

국방전술을 위한 수중 센서 네트워크 기술

박현문*, 박수현*, 김창화**, 김상경**
국민대학교*, 강릉대학교**

요약

해양은 육지, 공중과 같이 매우 중요한 국방전술 대상으로 수중 통신은 물론 수중과 지상을 연결하는 네트워킹 기술이 요구된다.

본 고에서는 해양에서 국방전술통신에 도입하기 위한 수중 센서 네트워크 시스템 기술에 대해 소개하며 이를 위해 해양 환경 분석과 더불어 해양에 알맞은 수중 센서 네트워크 시스템 모델을 제시하고 모델 각 구성요소의 기능에 대해 소개한다. 또한, 각 구성요소 기술 개발에 필요한 통신 프로토콜 계층 별 요구사항과 필요 연구를 소개하고 국내외 기술개발 동향에 대해 살펴본다.

1. 서론

국방 전술에 있어 통신은 이제 필수적 요소가 되었다. 육지와 공중 사이에는 전파를 이용하여 상호 통신하는 기술이 벌써 오래 전부터 개발되었으며 지상과 공중을 연계한 국방 전술이 이미 보편화되어 있음은 누구나 명백히 잘 아는 사실이다. 해양은 육지, 공중과 더불어 국방 전술에 있어 매우 중요한 대상 중의 하나임은 두말할 필요도 없다. 항공모함에 탑재한 미사일 등으로 해상에서 지리적으로 먼 내륙 국가를 공격하는 방법도 사용한다. 바다 속과 같은 수중에서의 국방전술은 국방에 대한 취약성과 기회를 동시에 가지고 있다. 예를 들어, 수중에서의 모니터링과 대응, 해저를 통한

지상으로의 침입, 해저를 통한 수중진, 그리고 해저로부터 무기 발사를 통한 지상의 목표물 공격 등 해저는 육지나 공중처럼 전쟁 무기와 장비를 노출시키지 않으면서 국방 전술에 매우 유용한 가치를 지닌 대상임에는 틀림이 없다.

이와 같이 바다 속을 국방전술에 매우 유용하게 활용하기 위해서는 지상과 같이 바다 속에서도 통신이 자유로워야 하며, 이와 더불어 수중과 지상을 연결하는 통신도 자유로워야 한다. 그러나, 지상과 해상은 전파를 이용하여 통신이 가능하지만 수중에서는 매질 차이로 인해 전파 세기의 급격한 감쇄효과, 높은 에러율 등으로 인해 전파를 사용할 수 없다.

최근 미국과 일본, 영국을 중심으로 향후 국방과 경제면에서 큰 파급효과를 예상하고 수중활동의 급격한 수요증가 대비를 위해 필요한 수중 무선통신망 기반 확보를 통한 글로벌 통신체계 실현을 도모하고 있다[1][2]. 해양 네트워크는 미국의 스크립스(Scripps) 연구소, 우즈홀(Woodshole) 연구소, AT&T, TI(Texas Instruments)에서 1994년도부터 연구를 시작하였으며, 1990년대 말부터 DARPA 및 NIST지원으로 MILCOM (International Military Communications Symposium)에서 수중 통신 관련 연구결과들이 발표되었다. 하지만 본격적으로 해양 센서 네트워크를 위한 통신 방법 및 구조에 대한 논의 및 연구는 하드웨어적으로 저전력 소형화에 대한 개발이 가능한 2000년대 초반부터 시작하였다. 초기에는 네트워크 구조, 하드웨어 전송 기법이 연구되었으며, 이후에는 데이터 전송과 OFDM같이 보다 많은 데이터를 보내기 위한 전송 방법에 관한 연구가 진행되었다[3]. 또한 해양에서 영상 전송 및 해저의 다중 노드에 대한 연구들이 진행되고 있으며[6], 앞으로는 고속의 데이터를 전송하면

서 저전력의 소형화된 해양 노드들이 개발될 것으로 예측된다.

수중 센서 네트워크를 국방전술에 응용할 경우 원격지에서 수중 물체의 위치 추적 및 AUV의 원격 제어와 원격리 감시정찰, 수중 무기 제어 및 관리가 가능해진다. 또한 잠수함에서도 지상과 통신하기 위해 부상할 필요 없이 수중에서 음파(acoustic)를 가지고 해수면 부표의 게이트웨이를 통해 지상과 통신이 가능해진다[12].

(그림 1)에서와 같이 심해에 실시간 관측노드와 어뢰를 연동한 시스템 및 입체적인 구성을 예상할 수 있으며, AUV 및 잠수정(SSM, KSS)과 대잠함(DDE, ASW), 해상초계기와 동시에 3차원 감시가 가능하다.

또한, 해양에서 탐지 정보를 이지스함의 C4ISR 종합통제 감시 체계와 연계한 통합 해양 감시체계의 기반 구축이 가능하다. 이와 같이 음파를 이용한 무선통신의 연구 및 개발이 활발하게 이루어질 경우 수중, 해상, 육상, 공중을 아우르는 통합 전술 통신망이 가능하다.

