

해양 음파 센서 네트워크 구조 연구*

조용만⁰, 김상경, 김창화
한국정보과학회

{cs9235⁰, skkim98, kch}@kangnung.ac.kr

The Study on Underwater Acoustic Sensor Network Architecture

Yongman Cho⁰, Sangkyeong Kim, Changhwa Kim
Dept. of Computer Science, Kangnung national University

요 약

많은 무선 센서 네트워크의 연구가 진행되고 있지만, 해양 환경에서의 무선 센서 네트워크에 대한 연구는 이제 막 초기 단계에 접어들었다. 따라서 아직 모든 것이 해결해야 할 과제이며, 최상의 네트워크 구조 및 네트워크를 구성하는 노드들이 정해져 있지 않다. 본 논문에서는 기존에 제안된 해양 무선 네트워크의 구조를 비교 분석하고, 문제점 및 개선사항을 포함한 새로운 센서 네트워크 구조를 제안한다. 그리고 열악한 해양 환경에서의 네트워크를 구성하는데 필요한 센서, 센서 노드, 싱크 노드, 릴레이 노드, 게이트웨이 노드들의 특징을 기술한다. 특히 기존의 연구와 차별화된 릴레이 노드를 두어서 좀 더 유연하고, 연결성이 높은 네트워크를 형성하는 구조를 제안한다.

1. 서 론

현재 센서 네트워크는 과학, 산업, 정부의 거의 모든 분야에서 새로운 물결을 일으키고 있다. 최근 무선 통신 기술과 컴퓨팅 기술의 발달로 인하여 초소형의 센서 노드들이 개발되고 있다. 센서 노드들은 다양한 감지 작업을 수행하는 센서와, 감지되어진 데이터를 처리하기 위한 처리장치(sink node)와, 센서 노드들 간의 단거리 무선 통신을 위한 무선 송수신 장치(transceiver unit), 센서 노드의 전력을 공급하는 전력장치(power unit) 등으로 구성되어 진다[1]. 센서 네트워크는 이전의 네트워크와 많은 부분에서 차이를 보이고 있는데, 한정된 CPU 속도, 메모리 크기, 파워, 그리고 대역폭 등을 포함한 많은 제약사항을 가진 분산된 컴퓨팅 플랫폼으로 생각할 수 있다. 센서 네트워크는 센서들과 구동장치들을 통해서 물리적인 환경과 매우 강하게 상호 작용하는 것이 다르다[2]. 이러한 센서네트워크는 현재 전 세계적으로 매우 활발히 연구되어지고 있으며, 우리나라에서도 많은 투자와 미래 핵심 산업으로 육성되어 지고 있다. 하지만, 해양 환경에서의 연구는 미국 등 일부 국가에서 연구를 진행하고 있으나 연구 초기 단계에 있으며, 가시적인 연구 결과는 아직 나타나고 있지 않은 상태이다. 이에 본 연구에서는 해양 환경에 의한 악영향을 완화하거나 최소화할 수 있는 센서 네트워크의 기술에는 어떤 것들이 있으며, 기존의 환경과의 차별성은 무엇인지를 밝히고 새로운 네트워크구조를 제안한다.

현재까지의 센서 네트워크는 일반적으로 이 논문에서 제안하는 연구영역과 달리 지상에서 무선통신(RF)을 이용한 네트워크로서, 환경을 감지하고 감지하기 위해서 관찰 지역에 수백 수천의 센서 노드들을 뿌린다. 따라서 이런 센서 노드들은 매우 싼 가격으로 제조되어야 하며, 저전력 사용을 위해 낮은 전송량의 무선통신(RF)을 이용한다. 하지만, 해양환경에서 필요한 센서노드는 지상에서와 같이 아직까지는 싼 가격으로 제조가 어렵고, 통신을 위해서 음파모뎀(Acoustic modem)을 이용해야

하므로 전력소비도 상대적으로 많다. 2장에서는 본 논문의 연구내용과 유사한 연구들을 살펴보고, 3장에서는 이 관련연구들의 문제점 및 개선할 점을 보완한 새로운 구조를 제안하며, 해양 센서 네트워크를 구성하는 센서와 센서노드, 싱크노드, 릴레이 노드를 정의하고, 마지막 4장에서는 이 논문의 결론과 앞으로 해결해야 할 문제들에 대해서 기술한다.

