DBpia

논문 14-39C-07-04

The Journal of Korea Information and Communications Society '14-07 Vol.39C No.07
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2014.3CA.7.538

협력적 다중 선박 네트워크에서 유틸리티 함수 기반의 스케줄링 기법

김 윤 성◆, 이 성 로*, 소 재 우°

Utility Function-Based Scheduling in a Multi-Ship Network with Coordinated Multi-Point Transmission

Yunsung Kim◆, Seong Ro Lee*, Jaewoo So°

요 약

본 논문은 다운링크 다중 선박 네트워크에서 동적으로 협력 전송(CoMP Transmission; Coordinated Multi-point Transmission)을 사용하는 유틸리티 함수를 도출하고 이를 기반으로 스케줄링 기법을 제안한다. 제안하는 스케줄링 기법은 수율과 공정성을 고려한 PF 형태의 유틸리티 함수를 최대화하기 위해서 매 프레임 협력적 전송 여부를 결정하고, 유틸리티 함수를 최대화하는 사용자를 선택한다. 특히 제안하는 유틸리티 함수 기반의 스케줄링 기법은 셀 경계 지역에 위치하는 사용자의 서비스 품질을 만족시키는 것을 목적으로 한다. 무선 환경에서 PF(Proportional Fair) 스케줄링을 사용할 때 제안한 유틸리티 함수를 기반으로 하는 스케줄링 기법의 성능을 평가한다. 모의실험을 통하여 제안하는 스케줄링 기법은 협력적 통신 네트워크와 비협력적 통신 네트워크를 동적으로 사용함으로써 전체 네트워크의 성능을 유지하면서 가장자리에 있는 선박의 성능을 향상시키는 것을 확인하였다.

Key Words : Multi-ship network, Coordinated Multi-point, scheduling algorithm

ABSTRACT

This paper proposes a coordinated multi-point (CoMP) based dynamic transmission scheme in a downlink multi-ship network, where a central ship selects a ship in order to maximize the utility function. The proposed scheduling scheme dynamically decides to the usage of the coordinated multi transmissions and selects a user to be served for every frame, in order to the utility function on the basis of the throughput and fairness. In particular, the proposed utilify function based scheduling scheme aims to increase the quality of service of ships at the edge of cells. Under the proportional fair scheduling, the simulation results show that the proposed utility function-based scheduling improves the throughput of the ships at the cell edge with the little sacrifice of the system capacity.

※ 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)의 연구결과로 수행되었음.

◆ First Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, kimy0011@sogang.ac.kr, 학생회원

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

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

논문번호 : KICS2014-05-154, Receved May 2 2014; Revised July 9, 2014; Accepted July 9, 2014

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

조선업에 IT기술을 접목하려는 시도가 많이 일어나고 있으며, 특히 스마트선박이라는 이름으로 선박의 관리 및 제어를 원격으로 관리할 수 있는 서비스가 활발히 증가하고 있다. 이러한 추세 때문에 해상에서 무선통신의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 기존 해상통신은 위성통신이 주로 이루어졌지만 위성통신은 속도의 한계가 존재하기 때문에 늘어나는 해상에서의 트래픽 수요를 충족하기 위해서는 지상의 이동통신 망과의 연동이 필요하게 되었다. 지상과 선박과의 통신거리는 지상에서의 통신거리보다 더 길기 때문에 성능이 좋은 통신모듈이 필요하다. 이 통신모듈을 갖출 수 없는 규모가 작은 선박(이하 선박)은 주위의 통신모듈을 갖추고 있는 규모가 큰 선박(이하 기지국)과 통신을 하고 규모가 큰 선박은 그 데이터를 지상에 전달하게 된다. 이 구조는 큰 선박이 기지국 역할을 하고 작은 선박이 사용자 역할을 하는 하나의 이동통신 네트워크로 볼 수 있다. 또한 선박은 한 척이 따로 다니지 않고 여러 척이 함께 있는 다중 선박 네트워크를 고려한다.

다중 선박 네트워크에서 스케줄링 기법의 경우 각 기지국의 신호는 다른 기지국이 서비스하는 선박에게는 간섭으로 작용하기 때문에 선박의 전송률을 계산하기가 복잡해진다. 전체 선박의 전송률을 계산하기 위해서 복잡도가 증가하기 때문에 실제 네트워크에 적용시키기 어렵다는 단점이 있고 커버리지의 가장자리에 있는 선박이 다수의 기지국에서 발생하는 간섭경로에 의해서 전체 네트워크의 성능에 비해서 낮은 성능을 가지는 문제점이 생긴다[1].

