화한다. 이후 각 클러스터 내의 센서 노드들은 주기적으로 주위 환경에 대한 정보를 수집하고 클러스터 할당 시간이 되면 클러스터 헤드에 데이터를 전달한다. 클러스터 헤드는 각 센서 노드로부터 수신한 데이터를 융합하여 이중의 슈퍼 클러스터 헤드에게 전달하고 슈퍼 클러스터 헤드는 베이스 스테이션에 그 데이터를 전송한다. 그림 4와 같이 각 라운드는 각 클러스터별 활동 시간과 센서 노드들의 정보 수집 시간으로 구성되고, 네트워크 초기화와 데이터 전송에 관한 시간 흐름은 동일하게 진행된다.

클러스터 헤드 선출 과정은 Round n(데이터 전송 과정)이 진행되는 도중 각 클러스터의 클러스터 헤드 중에 에너지 보유량이 일정 수준 이하로 떨어지면 클러스터 헤

드는 자신의 데이터 전송 할당 시간에 데이터와 함께 클러스터 헤드 교체 신호를 전송하고 베이스 스테이션은 다음 라운드 때 해당 클러스터 데이터 전송 할당 기간에 클러스터 헤드 교체 신호를 슈퍼 클러스터 헤드를 통해서 클러스터로 전송한다. 클러스터 헤드 교체 신호를 수신한 후보클러스터 헤드들은 자신이 메인클러스터 헤드가 되는지 여부를 판단하여 다음 라운드부터 메인클러스터 헤드로 활동한다.

#### 3.2.1 네트워크 초기화 과정

그림 5, 6로 진행되고 그림 5, 6의 각 과정은 서로 대응한다. 베이스 스테이션에서 클러스터 초기화 요청 메시지를 생성하여 해당 클러스터의 초기화를 요청한다. 초기화 요청 메시지는 해당 클러스터의 ID, 활동 기간(Active duration)등을 포함한다. 슈퍼 클러스터 헤드는 초기화 요청 메시지를 수신하여 클러스터 헤드에게 전달한다.

클러스터 헤드는 수신한 클러스터 초기화 요청 메시지와 자신의 ID를 비교하여 클러스터 초기화를 진행한다. 클러스터 헤드는 수신한 초기화 요청 메시지가 해당 클러

