

# 2차원 및 3차원 수중 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 데이터전송 알고리즘

김성운<sup>†</sup>, 박선영<sup>\*\*</sup>, 천현수<sup>\*\*\*</sup>, 김근호<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

수중 센서 네트워크(UWSN: Underwater Wireless Sensor Networks)는 수중 센서 노드들의 에너지 자원의 제약이 심하고, 제한된 통신 대역폭과 다양한 전파지연 등의 환경적인 특성 때문에 효율적이고 안정적인 데이터전송 방법이 요구된다. 본 논문에서는 수중 센서 네트워크의 센서 노드들이 해양 바닥에 고정된 2차원 구조(2D: two-dimensional underwater wireless sensor network model)에서 이상적인 셀 크기의 육각 모자이크 구조를 이용한 향상된 하이브리드 전송 방법을 설명하고, 또한 센서 노드를 해양 바닥의 닻에 매달아 움직임이 가능한 3차원 구조(3D: three-dimensional underwater wireless sensor network model)에서 효과적인 데이터전송을 위한 에너지 효율적인 인식 및 통신범위를 확장하는 방법을 제안한다. 2D 및 3D 구조에서 제안된 방법들은 시뮬레이션 결과에 의해 기존의 전송 방법보다 높은 에너지 효율성을 가지는 것이 확인되었다.

## Energy Efficient Data Transmission Algorithms in 2D and 3D Underwater Wireless Sensor Networks

Sung-un Kim<sup>†</sup>, Seon-yeong Park<sup>\*\*</sup>, Hyun-soo Cheon<sup>\*\*\*</sup>, Kun-ho Kim<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Underwater wireless sensor networks (UWSN) need stable efficient data transmission methods because of environmental characteristics such as limited energy resource, limited communication bandwidth, variable propagation delay and so on. In this paper, we explain an enhanced hybrid transmission method that uses a hexagon tessellation with an ideal cell size in a two-dimensional underwater wireless sensor network model (2D) that consists of fixed position sensors on the bottom of the ocean. We also propose an energy efficient sensing and communication coverage method for effective data transmission in a three-dimensional underwater wireless sensor network model (3D) that equips anchored sensors on the bottom of the ocean. Our simulation results show that proposed methods are more energy efficient than the existing methods for each model.

**Key words:** Underwater Wireless Sensor Networks(수중 무선 센서 네트워크), Wireless Sensor Networks(무선 센서 네트워크), Energy Efficiency(에너지 효율), Data Transmission Method(데이터전송 방법)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김성운, 주소: 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지(608-810), 전화: 051)629-6235, FAX: 051)629-6235, E-mail :kimsu@pknu.ac.kr  
접수일: 2010년 2월 12일, 수정일: 2010년 7월 23일  
완료일: 2010년 9월 6일

<sup>†</sup> 중신회원, 부경대학교 정보통신공학과 교수  
<sup>\*\*</sup> 준회원, 부경대학교 전자정보통신공학과 재학중

(E-mail: parksy\_@pknu.ac.kr)  
<sup>\*\*\*</sup> 준회원, 부경대학교 정보통신학과 석사과정  
(E-mail: cheonhs@pknu.ac.kr)  
<sup>\*\*\*\*</sup> 준회원, KAIST 전산학과 석사과정  
(E-mail: glen.khkim@gmail.com)

※ 이 논문은 2006년도 부경대학교 연구년 교수지원에 의하여 연구되었음(PS-2007-022)

## 1. 서론

최근 과학적, 상업적 탐구와 해안선 보호를 위한 수중 환경 관찰에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 지구의 70%가 바다로 이루어져있고, 우리나라의 경우에는 삼면이 바다로 둘러 쌓여있기 때문에 수중 센서 네트워크에 대한 연구가 더욱 필요하다. 수중 무선 센서 네트워크는 센서 노드들을 이용하여 광범위한 수중 자원 탐사와 과학적 자료 수집, 오염 감시, 연안 탐사, 재해 예측, 전략적인 감시 등을 수행하는 네트워크를 말한다[1,2].

수중 센서 네트워크와 지상 센서 네트워크는 전송 매체의 특성과 환경의 물리적 특성으로 인해 기술적으로 상당한 차이를 가진다[3]. 수중 센서 네트워크는 에너지 제약적이고, 제한된 대역폭과 다양한 전파 지연, 제한된 인식범위의 센서 노드들로 구성되어있기 때문에 수중 환경의 물리적, 화학적 특성으로 인한 통신환경 제약 극복과 효율적인 에너지 활용을 위한 수중 센서 데이터전송 기법이 라우팅에서 매우 중요한 요소이다[4]. 본 논문에서는 수중 센서 네트워크의 응용에 따른 노드들을 배치한 2차원 구조에 대해 저자들에 의해 연구된 내용을 기반으로 하여 [5], 2차원 구조 및 3차원 구조의 각각의 경우에서 에너지 효율적인 데이터전송 알고리즘과 효율적인 인식 및 통신범위를 확장 방법을 비교 설명한다.

본 논문의 2장에서는 관련연구에 대해 기술하고, 3장에서는 2차원 수중 센서 네트워크에서 향상된 하이브리드 전송 방법과 4장에서는 3차원 수중 네트워크 구조에서 인식 및 통신범위를 고려한 알고리즘을 제안한다. 5장에서 시뮬레이션 결과를 제시하고, 끝으로 6장에서 본 연구의 결론을 기술한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 수중 센서 네트워크 모델

#### 2.1.1 2차원 수중 센서 네트워크 모델

2차원 수중 센서 네트워크는 그림 1과 같이 센서 노드가 해양 바닥에 고정된 구조로, 해양 환경 관측과 해양 지질 관측 등의 응용에 적용되는 모델이다[3].