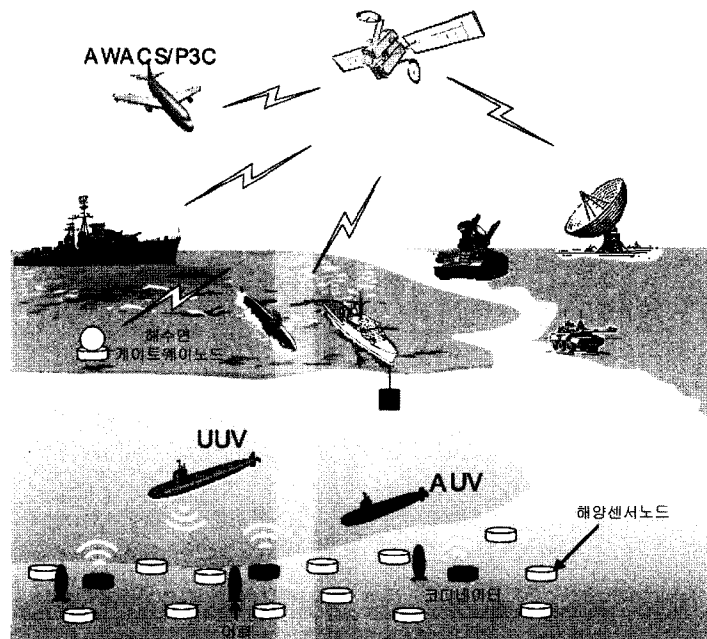
본 고에서는 바다 속에서의 수중 센서 네트워크 기술을 소개하기 위해 II절에서 해양 환경 분석 및 네트워크 구조에 대해 설명하고, III절에서는 수중 네트워크에서 해양 센서

노드들의 통신을 위한 프로토콜 계층별 요구사항과 기타 요구사항에 대해 소개한다. 그리고 IV절에서는 국내의 해양 네트워크의 동향에 대해 소개한다. 마지막으로 V절에서 결론을 맺는다.

II. 해양 환경 분석 및 네트워크 구조

1. 환경적 분석

수중에서 RF를 이용한 통신은 바닷물이라는 매질의 차이로 인하여 지상과 다르게 통신 거리가 급격하게 짧아지기 때문에 해양 환경에서는 보다 원거리 전송이 가능하도록 음파통신을 이용한다. RF에 비해 음파 장비는 상대적으로 크고 정보전달을 위한 대역폭이 작을 뿐 아니라 전력 요구량이 크다. 음파의 중심주파수가 20kHz일 때에 15도에서 약 1.463km/s로 전달되며, 이는 공기 중에서 보다 약 4배 빠르다. 그러나 음파는 염도, 해류, 파도, 어류, 미생물 및 해저 지형의 반사 등에 의하여 산란·분산된다. 무엇보다 중요한 것은 수온의 변화에 따라 음파의 속도 및 범위가 민감하게



(그림 1) 국방전술용 수중 센서네트워크 모델

달라진다는 점이다. 이러한 해양 환경에서 수중 네트워크를 구축하기 위해서는 다음과 같은 문제점들을 해결해야 한다.

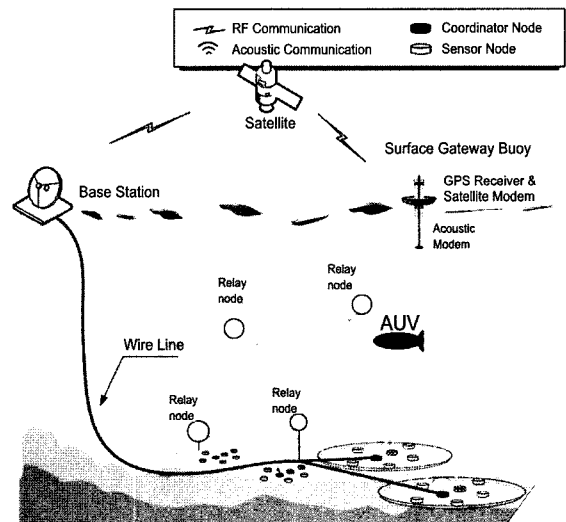
- 전파지연(Propagation delay)은 주파수 신호($1.5 \times 10^3 \text{m/sec}$)가 RF($3 \times 10^8 \text{m/sec}$)를 사용할 때보다 훨씬 느리다. 또한 바다에서의 전송 에러율은 10^3 에서 10^2 으로 지상환경에서 RF의 $10^6 \sim 10^{12}$ 에 비해서 매우 열악하다.
- 이용 가능 주파수 대역폭이 매우 제한적이다. 주파수 대역은 탐지 목적으로 사용하는 주파수 대역과 데이터 전송 주파수 대역으로 이루어져 있으며, 데이터 전송을 위해서 10~50kHz의 범위를 사용한다.
- 전파경로에 대한 경로손실, 멀티 패스(multi-path), 도플러 확산(Doppler spread), 잠음 등의 문제로 인하여 통신 에러율이 높고, 연결에 대한 일시적인 손실이 발생한다. 특히 direct path, surface duct, bottom bounce, convergence zone, deep-sound channel, reliable acoustic path 의 문제로 인하여 멀티 패스 전달에 의한 신호의 상호간섭(inter-symbol interference)이 유발된다.
- 해양환경에서는 지상 통신보다 많은 전력을 소모한다. 노드 사이의 거리가 멀고 센서 노드들의 수신 측에서 보다 복잡한 시그널 신호처리를 필요하기 때문이다.
- 해양 네트워크 노드들이 수평과 수직적으로 모두 분포될 수 있기 때문에 2차원 기반의 네트워크 구조보다는 3차원 기반의 네트워크 구조가 요구된다.
- 해양의 네트워크에서 해저 바닥의 일부 완전히 고정된 노드를 제외하고는 이동성의 요소를 지닌다. 가장 큰 이동 요소를 지니고 있는 것은 해수면 위에 존재하는 부표이며 최대 3~6km/h의 이동성을 가진다[19]. 또한 네트워크에 고정되어 있는 노드도 해저에서의 모래폭풍 등의 영향으로 이동하거나 유실될 가능성이 있다.
- 계층별 음파의 특성이 다르다. 온도, 염도, 수압에 따라 매우 의존적이다. 심해로 갈수록 음파의 진행 방향이 빨라지며, 표층수(surface layer)의 경우 지역과 일교차 그리고 바람의 영향을 받아 음속의 분포가 가변 하는 계층($\leq 500\text{m}$)이다. 계절적 수온 약층(seasonal thermocline)은 계절적인 온도의 변화에 따라 음속이 변화하며, 온도가 상승함에 따라서 음파속도가 점차 빨라지는 특징을 보일 수 있으며, 해저 등은 계층(deep isothermal layer)에서는 깊이에 따라 음속이 일정비율로 증가한다.

