

해양 센서네트워크에서 Scheduled Interest Table(SIT) 기반 다중경로 설정 기법

윤남열¹ · 남궁정일¹ · 박수현^{1†}

Scheduled Interest Table(SIT) based Multiple Path Configuration Technique in Ocean Sensor Network

Nam-Yeol Yun · Jung-Il Namgung · Soo-Hyun Park

ABSTRACT

The distance of sensor nodes is an important factor in having influence on capability of networks in underwater acoustic sensor networks. Our proposed scheme is to establish an efficient distance to design a route of communication in underwater environment and it proposes a Level scheme that the areas divided by transmit/receive distance in network are given different levels. Our proposed scheme is pursued research to maintain a established route and maximize an energy efficiency. The established route will have fluid modification by an internal and external factors and it will construct more robust underwater sensor networks over our proposed multiple path configuration scheme.

Key words : Ocean sensor network, Scheduled interest table(SIT), Multi-path configuration scheme

요약

해양센서네트워크에서 센서 노드간의 거리는 네트워크의 성능을 좌우하는 매우 중요한 요소 중 하나이다. 본 논문은 해양환경에 적합한 통신 경로를 설계하기 위하여 효율적인 거리를 설정하고 레벨(Level)을 나누는 기법을 제안한다. 제안한 기법으로 설정된 경로를 유지하고 에너지 효율을 극대화 하여 전체 네트워크의 수명을 연장하는 방안을 연구하는 것에 목적을 두었다. 설정된 경로는 내·외부적인 요소들에 의해 유동적으로 변경될 수 있으며 제안된 경로 강화 기법을 통해 더욱 견고한 해양센서네트워크를 구축한다.

주요어 : 해양센서네트워크, 다중경로, 효율적인 에너지 관리, 경로 탐색, Scheduled Interest Table(SIT)

1. 서론

해양센서네트워크에 관련된 연구가 활발히 진행되면서 관련 기술과 시스템이 많이 소개되고 있다. 아직 미개척 분야인 해양이 자원의 보고로 주목받으면서 해양 환경 모

니터링, 자원 탐사, 오염 감시, 재난 방지, 해양 생물 서식지 분포 조사 등 다양한 분야에 활용하기 위해 해양센서네트워크 기술연구가 진행되고 있다¹⁾.

하지만 해양센서네트워크는 낮은 대역폭, 높은 전송 지연율, 높은 에러 가능성과 같은 해양환경 특수성 및 센서 노드 배치의 어려움, 제한된 에너지와 같은 일반적인 센서네트워크의 속성 등 해결해야 할 과제들이 아직도 많다.

수중의 해양센서들은 특수한 해양 환경의 제약으로 인해 지상과는 달리 RF(Radio Frequency) 통신이 아닌 음파 통신을 주로 사용한다²⁾. 이러한 음파 센서네트워크 노드들은 에너지가 한정적이며 수중 환경의 특성상 지상보다 더욱 힘든 설치 조건을 가지고 있다. 따라서 해양센서네트워크는 초기에 어떻게 배치할지에 대한 계획을 수립 후 노드(Node) 구성을 하는 것이 바람직하다.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2009-C1090-0902-0044).

* 본 논문은 2009년도 국민대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구입니다.

2009년 10월 12일 접수, 2009년 12월 9일 채택

¹⁾ 국민대학교 BIT전문대학원 유비쿼터스 시스템 연구실

주 저자 : 윤남열

교신저자 : 박수현

E-mail; anuice@kookmin.ac.kr

해양 음파 채널은 긴 지연시간을 가지는데 경로 손실, 잡음, 다중 경로와 같은 요소에 의해 물리적으로 높은 비트-에러(Bit-error)를 야기한다³⁾. 그리고 음파 센서네트워크 송수신 노드들의 전송간격이 클수록 전송지연 및 데이터 전송에 소모되는 에너지의 양이 증가한다⁴⁾. 적합한 경로가 설정되었다 하더라도 특정 노드로 데이터전송 실패현상이 발생할 경우 야기되는 비효율적인 에너지 소모 및 경로 손실을 방지하기 위해 다중경로를 탐색할 수 있어야 한다⁵⁾.

따라서 초기 배치가 완료된 센서 노드들은 항상 정보를 주고받으면서 네트워크의 경로를 효과적으로 유지하고 있어야 한다. 최적의 경로는 지연시간을 최대한 줄이는 최소 홉(Minimum-hop)으로 유지하되 에너지의 양을 비교 분석하여 전체 네트워크의 수명을 최대한 보장할 수 있는 방법이어야 한다. 수중 해양환경에서의 센서 노드는 설치 이후 교체가 힘들뿐만 아니라 최장의 수명을 보장받아 지속적으로 시스템 관리자에게 정보를 제공해 주어야 하므로 에너지의 효율적인 관리가 매우 중요하다.

