

수중통신과 해양센서네트워크 기술

강릉원주대학교 | 박성준

국민대학교 | 박수현*

강릉원주대학교 | 김상경 · 김창화*

1. 서론

지구 면적의 70%는 바다가 차지하고 있지만 바다 속은 인간이 접근하는데 한계가 있기 때문에 아직 미지의 세계이다. 해양은 많은 수중 및 해저 자원을 지니고 있는 것으로 알려져 있지만 접근의 한계성으로 인해 지상과 같이 많은 개발이 이루어지지 않아 지구의 마지막 보고로서 인식되고 있다. 해양에는 아직 발굴하지 못한 해양 자원이 무궁무진하며 이러한 해양 자원들을 발굴하여 이용한다면 경제적으로 많은 이윤을 얻을 수 있다. 해저에서 유전 및 메탄 성분의 가스 하이드레이트 등 대체 에너지 탐사·발굴 등이 그 좋은 예라 할 수 있다.

또한, 해양 환경은 예로부터 군사적으로도 매우 유용하게 이용되어 왔다. 대영제국은 해상을 장악함으로써 세계 곳곳의 여러 나라를 식민지로 거느린 적이 있으며 그 영향력은 오늘날까지 미치고 있다. 지금은 해상은 물론 수중에서 잠수함과 무인 잠수정의 군사적 활용이 수중에서 은밀히 이루어지고 있으며 얼마 전의 천안함 사태가 바로 이와 직접적인 관련이 있는 것으로 밝혀지고 있다.

한편으로 우리는 우리와 자손을 위해 쓰나미와 같은 해양 재난으로부터의 보호는 물론 해양 환경을 오염으로부터 방지하여 청정하게 유지해야 할 필요와 의무가 있으며, 장기적으로는 해양 동·식물 자원의 무분별한 포획과 석유와 같은 해저 자원 개발로부터 오는 피해를 막기 위해 해양 자원을 적절하게 관리해야 할 필요도 있을 것이다.

이러한 모든 것을 위해서는 넓고 깊은 바다 속에서 해양 자원이나 환경 혹은 바다 속의 물체들을 실시간

으로 지속적으로 모니터링하면서 데이터를 수집하고 필요에 따라 수중 장치나 장비를 제어하는 기술이 기본적으로 요구된다. 이 기술 개발을 위해 바다 속에서 수중 무선통신 기술과 해양 센싱 기술을 융합하고 수중 무선통신기술과 지상 통신을 연계하는 일종의 무선 센서네트워크 기술이 바로 해양센서네트워크기술이다[1,2]. 즉, 해양센서네트워크 기술은 사람이 지상에서 바다 속을 훤히 보면서 제어하고 관리할 수 있도록 하는 기술이라 말할 수 있다.

해양센서네트워크기술은 해양이라는 환경적 특성으로 인해 현재 지상 중심의 센서네트워크 기술을 그대로 적용하기란 거의 불가능하다. 지상에서 거의 모든 무선 통신은 전파를 이용하지만 전파는 수중에서 물이란 매질적 특성으로 인해 현저한 전파 감쇠 현상이 발생하여 통신 거리가 매우 짧고 높은 에러율과 전파 지연(propagation delay)등으로 인해 수중 통신에서의 활용은 어렵다[1]. 이외에도 바다 속에서의 노드 배치, 수중 위치인식, 전원 무선공급, 하우징, 해양 센서 등 해양의 환경적 특성으로 인해 지상과는 다른 차원의 기술적 문제들이 존재하며[1,2], 이 문제들이 함께 해결되어야 해양센서네트워크 기술이 실현된다.

본 논문에서는 해양센서네트워크 기술 실현을 위해 야기되는 문제들과 해결을 위한 방안을 모색해 본다. 이를 위해 2절에서는 먼저 해양에서 전파 통신의 문제점을 자세히 살펴보고 이 문제를 해결하기 위한 수중 음파 통신과 해양에서의 그 특성에 대해 소개한다. 3절에서는 수중 음파 통신 기반의 해양센서네트워크 시스템 아키텍처를 제안하여 시스템 구성요소들과 이들 사이의 상호작용을 제시함으로써 해양센서네트워크 기술개념을 소개하고, 4절에서는 해양센서네트워크 기술 구현을 위해 야기되는 문제점을 통신/네트워크상의 문제점과 환경적 문제점으로 나누어 제시하여 이에 대한 해결방안을 모색한다. 5절에서는 해양센서

* 종신회원

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-C1090-1021-0001).

네트워크 기술에 대한 국내의 동향을 살펴보고 6절에서 결론을 맺는다.

2. 해양에서 전파 통신의 문제점과 수중 음파 통신

서론에서 간략하게 언급했듯이 전파는 수중에서 매질 차이로 인해 통신상의 문제점을 가지기 때문에 현재로서는 음파가 수중통신을 위해 도입할 수 있는 유일한 수단이라 할 수 있다. 이 절에서는 이에 대한 좀더 상세한 설명과 아울러 해양에서의 수중음파 통신의 특성을 살펴보고자 한다.

2.1 해양에서의 전파 통신의 문제점

지상에서 정보를 전달하기 위한 반송파로 흔히 사용되는 전파(radio frequency, RF)를 해양을 포함하는 수중에서 사용할 경우, 송신한 에너지는 산란, 굴절, 흡수 등의 물리적 현상에 의해 거리에 따라 급속히 감쇠하게 된다. 특히, 주파수가 높을수록, 즉, 파장이 짧을수록 신호의 세기는 더욱 빠르게 감쇠되는데, 가장 멀리까지 전달되는 초장파(3~30kHz)를 사용할지라도 송출한 신호는 불과 30m 전후 밖에 도달하지 못하며 수신한 신호의 신뢰도도 매우 낮다. 또한, 전파를 송수신하기 위한 종단 소자로 안테나를 사용하는데 안테나의 크기는 파장의 길이에 비례하는 특성을 갖는다. 따라서, 저주파 전파의 파장이 매우 길다는 것을 고려할 때 수중에서 전파 송수신을 위한 하드웨어 구현 역시 현실적으로 불가능하다. 이에, 수중에서 무선으로 정보를 전달하기 위한 수단으로써 전파와는 상이한 전달 특성을 갖는 음파가 널리 사용된다.

2.2 해양에서의 수중 음파 통신

해양에서 음파를 전송하는데 있어 고려해야 하는 주요한 물리적 현상에는 음파전파(acoustic wave propagation), 해양잡음, 음파잔향 등이 있다. 상기 현상에 관하여 관심을 갖고 그 본질을 밝히려는 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 이는 수중 음파 통신을 위한 장비를 설계하고 운용하는데 있어 구체적인 자료가 되기 때문에 대단히 중요하다 하겠다.

