

공간 다중화 해양 통신 시스템에서 채널 특성을 고려한 자원 할당 기법

차원정*, 이길수*, 남유진*, 이성로**, 정민아**, 소재우°

A Resource Allocation Scheme in Spatial Multiplexing Marine Communication Systems Considering Channel Characteristics

Wonjung Tcha*, Gilsu Lee*, Yujin Nam*, Seong Ro Lee**, Min-A Jeong**, Jaewoo So°

요약

조선 산업과 IT의 융합으로 인해 선박에서의 데이터 사용량이 계속적으로 증가할 것으로 예상됨에 따라, 많은 양의 데이터를 처리하기 위한 여러 무선통신 기술들이 논의되고 있다. 특히 다중 안테나 시스템은 높은 수율을 제공할 것으로 기대되는 기술 중 하나이다. 본 논문에서는 공간 다중화 해양 통신 시스템에서 채널 특성과 기지국의 빔 전송 각도를 고려하여 기지국이 서비스 할 선박을 선택하는 알고리즘을 제안한다. 무선 채널의 클러스터링 특성을 이용하여 선박이 수신 받는 신호를 최대화하는 방식으로 시스템의 수율을 증가시켰다. 또한 빔 간섭이 큰 선박을 제외하고 선택하는 방식으로 선박 선택에 걸리는 시간을 단축시켰다. 제안하는 알고리즘의 성능 분석을 위해 모의실험 한 결과, 제안하는 알고리즘의 수율은 전수조사 알고리즘과 근사하지만 연산의 복잡성은 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

Key Words : Marine Communication, Multi-Antenna, Spatial Multiplexing, Resource Allocation

ABSTRACT

As the data traffic between ships and a land station continuously increase through the shipbuilding-IT convergence, several wireless communication technologies are being studied to process large amounts of data traffic. In particular, the multi-antenna system is one of the most expected technologies to provide high throughput. This paper proposes an algorithm for the base station to select the ship in consideration of channel characteristics and the transmission angle for a beam of the land station in spatial multiplexing marine communication systems. We increase the system capacity by maximizing the received signal strength of the ship using clustering characteristic of the radio channel. Also, we reduce the time to select the ship by excluding the ship with the large interference between the beams. On our computer simulation, the proposed scheme dramatically reduces the computational complexity with a little sacrifice of the throughput.

* 본 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1009)과 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828) 연구결과로 수행되었음.

♦ First Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, cwj5220@sogang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, jwso@sogang.ac.kr, 중신회원

* 서강대학교 전자공학과, {liqyls, hydralisk}@sogang.ac.kr

** 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, majung@mokpo.ac.kr 정회원

논문번호 : KICS2014-05-153, Received May 2 2014; Revised July 9, 2014; Accepted July 9, 2014

I. 서 론

최근 다양한 산업 분야에 IT 기술을 접목시켜 고부가가치를 지닌 신사업으로 창출하기 위한 시도가 빈번하게 일어나고 있다. 그 중 조선 산업은 산업 전반에 미치는 파급효과가 크고 기술집약적인 성격을 지니는 분야로 계속해서 주목받아 왔다. 또한 원가우위의 양적 성장 전략이라는 한계에서 벗어나 질적인 향상을 꾀하기 위해서 조선 산업과 IT의 융합은 미래 산업을 이끌어 나갈 핵심 키워드으로써 자리 잡았다¹⁾. 특히 스마트 선박은 세계 조선 시장을 이끌어 나갈 차세대 기술로 각광받으며 연구되고 있으며, 그에 따라 선박으로부터 이루어지는 계속적인 통신을 통한 해양 정보, 선박의 상태 및 항해 정보 등과 같이 다양한 정보의 통합적 관리가 가능해졌다. 따라서 육지와 해상에 위치한 선박 간의 네트워크 구축 및 관리 기술 역시 필수적이게 되었다²⁾.

스마트 선박의 영향으로 선박에서의 데이터 사용량이 계속적으로 증가할 것으로 예상됨에 따라 데이터 수요량을 맞추기 위한 여러 기술들이 논의되고 있으며, 특히 다중 안테나 시스템은 높은 수율을 제공할 것으로 기대되는 기술 중 하나이다³⁾. 그러나 다중 안테나 시스템을 사용해 데이터 수율을 높이기 위해서는 해안가의 기지국과 각 선박이 통신하기 위한 비교적 정확한 채널 상태 정보가 필요하지만⁴⁾, 실제 시스템의 경우 기지국은 선박으로부터 상향 링크를 통해 수신 받는 부정확한 채널 상태 정보만을 알 수 있을 뿐이다. 따라서 다중 안테나 시스템에서는 기지국이 선박으로부터 상향 링크를 통해 수신하는 피드백 정보의 양을 감소시키면서 채널 상태 정보를 정확하게 알려주는 것, 혹은 부정확한 채널 상태 정보만으로도 높은 수율을 제공하는 것이 중요하다.

기존 연구에서 피드백 정보의 양을 감소시키면서 높은 수율을 제공하기 위한 가장 효과적인 방법 중 하나는 기지국이 여러 사용자를 동시에 서비스 할 경우 채널 상태가 좋은 사용자를 선택해서 서비스하는 것이며⁵⁾, 그 중에서 사용자를 공간으로 구분하여 각 채널이 좋은 사용자를 선택하는 방법인 공간 다중 시스템에 관한 연구가 활발히 진행 중이다⁶⁾. 일반적으로 공간 다중 시스템에서 기지국은 빔 형태의 전파를 사용해서 파일럿 신호를 전송한다. 이 때 사용자는 신호를 전송한 기지국에게 채널 정보를 포함한 피드백 정보를 전송하며, 해당 기지국은 수신 피드백 정보를 사용해서 채널 환경이 좋은 사용자에게 서비스를 한다. 이 때 사용자를 어떻게 선택하는가에 대한 알고리즘,

파일럿 신호의 사용에 관한 알고리즘 등 다양한 알고리즘이 제안되었다.

