

수중 센서 어레이에서 고 신뢰성을 고려한 신호 전송 시스템 설계

A Design of Signal Transport System with High Reliability in an Underwater Sensor Array

손 동 환* 정 현 주*
Dong-Hwan Son Hyun-Ju Chung

ABSTRACT

A system for detecting underwater target demands a high operational reliability because of the difficulty of maintenance and repair when the system has a few troubles during long operating period. Therefore, in this paper, we have proposed a signal transport system with a high reliability in an underwater sensor array system composed of magnetic and acoustic sensors.

In this system, the nodes for signal transport are connected dually each other with single-hop construction and a magnetic sensor is connected to a couple of neighboring nodes. This enables the output signal to transport from a node to the next node and the next but one node. Also, the signal from a magnetic sensor can be transported to two nodes at the same time. Thus, the system with this construction makes possible to transport sensor data to another node which works normally when a transport node or cable have some faults and will operate normally although it happens some problems in a few signal transport nodes and connection cables

주요기술용어(주제어) : A Underwater Sensor Array(수중 센서 어레이), Signal Transport Node(신호전송 노드), Hop, Reliability(신뢰성)

1. 서론

자기/음향 복합 탐지 센서와 같이 수중에서 운용되는 탐지 장비는 그 구성이 선배열 형태를 가지면서 수중의 아주 광범위한 영역에서 운용되므로 주변 선

박들의 입출향 및 정박등에 의해 예기치 못한 상황이 발생할 수 있다. 또한 시스템이 운용되는 환경이 수중이라는 점과 매우 광범위한 영역에서 운용된다는 특수성 때문에 시스템에서 장애가 발생하더라도 수리가 매우 힘들다^[1-3]. 따라서 자기/음향 복합 탐지센서 어레이와 같은 수중 운용형 탐지 장비는 수년 이상 장기간 동작하더라도 시스템의 성능에 있어서는 장애가 발생되지 않아야하므로 고 신뢰성을 고려한 설계가 요구된다.

자기/음향 복합 탐지 센서 어레이에서 센서로부

† 2004년 10월 18일 접수~2004년 12월 13일 심사완료

* 국방과학연구소 2체계본부(Agency for Defense Development)

주저자 이메일 : hyunju30@daum.net

터의 데이터 수집과 수집된 데이터를 목적노드로 전송하기위한 신호전송 노드들은 스타(star)망, 메쉬(mesh)망, 링(ring)망과 같은 방법으로 망을 구성하여 데이터를 전송할 수가 있다^[4-6]. 스타망과 메쉬망은 케이블을 다중으로 연결하여 케이블의 장애에는 강하다는 장점이 있지만, 그 구조가 복잡하여 구성하기가 어렵고 망구성에 따른 케이블 비용이 고가라는 단점을 가지고 있다^[4,5]. 반면, 링망은 스타망 및 메쉬망에 비해 산재해 있는 노드를 최소한의 연결선으로 효율적으로 연결할 수 있는 장점이 있지만, 하나의 노드 또는 연결선에 장애가 발생하는 경우 전체 노드 사이에 통신이 두절되는 단점이 있다^[6]. 그러므로 하나의 신호전송 노드나 케이블에 장애가 발생하더라도 시스템 전체가 그 기능을 상실할 수 있다. 하지만 신호전송 노드간 데이터의 전송에 있어서 single-hop 구조를 적용하여 이웃한 2개의 노드에 동일 데이터를 이중으로 전송하면 다중의 케이블 또는 노드에 장애가 발생한 경우에도 전체 시스템의 동작이 가능하게 된다. 또한 이러한 신호 전송 노드에 연결된 탐지 센서들도 하나의 신호전송 노드에 일대일로 데이터를 전송하는 구조와는 달리 자기노드 또는 자기 노드와 인접한 신호전송노드에 이중으로 연결하여 데이터를 전송함으로써 연속된 신호 전송 노드의 고장을 제외한 다중의 노드나 케이블에서 장애가 발생하더라도 모든 센서 데이터를 목적 노드로 전송하는 것이 가능하다.

