

# 지역전 기법을 이용한 다중 센서 노드 환경에서의 합용량 해석

## Sum-Capacity Analysis of Multiple-Sensor Node Underwater Communications Using Time Reversal Transmission Method

조 정 일\*, 서 중 필\*, 안 재 진\*, 정 재 학\*  
(JungIl Cho\*, JongPil Seo\*, JaeJin An\*, Jaehak Chung\*)

\*인하대학교 전자공학부

(접수일자: 2010년 3월 25일; 수정일자: 2010년 4월 27일; 채택일자: 2010년 5월 11일)

본 논문은 다중 센서 노드가 존재하는 채널에서 지역전 전송방식을 이용하여 센서의 합용량을 증대시키는 다중 접속 기술에 대한 해안을 하였다. 제안된 방식은 지역전 기법의 신호 접속 효과를 이용하여 모든 센서노드에 동시에 다른 정보를 전달함으로써 합 용량이 증대된다. 실험을 통해 제안된 기술이 기존 주파수 직교 다중 접속 방법보다 높은 센서의 합 용량을 얻었고 센서노드의 수 30개, 트랜스듀서의 수 8개, SINR 16 dB에서 기존의 방법보다 약 27 bps/Hz 향상됨을 보였다.

**핵심용어:** 지역전 기법, 합용량, 다중센서노드

**투고분야:** 음향통신기술 분야 (6.3)

This paper proposes a multiple access method based on Time Reversal Mirror (TRM) technique when the multiple sensor nodes exist. Proposed method increases system sum capacity using energy focusing effects of the TRM. Simulation results show that proposed algorithm obtains higher system sum capacity than Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA), e.g., 27 bps/Hz higher than the OFDMA method when the number of sensor node is 30, the number of transducer is 8, and is SINR 16 dB.

**Keywords:** Time Reversal Mirror Method, Sum Capacity, Multiple-Sensor Node

**ASK subject classification:** Acoustic Communications (6.3)

### I. 서론

음파를 사용하여 정보를 교환하는 수중 통신은 긴 전파 지연 등 다양한 수중 환경 특성에 따라 무선 통신 변수 설정에 어려움이 있고 전송 신호의 대역폭이 제한되어 있기 때문에 통신 용량의 증가에 많은 어려움이 있다 [1-2].

수중 환경에서 중앙노드 (BN, base-station node)와 다중 센서노드 (SN, sensor node)가 존재하는 중앙 집중적 통신 방식에서 다중 센서노드를 이용한 통신방법은 각 센서노드에 미치는 간섭신호를 최소화하기 위해서 주파수 및 시간자원을 각 센서노드에 할당하여 통신을 한다. 이 방법의 문제점은 같은 주파수 및 시간 자원을 활용

하여 다중 센서노드에 서로 다른 정보를 동시에 전송할 수 없기 때문에 센서노드 수가 증가하면 전체 시스템 합용량의 증가를 기대할 수 없다. 그리고 수중에서 신호 전달의 통달 시간이 상대적으로 길기 때문에 센서노드간의 신호 전달 길이가 늘어날수록 지연시간이 더욱 커지게 되어 중앙노드에서 전송한 신호를 수신하기 위한 센서노드의 복잡도는 더욱 증가하게 된다.

다중센서 노드에 간섭 없이 효율적으로 정보를 전송하기 위해 송신단 빔형성 (beamforming) 기법이 사용될 수 있다. 그러나 이 방식은 센서노드가 중앙노드에 빔선형 방향으로 일렬로 배치된 경우에 상호 간섭이 발생하고 모든 센서노드의 채널 정보를 중앙노드가 알고 있어야하는 문제가 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 다중 센서 노드가 존재하는 중앙 집중적 수중 통신환경에서 중앙노드에 지역전 기법을 적용하여 추가적인 주파수 자원의

증가없이 전체 시스템 합 용량을 증가시키는 방법을 제안한다.