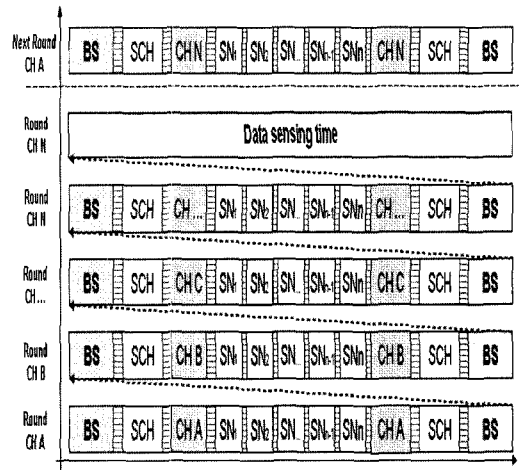


그림 4. 제안 시스템 시간 흐름도

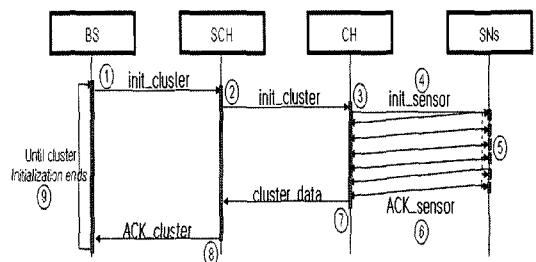


그림 5. 네트워크 초기화 과정 시퀀스 다이어그램

스터의 초기화 요청 메시지임이 확인되면 클러스터 내부의 센서 노드들을 초기화를 수행하기 위하여 센서 노드들의 초기화를 요청한다. 센서 노드 초기화 요청 메시지는 센서 노드들의 주변 환경 정보 수집 기간과 각 센서 노드의 수집된 정보를 전송하는 기간을 포함한다. 클러스터 헤드의 초기화 요청을 수신한 센서 노드들은 정보 수집 기간과 자신의 데이터 전송 시간을 설정하여 초기화를 완료한다. 초기화가 완료된 각 센서 노드는 초기화 응답 메시지를 전송한다. 센서 노드로부터 응답 메시지를 수신한 클러스터 헤드는 클러스터 초기화 응답 메시지를 전송한다. 슈퍼 클러스터 헤드는 응답 메시지를 수신하여 베이스 스테이션에게 전달한다. 베이스 스테이션은 해당 클러스터의 활동 기간의 종료와 함께 그 다음 클러스터의 초기화를 클러스터 헤드에 요청하고, 클러스터 헤드는 위의 과정을 반복하여 초기화 응답 메시지를 전송한다. 해당 클러스터의 초기화 완료 응답 메시지를 수신하지 못하

면 베이스 스테이션은 다음 라운드에서 해당 클러스터의 초기화 메시지를 다시 전송하여 응답 메시지를 수신한다. 데이터 전송 과정은 그림 7, 8로 진행되고 그림 7, 8의 각 과정은 서로 대응한다.

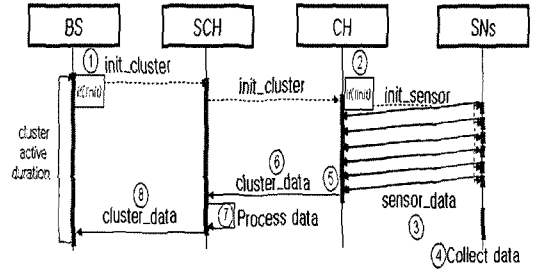


그림 7. 데이터 전송과정 시퀀스 다이어그램

```

1. create init_cluster;
   sendToSCH(init_cluster); // in BS

2. recieveFromBS(init_cluster);
   sendToCH(init_cluster); // in SCH

3. receiveFromSCH(iinit_cluster);
   if(self_id == init_cluster.target_id)
       cluster initialize;
   else
       discard(init_cluster); //in CH

4. create init_sensor;
   SendToBroadcast(init_sensor); // in CH

5. reciveFromCH(init_sensor);
   setup_scheduling(self_id, init_cluster); // in SN

6. create ACK_sensor;
   sendToCH(ACK_sensor); // in SN

7. while(buffer is not full)
   receiveFromSN(ACK_sensor);
   collect_sensor_data();
   create ACK_cluster;
   sendToSCH(ACK_CLUSTER); // in CH

8. receiveFromCH(ACK_CLUSTER);
   sendToBS(ACK_CLUSTER); // in SCH

9. receiveFromSCH(ACK_CLUSTER);
   wait for current cluster duration time-out
   if(current cluster last)
       return next round;
   else
       goto step 1; // in BS
    
```

그림 6. 네트워크 초기화 과정

```

1. if(current_cluster is not initialize)
   create init_cluster;
   sendToSCH(init_cluster); // in BS
   else
       wait for cluster_data;

2. if(receiveFromBS(init_cluster))
   sendToCH(init_cluster);
   else
       wait for cluster_data; // in SCH

3. if(receiveFromSCH(init_cluster))
   if(Sensor is not initialize)
       create init_sensor;
       send(init_sensor, target_id);
   else
       wait for sensor_data; // in CH
   if(receiveFromCH(init_sensor))
       create sensor_data(ACK_sensor);
   else
       create sensor_data;
       wait for transmission period;
       sendToCH(sensor_data); // in SN

4. after sendToCH(sensor_data);
   perform periodically sensing data; // in SN

5. while(buffer is not full)
   receiveFromSN(sensor_data);
   collect_sensor_data();

6. create cluster_data(buffer);
   sendToSCH(cluster_data); // in CH

7. receiveFromCH(cluster_data);
   check(cluster_data);
   random(sendToBS(cluster_data));

8. receiveFromSCH(cluster_data);
   wait for current cluster duration time-out
   if(current cluster last)
       return next round;
   else
       goto step 1; // in BS
    
```