해양 센서 노드의 경우 배터리가 소모되어 노드의 동작이 멈추면 이는 다시 재충전하거나 교체되지 않는다. 그런 이유로 전력의 사용을 효율적으로 하여 클러스터를 구성한 네트워크의 생존시간 (lifetime)을 최대화할 수 있어야 한다. 근해에서는 센서 노드의 배치를 위치기반으로 정확하게 이루어질 수 있지만, 원해에서는 배치가 일정하게 이루어지기 어렵기 때문에 노드의 밀집도가 높게 되어 같은 지역의 명확한 위치를 파악하기 어렵다. 그렇기 때문에 그에 따른 별도의 네트워크 구조가 요구된다.

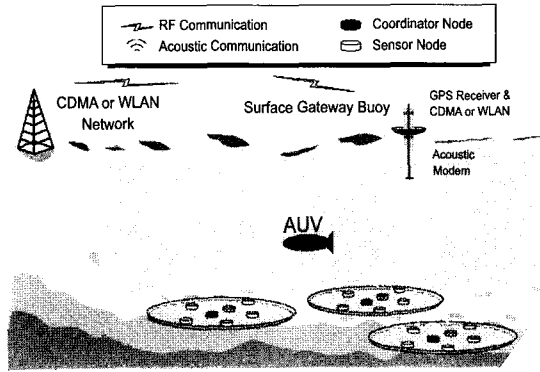
2. 해양 센서 네트워크 구조

해양 네트워크는 수상 및 수중을 포함하는 해양 네트워크 구축 모형이 제안되고 있다. 전원의 공급을 기준으로 이를 구분하는데, (그림 2)와 같이 해양 네트워크 모형은 크게 두 가지로 최근에 논의되고 있다. 그림 a)의 경우 근해의 네트워크 모델로 케이블로 연결된 네트워크 모델이 제안되고 있으며[8][9][10], 그림 b)는 원해와 심해의 네트워크 모델로서 제안되고 있다. 한편, 이 두 가지 네트워크 모델은 다음에서 설명되는 공통적인 구성요소가 존재한다.

두 모델은 모두 공통적으로 해저에서 모니터링 및 감지 기능과 데이터 수집 기능, 그리고 수집 데이터의 전송 기능을 갖는 센서 노드, 노드들의 그룹(cluster)을 통제하고 관리하는 기능을 갖는 코디네이터 노드(coordinator node), 그리고



a) 해저 케이블 기반의 수중 네트워크



b) 음파통신 기반의 수중 네트워크
(그림 2) 해양 환경에 따른 네트워크 구조

해면 노드로부터의 데이터 송수신을 연계하고 노드와 코디네이터를 관리하는 역할을 하는 릴레이 노드(relay node)를 포함한다. 릴레이 노드 대신 AUV(Autonomous Underwater Vehicles) 혹은 ROV(Remotely Operated Vehicles)를 이용하여 해저에 있는 노드들을 제어하고 관리하는 기법도 제안되었다[9]. 두 모델은 또한 해수면 위에서 부표(buoy)에 장착되어 동작하는 해수면 게이트웨이(surface gateway buoy)를 포함한다. 해수면 게이트웨이의 기능은 해저와 육지 사이에 브리지 역할이다. 그렇기 때문에 해수면 노드는 근해(Home water)와 원해에 따라 지상과 통신 구성 요소가 달라질 수 있다. 이것은 국방에서의 해양 모니터링을 위한 시스템과도 연관될 수 있는데, 수백 미터의 해저에 배치한 수백 개의 센서 노드에 대한 전원 공급 방법이 없다. 그렇다고 해서 해양 노드를 수 미터 크기로 만들어 배치하는 것도 기밀성의 문제를 유발할 수 있기 때문에 적합하지 않다. 물론 최근에 제시되고 있는 AUV를 통한 배터리 교체 방안도 있지만, 아직 연구단계로 2010년 이후에나 가능할 것으로 예상된다. 기본적으로 해양에서 구성되는 모든 노드는 수중에서는 음향 통신 기능을 가지고 있으며, 전원 관리에 대한 기능을 기본적으로 하고 있다.

해양에서 수중 센서 네트워크를 구성하는 각 노드의 기능에 대해 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다.

해양 센서 노드(Ocean Sensor Node): 각종 데이터를 센싱하여 상위 노드로 전송하는 역할을 하는 노드로서 기본적으로 센싱 기능과 통신 기능을 가지며 필요에 따라 라우팅 기능과 장애처리 기능을 가질 수 있다. 또한, 자율적으로 혹은

명령을 받아 장착된 액추에이터를 작동시켜 무기를 발사하는 등의 무기 제어와 관리 기능을 가질 수 있다.

해양의 수중 센서 네트워크에서 센서 노드들은 저전력, 저가격의 시스템이기 때문에 배터리 기반의 제한적인 전원을 수반한다. 더구나 해저의 수백 미터에 배치된 센서 노드의 경우 보조로 충전이나 발전 및 교체할 수 있는 방법이 마땅하지 않고 교체한다 하더라도 비용 및 시간에 대한 부담비용 문제가 생긴다. 이러한 이유로 해양 센서 노드의 경우 전원의 효율성 및 에너지 기반의 센싱 및 전송, 운용방안에 대해 고려할 필요성이 대두되어 왔다[11][4]. 해양 센서 노드가 고가인 경우 전원 고갈 시 노드를 수거할 필요가 있는데 이에 대한 방법으로 노드의 수명이 한계 값(Threshold) 이하인 경우 헬륨풍선을 통하여 해수면으로 나온 후 위성에 자신의 위치를 알려주는 방법을 통하여 해저 센서 노드를 수거하는 방법이 제안되고 있다[4][5].