음파전파에 있어 영향을 미치는 주요한 파라미터는 음속, 비음향 임피던스, 음파 흡수계수 등이 있다. 이 중, 해수에서 음속은 주로 수온, 염도, 압력(밀도) 등의 영향을 받아 결정되며 계절 또는 해역 등에 따라 약간씩 변동하기도 하는데 일반적으로 1,450~1,550m/s의 범위의 값을 가지며 대기 중 음속보다 약 4.4배 정도 빠르다. 그림 1은 수심에 따른 수온, 염도, 밀도의 변화 그래프이다. 일반적으로 해양은 깊이 방향으로

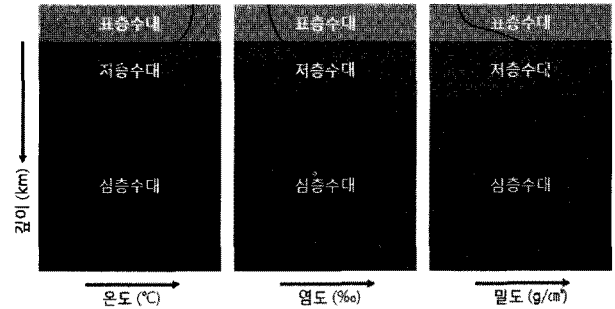


그림 1 해양의 깊이에 따른 수온, 염도, 밀도의 구조

고온 저염의 표층수와 저온 고염의 심층수로 이루어져 있으며 이 사이에 수온과 염분이 급격하게 변하는 수온약층(thermocline, 저층수)이 존재하며, 해역에 따라 수온약층 하부에 중층수가 존재하기도 한다. 또한, 해수 중 음속의 공간적인 분포를 살펴보면, 수평방향으로의 음속변동보다 수직방향으로의 음속변동이 심한 것을 관찰할 수 있다. 이러한 수중에서의 음파의 속도는 음파굴절에 영향을 미치며 음파전파의 특성을 파악하는 중요 요소가 된다.

음향학에서는 음속과 밀도를 곱하여 이것을 비음향 임피던스로 정의하고 있다. 음파가 전달될 때 음파의 반사는 음속 변동이 그다지 크지 않은 경우 비음향 임피던스가 서로 다른 경계면에서 일어난다. 해수의 음속과 그다지 다르지 않는 음속을 갖는 어떤 매질이 해수중에 존재하더라도 만일 그 매질의 비음향 임피던스가 해수의 비음향 임피던스와 같다면 음파는 전혀 이 매질의 존재를 구별하지 못하여 반사하는 일이 없이 그대로 투과하게 된다. 일반적으로 해수의 비음향 임피던스는 대기의 비음향 임피던스보다 약 4,400배 정도 크므로 해수에서 전달되는 음파는 공기와 접하는 해표면에서 매우 잘 반사하게 된다. 그리고 해저 퇴적물의 경우 바위, 모래, 펄 등에 따라 비음향 임피던스가 심하게 변동하므로 해수중 음파전파에서 해저면의 퇴적물이 중요하게 되는 것이다.

음파가 해수에서 전달될 때 해수 입자는 압축과 팽창을 반복하므로 음향 에너지의 일부가 해수 입자와의 점성 마찰 등에 의하여 열 에너지로 바뀌게 된다. 즉, 음향에너지의 감쇠가 일어나게 되는 것이며, 음파가 전달될 때 단위거리 당 음향 에너지의 감쇠율을 음파의 흡수계수로 정의한다. 해수의 경우 음향 에너지의 감쇠를 일으키는 요인으로 해수 입자의 점성 흡수 이외에도 해수 중에 미량으로 존재하는 황산마그네슘과 붕산의 완화 흡수가 있다. 일반적으로 해수에서 음파의 흡수계수는 강한 주파수 의존성을 갖고 있으며, 대략 주파수의 제곱에 비례하여 증가한다. 따라서, 음

파 흡수계수는 음파 통신을 위한 주파수를 결정할 때 고려하여야 할 중요한 파라미터 중의 하나가 된다.

신호를 다룰 때에는 잡음의 문제를 생각하지 않을 수 없으며, 해수 중에 자연적으로 존재하는 잡음을 해양잡음 또는 해수 주위잡음이라고 한다. 수중 음파 통신에서 주로 사용하는 주파수 대역의 경우, 해양잡음의 주 원인에는 해표면 위에서 부는 바람에 의하여 발생된 소리, 항행선박에 의하여 발생된 소리, 다양한 수중동물이 내는 소리, 그리고 해수의 분자활동에 의하여 발생된 열 잡음 등이 있다. 이러한 해양잡음은 목표로 하는 음향신호의 수신을 방해하기 때문에 주위잡음 특성을 파악하고 이를 적절히 제거하는 수신기 설계가 필요하다.

또한, 해수 중에는 수중음향학적으로 뚜렷하게 구명하기 어려운 다양한 부유물질이 존재하고, 해표면과 해저면의 비음향 임피던스가 해수의 비음향 임피던스와 서로 상이하며, 특히 해표면과 해저면은 불규칙한 거칠기를 갖고 있는 경우가 많다. 따라서, 해수 중에서 음파를 송신하면 수중음향학적으로 불투명한 이러한 부유물질, 해표면, 해저면으로부터 음파가 다중으로 반사되어 되돌아오는 것이 보통인데, 이런 현상을 통틀어 음파잔향이라 부른다. 음파잔향은 수중 음파 통신에서 해양잡음과 더불어 음향신호의 수신을 방해하므로 수중 음파 통신 시스템을 설계하고 구현할 때 그 특성을 고려하여 반영할 필요가 있다.

3. 해양센서네트워크 기술 개요

이 절에서는 수중음파 통신 기반의 해양센서네트워크 시스템 아키텍처를 제안하여 시스템을 이루는 구성요소들과, 각 구성요소들의 기능·역할, 그리고 이들 간의 상호작용을 정의함으로써 해양센서네트워크 기술에 대해 소개한다.