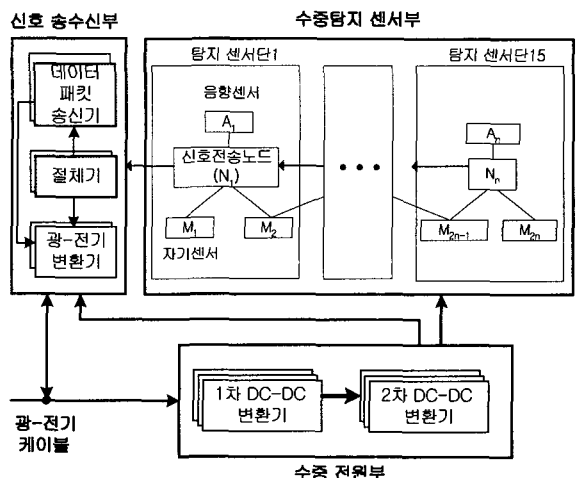
따라서, 본 논문은 위와 같이 수중 운용형 자기/음향 탐지 장비에 있어서 시스템의 운용시 신호 전송과 관련된 일부 구성품에서 장애가 발생하더라도 정상적인 시스템의 동작이 보장되고 이러한 장애로 인한 시스템의 성능 저하가 최소화 될 수 있는 신호 전송부의 설계에 관한 것으로 신호전송노드간의 망구성과 통신방법, 그리고 탐지 센서와 신호전송노드간의 연결구조와 통신방법에 관해서 기술하였다.

2. 자기/음향 복합 탐지 센서 어레이의 구조

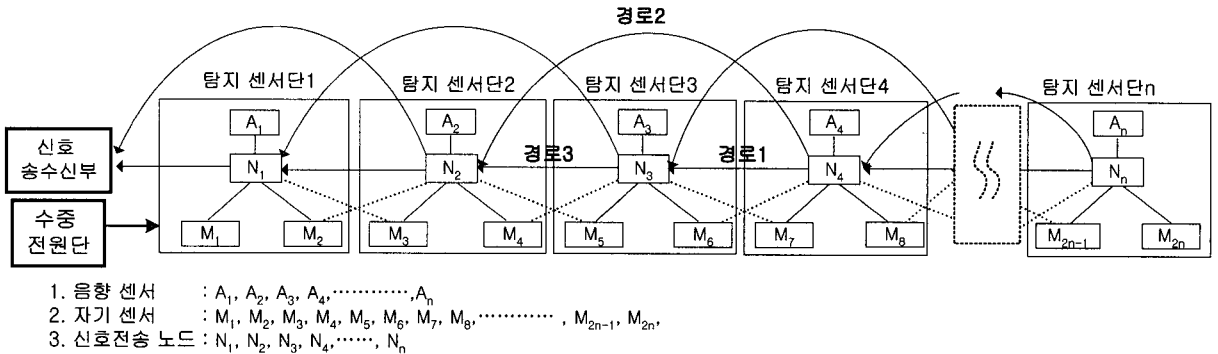
그림 1은 자기/음향 복합 탐지 센서 어레이의 개략적인 구조를 보여준다.

자기/음향 복합 탐지 센서 어레이는 수 km 떨어진 수중부와 육상부 사이의 신호전송과 전원공급을 위하여 광/전기 복합구조 케이블로 구성된 수중 광-전기 케이블, 수중 센서신호를 육상으로 전송하고 육상으로부터의 제어명령을 수중 센서로부터 전송하기 위한 신호 송·수신부, 표적을 탐지하기 위한 탐지센서부 및 육상의 전원 공급장비로부터 전원을 공급받아서 탐지센서부 및 신호 송·수신부의 동작 전원으로 변환하는 수중 전원부로 구성된다.

