

# 수중 통신에서 다중 모뎀 제어 미들웨어 연구\*

홍창기, 김창화  
 강릉원주대학교 컴퓨터공학과  
 e-mail:hongs\_idea@hanmail.net, kch@gwnu.ac.kr

## A Study on Multi-Modem Control Middleware in Underwater Communication

Chang-Gi Hong, Changhwa Kim  
 Dept of Computer Science, Gangneung-Wonju National University,  
 Republic of Korea

### 요 약

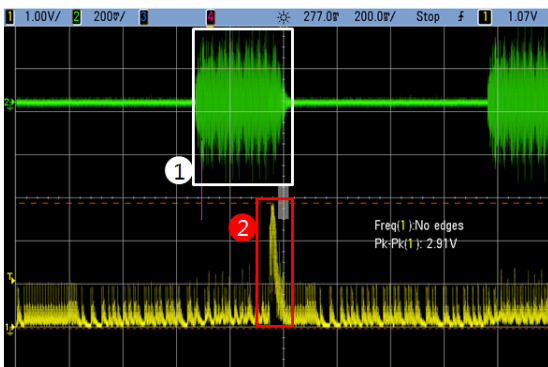
초음파를 이용한 통신은 지상 통신에 비해 작은 대역폭을 사용하기 때문에 하나의 통신 주파수를 사용하거나 그 이상의 주파수를 사용한다. 또 수중 통신의 대역폭이 작기 때문에 사용 주파수가 다른 모뎀을 사용하더라도 서로 간섭이 발생하는 경우가 있어 통신을 할 수 없게 된다. 본 연구에서는 한 시스템에서 사용 주파수가 다른 모뎀을 사용할 때 서로간의 주파수 충돌을 회피함으로써 네트워크상에서 통신을 보장하는 미들웨어를 연구하고자 한다.

### 1. 서론

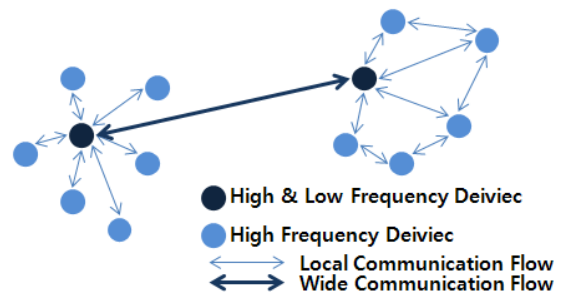
최근 초음파를 이용한 다양한 통신 방법의 연구들이 진행되고 있다. 또 통신 거리와 데이터 전송량에 따라 초음파 주파수 특성과 전송 파워 특성을 통한 수중 통신 방법이 연구되고 있다.[1][2][3] 다양한 수중 통신은 각각의 프로토콜을 가지고 있어 한 개의 시스템에서 사용하기 쉽지 않으며 사용하더라도 전송시 주파수 간섭으로 인해 통신 혹은 서비스 자체를 사용할 수 없게 된다. 따라서 초음파 통신같이 작은 대역폭을 갖는 수중 통신에서 체계적인 통신 제어 방법을 제공하는 것이 절대적으로 필요하다. 특히, 임의의 수중 통신에서 다양한 수중 모뎀을 동시에 사용하고자 할 때 이러한 요구 조건을 효과적으로 처리할 수 있는 시스템은 아주 중요하다.

(그림 1)은 수중 통신에서 주파수 간섭에 의한 통신 여러 상황을 나타낸다. 상단의 녹색 파형 ①신호의 마지막 부분으로 인해 하단의 노란색 파형 수신 파형이 ②와 같이 변형된다. 결과적으로 하단의 노란색 파형이 변형되어 수신부에서 에러 데이터를 수신하게 된다.