3.1 시스템 아키텍처

해양센서네트워크 시스템 아키텍처는 시스템이 구축되는 해역의 수심, 네트워크 규모 및 수중 노드의 수, 응용 등에 따라 달라질 수 있다. 그림 2는 해양센서네트워크 시스템을 위한 아키텍처를 예시한다. 그림 2에서와 같이 해양센서네트워크 시스템은 수중 센서노드, 수중 싱크노드, 수중 릴레이 노드, 해수면 게이트웨이로 구성된다. 그림 2에서 수중 센서노드는 해양 환경 데이터를 수집하여 수중 싱크 노드로 전송하는 역할을 담당한다. 수중 싱크노드는 클러스터 내의 수중 센서 노드들로부터 수신한 데이터를 병합하여 직접, 또는 수중 릴레이 노드를 거쳐 해수면 게이트웨이로 전송한다. 수중 릴레이 노드는 수중 싱크노드와 해수면 게이트웨이 간 거리가 멀어 직접적인 음파 통신이 불가능한 경우 라우터의 역할을 수행한다. 해수면 게이트웨이는 해양센서네트워크와 기간망간 연동장치로서 수집된 데이터를 인터넷을 통해 관제 센터로 전달하게 된다. 그림 2의 기본 아키텍처는 여러 가

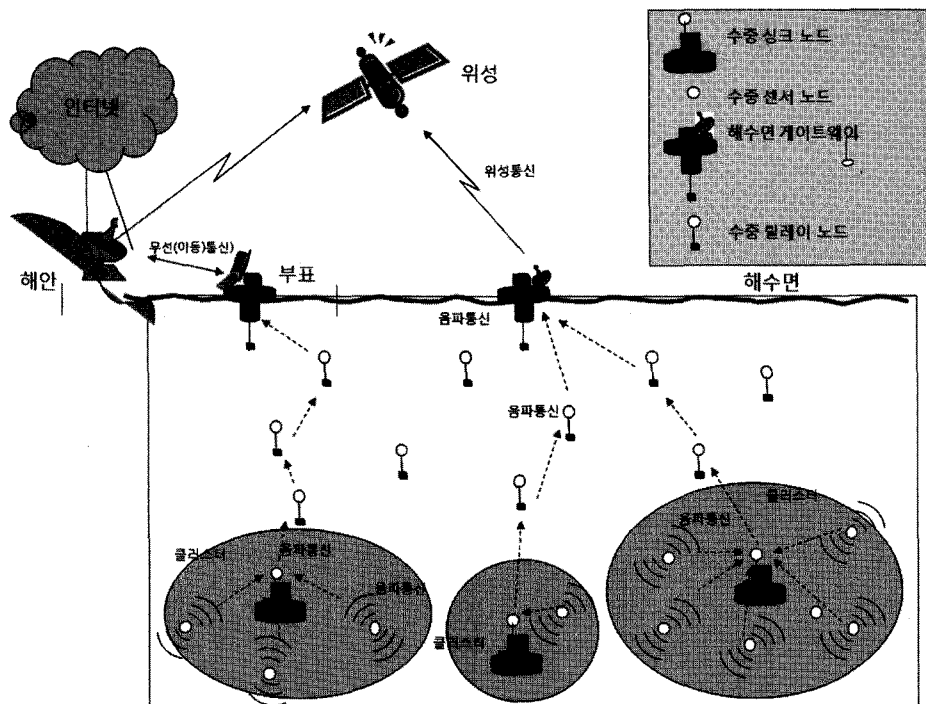


그림 2 해양센서네트워크 시스템 아키텍처

지 요인에 의해 변형될 수 있다. 예를 들어, 센서네트워크가 구축되는 해역이 수심이 얇은 근해일 경우 수중 릴레이 노드는 필요가 없다. 클러스터는 에너지 효율성 제고를 위해 이용되는데 수중 노드의 밀집도가 낮다면 클러스터 구성없이 peer-to-peer 형태로 통신하는 것도 고려될 수 있을 것이다. 해양센서네트워크는 지상에서의 센서네트워크에 비해 노드의 가격이 비싸고 설치가 용이하지 않기 때문에 네트워크의 강건성과 신뢰성을 높일 수 있는 아키텍처로 설계되어야 한다.

3.2 시스템 구성요소 기능

그림 2의 해양센서네트워크시스템 아키텍처에서 구성요소들 사이의 상호작용을 위한 기능과 역할에 대해 좀 더 상세히 설명하면 다음과 같다.

3.2.1 수중 센서노드

해양 환경의 각종 데이터를 감지하고 수집하여 상위 노드로 전송하는 기능을 수행하는 노드이다. 수중 센서가 부착되어 있으며, 음파 통신 기능을 이용하여 수집된 데이터를 수중 싱크노드로 전달한다. 기본적으로 클러스터를 (재)구성하는 과정에서만 다른 수중 센서노드와 통신을 하지만, 상황적인 필요에 따라 멀티홉 라우팅을 지원하도록 구성할 수도 있다. 액추에이터가 장착될 수 있으며, 자율적이거나 관제센터로부터의 명령에 의해 작동될 수 있다. 효율적인 에너지 이용을 위하여 센싱 및 데이터 전송 주기의 조절 등의 노드 관리 기능이 구현된다.

3.2.2 수중 싱크노드

클러스터를 구성하며, 클러스터 헤드(cluster head)로서의 역할을 수행하여 클러스터의 생성, 유지, 관리 등의 기능을 갖는다. 수중 싱크노드는 클러스터 형성 시 수중 센서노드들로부터 자율적으로 선출된다. 수중 센서노드들로부터 데이터를 수신하여 병합 기능을 수행하며, 병합된 데이터를 수중 릴레이 노드 또는 해수면 게이트웨이로 전송한다. 반대로 해양센서네트워크 시스템 관제센터로부터 들어오는 명령은 수중 센서노드로 전달한다. 수중 싱크노드는 일반 수중 센서노드보다 에너지 소비가 크기 때문에 센서네트워크 생존시간 연장을 위해서 주기적으로 교체될 필요가 있다.

3.2.3 수중 릴레이 노드

수중 싱크노드로부터 전달 받은 데이터를 해수면 게이트웨이를 향하여 전달하는 라우터의 역할을 담당한다. 수중 싱크노드와 해수면 게이트웨이가 직접 통신이 가능한 범위에 있다면 수중 릴레이노드는 사용되지 않는다. 그러나 수심이 깊거나 수중 센서노드들이

넓게 분포되어 있어 해수면 게이트웨이로의 직접적인 데이터 전달이 불가능하다면, 수중 릴레이노드의 역할이 요구된다. 이 경우 수신한 데이터를 최적화된 경로를 통해 해수면 게이트웨이로 전달하게 되며, 경로 장애 시 자율적인 복구 기능도 수행해야 한다. 수중에 노드를 고정적 배치하는 것이 쉽지 않기 때문에 수중 릴레이노드의 역할을 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)가 대신할 수도 있다. 필요에 따라서 수중 릴레이노드에 수중 센서를 부착하여 센싱 기능을 수행하게 할 수도 있다.

3.2.4 해수면 게이트웨이

해양센서네트워크와 인터넷간 연동을 담당한다. 수중 릴레이노드나 수중 싱크노드로부터 음향통신을 통해 수신한 데이터를 변환하여 인터넷으로 전달하며, 관제센터로부터의 명령은 반대의 과정으로 전달한다. 연안에서 가까운 근해에 설치되는 경우는 이동전화망을 이용하여 연동하며, 원해의 경우는 위성통신을 이용하게 된다. 해수면 게이트웨이는 GPS 송수신기, 위성(지상파) 모뎀, 음파 통신모뎀을 갖추고 태양열이나 파력에 의해 전원 공급이 자율적으로 가능한 형태로 제안된다.