따라서 각 센서 노드간의 송수신 거리와 신호 주파수간의 상관관계를 분석하여 적절한 전송거리에 따른 배치를 통해 비효율적인 에너지 소모를 방지하고 경로를 최적화함으로써 해양센서 네트워크에 적합하며 적용 가능한 방안을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이론적 배경과 관련 연구의 분석을 위해 해양환경의 특성과 라우팅(Routing)과 관련된 대표적인 연구들을 알아본다. 3장에서는 효율적인 전송 거리를 고려한 센서 노드의 배치를 설정하고 제안한 기법으로 경로를 설정한 후 에너지양을 비교 분석하여 다중 경로를 설정한다. 이 후 4장에서는 설정된 경로를 유지하여 전체 네트워크의 수명을 최대한 연장하는 방안에 대해 기술한다. 5장에서는 성능분석을 위해 시뮬레이션 모델을 정의하고 환경을 설정하여 비교 분석 작업을 한다. 결론에서는 본 논문에 대한 요약과 향후 연구 방향을 제시하며 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

해양환경의 특징적 요소들은 높은 에러율과 전파 지연을 야기하기 때문에 해양센서네트워크의 통신환경 특성을 고려해야 할 필요가 있다³⁾.

이런 수중 음파 통신의 특징으로 인해 수중에서는 장거리로 데이터를 전송하기 위해서 계층적인 구조(hierarchical architecture)를 필요로 하게 된다. 데이터 전송에

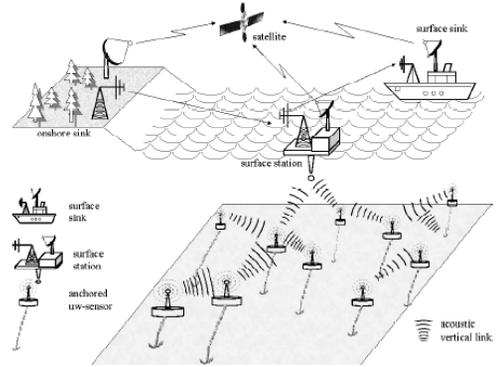


그림 1. 해양센서네트워크 전체 구성도

너지를 절약하여 네트워크 수명을 향상시키는 효과적인 방법 중 하나는 클러스터 헤더(Cluster head)를 중심으로 네트워크를 구분하는 클러스터 기반 네트워크이다. 클러스터 기반 네트워크에서 모든 센서노드들은 반드시 하나의 클러스터에 속하며 클러스터 헤더를 통해 베이스 스테이션(Base station)으로 데이터를 전송할 수 있다⁶⁾. 아래 그림 1은 기본적인 해양센서 네트워크의 전체 구성도를 표현하였다⁷⁾.

그림 1의 기본적인 구조인 클러스터에는 1개의 클러스터 헤더가 있으며 클러스터 헤더를 제외한 나머지 노드들이 멤버 노드(member node)가 된다. 해양센서네트워크 시스템은 센서 노드, 클러스터 헤더, 베이스 스테이션으로 구성되며, 클러스터 헤더는 클러스터내의 다른 노드들과 동일하다고 가정하며, 노드들 간의 통신은 음파 통신을 사용한다. 그러나 지상에서의 센서네트워크와는 달리 해양센서네트워크에서는 베이스 스테이션이 부이(buoy) 형태로 수면에 위치하게 된다. 센서 노드들은 네트워크의 하부 구조를 형성하게 되며 모니터링 하고자 하는 지역에 위치하게 된다.

Directed-Diffusion(DD)^{5,8)}은 대표적인 데이터 중심의 라우팅 프로토콜로서 그림 2와 같이 쿼리(Query)를 전체 네트워크에 플러딩(Flooding)을 하며 수신한 정보는 센서 노드의 캐쉬(Cache)에 저장하는 방식이다.

그림 2의 (A)에서 센서네트워크는 플러딩 방식을 통해 쿼리를 전달하며 (B)에서 이웃 노드간의 다중 경로를 형성하여 (C)와 같이 데이터 전송 시 다중 경로를 통해 데이터가 전송되게 되며 더 이상의 플러딩을 막기 위해 몇 개의 품질 좋은 경로로 강화(Reinforcement) 된다.

DD의 이러한 정보 검색 방법은 요청 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터를 요구하는 지속성 질의

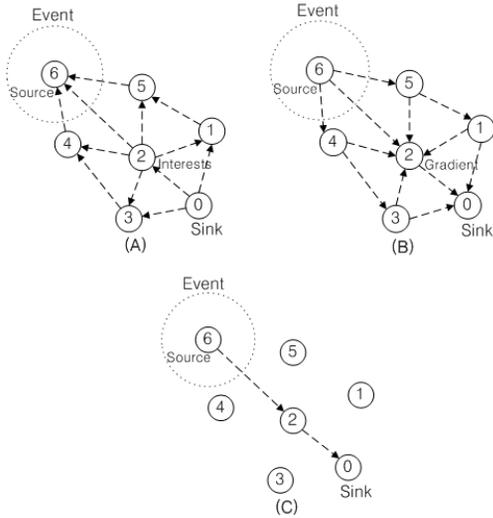


그림 2. Directed-Diffusion의 기본 동작

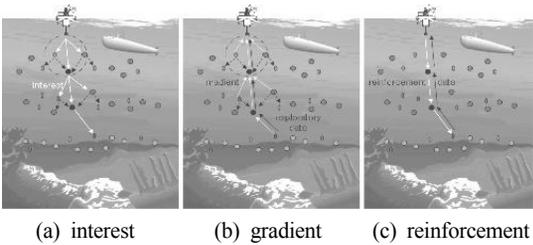


그림 3. UDD 모형도

(Persistent Query)에 적합하다. 그러나 경로를 단지 한번만 사용하는 형태의 질의에는 적합하지 않은 특성을 가진다. 또한, 이 프로토콜에서는 전송 경로의 중간 노드에서 데이터가 모아짐으로 인접 노드들이 유사한 데이터를 가지는 센서 네트워크의 특성을 완전하게 이용하지 못한다.