코디네이터: 클러스터 헤더(cluster header)라고 불리우기도 하는 이 노드는 해양 센서 노드들로 구성되는 클러스터의 생성, 유지, 관리, 복원 기능들과 해양 센서 노드들로부터의 데이터 통합 기능 등을 담당한다. 또한, 해양 센서 노드로부터 온 데이터를 취합하여 해수면 노드나 릴레이 노드로 전달하며, 반대로 상위 노드로부터 들어오는 명령을 해양 센서 노드로 전달한다[9][10]. 이 노드는 수중 정보 수집 기능을 가질 수도 있다.

릴레이 노드: 코디네이터나 해양 센서 노드로부터 송수신한 데이터를 해수면 노드로 전달해주는 역할을 한다. 주로 주소 할당, 관리 기능 및 라우팅 기능, 코디네이터 선택기능, 릴레이 노드 검색 기능을 가지고 있다. 수심 별로 상위, 중위, 하위로 나뉘어 해저에서 수집한 센싱 데이터를 코디네이터에서 수면의 해수면 노드로 전송함으로써 릴레이 노드를 거치지 않고 한 번에 전송하는 방식에 비해 많은 에너지 소모를 방지하고, 해류 영향에 의해 발생하는 전송 데이터의 신뢰성 저하를 방지하는 역할을 한다. 중간 계층에서 릴레이의 역할을 하며, 릴레이 노드 간의 통신을 담당한다.

AUV: 미국, 한국, 일본 등에서 가장 활발하게 개발되고 있는 장치로서, 기동성이 뛰어나며 장시간 해저작업이 가능하다. 적용 범위에 따라서 다양한 기능을 하지만, 수중 센서 네트워크에서 사용되는 AUV의 경우 노드를 감시 및 관리하기 위한 용도로 사용되며, 센서 설치 지역의 정확한 위치의 검

색이나 배치, 바닥 지형 조사 (sub-bottom profiler)를 담당한다. 또한 네트워크에서 해수면 게이트웨이와의 통신을 통한 릴레이 노드의 역할이 가능하며, 해저에 설치된 노드의 회수 및 수리의 역할을 담당한다. 또한 해수면으로 부상하여 기지국과 직접적인 통신을 한다. 기존에 3~20m크기의 AUV가 많았으나 최근에는 1m 이내의 고성능 AUV가 개발되고 있다[11].

해수면 게이트웨이 노드(Surface Gateway Node) : 이 노드는 GPS 송수신기, 위성(지상파) 모뎀, 음파통신모뎀을 갖추고 태양열이나 파력에 의해 전원 공급이 자율적으로 가능한 형태로 제안된다. 주로 릴레이 노드나 코디네이터로부터 데이터를 송수신하고 지상 게이트웨이나 기지국, 혹은 인공위성 등 수중과 지상을 연계하는 데이터 전달 매개체 역할을 한다. 라우팅 기능, 릴레이 노드 검색 기능, 주소 할당 및 관리, 클러스터 구성 및 분할, 관리 기능 그리고 장애에 대한 대책 기능이 주요 기능이다. 그리고 원해와 근해에 따라서 주로 위성통신을 이용할 수도 있고 CDMA이나 WLAN 혹은 지상파를 이용하는 다른 방식의 통신 방식을 사용할 수도 있다[8][9].

지상 게이트웨이(Gateway) 또는 기지국(Base Station) : 해수면 노드와 통신하기 위해서 제공되는 장치로 백본망과 직접적으로 연결되어 인터넷이나 기타 단말로 수집된 정보를 전달한다.

또한, 기능에 따라서 수백 미터와 같이 근거리의 경우 RF를 이용하여 직접 통신이 가능하다. 또한 직접통신을 할 수 없는 거리의 경우 위성으로 통신한다. 데이터를 수집 및 분석하는 역할을 담당하기도 한다.

III. 프로토콜 계층별 요구사항 및 기타 요구사항

1. 프로토콜 계층별 요구사항

수중 센서 네트워크에서 매우 중요시하여 설계할 사항 중의 하나는 저전력을 고려한 설계이다. 해양의 경우 지상에 비해서 충전이나 배터리 교체가 어렵기 때문이다. 또한, 해양 범위가 매우 넓으므로 지상의 센서 네트워크 통신 범위

보다 먼 거리의 통신을 고려해야 할 필요가 있기 때문에 그에 따른 전원 효율성을 고려해야 한다. 물론 실시간 처리뿐만 아니라 데이터 전송의 오류를 줄이고, 이에 따른 전송 횟수의 빈도를 최대한 줄이는 것도 충분히 고려해야 한다.

Application	실시간 감시, 모니터링, 추적
Middleware	실시간 관리 데이터 병합 질의 처리
Network	전달 경로 설정 및 관리 전원관리 송수신 관리 위치인지 처리
MAC	
PHY	
PHY	무결성 관리 암호화 처리

(그림 3) 수중 센서 네트워크 계층 구조 및 기능

(그림 3)은 수중 센서 네트워크 구조에서의 계층별 기능을 설명하고 있다. 해양 노드의 물리계층 설계 시 상위 계층에 대한 논리계층에 대해서 전송 채널의 투명성을 보장하거나 접속제어 기능 그리고 수신된 프레임의 오류제어 등의 기능이 필요하다. 또한 동일 전송 채널을 사용하기 위한 접속 제어 기능이나 다른 노드들과의 충돌 또는 전송 채널에 의해 방해되는 에러 검출 기능들이 필요하다. 하지만 일반적인 센서 네트워크에서도 요구되는 사항이며, 수중에서는 대역폭이나 오류율이 높기 때문에 효율적인 운용을 위해서 (그림 2)와 같은 통신망의 구조와 접속제어에 따른 각각의 프레임 형식이 필요하고 그에 따른 전원관리 및 접속방법이 달라진다.