시역전 기법은 중앙노드에서 데이터를 수신하기 전에 센서노드가 일련의 탐침신호 (probe signal)를 중앙노드에 전송하여 채널 정보를 획득한 후 이 정보를 이용하여 중앙노드는 진지 필터 (pre-filter)로써 획득한 채널 정보를 시역전시켜 데이터와 함께 센서노드로 신호를 전송하는 기법이다 [3]. 시역전 기법을 적용하면 각 센서노드에 에너지 집중효과를 얻을 수 있어서 빔형성 방식에서 발생하는 문제인 센서가 중앙노드에 법선으로 정렬된 경우에도 상호 간섭을 주지 않게 된다 [4-6], 그리고 각 센서노드에 신호 전송 시 주파수 및 시간자원을 각 센서노드에 나누어 전송하는 기존의 다중 센서노드 접속방법과 다르게 동일한 주파수 및 시간자원을 이용하여 각 센서노드에서 서로 다른 신호를 전송할 수 있기 때문에 전체 시스템 합 용량을 증가시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 시역전 기술에 대해 설명하고, 제 3장에서는 본 논문에서 제안한 수중 채널 환경에서의 통신방법에 대해 설명한다. 제 4장에서는 제안된 시역전 기법을 이용한 다중 센서노드 환경에서의 시스템 합 용량에 대해 알아보고 제 5장에서 전산모의실험으로 제안된 기법을 이용한 시스템 용량을 분석하며 마지막 제 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 시역전 기법 (Time Reversal Mirror)

시역전 기법은 음향 수중 환경 통신에서 연구가 많이 진행되고 있다. 이 기법은 에너지의 집중 특성과 다중경로에 의해 발생하는 인접 심볼 간의 간섭 크기를 감소하는 특징을 가지고 있어서 송신 트랜스듀서가 간단한 신호

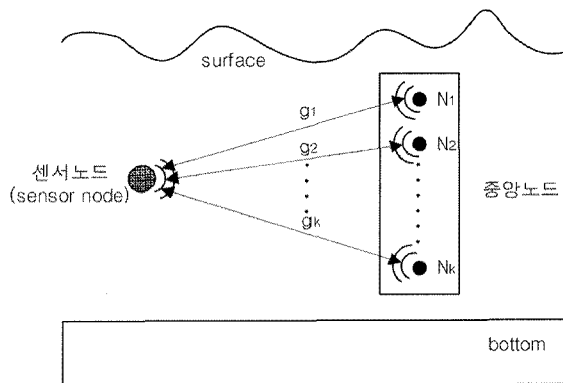


그림 1. 시역전 기법  
Fig. 1. Time Reversal Mirror technique.

처리에 의해 채널 정보를 알고 보내는 것과 같은 효과를 얻는다 [7-10].

그림 1은 하나의 센서노드와  $k$ 개의 트랜스듀서를 갖는 중앙노드가 존재하는 환경에서의 시역전 방법의 개념을 나타낸다. 센서노드에서 알려진 신호  $x(t)$ 를 전송할 때 중앙노드의  $k$ 번째 트랜스듀서에서 수신되는 신호는 다음 식과 같다.

$$y_k(t) = x(t) * g_k(t). \tag{1}$$

여기서  $*$ 표시는 곱셈 연산을 의미하고  $g_k(t)$ 는 채널 임펄스 응답을 나타낸다. 만약 각 트랜스듀서에 도달하는 다중경로 (multipath)의 수가  $P$ 개 일 때 채널 임펄스 응답을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$g_k(t) = \sum_{n=1}^P g_{k,n}(t). \tag{2}$$

시역전 기법은  $k$ 개의 트랜스듀서에서 수신된 탐침 신호의 공액 복소값 (conjugate complex value)을 시역전한 값  $y_k^*(-t)$ 를 각각의 중앙노드 트랜스듀서에서 센서노드로 재전송한다. 이후 센서노드에서 수신되는 신호  $z(t)$ 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$z(t) = x^*(-t) * \left[ \sum_{k=1}^K g_k(t) * g_k^*(-t) \right]. \tag{3}$$

위의 식 (3)을 주파수 영역에서의 표현으로 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z(w) = X^*(w) \sum_{k=1}^K |G_k(w)|^2. \tag{4}$$

식 (4)에서 수신된 신호  $Z(w)$ 는 센서노드에서 전송한 탐침 신호  $X(w)$ 와 채널 이득 성분  $\sum_{k=1}^K |G_k(w)|^2$ 로 이루어져 있음을 알 수 있다. 여기서 채널 이득 성분  $\sum_{k=1}^K |G_k(w)|^2$ 는 각각의 다중경로 이득의 합이므로 다중 트랜스듀서를 사용함으로써 얻어지는 에너지 집중 효과가 생기고, 중앙노드의 트랜스듀서로부터 재전송된 신호는 채널의 응답 특성을 모르고 있더라도 채널 정보를 알고 신호를 보

내는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 또한 중앙노드의 트랜스듀서 개수가 증가할수록 다중경로 이득의 합이 증가함으로써 특정 위치에서 에너지 집중 효과가 커지고 다른 위치에 미치는 간섭 신호 세기는 감소된다.

그러나 위의 결과는 중앙노드 트랜스듀서간의 상호 상관관계가 없는 경우에 성립하므로 수중 환경에서 상호 거리에 따른 채널들에 대한 상관관계를 알아본다.