신호 송·수신부는 탐지센서부로부터 전송되어온 데이터 패킷 신호를 사용하여 광-전기 변환기의 입력 신호를 생성하는 데이터 패킷 전송기, 다수의 데이터 패킷 전송기와 광-전기 변환기들 간의 연결 경로를 설정하여 주는 절체기 및 센서신호 수신장비로부터 전송된 제어신호의 광→전기 변환, 데이터 패킷 신호를 전기→광 변환하는 광-전기 변환기로 구성되며, 탐지 센서부는 두 종류의 탐지센서[자기 센서($M_1 \sim M_{2n}$), 음향 센서($A_1 \sim A_n$)] 및 신호전송노드($N_1 \sim N_n$)로 구성되는 다수의 탐지센서단으로 구성되고, 수중 전원부는 장거리 전송을 위하여 고 전압형태로 전송된 고전압 공급장비 전원을 수 km 단위의 탐지센서부에 공급하기 위한 중간 동작전압으로 변환하는 1차 전원들과 탐지센서부 내에 분산 배치되어 탐지센서단을 구성하는 각 구성품에 동작전원을 공급하는 2차 전원들로 구성된다.



[그림 1] 자기/음향 복합 탐지센서 어레이의 개략도



[그림 2] 자기/음향 복합 탐지 센서 어레이에서 신호전송노드간의 연결구조 및 탐지 센서와 신호전송노드간의 연결구조

3. 수중탐지 센서부의 노드-노드, 자기센서-노드간 신호전송 구조

그림 2는 자기/음향 복합 탐지 센서 어레이의 수중 탐지 센서부에서 신호전송 노드간의 연결구조 및 수중탐지 센서부에서 탐지센서와 신호전송노드 사이의 연결 구조를 상세히 보여준다.

탐지 센서부는 n 개의 탐지 센서단으로 구성되며 각각의 탐지 센서단은 1개의 음향센서와 2개의 자기센서 및 1개의 신호전송 노드로 구성된다. 각각의 탐지 센서로부터 획득한 신호를 신호 송수신부로 전송하는 방법을 신호전송 노드간 전송과 탐지센서와 신호전송 노드간의 전송 2가지로 나누어서 상세히 설명하면 다음과 같다.

가. 신호 전송 노드간의 데이터 전송

그림 2와 같이 각각의 탐지센서단은 두개의 자기센서와 하나의 음향센서 및 신호전송 노드로 구성되고 각각의 신호전송 노드($N_1, N_2, N_3, N_4, \dots, N_n$)는 서로 직렬로 연결이 되어 있는 것이 기본적인 구조이다.

신호전송 노드간의 데이터 전송은 자기/음향 센서 어레이의 시작 노드(N_n)에서 데이터 패킷을 생성하고, 센서 데이터(A_n, M_{2n-1}, M_{2n})를 수집하여 다음 노드($N_{n-1}, N_{n-2}, \dots, N_1$)로 전달하면서 각 노드의 센서 데이터를 수집하여 신호 송수신부로 전송한다. 노드간의 데이터 전송은 전송 주파수가 2.048MHz인 E1 통신 방식을 적용하였고 전송 신호는 HDB3(High



[그림 3] 노드간 통신에 있어서 전기적인 데이터 전송 신호(horizontal : $1\mu s$, vertical : 1V)

Density Bipolar3) 코드로 부호화 하였다^[7]. 그림 3은 노드간 통신에 있어서 HDB3로 코딩된 전기적인 데이터 전송신호를 보여준다.