그림 8. 데이터 전송과정 수도 코드

베이스 스테이션에서 해당 클러스터가 초기화 완료가 되어 있는지를 파악하여 초기화가 되어있으면 클러스터로부터 데이터 전송을 기다리고, 그렇지 않으면 클러스터 초기화 요청 메시지를 생성하여 슈퍼 클러스터 헤드를 통해서 클러스터 헤드에 전송한다. 클러스터 헤드는 데이터 전송 시간이 되면 휴면상태에서 깨어나 클러스터 내부의 센서 노드들 중 초기화가 되지 않은 센서 노드에게 초기화 요청 메시지를 전송한다. 센서 노드는 초기화 요청에 대한 응답을 데이터 메시지와 함께 전송해준다. 각 센서 노드들은 클러스터의 할당 시간이 되면 휴면 상태에서 깨어나 데이터 전송 준비를 하고 각 해당 전송 주기에 클러스터 헤드에게 데이터를 전송한다. 각 센서 노드들은 데이터 전송 후 주기적으로 데이터를 감지하여 저장 한 후 다음 라운드의 전송 주기에 데이터를 전송한다. 클러스터 헤드는 노드들로부터의 데이터를 수신 받아 데이터 융합을 수행한다. 클러스터 데이터 메시지는 이중의 슈퍼 클러스터 헤드에게 전송한다. 이중의 슈퍼 클러스터 헤드는 각각 클러스터 헤드로부터 클러스터 데이터를 수신하고, 측정하는 정보의 기준치를 통해서 현재 라운드에 수신한 데이터와 상호 비교하여 데이터에 오류가 있을 경우 클러스터 데이터의 오차를 보정하여 베이스 스테이션에게 전달한다.

각 슈퍼 클러스터 헤드로부터 보정된 데이터를 수신한 베이스 스테이션은 두 개의 데이터를 상호 비교하여 두 데이터 모두 허용범위 내의 값일 경우 기준치에 가까운 데이터를 지상으로 전송하고 허용 오차를 넘어선 데이터에 대해서는 폐기한다.

### 3.2.3 클러스터 헤드 선정 과정

클러스터 헤드 선정 과정은 그림 9, 10로 진행되고 그림 9, 10의 각 과정은 서로 대응한다. 제한한 시스템에서는 클러스터 헤드를 그룹으로 선정하여 클러스터에 기본 클러스터 헤드와 후보 클러스터 헤드를 배치한다.

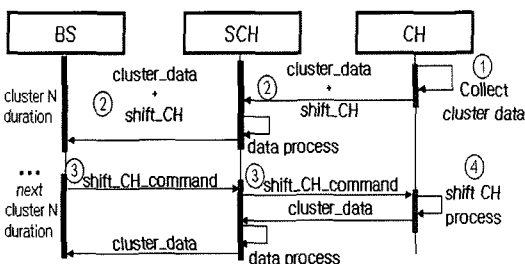


그림 9. 클러스터 헤드선정 과정 시퀀스 다이어그램

클러스터 헤드 그룹은 네트워크 초기화 과정에서 베이스 스테이션이 전송한 해당 클러스터의 초기화 요청 메시지를 수신하여 기본클러스터 헤드와 후보클러스터 헤드들의 클러스터 초기화 과정을 동일하게 수행한다. 여기서 센서 노드의 초기화 요청 메시지는 기본클러스터 헤드만 요청한다. 후보클러스터 헤드들은 각 라운드 때 해당 클러스터의 데이터 전송 할당 시간이 되면 휴면상태에서 깨어나 베이스 스테이션의 명령을 기다린다. 베이스 스테이션으로부터 명령이 없을 경우 다시 휴면상태로 전환한다. 기본클러스터 헤드는 할당 시간동안 휴면상태에서 깨어나 데이터 전송 과정을 수행한다. 기본클러스터 헤드는 자신의 에너지 보유량이 일정 수준 이하로 떨어지면 클러스터 데이터에 클러스터 헤드교체 신호를 추가하여 베이스 스테이션에게 전달한다. 다음 라운드에서 베이스 스테이션은 해당 클러스터의 데이터 전송 기간에 클러스터 헤드교체 메시지를 전송한다. 후보클러스터 헤드들 중에 새로운 클러스터 헤드를 선정한다. 후보클러스터 헤드는 순

```

1. if(energy level is empty)
    create cluster_data(Shift_CH);
else
    create cluster_data;
    sendToSCH(cluster_data); // in MainCH
2. receiveFromCH(cluster_data);
   check(cluster_data);
   random_time(sendToBS(cluster_data)); // inSCH
3. receiveFromSCH(cluster_data);
   .....
   next round same cluster duration
   if(Shift_CH requested CH before round)
       create Shift_CH;
       sendToSCH(Shift_CH);
   else
       wait for cluster_data; // in BS
4. //At MainCH
   receiveFromBS(Shift_CH);
   sendToCH(Shift_CH); // in SCH
   receiveFromSCH(Shift_CH);
   sensor data collect;
   sendToSCH(cluster_data);
   All function close; // in MainCH
// At SubCH
   receiveFromBS(Shift_CH);
   if(self_id == Shift_CH.id)
       exchang MainCH;
   else
       nothing to do;
   // perform by next round mainCH
    
```