각 센서 노드들은 클러스터 단위로 구성되며 이러한 클러스터들이 모여 하나의 네트워크를 구성한다.

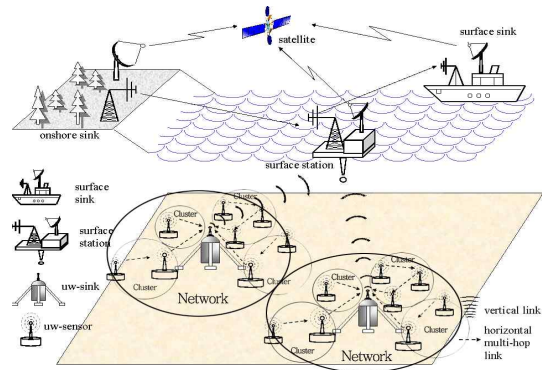


그림 1. 2차원 수중 센서 네트워크의 구조(2D)

센서 노드들은 무선 음파 링크를 통해 하나 또는 더 많은 수중 싱크들(UW-sinks)과 연결된다. 수중 싱크는 바다에서 수면 스테이션까지 데이터를 전달하는 역할을 하고[6], 이는 일반적인 센서 네트워크에서 BS(Base Station)의 역할이므로 각 수중 싱크 노드를 BS로 간주한다. 이러한 수중 싱크 노드들이 최종적으로 수면 기지국(Surface Station)으로 데이터를 전송한다[5].

#### 2.1.2 3차원 수중 센서 네트워크 모델

3차원 수중 센서 네트워크는 군사적 감시, 해류의 흐름, 해양 생태 및 오염 감시 등 관측 응용에 사용된다[7].

기존의 3차원 수중 센서 네트워크는 해수면에 떠 있는 부표(buoy)에 센서 노드를 매달아 수중에 설치하는 방식을 사용하였다. 그러나 이 방식은 선박에 의해 파괴되거나 군사 작전에서 임무 수행 시 발각되기 쉽기 때문에 최근에는 이러한 단점을 보완하기 위해 그림 2와 같이 해양 바닥에 닻(anchor)을 설치하고 펌프를 이용하여 닻에 매달린 센서 노드가 상하 이동이 가능하게 하는 방식을 사용한다[3,7]. 2차원 수중 센서 네트워크 모델과 달리 3차원 수중 센서 네트워크 모델에서는 수중 싱크(UW-sink)가 없고, 각 센서 노드가 직접 데이터를 수면 기지국으로 전송한다.

### 2.2 2차원 및 3차원 모델에서 중요한 이슈

2차원 수중 센서 네트워크(2D) 모델에서는 수집한 데이터를 전송하기 위해 일반적으로 수중 싱크 노드로 직접 전송하는 직접 경로 전송 방법과 수중 센서 노드들이 수집한 데이터를 수중 싱크 노드에 전

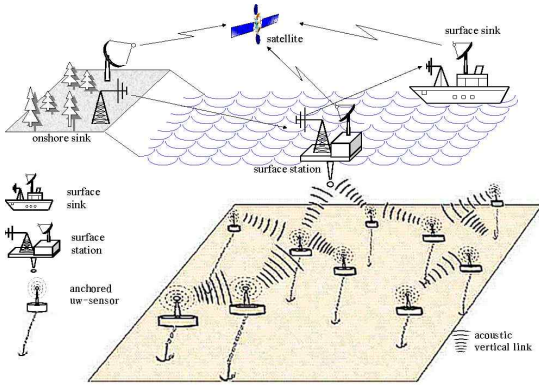


그림 2. 3차원 수중 센서 네트워크의 구조(3D)

송하기 위해 여러 중간 노드를 거쳐 전달하는 방식인 다중 홉 경로 전송 방법이 사용되어져 왔다[5-8]. 직접 경로 전송 방법의 경우 네트워크 구축이 쉽다는 장점을 지닌 반면 에너지 효율성과 네트워크 처리율이 낮다는 단점을 지니고 있다. 한편 다중 홉 경로의 경우 센서의 에너지 저장과 네트워크 용량을 증가시킨다는 장점이 있지만 라우팅의 복잡성을 증가시킨다는 단점이 있다[5-8]. 결과적으로 2D 모델에서는 에너지 효율적인 전송 경로의 선택이 중요한 이슈이다[2].

3차원 수중 센서 네트워크(3D) 모델에서는 센서 노드가 닻의 범위 내에서 펌프를 이용하여 상하로 이동이 가능하기 때문에 인식 및 통신범위를 고려한 토폴로지 구성이 중요한 요소이다[3].

### 3. 2차원 수중 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 전송 알고리즘

본 논문에서는 본 논문의 저자들에 의해 이미 연구된 내용에 기반하여 2D 기반 에너지 효율적인 전송 알고리즘을 설명한다[5].

#### 3.1 수중음향학 이론

##### 3.1.1 수동소나방식

Urick[9]이 정의한 수동 소나 방정식에 따르면 수중에서 방사된 신호의 신호대잡음비(SNR)를 다음과 같이 정의한다.

$$SNR = SL - TL - NL + DI \quad (1)$$

여기서 SL은 소스 신호레벨이고, TL은 전송손실,

NL은 노이즈레벨, DI는 지향성 지수를 의미한다. 식(1)에서 모든 단위는 dB re  $\mu\text{Pa}$ 이며, 여기에서  $1\mu\text{Pa}$ 의 값은  $0.67 \cdot 10^{-22} \text{Watts/cm}^2$ 이다. 본 논문에서는 dB re  $\mu\text{Pa}$ 을 dB로 약기하도록 한다.

제시한 2차원 수중 네트워크 모델에서는 얇은 수심의 무지향성 수중청음기를 사용하기 때문에 지향성 지수 DI는 0의 값을 가진다. 그리고 수신기에서 SNR의 목표치는 15dB[9], 평균 환경 노이즈레벨은 일반적인 얇은 수심에서의 값인 70dB로 가정한다.