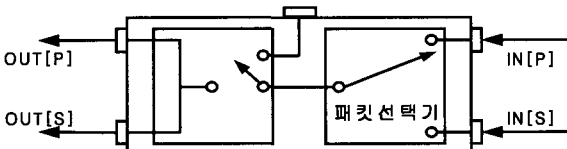
이러한 전송 방식은 구조가 간단하다는 장점을 가지고 있지만 중간의 어느 한 신호전송 노드라도 고장이 발생하면 고장난 노드 이전 노드로부터 전송되어 온 모든 데이터를 다음 노드로 전송하는 것이 불가능하므로 시스템 전체가 그 기능을 상실할 수도 있는 취약점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 문제점을 최소화하고자 single hop 데이터 패킷 전송망 기술을 신호전송 노드간의 데이터 전송을 위하여 사용하였다. 이것은 신호전송 노드의 입출력단을 두개씩 구성하여

노드로부터 동일한 데이터가 2개의 출력단을 통하여 전송되는데 하나의 출력은 바로 다음 노드의 입력단으로 연결되고, 다른 하나의 출력은 한 노드를 건너 뛴 노드의 입력단으로 연결되어 이중으로 데이터를 전송하는 것이다.

그림 2에서 노드 $n(N_n)$ 은 2개의 출력단으로 구성되어 있고 노드 $n-1(N_{n-1}) \sim$ 노드2(N_2)는 2개의 입력단과 2개의 출력단을 가지고 있으며 노드1(N_1)은 2개의 입력단과 1개의 출력단을 가지고 있다. 노드4(N_4)에서 2개의 출력단 중 하나의 출력단은 바로 이웃한 노드3(N_3)의 입력단으로 연결되고, 다른 하나의 출력단은 노드3(N_3)을 건너 뛴 이웃한 노드2(N_2)의 입력단으로 연결된다. 다른 노드들도 그림에서와 같이 노드4(N_4)와 동일한 연결 구조로 구성된다.

그림 4는 그림 2의 노드의 구조도이다. 각 노드는 패킷을 입력 받는 제 1 노드 입력단(IN[P]) 및 제 2 노드 입력단(IN[S])과 상기 입력단으로부터 입력 받은 패킷들 중에서 하나의 패킷을 선택하는 패킷 선택기와 패킷 선택기로부터 선택된 패킷을 이웃한 노드들로 출력하는 제 1 노드 출력단(OUT[P]) 및 제 2 노드 출력단(OUT[S])으로 구성된다.

그림 5는 탐지 센서부의 신호전송과 관련된 통신 패킷으로서 사전에 정해진 1~ n 까지의 일련의 데이터 필드 앞에 붙여진 각 노드의 상태정보 코드를 보여준다. 상태정보 코드는 노드연결 상태 코드, 자기센서 연결상태 코드, 자기센서 연결상태 코드 및 데이터 등으로 이루어져 있다.



[그림 4] 신호 전송 노드의 입출력 구조

SYNC 코드	노드연결 상태 코드(XX)	자기센서 연결상태 코드(XXb)	데이터 1	데이터 2	...	데이터 N	TT 코드
---------	----------------	-------------------	-------	-------	-----	-------	-------

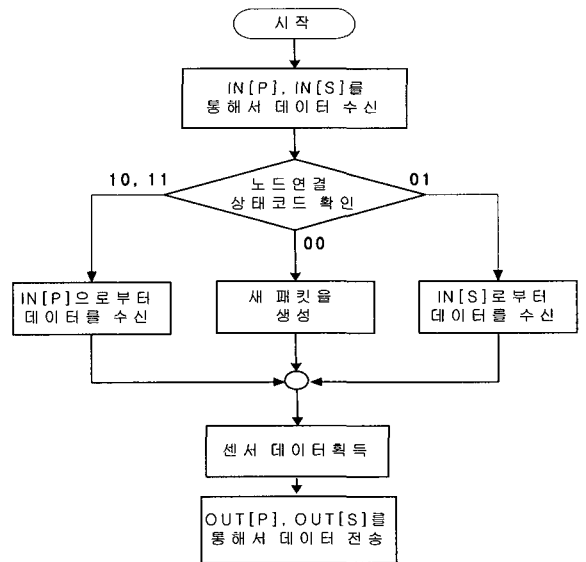
0 : 이전 노드의 주(primary) 센서 연결 불량
 1 : 이전 노드의 종속(primary) 센서 연결 정상
 00 : IN[P] 통신 불량, IN[S] 통신 불량
 01 : IN[P] 통신 불량, IN[S] 통신 정상
 10 : IN[P] 통신 정상, IN[S] 통신 불량
 11 : IN[P] 통신 정상, IN[S] 통신 정상