1) 물리 계층(Physical Layer)

물리 계층 연구는 해양 환경에서는 주파수 대역이 매우 한정적이고, 도플러 확산, 멀티 패스로 물체의 음파에 대한 반사로 인해 발생하는 잔향음(reverberation acoustic) 문제가 지상 RF 환경보다 더 심각하다. 해양 신호처리 기술은 특정한 주파수를 처리하는 필터링(LPF, BPF, HPF) 기술과 해양의 공간 특성을 주파수 특성으로 변환하기 위한 변환기술(FFT, DCT)이 필요하다. 또한 낮은 주파수를 가지고 데이터 통신을 하기 때문에, 신호의 상호 간섭을 제거하는 신호처

리 기술에 시간을 기준으로 하는 통신채널의 용량 설계가 중요하다[13][14]. 해양에 맞는 음향 신호에 대한 선형과 비선형 기법을 이용하여 해양에서의 심볼 간섭(ISI)을 예방하기도 한다. 최근에는 바다에서도 OFDM 기법을 이용한 데이터 전송기술이 연구되고 있으며, 해양에서는 II절에서 설명한 것 같이 전송 지연이 크기 때문에 전송을 위한 CP(Cyclic Prefix)의 에너지 소비가 매우 커지는 문제가 발생한다. 최근에는 이러한 문제 해결방법이 제안되었다[14][15]. 수신 데이터의 BER이 $10^2 \sim 10^3$ 으로 송수신의 에러 정정 처리를 위해 많은 에너지를 소비하는 문제가 발생하며 BER를 10^5 까지 개선한 연구도 발표되었다.

2) MAC 계층(MAC Layer)

해양환경에서 접속 방법은 (S)ALOHA TDMA, CSMA, ISMA 등이 연구되어 왔다. 하지만 최근에는 CSMA 기반의 연구 방향으로 굳어지고 있으며, 해양 MAC에서도 수중특성을 반영한 underwater-NAV기법이나 프레임 구성방법 및 효율적인 전송방법을 통하여 최대한 비콘 신호의 전달 횟수를 줄여, 전체의 전송 횟수의 감소에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 물속에서의 전파지연 시간이 큰 문제를 고려하여 적응적 Back-off 알고리즘이나 Wake-up 시간에 대한 효율적인 적용 방법, 그리고 충돌 회피를 위한 MAC 스케줄링 방법들이 제안되고 있다. 해양의 노드들의 적은 대역폭이나 에너지 낭비를 줄이기 위해서 일정 시간 동안 적응적·주기적인 가면상태(adaptive/periodical sleeping)를 적용하는 방안들이 제안되고 있으며, 센서 네트워크간의 혼잡이나 오류율을 고려한 능동적인 방법도 제안되고 있다. 또한 거리에 따른 전송 변화(variance)에 대한 효율성을 해결하고자 새로운 동기화 방법들이 제안되고 있다[16][17].

3) 네트워크 계층(Network Layer)

수중 센서 네트워크에서 라우팅 기능은 센싱한 데이터 및 네트워크 제어에 대한 데이터 전달 경로 설정 및 관리를 수행하는 역할을 한다. 해양 환경을 고려한 노드의 클러스터링이 제안되고 있으며, 클러스터의 재구성을 최소화 하는 방법이 제안되고 있다.

지상에서와 마찬가지로 멀티 홉 라우팅 기반의 평면적 라우팅과 클러스터 기반의 계층적 라우팅이 제안되고 있다.

하지만 수중 센서 네트워크가 계층적 구조로 이루어지는 것으로 인하여, 계층적 라우팅을 통한 해양의 네트워크 구성들이 제안되고 있다[19][20].

해양에서의 계층적 라우팅의 경우 트리 네트워크에 기반하고 있다. 이에 해양 클러스터의 경우 초기에 클러스터 헤더가 고정될 가능성이 크다. 따라서 고정 클러스터 방법을 사용하며, 데이터 전송 방식에서는 분산 프로토콜(Semi-distributed Protocol)을 이용한 방법보다는 자원의 관리가 용이한 중앙집중식 프로토콜을 고려한 전송방식이 주로 제안된다. 이에 따라서 초기에 클러스터의 헤드 선정이 매우 중요하며, 이를 통하여 네트워크의 생존시간을 최대화 할 수 있다[18][20].

4) 미들웨어(Middleware)

미들웨어의 주된 기능으로 데이터 병합 기능을 포함한 질의 처리 및 최적화 기능, 상황 인지 및 처리 기능, 효율적 자원 관리 기능, 전원 관리 기능 등이 각 노드의 에이전트 및 스케줄러에 의해 관리된다. 에이전트는 노드의 운영체제와 통신/네트워크 모듈과 밀접하게 연관되어 동작한다. 해양 환경의 클러스터에 속한 여러 노드들이 해저 환경을 감시할 경우 하나의 이벤트에 대해 여러 개의 해양 센서 노드가 감지하여 중복된 데이터 전송이 발생할 수 있다. 이 때문에 수중 센서 네트워크 전체의 데이터 전송 빈도가 증가되어 전체적인 에너지 소모가 증가 될 수 있다.

이를 방지하기 위해 데이터 병합(data aggregation) 기법에 대한 연구가 행해지고 있다. 또한, 미들웨어는 다수의 노드들이 서로 협력하여 표적을 인식, 융합, 분류하는 작업을 지원할 필요가 있다.