수중 환경에서 음파의 속도를 약 1500 m/s라 하고 전송 주파수를 약 3.5 KHz라고 했을 때 음파의 파장  $\lambda$  값은  $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500m/s}{3.5kHz} \approx 0.4285m$  이다. 일반적인 수중 환경에서 점과 점 (point-to-point)사이의 길이  $d_k$ 의 차이가  $\lambda/2$ 보다 커질 경우 두 점과 점 사이의 링크는 서로 비상관관계 (uncorrelated)에 있다고 할 수 있다 [11]. 그러므로 다중 트랜스듀서를 갖는 중앙노드의 각각의 트랜스듀서는 서로 비상관관계를 가지고 있다고 가정할 수 있다.

지역전 기법을 다중 센서노드 시스템에 적용할 경우 중앙노드와 다중 센서노드간의 상관관계는 전체 시스템 용량에 영향을 준다. 앞의 결과와 같이 각 수중 센서노드간의 간격이 일정거리 이상이면 각 센서노드들도 서로 비상관관계를 가지고 있다고 가정할 수 있으므로 상관관계에 의한 채널 용량은 감소되지 않는다.

본 논문은 이러한 센서노드들의 비상관관계를 가지고 있고 중앙노드 트랜스듀서간의 상관관계가 없는 상황에서 중앙노드가 지역전 기법을 이용하여 다중 센서노드에 데이터를 전송하는 하향링크 방식에 대한 제안을 하

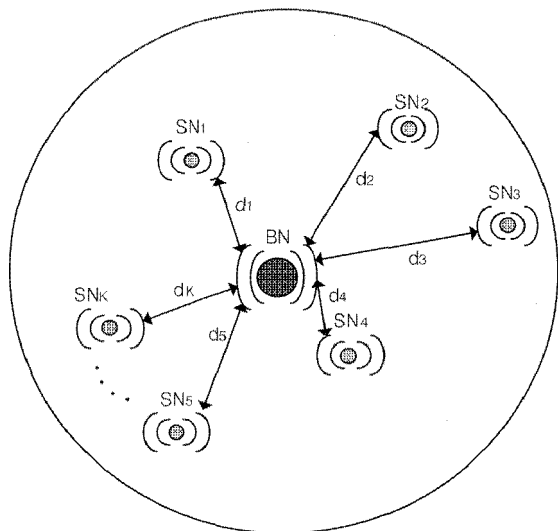


그림 2. 다중 센서노드가 존재하는 수중채널 환경  
Fig. 2. Underwater channel environment with multiple-sensor node.

였다. 제안된 방식은 지역전 기법에 의한 에너지 집중 효과에 의해 동시에 다중 센서노드에 다른 정보를 보낼 수 있으므로 기존의 다중 접속 방식보다 높은 합용량을 얻을 수 있다. 이 방법에 대한 자세한 설명을 다음 장에서 한다.

### III. 지역전 기술을 이용한 다중 센서노드 환경에서의 통신방법

일반적인 다중 센서노드가 존재하는 수중환경은 그림 2와 같으며 하나의 중앙노드와  $k$ 개의 센서노드가 존재한다고 가정하였다. 본 논문에서는 제안된 방법을 간단히 설명하기 위하여 중앙노드는  $M$ 개의 트랜스듀서를 갖고 센서노드는 각각 단일 트랜스듀서를 가졌으며 센서노드가 2개만 존재할 경우의 통신방법에 대한 설명을 한다. 이것에 대한 개념도는 그림 3과 같이 나타낼 수 있고 전송 방법은 다음과 같다.

- 1) 시간  $t = 0$ 에서 중앙노드는 탐침음원을 센서노드 (SN)1,2에 전송한다. 이때 각 센서노드는 시간 지연 없이 곧바로 중앙노드에 신호를 재전송한다고 가정한다.

그림 3에서는 상대적으로 거리가 가까운 센서노드 1-중앙노드링크를 통한 신호전송이 센서노드2-중앙노드링크를 통한 신호 전송보다 빨리 이루어진다. 각각의 센서노드에서 전송된 신호가 중앙노드에 도착하는데  $t_1$ 만큼의 시간 지연이 발생함으로써 이후에 각 센서노드에서 전송된 신호를 검출하는데