[그림 5] 통신 패킷내의 상태정보 코드의 구조

노드 연결 상태 코드는 현재 노드와 이전 노드들과의 통신에 있어서 정상 유무를 판단하는 코드로서 그림 4에서와 같이 00, 01, 10, 11 4가지로 나타낼 수 있다. 전송 케이블의 불량이나 이전 노드의 출력단 및 현재 노드의 입력단의 장애와 같은 원인으로 인하여 데이터 전송이 불량인 경우는 0이 되고 정상인 경우는 1이 된다.

그림 6은 노드간 데이터 전송에 있어서 패킷처리 방법을 보여주는 순서도이다.

신호 전송 노드간의 데이터 전송 방법을 그림 2의 4번 노드(N_4)를 예를들어 설명하면 다음과 같다. 노드4(N_4)는 동일 데이터를 2개의 출력단(OUT[P], OUT[S])에서 경로1과 경로2를 통하여 3번 노드(N_3)와 2번 노드(N_2)로 이중으로 전송한다. N_2 노드의 입력단은 그림 2와 같이 N_3 노드로부터 경로3을 통해서 전송된 데이터 패킷을 IN[P]에서 전송 받고, N_4 노드로부터 경로2를 통해서 전송된 데이터 패킷은 IN[S]에서 전송받는다. 일단 IN[P] 데이터 패킷이 정상(노드연결 상태코드 : 10 또는 11)이면 IN[P] 패킷을 수신하고 IN[S]로 수신된 패킷은 삭제한다. 만일 IN[P]로 전송된 패킷이 비정상이고 IN[S]로부터 수신된 패킷이 정상(노드연결 상태코드 : 01)이면 IN[P]



[그림 6] 노드간 데이터 전송에 있어서 패킷 처리 방법을 보여주는 순서도

로 전송된 패킷은 패기하고 IN[S]로 전송된 패킷을 수신한다. 그리고 IN[P]와 IN[S]로 전송된 패킷이 모두 비정상(노드연결 상태코드 : 00)이면 IN[P]와 IN[S]로부터 수신된 패킷을 모두 패기하고 새로운 패킷을 생성한 후 센서 데이터를 수집하여 2개의 출력단을 통하여 다음노드로 전송한다.

따라서 N₃의 노드에서 장애가 발생되더라도 이전 노드들로부터 수신된 센서 데이터를 경로 2를 통하여 N₂ 노드로 전송하는 것이 가능하다. 이러한 데이터 전송방법은 모든 신호전송노드에 동일하게 적용된다.

나. 탐지센서와 신호전송 노드간의 데이터 전송
자기/음향 복합 탐지 센서 어레이는 두가지의 탐지 센서 즉 자기 센서와 음향 센서로 구성이 된다. 음향 센서는 탐지할 수 있는 범위가 반경 수km 이상으로 탐지할 수 있는 영역이 비교적 넓다. 따라서 하나의 음향 센서가 신호전송 노드와의 연결 케이블의 장애, 신호전송 노드의 장애, 음향센서 자체의 장애 등으로 그 기능을 상실하더라도 시스템 전체의 성능 저하에는 큰 영향을 미치지 않는다. 반면, 자기센서는 정밀한 탐지가 가능하지만 그 탐지 반경이 수백 m 이하로 비교적 단거리이므로 센서 하나가 그 기능을 상실하면 전체 시스템의 성능 저하를 불러온다. 따라서 자기센서와 신호전송 노드들과의 연결은 기본적 연결구조 이외에 이전 혹은 다음 탐지센서단의 신호전송 노드와 연결되는 추가 결합구조를 가지도록 설계하였다.