DD방식에서는 강화된 경로가 트래픽 쏠림 현상을 막지 못해 전체 네트워크 수명을 단축시키는 단점도 내포한다.

Underwater Directed Diffusion(UDD)^[9]기법의 기본적인 구성 환경은 지상의 무선센서네트워크와 유사한 환경으로 구성되나 해양환경의 특성상 전체 네트워크의 구성은 수심에 따라 상위 계층(Top layer), 중앙 계층(Middle layer), 하위 계층(Bottom layer)으로 나누게 되며 네트워크 구성 시 랜덤(Random)하게 배치하게 된다. 각 계층별로 나누었기 때문에 플러딩에 의한 노드간의 간섭현상을 방지하고 효율적인 데이터 전송이 가능하다. 계층의 구성은 애플리케이션(Application) 및 해당영역의 수심에 따라 좀 더 많은 부계층(Sub-Layer)이 추가될 수 있다. 각

계층의 주요기능은 다음과 같다.

- 상위계층(Top Layer) - 싱크 노드(Sink Node)와 직접 연결되는 계층이며 싱크의 쿼리(Query, interest)를 전체 네트워크에 전달하며 다중 경로를 통하여 데이터를 싱크에게 전달한다.
- 중앙 계층(Middle Layer) - 싱크 및 소스 노드(Source Node)로부터 전송된 쿼리 및 데이터에 대한 상하위 계층으로의 연결을 담당한다.
- 하위 계층(Bottom Layer) - 이벤트(Event)에 대한 센싱(Sensing)을 담당하며 쿼리에 의한 데이터를 상위 계층으로 전달한다.

UDD는 DD라우팅을 기본으로 하여 네트워크 구성 및 유지 시 사용될 플러딩의 횟수를 최소화하기 위해 전체 네트워크의 구성을 3개의 계층으로 나누었으며 이를 통해 노드간의 통신 시 간섭 현상 및 불필요한 통신을 최소화함으로써 효율적인 라우팅 경로를 선정하여 전체 네트워크의 생명주기를 늘릴 수 있다.

DD 방식은 플러딩 기반의 통신을 이용함으로 해양환경에 부적합하다. 그러므로 해양환경에서의 통신 방식은 플러딩 횟수를 최소화하여야 한다. 이는 과도한 전송 에너지 및 음파 간섭현상으로 전체네트워크의 효율성을 떨어뜨릴 수 있다. 기존 DD의 단점을 수정한 UDD는 동일 계층에 있는 노드와의 통신은 이루어지지 않는다.

따라서 UDD방식은 음파의 특성상 간섭 현상이 심하고 전파 지연이 일정치 않은 단점을 보완하여 전송 경로를 단순화하였으며 오직 상 하위 계층 간에 통신만이 가능하게 함으로써 에너지 및 다양한 간섭현상들을 줄여 통신 신뢰성을 강화 시켰다.

아래 그림 3은 UDD 기법의 경로 강화 흐름을 순차적으로 표현한 그림이다.

데이터 전송 경로는 그림 3의 (A)와 같이 쿼리를 통해 요구하는 데이터의 정보를 네트워크 전체에 전달되게 되는데 DD와 같은 다중 경로가 아닌 단일 경로 형태로 전달되게 되며 (B)와 같이 쿼리를 수신 받은 노드는 그 경로를 통하여 단일 경로가 형성된다. 마지막 (C)의 단계에서는 구성된 단일 경로를 통해 소스 노드에서 발생한 이벤트를 싱크노드로 최적화된 경로를 이용하여 전송하게 된다.

3. 다중경로 설정

수중 해양환경에서의 센서 노드는 음파 센서네트워크 노드들의 송수신 거리를 예측하여 적절한 배치가 이루어

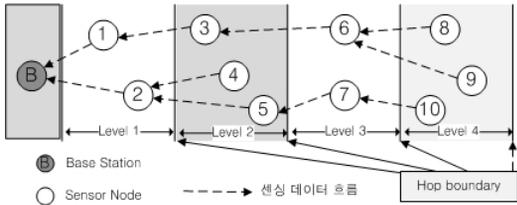


그림 4. 해양센서 노드의 레벨 설정 및 배치의 예

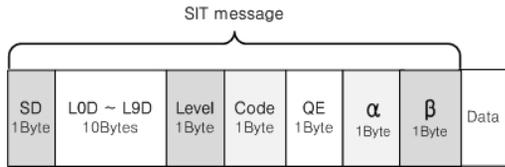


그림 5. SIT 메시지의 정보

표 1. SIT 메시지의 파라미터(Parameter)

파라미터	설 명
SD	보내는 시간
LD	센서 노드 사이의 존속 시간
Level	임계치로 나누어진 레벨 명
Code	클러스터링 된 구역
QE	에너지 잔량
α	비교할 에너지 잔량
β	비교할 트래픽 구성 비율

진다. 센서노드는 한정된 에너지 자원을 가지고 있고 수중환경 특성상 설치 및 재설치가 어려운 점을 감안하여 초기에 노드 배치에 대한 상세한 계획이 필요하다¹⁰⁾.