2. 관련연구

이전에 해양 센서 네트워크의 구조에 관한 연구는 어떤 것들이 있었는지 살펴보고 이 논문에서 제안한 구조의 특징이 무엇인지 살펴본다. 먼저, [3]의 논문에서는 네트워크 노드들을 상호 연결하기 위해서 이용할 수 있는 centralized, distributed, multihop의 3가지 기본 토폴로지가 있다고 기술한다. centralized 토폴로지에는 허브(hub)라 불리는 중심 스테이션을 통해서 노드들 간의 통신이 이루어진다. 네트워크는 이 스테이션을 통해서 백본으로 연결된다. 2001년 John G. Proakis 등은 [4]에서 이 구조를 해양 센서 네트워크에 적용하는 것이 적합하며, 허브 노드는 해수표면의 부표로서 음파 통신과 RF통신 기능을 모두 가지고 있도록 한다. 하지만 이 구조에서는 만약 허브 노드에 장애가 발생하면, 네트워크 전체가 정지하는 단점을 가지고 있다[3].

[5]의 논문에서 Raja Jurdak 등은 그림 1과 같은 구조의 네트워크를 제안했는데, 이 네트워크는 멀티-홉 중앙 집중 토폴로지를 가진다. 베이스 스테이션인 루트가 몇 개의 가치를 가지는 구조로 되어 있으며, 센서 노드들이 모든 데이터를 베이스 스테이션, 한 방향으로만 전송하고, 이 데이터는 수집과 분석을 위해 육상으로 전송된다. 이 구조의 문제점은 사용자가 질의를 센서 노드로 보낼 수 없다는 것이다.

그림 1에서는 먼 거리에서 신호를 보낼 때 전력 소모를 줄이기 위해서 베이스 스테이션으로부터 멀리 떨어진 노드에서 데이터를 베이스 스테이션과 좀 더 가까운 노드로 향하는 멀티-홉 토폴로지를 고려해야한다. 이런 이유로 중계하는 노드들의 중계 비용을 최소화 하도록 노드들의 근접성을 가지고 몇 개의 클러스터로 나눈다. 각 클러스터 내에는 노드들이 계층으로 분리되어 진다. 이 구조에서는 베이스 노드에서 가장 멀리 떨어진 노드를 3계층으로 두면, 이것을 베이스 노드로 데이터를 전

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(IITA-2005-C1090-0501-0010)

송하기 위해서는 같은 클러스터내의 상위 계층인 2계층으로 전송하도록 함으로써 베이스 스테이션에 근접하도록 한다. 하지만, 이런 구조를 만들기 위해서는 노드들의 지역정보를 분석해서 클러스터를 구현해야하며, 장애 발생 때에는 노드들과의 경로가 고정되어 있어서 유연한 대처가 힘든 단점이 있다.

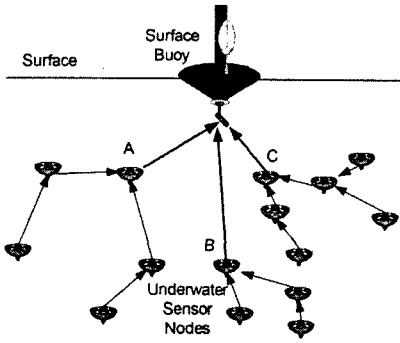


그림 1 해양 센서 네트워크의 예

[6]에서는 그림 2와 같은 네트워크 구조를 보여 주고 있다. 이 네트워크 구조에는 가장 아래의 층에는 다수의 센서들이 바다 바닥 근처에 전개되어 있고, 이 센서 노드(원)들은 적당한 가격과 컴퓨팅 파워와 저장 능력을 갖는다. 이 노드들은 배터리를 가지고 있으며, 짧은 거리의 음파 모뎀을 통해서 통신한다. 따라서 오랜 시간 사용을 위해서는 대부분의 시간을 sleep해야 한다.