첫 번째로, 기지국이 셀 내의 모든 사용자에게 동일한 파일럿 신호를 전송하면 사용자는 기지국에게 자신의 신호 대 잡음비 정보를 전송하고, 해당 기지국은 가장 좋은 신호 대 잡음비 값을 가지는 사용자를 선택하는 알고리즘이 제안되었지만, 이 경우는 한 슬롯에서 한 명의 사용자에게만 서비스 할 수 있다⁷⁾. 두 번째로 기지국이 여러 사용자에게 다른 파일럿 신호를 동시에 전송하여 전체 시스템 수율을 증가시키기 위한 알고리즘이 제안되기도 하였으나, 기지국이 서비스하는 사용자 수가 적을 경우 다중 사용자 이득이 낮아서 전체 시스템의 수율 값이 오히려 감소하였다⁸⁾. 세 번째로 서비스하는 사용자 수가 적은 환경에서도 전체 시스템의 수율을 증가시키기 위해 기지국이 사용자들에게 모두 다른 파일럿 신호를 수 회 전송하는 방법이 제안되었지만, 이 경우는 파일럿 신호 전송을 위한 시간이 증가하고 채널의 변화가 적으면 다중 사용자 이득이 낮아졌다⁹⁾.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 파일럿 신호를 한 번만 전송하지만 채널 변화가 작은 환경에서도 전체 시스템의 수율을 증가시키기 위해 무선 채널 환경의 클러스터링 특성의 이득을 사용하는 알고리즘이 제안되었다¹⁰⁾. 하지만 제안된 논문에서는 사용자가 간섭의 영향을 받지 않는 환경에서 무선 채널 환경의 클러스터링 특성의 이득을 사용할 경우 가질 수 있는 최대 수율 값에 대한 결과를 제시하지 못했다. 또한 먼저 선택된 사용자들의 신호가 다음에 선택될 사용자들의 신호에 간섭으로 작용한다는 점을 고려하지 않았기 때문에 수율이 낮아질 수 있었다.

따라서 본 논문에서는 빔 전송 각도와 선택된 사용자의 신호가 선택될 사용자의 신호에 간섭으로 작용한다는 점을 고려하여 기지국이 최적의 선박을 선택할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 피드백 정보량과 기지국의 연산 복잡성은 [10]에서 제안한 알고리즘과 비슷하지만, 전체 시스템 수율은 전수조사 알고리즘을 사용했을 때와 비슷한 값을 보인다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 제안하는 알고리즘의 시스템 모델에 대하여 설명한다. III장에서는 제안하는 알고리즘의 동작을 기술하고 IV장에서는 기존 알고리즘, 제안하는 알고리즘, 전수 조사 알고리즘간의 수율 결과를 모의실험을 통해서 분석한다. 끝으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 채널 모델 및 프레임 구조

본 논문에서는 기지국이 다중 안테나를 사용하는 시스템을 고려한다. 또한 하나의 셀 내에 U 개의 선박이 있을 때 한 프레임마다 기지국의 안테나 개수만큼의 선박을 동시에 서비스하는 경우를 고려한다.

기지국의 안테나 어레이 (array) 개수는 N 개로서 Uniform Circular Array (UCA)를 사용하고, 최소 두 개 이상의 어레이로 구성되어 있으며 선박의 안테나 어레이의 개수는 1개이다. 그림 1은 UCA 안테나이다^[11].

기지국과 u 번째 선박 사이의 채널인 $H_u^{N \times N}$ 는 다중 안테나의 블록 페이딩 채널을 사용한다. 또한 한 프레임 동안에는 일정한 채널 상태가 유지되며, 각 선박의 채널 환경은 시간의 변화에 따라 독립적으로 변한다고 가정한다. 기지국은 이전 시점에서 일정 기간 동안 모든 선박으로부터 수신한 피드백 정보를 가지고 있으며, 선박 선택을 위해 해당 피드백 정보를 사용할 수 있다. 또한 선박이 기지국에 전송하는 피드백 정보량은 한정되어 있으나 항상 성공적으로 송신된다고 가정한다.

빔 송신 각도는 수평 평면에 대해서만 고려하며, 수직 평면은 고려하지 않는다^[12]. 또한 다중 경로 신호가 시간 축에서 무시 될 정도로 대역폭이 좁다고 가정한다. 한 프레임 동안 기지국은 기지국 안테나 어레이 수와 동일한 개수의 선박에게 동시에 서비스 한다고 가정하며, 선박이 수신하는 다중 안테나

시스템의 신호 모델은 수식 (1)과 같다.

$$y_u = H_u x + \Xi_u \tag{1}$$

이 때, H_u 는 $1 \times N$ 의 채널 행렬, x 는 $N \times 1$ 의 전송

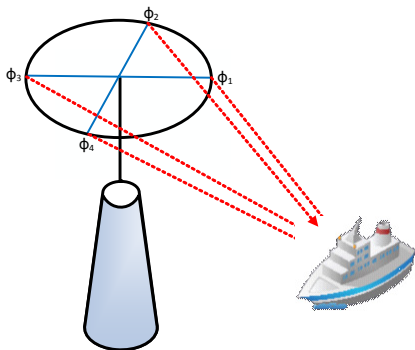


그림 1. Array의 개수가 4개인 UCA 안테나
Fig. 1. A four-element UCA antenna

신호 벡터, Ξ_u 는 선박의 잡음 벡터를 의미한다.