해상 통신의 경우 육상 통신과 달리 기지국 역할을 하는 선박들이 이동하는 경우가 발생하고, 파도에 의해 선박들의 편대가 바뀔 수 있으므로, 셀 경계가 모호해지는 특징이 있다. 따라서 일반 육상 통신에서 셀 경계 지역 사용자의 신호 품질을 향상시키기 위해 사용하는 협력적 통신 기법을 해상 통신에 그대로 적용하기 어려운 문제가 있다[2]. 협력적 통신은 다수의 기지국이 서비스하는 안테나 방향을 조절하여 서비스하는 선박의 간섭을 최소화하는 방법과 여러 개의 기지국이 한 개의 선박에게 신호를 전송하는 방법으로 구분할 수 있다. 협력적 통신을 위해서는 다수의 기지국이 협력적으로 운용하여야 하기 때문에 기지국의 복잡도는 늘어나지만 각 선박에게 간섭으로 작용하는 기지국 숫자를 줄여 선박의 성능을 향상시켜주는 방법이다[3]. 그러나 각 기지국의 신호는 커버리지 밖에 있는 선박에게 간섭으로 작용하기 때문에 기존의 단일 선박 이동통신 네트워크에 비해서 낮은 성능을 가진다[4,5].

기존 논문에서는 다운링크 다중 선박 네트워크의 성능을 향상시키기 위해 채널 간섭에 따른 성능 저하가 생기는 원인들에 대해서 분석하고 그것을 극복하기 위한 방법으로 낮은 신호 대 잡음비를 가지는 선박의 채널 품질 향상을 위해 신호뿐만 아니라 간섭으로 작용하는 신호를 이용하는 연구가 진행되었다[6,7]. 그러나 대부분의 기존 연구는 다중 선박 네트워크에서의 가장자리 선박의 성능을 높이기 위한 연구 혹은 전체 네트워크의 성능을 높이기 위한 연구이었다.

본 논문에서는 다중 선박 네트워크에서 전체 네트워크의 성능을 저하시키지 않으면서, 가장자리 선박의 성능을 높이는 연구를 진행한다. 다운링크 다중 선박 네트워크에서 서비스할 선박은 PF(Proportional Fair) 방식으로 선택하며, 이때 협력적 통신 방식을 사용할 것인지의 여부를 동적으로 결정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 비협력적 통신 네트워크와 협력적 통신 네트워크의 네트워크 모델에 대하여 설명한다. Ⅲ장에서는 종래의 스케줄링 기법에 대하여 설명하고, 제안하는 스케줄링 기법의 유틸리티 함수를 최대화하는 스케줄링 기법을 제안한다. Ⅳ장에서는 제안하는 스케줄링 기법과 종래의 스케줄링 기법과의 성능을 도출하고 비교 분석한다. Ⅴ장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. 시스템 모델

본 장에서는 다운링크 협력적 통신 네트워크와 비협력적 통신 네트워크에서 사용하는 전송 방식에 대하여 기술 한다. 또한, 각 네트워크 시나리오에서 선박의 수신 신호 대 잡음비를 정의한다.

2.1 다중 선박 네트워크 모델

다중 선박 네트워크 구조는 그림 1과 같다. 해상에서 지상과 통신을 하기 위해서는 장거리 통신을 할 수 있는 통신 모듈이 필요하다. 크기가 작은 선박의 경우 그 통신 모듈을 갖추는 데에 어려움이 있기 때문에 상대적으로 크기가 큰 선박이 통신모듈을 갖추어서 기지국 역할을 하고 주변에 있는 작은 선박이 사용자 역할을 하여 큰 선박으로부터 신호를 수신하게 된다. 본 논문에서는 협력적 통신 네트워크를 고려하기 때문에 중심에 기지국 하나와 주변에 $N-1$ 개의 기지국을 두었고 각 기지국의 커버리지 내에 K개의 선박을 두었

www.dbpia.co.kr

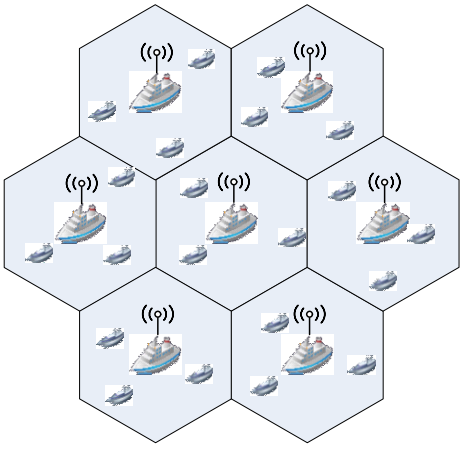

그림 1. 다중 선박 네트워크 모델
Fig. 1. A multi-ship network model

다. 이 구조는 N-셀 이동통신 네트워크 모델로 볼 수 있다.