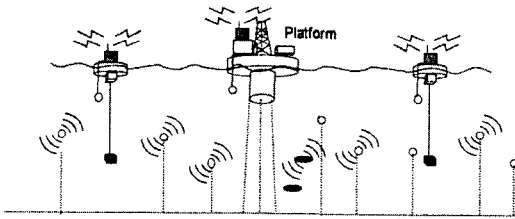


그림 2 4가지 유형의 노드를 가지는 네트워크

그림 2에서 가장 상위층의 노드는 인터넷이나 사용자와 유선 연결되는 하나 이상의 컨트롤 노드들이다. 이 컨트롤 노드는 상당한 컴퓨팅 자원을 가지고 있으며, 충분한 파워를 가지도록 되어있다. 높은 전송 속도를 가지는 슈퍼노드(Supernode: 사각형)는 구현 방법을 2가지정도 제안 하는데, 한 가지는 낫줄로 컨트롤 노드에 묶어서 고속 무선 통신을 하는 것이고, 다른 한 가지는 컨트롤 노드와 게이트웨이로 연결해서 고속 통신을 한다. 이 슈퍼노드는 훨씬 높은 네트워크 연결성을 제공하며, 해양 음파통신 네트워크에 대한 다수의 데이터 수집소 역할을 한다. 마지막으로 네 번째 노드는 로봇 잠수정(타원)이다. 이 네트워크에서의 문제점은 바닥의 센서 노드들이 클러스터를 이루지 않으므로 제한된 전력을 효율적으로 사용하는데 문제점이 있다는 것이다.

[7]에서 제안한 해양 음파 센서 네트워크의 구조는 2D와 3D로 나누어서 제안하였다. 그림 3은 2D 해양 센서 네트워크의 구조를 보여주고 있다. 이 네트워크에서도 바다 바닥에 고정 되어 있는 센서 노드와, 수직 수평으로 음파를 송수신할 수 있는 싱크 노드가 있으며, 이런 다수의 싱크노드와 연결된 수면의 수면-스테이션(Surface Station)이 존재한다. 3D의 차이 라면, 센서 노드가 바닥이 아니라 수중의 깊이에 따른 감지 데이터를 필요로 하는 시스템에서 다른 깊이에 위치하도록 바다

과 센서 노드들을 다른 깊이의 끈으로 연결된다. 수면-스테이션은 먼 거리 통신이 가능한 무선 통신이나 위성 통신을 이용해서 육지-스테이션이나 다른 수면-스테이션들과 통신한다. 이 네트워크 구조는 릴레이 노드의 사용이 없으므로 깊은 바다에서의 통신에 제약이 따르고, 수면-스테이션의 파워를 무제한으로 공급한다는 문제점을 가지고 있다.

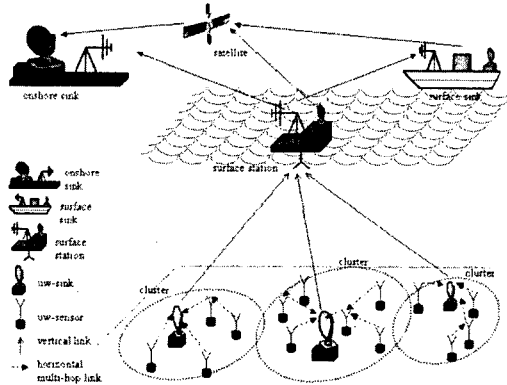


그림 3 2D 해양 센서 네트워크 구조

3 제안하는 구조

해양 센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크와 달리 물속에서 매우 느린 전송속도를 가지는 음파 모뎀을 통해서 데이터를 전달해야 하므로, 전송에 많은 에너지를 소모한다. 또한, 연구의 초기 단계라 제작되는 노드들이 아직은 매우 고가이므로 일반 센서 네트워크와 달리 일회성으로 쓰고 버리기에는 경제적 손실이 크므로 회수해서 재사용할 수 있도록 구현되어야 한다.

3-1 릴레이 노드를 가지는 해양 센서 네트워크 구조

이 논문에서 제안하는 해양 센서 네트워크 구조는 그림 4와 같이 센서 노드, 싱크 노드, 릴레이 노드, 게이트웨이 노드로 구성되어 있으며, 특별히 릴레이 노드를 필요로 하는 이유는 센서 노드는 감지와 통신 기능을 담당하기 때문에 전력소비가 상대적으로 높기 때문에 센서 노드의 기능을 단순화하는 것이 필요하다. 이에 따라 센서 노드의 기능은 감지 기능과 센싱된 데이터를 가까운 싱크 노드로의 전달 기능으로 제한하고, 싱크 노드는 관리 대상의 센서 노드들로부터 수집된 데이터를 모아 게이트웨이 노드를 경유하여 해양 센서 네트워크 관리 시스템으로 전달하여야 한다. 그러나 센서 싱크 노드와 게이트웨이 노드간의 거리가 멀 경우 게이트웨이 노드와 직접 통신하기 위해서는 센서 싱크 노드의 송수신 능력을 높여야 하는데 가능한 모든 상황에서 적절하게 적용하기에는 어려움이 따른다. 따라서 해양 센서 네트워크의 모든 배치 전력에 효과적이고 효율적으로 대응하기 위해서는 센서 싱크 노드와 게이트웨이 노드 간에 릴레이 노드를 두어 데이터를 전달하도록 하는 것이 합리적이다.