제안 하는 다중 모뎀 제어 미들웨어는 서로 다른 주파수를 사용하는 통신 모뎀 혹은 수중 위치 감지를 위한 장치의 통신을 보장한다. 또 데이터 송수신의 충돌이 발생하지 않는 모뎀들을 경우 모뎀을 동시에 사용함으로써 데이터 대역폭을 증가 시킬 수 있다. (그림 2)은 다중 모뎀 제어 미들웨어로 구성된 가능한 토폴로지로 근거리 수중 통신은 높은 주파수 영역을 사용하고 원거리 수중 통신은 낮은 주파수를 사용하여 통신을 한다. 이 둘의 주파수가 충돌이 발생한다면 본 미들웨어는 서로간의 데이터 통신을 제어함으로써 데이터의 송수신을 보장한다. 만약 둘이 주파수가 충돌하지 않는다면 서로 다른 주파수를 동시에 사용하여 전체 네트워크의 데이터 전송량을 증가시킨다.



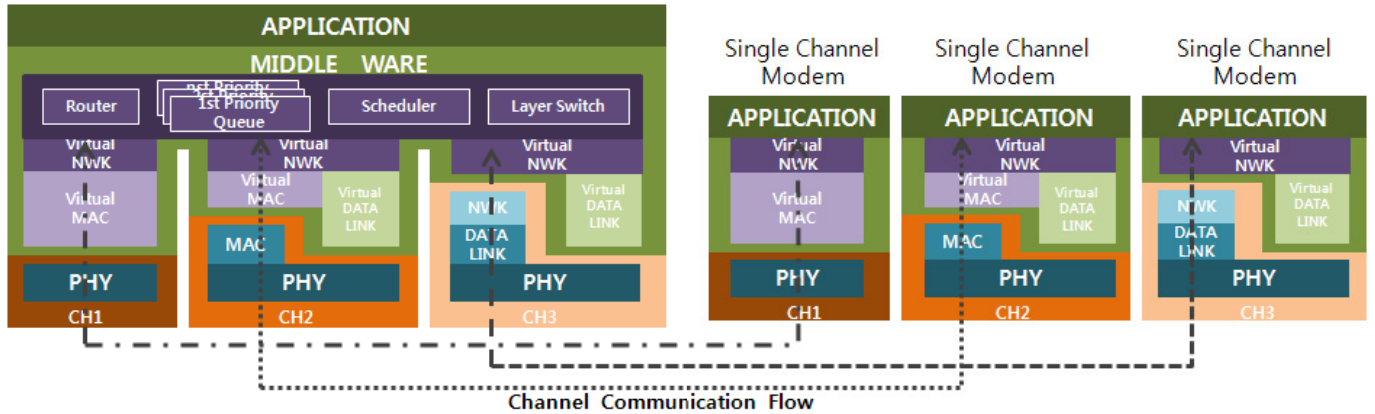
(그림 1) 수중에서 주파수 충돌



(그림 2) 다중 모뎀 제어 미들웨어로 구성 가능한 토폴로지

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C1090-1121-0001)

### Multi Channel Modem



(그림 3) 미들웨어 구조 및 네트워크 연동

## 2. 다중 모뎀 제어 미들웨어 구조

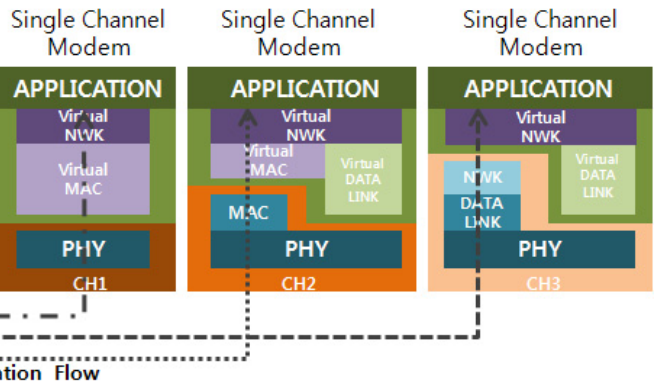
다중 모뎀 제어 미들웨어는 서로 다른 주파수를 사용하는 수중 통신의 간섭을 회피하여 상호간의 통신을 보장하는 것이다. 이를 위해 각각의 통신 프로토콜을 제어하여 주파수 충돌시 발생하는 문제를 극복해야 한다. 본 미들웨어는 각 프로토콜 간 정보교환을 위한 메커니즘으로 가상의 프로토콜 계층 즉 가상 미디어 접속 제어 계층과 가상 네트워크 계층을 통해 데이터 전송이 상호 가능한 미들웨어를 제안한다.