2.2 비협력적 통신 네트워크

본 절에서는 다운링크 비협력적 통신 네트워크에서 사용되는 전송방식에 대하여 기술한다. 각 선박이 기지국으로부터 받는 신호를 이용하여 선박의 신호 대 잡음비를 정의하고 특성에 대하여 설명하도록 한다. 다중 선박 네트워크에서 다운링크는 기지국이 선박에게 데이터 정보와 제어 정보를 전송 하는 것을 의미한다. 비협력적 통신 네트워크의 경우, 기지국이 한 개의 안테나를 가지고 있고 선박이 한 개의 안테나를 가지고 있어서 한 개의 기지국이 한 개의 선박에게 서비스하는 SISO(Single Input Single Output) 환경을 사용한다. 다운링크 비 협력적 통신 네트워크 모델은 그림 2와 같다. 각 프레임마다 기지국은 자신의 커버리지 내에 있는 선박에게 데이터를 전송한다. 단일 선박 네트워크 모델은 각 프레임마다 커버리지 내에 있는 선박에게 서비스를 하기 때문에 선박간 간섭을 고려할 필요가 없다. 하지만 비협력적 다중 선박 통신 네트워크 모델은 선박간 간섭을 고려해서 신호 대 잡음

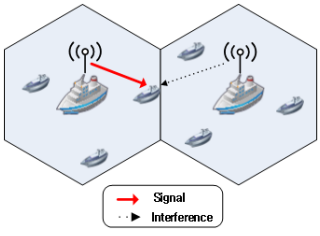

그림 2. 비협력적 통신 네트워크 모델
Fig. 2. A non-coordinated network model

비를 계산하기 때문에 기지국이 계산해야 하는 복잡도가 증가한다. 각 프레임마다 중심 기지국에서 선택된 선박은 인접한 $N-1$ 개의 기지국으로부터 간섭신호를 받는다. 각 기지국은 각 프레임마다 선박의 신호 대 잡음비를 알고 있다고 가정한다. 비협력적 다운링크 다중 선박 네트워크에서 t번째 프레임마다 i번째 기지국에서 선택된 k번째 선박의 신호 대 잡음비는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{i,k}^{Non-CoMP}(t)=\frac{p_{i,k}q_{i,k}I_{i,k}(t)}{\sum_{j=1,j\neq i}^{N}p_{j,k}q_{j,k}} \tag{1}$$

$$q_{i,k}=L(d_{i,k})^{*}|H_{i,k}|^{2} \tag{2}$$

위의 수식에서 $p_{i,k}$는 i번째 기지국이 k번째 선박을 서비스할 때의 기지국 송신 전력, $q_{i,k}$는 i번째 기지국과 k번째 선박 사이의 채널 이득, $L(d_{i,k})$는 i번째 기지국과 k번째 선박 사이의 경로 감쇄, $H_{i,k}$은 i번째 기지국과 k번째 선박 사이의 레일리 채널 모델이다. 그리고 t 프레임에서 i번째 기지국이 k번째 선박을 선택하면 $I_{i,k}(t)=1$ 그렇지 않으면 $I_{i,k}(t)=0$ 이라는 지시변수를 정의한다. 서비스 받는 선박의 순간 전송률은 수식 (3)과 같이 계산이 된다.

$$R_{i,k}^{Non-CoMP}(t)=\log_2(1+\gamma_{i,k}^{Non-CoMP}(t)) \tag{3}$$

비협력적 통신 네트워크에서 기지국이 서비스하려는 선박에게 자원을 할당하는 스케줄링 방법으로 PF 스케줄링을 사용한다.

2.3 협력적 통신 네트워크

본 절에서는 다운링크 협력적 통신 네트워크에서 사용되는 전송방식에 대하여 기술한다. 각 선박이 기지국으로부터 받는 신호 대 잡음비를 정의하고 특성에 대하여 설명하도록 한다. 협력적 통신 네트워크의 경우, 기지국과 선박이 한 개의 안테나를 가지고 있고 복수의 기지국이 한 개의 선박에게 서비스하는 MISO(Multiple Input Single Output) 환경을 사용한다. 다운링크 협력적 통신 네트워크 모델은 그림 3과 같다. 비협력적 통신 네트워크 시나리오와 마찬가지로 협력적 통신 네트워크 모델도 각 프레임마다 각 기지국은 커버리지 내에 있는 선박에게 데이터를 전송한다. 다중 선박 네트워크 모델에서 협력적 통신 네트워