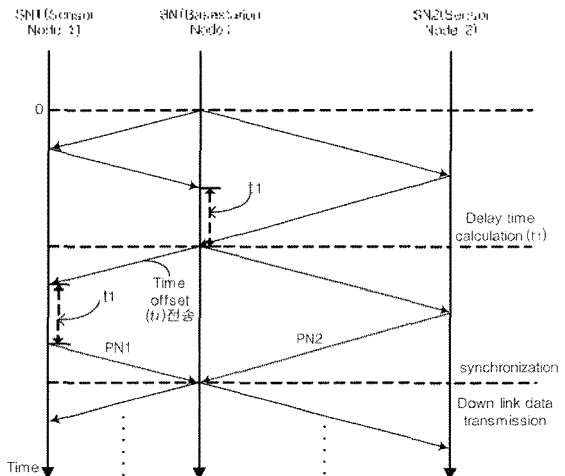


그림 3. 센서노드가 2개일 경우의 프로토콜  
Fig. 3. Transmission protocol structure for time reversal with 2 sensor node.

- 있어서 중앙노드의 복잡도가 증가하게 된다.
- ② 중앙노드에서 유파의 가장 먼저 수신한 신호를 기준으로 중앙노드에서 동일한 시간에 센서노드의 신호를 수신하기 위해 서로 다른 위치에 존재하는 센서노드의 거리를 고려하여 시간 오프셋 (time offset)  $t_1$  을 연산한다.
  - ③ 중앙노드에서 각 센서노드에 시간 오프셋을 전송하고 각 센서노드는 수신된 정보를 이용하여 중앙 노드에 신호를 전송할 때 시간 오프셋만큼의 시간 지연을 하여 전송한다.
  - ④ 각 센서노드에서는 서로 다른 직교코드를 전송하고 중앙노드에서는 동일한 시간에 각 센서노드에서 보내지는 신호를 수신할 수 있다. 중앙노드에서는 직교코드를 이용하여 각 센서노드에서 전송한 탐침 신호를 구분할 수 있게 된다.
  - ⑤ 중앙노드는 각 센서노드에서 수신한 채널 정보를 시역전하여 동시에 다중 센서노드에 각각 다른 데이터를 전송한다.

이러한 방법은 센서노드의 수가 증가할 경우도 적용 가능하다.

다음 장에서는 위에서의 제안한 프로토콜을 기반으로 한 시역전 기법을 이용한 다중 센서노드 환경에서의 채널 용량에 대해 설명한다.

#### IV. 시역전 기법을 이용한 다중 센서 노드 환경에서의 합 용량

본 논문에서 고려한 수중 통신에서의 중앙노드와 다중

센서노드의 배치는 그림 2와 같다. 그리고 다중 센서노드가 존재하는 수중 채널 하향 링크 (down-link) 시스템을 구성하면 그림 4와 같다. 중앙노드는  $M$ 개의 다중 트랜스듀서를 갖고 다중  $SN_k (k=1, \dots, K)$ 는 각각 단일 트랜스듀서를 갖는다.  $t$  가 정한다. 또한 중앙노드의  $m$  번째 트랜스듀서와  $SN_k$  사이의 채널임펄스 응답을  $h_{mk}$ 로 정의한다. 채널 임펄스 응답 벡터를 이용하여 센서노드-중앙노드 상향 링크에서의 전체 채널 행렬  $\mathbb{H}_{uplink}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbb{H}_{uplink}(t) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(t) & \dots & h_{1,K}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1}(t) & \dots & h_{M,K}(t) \end{bmatrix}$$

위 식에서의 시역전 기술을 이용하여 얻은 시역전 행렬  $\mathbb{W}$ 를 다음식과 같이 구한다.

$$\mathbb{W}(t) = \begin{bmatrix} h_{1,1}^*(-t) & \dots & h_{1,K}^*(-t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1}^*(-t) & \dots & h_{M,K}^*(-t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

중앙노드-센서노드 하향 링크에서의 채널 행렬  $\mathbb{H}_{downlink}$ 는 채널의 상반성 (reciprocity)으로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\mathbb{H}_{downlink}(t) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(t) & \dots & h_{M,1}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{1,K}(t) & \dots & h_{M,K}(t) \end{bmatrix}$$

중앙노드에서 각  $K$ 개의 센서노드로 전송하는 신호는  $\mathcal{Z}(t) = [z_1(t) \dots z_K(t)]^T$ 로 나타내고 이 벡터와  $\mathbb{W}$ ,