따라서 식(2)에서와 같이 소스 신호레벨(SL)의 강도를 전송손실(TL)로 표현할 수 있다.

$$SL = TL + 85 \quad (2)$$

##### 3.1.2 전송손실

전송되는 신호는 원통 모양의 패턴에서 구형 모양의 패턴까지 다양한 방법으로 만들어진다. 본 논문에서는 얇은 수심의 원통형 전파 모델을 적용한다. Urick[9]은 원통형으로 전파되는 신호에 대해 대략적인 전송손실을 구할 수 있는 식을 제공한다.

$$TL = 10 \log d + \alpha d \times 10^{-3} \quad (3)$$

여기서 d는 소스 노드와 수신 노드 사이의 거리를 미터(m)로 나타낸 값이고,  $\alpha$ 는 주파수 의존형 흡수계수이며, TL의 단위는 dB이다[10].

식(3)은 수중 매체를 통해 전송되는 음향신호의 거리에 의한 감쇠와 주파수에 따른 매체흡수 때문에 발생하는 손실 에너지를 나타낸다. 식(4)는 4~20°C 수온에서의 주파수에 따른 평균 흡수계수를 나타낸다.

$$\alpha = \begin{cases} 0.0601 \times f^{0.8552} & 1 \leq f \leq 6 \\ 9.7888 \times f^{1.7885} \times 10^{-3} & 7 \leq f \leq 20 \\ 0.0601 \times f - 3.7933 & 20 \leq f \leq 35 \\ 0.0601 \times f - 11.2 & 35 \leq f \leq 50 \end{cases} \quad (4)$$

위의 식(4)에서 f의 단위는 khz이고,  $\alpha$ 의 단위는 dB/km이다[10].

식(4)를 통해 수중에서의 모든 관심 주파수 영역의 흡수계수를 구할 수 있고, 이를 활용하여 송신기에 필요한 에너지를 구할 수 있다.

##### 3.1.3 전송에너지

본 논문에서 위의 식(2), (3), (4)를 통해 소스 신호레벨(SL)이 중간 노드의 거리, 그리고 전송 주파수와

어떠한 관계를 가지는지 설명하였다. 소스 신호레벨 (SL)은 소스와 1m 떨어진 지점에서의 전송신호 강도(I)와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$SL = 10 \log \frac{I}{1\mu Pa} \quad (5)$$

여기에서 I의 단위는  $\mu Pa$ 이고, 식(5)는 I값을 구하기 위해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I = 10^{SL/10} \times 0.67 \times 10^{-18} \quad [Watts/m^2] \quad (6)$$

위의 식에서 I의 단위는  $\mu Pa$ 에서  $Watts/m^2$ 으로 변환하였다.

결국 송신에너지 e는 소스에서 수신측으로 1m 떨어진 거리에서의 전송신호 강도 I를 이용하여 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$e = 2\pi \times 1m \times H \times I \quad [Watts] \quad (7)$$

여기서 e의 단위는 Watts이고, H는 수심을 나타내며 단위는 미터(m)이다.

결론적으로 위의 과정을 통해 주어진 거리 d와 주파수 f를 이용하여 전송에너지를 구할 수 있다.

### 3.2 2차원 수중 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 전송 알고리즘

#### 3.2.1 육각 모자이크 모델

그림 1에서 여러 개의 클러스터로 구성된 2차원 수중 센서 네트워크 구조를 제시하였다. 그림 1의 모든 클러스터에 대해 그림 3과 같은 육각 모자이크 모델을 적용한다. BS(수중 싱크 노드)가 클러스터들의 중앙에 위치하고, 각 셀은 다수의 센서 노드들을 가지며, 서로 인접하게 배열된다. 클러스터들의 중앙에 인접한 셀들을 고리로 정의하고, BS의 바깥쪽부터 둘러싼 고리들을 셀들의 집합  $A_k$ 로 나타낸다. 즉, BS와 멀리 떨어진 고리일수록 k값이 커지게 된다. 각 셀 내부에서 클러스터 헤드를 랜덤하게 선택하고, 각 셀의 클러스터 헤드만 외부 고리에서 전송되는 데이터를 받을 수 있다. 클러스터 내부의 다른 노드들은 데이터를 수집하고, 자신이 수집한 데이터를 전송할 때만 활성화되고 나머지 대부분의 시간에는 슬립모드 상태를 유지한다. 각 셀 내부 노드들이 소모하는 에너지의 균형을 맞추기 위해 클러스터 헤드 노드는 주기적으로 재 선출된다[11].

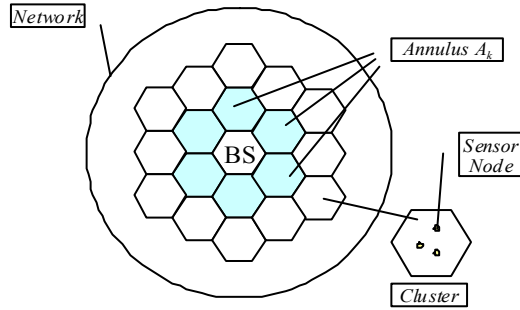


그림 3. 클러스터에 대한 육각 모자이크 모델

인접한 셀들의 집합인 고리들은 다음과 같은 특성을 가진다고 가정한다.