4. 해양 센서네트워크 기술 구현을 위한 문제점과 해결방안

수중음파 통신 기반의 해양 센서네트워크 기술을 구현하기 위해서 여러 가지 해결해야 할 문제점이 존재한다. 이 절에서는 그 문제점들을 통신/네트워크 측면과 해양 환경적 측면으로 나누어 살펴보고 각 문제점들에 대한 해결방안을 모색하고자 한다.

4.1 통신/네트워크 측면의 문제점과 해결방안

통신/네트워크 측면에서 수중 음파 PHY 계층 기술, 수중 음파 MAC 계층 기술, 라우팅 및 상위 계층 기술들의 구현에서 발생하는 문제점과 그 해결방안을 모색하면 다음과 같다.

4.1.1 수중 음파 PHY 계층 기술

지난 오랜 기간 동안 음파를 매개체로 하여 무선으로 정보를 전달하는 수중 통신에 대한 연구가 꾸준히 수행되었다. 즉, 군사적 목적으로 개발되었던 SONAR 기술은 해양 자원 탐사를 위한 수중 모뎀의 연구 개발로 이어졌는데, 상기 연구들은 모두 원거리 통신을 위한 고출력 모뎀에 집중되어 있다. 한편, 해양센서네트워크를 구성하기 위해서는 저전력, 저가의 특성을 갖는 무선 모뎀의 개발이 필수적이며, 상기 수중 모뎀

구현을 위한 수중 음파 PHY 계층 기술은 크게 디지털 처리 기술, 아날로그 처리 기술, 트랜스듀서 구동 기술로 분류할 수 있다.

디지털 처리 기술은 다시 메시지 처리 기술, PHY 함수 처리 기술로 나눌 수 있다. 메시지 처리 기술은 상위 계층과 서로 효율적으로 정보를 교환하기 위한 프리미티브 관리 및 처리 기능을 포함하며, PHY 함수 처리 기술은 수중 정보 전송에 적합하도록 물리계층 기능을 구현하고 물리계층 프레임을 형성하는 기술을 말한다. 한편, 상기에서 물리계층 기능이라 함은 수중 채널에서 발생하는 신호의 왜곡 및 신호 간 간섭의 영향을 해소하기 위한 고효율 채널부호 기술 및 변조 기법과 복호기 및 등화기를 포함하는 수신 디지털 신호처리 기술들을 의미하며, 수중 채널에서 안정적인 데이터 전송을 위해서는 물리계층 기능의 복합적 설계 및 구현이 수행되어야만 한다.

아날로그 처리 기술은 상기 디지털 처리 기술에 의해 생성된 디지털 데이터에 대해 전송에 적합한 아날로그 신호처리를 수행하는 기술이다. 즉, 송신 측에서는 전송 거리를 확보하기 위한 고효율 증폭기를 구현해야 하며, 수신 측에서는 수신한 신호를 효과적으로 증폭하고 검출하는 블록을 구현해야 한다.

트랜스듀서는 전기신호는 음향신호로, 음향신호는 전기신호로 상호 변환하는 소자이다. 정보 전송의 효율을 향상시키기 위해서는 사용하는 트랜스듀서마다 상이한 송수신 특성 값들을 기반으로 이와 연동되는 모듈을 효과적으로 설계, 운용해야 한다.

4.1.2 수중 음파 MAC 계층 기술

해양 음파 채널은 긴 전파지연(propagation delay)과 수중의 물리적 특성으로 인해 높은 비트-에러(bit-error)를 야기한다[3]. 긴 전파지연으로 인한 데이터 충돌은 전송 효율을 감소시키고 에너지 소모량을 증가시킨다. 이러한 환경적 요소를 극복하고 수중에서의 효율적인 데이터 전송을 위해서 수중 MAC 기술이 필요하다.

수중 MAC 기술은 크게 경쟁기반 프로토콜(contention-based protocols)과 비경쟁기반 프로토콜(contention-free protocols)로 분류되어 연구되어왔다. 경쟁기반의 프로토콜로는 ALOHA, CSMA 기법 등이 있으며 비경쟁기반 프로토콜로는 TDMA, FDMA 기법 등이 있다.

경쟁 기반의 프로토콜은 랜덤 액세스(random access) 방식이기 때문에 다른 노드와의 전송충돌로 인한 에너지 소모가 많고 채널 감지(channel sensing)를 통해 랜덤하게 수신되는 신호를 제어할 수 있어야 한다. 이 방식 중 하나인 CSMA/CA 프로토콜은 이웃 노드들이

자신의 제어 패킷을 감지함으로써 송수신 시 발생하는 충돌을 회피하고 불필요한 에너지 소모를 줄인다. 하지만 언제 수신될지 모르는 신호를 위해 계속 채널을 감지하고 있어야 하므로 에너지 효율이 크게 향상되기 힘들다. 이러한 단점을 보완하여 여러 가지 경쟁기반의 프로토콜들이 제시되고 있다.

비경쟁 기반의 프로토콜은 예약 기반의 스케줄링 기법을 사용하기 때문에 전송 충돌을 미연에 방지하여 에너지 소모를 줄이는 방식이다. 예를 들어 TDMA 방식의 프로토콜은 시간을 슬롯으로 나누어 각 노드에 할당함으로써 노드를 관리하여 전송 충돌을 방지한다. 그러나 TDMA 기반의 프로토콜은 클러스터를 형성하여 통신을 하기 때문에 각각의 노드는 이웃 노드들의 스케줄을 저장하고 있어야 하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하여 여러 가지 비경쟁기반의 프로토콜들이 제시되고 있다.

수중통신의 문제점들을 해결하고 수중환경에 적합한 MAC 기술을 적용하기 위해 수중 특성을 반영한 underwater-NAV 기법이나 비콘(beacon) 신호의 전달 횟수나 전체 데이터 전송 횟수를 감소시켜 에너지 효율을 증대시키는 기법들이 연구되고 있다. 또한 수중의 환경 정보를 물리적 계층이 아닌 링크 계층 레벨에서 ML-LQI(MAC Layer-Link Quality Indicator)를 추정하여 수중 채널의 상태 변화에 적응적이고 노드의 이동성에 따른 토폴로지의 변화에 유연하며 에너지의 저전력 소모를 가능하게 하는 P-MAC(Preamble-MAC) 기법이 제안되었다.