3-2. 해양 센서 네트워크의 노드 기능 정의

일반적인 센서 네트워크와 마찬가지로 해양 센서 네트워크도 환경을 감지하고 감시할 센서가 필요하며, 이런 감지된 데이터를 사용자에게 전달할 센서 노드가 필요하다. 센서 노드는 감지한 데이터를 멀리 떨어진 사용자에게 전달하기 위해서 다른 센서 노드의 데이터를 사용자까지 재전송 해주는 라우터역할도 포함된다. 또한, 센서 네트워크에서 생성된 데이터를 수집하는 싱크노드가 특별히 필요하다. 이외에, 육상의 싱크노드가 게이트웨이와 멀리 떨어져 있으면 릴레이 노드가 필요하다.

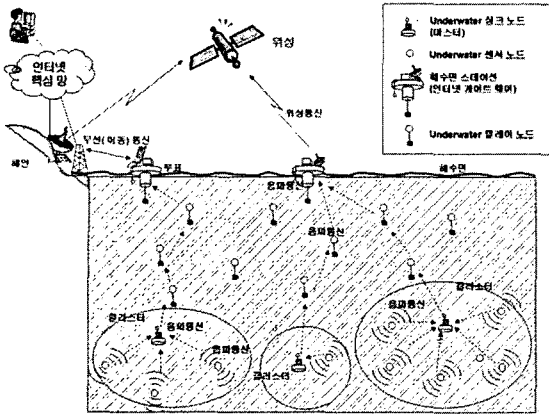


그림 4 릴레이 노드를 가지는 해양 음파 센서 네트워크

해양 센서 네트워크는 일반적인 센서 네트워크에서와 같이 센서가 필요하다. 해양환경에서의 센서는 다음의 특성을 갖는다.

- 수중에서 타겟 데이터를 감지하여 센서 노드로 전달
- 수중 생물에 의한 fouling을 감소시키기 위하여 기계적으로 작동하는 brush를 장착하거나, 전기적 화학적 표면처리를 함으로써 유지 보수를 용이하게 한다.
- 해양 환경을 모니터링하기 위한 센서의 하우징은 염화물에 의한 내부식성을 위하여 타이타늄으로 되어 있다.
- 높은 압력과 열악한 환경에서 센서의 수명과 유지 보수비용을 낮추기 위해서 고가의 재료 및 높은 기술비용으로 센서의 가격이 상당히 비싸다.

일반적인 센서 네트워크에서는 센서가 감지한 데이터를 생성하여 사용자(user)에게 전송하기 위해서 센서 노드가 무선 송수신장치를 이용하지만, 해양센서 노드는 음파모뎀을 이용하고, 센서와 마찬가지로 센서 노드도 하우징을 필요로 한다. 해양 센서 노드의 특징은 다음과 같다.

- 해양 센서로부터 감지된 타겟 데이터를 해양 센서 싱크 노드로 전달하거나 해양 센서 싱크 노드로부터 전달된 질의 처리 기능이 있다.
- 높은 장애율을 고려한 self-healing기술을 적용한다.
- 상대적으로 고가인 장치이므로 배터리 및 장애 발생 때 회수될 수 있도록 고안된다.
- 지상과 달리 음파통신으로 인한 배터리의 소모가 많아 스스로 물살이나 물속의 이온 등 주변 환경을 이용한 기계적, 화학적, 또는 태양에너지를 이용한 self recharging을 포함하도록 연구한다.[5]

센서 네트워크에서는 싱크(sink)라는 특별한 노드가 존재한다. 싱크 노드의 역할은 센서 네트워크에서 생성된 데이터를 수집하는 것이다. 보통 싱크 노드는 클러스터를 형성하고 네트워크를 조정하는 기능과 데이터 agregation 기능들이 포함되어, 센서 노드 보다 좀 더 강력한 컴퓨팅 능력과 더 많은 메모리를 가지고 있어야 한다. 해양 싱크 노드는 해양 센서 노드의 특징 외에 다음의 추가적인 특징을 가진다.