- 고리 내부의 셀의 개수는  $6k(k=1,2,\dots)$ 이다.
- 고리의 총 개수(q)는 반지름이 R인 원을 완전히 채울 만큼 필요하며, 다음 식(8)를 만족시킨다.

$$\begin{cases} \frac{(3q+1)l}{2} = R & \text{if } q \text{ is odd} \\ \frac{l\sqrt{(3q+1)^2+3}}{2} = R & \text{if } q \text{ is even} \end{cases} \quad (8)$$

이 모델에서 센서 노드들과 BS간의 통신은 중간 노드들을 여러 번 거쳐 데이터를 전송하는 다중 홉 포워딩 개념을 적용한 짧은 거리의 통신을 여러 번 하거나, 단 한 번의 한 홉 포워딩으로 센서 노드들과 BS를 직접 연결할 수 있다. 다음 소절에서는 각 센서 노드들을 위해 두 가지 전송방법을 선택하기 위한 전송 범위를 정의한다.

#### 3.2.2 유니폼 포워딩 범위

다중 홉 포워딩 방법을 사용하는 센서 네트워크를 위해 각 센서 노드에서는 유니폼 포워딩 범위가 사용된다. 그림3에서와 같이 인접한 셀들의 어떤 두 노드가 항상 서로 통신 가능하게 하기 위해서 다음과 같은 조건의 전송 범위를 만족해야 한다.

$$r_f \geq \sqrt{13}l \quad (9)$$

#### 3.2.3 직접 전송 범위

각 센서 노드들은 중간 노드를 통해 다중 홉으로 BS까지 데이터를 전송 할 뿐만 아니라, 한 홉으로 직접 데이터를 전송 할 수 있다. 클러스터의 대칭성으로 인하여 고리  $A_k$ 안에 있는 모든 노드들은 아래

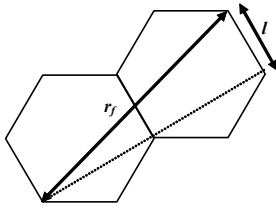


그림 4. 다중 홉 포워딩 범위

와 같은 직접 전송 범위  $r_k$ 를 사용한다.

$$r_k \geq l\sqrt{3(k+1)^2 + 1}, \quad k=1, 2, \dots \quad (10)$$

그림 5와 같이, 각 노드의 직접 전송 범위는 통신 노드와 BS사이의 거리에 의존적임을 알 수 있다.

### 3.2.4 이상적인 셀 크기 추정

제한한 네트워크 모델에서 중간 노드 거리  $d$  (소스 노드와 수신 노드 사이 거리)는 에너지 소비에 아주 큰 영향을 미친다.  $d$ 는 셀의 크기에 따라 좌우되기 때문에, 이상적인 셀 크기 결정은 수중 센서 네트워크 생존시간 측면에서 아주 중요하다.

육각 모델의 고리  $A_k$ 내부 센서 노드의 개수는 다음과 같이 주어진다.

$$n_k = 6k \times \frac{3\sqrt{3}}{2}nl^2 / (\pi R^2) = \frac{9\sqrt{3}knl^2}{\pi R^2} \quad (11)$$

그렇다면 고리  $A_k$ 에서 데이터전송을 위해 센서 노드들이 소비하는 에너지는 다음과 같다.

$$E_k = \frac{e_t(r_f) \sum_{i=k}^q 9\sqrt{3}inl^2 + e_r \sum_{i=k+1}^q 9\sqrt{3}inl^2}{\pi R^2} \quad (12)$$

고리  $A_k$ 내부에서 한 노드 당 평균 에너지 소비는 식(13)과 같이 주어진다.

$$e_k = \frac{E_k}{n_k} = \frac{e_t(r_f) \frac{q+k}{2}(q-k+1) + e_r \frac{q+k+1}{2}(q-k)}{k} \quad (13)$$

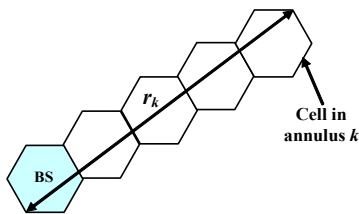


그림 5. 직접 전송 범위

식(7)로부터 유니폼 포워딩 범위 ( $r_f = \sqrt{13}l$  m,  $f = 10$  KHz)에서 데이터전송에 필요한 에너지  $e_t$ 를 구할 수 있다. 그리고 통상적으로 사용 가능한 수중 청음기에서 수신 에너지  $e_r$ 은 전송 에너지의 약 1/5 정도이다[12].

네트워크의 모든 데이터가 BS로 전송되기 때문에, 중앙의 고리  $A_1$ 내부 노드는 가장 많은 부하가 걸리게 되고, 다음과 같이 최대 전송에너지를 구할 수 있다.

$$e_{\max} = e_1 = (e_t + e_r) \frac{q(q+1)}{2} - e_r \quad (14)$$

식(14)에 의해,  $e_{\max}$ 와 셀 크기  $l$ 의 관계를 알 수 있다. 여기서, 모여있는 노드들의 개수도 고려해야 한다. 그리고 BS로 전송되는 데이터의 비대칭성 때문에 에너지 소비가 불균형적이다. 결과적으로 전체 네트워크의 소비 에너지를 위해 이상적인 셀 크기만으로는 전체 네트워크의 생명주기를 최대화 시키지 못한다.

주어진 원형구역을 모두 커버하기 위해 식(8)을 이용하여 최적의 셀 크기를 계산하였다. 고리의 개수  $q$ 와 셀 크기  $l$ 의 관계는 아래 그림 6과 같다.