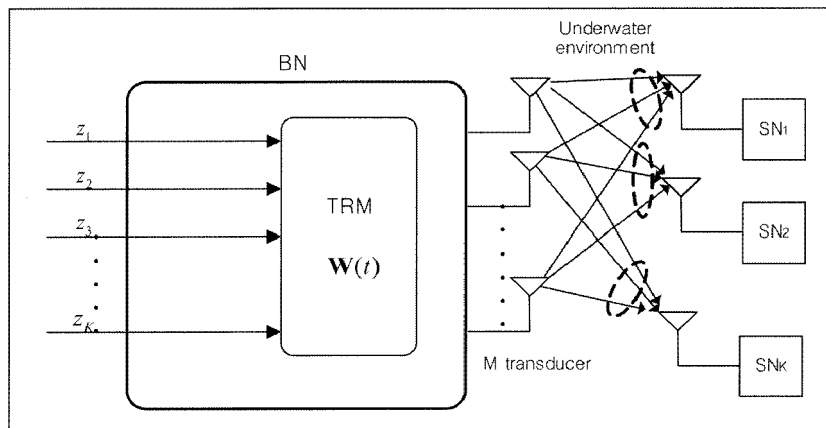


그림 4.  $M$ 개의 트랜스듀서를 갖는 중앙노드(BN)와 단일 트랜스듀서를 갖는 다중 센서노드(SN)가 존재하는 하향 링크 시스템  
Fig. 4. Downlink system with a single BN, and the presence of multiple SNs.

비 $h_{m,nl}$ 를 이용하여 각 센서노드 ( $SN_k$ )에서 수신한 신호는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Y(t) = E_{h_{m,nl}}(t)W(t)Z(t) + N(t), \quad (9)$$

$$Y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ \vdots \\ y_K(t) \end{bmatrix}, N(t) = \begin{bmatrix} n_1(t) \\ \vdots \\ n_K(t) \end{bmatrix}$$

위 식에서  $N(t)$ 은 각 센서노드에서 분산 값  $\sigma_k^2$ 를 갖고  $CN(0, \sigma_k^2)$  분포를 갖는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 위 식을 주파수 영역에서의 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Y(\omega) &= E_{h_{m,nl}}(\omega)W(\omega)Z(\omega) + N(\omega) \\ &= \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,1}(\omega) \cdots h_{M,1}(\omega) & h_{1,1}^*(\omega) \cdots h_{1,K}^*(\omega) \\ \vdots & \vdots \\ h_{1,K}(\omega) \cdots h_{M,K}(\omega) & h_{M,1}(\omega) \cdots h_{M,K}(\omega) \end{bmatrix}}_{\mathbb{G}} \begin{bmatrix} z_1(\omega) \\ \vdots \\ z_K(\omega) \end{bmatrix} \\ &\quad + N(\omega) \\ &= \begin{bmatrix} g_{1,1} \cdots g_{1,K} \\ \vdots & \vdots \\ g_{K,1} \cdots g_{K,K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1(\omega) \\ \vdots \\ z_K(\omega) \end{bmatrix} + N(\omega) \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)에서 행렬  $\mathbb{G}$ 는  $K \times K$ 차원을 가지며 이 행렬의 대각성분  $g_{k,l} = \sum_j |h_{j,k}|^2$  이 각 센서노드에 적용되는 채널 이득을 나타낸다. 채널 이득 행렬의 대각성분 이외의 성분들은 각 센서노드에 영향을 미치는 간섭 신호들의 채널 이득을 나타낸다. 위의 식에서 행렬  $\mathbb{G}$ 의 각 성분  $g_{k,l}$ 를 이용하여 신호대 간섭 및 잡음비 (SINR, signal to noise and interference ratio)를 정리하면 다음과 같다.

$$SINR_k = \frac{s_k g_{k,k}}{\sum_{m=1, m \neq k}^K g_{k,m} s_m + \sigma_k^2}$$

여기서 중앙노드의 트랜스듀서의 개수를 증가시킴으로써 각 센서노드에 적용되는 에너지 집중 효과가 증가하고 간섭 신호  $\sum_{m=1, m \neq k}^K g_{k,m} s_m$ 들의 채널 이득은 감소하여 SINR이 향상된다.

SINR식을 이용하여  $K$ 개의 센서노드를 가지는 전체 시스템 합 용량 (sum capacity)은 다음 식 (11)과 같다

[12] [13].

$$C_{sum} = B \sum_{k=1}^K \log_2(1 + SINR_k). \quad (11)$$

위 식 (11)에서  $B$ 는 시스템에 할당된 주파수 대역폭 (bandwidth)을 나타내고 시스템 합 용량은 각 중앙노드-센서노드 링크들의 용량의 합으로서 나타낸다. 그리고 중앙노드의 트랜스듀서 개수  $M$ 이 증가할수록 SINR이 향상되며 시스템 합 용량이 증가되고 기존의 다중 접속방식보다 높은 합 용량을 얻을 수 있다.