그림 10. 클러스터 헤드 선정과정 수도 코드

차적인 ID를 할당하여 ID에 따라 순차적으로 기본클러스터 헤드로 선정된다.

### 4. 성능 평가

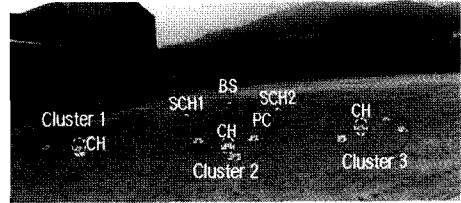
#### 4.1 DSCH 센서 네트워크 테스트 베드

DSCH 센서 네트워크 테스트베드는 2.4GHz 대역의 RF를 이용하는 센서 노드 TIP50CM, TinyOS<sup>[10]</sup>을 이용하여 구현하였다. 각 구성 요소는 NesC<sup>[11]</sup>로 구현하였다. 해양 환경에 적용하기 위하여 음파 통신 컴포넌트를 사용하는 것이 정확한 결과를 측정 할 수 있지만, 음파 통신 관련 장비의 가격이 고가이고, 부피가 매우 크고, 많은 센서 노드들을 구비할 수 없기 때문에 RF 기반의 센서 노드를 이용하고, 수중에서 TIP50CM 센서 노드의 최대 통신 가능 거리인 50cm를 노드간의 거리로 설정하여 실험을 실시한다. 클러스터에서 생성된 데이터를 슈퍼 클러스터 헤드가 듀얼모드(Dual Mode)와 싱글 모드(Single Mode) 일 때 베이스 스테이션이 클러스터 데이터를 수신 성공률을 분석해 본다. 실험 환경은 표 3과 같이 3회에 걸쳐서 그림 12는 지상(terrestrial)과 수중에서 실시하였고, 이중 슈퍼 클러스터 헤드는 수중에서 싱글 모드로 실시하였다. 실험 A는 하나의 베이스 스테이션과 듀얼 모드의 2개의 슈퍼 클러스터 헤드와 3개의 클러스터를 배치하여 실험하였다. 실험 B와 C는 하나의 베이스 스테이션과 각각 2개와 1개의 슈퍼 클러스터 헤드를 이용하였고 2개의 클러스터를 이용하여 실험하였다. 실험은 총 100라운드로 진행되고, TinyOS에서 제공하는 B-MAC을 이용하였고, 해양 환경을 적용하기 위하여 1500m당 1초의 전파 지연을 테스트 베드에 적용하였다.

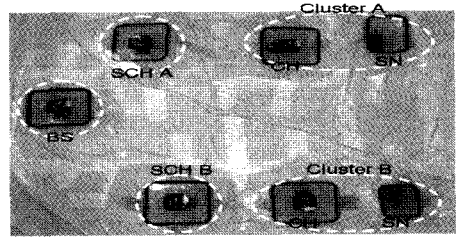
표 3. 테스트 베드 실험 환경

구 분	실 험 A	실 험 B	실 험 C
환경	실외(on-air)	수중	수중
SCH 모드	Dual	Dual	Single
실험 면적(m)	20 X 20	2 X 2	2 X 2
클러스터 수(개)	3개	2개	2개
노드 수(개)	15개	7개	6개
라운드 시간(분)	2분	2분	2분
라운드 횟수	100	100	100
MAC	B-MAC (CSMA 기반)		
Data Rate	250Kbps		
해양 환경 적용	1500M/1sec (send after delay)		