수중음파통신채널은 각 노드의 송수신 거리와 신호 주파수에 의해 발생하는 경로 손실에 영향을 받는다. 따라서 경로 손실을 고려한 알맞은 거리를 설정하여 멀티 홉(Multi-hop) 라우팅을 구성하는 것이 효과적이다¹¹⁾.

경로 손실 외 다른 외부 요소에 의한 신호 잡음 또한 송수신 거리에 영향을 미친다. 해양모델의 잡음(Noise) 요소로 난류잡음, 선박잡음, 파도잡음 및 온도잡음 등이 있다¹²⁾.

송수신 거리에 따른 구역을 임계치(Hop boundary)를 통해 설정하게 되면 같은 구역에 포함된 센서 노드들은 같은 레벨(Level)을 부여 받게 된다. 이렇게 음파 주파수에 의한 거리 구간을 임계치로 나누어 레벨을 설정함으로써 해양센서 노드들을 효율적으로 배치 할 수 있다.

제안된 해양센서네트워크는 기존의 DD¹⁵⁾방식과 같이

적정의 경로를 선정하되 거리를 기반으로 한 레벨을 설정함으로써 기존의 방식을 보완하는 형태를 가진다.

레벨이 확정된 이후 센서 노드의 배치가 이루어지며 각 노드는 자신이 속해 있는 레벨의 정보를 보유하게 된다. 단, 센서 노드의 배치에 있어서 몇 가지 가정이 필요하다. 레벨1에 배치되는 센서 노드들은 클러스터 헤더가 될 수 있는 기능을 가져야 하며 베이스 스테이션 혹은 게이트웨이(Gateway)와 직접 통신이 가능하여야 한다. 그리고 설정된 경로가 내·외부적인 요소에 의해 변경될 수 있는 상황을 고려하여 각 레벨 구역에서는 2개 이상의 센서 노드들을 배치하여야 한다.

해양센서네트워크에서 전송영역이 넓은 경우에 전체 토폴로지(Topology)는 효율적인 에너지 관리를 위해서 적합한 전송거리를 고려한 클러스터링(Clustering) 형태의 멀티 홉 데이터 전송이 이루어져야 한다. 기존 시스템의 토폴로지 구성에서는 불필요한 중계 노드(Relay node)로 인한 에너지 소비가 심하고, 특히 특정 센서 노드로의 전송 실패현상으로 인해 전체 네트워크의 수명을 단축하는 비효율적인 측면이 존재한다^{2,4)}.

이러한 문제에 대한 보완책으로 앞에서 설명한 중계 노드의 임계치를 통해 센서 노드 간에 레벨을 설정하여 에너지 소비를 효율적으로 제어하도록 구성한다. 또한, 다중 경로를 형성하여 에너지 소모가 많은 센서 노드를 다른 센서 노드가 대체하도록 구성하여 전체 네트워크의 수명을 연장하고자 하였다.

제안한 기법에서 해양센서 노드들은 그림 5와 같이 각 센서노드의 위치 정보 및 전송 시간, 그리고 레벨 정보 등을 포함하는 Scheduled Interest Table(SIT) 메시지 전송을 통해 센서 노드간의 위치 및 정보를 파악하게 된다. 레벨1에 위치한 센서 노드들은 베이스 스테이션에 데이터를 전송하는 최종 클러스터 헤더의 역할을 담당하게 된다.

초기 설정 단계인 경로설정에서 SIT 메시지는 적합한 경로설정을 위한 중요한 정보를 제공하게 된다. 초기에 경로를 설정하기 위해서 SIT 메시지는 브로드캐스팅(Broadcasting) 방식을 통해 각 센서 노드로 전송된다.

효율적인 경로 설정에 필요한 요소는 SIT 메시지 외에 최소 홉 방식과 적절한 에너지 소모량 비교치 또한 포함된다. 그림 6과 같은 전체 순서도에 의해 해양센서네트워크의 효율적인 경로가 결정된다.

거리 설정에 의해 확정된 레벨은 최소 홉을 위한 유용한 설정이 되며 최소 홉 결정시 같은 레벨내의 센서 노드는 경로 설정 시 중복되지 않게 제외한다. 중계 노드의 에너지 과부하를 방지하기 위해 같은 레벨 안의 경로를 회

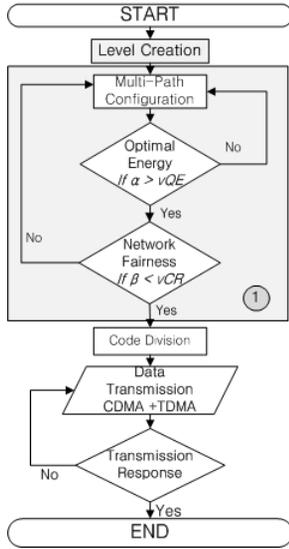


그림 6. 전체 순서도

피하는 최소 홉 방식을 사용한다. 또한 SIT 메시지에 포함된 존속 시간을 이용해 최단기간의 경로를 우선 설정하게 된다.