www.dbpia.co.kr

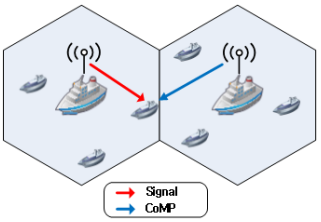

그림 3. 협력적 통신 네트워크 모델
Fig. 3. A coordinated network model

크는 선박간 간섭을 고려하여 신호 대 잡음비를 계산한다. 비협력적 통신 네트워크는 각 프레임마다 중심 기지국에서 선택한 선박에게 작용하는 간섭 신호가 $N-1$ 개였던 것과 다르게 협력적 통신 네트워크에서는 각 프레임마다 중심 기지국에서 선택한 선박은 인접 기지국에서 작용하는 $N-2$ 개의 간섭신호를 받는다. 간섭신호가 줄어든 만큼 가장 큰 간섭 신호를 발생시키는 기지국에서 데이터를 협력 전송하여 신호 대 잡음비를 최대로 만들 수 있도록 한다. 협력적 통신 네트워크에서 기지국은 각 프레임마다 선박의 신호 대 잡음비를 알고 있다고 가정한다.

이동통신의 표준인 LTE-Advanced에서는 업링크와 다운링크 모두 협력적 통신 네트워크를 제안하고 있다. 다운링크의 경우, 협력 스케줄링 방법과 조인트 프로세싱 방법으로 두 가지 방법의 협력적 통신 방법이 있다. 첫 번째 방법인 협력 스케줄링 방법의 경우 하나의 기지국이 한 개의 선박에게만 서비스를 할 수 있다. 대신 다른 기지국이 서비스하는 선박을 조절하여 서로의 전송률을 최대로 하는 방법이다. 두 번째 방법인 조인트 프로세싱 방법의 경우 여러 개의 기지국이 한 개의 선박에게 서비스를 하는 것이 가능하다. 협력적 스케줄링 방법과 달리 수신 신호의 크기를 키울 수 있고 간섭의 크기를 줄일 수 있지만 협력 스케줄링 방법에 비해서 전체 네트워크의 성능이 줄어든다는 단점이 있다[7,8,9]. 다운링크에서 두 가지 방법을 사용할 수 있는 것에 비해 업링크의 경우, 각 선박의 신호에 대해서 기지국은 협력 스케줄링 방법만을 사용할 수 있다[10].

협력적 전송이 가장자리에 있는 선박의 신호 대 잡음비가 낮은 경우에만 가치가 있을 것으로 예상이 되지만, 특정한 경우에서는 가장자리에 있는 선박뿐만 아니라 다른 선박의 평균 데이터 전송률 또한 증가할 수 있다. 조인트 프로세싱 방법은 여러 개의 기지국을 이용하여 선박이 받는 수신 신호의 품질을 향상시키거나 여러 간섭 신호를 줄이기 위해 한 개의 선박에게 여러 기지국이 협력적으로 데이터를 전송한다. 조인트 프로세싱 방법을 이용하기 위해서는 협력적 통신 처리 방법을 분산처리 방법이 아닌 중앙처리 방법을 사용해야 한다. 중앙에서 협력적 통신이 필요한 선박에게 협력적으로 송신하는 데이터를 공유하기 위해서 각 기지국을 운용해줄 수 있도록 해주어야 한다.

협력적 통신 네트워크 모델에서 각 프레임마다 기지국이 서비스하는 선박의 성능을 평가하기 위해서 각 기지국이 서비스하는 전체 선박의 전송률을 계산해야 한다. 본 논문에서는 두 개의 기지국으로부터 협력적으로 데이터를 전송하는 조인트 프로세싱 방법을 사용한다.

기존 논문[11]에서는 k번째 선박이 i개의 기지국으로부터 받는 신호를 $Y_{i,k}$라고 할 때 $Y_{i,k}$를 다음과 같이 표현한다.

$$Y_{i,k}=\sum_{j=1}^{K}p_{j,k}q_{j,k}+N_0 \tag{4}$$

협력적 통신 네트워크 모델에서 t번째 프레임에 서비스 받는 선박에게 간섭의 크기가 최대가 되는 i'번째 기지국과 비협력적 통신 네트워크 모델에서 서비스를 하는 i번째 기지국에서 선택된 k번째 선박의 신호 대 잡음비는 수식 (5)과 같이 나타낼 수 있다[12].

$$\gamma_{i,k}^{CoMP}(t)=\frac{p_{i,k}q_{i,k}I_{i,k}(t)+p_{i',k}q_{i',k}I_{i',k}(t)}{\sum_{j=1,j\neq i,j\neq i'}^{N}p_{j,k}q_{j,k}} \tag{5}$$

다중 선박 환경에서 협력적 통신 네트워크를 사용했을 때 t번째 프레임에서 i번째 기지국이 k번째 선박에게 서비스하는 전송률은 식 (6)과 같이 계산이 된다.