미들웨어 구조는 (그림 3)과 같으며 미들웨어에 존재하는 주요 계층은 가상 미디어 접속 제어 계층, 가상 네트워크 계층이다. 가상 미디어 접속 제어 계층은 수중통신 모델이 일대일 통신만 지원시 이의 기능을 확장하여 다수의 모뎀의 모뎀과 통신 가능하도록 한다. 가상 네트워크 계층은 수중 모뎀간의 네트워크를 형성할 수 있도록 도와주며 미들웨어 계층은 서로 다른 채널간의 데이터 관리, 우선순위 관리 등의 데이터 흐름 제어를 담당한다.

### 2.1 가상 미디어 접속 제어 계층

가상 미디어 접속 제어 계층은 물리 계층 간의 연결 설정을 담당하고 미들웨어에서 다중 채널 제어 가능하도록 다른 물리 계층에서 상위 계층에 동일한 인터페이스를 제공한다. (그림 3)에서 CH1과 같이 데이터 링크 계층이 없는 물리 계층에는 미디어 접속 제어 기능을 제공하고 CH2와 같이 미디어 접속 제어 계층을 포함하는 물리 계층에는 다른 채널과 연결 가능하도록 가상 미디어 접속 제어 기능을 제공하여 데이터 링크 계층을 지원한다. 또 CH3과 같이 상위 계층을 가지고 있다면 직접 물리 계층을 제어 가능한 기능을 제공하여 계층 간의 지연을 최소화한다.

기존의 미디어 접속 제어는 다양한 방법을 사용하며 그 방법에 따라 충돌(Collision), Overhearing, Idle Listening



그리고 Protocol Overhead등의 문제점을 야기한다. 수중에서 미디어 접속은 전송 속도가 지상에 비해 늦어 불필요한 통신을 하거나 재전송을 줄이는 것이 중요하다. 즉 메시지 충돌 회피 및 Protocol Overhead를 줄이는 것이 우선이다. 제안하는 방법은 충돌 회피 문제와 Protocol Overhead를 줄이기 위해 RTS와 CTS 같은 제어 기능을 포함한 메시지를 전송한다.[4]

제안하는 가상 미디어 접근 제어프로토콜은 각 노드는 전송 순위표를 가지고 있다. 전송 순위표 생성은 각 노드가 가지는 조합을 순열로 나타낸다. 전송 순위표의 총수는 N개의 노드를 가질 때 수식 (2-1)과 같다.

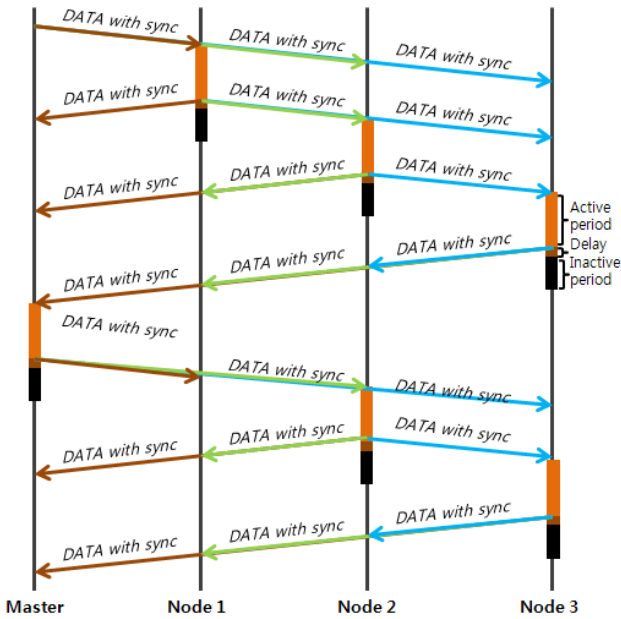
$$T_{total} = {}_n P_n + {}_n P_{n-1} + {}_n P_{n-2} + \dots + {}_n P_1 + 1 \quad (2-1)$$