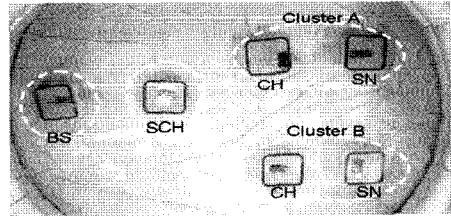
모든 실험은 베이스 스테이션을 통해 네트워크 초기화 과정을 수행하고, 각 클러스터 내부에서 수집된 정보를 각 클러스터의 해당 전송 기간에 듀얼 모드 또는 싱글 모



(a) 실험 A



(b) 실험 B



(c) 실험 C

그림 11. 실험 환경

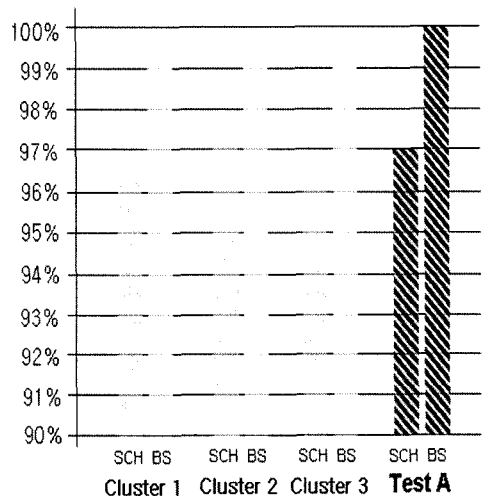


그림 12. 실험 A 클러스터 데이터 수신율

드의 슈퍼 클러스터 헤드를 통해 데이터를 전송한다.

#### 4.2 실험 결과

실험별로 각 클러스터에서 클러스터 데이터를 송신하여 슈퍼 클러스터 헤드가 싱글 모드와 듀얼 모드일 때 베이스 스테이션에서 클러스터 데이터의 수신에 관한 성공률에 대해서 알아본다.

그림 12는 실험 A의 결과를 나타내고 있다. 실험 A 듀얼 모드의 슈퍼 클러스터 헤드를 이용하여 베이스 스테이션에 클러스터 데이터를 전송한다. 듀얼 모드의 슈퍼 클러스터 헤드의 데이터 수신율이 각 클러스터에서 96.5%, 98%, 96.5% 나왔다. 반면에 베이스 스테이션의 데이터 수신율은 같은 라운드에서 듀얼 슈퍼 클러스터 헤드들이 전송한 클러스터 데이터 수신 실패가 발생하지 않아서 각 클러스터 헤드에서 전송한 클러스터 데이터의 수신율이 100%로 나왔다. 그림 13은 실험 B의 결과를 나타내고 있다. 실험 A 듀얼 모드의 슈퍼 클러스터 헤드를 이용하여 베이스 스테이션에 클러스터 데이터를 전송한다. 듀얼 모드의 슈퍼 클러스터 헤드의 클러스터 데이터 수신율이 각 슈퍼 클러스터헤드에서 94.5%, 96% 나왔다. 클러스터 1에서는 같은 라운드에서 듀얼 슈퍼 클러스터 헤드로부터 송신된 클러스터 데이터를 베이스 스테이션에서 3번의 수신 실패가 발생하여 97%의 수신율이 나왔고, 클러스터 2에서는 베이스 스테이션에서 1번의 수신 실패가 99%의 수신율을 볼 수 있다. 실험 B에서는 전체 98%의 클러스터 데이터 수신율을 분석 하였다.

그림 14는 실험 C의 결과를 나타내고 있다. 실험 C에서는 싱글 모드의 슈퍼 클러스터 헤드의 데이터 수신율이 각 클러스터에서 93%, 92% 나왔다. 슈퍼 클러스터 헤드

가 하나이기 때문에 베이스 스테이션은 슈퍼 클러스터 헤드와 동일한 데이터 수신율을 가진다. 클러스터 1에서는 싱글 슈퍼 클러스터 헤드가 전송에 대한 베이스 스테이션에서 수신 실패가 7번 발생하여 93%의 수신율이 나왔고, 클러스터 2에서는 베이스 스테이션에서 수신 실패가 8번 발생하여 92%의 수신율을 볼 수 있다. 실험 C에서는 전체 92.5%의 클러스터 데이터 수신율을 분석하였다.