$$R_{i,k}^{CoMP}(t)=\log_2(1+\gamma_{i,k}^{CoMP}(t)) \tag{6}$$

다중 선박 협력적 통신 네트워크 모델은 두 가지 특징을 가진다. 첫 번째로, 자신의 커버리지에서 서비스를 하지 않는 기지국이 존재한다. 더 좋은 채널 환경을 가지는 선박이 존재하더라고 협력적 통신을 하기 위해 인접 기지국에게 서비스 받는 선박에게 서비스를 하게 된다. 따라서 협력적 통신 네트워크 모델이 비협력적 통신 네트워크 모델에 비해서 전체 네트워크의 성능이 줄어들 수 있다. 두 번째로, 두 개의 기지국이 한 개의 선박에게 서비스하기 때문에 성능이 좋아지는 대신 주파수 자원을 두 배를 사용한다. 비협력적 통신 네트워크 모델에서 한 개의 기지국이 한 개의

www.dbpia.co.kr

선박에게 서비스를 하는 것에 비해 협력적 통신 네트워크 모델은 두 개의 기지국이 한 개의 선박에게 서비스를 하기 때문에 한 개의 선박에게 두 배의 주파수 자원을 가지고 서비스를 하게 된다.

Ⅲ. 다중 선박 네트워크 스케쥴링 기법

본 장에서는 협력적 통신 네트워크와 비협력적 통신 네트워크의 사용을 선택적으로 사용하기 위한 유틸리티 함수 기반의 스케줄링 기법을 제안한다. 우선 종래의 스케줄링 기법으로써, 다중 선박 네트워크 환경에서 PF 스케줄링 기법을 설명한다. 그 다음, 제안하는 스케줄링 기법에서 협력적 통신 네트워크나 비협력적 통신 네트워크를 선택하기 위한 유틸리티 함수를 정의한다. 협력적 통신 네트워크와 비협력적 통신 네트워크를 사용하는 선박을 동시에 스케줄링하기 위해서, 통합된 유틸리티 함수를 정의한다.

3.1 종래의 PF 스케줄링 기법

다중 선박 네트워크의 각 프레임에서 기지국이 서비스하는 선박의 성능을 평가하는 방법 중에 선박의 순간 데이터 전송률과 평균 데이터 전송률 간 비를 고려하는 PF 스케줄링 기법이 사용 된다. PF 스케줄링 기법의 유틸리티 함수는 다음과 같이 정의 된다[13].

$$k^*(t) = \arg\max_k \frac{R_{i,k}(t)}{\overline{R}_{i,k}(t)} \tag{7}$$

$R_{i,k}(t)$는 다운링크 다중 선박 네트워크에서 각 선박의 채널 상태를 기지국이 알고 있다고 가정하고, t번째 프레임에서 i번째 기지국이 k번째 선박에게 서비스하는 선박의 순간 전송률이다. $k^*(t)$는 t번째 프레임에서 서비스 받는 선박이다. $\overline{R}_{i,k}(t)$는 각 선박의 채널 상태를 기지국이 알고 있다고 가정하고, 매 t번째 프레임에서 i번째 기지국이 k번째 선박에게 서비스하는 선박의 평균 전송률로써 수식 (8)과 같다[13].

$$\overline{R_{i,k}}(t) = \begin{cases} (1-\frac{1}{T_s})\overline{R_{i,k}}(t-1) + \frac{1}{T_s}R_{i,k}(t), & k = k^* \\ (1-\frac{1}{T_s})\overline{R_{i,k}}(t-1), & k \neq k^* \end{cases} \tag{8}$$

T_s는 평균 데이터 전송률의 계산하기 위한 프레임의 윈도우 크기로써, 상수의 값을 가진다. MR (Maximum Rate) 스케줄링 기법이 각 프레임에서 선박의 순간 데이터 전송률만을 가지고 유틸리티 함수를 만들어 최적의 선박을 선택하는 것과 달리, PF 스케줄링 기법은 각 프레임에서 선박의 순간 데이터 전송률과 평균 데이터 전송률을 계산하여 각 기지국이 서비스하는 전체 선박의 공정성을 고려하여 선택된다.

3.2 제안하는 유틸리티 함수 기반의 스케줄링 기법

본 절에서는 협력적 통신 네트워크 선박과 비협력적 통신 네트워크 선박의 유틸리티 함수를 통합하여 동시에 스케줄링 할 수 있는 스케줄링 기법을 제안한다. 제안하는 유틸리티 함수를 통합시켜주는 정규화 파라미터에 대하여 소개한다. 다중 선박 네트워크에서 네트워크 선택을 위한 제안하는 유틸리티 함수는 수식 (9)와 수식 (10)으로 나타낼 수 있다.

$$U(t) = \max \sum_{k=1}^{K} R_{i,k}(t) \tag{9}$$

$$R_{i,k}(t) = \max_k \left(R_{i,k}^{Non-CoMP}(t), \frac{1}{2}R_{i,k}^{CoMP}(t)\right) \tag{10}$$