본 논문에서는 각 프레임마다 파일럿 신호를 전송하는 슬롯이 존재한다고 가정하며, 나머지 슬롯은 데이터를 전송한다. 이 때, 프레임의 길이는 T , 파일럿 신호를 전송하는 슬롯의 길이는 τ , 데이터를 전송하는 슬롯의 길이는 $T - \tau$ 이다.

2.2 무선 환경에서의 클러스터링 특성

무선 채널 환경에서는 다양한 물체와 해상 환경에 의한 반사에 따라 기지국과 선박 사이에 다양한 경로가 생성된다. 클러스터란 산란체들이 집중적으로 모여 있는 것을 의미하며, 산란체란 신호를 반사시키는 물체들이다. 클러스터에 의한 다양한 경로 생성은 그림 2에 나타났다.

이 때, 신호 전송 측정 결과에 의하면 신호의 변화는 공간상에서 일정하게 분포하지 않고 클러스터에 집중되어 있다^[13,14]. 또한 신호가 반사되어 신호의 특성이 변할 때, 동일한 클러스터상의 산란체들에 의해 변화되는 신호는 세기, 위상, 시간 차, 빔의 송수신각도 등이 유사하게 변한다^[15-17]. 이것을 무선 환경에서의 클러스터링 특성이라고 한다. 기존에는 클러스터를 시각적으로 식별하였으나 이 방법은 시간이 지남에 따라 이동하는 선박 또는 산란체들의 변화를 예측할 수 없다는 단점이 있기 때문에, 시간에 따른 선박과 산란체들의 위치 변화까지 고려하는 새로운 방법이 제안되었다. 동일한 클러스터상의 산란체들에 의한 신호 변화는 유사하므로, 신호의 중첩에 의해 선박은 특정 방향으로부터 다른 신호보다 센 신호를 수신할 수 있다. 이러한 변화의 특성을 이용해 시각적인 확인 없이 각 선박에게 좋은 채널 환경을 제공하는 클러스터를 추정할 수 있으며, 다중 선박 이득 또한 증가시킬 수 있다.

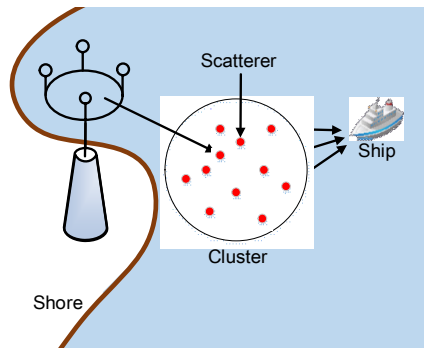


그림 2. 클러스터에 의한 신호 전송
Fig. 2. Signal transmission by cluster

2.3 피드백 정보 추정 방법

기지국이 선박으로 파일럿 신호 s_n 을 보낸다면, 수식 (1)에 의해서 u 번째 선박이 수신한 신호는 수식 (2)와 같다.

$$y_u = H_u^{1 \times N} [s_1 s_2 \dots s_N]^T + \varepsilon_u \quad (2)$$

이 때, $H_u^{1 \times N}$ 는 u 번째 선박과 기지국 사이의 채널 환경, ε 는 u 번째 선박의 잡음, s_n 은 n 번째 안테나 어레이가 전송한 파일럿 신호, $[\dots]^T$ 는 전치 행렬을 의미한다.

본 논문에서는 선박의 안테나가 1개이므로, 선박의 안테나 어레이가 M 개인 경우를 고려한 기존 논문^[15,16]을 이용하여 u 번째 선박과 기지국 사이의 채널 환경 $H_u^{1 \times N}$ 을 수식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$H_u^{1 \times N} = \sum_{l=1}^{L_u} \alpha_{l,u} e^{j\phi_{l,u}} SV_{AOD_{l,u}} \quad (3)$$

이 때, L_u 는 기지국과 선박 사이의 다중 경로에 의해 선박에게 영향을 미치는 모든 성분의 개수를 의미한다. $\alpha_{l,u}$, $\phi_{l,u}$, $AOD_{l,u}$ 는 각각 u 번째 선박이 l 번째로 영향을 미치는 성분에 의한 신호 크기 변화의 값, 위상 변화의 값, 빔 송신 각도 변화의 값을 의미한다. $SV_{AOD_{l,u}}$ 는 u 번째 선박에게 l 번째로 영향을 미치는 성분의 빔 수신각도가 $AOD_{l,u}$ 인 경우 기지국 UCA 안테나의 steering vector 값을 의미하며, $SV_{AOD_{l,u}}$ 의 값은 수식 (4)와 같다.

$$SV_{AOD_{l,u}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} e^{jka_{MS} \cos(AOD_{l,u} - \phi_{1,BS})} \\ e^{jka_{MS} \cos(AOD_{l,u} - \phi_{2,BS})} \\ \vdots \\ e^{jka_{MS} \cos(AOD_{l,u} - \phi_{N,BS})} \end{bmatrix} \quad (4)$$

이 때, 수식 (4)에서 $\phi_{n,BS}$ 는 기지국의 UCA 안테나에서 n 번째 어레이의 각 위치로써, $\phi_{n,BS} = \frac{2\pi n}{N}$, $n = 1, 2, \dots, N$ 이며, a_{BS} 는 기지국의 UCA 안테나의 반지름을 의미한다.