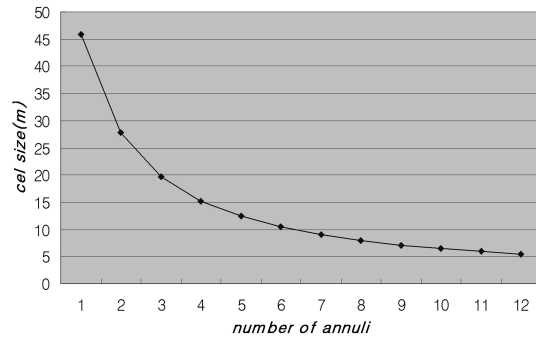


그림 6. 고리 개수  $q$ 와 셀 크기  $l$ 의 관계 ( $R=100m$ )

### 3.2.4 에너지 효율적인 2차원 수중 센서 네트워크 모델링

그림1 과 같은 2차원 수중 센서 네트워크 모델에서 주어진 네트워크 영역의 반지름이 100m일 때, 네트워크 영역을 여러 클러스터들로 나누고 3.2.1소절에서 설명한 바와 같이 각 클러스터에 육각 모자이크 모델을 적용한다.

반지름  $R$ 이 100m 일 때, 주어진 영역에서의 고리의 개수와 셀 크기를 구할 수 있다. 그림 6에서 나타

내어진 것과 같이 고리의 개수 q가 7일 경우 셀 크기 l은 9.091m이다.

3.2.5 에너지 효율적인 하이브리드 전송 방법

그림 7에서 정의한 2차원 수중 센서 네트워크 모델을 기반으로 에너지 소비의 효율성을 위해 새로운 전송 방법으로, 셀의 위치에 따라 유니폼 포워딩에 기반한 다중 홉 포워딩 방법과 직접 전송 방법을 혼합한 하이브리드 전송 방법을 제안한다. 먼저 각 라운드 동안 모든 셀에서 헤드 노드를 제외하고 오직 한 노드만 활성화 상태라고 가정한다. 제안하는 전송 방법은 그림8에 도식화된 개념 처럼 다음과 같이 요약 할 수 있다.

1 k 가  $m < k \leq q$  일 때, 고리  $A_k$ 내부의 노드들은 다중 홉 포워딩 방법을 사용한다.

1 k 가  $1 \leq k \leq m$  일 때, 고리  $A_k$ 내부의 노드들은 직접 전송 방법으로 데이터를 BS로 직접 전송한다.

m 은 전송 방법을 결정하는 임계값이다.

기존의 다중 홉 포워딩 방법만으로 데이터를 전송할 경우, 네트워크 전체 트래픽이 고리  $A_1$ 으로 집중되어 네트워크 전체 에너지 효율성이 떨어진다. 하지만 제안된 하이브리드 포워딩 방법은 전체 에너지 소비가  $A_1$ 보다 더 많은  $A_m$ 고리의 노드들에게 분산되고, 이에 비례하여  $e_{max}$ 는 줄어들고 네트워크 생명 주기는 늘어나게 된다.

식(9)와 식(10)를 적용하는 직접 전송 방법에서 고리  $A_k$ 의 총 소비 에너지는 다음과 같다.

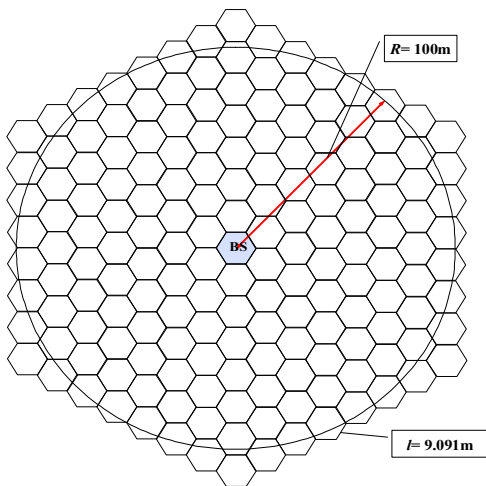


그림 7. 2차원 수중 센서 네트워크 모델링

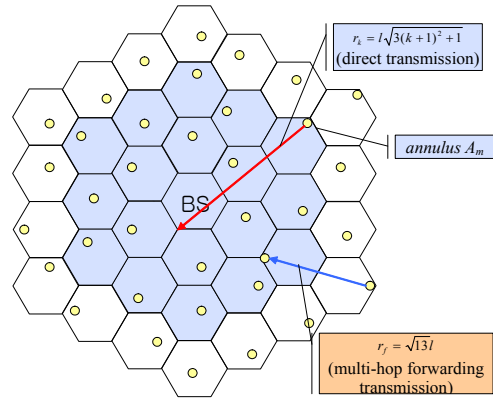


그림 8. 하이브리드 전송 방법

$$E_k = e_t(r_k)N_k^d + e_t(r_f)N_k^f + e_r N_{k+1}^f \quad (15)$$

여기에서  $N_k^f$  는  $A_{k-1}$ 로 전송된 패킷의 수를 의미한다.

식(11)과 식(15)로부터 고리  $A_k$ 의 한 노드 당 평균 소비 에너지를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$e_k = E_k / n_k, \quad k=1, 2 \dots \quad (16)$$

따라서 제안한 방법에서 유니폼 포워딩 범위와 직접 전송 범위를 고려한 임계값이 m일 때, 고리  $A_k$ 에서의 총 에너지 소비는 다음과 같다.

$$\left\{ \begin{array}{l} k = q : E_k = \sum [e_t(r_k)N_k^f] \\ m < k < q-1 : E_k = e_t(r_f)N_k^f + \sum_{i=1}^{q-k} [e_t(r_f)N_{k+i}^f] \\ \quad + \sum_{i=1}^{q-k} [e_r(r_f)N_{k+i}^f] \\ k = m : E_k = e_t(r_k)N_k^d + \sum_{i=1}^{q-m} [e_t(r_k)N_{k+i}^d] \\ \quad + \sum_{i=1}^{q-m} [e_r(r_f)N_{k+i}^f] \\ otherwise : E_k = \sum [e_t(r_k)N_k^d] \end{array} \right. \quad (17)$$

또한 주파수를 적절하게 할당함으로써 하이브리드 전송 방법을 더욱 개선할 수 있다. 식(3)과 식(4)에 의하면 주파수가 높아질수록 전송손실 또한 증가하게 된다. 이것은 수중 환경에서 높은 주파수를 사용하는 센서 노드들은 더 많은 에너지를 소비한다는 것을 의미한다. 그러므로 BS와 전송 거리가 멀어질수록 사용 주파수대역을 높이는 것이 에너지 효율 측면에서 바람직하다. 이러한 주파수 할당 방법으로 노드들이 더 높은 전송부하를 감당할 수 있고 에너지 절약도 가능하다[5].