전송 순위표의 순번과 현재 전송 순위를 전송한다. 전송 순위표의 순번은 [그림 4]의 Send 항목으로 해당 순번에 따라 전송 순위 유지한다. 노드는 현재 전송 순위를 보고해 해당 구간이 자신의 구간인지 판별을 하여 자신의 구간에서만 전송한다.

| Send | Num | Slot1 | Slot2 | Slot3 | Slot4 | Slot5 | Slot6 |
|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | 6   | M     | A     | M     | B     | M     | C     |
| 2    | 6   | M     | A     | M     | C     | M     | B     |
| 3    | 6   | M     | B     | M     | A     | M     | C     |
| ...  | ... | ...   |       |       |       |       |       |
| 31   | 1   | M     |       |       |       |       |       |

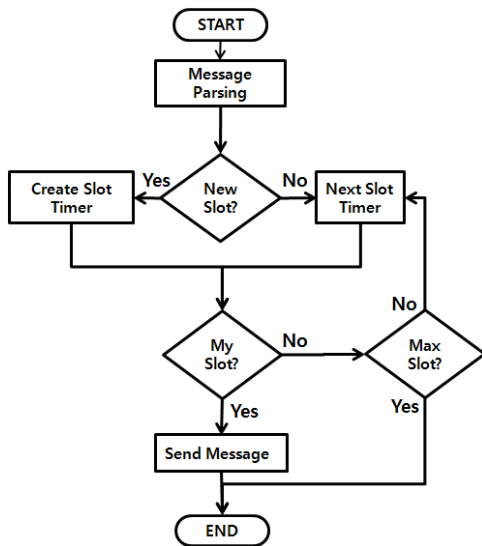
(그림 4) 전송 순위표

(그림 5)과 같이 다양한 전송 주기를 만들 수 있다. 이는 슈퍼 프레임 끝나기 전에 전송 주기를 바꿀 수 있어 다양한 전송 주기 및 우선시 되는 데이터를 신속하게 요청하여 수중 통신에 적합하다고 할 수 있다. 또 제어 프로토콜 없이 노드간에 충돌 회피를 할 수 있다.



(그림 5) 전송 순위 변경

(그림 6)은 전송 순위를 판별하는 방법으로 새로운 전송 순위표가 도달하면 새로운 전송 슬롯을 만들고 이 슬롯이 자신의 슬롯이면 메시지를 전송하고 자신의 슬롯이 아니면 다음 슬롯까지 기다린다. 수신 받은 메시지가 기존의 전송 순위표와 같다면 다음 슬롯까지 대기한다. 위와 같은 과정을 반복하여 자신의 전송 슬롯을 찾아 메시지를 전송한다.