수식 (10)에서 제한된 시간 동안 같은 자원을 사용했을 때, 다중 선박 네트워크 MISO 환경에서 2개의 기지국이 1개의 선박에게 서비스하는 것이 SISO 환경에서 1개의 기지국이 1개의 선박에게 서비스를 하는 것보다 2배 많은 주파수 자원을 할당하기 때문에 공정한 비교를 할 수 없다. $\frac{1}{2}$은 협력적 통신 네트워크를 사용하는 경우 주파수 자원을 정규화해 주는 요소이다[9]. 제안하는 통합된 유틸리티 함수 기반의 스케줄링 기법은 K개의 선박이 t번째 프레임에서 비협력적 통신 네트워크와 협력적 통신 네트워크 중에서 최대 수율을 가질 수 있는 네트워크를 결정하고, PF기법을 이용하여 성능향상을 이끌어내는 것을 목적으로 한다. 제안하는 스케줄링 기법의 의사코드는 표 1로 나타낼 수 있다.

초기화 단계에서는 각 기지국의 위치와 반경, 선박의 위치를 설정한다. 기지국은 각 선박의 신호 대 잡음비를 알고 있다고 가정한다. 기지국의 스케줄러는 처음부터 T프레임 동안 제안하는 유틸리티 함수 기반의 스케줄링 기법을 진행한다. 각 선박에 대해서 T프레임 동안 선박의 전송률을 계산한 후에 t프레임에서 전체 선박 K명에 대해서 수식 (10)에 의해 다운링크에서 협력적 통신 네트워크를 사용할지 비협력적 통

www.dbpia.co.kr

표 1. 제안하는 스케줄링 기법의 의사코드
Table 1. Pseudocode for proposed scheduling scheme

Algorithm 1. A proposed Algorithm based on Utility function ():

1: Initialize
2: for t=1 to T
3: for k=1 to K
4: $R_{i,k}(t) = \max_{k} (R_{i,k}^{Non-CoMP}(t), \frac{1}{2} R_{i,k}^{CoMP}(t))$
5: end
6: for k=1 to K
7: $k^*(t) = \arg\max_{k} \frac{R_{i,k}(t)}{\overline{R}_{i,k}(t)}$
8: end
9: end
10: return $R_{i,k}(t)$

신 네트워크를 사용할지 결정한다. 전체 선박 K개에 대해서 순간 전송률이 결정이 되면 t프레임에서 서비스 할 선박을 선택한다. 서비스 할 선박의 선택은 PF 스케줄링 기법을 이용하고 수식 (7)에 의해 결정된다. 전체 시간 T프레임 동안 스케줄링을 모두 마친 뒤에 매 프레임에서의 순간 전송률을 출력한다.

Ⅳ. 모의실험 결과

본 장에서는 기존 스케줄링 기법과 제안하는 스케줄링 기법의 모의실험 환경을 기술하고 성능을 평가한다.

4.1 모의실험 환경

모의실험을 진행하기 위한 환경은 다음과 같다. 하나의 기지국을 중심으로 K개의 선박이 분포되어 있다. 선박의 분포는 가장자리 쪽으로 커버리지 반경의 20%에만 분포, 커버리지 반경의 10%에만 분포하는 두 가지 경우로 나누었다. 신호 감쇄 모델은 로그 디스턴스(Log-distance) 모델을 사용하였고 각 선박의 수신 신호 채널은 레일리 페이딩 채널을 가정하였다. 협력적 통신 네트워크에서 전송 방식은 조인트 프로세싱을 이용하였고 2개의 기지국이 한 개의 선박에게 전송한다. 그 밖의 모의실험의 파라미터는 표 2에 정리하였다.

4.2 기존 스케줄링 기법과 제안하는 스케줄링 기법의 성능 결과 비교

본 절에서는 제안하는 스케줄링 기법의 모의실험 결과를 도시하고 기존 스케줄링 기법과 비교 및 분석한다. 모의실험은 4.1절에서 언급한 두 경우의 선박

표 2. 모의실험 파라미터
Table 2. Simulation parameters

파라미터	값
중심 주파수	2GHz
대역폭	10MHz
전송 전력	43dBm
안테나	무지향성
신호감쇄 지수	3
큰 선박(기지국) 수	7개
기지국 당 작은 선박(사용자) 수	30개
큰 선박간 거리	1000m
프레임 수	10000
반복 횟수	1000