이를 통해 결과적으로 데이터 충돌, idle listening, 중복된 데이터 전송을 줄일 수 있다. 이와 연관된 기술로 효율적인 네트워크를 위한 데이터 압축 및 융합기술, 네트워크의 효율적 지원을 위한 분산 신호처리, 신호처리 알고리즘을 적용한 소프트웨어 및 그에 따른 최적화가 필요하다. 노드 레벨의 신호처리에 대한 기술은 데이터 융합(decision fusion, data fusion) 및 에너지 효율적인 음향 전송을 위한 데이터 압축기술이 요구되며, 데이터의 분산된 신호 처리를 위한 노드 데이터 융합 및 데이터 처리 아키텍처 관리 기술을 포함한다.

2. 기타 요구사항

1) 해양 센서

해양 환경에서는 지상과 틀리게 바다의 해초, 해류 및 바다 생물에 의한 부착(fouling)과 부식(corrosion), 파손 문제로 인한 센서의 교체가 자주 발생한다. 이러한 문제로 인하여 수중의 센서들은 염분에 의한 부식성과 수압에 견디기 위한 패키징 기술 및 오염방지 기술 등이 열악한 환경을 극복하기 위해 적용되고 수십 수십 미터부터 수천 미터까지 사용되기 때문에 센서의 가격이 개당 \$500~\$2만 정도로 비교적 고가의 가격이다. 또한 이와 관련되는 해저용 케이블 및 하우징 케이스 등의 가격도 수십 달러에서 수천 달러까지 다양하게 소요된다. 해외의 경우 단일 계측 센서를 비롯하여 통신 및 감지 등이 들어가 있는 다기능 복합센서가 있다. 그리고 2000년 초부터 미군 및 중국에서 MEMS (Micro Electro-Mechanical System)를 이용한 해양 센서가 연구(개발)되고 있다[25].

2) 위치 인지

수중 센서 네트워크를 분산 센서망의 신호전송량을 최소화하기 위한 개별 탐지센서단의 자동 표적탐지 기법을 개발하고 센서 네트워크에서 수집된 표적정보를 융합 처리하여 표적추적, 위치산출, 표적 인식하는 기술과 함께 해저 무기의 연동 목적으로 사용하기 위해서는 노드의 현재 위치정보 및 감지한 물체의 위치 정보가 필요하게 되므로 해양 환경에서 그에 대한 적합한 접근 방법이 필요하다. II절에서 설명한 것과 같이 해양에 설치되어 있는 각각의 센서 노드는 많은 환경 요인으로 인해 이동성을 가지기 때문에, 시간과 공간에 예측할 수 없을 정도로 변화한다. 공간에 따라서 Range-free와 Range-based 방법이 존재하는데, Range-based 방법이 주로 사용된다. 해양 환경에서는 넓은 범위와 환경 요인으로 인하여 지상과 같이 수 미터 이내와 같은 높은 정확성보다는 유추가능 범위의 정확성을 요구한다. 물론 해양에서 위치를 파악하기 위해서 현재 주기적인 비콘(béacon)으로 인한 에너지 소비의 과다나 전파 간섭에 따른 문제점도 있다. 초기 위치의 정확한 범위를 알기 위해서는 부표와 AVU를 이용한 GPS 값을 이용하는 것이 일반적이다. 지상과 같이 TDoA(Time Difference of Arrival), AoA(Angle of

Arrival), RSSI(Receiver Signal Strength Index) 방법들이 이용되며, 심해에서는 위치를 파악하기 어렵기 때문에 Range-based 기반에 신호처리와 확률 추론방법, 홉 기반의 좌표 방식들이 보조적으로 제안되고 있다[18][24]. 수중에서의 위치 인지 기술은 2D 중심의 지상과는 다르게 3D 중심으로 연구·개발되어야 한다.

3) 전원공급

수중 센서 네트워크 연구에서 중요한 것 중의 하나는 센서 노드의 에너지 공급 방안이다. 미국의 SRI 경우 인공근육(electroactive polymer artificial muscle)을 이용한 전기 발생 장치가 연구 중이며, Ocean Power Technology사는 오레곤주에 상업용 50mW급 상업용 파력 발전소를 설치하였다. 영국 Ocean Power Delivery사는 포르투갈 북부에 파력발전소를 세웠으며, 최근 수심 50m 아래에 펠라미스라는 바다뱀 발전소를 세워 전력을 공급하는 방안을 제시하고 있다[21].



(그림 4) 해양에서의 전력 공급 방안

IV. 국내외 연구 동향

미국은 Benthos, Hydroid, HiSeasNet 등에서 그 동안 해양 통신 관련된 연구 개발로 인한 연구의 상용장비를 개발·판매하고 있다. 장거리 해저 통신에 관련해서 1990년대 초부터 UUV, AUV, 선박을 통한 1km~20km 반경의 장거리에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 이와 관련된 해저자원 탐사 및 통신 장비가 해외에 판매 중에 있다. 그리고 2000년대 접어들어 미국대학과 WHOI 연구소 중심으로 100m~1km이내의 수년 동안 배터리의 교체 없이 저전력 통신이 가능한 근거리 수중 통신 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 관련하여

최근 미국의 국방부에서는 ORION(The Ocean Research Interactive Observatory Networks) 계획을 통해서 캐나다와 미국의 해안선에 광범위한 센서네트워크를 설치하고, 그것을 통해 영토를 방어, 감시하는 역할을 하고 있다[12]. 또한 최근 미군에서는 ORION을 통해서 해양 센서의 음파 수중 탐지기를 통한 침입 물체의 위치 감지 및 식별 방안을 연구 중에 있다.