### V. 전산모의실험 및 결과

본 장에서는 단일 트랜스듀서를 갖는 다중 센서노드가 존재하고 다중 트랜스듀서를 가진 중앙노드가 존재하는 수중음향채널에서 제안된 시역전 방법을 사용했을 때 시스템 용량의 변화를 알아보았다. 모의실험 환경은 그림 2와 같이 중앙노드의 트랜스듀서 수 4,8개, 센서노드가  $K$ 가 20,30일 경우에 대해 설정하였다. 채널 모델은 음선 이론 기반의 BELLHOP 채널 모델을 적용하여 얻은 채널 임펄스 응답을 사용하였고 전송신호의 중심주파수 7kHz로 설정하였다.

본 실험에서는 간섭이 없는 이상적인 경우와 제안된 방식, 그리고 주파수 선택 페이딩 (frequency selective fading)에 의한 효과를 간략하게 반영하기위해 CP (cyclic prefix)를 제외하고 각 부반송파 (subcarrier)의 용량만을 고려한 기존의 직교주파수 분할 다중 접속 방법 (OFDMA, orthogonal frequency division multiple access)에서의 합용량을 비교하였다.

기존의 OFDMA 접속방법에서의 시스템 합 용량은 다음과 같다.

$$SINR_{k,l} = \frac{P_{k,l} h_{k,l}^2}{\sum_{j=1, j \neq k}^K P_{j,l} h_{k,l}^2 + \sigma_k^2 \frac{B}{L}}. \quad (12)$$

$$C_{OFDMA} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{B}{L} \log_2(1 + SINR_{k,l}). \quad (13)$$

위 식 (12)에서  $P_{k,l}$ 은  $k$ 번째 센서노드가  $l$ 번째 부반송파 (subcarrier)를 이용해서 신호를 전송할 때의 전송전

력을 나타내고  $L$ 은 전체 부반송파 수를 나타낸다. 식 (13)에서와 같이 데이터 전송 시 전체 대역폭  $B$ 를 부전송파 개수  $L$ 로 나누어 각 센서노드에 서로 다른 부전송파를 할당하여 데이터 전송이 이루어지므로 센서노드의 수  $K$ 가 증가할 때 향상된 시스템 합 용량을 얻을 수 없다.

그림 5는 센서노드 수  $K=20$ 이고 SINR이 16 dB에서 중앙노드의 트랜스듀서 개수  $M$ 의 변화에 따른 시스템 합 용량을 나타낸다. 이 결과는 트랜스듀서의 개수가 증가할수록 시역전 기법을 적용하여 얻는 채널 이득 성분 값이 증가함으로 증가함으로서 향상된 시스템 합 용량을 얻을 수 있음을 나타낸다.  $M=12$ 일 때 기존의 OFDMA 방법에 비해 본 논문에서 제안한 중앙노드에서 시역전 기법을 적용한 경우의 시스템 합 용량이 약 30 bps/Hz가

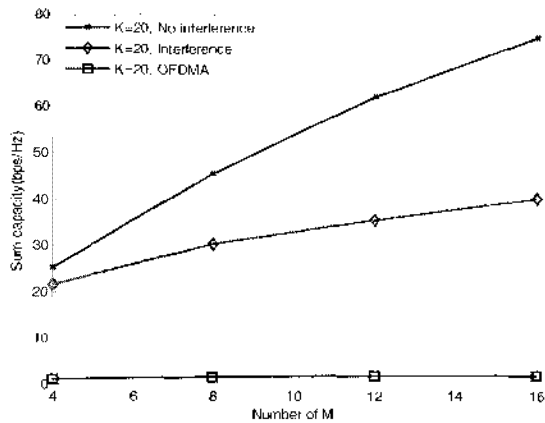


그림 5. SINR 16 dB에서 중앙노드의 트랜스듀서 개수  $M$ 의 변화에 따른 시스템 합 용량  
 Fig. 5. Sum capacity at SINR 16dB, corresponding to the number of transducer of BN.

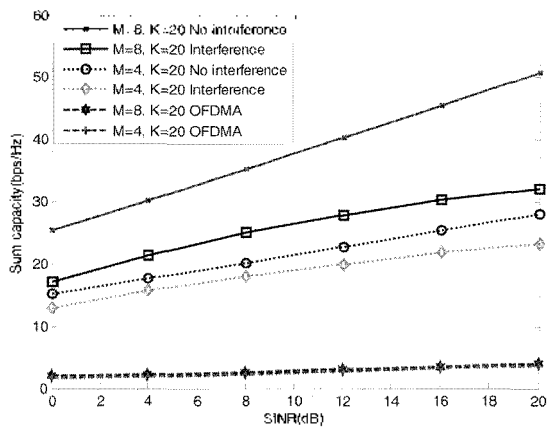


그림 6.  $K=20$ 일 때 중앙 노드에서 시역전 기술을 적용한 시스템 합 용량  
 Fig. 6. Sum capacity of the system when Time Reversal Mirror technique is applied in the BN and the number of sensor node is 20.