4.1.3 라우팅 및 상위 계층 기술

앞서 기술한 바와 같이 수중 센서네트워크의 구현을 위해서는 많은 해결해야 하는 문제점들이 있다. 높은 비트 오류율, 페이딩, 다중경로에 의한 inter-symbol interference 문제 등은 물리계층과 데이터링크 계층에서 적절하게 해결될 수 있다. 그러나 지나치게 길고 가변적인 전파지연 문제 해결은 라우팅 등 네트워크 계층 이상의 상위 계층의 역할이 요구된다. 또한, 수중 링크의 대역폭이 낮고, 배터리 교환이나 충전이 매우 어려우며, 음파를 이용한 송신 시 필요한 전력이 수신 시 요구되는 전력의 100배 정도[4]되기 때문에 수중 센서네트워크의 라우팅 프로토콜은 지상의 센서네트워크의 프로토콜보다 훨씬 더 에너지 효율적이고 강건해야 한다.

수중에서의 라우팅 프로토콜은 해양센서네트워크의 토폴로지, 수중 노드들의 밀집도, 노드 이동성의 정도 [2], 네트워크가 구축되는 해역의 수심[5,6] 및 구축 규

모, 배치 전략 등을 고려하여 적용될 수 있다. 수중 노드들의 개수가 작고, 수직이나 수평의 선형적인 형태로 배치된다면, 평면적인 라우팅 기법[7]이 적합하며, 네트워크 규모가 크고 노드들의 밀집도가 높으면, 계층적인 라우팅 기법[8,9]이 유리하다. 한편, 센서네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전달을 위한 전송계층 프로토콜에 관한 연구도 진행되고 있다. 개별 센서 노드의 제어 및 관리, 센서노드의 수행작업을 재 프로그래밍하기 위한 코드 전송 등을 위하여 신뢰성 있는 데이터의 전달이 요구된다. 이를 위해 end-to-end 접근 방법과 hop-by-hop 접근 방법이 연구되고 있으나 해양 센서네트워크에 end-to-end 접근 방법은 적합하지 않다[10]. 수중 음파 통신 채널은 오류율이 높아 멀티홉 라우팅을 통해 종단 대 종단 간 성공적으로 데이터가 전달될 가능성이 0에 가깝다. 또한, 낮은 전파속도로 인해 지연시간도 길어 종단 대 종단 재전송을 통하여 오류를 제어하는 것은 매우 어렵다.

센서네트워크에 종속적인 여러 특징들과 응용의 다양성에 대한 요구사항을 충족시키기 위하여 네트워크 프로토콜과 응용 사이에 미들웨어가 필요하다. 센서네트워크 미들웨어의 주요 기능은 다양한 응용에 대해 시스템 서비스를 제공하고, 응용들을 지원하고 조정하며, 시스템 자원을 효율적으로 이용할 수 있도록 하는 것이다[11]. 특히, 수중에서는 환경적인 제약으로 인해 데이터 병합을 포함하는 질의 처리 및 최적화, 데이터 압축, 데이터의 효율적인 전송을 위한 데이터 저장 등의 기능이 더욱 강화되어야 한다. 한편, 해양센서네트워크에서 음파 통신에 따른 에너지 효율을 향상시키기 위해서는 센싱 및 전송 주기를 적절하게 조절하는 등의 노드 관리 기능의 개발이 필요하다. 이와 관련하여 질의어 기반의 노드관리 기술 개발, 서비스 디스커버리(discovery) 기술을 응용한 질의 플러딩 제한 등을 통해 에너지 효율적 미들웨어 기술을 해양센서네트워크에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다[12].

4.2 환경적 측면 문제점과 해결방안

해양 환경적 측면에서 해양센서네트워크 기술 구현을 위한 문제점과 그 해결방안을 제시하면 다음과 같다.

4.2.1 노드배치

노드가 주어진 위치에서 해양 환경을 모니터링하기 위해서는 그 노드가 해저나 수중에서 고정 배치되어야 한다. 그러나, 해양 환경은 바람과 조석에 의한 해류의 이동 때문에 해저나 수중에 노드를 고정 배치하는 작업은 현재로서는 일반적으로 지상에 비해 훨씬 어렵고 많은 시간과 비용이 요구된다.

해저나 수중에서의 노드 배치를 위해서는 해상에서의 평면적인 2차원 위치와 더불어 수중에서의 깊이를 고려한 3차원 위치가 고려되어야 한다. 수중에서 노드의 고정배치를 위한 방법으로 노드의 부력과 해류의 힘을 견딜 수 있는 무게의 앵커를 노드에 연결선으로 매달아 침수시키거나 혹은 해저 바닥에 앵커를 고정시키는 방법이 제시되어 왔다[1]. 이 때 연결선의 길이는 앵커가 놓이는 해저로부터 노드의 수중 위치를 고려하여 결정해야 한다.

바다의 깊이가 매우 깊을 경우 앵커를 지정된 위치에 놓이도록 하는 것 또한 매우 어렵다. 이를 해결하기 위해서는 노드를 해저에 고정 배치하기 위한 장치 및 장비 기술이 개발될 필요가 있으며 4.2.4절에 소개한 3차원 위치인지 기술 또한 필수적이다. 해양센서네트워크에서 AUV나 UUV와 같은 수중 이동체가 실시간 위치인지 기능을 갖춘다면 사용자의 명령에 의해 이동 위치 변경이 가능하므로 이들에 노드 배치 장치 혹은 로봇을 탑재해 노드를 배치하는 용도로도 이용할 수 있다.

3차원 위치인지 기능을 탑재한 AUV와 같은 수중 이동체를 노드로 활용하여 해류에 밀리더라도 다시 이동하여 고정위치에 머물도록 하는 기술을 개발할 수도 있다. 이를 위해서는 잦은 위치이동을 위한 영속적인 전력공급이 요구된다.

4.2.2 해양센서

해양 센서는 바다 속에서 무선으로 전력 공급이 이루어져야 하기 때문에 에너지 효율적이면서 소형이어야 한다. 그러나, 현재 개발된 해양 센서들은 일반적으로 전력 소비가 작지 않고 크기가 크고 무거우며 대부분 고가이다. 또한, 해양에 서식하는 생물과 염분으로 인해 센서부가 빨리 부식되어 수명이 짧아지는 일이 빈번히 발생한다. 이를 해결하기 위해서는 저전력의 소형 센서 기술, 부식에 강건한 센서부 재료 기술 및 하우징 기술 등을 개발해야 한다. 해양에서 센서 측정치의 정확도를 위해서는 수압, 염도, 온도 등의 해양 특성을 고려한 캘리브레이션(calibration)이 필수적이다.

한편, 일반적으로 해양 센서가 고가인 점을 감안한다면 4.2.3절에서 소개한 전원공급 고갈 직전에 노드 회수에 의한 배터리 교체 및 재배치에 의한 재사용이 필요하다.