국내에서는 대학 및 한국해양연구원을 토대로 90년대 말부터 연구를 하였다. 하지만 국내의 경우 본격적인 연구는 2004년도부터 시작하였으며, 현재, 연구 기간이나 규모에 비해 큰 성과를 얻고 있다. 한국해양연구원의 경우 작년과 올해에 동해안 및 남해안의 실험역 실험에서 수 킬로의 거리에서 약 만 bps 정도의 데이터 전송 및 정지 영상에 대한 전송을 성공하였다. 최근에는 단방향 전송방식에 이어 양방향 전송에 성공하였다. 그러나, 해저에서 외부로부터 별도의 전원공급이 없이 무선 통신 및 네트워킹을 위해서는 저전력·소형의 무선 센서 네트워크용 기술 개발이 요구되는데 강릉대 해양센서네트워크시스템기술 연구센터는 정통부 ITRC 지원 사업으로 약 2년간의 연구를 거쳐 수중 센서 네트워크용 저전력 소형 무선 초음파 모뎀 원천 기술과 RF/초음파 게이트웨이 기술, 노드 관리 기술 등을 개발한 상태이며 현재 모뎀 성능향상과 더불어 수중 MAC 기술을 개발 중이다. 또한, 경북대는 ADD의 지원으로 국방 수중 전송 네트워크 구축을 위한 기술개발을 올해부터 진행하기 시작했다. 그 밖에도 부산 해양대, 목포대 등에서 해양 네트워크 관련 연구가 진행되었다.

국방 분야에서의 해양 센서 네트워크 구축의 기대효과는 다음과 같이 설명할 수 있다. 먼저, 분산형 수중통신 기술 확보로 인해 수중 탐지/통신 기반기술 확보가 가능하고 차기 전투함과 잠수함용 음향탐지체계와 복합 센서 네트워크로 구성된 수중감시체계가 가능해진다. 그리고, 중장거리 해양 감시 체계와 정찰 및 전술용 무인잠수정에 대한 신뢰성을 확보 할 수 있으며, 지속적이고 저렴한 실시간 감시시스템이 구축 되어 기존의 해양 감시를 위한 물적·인적 소요를 감소 시킬 수 있다. 또한, 해양 센서 노드 관리 기술을 통하여 수중에 어뢰, 미사일, 잠수정 등을 비롯한 각 종 무기와 장비를 무선으로 제어하고 관리함으로써 인명 피해를 줄이면서 해양 방어와 공격을 행할 수 있는 자주 국방 체제를 구

축할 수 있다.

해양 센서 네트워크의 경우 세계적으로 아직 연구·개발 초기 단계이기 때문에 수중 센서 네트워크용 부품, 장치, 솔루션의 조기 개발은 해외 수출에 대한 이점을 가질 수 있다.

그러나, 해저를 감시하기 위해 반드시 필요한 해양 센서의 고비용 문제 해결과 이와 더불어 다양한 해양 센서 개발, 해양 센서 네트워크 구성요소들의 효율적 배치 방법 등은 앞서 설명한 기술들과 함께 그 해결방안이 모색되어야 한다.

V. 결 론

본 고에서는 국방전술 통신의 한 분야인 해양 중심의 수중 센서 네트워크 모델을 제안하여 이를 개발하기 위한 기술들을 제시하고 그 해결을 위한 방안과 연구동향을 소개했다. 해양 국방전술에 중요한 역할을 담당할 수중 센서 네트워크 기술은 세계적으로 아직 그 연구가 초기 단계로서 국내와 그 기술적 차이가 별로 나지 않는다. 현재 국내외에서 개발되고 있는 수중 통신 관련 기술은 수중 모뎀 기술로서 해외에서는 이미 상용으로 판매 중이며 국내에서는 이에 버금가는 기술을 개발하고 있는 상태이다. 그러나, 국방전술을 위해서는 수중 모뎀만으로는 그 효용성이 매우 부족하다. 수중 MAC, 수중 라우터, 미들웨어, 수중/지상 게이트웨이 기술들을 기반으로 하는 해양 센서 노드, 코디네이터, 릴레이 노드, 게이트웨이 등의 노드 기술과 더불어 질의처리 기술, 해양 센서 노드 관리 기술, 위치 인식 기술, 저전력 기술, 노드 배치 방법, 다양한 수중 센서 개발 기술 등이 함께 연계되어 개발되어야 국방전술 통신에 효용성 있는 진정한 수중 센서 네트워크가 구축될 수 있다. 현재가 바로 이들에 대한 기술 개발과 더불어 제품 개발이 필요한 적기이며 개발된 기술과 제품은 대한민국의 튼튼한 자주 국방과 함께 매출에 의한 큰 경제적 파급효과를 가져 올 것으로 예상된다.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 2007년도 대학IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] J. Heidemann, Y. Li, A. Syed, J. Wills, and W. Ye, "Underwater sensor networking: Research challenges and potential applications.", USC/ISI Technical Report ISI-TR-2005-603, 2005.
- [2] Freitag, L., M. Grund, J. Partan, S. Singh, P. Koski, K. Ball, "The WHOI Micro-Modem: An Acoustic Communications and Navigation system for Multiple Platforms", Proc. IEEE Oceans 2005, Washington, D.C., Sept. 2005.
- [3] Bridget Benson, Grace Chang, Derek Manov, Brian Graham, Ryan Kastner "Design of a Low-cost Acoustic Modem for Moored Oceanographic Applications" *WUWNet' 06*, September 25, 2006, Los Angeles, California, USA.
- [4] Sumit Roy, Payman Arabshahi, Dan Rouseff, Warren Fox, "Wide Area Ocean Networks: Architecture and System Design Considerations" *WUWNet' 06*, September 25, 2006, Los Angeles, California, USA.
- [5] David Malakoff, "Panel to Prepare Plan for Underwater Network", ORION Workshop, SAN JUAN, PUERTO RICO 4 to 8, January 2007
- [6] Pelekanakis, C. Stojanovic, M. Freitag, L. "High rate acoustic link for underwater video transmission" OCEANS 2003 Proceedings, 1091- 1097 Vol.2, 22-26 Sept. 2003.
- [7] J. Barbosa and V. Barroso, "Very low bit-rate for acoustic transmission of subsea images of hydrothermal vents," in Proc. IEEE Oceans' 00, Providence, RI, Sept. 2000.
- [8] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, "Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks", ACM SIGBED Review, Vol. 1(1), July 2004.
- [9] Jun-Hong Cui, Jiejun Kong, Mario Gerla and Shengli Zhou, "Challenges: Building Scalable Mobile Underwater Wireless Sensor Networks for Aquatic Applications", *IEEE Network, SIWSN*, Vol. 20, No. 3, pp.12-18, May/June 2006.
- [10] S. Roy, P. Arabshahi, D. Rouseff and W. L. Fox, "Wide Area Ocean Networks: Architecture and System Design Considerations", *WUWNet' 06*, September 25, 2006, Los Angeles, California, USA.
- [11] <http://www.hydroidinc.com/>
- [12] http://www.joiscience.org/ocean_observing
- [13] B. Li, S. Zhou, M. Stojanovic, L. Freitag, and P. Willett, "Non-uniform Doppler compensation for zero-padded OFDM over fast-varying underwater acoustic channels", In Proceedings of *MTS/IEEE OCEANS conference*, Aberdeen, Scotland, June 18-21, 2007
- [14] S. Mason, R. Anstett, N. Anicette, and S. Zhou, "A broadband underwater acoustic modem implementation using coherent OFDM", In Proceedings of *NCUR*, San Rafael, California, April 2007.
- [15] B. Li, S. Zhou, M. Stojanovic, and L. Freitag, "Pilot-tone based ZP-OFDM demodulation for an underwater acoustic channel", In Proceedings of *MTS/IEEE OCEANS conference*, Boston, MA, Sept. 18-21, 2006.
- [16] Peng Xie and Jun-Hong Cui, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Underwater Sensor Networks", *UCONN CSE Technical Report : UbiNet-TR06-06*, December 2006
- [17] Peng Xie and Jun-Hong Cui, "Exploring Random Access and Handshaking Techniques in Large-Scale Underwater Wireless Acoustic Sensor Networks", In Proceedings of *IEEE/MTS OCEANS' 06*, Boston, Massachusetts, USA, September 18-21, 2006.
- [18] 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.
- [19] Peng Xie, Jun-Hong Cui, and Li Lao, "VBF: Vector-Based Forwarding Protocol for Underwater Sensor Networks", In Proceedings of *IFIP Networking' 06*, Coimbra, Portugal, May 15 -19, 2006. A longer version is available as UCONN CSE Technical Report:UbiNet-