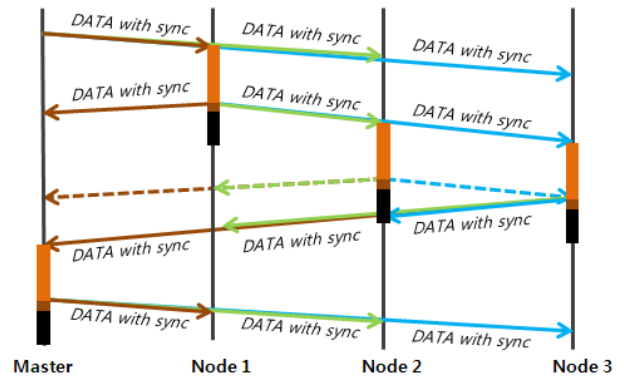
(그림 6) 메시지 전송 절차

가상 미디어 접근 제어는 Overhearing을 이용한 슈퍼 프레임 구간을 단축하여 전체 통신 에너지를 줄일 수도 있다. 각 구간은 Active 구간, Delay 구간 그리고 Inactive 구간으로 나누어 사용한다. Active 구간은 해당 노드가 자신 해당 구간에 전송을 시작 할 수 있는 구간이다. 즉 자신의 할당 구간일지라도 Active 구간에서만 전송을 시작

하여 낮은 전송 속도로 인하여 자신의 구간을 넘어 전송하는 것을 방지 한다. Delay 구간은 Active 구간 끝에서 메시지 전송시 발생할 수 있는 지연(초음파 속도, 시스템 지연 등)을 고려한 시간이다. 한 구간의 총 시간은 수식 (2-2)와 같다.

$$TSlot_{total} = TSlot_{active} + TSlot_{delay} + TSlot_{inactive} \quad (2-2)$$

(그림 7)는 Slot overhearing을 이용한 슬롯 단축을 나타낸 그림이다. Master를 시작으로 Node1, Node2, Node3가 순차적으로 전송할 때, Node2의 Active 구간에서 전송을 못 할 경우 자신의 상태를 Inactive 구간으로 변경한다. Node3에서 Node2의 Active구간을 Overhearing하다가 수신된 메시지가 없으면 자신의 Active 구간에서 데이터를 전송을 하여 전체 슬롯 구간을 단축한다.

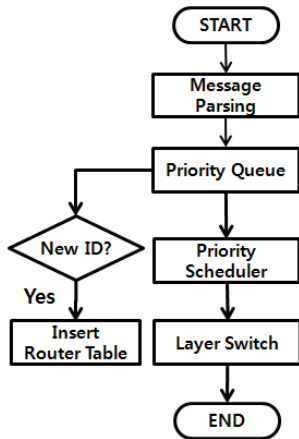


(그림 7) Slot overhearing

## 2.2 가상 네트워크 계층

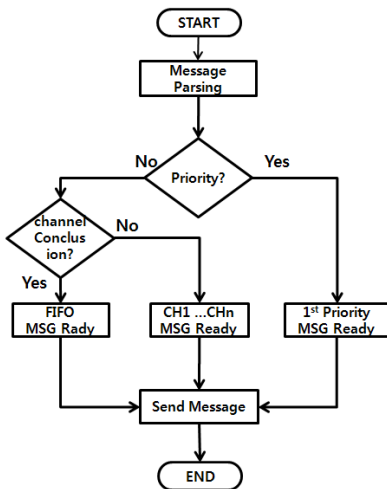
데이터 링크 계층에서는 동일한 물리 계층을 접속하였다면 가상 네트워크 계층에서는 서로 다른 채널간의 통신을 보장하고 이를 기반으로 네트워크 형성을 한다. 이를 위해서는 (그림 3)과 같이 기존의 네트워크 기능과 더불어 라우터 기능, 우선순위 큐, 스케줄러, 계층 스위치 등이 필요하다. 라우터 기능은 동일한 채널 그뿐만 아니라 다른 채널을 사용하는 모뎀간의 통신을 연결해주고 이들의 연결 설정을 라우팅 테이블에 유지한다. 우선순위 큐는 각 채널별로 하위 계층으로부터 송수신된 데이터를 저장해둔다. 스케줄러는 우선순위 큐의 송수신 데이터의 우선순위에 관여한다. 계층 스위치는 하위 계층과 상위계층 그리고 미들웨어 계층을 연결하는 인터페이스이며 이를 통해 상위 계층이 최단 하위계층을 직접 제어 기능을 제공한다.