모든 선박이 기지국이 송신하는 파일럿 신호를 알고 있다면 수신한 신호로부터 기지국과 선박 사이의 채널 값을 수식 (5)와 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{H}_u^{1 \times N} = y_u ([s_1 s_2 \dots s_N]^T)^\dagger \quad (5)$$

이 때, $(\dots)^\dagger$ 은 의사역행렬을 의미한다.

u 번째 선박에게 가장 센 신호를 송신하는 빔 송신 각도 $AOD_{st,u}$ 는 수식 (3)에서 추정된 기지국과 u 번째 선박 사이의 채널 환경을 Simple beamscan 알고리즘으로 추정할 수 있다. Simple beamscan 알고리즘은 수식 (6)과 같다^[18].

$$AOD_{st,u} = \operatorname{argmax} |\hat{H}_u^{1 \times N} SV_{AOD}^H| \quad (6)$$

수식 (6)에서 추정된 $AOD_{st,u}$ 값으로 u 번째 선박의 신호 대 잡음비 값을 구하면 수식 (7)과 같다.

$$SNR_u = \rho_u |\hat{H}_u^{1 \times N} SV_{AOD_{st,u}}^H|^2 \quad (7)$$

이 때, ρ_u 는 u 번째 선박의 입력 신호 대 잡음비 값을 의미한다. 본 논문에서는 셀 내에 선박들이 균일하게 분포하므로 기지국과 선박들 간의 거리가 다르고 각기 다른 거리 감쇄를 겪으며 입력 신호 대 잡음비가 선박마다 달라진다.

III. 제안 알고리즘 동작

본 장에서는 선택된 선박의 신호가 다음으로 선택될 선박의 신호에 간섭으로 작용한다는 점을 고려한 최적의 선박 선택 알고리즘을 제안한다. 또한 간섭을 고려하는 동시에 각도 문턱값까지 고려한 순차적 선택 알고리즘을 제안한다.

3.1 간섭을 고려한 순차적 선택 알고리즘

기존 논문^[7]은 빔 전송각도와 무선 채널 환경에서의 클러스터링 특성 이득을 이용하여 수율을 증가시키는 알고리즘을 제안하였지만, 기지국의 연산 복잡성과 피드백 정보량을 감소시키는 것에 초점을 두어 클러스터링 특성을 충분히 활용하지 못했다. 또한 서비스할 선박을 선택한 후 그 다음 서비스할 선박을 선택할 때, 선택된 선박의 신호가 선택될 선박의 신호에 간섭으로 작용한다는 점을 고려하지 않았기 때문에 수율이 감소할 수 있다. 가장 높은 수율을 나타낼 수 있는 전수 조사 알고리즘은 선박이 선택될 수 있는 모든 경우의 수를 고려하므로 최적의 수율 값이지만, 연산의 복잡성이 매우 높아 선박을 선택하는데 걸리는

시간이 길어진다. 따라서 본 논문에서는 이 점을 고려하여 시스템의 수율을 높일 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 다음 단계를 통해 수행된다.

- 1 단계 : 기지국은 선박에게 미리 정해놓은 파일럿 신호를 전송한다. 파일럿 신호를 수신한 선박은 수식 (5)를 통해서 기지국과 선박 사이의 채널을 추정한다. 또한 선박은 추정한 채널 값을 사용해 해당 선박에 가장 센 신호를 전송하는 빔 송신각도를 수식 (6)과 수식 (7)을 통해 추정한다. 기지국과 선박 사이의 채널 값과 빔 송신 각도를 추정한 선박은 이 값들을 기지국에게 송신한다.
- 2 단계 : 기지국이 각 선박으로부터 신호 대 잡음비 값을 수신한 뒤, 셀 내에서 가장 큰 신호 대 잡음비 값을 가지는 선박을 선택한다. 선택된 선박은 서비스 하는 선박의 목록에 추가된다.
- 3 단계 : 선택된 선박의 신호 대 잡음비 값을 변경하고, 나머지 선박의 신호 대 잡음비 또한 변경한다. 이 때, 신호 대 잡음비를 바꿔주어야 하는 선박, 즉 이미 선택된 선박과 선택될 선박간의 빔 송신 각도가 비슷할 경우 신호 대 잡음비를 변경해야 되는 선박에게 미치는 간섭이 이미 선택된 선박의 신호에 의해 크게 증가한다. 따라서 이미 선택된 선박과 빔 송신 각도 값이 비슷한 선박일수록 신호 대 잡음비 값을 작아지게 변경한다.
- 4 단계 : 기지국의 UCA 안테나의 어레이 개수가 2개인 경우, 선택된 선박과 3 단계에서 변경된 나머지 선박들의 신호 대 잡음비 값을 이용하여 전수 조사를 통해 신호 대 잡음과 간섭비 값을 구한다. 이 때 2단계에서 선택된 선박의 신호 대 잡음비 $SINR_{sel}$ 과 나머지 다른 선박의 신호 대 잡음비 $SINR_{other}$ 의 값은 각각 수식 (8), 수식 (9)이며, 모든 조합의 개수는 $U-1$ 이다.

$$SINR_{sel} = \frac{\rho_{sel} |H_{sel}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,sel}}^H|^2}{1 + \rho_{other} |H_{sel}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,other}}^H|^2} \quad (8)$$

$$SINR_{other} = \frac{\rho_{other} |H_{other}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,other}}^H|^2}{1 + \rho_{sel} |H_{other}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,sel}}^H|^2} \quad (9)$$