향상됨을 알 수 있다. 그러나 간섭신호를 제거한 이상적인 방법을 이용했을 경우 보다는 약 32 bps/Hz 낮은 합 용량을 갖는다.

그림 6에서  $M=8$ 일 때 제안된 방식이 기존의 방식보다 합 용량이 높음을 알 수 있다. SINR이 16 dB에서 기존의 OFDMA방법에 비해 본 논문에서 제안한 중앙노드에서 시역전 기법을 적용한 경우의 시스템 합 용량이 약 27 bps/Hz 향상됨을 알 수 있다. 또한  $M=4$ 일 때 보다 SINR이 16 dB에서 시스템의 합 용량이 약 8 bps/Hz가 향상됨을 알 수 있다. 그러나 간섭신호를 완전히 제거한 이상적인 방법을 이용했을 경우의 시스템 합 용량보다는 약 15 bps/Hz 낮은 성능을 가짐을 알 수 있다.  $M=4$ 이고 SINR이 16dB일 때 제안된 방법은 기존의 OFDMA방법보다 시스템 합 용량이 약 20 bps/Hz 향상됨을 알 수 있다.

그림 7은 센서노드의 수  $K=30$ 일 때의 모의실험 결과이며 제안한 방법이 기존 방법보다 높은 합 용량을 보인다.  $M=8$ 일 때 SINR이 16 dB에서 기존의 OFDMA 접속 방법에 비해 본 논문에서 제안한 중앙노드에서 시역전 기법을 적용한 경우의 시스템 합 용량이 약 35 bps/Hz 향상됨을 알 수 있다. 또한  $M=4$ 이고 SINR이 16 dB일 때 제안된 방법의 시스템 합 용량이 약 10 bps/Hz가 향상됨을 알 수 있다.  $M=4$  그리고 SINR이 16 dB일 때 기존의 OFDMA 접속방법에 비해 시스템 합 용량이 약 25 bps/Hz 향상됨을 알 수 있다.

지표 주파수 다중 접속 방법을 이용했을 경우에는 주어진 주파수 자원을 다중 센서노드에 신호를 전송하기 위해 분배하여 사용함으로 상대적으로 낮은 시스템 합 용량을 나타냄을 알 수 있다.

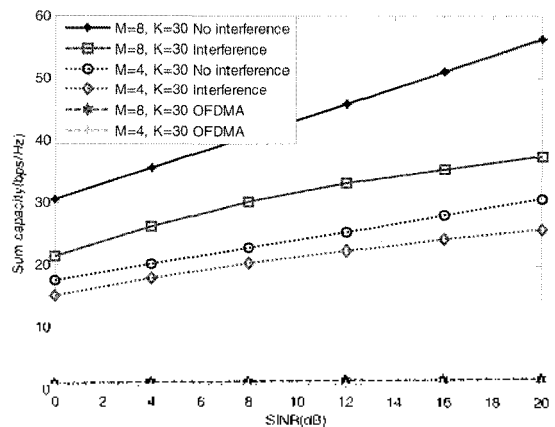


그림 7.  $K=30$ 일 때 중앙 노드에서 시역전 기술을 적용한 시스템 합 용량  
 Fig. 7. Sum capacity of the system when Time Reversal Mirror technique is applied in the BN and the number of sensor node is 30.

이와 같이 제안된 방법은 센서노드의 수  $N$ 가 일정하고 중앙노드의 트랜스듀서 수가 증가할수록 지역전 기법에 의한 에너지 집속효과가 커지고 다중 센서노드에 대한 간섭 신호의 영향이 줄어들어서 전체 시스템 합 용량이 증가하는 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 기존의 OFDMA 방법과는 달리 제안된 방법은 하향 링크 데이터 전송 시 동일한 주파수대역을 동시에 사용하여 다른 신호를 전송하기 때문에 향상된 시스템 합 용량을 얻을 수 있다.