그림 2에서 탐지센서단2의 경우를 예를들어 추가 결합 구조를 설명하면, 센서 M₃은 노드 N₂뿐만 아니라 다음 탐지센서단1의 노드 N₁에도 연결되고, 센서 M₄ 또한 노드 N₂와 이전의 탐지센서단3의 노드 N₃로도 연결된다. 따라서 하나의 신호전송 노드에는 4개의 자기 센서가 연결되는 구조를 가진다. 이러한 자기센서와 신호 전송 노드의 다중 연결구조에서 데이터 처리방법을 상세히 설명하면 다음과 같다. 그림 5의 통신 패킷내의 상태정보 코드에 이전 노드(N₃)에서 수행된 주(Primary) 센서(M₄, M₅)들의 연결상태 코드가 포함된다. 임의의 신호전송 노드에 연결된 4개의 단거리 탐지센서는 표 1과 같이 지정하게 되는데, 노드 N₂의 경우는 M₂, M₃, M₄, M₅ 센서가 연결

[표 1] 노드에 따른 자기 센서의 주/중 연결상태

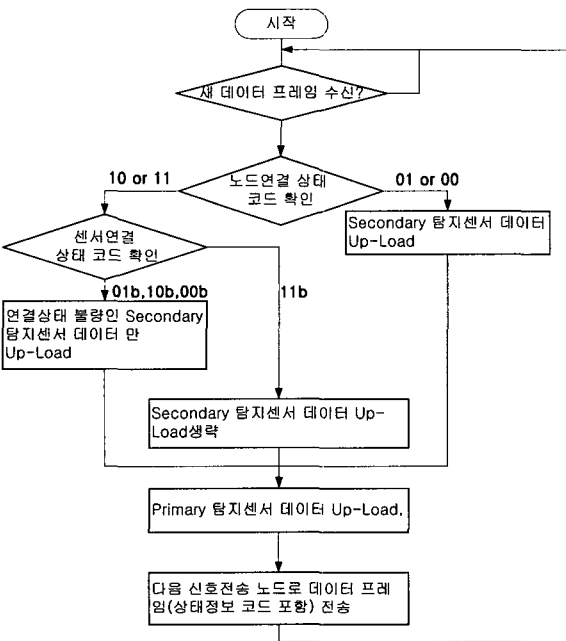
신호전송 노드 \ 탐지센서	N1	N2	N3	N4	...
M1	주 센서				
M2	중속 센서	주 센서			
M3	중속 센서	주 센서			
M4		중속 센서	주 센서		
M5		중속 센서	주 센서		
M6			중속 센서		
M7			중속 센서	주 센서	
⋮				⋮	⋮
⋮				⋮	⋮

되어 있다. 바로 다음 신호전송 노드(N1)와 연결된 센서(M₂, M₃)들은 주(Primary) 센서로, 바로 이전 노드(N₃)와 연결된 센서(M₄, M₅)들은 중속(Secondary) 센서로 지정하고, N₃에서 주 센서(M₂, M₃)와의 연결상태에 따라 센서 연결상태 코드를 갱신한다.

그림 7은 장애가 발생된 노드와 연결된 자기 센서의 정보를 재처리 하는 방법을 보여주는 순서도이다. N₂ 노드를 예를 들어 살펴보면, 신호전송 노드(N₂)에 새 데이터 패킷이 입력되면 이전 노드에 포함된 주 센서정보와 자신의 노드에서 설정된 주 센서의 정보 처리가 시작되어, 노드 연결 상태코드가 정상인지를 확인하고, 이전 노드에서 수신된 데이터 패킷이 정상이면 센서 연결 상태코드를 확인한다. 센서 연결상태 코드가 11이면 이전 노드에 연결된 주 센서(M₄, M₅) 모두 정상적인 정보처리가 되었음을 의미하므로 현재의 노드에서는 중속관계로 설정된 센서(M₄, M₅)에 대한 재처리를 생략한다. 만일 상태코드가 00인 경우