4.2.3 전원공급

근해의 경우 유선으로 수중 센서노드에 연결 가능하지만 유선 비용이 많이 소요되며 심해의 경우 수중

에 넓게 분산된 수중 센서노드들에 유선으로 전원을 공급하기란 거의 불가능하다.

또한 심해에서는 지상이나 해상에서처럼 태양 에너지나 풍력 에너지를 이용할 수 없으며 지상과는 달리 사람이 접근하기 어렵기 때문에 무선 배터리 교체 또한 용이하지 않다. 따라서 해양센서네트워크에서 해수면 게이트웨이를 제외한 모든 수중노드들은 무선으로 전원이 공급되어야 하고 오랜 시간동안 지속되어야 한다.

이를 위해 단기 및 중기적으로 4.1절에서 소개한 각 통신/네트워크 계층 그리고 노드 H/W 및 해양센서 등의 기술에서 에너지 고효율을 위한 기술 개발이 필수적이다. 한편, 수중 센서노드에 부착된 해양센서들이 고가인 경우 전원이 고갈되기 직전에 수중 위치 고정을 위해 사용된 앵커로부터 센서들이 부착된 노드를 분리시켜 부력에 의해 해상으로 부상한 후 노드에 부착된 GPS와 전파통신으로 지상으로 해상 위치를 알려서 노드 회수 및 배터리 교체 그리고 재배치를 통해 다시 사용하는 방법도 고려해 볼만하다.

AUV나 UUV와 같은 자율 이동체의 경우 태양열이나 풍력 에너지를 이용하는 해수면 게이트웨이등과 같은 노드를 전원공급원으로 삼아 에너지를 공급받을 수 있는 도킹 시스템 기술 개발도 중장기적으로 요구된다. 또한, 에너지를 공급받은 AUV나 UUV가 수중에 고정된 노드들로 전원을 배급하는 도킹 시스템 기술도 연구될 필요가 있다.

하지만 수중 노드에 대한 영구적 전원공급을 위해서는 수중에서의 자가발전 기술이 장기적으로 연구 개발되어야 할 것이다.

4.2.4 위치인지

해양에서 수중은 해상의 평면적 특성과 깊이를 고려해야 하므로 3차원적 특성을 갖기 때문에 수중에서 위치인지를 위해서는 3차원 위치인지 기술을 이용해야 한다. 3차원 위치인지를 위해서 현재까지 지상 중심으로 연구 개발되어 소개되어 온 지상과 같이 TDoA (Time Difference of Arrival), AoA(Angle of Arrival), RSSI(Receiver Signal Strength Index) 기법들을 이용할 수 있지만 문제는 수중에서는 전파를 적용할 수 없기 때문에 전파를 이용하는 현 기술을 적용할 수 없다는 점이다. 이를 해결하기 위한 한 가지 방법은 전파 대신 수중 음파를 적용한 앞의 기술을 이용하면서 심해의 경우는 위치를 파악하기 어렵기 때문에 Range-based 기반에 신호처리와 확률 추론방법, 흡 기반의 좌표 방식[13,14]들을 보조적으로 이용할 수 있다.

그러나, 2.2절에서 이미 소개했듯이 수중 음파는 수압, 염도, 수온 등에 따라 그 전파 속도가 다르기 때문에 해양의 환경적 특성에 따라 보정하여 수중위치 오차를 줄이는 기술개발이 필요하다. 좀 더 정확한 위치인지를 위해 수중 음파 특성 이외에 다른 특성을 이용한 수중위치 인지기술도 모색해야 한다.

4.2.5 하우징

해저에서 수중 노드와 센서의 전자장비들을 물로부터 보호하기 위해서는 방수를 위한 하우징이 필수적이다. 또한 심해에서 매우 높은 수압으로부터 수중 노드 내부 장치들과 센서를 보호하기 위해서는 해저 깊이에 따라 적정 수압을 견딜 수 있는 하우징 케이스 구조 설계와 재질 특성이 중요하다. 하우징 케이스의 재질적 특성은 해양 생물이 하우징 케이스에 부착하여 분비하는 강한 산과 수중의 염분 등에 의한 부식으로부터 수중 노드 내부장치 및 센서를 보호하기 위해서도 매우 중요하다. 하우징 케이스의 모양, 크기, 구조, 그리고 재질은 수중 음파 모듈과 내부장치, 센서, 무선 배터리 등의 크기, 모양, 무게 등을 고려하고 아울러 노드의 기능과 노드간의 통신 거리, 노드의 수중 위치 및 주변 해양의 환경적 특성을 고려하여 결정할 필요가 있다.

5. 국내외 기술동향

앞 절에서 소개한 것처럼 수중음파 통신 기술과 이를 기반으로 한 해양센서네트워크 기술은 전파통신 기술과 이 기술 기반의 센서네트워크 기술에 비해 전 세계적으로 기능과 성능 면에서 아직 해결해야 할 문제들이 많이 남아 있다. 이 절에서는 국내외에서 어떤 기술들이 어느 정도의 성능과 기능을 가지고 연구·개발되었으며 또한 어떻게 진행 중인지를 소개한다.

5.1 국내동향

국내에서는 대학 및 한국해양연구원에서 90년대부터 연구가 진행되었다. 한국해양연구원의 경우 동해안 및 남해안의 실험역 실험에서 수 킬로의 거리에서 약 1Mbps 정도의 데이터 전송 및 정지 영상에 대한 전송을 성공하였다. 또한 경북대는 ADD의 지원으로 국방 수중 전술 네트워크 구축을 위한 기술개발을 진행하고 있다. 해저에서 외부로부터 별도의 전원 공급이 없이 무선 통신 및 네트워킹을 위해서는 저전력이면서 소형의 무선 센서 네트워크용 기술 개발이 요구되는데 강릉원주대학교의 해양센서네트워크시스템기술 연구센터는 ITRC 지원 사업을 통해 수중 센서 네트워크



그림 3 수중음파통신을 이용한 수중로봇 무선제어 시연

용 저전력 초음파 모뎀 원천 기술과 RF/초음파 게이트웨이 기술, 노드 관리 기술 등을 개발하였으며 현재 트랜스듀서 및 모뎀의 소형화를 통해 H/W의 성능 향상을 위한 기술 개발과 수중환경에 최적화된 데이터 전송 기법 등을 연구하고 있다. 올해에는 그림 3과 같이 수중음파통신을 이용하여 수중 로봇을 무선 제어하는 기술을 CDMA 기술과 연계하여 ITRC 포럼에 선보이기도 하였다.