수식 (8), 수식 (9)에서 $\rho_{sel} |H_{sel}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,sel}}^H|^2$ 은 2단계에서 선택된 선박의 신호 대 잡음과 간섭비 값이고 $\rho_{other} |H_{sel}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,other}}^H|^2$ 은 3단계의 나머지 다른

선박의 신호 대 잡음과 간섭비 값이다. 이와 같이 계산된 $U-1$ 개의 신호 대 잡음과 간섭비로 각 쌍이 가질 수 있는 시스템 수율을 수식 (10)를 이용해 구한다^[10].

$$R_n = (T - \tau) \sum_{n=1}^N \log_2(1 + SINR_n) \quad (10)$$

이 때, $T - \tau$ 는 데이터를 전송하는 슬롯의 길이이며, $SINR_n$ 은 UCA 안테나의 n 번째 어레이에 의해 서비스 받는 선박의 신호 대 잡음과 간섭비, N 은 선박의 총 개수를 의미한다.

또한 기지국의 UCA 안테나의 어레이 개수가 4개인 경우, 2 단계에서 선택된 선박과 3 단계에서 신호 대 잡음비 값이 변경된 선박 중 3척을 선택해서 총 4척의 신호 대 잡음과 간섭비를 전수 조사 방법으로 구한다. 이 때, 모든 조합의 개수는 $U-1 C_3$ 개가 되며, 각 선박들의 신호 대 잡음과 간섭비 값은 수식 (11)과 같다.

$$SINR_n = \frac{\rho_n |H_{sel}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,n}}^H|^2}{1 + \sum_{q=1, q \neq n}^N \rho_q |H_{sel}^{1 \times N} SV_{AOD_{st,q}}^H|^2} \quad (11)$$

기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 2개인 경우와 마찬가지로 신호 대 잡음과 간섭비를 구하고자 하는 선박의 신호가 $\rho_n |H_n^{1 \times N} SV_{AOD_{st,n}}^H|^2$ 가 되고 이 선박을 제외한 나머지 선박의 신호의 합은 $\sum_{q=1, q \neq n}^N \rho_q |H_n^{1 \times N} SV_{AOD_{st,q}}^H|^2$ 가 되어 간섭으로 작용하게 된다. 이렇게 구한 $U-1 C_3$ 개의 신호 대 잡음과 간섭비로 각 쌍이 가질 수 있는 수율을 수식 (10)을 이용해 구한다.

이 때 계산된 각각의 수율 중 가장 높은 수율을 보이는 선박 쌍을 선택하여 서비스 하는 선박의 목록에 추가한다. 그러면 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 2개인 경우는 총 2척의 선박을, 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 4개인 경우는 총 4척의 선박을 서비스 할 수 있게 된다.

3.2 각도 문턱값을 고려한 순차적 선택 알고리즘

이번 절에서는 각도 문턱값까지 고려한 순차적 선택 알고리즘의 동작에 대해서 설명한다. 3.1 절에서 소개한 간섭을 고려한 순차적 선택 알고리즘에서 선택된 선박의 빔 전송 각도와 나머지 선박의 빔 전송

각도가 비슷하게 될 때, 선택된 선박의 빔 전송 각도 차이가 θ° 이하인 선박들을 제외하고 선택하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 다음의 단계를 통해서 수행되며, 1 단계 및 2 단계는 앞선 3.1절과 동일하다.

- 3 단계 : 2 단계에서 선택된 선박, 그리고 선택된 선박과 빔 전송 각도가 θ° 이하인 선박들을 제외한 나머지 선박들의 신호 대 잡음비 값을 변경한다. 즉, 2 단계에서 선택된 선박과 빔 전송 각도가 θ° 이하인 선박들은 서비스 대상에서 제외하는 것이다. 그림 3과 같이 첫 번째 선택된 선박과 빔 전송 각도가 θ° 이하인 부분에 포함된 선박들을 제외한 나머지 선박 중에서 서비스할 선박들을 찾게 된다.
- 4 단계 : 3.1 절의 4 단계와 동일하게 수행한다. 그러나 3.1 절에서는 제외되는 선박이 없기 때문에 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 2개인 경우는 총 $U-1$ 개의 조합을, 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 4개인 경우는 총 $U-1C_3$ 개의 조합을 고려해야 했다. 하지만 각도 문턱값에 의해 제외된 선박들이 빠져게 되기 때문에 그 값을 고려해 주어야 한다. 제외되지 않는 선박들의 수를 정확하게 알 수는 없지만, 전체 셀에 선박들은 균일하게 분포하기 때문에, 제외되지 않는 선박들의 개수를 확률적으로 계산해보면 $\frac{360-2\theta}{360}U$ 척이 된다. 만약 θ 값이 60° 라고 하면 제외되지 않는 선박의 수는 $\frac{2}{3}U$ 가 된다. 이 값을 K 라고 한다면 기지국의 UCA 안테나 어레이 수가 2개일 때는 총 $k-1C_1$

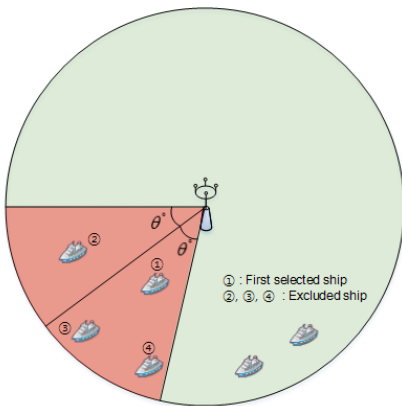


그림 3. 각도 문턱값을 고려한 순차적 선택 알고리즘
Fig. 3. Sequential selection algorithm regarding angle threshold