최적화된 경로가 설정 된 이후 데이터 전송에 필요한 에너지의 소비 정도에 따라 에너지 값 α 를 vQE 와 비교하여 에너지 소모가 크면 다시 경로를 수정한다. 에너지 α 값은 같은 레벨 안의 전체 센서 노드의 파워 잔량을 센서 노드의 수로 나눈 값으로 vQE 값 보다 적을 때 다른 경로를 찾게 된다.

수식 모델과 관련된 표기는 아래 표 2와 같다.

vQE 값은 시스템 사용자가 설정하는 수치로 ES 값이 클수록 에너지양에 둔감하며 값이 적을수록 에너지양에 민감한 시스템이 된다. ES (Energy Sensitivity)는 실수 값으로 에너지 환경의 고려 조건이 된다. 아래 식 (1)과 같이 정의 된다.

$$vQE = \frac{\sum_{i=1}^n Level(m)_{Node i} QE}{ES * n} \quad (1)$$

D_u 값은 베이스 스테이션과 끝 노드간의 최대 거리를 Level 수로 나눈 값으로 정의하고 아래 식 (2)와 같이 표현한다.

$$D_u = \frac{MAX(l)}{nL} \quad (2)$$

표 2. 수식 모델을 위한 표기법

표 기	설 명
n	레벨별 센서 노드의 수
nL	레벨 수
$Level(m)$	센서 노드가 소속된 레벨 명
$Level(m)_{Node i} QE$	$Level(m)$ 에 포함된 i 번째 센서 노드의 에너지 잔량
vQE	가변적인 에너지양
ES	가변 에너지(Energy Sensitivity)
$MAX(l)$	통신이 가능한 최대거리
E_{Tx}	전송에 드는 에너지 양
E_{Rx}	수신에 필요한 에너지 양
E_{Rcover}	Over-hearing에 드는 에너지 양
N_{Tx}	전송 수
N_{Rx}	수신 수
N_{Rcover}	Over-hearing 수
vCR	가변적인 구성 비율
LS	Load Sensitivity
$Level(m) T_E$	m 번째 Level의 노드들의 전체 에너지 소모량
D_u	한 레벨의 거리 단위

따라서 $Level(m)$ 의 범위는 아래 식 (3)과 같이 표현 된다.

$$D_u * (m - 1) \leq Level(m) < D_u * m \quad (3)$$

식 (4)의 α 값은 동일 레벨내의 노드들의 평균 에너지 값을 표현한다.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Level(m)_{Node i} QE}{n} \quad (4)$$

$\alpha < vQE$ 일 경우 다른 경로를 찾게 되며 $\alpha \geq vQE$ 일 경우 그 경로를 유지하게 된다.

또한 특정노드에 충돌 현상이 발생하여 특정 센서 노드의 에너지 소모가 상대적으로 급격히 발생할 시 β 값을 vCR 값과 비교하여 클 때 동일 레벨 안의 다른 노드로 경로를 변경하여 전체 네트워크의 수명을 최대한 연장하게 된다. 센서노드의 에너지 소모 $E_{Node i}$ 는 전송에 드는 에너지 양 E_{Tx} 와 수신에 필요한 에너지 양 E_{Rx} , 그리고 Over

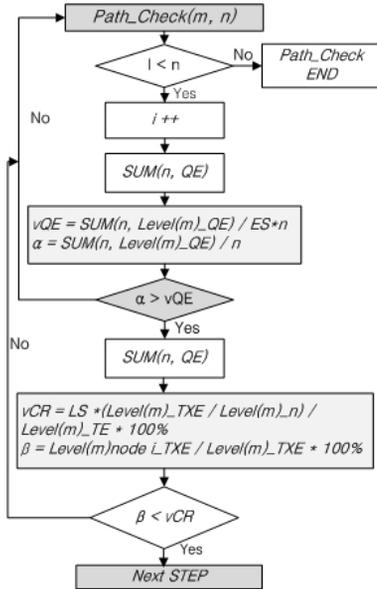


그림 7. 경로 탐색 흐름도

hearing 수신에 소요되는 에너지 양 $E_{R_{xover}}$ 의 합과 같다.

$$E_{Node i} = E_{Tx} + E_{Rx} + E_{R_{xover}} \quad (5)$$

T_E 값은 송수신과 관련된 횟수를 에너지 소모량과 곱하여 전체 소모되는 에너지양을 표현하는 것으로 식 (6) 과 같이 나타낸다.

$$T_E = N_{Tx} * E_{Tx} + N_{Rx} * E_{Rx} + N_{R_{xover}} * E_{R_{xover}} \quad (6)$$

그 중에서 송신과 관련된 에너지는 식 (7)과 같다.

$$T_{XE} = N_{Tx} * E_{Tx} \quad (7)$$

vCR 값은 LS 를 $Level(m)$ 에 포함된 센서노드 전체의 T_E 값으로 나눈 비율로서 아래 식 (8)과 같이 시스템 사용자가 지정 가능하다.

$$vCR = \frac{LS * (Level(m) T_{XE} / Level(m)_n)}{Level(m) T_{XE}} \times 100\% \quad (8)$$

β 값은 전체 송신에 소요되는 에너지 값과 동일 레벨의 전체 센서 노드 수를 곱한 값에 전체 송수신에 사용되고 있는 에너지 값을 나눈 값의 비율을 나타내며 식 (9)와 같이 표현된다.

$$\beta = \frac{Level(m)_{Node i} T_{XE}}{Level(m) T_{XE}} \times 100\% \quad (9)$$

$\beta > vCR$ 일 경우 다른 경로를 찾게 되며 $\beta \leq vCR$ 일 경우 그 경로를 유지하게 된다.