는 이전 노드에 연결된 주 센서(M₄, M₅) 모두가 정상적으로 처리되지 않았음을 의미하므로 현재 노드(N₂)에서 종속관계로 설정되는 해당 센서(M₄, M₅)를 다시 처리하거나, 상태코드가 01인 경우는 이전 노드에 연결된 주 센서 중에서 M₅ 센서만 정상적으로 처리되지 않았음을 의미하므로 현재 노드에서 해당 센서(M₅)를 다시 처리하고, 상태코드가 10인 경우는 이전 노드(N₃)에 연결된 주 센서 중에서 M₄ 센서만 정

상적으로 처리되지 않았음을 의미하므로 현재 노드(N₂)에서 해당 센서(M₄)만을 다시 처리한다. 노드 연결상태 코드가 불량(01, 00)이면 바로 이전노드(N₃)로부터 수신되는 데이터 프레임이 정상적이지 않으면서 이전노드(N₃)에서 처리된 주 센서(M₄, M₅) 정보는 신뢰할 수 없음을 의미하므로 현재의 노드(N₂)에서 해당 센서(M₄, M₅)들에 대한 재처리를 수행한다. 따라서, 수중 탐지 센서부에서 연속된 신호전송노드의 장애를 제외한 다수의 신호전송 노드에 장애가 발생되거나 자기 센서와 신호전송 노드간의 연결 케이블에 문제가 발생되더라도 자기 센서의 데이터 전송은 정상적으로 이루어진다.

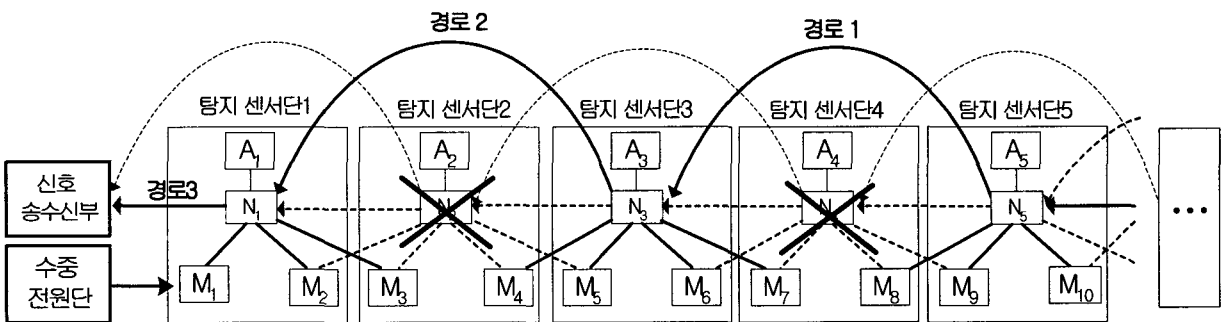


[그림 7] 장애가 발생된 노드와 연결된 자기센서 정보의 재처리 방법을 보여주는 순서도

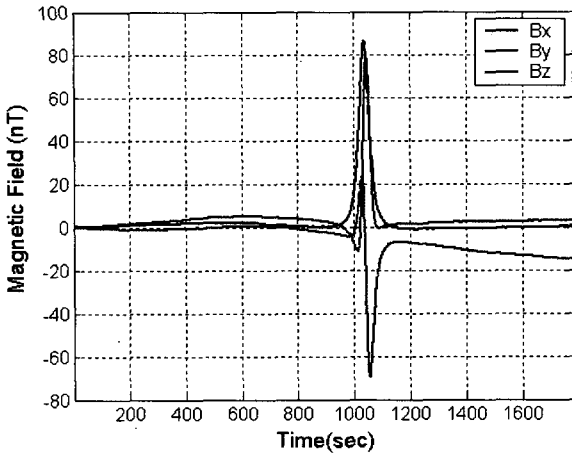
다. Single hop 구조와 자기센서의 이중 연결 구성에 의한 시스템의 효과

그림 8은 위에서 설명된 신호전송 시스템의 효과를 설명하기 위한 것으로 노드 N₂와 노드 N₄에서 다중으로 장애가 발생한 경우 자기센서 데이터의 신호전송 노드로의 전송 및 신호전송 노드간의 데이터 전송 경로를 보여준다.