개의 조합을, 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 4개인 경우는 총 $k-1C_3$ 개의 조합을 고려해주면 된다. 만약 셀 내의 전체 선박 수가 적거나 첫 번째 선택된 선박의 빔 전송 각도와 빔 전송 각도가 비슷한 선박들이 많이 분포되어 있어서 셀 내의 모든 선박들이 제외되는 경우가 발생한다면, 기존 논문 [10]의 알고리즘으로 선박을 선택한다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안하는 알고리즘의 성능 분석을 위해 구성된 모의실험 환경에 대해 설명하며, 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘에 따른 성능을 도출하고 분석한다. 우선 모의실험 수행을 위해 사용된 파라미터 값을 정리하고, 모의실험 수행 시나리오에 대해서 설명한다. 성능 분석에서는 기존 알고리즘을 사용하는 경우, 제안하는 알고리즘을 사용하는 경우, 전수 조사 알고리즘을 사용하는 경우 수율의 결과를 비교 및 분석한다.

4.1 모의실험 환경

모의실험을 위해 선박 UCA 안테나 어레이의 개수는 1개인 경우만 고려하였으며, 기지국 UCA 안테나의 어레이 개수는 2개인 경우와 4개인 경우에 대해 모의실험을 수행하였다. 이 때, 기지국 UCA 안테나의 반경은 1 미터, 선박 UCA 안테나의 반경은 0.1 미터로 설정하였다. 모의실험을 위한 중심 주파수는 2 GHz로 설정 하였고 기지국의 송신전력은 43 dBm(20W)로 설정하였다^[18]. 선박이 수신하는 수신전력은 [19]에서 사용한 거리 감쇄 모델을 사용하여 계산하였다. 총 모의 실험은 1000 프레임 동안 수행하였고, 이 때 피드백 정보를 송신하는 슬롯은 프레임 내에서 2 %인 것으로 설정하였다. 기지국의 셀 반경은 500 미터, 선박의 개수는 5척에서 50척 사이에서 수행하였다.

4.2 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 성능 결과 비교

본 절에서는 기존 알고리즘^[10], 제안하는 알고리즘, 전수 조사 알고리즘의 수율을 비교 및 분석한다. 그림 4와 그림 5는 각각 기지국 UCA 안테나 어레이 개수가 2개인 경우와 4개인 경우에 선박 수에 따른 기존 알고리즘, 제안하는 알고리즘, 전수조사 알고리즘의 수율 결과이다. 그림 4와 그림 5에서 선박 수가 늘어남에 따라 셀 내에 신호 대 잡음비 값이 좋은 선박이

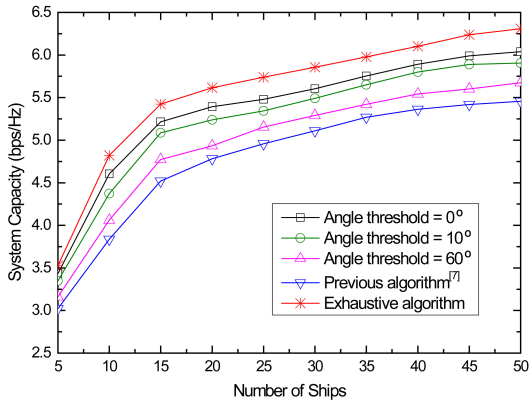


그림 4. UCA 안테나의 어레이가 2개일 의 시스템 총량
Fig. 4. System capacity when the number of UCA antenna array is two

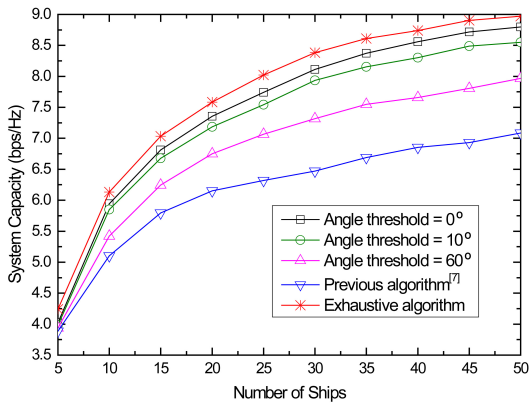


그림 5. UCA 안테나의 어레이가 4개일 의 시스템 총량
Fig. 5. System capacity when the number of UCA antenna array is four

많아지게 되므로 시스템의 전체 수용이 커지는 것을 볼 수 있다. 총 다섯 가지의 결과가 나타나 있는데 그 값은 각각 기존 알고리즘, 전수조사 알고리즘, 제안하는 알고리즘에서 각도 문턱값이 [0°, 10°, 60°]인 경우의 수용을 나타낸다.

그림 4의 결과를 살펴보면 전수조사 알고리즘의 수용이 가장 높은 것을 볼 수 있는데 이는 모든 조합의 경우를 고려하여 최적의 선박을 선택하는 것이기 때문에 당연한 결과이다. 또한 기존 알고리즘의 경우 모든 경우에 대해서 제안하는 알고리즘에 비해 낮은 수용을 보이고 있는데, 기존의 알고리즘은 나중에 선택된 선박의 신호 또한 먼저 선택된 선박의 신호 대 잡음비 값에 영향을 준다는 점을 고려하지 않고 있기 때문이다. 또한 기존의 알고리즘은 모든 선박들이 기지국을 중심으로 등 방위에 있다고 가정하고 오로지 빔