에너지 잔량과 트래픽 과부하를 체크하여 경로손실을 방지함으로써 적합한 다중경로를 유지하고 효율적인 경로 변경이 가능하게 된다. 다중 경로의 효과적인 변경은 해양센서 네트워크의 상태 유지에 있어서 필수적인 요소이다. 수중 해양환경의 특성상 센서 노드의 유실 및 파괴에 대비한 강건한 네트워크 구축이 가능하며 향후 추가되는 노드를 감지하여 네트워크의 확장성에도 유용한 조건이 된다.

그림 6의 ①번 구역에 해당하는 경로 최적화 부분에 관련된 프로세서는 그림 7과 같은 흐름도로 상세하게 표현된다.

에너지 소모량과 특정 센서 노드로의 트래픽 풀림 현상이 모두 체크 된 뒤 경로가 최적화 되면 레벨1에 위치한 클러스터 헤더를 중심으로 구성된 다중 클러스터들은 각각 SIT 메시지에 의해 나누어진 코드(Code)를 부여 받게 된다. 코드 분할을 통해 동일한 코드와 동일한 레벨 사이에서만 상태유지를 위한 정보를 주고받음으로써 상태유지에 있어서 불필요한 에너지의 낭비를 방지한다. 또한 동일 주파수 대역의 여러 신호를 동시에 처리할 수 있기 때문에 코드 분할을 통해 수중 해양환경의 한정된 채널에서 효율적인 데이터 전송이 가능해진다^[13].

데이터 전송방식은 TDMA(Time Division Multiple Access)와 CDMA(Code Division Multiple Access) 전송방식의 혼합 방식을 채택함으로써 다량의 데이터를 전송함과 동시에 데이터 충돌을 방지하도록 설계하였다.

4. 경로 유지

경로가 설정된 이후에는 각 레벨간의 센서 노드끼리 상태를 수시로 확인함으로써 성능을 유지하게 된다.

그림 8과 같이 각 레벨내의 센서 노드간의 통신을 통해 상·하위 노드로 그 레벨에 포함된 센서 노드의 정보들을 제공하게 된다.

우선 해양센서네트워크에 새로운 센서 노드가 추가될 시 추가된 노드가 속한 레벨내의 센서 노드끼리 SIT 메시지를 전송하여 추가된 노드의 정보를 상·하위 레벨로 전송하게 된다. 이로 인해 최적의 경로가 다시 수정되게 된

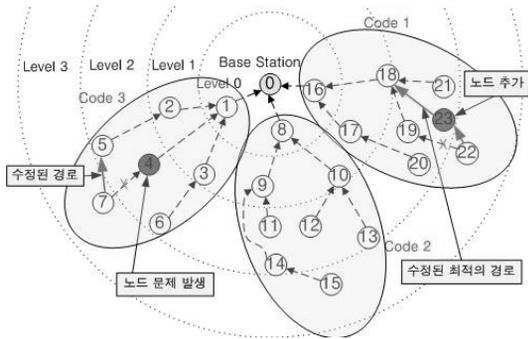


그림 8. 경로 유지

표 3. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
쿼리의 수	5 ~ 20
노드의 수	10 ~ 40
슬롯 시간(Slot Time)	20 μsec ~ 1000 μsec
데이터 전송 속도	10 kbps
데이터 길이	Variable
거리	100 m ~ 500 m
전체 에너지	200 J
CPU 처리 에너지	1.5 J
Sleep Mode 에너지	5 J
시뮬레이션 시간	1000 sec

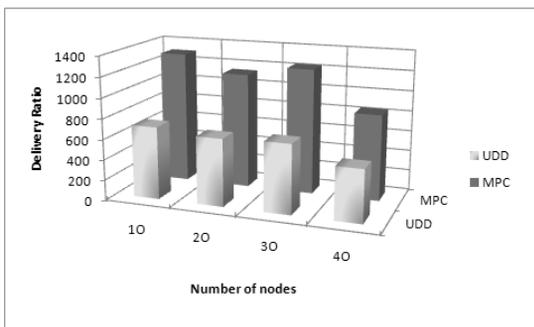


그림 9. 노드 수에 따른 전송률 비교

다. 예를 들어 그림 8에서 23번 노드는 네트워크에 추가된 후 21번과 19번 노드로 SIT 메시지를 전송하고 레벨 1의 16번 노드와 레벨 3의 22번 노드는 갱신된 레벨 2의 상태를 인식하게 된다. 이 후 경로 최적화 기법을 통해 경로가 최적의 상태로 재구성 된다.

다음으로 특정 노드에 문제가 발생하여 작동이 되지

않을 시에 적합한 경로를 다시 수정하여 경로를 강화하고 센서 노드의 문제 발생 건에 대해서 베이스 스테이션으로 정보를 통보하게 된다. 그림 8에서 4번 노드에 문제가 발생하여 경로가 파괴되면 7번 노드는 같은 레벨 2에 위치한 5번 노드로 경로가 수정된다.