TR05-03, February 2005.

- [20] D.Pompili, T.Melodia, "Three-Dimensional Routing in Underwater Acoustic Sensor Network," In Proceeding of ACM PE-Wasun, October 2005.
- [21] Zheng Guo, Bing Wang and Jun-Hong Cui, "Efficient Error Recovery with Network Coding in Underwater Sensor Networks" In Proceedings of IFIP NETWORKING, Atlanta, Georgia, USA, May 14-18, 2007. A longer version is available as UCONN CSE Technical Report:UbiNet-TR06-05 (BECAT/CSE-TR-06-16), December 2006.
- [22] Zheng Guo, Peng Xie, Jun-Hong Cui, and Bing Wang, "On Applying Network Coding to Underwater Sensor Networks", Proceedings of ACM WUWNet' 06 in conjunction with ACM MobiCom' 06, Los Angeles, California, USA, September 25, 2006.
- [23] Peng Xie and Jun-Hong Cui, "SDRT: A Reliable Data Transport Protocol for Underwater Sensor Networks", UCONN CSE Technical Report:UbiNet-TR06-03, February 2006.
- [24] 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.
- [25] JiejunKong, Jun-Hong Cui, Dapeng Wu, and Mario Gerla, "Building Underwater Ad-hoc Networks and Sensor Networks for Large Scale Real-time Aquatic Applications", In Proceedings of IEEE Military Communications Conference, Atlantic City, New Jersey, USA, October, 2005.

약 력



박 현 문

2004년 한세대학교 정보통신학부 공학사
 2006년 국민대학교 전자공학과 정보통신학 석사
 2006년 ~ 현재 국민대학교 비즈니스 정보통신연구실 박사과정
 관심분야: 위치인지, 센서 네트워크, 무선랜, 해양 센서네트워크



박 수 현

1988년 고려대학교 컴퓨터학과 이학사
 1990년 고려대학교 대학원 전산학 이학석사
 1998년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 이학박사
 1990년 (주)LG 전자 중앙연구소 선임연구원
 1999년 ~ 2001년 동의대학교 공과대학 컴퓨터·소프트웨어
 조교수
 2002년 ~ 현재 국민대학교 비즈니스 IT 학부 부교수
 관심 분야: USN, UW-ASN



김 창 화

1985년 고려대학교 수학교육과 이학사
 1987년 고려대학교 대학원 전산학전공 이학석사
 1990년 고려대학교 대학원 전산학전공 이학박사
 1994년 Post-Doc./Visiting Professor, Toronto 대학
 Enterprise Integration Lab.
 2002년 Visiting Scholar, Dept. of Computer Science,
 Texas A&M 대학
 2005년 ~ 현재 시뮬레이션학회 논문지 편집위원
 2006년 ~ 현재 강릉정보산업진흥원 이사

2007년 ~ 현재 한국정보처리학회 학회지 편집위원
 1989년 ~ 현재 강릉대학교 컴퓨터공학부 교수
 2005년 ~ 현재 강릉대학교 해양센서 네트워크시스템기술연구센터(ITRC) 소장
 관심 분야: USN, UW-ASN, 분산시스템



김 상 경

1985년 고려대학교 전자공학과 학사
 1987년 고려대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1989년 ~ 2004년 KT(선임연구원/부장)
 1994년 ~ 1995년 TINA-C Core Team Member
 2002년 고려대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 2004년 ~ 현재 강릉대학교 정보전자공학부 조교수
 관심분야: ad-hoc 네트워크, 센서 네트워크 등