#### 4. 3차원 수중 센서 네트워크에서 인식 및 통신범위를 고려한 알고리즘

제안된 알고리즘은 각 노드들을 잇는 가중치가 가장 작은 그래프를 만들어내는 데이크스트라 알고리즘(Dijkstra algorithm)을 응용하여, 최소한의 에너지로 3차원 수중 센서 네트워크가 최대한 넓은 인식 및 통신범위를 가지도록 한다[13].

센서가 해양 조류 등의 주변 환경에 의해 움직이면, 가장 가까운 센서 노드와 서로 간의 인식범위가 겹치게 되어 전체 네트워크가 최대한의 인식 및 통신범위를 갖지 못하게 된다. 그러므로 움직인 센서 노드와 가장 가까운 거리에 있는 센서 노드를 서로 인식범위가 겹치지 않도록 움직이면 센서의 움직임 대비 전체 인식 및 통신범위의 효율이 높아지게 된다.

이해를 돕기 위해 3차원 수중 공간을 수직으로 잘라 생긴 단면에서, 해양바닥과 해수면에 수평인 선을 가로, 수직인 선을 세로인 체크 보드로 아래 그림들처럼 나타낸다. 아래 그림들에서 센서 노드들은 검정색으로 나타내고, 인식 및 통신범위는 센서 노드를 포함하여 센서 노드를 둘러싼 9칸으로 가정한다. 3차원 수중 센서 네트워크에서 각 센서 노드들은 상하 이동만 가능하다[2]. 다음은 제안된 알고리즘 과정이다.

- (1) 각 센서 노드들의 위치를 공간좌표로 표시한다.
- (2) 한 센서 노드가 주변 환경에 의해 움직였을 때, 그 센서 노드를 Set A라 한다.
- (3) Set A에 포함되지 않은 센서 노드들 중 Set A의 인식 및 통신범위 내에 있거나 가장 가까운 센서 노드를 찾는다.
- (4) 선택된 센서 노드가 최소한의 움직임으로 선택된 센서 노드와 Set A에 속하는 센서 노드들의 전체 인식 및 통신범위가 가장 크도록 한다.
- (5) 선택된 센서 노드를 Set A에 포함시킨다. Set A에 모든 센서 노드들이 포함될 경우 전체 네트워크의 인식 및 통신범위 확장이 완료되고, 모든 센서 노드들이 Set A에 포함되지 않을 경우 (3)번 과정부터 반복한다.

위의 알고리즘이 동작하는 과정을 그림으로 설명하면, 처음 센서 노드들의 위치는 그림 10과 같고, 그 위치를 공간 좌표로 표시한다. 3번 센서 노드가

주변 환경에 의해 그림 11과 같이 움직이면 그 센서 노드를 Set A라 한다.

그림 12의 좌표에서, Set A에 포함된 3번 센서 노드를 제외한 나머지 센서 노드들 중 Set A의 인식 및 통신범위 내에 있거나 가장 가까운 센서 노드를 찾아 선택한다.

선택된 2번 센서 노드를 최소한의 움직임으로 2번 센서 노드와 Set A의 인식 및 통신범위가 가장 크도록 하고, 2번 센서 노드를 Set A에 포함시킨다.

그림 14에서는 모든 센서 노드들이 Set A에 포함되지 않기 때문에 다시 Set A의 인식 및 통신범위 내에 있는 1번 센서 노드를 찾고, 이동시켜 Set A가 효율적인 인식 및 통신범위를 가지도록 한다. 즉, Set A에 모든 센서 노드들이 포함될 때까지 그림 12, 그림 13과 같은 과정을 반복한다.

이러한 과정을 통해 센서 노드들의 최소한의 움직임으로 인식 및 통신범위를 효율적으로 확장할 수 있다.

#### 5. 성능평가

본 절에서 2절과 3절, 4절을 바탕으로 2차원 및 3차원 수중 센서 네트워크 제안 데이터전송 방법의 성능을 각각 실험을 통해 평가한다.

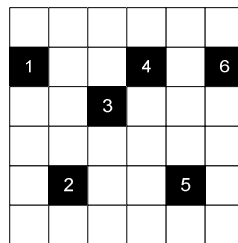


그림 10. 센서 좌표 표시

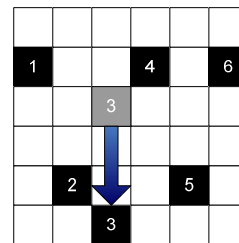
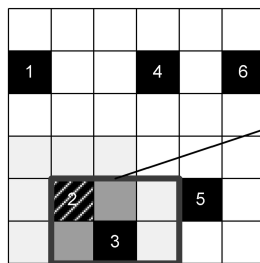


그림 11. 센서의 이동



Set A의 인식 및 통신범위

그림 12. 다음 동작 센서 선택

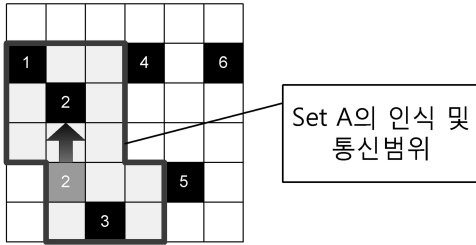


그림 13. 선택된 센서의 이동으로 형성된 Set A

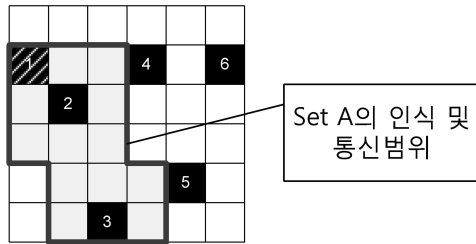


그림 14. 다음 동작 센서 재 선택

5.1 2차원 수중 센서 네트워크 모델을 위한 제안 알고리즘 성능평가

모든 셀의 신호 감지 확률이 같고, 같은 크기의 셀로 이루어져 있기 때문에 각각의 셀은 같은 양의 데이터 패킷을 만들어 낸다.