전송 각도에 의해서만 신호 대 잡음비 값을 구하고 있기 때문에, 실제로 셀 내에 선박들이 균일하게 분포한 환경에서는 이렇게 낮은 수용을 보일 수 있다. 그렇기 때문에 제안하는 알고리즘의 수용과 비교하여 낮은 값을 보이고, 선박 수가 증가함에 따라 증가하는 수용의 폭 또한 낮을 수밖에 없다. 제안하는 알고리즘에서 각도 문턱값이 0° 인 경우, 시스템 선박 수가 50척일 때의 수용을 기존의 알고리즘, 전수조사 알고리즘의 수용 결과와 비교해보면 기존의 알고리즘에 비해 약 10 % 증가하는 것을 확인할 수 있고 전수조사 알고리즘에 비해 약 4 % 감소한 것을 확인할 수 있다. 제안하는 알고리즘에서 각도 문턱값이 10° 인 경우, 각도 문턱값이 0° 인 경우보다 약간의 성능 저하를 보이며 기존의 알고리즘과 각도 문턱값이 60° 인 경우보다는 성능이 좋음을 확인할 수 있었다.

그림 5는 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 4개일 때의 결과로써, 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 2개일 때에 비해 전반적인 수용이 높다. 이는 기지국의 UCA 안테나 어레이의 개수가 증가할수록 동시에 서비스 더 많은 선박들을 서비스 할 수 있으므로 전체 시스템의 수용이 증가하게 된다. 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 4개인 경우에도 모든 조합의 경우의 수를 고려하여 최적의 선박을 선택하는 전수조사 알고리즘을 사용했을 때 가장 좋은 성능을 나타내었다. 기존의 알고리즘의 경우, 모든 경우에 대해서 제안하는 알고리즘에 비해 낮은 수용을 보이고 있다. 앞서 설명했듯이 이는 나중에 선택되는 선박의 신호가 먼저 선택된 선박의 신호 대 잡음비 값에 영향을 준다는 점을 고려하지 않고 선박을 선택했기 때문에 성능의 저하를 보이며 선박 수에 따라 증가하는 수용 폭 또한 매우 낮다. 제안하는 알고리즘에서 각도 문턱값이 0° 인 경우, 시스템 선박 수가 50척일 때의 수용을 기존의 알고리즘, 전수조사 알고리즘의 수용 결과와 비교해보면 기존의 알고리즘에 비해 약 25 % 증가하는 것을 확인할 수 있고 전수조사 알고리즘에 비해 약 2 % 감소한 것을 확인할 수 있다. 제안하는 알고리즘에서 각도 문턱값이 10° 인 경우, 각도 문턱값이 0° 인 경우보다 약간의 성능 저하를 보이며 기존의 알고리즘과 각도 문턱값이 60° 인 경우보다는 성능이 좋음을 확인할 수 있었다.

기존 알고리즘, 제안하는 알고리즘, 전수조사 알고리즘의 연산 복잡성 표 1에 비교하였다. 기존 알고리즘의 경우 서비스할 선박 수 N 척을 고를 때 N 번만큼 전체 선박 수 U 척 중에 1척을 선택하면 되므로 연산 복잡성은 $O(N \cdot U)$ 가 된다. 제안하는 알고리즘에

표 1. 알고리즘 별 연산 복잡성
Table 1. Complexity of Algorithm

Algorithm	Complexity
Previous algorithm	$O(N \cdot U)$
Proposed algorithm	$O_{(U-1)C_{N-1}}$
Exhaustive search algorithm	$O_{(UC_N)}$

서는 각도 문턱값이 0° 인 경우 각도에 의해 제외되는 선박은 없고 처음에 선택된 선박만 전체 시스템 선박에서 제외되므로, 총 U-1척의 선박 중에서 이미 1척은 선택된 상태이다. 따라서 전체 서비스할 N척 중에서 N-1척만 전수조사로 선택하면 되기 때문에 연산 복잡성은 $O_{(U-1)C_{N-1}}$ 가 된다. 전수조사 알고리즘의 경우 전체 시스템의 선박 수 U척 중에서 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수 N개만큼 선박을 선택할 때 모든 조합의 경우의 수를 고려해야 하므로 연산 복잡성은 $O_{(UC_N)}$ 가 된다.

V. 결 론

본 논문에서는 공간 다중 시스템에서 전체 시스템 수율은 전수조사의 결과와 근사한 값을 유지하면서 서비스할 선박들을 선택하는데 걸리는 시간을 감소시키기 위한 연구를 수행하였다. 무선 채널 환경에서 클러스터링 특성의 이득을 사용하였으며 이미 선택된 선박에게 전송되는 신호가 앞으로 선택될 선박들의 신호에 간섭으로 작용한다는 점을 고려하여 전체 시스템의 수율 값을 향상시켰다. 또한 각도 문턱값을 사용하여 빔 전송 각도의 차이가 작은 선박들끼리는 선택하지 않는 방법을 통해 서비스할 선박들을 선택하는 시간을 감소시켰다.

제안하는 알고리즘의 성능은 모의실험 결과를 통해 확인하였다. 이를 위해 기존의 알고리즘, 전수조사 알고리즘을 수율, 연산의 복잡성을 비교 및 분석하였다. 제안하는 알고리즘을 사용할 경우 전체 시스템의 선박 개수가 증가하거나 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 증가하면 수율이 증가하는 것을 확인하였다. 전체 시스템의 선박 수가 50척인 경우, 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 2개 일 때 제안하는 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 약 10 % 높은 수율을 나타내었고 전수조사 알고리즘에 비해 약 4 % 낮은 수율을 나타내었다. 또한 기지국의 UCA 안테나 어레이 개수가 4개일 때 제안하는 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 약 25 % 증가하는 것을 확인할 수 있고

전수조사 알고리즘에 비해 약 2 % 낮은 수율을 나타내었다.