- 해양 센서 노드를 관리하고 해양 센서 노드로부터 수신한 데이터를 효율적으로 처리하여 릴레이 노드로 전달한다.
- 데이터 송수신을 위한 음파의 방향이 수직과 수평 모든 방향의 통신이 가능해야 한다.

이 논문에서 제안한 특별한 노드인 릴레이 노드는 깊은 수 km의 바다 속에서 수면으로 데이터를 송수신하기 위해서 필요한 노드이다. 릴레이 노드의 특징은 다음과 같다.

- 해양 센서 싱크 노드로부터 수신한 데이터를 최적화된 경

로를 통해서 게이트웨이로 전달하고 자율적인 센서 네트워크 구성 및 장애 관리 기능을 수행한다.

- 해양에서 일정한 높이와 위치를 가지도록 설계되어야 한다.

- 외부 환경에 대한 감지나 감시기능은 필요에 따라서 가능하다. 일반적으로 센서를 부착하지 않는 형태로 존재하므로 제작 가격은 센서 노드나 싱크 노드에 비해서 상대적으로 저렴할 수 있다.

또한, 센서 노드의 self-healing기술 및 회수 기술이 릴레이 노드에도 적용 될 수 있다.

추가로, 게이트웨이 노드는 릴레이 노드로부터 음파통신을 이용해서 수신한 데이터를 무선 통신을 통해서 위성 및 육상 스테이션으로 전달함으로써, 해양 센서 네트워크 시스템의 사용자에게 최종적으로, 수중에서 감지한 데이터를 이용가능하게 한다.

4. 결론

이 논문에서 제시한 해양 음파 센서 네트워크는 해양 바닥에서는 2차원의 수평적인 통신을 이용한 클러스터를 구성한다. 클러스터에는 센서 노드와 싱크노드가 있으며, 싱크노드가 코디네이터 역할을 수행한다. 이들 클러스터에서 수집된 데이터는 싱크 노드에서 취합 및 처리해서 릴레이 노드를 통해서 수면의 게이트웨이 노드로 수직적으로 음파 통신을 통해서 전달된다. 릴레이 노드가 어딘가에 묶여 고정되어 있는 형태가 아니라는 점이 기존의 네트워크와 다르며, 릴레이노드는 다른 모든 노드와 무선 통신을 행한다. 그리고 일반적인 센서 네트워크에서는 센서 노드가 매우 싼 가격으로 제작되어 감지 대상 영역에 뿌려지는 구조로 되어있지만, 현재까지 해양 센서 네트워크에서는 센서 노드가 고가의 장비로 구성되어있으므로 장애 발생이나 파워 소모로 인해서 분실되기 전에 사용자에게 알려 회수 할 수 있는 방안이 추후 연구과제로 남아있다. 또한, 향후 연구는 실제 해양 환경에서, 이러한 시스템을 구축하는데 필요한 소프트웨어 및 하드웨어를 개발한다.

참고문헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramania m, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEE E Communications Magazine 2002.
- [2] John A. Stankovic, Tarek F. Abdelzaher, Chenyang lu, Lui Sha , Jennifer C. Hou, "Real-Time Communicaiton and Coordination in Embedded Sensor Networks", Proceedings of the IEEE, Vol. 91, NO. 7, July 2003
- [3] K. Pahlavan and A. H. Levesque, "Wireless Information Networks", New York: Wiley, 1995
- [4] John G. Proakis, Ethem M. Sozer, Joseph A. Rice, Mili ca Stojanovic, "Shallow Water Acoustic Networks", IEEE C ommunications Magazine, November 2001.
- [5] Raja Jurdak, Cristina Videira Lopes, Pierre Baldi, "Batte ry Lifetime Estimation and Optimization for Underwater Sen sor Networks", IEEE Press, New York., 2004.
- [6] J. Heidemann, Y. Li, A. Syed, J. Wills, and W. Ye, "U nderwater sensor networking: Research challenges and pot ential applications.", USC/ISI Technical Report ISI-TR-2005 -603, 2005.
- [7] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, "Chal leges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks", ACM SIGBED Review, Vol. 1(1), July 20 04.