5.2 국외동향

국외의 경우 수중 PHY 기술, 수중 MAC 기술, 상위계층 기술로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

5.2.1 수중 PHY 기술 동향

미국의 Teledyne Benthos[15], LinkQuest[16] 등의 회사에서는 이미 수 년 전부터 상용 통신 모뎀을 개발하여 판매하고 있다. 상기 회사들의 수중 통신 모뎀은 높은 전력을 사용하는 원거리 통신을 목적으로 하고 있으며 주로 해양 자원 탐사, 심해 조사 및 AUV 제어 등의 용도로 사용된다. 모뎀의 직경과 길이는 각각 20cm와 50cm 내외이고 수중에서의 무게는 5~10kg에 달하며 일반적으로 수백 WH의 배터리가 장착되어 있다. 또한, 최대 통신 거리는 10km 내외, 최대 통신 속도는 15kbps 내외의 성능을 제공한다.

한편, 최근 들어 해양 센서네트워크에 대한 관심이 커짐에 따라 저출력, 소형, 저가의 통신 모뎀에 대한 연구 역시 활발히 이루어지고 있다. 미국의 일리노이 대학교에서 CORAL이라는 시험적인 저출력 모뎀이 연구된 바 있으며[17]. 미국 우즈홀 해양연구소(WHOI)에서도 DSP 기반의 저출력 모뎀인 micro-modem를 설계 개발하는 등 모뎀의 소형화에 대한 연구를 진행하고 있다[18]. 또한, 영국의 Tritech사는 최근 Micron data modem을 개발하여 판매하고 있는데[19], 모뎀의

직경이 6cm, 길이가 8cm로 초소형 크기로 제작되었고 전송거리는 최대 500m를 지원하지만 전송 속도가 40 bps에 불과하여 실질적으로 해양 센서네트워크에 적용하기에는 적합하지 않다.

5.2.2 수중 MAC 기술 동향

수중에서의 데이터 통신을 효율적으로 하기 위해 크게 세 분류의 도전 과제에 대한 연구가 진행 중에 있다.

첫째로 수중환경의 긴 전파지연을 극복하기 위한 연구이다. 일반적으로 긴 전파지연에 의한 충돌을 회피하기 위해 비콘 메시지와 ACK 메시지를 활용하거나 노드간의 동기를 맞추기 위한 연구들이 진행되어 왔다. ALOHA 기반의 MAC 프로토콜[20]이나 CSMA 기반의 MAC 프로토콜[3]이 긴 전파지연을 고려한 MAC 프로토콜이다.

둘째로 센서네트워크의 근본적 문제인 에너지 소비에 관한 연구이다. 지상의 무선 통신 시스템과 마찬가지로 수중에서도 에너지 소비에 관한 문제는 동일한 도전 과제이다. 특히 수중은 충돌에 의한 데이터의 재전송 요구가 증가함에 따라 에너지 관리는 필수적으로 요구되는 분야이다. RTS/CTS를 이용한 동기화를 통해 충돌에 의한 데이터 재전송을 줄임으로써 전체 에너지 소비를 관리하는 UWAN-MAC 프로토콜[21]이 한 방법이다.

마지막으로 수중에서의 이동성을 고려한 데이터 통신 기법 연구이다. 기존의 수중 센서네트워크 시스템들은 고정된 노드들을 통해 데이터 통신을 시도하였지만 최근에는 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)와 같은 이동성을 고려한 데이터 전송 기법들이 연구되고 있다[22]. 이러한 이동성을 고려한 시스템은 고정된 노드로 이루어진 기존 시스템과의 결합을 통해 광범위한 센서네트워크 시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다.

5.2.3 상위계층 기술 동향

해양의 수중센서 노드는 해양 환경 데이터 수집, 재난 방지, 해양 자원 탐사, 항해 보조, 수중침입감지 등 다양한 응용을 위해 사용될 수 있다. 이러한 응용을 가능하게 하기 위해서는 수중 센서 노드간 통신이 필요하며, 나아가 멀티홉 네트워킹이 요구된다. 수중 센서네트워크의 상위계층 기술을 위한 연구는 Georgia Tech., MIT, Univ. of Connecticut 등 미국의 대학을 중심으로 연구가 진행되고 있다. 미국 Georgia Tech. 대학의 BWN 연구실은 2004년도에 Underwater Acoustic Sensor Networks(UW-ASN) 프로젝트를 통하여 해양센

서네트워크에 관한 연구를 시작하였다. 이후 수중 음파 센서네트워크를 위한 3차원 라우팅[23], 분산 라우팅 등 라우팅 알고리즘에 대한 연구를 꾸준히 수행하고 있다. 한편, 미국은 워싱턴 D.C.에 해양 관측 및 탐사 등을 목적으로 94개의 해양 연구소, 대학, 산업체로 구성된 'Consortium for Ocean Leadership'을 설립하였다. 이 컨소시엄의 프로그램 중 하나인 Ocean Observatories Initiative(OOI)에서는 해양 관측 시스템들의 네트워크에 대한 연구와 기술 개발, 교육을 하고 있다[24].

6. 결론

본 논문은 해양에서 전파 통신 활용의 문제점과 이를 해결하기 위한 수중 음파 통신 특성을 소개하고 수중 음파통신 기반의 해양센서네트워크 시스템 기술을 소개하였다. 또한, 해양 센서네트워크 기술 구현을 위해 야기되는 통신/네트워크 및 해양 환경적 문제점을 제시하고 이에 대한 해결방안을 모색하였다.

수중음파 통신모뎀 기술은 유럽과 미국의 몇몇 기업에서 상용으로 개발되어 판매하고 있다. 하지만 그 기술들이 전혀 공개되고 있지 않은데다 저전력 사용과 높은 전송률 등의 측면에서 아직 성능 개선의 여지가 많이 남아 있다는 점에서 아직도 많은 연구가 필요한 분야임에는 틀림이 없다. 국내의 경우도 수중음파 통신모뎀은 대학 IT연구센터와 국책연구원에서 국책사업으로 연구 개발되어 현재 기술이전과 함께 성능개선 단계에 있다.

수중 MAC 기술과 상위 레벨 기술은 국외의 경우 아직 기초연구 단계로서 현재 논문 중심으로 발표되고 있는 추세이다. 그러나, 국내의 경우 수중 MAC 기술이 이미 대학IT연구센터에 의해 프로토타입으로 개발되어 현재 그 기능을 확장하고 있는 등 매우 빠르게 움직이고 있다. 노드 배치 기술과 수중에서의 위치인식 기술 등 그 외의 기술들은 국내외에서 간간이 연구 발표 되어왔지만 아직 활용할 만한 획기적인 기술은 개발되지 못했다.