그림 15는 실험 A, B, C의 결과를 나타내고 있다. 슈퍼 클러스터를 듀얼 모드로 실험한 경우 싱글 모드보다 슈퍼 클러스터 헤드에서 클러스터 데이터의 손실 횟수가 더 많았지만, 베이스 스테이션에서는 클러스터 데이터의 수신 실패가 듀얼 모드일 경우에 수신율이 약 5.5%정도 더 높아 베이스 스테이션에서 클러스터 데이터 수신율을 높이기 위해서는 슈퍼 클러스터 헤드의 듀얼 모드를 이용하는 것이 더 효과적인 것을 알 수 있다.

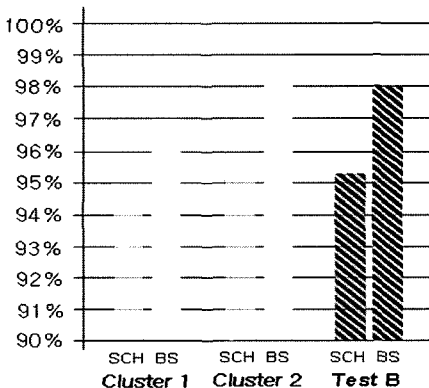


그림 13. 실험 B 클러스터 데이터 수신율

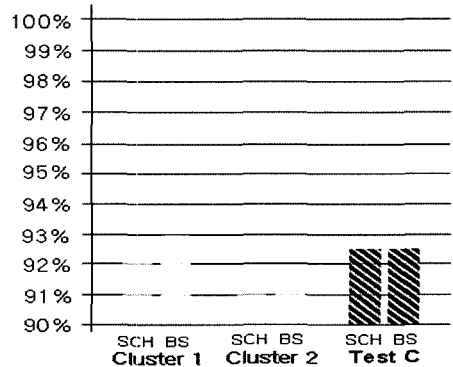


그림 14. 실험 C 클러스터 데이터 수신율

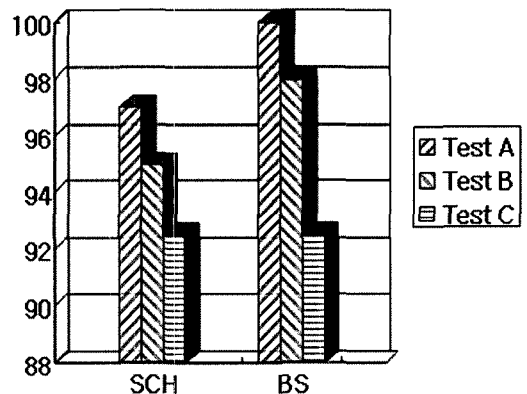


그림 15. 구성 요소별 클러스터 데이터 수신율



## 5. 결 론

본 논문에서는 해양 환경에 적용 할 수 있는 센서 네트워크 라우팅 프로토콜과 아키텍처를 제안하기 위해서 계층적 클러스터링 기법과 다수의 클러스터에서 수집한 정보들을 전송하기 위해서 이중의 슈퍼 클러스터 헤드를 이용하여 베이스 스테이션에서 클러스터 데이터 효과적인 전송을 확보하고자 한다. 또한 각 클러스터 별로 전송 가능 시간을 설정하여, 해양 환경에서의 네트워크 유지를 위한 추가적인 시그널의 최소화를 통해 에너지 소비의 효율적인 관리를 제안하였다.

제안한 알고리즘을 직접 센서 노드에 구현하여 테스트 베드를 구축하여 지상과 수중에서 실험을 통해 슈퍼 클러스터 헤드의 싱글 모드와 듀얼 모드에서 베이스 스테이션이 클러스터 데이터 수신율을 분석하였다. 베이스 스테이션에서 클러스터 데이터를 수신하기 위해 슈퍼 클러스터 헤드의 듀얼 모드를 이용하는 것이 싱글모드를 사용하는 것보다 클러스터 데이터 수신율이 증가하여 더욱 효율적인 것을 알 수 있다.