References

- [1] J. H. Park, G. J. Jin, J. M. Kim, D. S. You, M. K. Oh, and D. S. Lim, "Shipbuilding IT status and prospects," *Electronics and Telecommun. Trends*, vol. 25, no. 4, pp. 19-26, Aug. 2010.
- [2] S. R. Lee, "Smart ship container with M2M technology," *J. KICS*, vol. 38, no. 3, pp. 278-287, Mar. 2013.
- [3] D. H. Kim, W. Li, J. Lee, and S. R. Lee, "MIMO ARQ systems using alamouti coding with optimal retransmission order for maritime communications system," *J. KICS*, vol. 38, no. 4, pp. 394-401, Mar. 2013.
- [4] E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *European Trans. Telecommun.*, vol. 10, no. 6, pp. 585-595, Nov.-Dec. 1999.
- [5] D. Tse, "Multiuser diversity in wireless networks: smart scheduling, dumb antennas and epidemic communications," *IMA Wireless Workshop*, Aug. 2001.
- [6] M. K. Ahn, S. H. Park, and I. K. Lee, "Achievable throughput of SDMA system with linear receivers," *J. KICS*, vol. 36, no. 7, pp. 649-653, Jul. 2011.
- [7] P. Viswanath, D. N. C. Tse, and R. Laroia "Opportunistic beamforming using dumb antennas," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 48, no. 6, pp. 1277-1294, Jun. 2002.
- [8] M. Sharif and B. Hassibi, "On the capacity of MIMO broadcast channel with partial side information," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, no. 2, pp. 506-522, Feb. 2005.
- [9] W. Choi, A. Forenza, J. G. Andrews, and R. W. Heath, "Opportunistic space-division multiple access with beam selection," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 12, pp. 2371-2380, Dec. 2007.
- [10] G. S. Dahman, R. H. M. Hafez, and R. J. C. Bultitude, "Angle-of-departure-aided opportunistic

space-division multiple access for MIMO applications,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 9, no. 4, pp. 1303-1307, Apr. 2010.

[11] J. A. Tsai, R. M. Buehrer, and B. D. Woerner, “Spatial fading correlation function of circular antenna arrays with laplacian energy distribution,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 6, pp. 178-180, May 2002.

[12] N. Blaunstein, M. Toeltsch, J. Laurila, E. Bonek, D. Katz, P. Vainikainen, N. Tsouri, K. Kalliola, and H. Laitinen, “Signal power distribution in the azimuth, elevation and time delay domains in urban environments for various elevations of bas station antenna,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, pp. 2902-2916, Oct. 2006.

[13] M. Toeltsch, J. Laurila, K. Kalliola, A. Molisch, P. Vainikainen, and E. Bonek, “Statistical characterization of urban spatial radio channels,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 20, pp. 539-549, Apr. 2002.

[14] T. Zwick, C. Fischer, and W. Wiesbeck, “A stochastic multipath channel model including path directions for indoor environments,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 20, pp. 1178-1192, Aug. 2002.

[15] C. C. Chong, C. M. Tan, D. Laurenson, S. McLaughlin, M. Beach, and A. Nix, “A new statistical wideband spatio-temporal channel model for 5-ghz band WLAN systems,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 21, pp. 139-150, Feb. 2003.

[16] H. Asplund, A. Glazunov, A. Molisch, K. Pedersen, and M. Steinbauer, “The cost 259 directional channel model-part II: macrocells,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 5, pp. 3434-3450, Dec. 2006.

[17] P. Ioannides and C. Balanis, “Uniform circular arrays for smart antennas,” *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 47, pp. 192-206, Aug. 2005.

[18] B. H. Fleury, X. Yin, K. G. Rohbrandt, P. Jourdan, and A. Stucki, “Performance of a high-resolution scheme for joint estimation of delay and bidirection dispersion in the radio

channel,” in *Proc. IEEE VTC*, vol. 1, pp. 522-526, May 2002.

[19] 3GPP TR 36.814, *Further advancements for E-UTRA physical layer aspects(Release 9)*, Mar. 2010.

차 원 정 (Wonjung Tcha)



2014년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사
 2014년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> 무선자원관리, 공간다중분할시스템

이 길 수 (Gilsu Lee)



2012년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사
 2014년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사
 <관심분야> 무선자원관리, 펄토셀

남 유 진 (Yujin Nam)



2009년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사
 2010년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사
 2012년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 박사과정
 <관심분야> 공간다중분할시스템, 다중안테나시스템, 차량통신

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월: 고려대학교 전자공학과 공학사
1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1996년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1997년 9월~현재: 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레미틱스응용분야, 임베디드시스템

정 민 아 (Min-A Jeong)



1992년 2월: 전남대학교 이학사
1994년 2월: 전남대학교 이학석사
2002년 2월: 전남대학교 이학박사
2002년 4월~2003년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 Post-Doc

2003년 4월~2005년 2월: 전남대학교 전자통신기술연구소 Post-Doc

2011년 9월~2013년 2월: Cleveland Clinic Research

2005년 3월~현재: 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수
<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템

소 재 우 (Jaewoo So)



1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 학사
1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
2002년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
2001년~2005년: 아이피원, 책임연구원 / 수석연구원

2005년~2007년: 삼성전자, 책임연구원

2007년~2008년: Stanford University, 전기공학과 박사후연구원

2008년~현재: 서강대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> 무선자원관리, 소형셀/멀티셀, 다중안테나시스템, 인지무선통신, 방송통신융합