각각의 자기센서는 2개의 노드에 이중으로 연결되어 있으므로 노드 N₂와 N₄에서 장애가 발생된 경우 센서 M₃은 노드 N₂ 대신 노드 N₁에서 데이터의 처리가 이루어지고 센서 M₄도 노드 N₂ 대신 노드 N₃에서 데이터의 처리가 이루어진다. 센서 M₇와 M₈도 노드 N₄대신 N₃와 N₅에서 데이터가 처리된다. 그리고 노드간의 데이터 전송 시스템도 single hop 구조로 구성하였으므로 노드 N₂와 노드 N₄가 그 기능을



[그림 8] 자기/음향 복합 센서 어레이에서 다중으로 노드에 장애가 발생된 경우의 자기센서 데이터의 전송 경로 및 노드간의 전송 경로



[그림 9] n번째 자기센서에 의한 탐지신호

상실하더라도 경로 1과 경로 2 및 경로3을 통하여 노드 5와 노드 3 그리고 노드 1 사이의 통신은 정상적으로 이루어진다. 그러므로 모든 자기 센서 데이터를 정상적으로 신호 송수신부로 전송할 수가 있다.

그림 9는 완성된 시스템에서 n번째 자기 센서서가 탐지한 수중 운동 물체의 신호를 보여준다.

4. 결론

수중 센서 어레이에 있어서 장비의 설치 후 운용시 신호전송 케이블 및 신호전송 노드와 같은 일부 구성품에서 장애가 발생하더라도 정상적인 시스템의 동작이 보장되고 이러한 장애로 인한 성능 저하가 최소화될 수 있는 신호전송 구조에 관해서 기술하였다.

이를 위해, 첫째, 신호전송 노드간의 데이터 전송은 single hop 패킷 전송망으로 구성하여 데이터의 전송 구조를 이원화하였고 둘째, 자기 센서와 신호전송 노드간의 데이터 전송은 탐지 센서를 두 개의

인접한 신호전송 노드에 이중으로 연결하여 연속된 신호전송 노드의 고장을 제외한 부분적인 노드의 고장은 시스템의 탐지 성능에 전혀 문제가 되지 않도록 하였다. 따라서 시스템의 장기 동작시 신호전송 케이블 및 노드의 어느 한 구성품에서 장애가 발생하더라도 전체 시스템의 정상 동작이 가능하고 또한 시스템 설치 후 수 년 또는 수십 년 동안 안정적인 동작이 요구되는 분야 및 망의 수리가 곤란하거나 수리비용이 비싼 응용 분야에 적용할 경우 효과가 클 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 손동환 외, 국방과학연구소 보고서, NSDC-517-010153, 2001.
- [2] 손동환, 정현주, 국방과학연구소 보고서, NSDC-309-031276, 2003.
- [3] 손동환, 정현주, 국방과학연구소 보고서, NSDC-517-041275, 2004.
- [4] Al-Tawil K.M., Abd-El-Barr, M. Ashraf F., "A survey and comparison of wormhole routing techniques in a mesh networks", Network, IEEE, Vol. 11, No. 2, pp.38~45, 1997.
- [5] Ni L. M., McKinley P. K., "A survey of wormhole routing techniques in direct networks", Computer, IEEE, Vol. 26, No. 2, pp.62~76, 1993.
- [6] D. C. Green, *Data Communication*, Longman Scientific & Technical, 1991.
- [7] Bernard Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall International Edition, 1988.