## VI. 결론

본 논문은 다중 센서노드가 존재하는 수중 환경에서 중앙노드에 지역전 기법을 적용함으로써 각 센서노드의 하향 링크 데이터 전송 시 시스템 합 용량을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 통해서 다중 센서노드가 존재할 경우 신호 전송 시 주파수 자원 분반송파로 나누어 각 센서노드에 할당하여 전송하는 기존의 OFDMA방법보다 시스템 합 용량이 증가됨을 보였고 중앙노드의 트랜스듀서 개수를 증가시키면 각 센서노드에 에너지 집속효과가 커지고 다른 센서노드에 간섭신호가 줄어들어 시스템 합 용량이 증가함을 보였다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 지원으로 수행되었습니다. (KRF-2010-0016316)

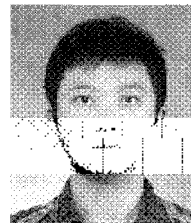
## 참고 문헌

1. D. Kilfoyle and A. Baggeroer, "The state of the art in underwater acoustic telemetry," *IEEE J. Ocean, Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 4-27, Jan. 2000.
2. J. A. Catipovic, "Performance limitations in underwater acoustic telemetry," *IEEE J. Ocean, Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 205-216, Jul. 1990.
3. P. J. Hearn, "Underwater acoustic telemetry," *IEE Trans. Comm. Tech.*, vol. 14, no. 6, pp.839-843, Dec. 1966.
4. H. C. Song, W. S. Hodgkiss, W. A. Kuperman, M. Stevenson, and T. Akal, "Improvement of time-reversal communications using adaptive channel equalizers," *IEEE J. Ocean, Eng.*, vol. 31, no. 2, pp. 487-496, Apr. 2006.
5. G. F. Edelmann, T. Akal, W. S. Hodgkiss, S. Kim, W. A. Kuperman, and H. C. Song, "An initial demonstration of underwater acoustic communication using time reversal," *IEEE J. Ocean, Eng.*, vol. 27, no. 3, pp. 602-609, Jul. 2002.
6. F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, and H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics*, New York, 1994.

7. R. Narasimhan, "Spatial multiplexing with transmit antenna and constellation selection for correlated mimo fading channels," *IEEE Trans. on Sig. Proc.*, vol. 51, no. 11, pp.2829-2838, 2003.
8. R. Heath Jr., M. Airy and A. J. Paulraj, "Multiuser diversity for MIMO wireless systems with linear receivers", *Proc. IEEE Asilomar conf. signal, syst., comput.*, pp. 1194 2001.
9. M. Fink, "Time reversal mirrors," in *Acoustical Imaging*, edited by B. F. Jones, Plenum, New York, vol. 25, pp. 1-15, 1995.
10. D. R. Jackson and D. R. Dowling, "Phase conjugation in underwater acoustics," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 89, pp. 171-181, 1991.
11. S. Loyka, "Multiantenna capacities of waveguide and cavity channels", *IEEE Tran. on veh. tech.*, vol.54, no.3, pp. 1-10, 2005.
12. 김현수, 권양수, 이일신, 정재학, 김성일, "지역전 수중 디지털 통신 성능 분석," *한국음향학회지*, 28권, 3호, 213-221쪽, 2009년 4월.
13. 김현수, 권양수, 유재호, 정재학, "수중음향채널에서의 지역전 기법을 적용한 양방향 통신 방식의 용량 분석," *한국음향학회지*, 28권, 6호, 506-513쪽, 2009년 7월.

## 저자 약력

### • 조 정 일 (JungIl Cho)



2009년 2월 인하대학교 전자공학과 학사  
 2009년 ~ 현재 인하대학교 전자공학과 석사과정  
 \* 주관심 분야 : cognitive radio, MIMO, OFDM 시스템, cooperative MIMO

### • 서 종 필 (JongPil Seo)



2009년 2월 인하대학교 전자공학과 학사  
 2009년 ~ 현재 인하대학교 전자공학과 석사과정  
 \* 주관심 분야 : 차세대 무선 이동 통신, MIMO-OFDM, UWB, cognitive radio

### • 안 재 진 (JaeJin An)



2009년 8월 인하대학교 전자공학과 학사  
 2009년 ~ 현재 인하대학교 전자공학과 석사  
 \* 주관심 분야 : IMI-Advanced, cognitive radio, OFDM 시스템, MIMO,UWB

◆정 재 학(Jaebak Chung)



1988년 연세대학교 전자공학과 공학사  
1990년 연세대학교 전자공학과 공학석사  
2000년 University of Texas at Austin 전기통신  
학과 공학박사  
1990년~1996년 선임연구원, 신도리코  
2000년~2001년 Research Fellow, University  
of Texas at Austin  
2001년~2004년 수석연구원, 삼성종합기술원  
2005년~현재 부교수, 인하대학교  
※주관심 분야 : cognitive radio, 차세대 무선 이  
동 통신, MIMO-OFDM, UWB, cross layer  
설계