앞으로의 과제는 현재 개발 중인 음파 모뎀에 제안한 알고리즘의 적용과 현재 테스트 베드에서 해양(바다) 환경에서 실험을 통해 제안한 센서 네트워크 라우팅 프로토콜의 성능을 분석해 보고, 클러스터 헤드 그룹화에 따른 에너지 소비의 효율성에 대한 연구와 슈퍼 클러스터 헤드의 추가를 통한 네트워크 확장성에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Ian F. Akyildiz, 'A Survey on Sensor Networks', IEEE Communication Magazine, vol.40, Issue 8, pp. 102-114, 2002.
2. K. Akkaya and M. Younis, 'A survey on routing protocols for wireless sensor networks', Ad Hoc Networks, vol. 3, no. 3, pp. 325-349, 2005.
3. Ian F. Akyildiz, Dario Pompili and Tommaso Melodia, 'Underwater acoustic sensor network: research challenges', Ad Hoc Networks, vol. 3, no. 3, pp. 257-279, 2005.
4. Sozer, E.M, Stojanovic and M. Proakis, J.G, 'Underwater Acoustic Networks', Oceanic Engineering, IEEE Journal of Volume 25, Issue 1, pp. 72-78, 2000.
5. J.G. Proakis, E.M. Sozer and M. Stojanovic, 'Shallow Water Acoustic Networks', IEEE Communications Magazine vol. 39, pp. 102-114, 2001.
6. Paul. C. Etter, 'Underwater Acoustic Modeling and Simulation', Third edition, 2003.
7. A. Wang, W. Heinzelman, and A. Chandrakasan, 'Energy-scalable protocols for battery-operated microsensor networks', Proc. 1999.
8. Galiotos. P., 'Sleep/Active schedules as a tunable characteristic of a Wireless Sensor Network', Networking and Services ICNS '06. International conference, pp. 51-51, 2006.
9. Iranli, A., Maleki, M., Pedram, M., 'Energy efficient strategies for deployment of a two-level wireless sensor network', Low Power Electronics and Design, ISLPED '05. Proceedings of the 2005 International Symposium, pp. 233-238, 2005.
10. [www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/tutorial/](http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/tutorial/)
11. The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems, David Gay, Phil Levis, Rob von Behren, Matt Welsh, Eric Brewer, and David Culler. In Proceedings of Programming Language Design and Implementation (PLDI) 2003, 2003.



**장 영 일** (skych@kookmin.ac.kr)

2004년 한국외국어대학교 컴퓨터공학사  
2005년~현재 국민대학교 비즈니스IT대학원 비즈니스정보통신 석사과정

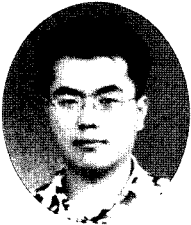
관심분야 : USN, Ad-hoc 네트워크



**신 수 영** (sy-shin@kookmin.ac.kr)

1998년 방송통신대학교 교육학사  
2000년 덕성여자대학교 정보통신대학원 정보통신 전공 이학석사  
2004년~현재 국민대학교 비즈니스IT대학원 비즈니스정보통신 박사과정  
2003년~현재 덕성여자대학교 강사  
2004년~현재 국민대학교 강사

관심분야 : USN, 이동통신 시스템, MAC scheduling



**박 현 문** (kimagu@naver.com)

2004년 한세대학교 정보통신학부 공학학사  
2006년 국민대학교 전자공학과 정보통신학석사  
2006년~현재 국민대학교 비즈니스IT대학원 비즈니스정보통신 박사과정

관심분야 : 위치인지, 센서 네트워크, 이동통신 시스템



**박 수 현** (shpark21@kookmin.ac.kr)

1988년 고려대학교 컴퓨터학과 이학사  
1990년 고려대학교 대학원 전산학 이학석사  
1998년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 이학박사  
1990년 (주)LG전자 중앙연구소 선임연구원  
1999년~2001년 동의대학교 공과대학 소프트웨어공학과 교수  
2002년~현재 국민대학교 비즈니스IT학부 교수

관심분야 : USN, UW-ASN