고리의 임계값이 4일 때, 제안한 하이브리드 전송 방법과 거리에 따른 주파수 할당으로 더욱 향상된 하이브리드 전송 방법, 기존의 다중 홉 포워딩 방법을 비교하였다. 이 실험에서 임계 고리  $A_m$ 은 가장 낮은 주파수를, 다른 고리들은 50kHz의 주파수를 할당하였다.

실험 결과로 다음 그림 15와 같이 제안된 전송 방법들이 기존의 전송 방법보다 에너지 소비량이 적다. 그림 16에서는 기존의 다중 홉 포워딩 전송에서 소비한 최대 에너지  $e_{max}$ 보다 하이브리드 전송 방법에서 소비한 최대 에너지  $e_{max}$ 가 37.65% 가까이 감소했고, 주파수를 적절하게 할당한 향상된 하이브리드 전송 방법의 최대 소비 에너지  $e_{max}$ 가 54.51% 정도 감소한 것을 알 수 있다[5].

5.2 3차원 수중 센서 네트워크 모델을 위한 제안 알고리즘 성능평가

그림 17에서 센서 노드들의 개수를 10개부터 50개까지 10개씩 증가시키며 실험한 결과를 제시하였고,

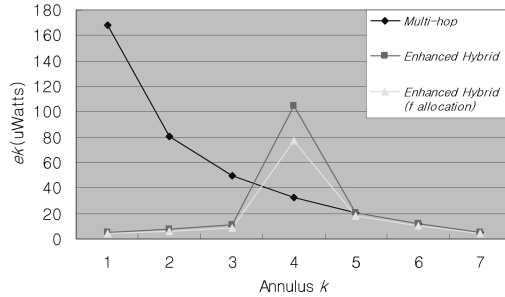


그림 15. 클러스터 헤드 노드당 고리 범위의 에너지 소비 (R=100m, l=9.062m, H=100m)

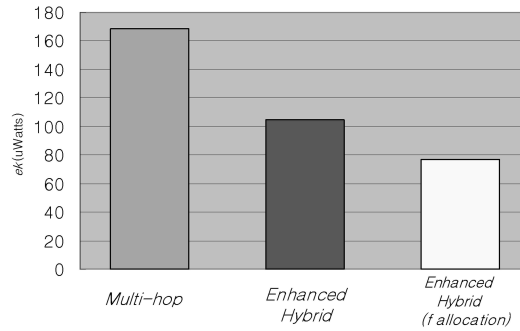


그림 16. 셀의 최대 에너지 소비 비교(R=100m, l=9.062m, H=100m)

센서 노드들의 기본적인 인식범위는 모두 일정하다. 주변 환경에 의해 센서 노드가 움직이기 전까지의 상태는 동일하다고 가정하고, 센서 노드들이 무작위로 움직일 경우 움직임의 편차가 크기 때문에 최종 결과값은 5회 실험한 결과의 평균값으로 한다.

실험을 통해 전체 네트워크 노드들이 소비한 에너지 대비 전체 네트워크 인식 및 통신범위의 효율을 평가한다. 그림 17은 센서 노드가 무작위로 움직였을 때와 인식 및 통신범위를 최대로 확장하는 효율적인 알고리즘에 따라 움직였을 때의 센서 노드 하나 당 평균 이동 거리를 나타낸다. 마지막 막대그래프는 센서 10개에서 센서 50개까지의 실험 결과 값의 평균값이다.

결과에서 볼 수 있듯이, 센서 노드들이 무작위로 움직였을 경우와 제안된 알고리즘에 의해 움직였을 경우의 평균 이동거리는 비슷하다. 즉, 두 방법에서 센서 노드들의 에너지 소모는 비슷하다고 할 수 있다.

다음 그림 18은 각각의 방법에 따른 전체 공간에 cover된 공간 / 전체공간 을 나타낸 것이다. 위와 마찬가지로 마지막 꺾은 선 그래프의



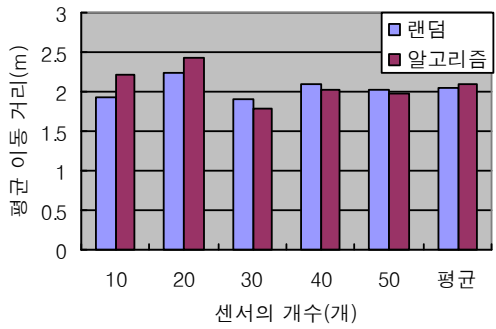


그림 17. 센서 평균 이동거리

값은 전체 실험 결과 값의 평균을 계산한 것이다.

그림 18의 그래프 통해 제안된 알고리즘에 의해 이동했을 경우의 인식 및 통신범위가 센서 노드들이 무작위로 이동했을 때에 비해 훨씬 넓고, 거의 전체 공간과 같음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 2차원 수중 센서 네트워크 환경에서 육각 모자이크 모델을 적용하여 임계값에 따른 유니폼 포워딩 또는 직접 전송을 하는 향상된 하이브리드 전송 방법과 3차원 수중 네트워크 환경에서 인식 및 통신범위를 고려한 효율적인 알고리즘을 설명하였다.