5. 성능 평가

성능 평가를 위해서 실제 해양환경의 채널과 음파 특성을 반영한 시뮬레이션 도구 OMNeT++를 사용하였으며 기존의 DD방식을 응용하여 해양환경에 적합하게 변경된 UDD 방식과 비교를 통해 성능을 검증하였다. OMNeT++ 시뮬레이터(Simulator)를 통해 소스로부터 싱크까지의 패킷 수신 네트워크 처리율, 전체 네트워크의 전송률, 에너지 소모량, 평균 시간을 측정한다. 네트워크 처리율은 이벤트에 대한 소스가 생성한 패킷을 싱크가 성공적으로 수신한 패킷 비율이다. 전송률은 전체 네트워크의 전송량의 비율이며 에너지 소모량은 데이터 통신에 소비된 에너지 양이며, 평균 시간은 싱크에 의해 수신되는 각각의 패킷의 평균 지연 시간 값이다.

표 3과 같이 시뮬레이션 파라미터들을 해양환경에서의 음파통신에 적합하게 정의 하였다.

시뮬레이션 시간은 1000초이며 노드의 수는 초기에 10개부터 시작하여 40개까지 증가하여 결과를 측정하였다. 데이터 전송 속도는 지상과는 달리 해양의 음파통신 환경을 고려하여 정의하였다.

시뮬레이션 결과 값에 사용된 용어인 UDD는 Underwater Directed Diffusion을, MPC는 본 논문에서 제안한 Multiple Path Configuration 기법을 나타낸다.

시뮬레이션 결과 그림 9에서 보이는 전송률은 센서 노드의 수를 증가 시키면서 비교했을 때, 제안된 프로토콜이 기존의 UDD 프로토콜보다 평균 60%이상의 전송 효율성을 가진다.

다음으로 전송되는 쿼리 수를 증가시키면서 비교했을 때, 시뮬레이션 결과 그림 10과 같이 제안된 프로토콜이 기존의 UDD 프로토콜보다 평균 50%이상의 전송 효율성을 가진다.

시뮬레이션 결과 그림 11에서 보이는 통신 시간은 제안된 프로토콜이 기존의 프로토콜과 마찬가지로 노드의 수가 증가 하더라도 큰 변동 폭이 없음을 보여준다. UDD 방식과 비교된 기존의 DD 방식은 노드 수에 비례하여 전송 시간이 증가하였으나 제안된 프로토콜은 UDD 프로토

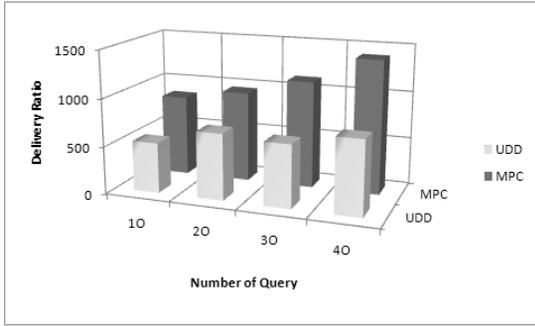


그림 10. 쿼리 수에 따른 전송률 비교

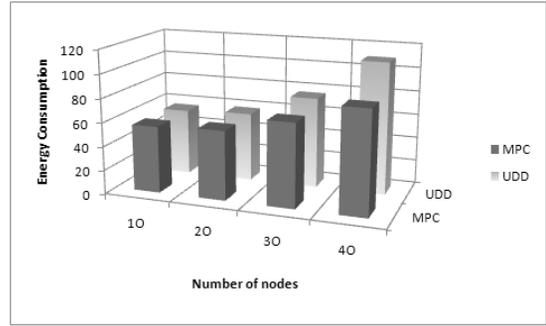


그림 12. 에너지 소비량

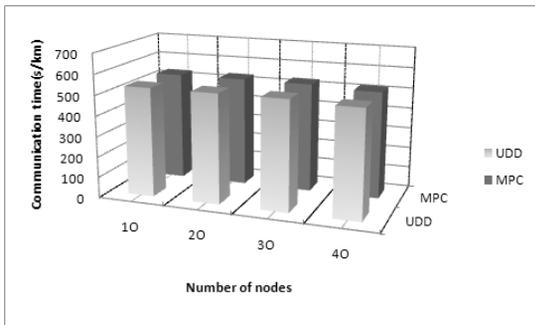


그림 11. 통신 시간 비교

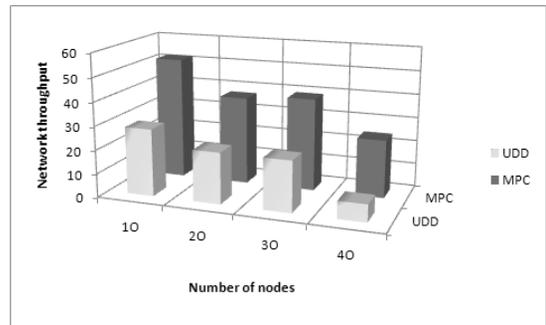


그림 13. 네트워크 처리율

결과 같이 노드 수가 증가 하더라도 변동 폭이 적다는 걸 알 수 있다.

시뮬레이션 결과 그림 12에서는 노드의 증가에 따른 에너지 소비량을 나타내었다. 센서 노드의 수가 늘어남에 따라 에너지 소모량이 두 방식 모두 비슷하게 증가함을 보여준다.