이와 같이 해양 센서네트워크 기술은 대부분의 세부기술들이 세계적으로도 아직 성능개선의 여지가 높거나 가시화되지 않았기 때문에 연구개발해야 할 과제들이 많이 남아 있다. 따라서 국내에서 신속히 세부 기술을 먼저 개발하여 국방 분야, 해양자원 탐사 및 발굴, 해양 동식물자원 관리, 쓰나미 등의 재난 방지, 해양감시 및 환경오염 방지등과 같은 분야에서 활용한다면 기술적 측면에서는 물론 경제 및 산업적 측면

에서도 국가 경쟁력 확보에 큰 도움이 될 것으로 확신한다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyil diz, D. Pompili, and T. Melodia, Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges. Ad Hoc Networks (Elsevier), May. 2005.
- [2] J. H. Cui, J. Kong, M. Gerla, and S. Zhou, "Challenges: Building scalable and distributed underwater wireless sensor networks (UWSNs) for Auqatic Application," UCONN CSE Technical Report, Jan. 2005.
- [3] Y. Chen and H. Wang, "Ordered CSMA: A collision-free MAC protocol for underwater acoustic networks," in Proc. of MTS/IEEE Oceans 2007, Sep. 2007.
- [4] J. Partan, J. Kurose, B.N. Levine, "A survey of practical issues in underwater networks," in Proceedings of ACM International Workshop on Underwater Networks (WUWNet), pp. 17-24, September 2006.
- [5] M.C. Domingo, R. Prior, "A distributed clustering scheme for underwater wireless sensor networks," in Proceedings of 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), Athens, Greece, September 2007.
- [6] M.C. Domingo, R. Prior, "Design and analysis of a gps-free routing protocol for underwater wireless sensor networks in deep water," in Proceedings of UNWAT 2007, Valencia, Spain, October 2007.
- [7] N. Nicolaou, A. See, P. Xie, J.-H. Cui, D. Maggiorini, "Improving the robustness of location-based routing for underwater sensor networks," in Proceedings of IEEE OCEANS'07, Aberdeen, Scotland, June 2007.
- [8] W. KG Seah, HX Tan, "Multipath virtual sink architecture for underwater sensor networks," in Proceedings of the MTS/IEEE OCEANS2006 Asia Pacific Conference, Singapore, May 16-9, 2006.
- [9] P. Yun, C. Kim, S. Kim, J. Kim, "Scalable uniformly-distributed clustering mechanism for sensor networks," in Proceedings of the 2nd IEEE/IFIP International Workshop on Ubiquitous Underwater Sensor Network (UUWSN'08), pp.61-68, December, 2008.
- [10] P. Xie, J.-H. Cui, "SDRT: A reliable data transport protocol for underwater sensor networks," UCONN CSE Technical Report: UbiNet-TR06-03, February 2006.

- [11] Y. Yu, B. Krishnamachari, V. K. Prasanna, "Issues in designing middleware for wireless sensor networks," IEEE Networks, pp.15-21, Jan.-Feb. 2004.
- [12] K. Ji, C. Kim, S. Kim, "Implementation of energy-efficient node management in wireless sensor networks," FGNC 2008 Workshops SNA 2008, December 2008.
- [13] Nicolas Nicolaou, Andrew See, Peng Xie, Jun-Hong Cui, Dario Maggiorini, "Improving the robustness of location-based routing for underwater sensor networks," In Proceedings of MTS/IEEE OCEANS conference, Aberdeen, Scotland, June 18-21, 2007.
- [14] Vijay Chandrasekhar, Winston KG Seah, Yoo Sang Choo, How Voon Ee, "Localization in underwater sensor networks - survey and challenges" WUWNet'06, September 25, 2006, Los Angeles, California, USA.
- [15] Teledyne Benthos, <http://www.teledynebenthos.com>
- [16] Linkquest, <http://www.link-quest.com>
- [17] S. Pandya, J. Engel, J. Chen, Z. Fan and C. Liu, "CORAL: miniature acoustic communication subsystem architecture for underwater wireless sensor networks," in Proc. IEEE Sensors, Irvine, CA, pp. 163-166, Oct. 2005.
- [18] WHOI, <http://acomms.who.edu>
- [19] Trittech, <http://www.tritech.co.uk>
- [20] N. Chirdchoo, W.-S. Soh, and K. C. Chua, "ALOHA-based MAC protocols with collision avoidance for underwater acoustic networks," in Proc. of 26th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM'07), pp. 2271-2275, May. 2007.
- [21] M. K. Park and V. Rodoplu, "UWAN-MAC: An energy-efficient MAC protocol for underwater acoustic wireless networks," IEEE J. Oceanic Engineering, Vol. 32, No. 3, pp. 710-720, Jul. 2007.
- [22] I. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin, P. Corke, "Data collection, storage, and retrieval with an underwater sensor network," in Proc. of the 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2005.
- [23] D. Pompili and T. Melodia, "Three-dimensional routing in underwater acousticsensor networks," in Proc. of ACM International Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks, October 2005.
- [24] Consortium for Ocean Leadership, <http://www.ocean-leadership.org>

약력



박성준

1996 연세대학교 전과공학과 공학사
 1998 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사
 2004 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사
 2003~2005 삼성전자 정보통신연구소 책임연구원
 2005~현재 강릉원주대학교 전자공학과 조교수
 관심분야 : Mobile communication, Underwater

Communication, Wireless Sensor Network

E-mail : psj@gwnu.ac.kr



박수현

1988 고려대학교 컴퓨터학과 이학사
 1990 고려대학교 대학원 수학과 전산학전공 이학석사
 1998 고려대학교 대학원 컴퓨터학 이학박사
 1990 (주) LG전자 중앙연구소 선임연구원
 1999~2001 동의대학교 공과대학 컴퓨터·소프트웨어 공학부 조교수

트웨어 공학부 조교수

2002~현재 국민대학교 정보시스템 전공 부교수

관심분야 : Ubiquitous Computing, Underwater Sensor Network

E-mail : shpark21@kookmin.ac.kr



김상경

1985 고려대학교 전자공학과 졸업
 2002 고려대학교 대학원 공학박사
 1987~1989 (주) 삼성반도체통신 주임연구원
 1989~2004 주식회사 케이티 선임연구원(부장)
 1994~1995 TINA 국제연구소사우 Core-Team 연구원 (미국 Bellcore)

2004~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : Wireless Mobile Network, Underwater Sensor Network

E-mail : skkim98@gwnu.ac.kr



김창화

1985 고려대학교 수학교육과 이학사
 1987 고려대학교 대학원(전산학 전공) 이학석사
 1990 고려대학교 대학원(전산학 전공) 박사학위 취득
 1994~1995 캐나다 University of Toronto, Enterprise Integration Lab. Post-Doc. & Visiting Professor

2002~2004 미국 Texas A&M 대학 Visiting Scholar

1989~2010 현재, 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수

2005~2010 현재, 강릉원주대학교 ITRC(해양센서네트워크시스템기술연구센터) 센터장

관심분야 : Underwater Communication and Sensor Network

E-mail : kch@gwnu.ac.kr