시뮬레이션 결과에 따르면, 2차원 수중 센서 네트워크 모델의 향상된 하이브리드 전송 방법은 중앙 고리의 에너지 소비를 감소시켜 수중 센서 네트워크의 전체적인 생존 시간을 증가시킬 수 있다. 게다가 고리에 따라 각각 다른 주파수를 할당함으로써 네트워크 트래픽 부하를 더욱 줄일 수 있다. 이 결과는

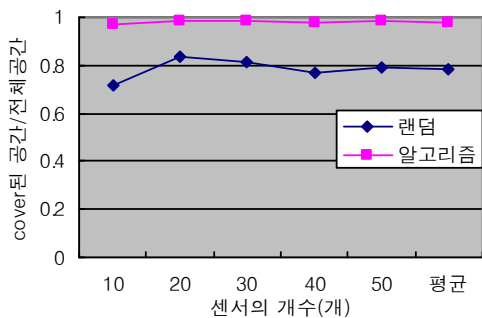


그림 18. 전체 면적에 대한 인식 범위 비율

설명된 방법이 다중 홉 포워딩 방법과 전송 거리를 고려하지 않고 주파수를 할당하는 하이브리드 전송 방법보다 훨씬 더 에너지 효율적임을 나타낸다[5].

3차원 수중 센서 네트워크 모델의 인식 및 통신범위를 고려한 알고리즘은 무작위로 센서를 이동했을 경우와 비교했을 때, 제안한 알고리즘이 비슷한 에너지 소비량으로 훨씬 더 넓은 인식 및 통신범위를 가질 수 있다. 이는 제안한 알고리즘이 에너지 효율적임을 의미한다.

참 고 문 헌

[1] N.N. Soreide, C.E. Woody, and S.M. Holt, "Overview of ocean based buoys and drifters: Present applications and future needs," 16th International Conference on Interactive Information and Processing System (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, Jan. 2004.

[2] I. F. Akyildiz, et al, "Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges," *Elsevier's Journal of Ad Hoc Networks*, Vol. 3, Issue 3, pp. 257-279, May2005.

[3] 이종근, 박현훈, 박진호, 김성운, "수중 센서 네트워크에서 향상된 인식 효율성을 위한 센서의 배치 및 이동 알고리즘," 대한전자공학회 하계 종합 학술대회 논문집, 제 30권, 제1호, pp. 63-64, 2007.

[4] J.H. Cui, J.J. Kong, M. Gerla, and S. Zhou, "Challenges: Building Scalable and Distributed Underwater Wireless Sensor Networks (UWSNs) for Aquatic Applications," UCONN CSE Technical Report: UbiNet-TR05-02, Jan. 2005.

[5] Sungun Kim, Hyunsoo Cheon, Sangbo Seo, Seungmi Song, and Seonyeong Park, "A Hexagon Tessellation Approach for the Transmission Energy Efficiency in Underwater Wireless Sensor Networks", *Journal of Information Processing Systems*, Vol. 6, No. 1, 2010.

[6] M. Ettus, "System capacity, latency, and power consumption in Multi-hop routed SS-CDMA wireless networks," *Proc. Radio and*

*Wireless Conf*, pp.55-58, Aug. 1998.

- [ 7 ] A. Mahapatra, K. Anand, and D. P. Agrawal, "QoS and energy aware routing for real-time traffic," *Wireless sensor networks Computer Communications*, Vol. 29, pp.437-445, 2006.
- [ 8 ] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-Informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing," Proc. Seventh Ann. Mobile Computing and Networking, July 2001.
- [ 9 ] R. J. Urick, Principles of Underwater Sound, McGraw-Hill, 1983.
- [ 10 ] R. Jurdak, et al, "Battery lifetime estimation and optimization for underwater sensor networks," *IEEE Sensor Network Operations*, Jun. 2004.
- [ 11 ] Q. Xue and A. Ganz, Maximizing sensor network lifetime: Analysis and design guides, In Proceedings of MILCOM, 2004.
- [ 12 ] Underwater Acoustic Modem. Available: [www.link-quest.com](http://www.link-quest.com).
- [ 13 ] Baase and Van Gelder, Computer Algorithms, Third Edition, Addison-Welsey Publishers, 2000.



**김 성 운**

1982년~1985년 한국전자통신 연구소 연구원  
 1985년~1995년 한국통신연구개발원 선임연구원 실장  
 1989년~1993년 프랑스 파리 7대학 석박사  
 1995년~현재 부경대학교 정보통신공학과 교수

2000년~2001년 미국 NIST 초빙연구원  
 2003년~현재 한국 ITU-T SG15 의장  
 2003년~현재 TTA PG201 프로젝트그룹 의장  
 2004년~현재 개방형컴퓨터통신연구회 이사  
 2008년~현재 ICT/환경융합표준포럼 의장  
 관심분야: 센서 네트워크, 수중 센서 네트워크, 센서 노드 이동성 지원 기술, USN, 그린ICT, DWDM, RWA 알고리즘



**박 선 영**

2007년 3월~현재 부경대학교 전자보통신공학과 Protocol 연구실 4학년 재학중  
 관심분야: 수중 센서 네트워크, 센서 노드 이동성 지원 기술



**천 현 수**

2009년 2월 부경대학교 전자정보통신공학과 졸업(학사)  
 2009년 3월~현재 부경대학교 정보통신학과 석사과정  
 관심분야: 센서 네트워크, USN, 센서 노드 이동성 지원 기술



**김 근 호**

2009년 2월 KAIST 전산학과 졸업(학사)  
 2009년 2월~현재 KAIST 전산학과 석사과정  
 관심분야: 이미지 프로세싱, 컴퓨터 비전, 대용량 이미지 기반 이미지 데이터베이스 검색