분포에서 매 프레임에서의 순간 전송률인 $R_{i,k}(t)$와 선박 수에 따른 시스템의 수율을 살펴보았다. 각 경우에는 비협력적 통신, 협력적 통신, 제안하는 알고리듬을 사용한 통신을 고려한 결과를 포함한다. 그림 4, 그림 5는 선박이 가장자리 쪽으로 커버리지 반경의 20%에만 존재할 때의 결과 그래프이다. 그림 4는 매 프레임에서 서비스 받는 선박의 순간 전송률을 CDF (Cumulative Distributed Function)로 나타낸 것이다. CoMP를 항상 사용하는 협력적 전송방식은 주파수 자원을 2배로 사용하기 때문에 정확한 비교를 위해 수율을 $\frac{1}{2}$배 했고 그 결과 가장 낮은 수율이 나오는 것을 볼 수 있다. 제안하는 알고리듬의 수율은 CoMP를 사용하지 않은 방식인 비협력적 전송방식과 비교해 봤을 때 순간 전송률이 낮은 쪽의 성능 증가 폭이 큰 것을 볼 수 있다. CoMP는 커버리지의 가장자리에 있을수록 효과가 크게 되는데 순간 전송률이 낮다는 것은 선박이 커버리지의 가장자리 쪽에 위치할 확률이 큰 것을 의미하므로 가장자리 쪽에 있는 선박의 수율

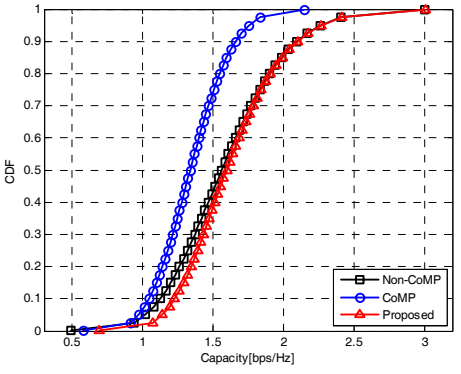

그림 4. 선박이 가장자리 쪽으로 반경의 20%에만 분포할 때 매 프레임에서의 순간 전송률의 CDF
Fig. 4. CDF of Instantaneous capacity when ships locate at 20% of radius toward edge

www.dbpia.co.kr

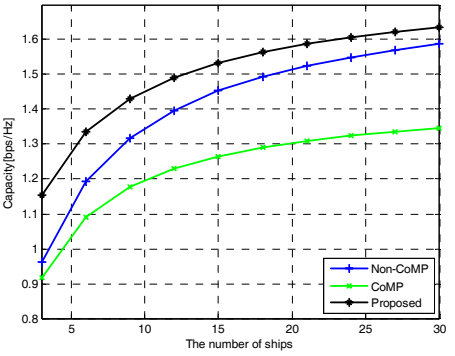

그림 5. 선박이 가장자리 쪽으로 반경의 20%에만 분포할 때 선박 수에 따른 시스템 수율
Fig. 5. System capacity according to the number of ships when ships locate at 20% radius toward edge

이 증가함을 확인할 수 있다.

그림 5는 기지국당 선박 수를 증가하면서 시스템 전체의 수율을 확인한 결과이다. 앞서 언급하였듯이 협력적 전송을 하면 커버리지의 가장자리 쪽의 선박은 이득을 보게 되지만 시스템 전체의 수율은 감소하게 된다. 제안하는 알고리듬은 비협력적 통신 네트워크와 협력적 통신 네트워크를 모두 사용하기 때문에 시스템 전체의 수율을 낮추지 않으면서 커버리지의 가장자리 쪽에 있는 선박의 수율을 증가시킨다. 결과적으로 시스템 수율이 증가하게 된다.

그림 6, 그림 7은 선박이 가장자리 쪽으로 커버리지 반경의 10%에만 존재할 때의 결과 그래프이다. 결과의 경향은 선박이 커버리지 반경의 20%에만 위치할 때와 같지만 가장자리에 있는 선박의 수가 많아졌기 때문에 기존의 알고리듬과 제안하는 알고리듬간의

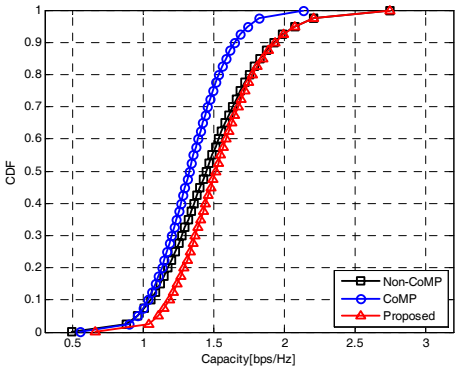

그림 6. 선박이 가장자리 쪽으로 반경의 10%에만 분포할 때 매 프레임에서의 순간 전송률의 CDF
Fig 6. CDF of Instantaneous capacity when ships locate at 10% of radius toward edge