시뮬레이션 결과 그림 13에서는 노드의 증가에 따른 전체 네트워크의 처리율(Network Throughput)을 표현하였다. 센서 노드의 수가 증가함에 따라 네트워크 처리율이 동일하게 감소하고 있거나 기존의 UDD 방식과 같이 급격하게 감소되지는 않음을 보여준다.

6. 결 론

수중 해양음파통신에서 센서 네트워크의 라우팅은 한정된 에너지를 효율적으로 관리하여 네트워크의 수명을 최대한 연장하기 위하여 경로를 최적화하는 설정이 필요하다. 수중 해양환경은 다양한 내·외적인 환경 변수가 많기 때문에 경직된 경로는 네트워크의 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 가변적으로 응용 가능한 다중 경로 방식은

실제 환경에 적용하는데 적합하다.

본 논문은 해양센서 노드의 배치에 있어서 임계치를 이용한 레벨을 설정함으로써 최소 hops를 결정하고 적정한 경로를 설정함으로써 에너지의 효율적인 관리 측면에서 아주 유용한 결정이 될 것이다.

또한, 다중 경로의 유연한 변경이 이루어짐에 따라 특정 노드로의 데이터 전송 풀림 현상으로 인한 경로의 파괴도 미연에 방지 할 수 있어 더욱더 강건한 네트워크를 형성할 수 있게 된다.

향후 에너지 효율성과 네트워크 수명에 관련된 측면들을 분석하고 검증하기 위해서 시뮬레이션을 통한 분석 외에 실제 해양환경에 적용하여 해류에 의한 이동성과 같은 실제 적용 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Network," ACM SIGBED Review, Vol. 1 (1), Jul, 2004.
2. Sozer, E.M, Stojanovic and M. Proakis, J.G, "Underwater

- Acoustic Networks,” *Oceanic Engineering, IEEE Journal of Volume 25, Issue 1*, pp. 72-83, 2000.
3. Cui J-H, Kong J, Gerla M, Zhou S, “Challenges: building scalable mobile underwater wireless sensor networks for aquatic applications,” *IEEE Network, Special Issue on Wireless Sensor Networking*, 20(3) pp. 12-18, 2006.
 4. Canfeng Chen, Jian Ma, Ke Yu, “Designing Energy-Efficient Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks,” in *Proc. Workshop on World-Sensor-Web(WSW’2006)*, Oct, 2006.
 5. C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, “Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks,” *IEEE/ACM Mobicom*, pp. 56-67, 2000.
 6. D. Pompili, T. Melodia, “Three-Dimensional Routing in Underwater Acoustic Sensor Networks,” In *Proceedings of ACM PE- WASUN*, Oct, 2005.
 7. D. Pompili, T. Melodia, and I. F. Akyildiz, “Routing Algorithms for Delay-insensitive and Delay-sensitive Applications in Underwater Sensor Networks,” In *Proc. of ACM MobiCom*. Los Angeles, CA, USA, Sep, 2006.
 8. C. Intanagonwiwat et al, “Directed diffusion for wireless sensor networking,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 11, No. 1, pp. 2-16, Feb, 2003.
 9. S. J. Lee, J. I. Namgung and S. H. Park, “Efficient UDD Architecture for Underwater Wireless Acoustic Sensor Network,” *The Third IEEE/IFIP International Workshop on Ubiquitous UnderWater Sensor Network 2009*, pp. 3-10, Aug. 2009.
 10. I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, “Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges,” *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, Vol. 3, No. 3, pp. 257-279, May, 2005.
 11. M.Stojanovic, “On the Relationship Between Capacity and Distance in an Underwater Acoustic Communication Channel,” *Special section on ACM WUWNet 2006*, pp. 34-43, Oct, 2007.
 12. R. Coates, “Underwater Acoustic System,” New York: Wiley, 1989.
 13. F. Salva-Garau, M. Stojanovic, "Multi-Cluster Protocol for Ad Hoc Mobile Underwater Acoustic Networks," In *Proceedings of OCEANS 2003, Volume 1*, pp. 91-98, Sep, 2003.



윤 남 열 (anuce@koomin.ac.kr)

2003 안동대학교 정보통신공학과 공학사
2009 국민대학교 BIT 비즈니스 정보통신 이학석사
2009~현재 국민대학교 비즈니스 IT 박사과정

관심분야 : USN, UW-ASN 통신 프로토콜, 임베디드 시스템



남 궁 정 일 (greenji@naver.com)

1995 인천대학교 기계공학과 공학사
2005 국민대학교 BIT 비즈니스 정보통신 이학석사
2007~현재 국민대학교 비즈니스 IT 박사과정

관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 통신 프로토콜, 임베디드 시스템



박 수 현 (shpark21@kookmin.ac.kr)

1988 고려대학교 컴퓨터학과 이학사
1990 고려대학교 수학과 전산학 이학석사
1998 고려대학교 컴퓨터학 이학박사
1990 (주)LG 전자 중앙연구소 선임연구원
1999~2001 동의대학교 공과대학 컴퓨터·소프트웨어 조교수
2002~현재 국민대학교 비즈니스 IT학부 정보시스템전공 부교수

관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, Underwater Sensor Network