네트워크 메시지 수신은 (그림 8)과 같은 절차로 진행된다. 하위 계층으로부터 메시지가 수신되면 우선순위 큐에 넣고 새로운 ID면 라우팅 테이블을 갱신한다. 우선순위 스케줄러는 송신 메시지를 결정하고 계층을 전한다. 상위 계층으로 메시지를 전달하고 수신처리를 완료한다.

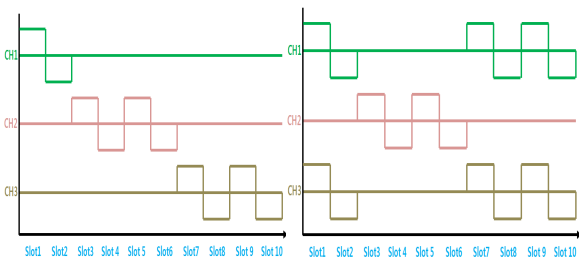


(그림 8) 가상 네트워크 수신 절차

네트워크 메시지 송신은 (그림 9)과 같은 절차로 진행된다. 송신할 메시지의 우선순위에 따라 전송 방법이 달라지는데 우선순위를 사용할 경우 최우선 순위의 메시지를 준비하고 데이터를 보낸다. 이때 채널간 충돌이 없더라도 내부 프로세스 지연시간을 고려하여 한 개의 채널에서 송신을 한다. 우선순위를 사용하지 않을 경우 채널 충돌이 발생할 경우 (그림 10)과 같이 선입선출의 방법으로 메시지를 전송한다. 충돌이 발생하지 않을 경우 (그림 11)와 같이 충돌이 발생하지 않는 채널(CH1, CH3)의 메시지를 동시에 전송할 수 있다.



(그림 9) 다중 채널 전송 방법

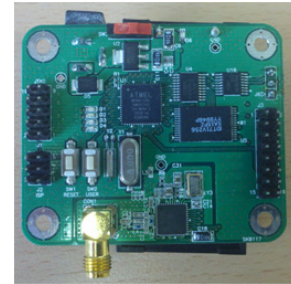


(그림 10) 모든 채널 충돌시 전송

(그림 11) 일부 채널 충돌시 전송

### 3. 구현

(그림 13)과 같이 TinyOS micaz 플랫폼에 제안하는 미들웨어의 일부 기능을 구현하였다. 에러율이 낮은 지상에서 제어 프로토콜 없이 센서 노드간 충돌 없이 통신이 잘 되었다. 또 스타 토폴로지를 구현하여 Overhearing 기법을 테스트 하였다.



(그림 12) Micaz 보드

### 4. 결론

본 연구는 수동 통신에서 다중 모뎀 제어를 통한 전송 매체접근제어 방법과 네트워크 형성을 위한 미들웨어 구조를 제안하고 이를 통해 다중 모뎀간 충돌 회피를 통해 각각의 모뎀을 사용할 수 있게 하였고 채널이 충돌하지 않는 모뎀을 이용하여 통신 대역폭을 증가 시켰다.

향후 연구 방향으로 이벤트 기반 TinyOS Micaz 플랫폼을 대체하여 실시간을 보장하는 RTOS 기반으로 미들웨어를 구현하고 실증 환경에 대한 연구를 진행할 예정이다.

### 참고문헌

[1] Teledyne Benthos, Inc., <http://www.teledynebenthos.com>  
 [2] LinkQuest, Inc., <http://www.link-quest.com>  
 [3] Jun-Ho Jeon, Tae-Hee Won, Hunchul Cho and Sung-Joon Park, "Implementation of a micro-modem for underwater wireless sensor networks," in Proc. IEEE OCEANS 2011, Santander, Spain, Jun. 2011.  
 [4] X. Guo, M. R. Frater, and M. J. Ryan, "A Propagation-delay-tolerant Collision Avoidance Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks," In Proc. of MTS/IEEE OCEANS, Boston, MA, USA, Sep. 2006.