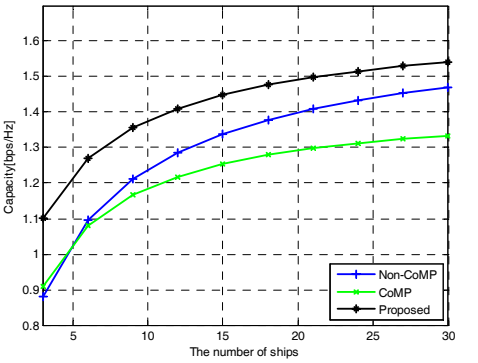

그림 7. 선박이 가장자리 쪽으로 반경의 10%에만 분포할 때 선박 수에 따른 시스템 수율
Fig. 7. System capacity according to the number of ships when ships locate at 10% radius toward edge

성능차가 더 커지는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 다운링크 다중 선박 네트워크에서 유틸리티 함수 기반 동적 스케줄링 기법을 제안하였다. 제안하는 유틸리티 함수 기반의 스케줄링 기법은 다중 선박 네트워크 환경에서 전체 네트워크의 성능과 가장자리 선박의 수율을 만족하기 위해서 동적으로 협력적 통신의 사용유무를 결정하는 기법이다. 제안하는 알고리듬의 성능 평가를 위하여 협력적 통신 사용유무에 따른 선박의 순간 데이터 전송률을 성능 척도로 선정하였다. 모의실험 결과 제안하는 알고리듬은 협력적 통신 네트워크 방식에 비해 전체 네트워크의 성능이 증가하고, 비협력적 통신 네트워크 방식에 비해 커버리지의 가장자리 선박의 성능이 증가한 것을 확인할 수 있었다.

References

[1] T. Bonald, S. Borst, and A. Proutiere, "Inter-cell scheduling in wireless data networks," in *Proc. European Wirel. Conf.*, pp. 1-7, Cyprus, Greece, Apr. 2005.

[2] V. Jungnickel, K. Manolakis, W. Zirwas, B. Panzner, V. Braun, M. Lossow, M. Sternad, R. Apelfrojd, and T. Svensson, "The role of small cellss, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 44-51, May 2014.

www.dbpia.co.kr

[3] S. Catreux, P. F. Driessen, and L. J. Greenstein, “Attainable throughput of an interference-limited multiple-input multiple-output (MIMO) cellular system,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, no. 8, pp. 1307-1311, Aug. 2001.

[4] J. Zhao, T. Q. S. Quek, and Z. Lei, “Coordinated multipoint transmission with limited backhaul data transfer,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 12, no. 6, pp. 2762-2775, Jun. 2013.

[5] R. S. Blum, “MIMO capacity with interference,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 21, no. 5, pp. 793-801, Jun. 2003

[6] D. Gesbert, S. G. Kiani, A. Gjendemsj, and G. E. Oien, “Adaptation, coordination, and distributed resource allocation in interference-limited wireless networks,” in *Proc. IEEE*, vol. 95, no. 5, pp. 2393-2409, Dec. 2007.

[7] D. Gesbert, S. Hanly, H. Huang, S. Shamai, O. Simeone, and W. Yu, “Multicell MIMO cooperative networks: A new look at interference,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 28, no. 9, pp. 1380-1408, Dec. 2010.

[8] M. Hoshino, H. Tong, T. Takata, Y. Yuda, and D. Imamura, “Study of leakage-based precoding scheme that supports coordinated multi-point operation for lte,” in *Proc. IEEE VTC,* pp. 1-5, May 2012.

[9] S. Kim, H. Lee, and S. Ryu, “Analysis of call admission control for joint transmission-based LTE-advanced systems,” *J. KICS*, vol. 38B, no. 7, pp. 535-542, Oct. 2013.

[10] L. Yang, M. Kang, M.-S. Alouini, “On the capacity-fairness tradeoff in multiuser diversity systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, no. 4, pp. 1901-1907, Jul. 2007.

[11] Y. H. Nam, L. Liu, Y. Wang, C. Zhang, J. Cho, and J.-K. Han, “Cooperative communication technologies for LTE-advanced,” in *Proc. lEEE Int. Conf. Acoustic Speech and Signal Processing*, pp. 5610-5613, Dallas, Mar. 2010.

[12] T. Kim and E. C. Yoon, “A limit-phase feedback-based precoding technique for CoMP,” *J. KICS*, vol. 36, no. 9, pp. 784-789, Sept. 2011.

[13] L. T. Tuan, D. Yoo, H. Kim, G. Jin, B. Jang, and S. Ro, “A study on packet scheduling for LTE multimedia data,” *J. KICS*, vol. 37B, no. 8, pp. 613-619, Aug. 2012.

김 윤 성 (Yunsung Kim)

2014년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사

2014년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> 무선자원관리, 공간다중분할시스템

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

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

www.dbpia.co.kr