

# 해상 인지 무선 네트워크에서 선순위 선박의 상태 변화를 고려한 수율 성능 평가

남 유진\*, 이 성 로\*, 소 재 우°

## Throughput Performance Evaluation According to The State Change of A Primary Ship in Maritime Cognitive Radio Networks

Yujin Nam\*, Seong Ro Lee\*, Jaewoo So°

### 요 약

해상 인지 무선 네트워크에서는 선순위 선박이 미사용 중인 스펙트럼 자원을 차순위 선박이 기회주의적으로 사 용함으로써 낮은 통신비용으로 높은 수율을 제공할 수 있다. 기존 육상 인지 무선 네트워크에서는 선순위 사용자의 사용과 유희간의 동작상태 변화가 드물게 발생하므로 선순위 사용자의 동작상태가 차순위 사용자의 한 프레임 시간 내에서 변하지 않는다. 하지만 해상 인지 무선 네트워크에서는 육상 인지 무선 네트워크와 달리 선순위 선박의 동작상태 변화가 빈번히 발생하므로 차순위 선박의 한 프레임 시간 내에서 선순위 선박의 상태가 변할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 해상 인지 무선 네트워크에서 선순위 선박의 동작상태 변화를 고려한 시스템 레벨 시뮬 레이션을 통해서 협력적 스펙트럼 센싱을 사용하는 해상 인지 무선 네트워크에서 선순위 선박과 차순위 선박의 수율 성능을 분석한다. 선순위 선박과 차순위 선박의 수율 분석을 통해서 선순위 선박과 차순위 선박의 수율이 파 라미터 변화에 따라 서로 상호 배타적인 관계를 가지는 것을 확인할 수 있다.

**Key Words** : Maritime cognitive radio networks (MCRNs), Dynamic traffic, Cooperative spectrum sensing

### ABSTRACT

The maritime cognitive radio networks (MCRNs) provide the high throughput with a low communication cost because the secondary ships opportunistically access to unused licensed bands of primary ships. In the ground cognitive radio networks, the busy and idle state of a primary user during a frame is not nearly changed because the state of the primary user are slowly changed. However, the state of the primary ship in the MCRNs may be frequently changed in the frame. Therefore, this paper evaluates the throughput of a primary ship and secondary ships in the MCRNs taking the state change of a primary ship into consideration when the fusion center uses the cooperative spectrum sensing. The simulation results show that trade-off between the throughput of a primary ship and that of secondary ships according to the system parameter such as the cooperative spectrum sensing scheme, the number of secondary ships, and the target detection probability.

\* First Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, hydralisk@sogang.ac.kr, 학생회원

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

\* 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mkpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2015-03-057, Received March 20, 2015; Revised May 28, 2015; Accepted May 28, 2015

## I. 서 론

해상통신의 운용과 성능에 관한 표준을 제정하는 국제해사기구인 IMO (International Maritime Organization)에서는 각 서비스 별 통신 우선순위를 정했다. 이에 따르면 국제해상조난안전시스템인 GMDSS (Global Maritime Distress & Safety System)를 위한 통신이 가장 높은 우선순위를 가지며 반면 업무를 위한 통신이 가장 낮은 우선순위를 가진다<sup>1)</sup>. 이렇게 IMO에서 제정한 우선순위를 기반으로 해상통신 시스템에서는 낮은 우선순위의 통신을 하는 선박들이 높은 우선순위의 통신을 하는 선박에 미치는 간섭을 최소화 하면서 고효율로 통신을 수행하는 기술이 중요한 이슈가 되고 있다. 본 이슈의 해결을 위한 기술 중 하나로써 차순위 선박이 스펙트럼 센싱을 통해서 선순위 선박이 사용하지 않는 주파수 채널을 기회주의적으로 사용하는 해상 인지 무선 네트워크의 연구는 매우 중요하다<sup>2,3)</sup>.

기존 인지 무선 네트워크의 스펙트럼 센싱기법 성능 향상을 위해서 에너지 검출 방식, 정합 필터 검출 방식, 주기 정상성 검출 방식 및 엔트로피 검출 방식과 같은 다양한 스펙트럼 센싱기법이 연구되었다<sup>4)</sup>. 육상통신을 위해서 연구된 인지 무선 네트워크의 스펙트럼 센싱기법을 해상 환경에 적용한 해상 인지 무선 통신 네트워크에서 스펙트럼 센싱기법에 따른 성능 분석과 피드백 오버헤드를 감소시키기 위한 협력적 스펙트럼 센싱기법에 관한 연구가 진행되었다<sup>5)</sup>. 또한, 해상통신 시스템에서 다수의 네트워크 운영자가 다른 우선순위를 가지며 주파수 관리자가 모든 네트워크 운영자의 우선순위, 시간 및 공간별 주파수 사용 패턴을 알 때, 주파수 관리자가 선순위 네트워크 운영자의 주파수 사용율이 낮은 시간과 공간을 차순위 네트워크 운영자에게 할당하는 동적 스펙트럼 기술이 제안되고 성능이 평가되었다<sup>6,10)</sup>. 하지만, 기존의 스펙트럼 센싱기법과 해상 인지 무선 네트워크 기술은 선순위 선박이나 선순위 사용자의 사용과 유휴간의 동작상태 변화에 의해서 발생하는 영향을 고려하지 않았다.

해상통신은 육상통신과 다르게 선순위 선박들이 지속적으로 이동하므로 차순위 선박이 수신하는 선순위 선박의 신호 세기 차이의 변화가 크게 나타나기 때문에 차순위 선박들이 채널을 센싱하는 경우 차순위 선박은 선순위 선박의 상태 변화가 동적이라고 인지하게 된다. 또한, GMDSS에서는 선순위 선박이 지속적인 통신을 수행하는 것이 아니라 재난과 같은 상황이

발생한 경우에만 통신을 하므로, 선순위 선박의 동작상태는 동적으로 변하게 된다. AIS (Automatic Identification System)를 위한 통신의 경우 각 선박이 주기적으로 정보전송을 수행하기 때문에 다수의 선순위 선박이 AIS를 위한 통신을 수행하게 되면 선순위 선박의 동작상태가 동적으로 변화하는 것과 동일한 결과를 가진다. 그러므로 해상 인지 무선 네트워크에서 선순위 선박의 사용과 유휴간의 동작상태 변화를 고려한 해상 인지 무선 통신 시스템에 관한 연구가 필요하다.

기존 인지 무선 네트워크에서 선순위 사용자의 동작상태 변화를 고려한 다양한 연구가 진행되었다<sup>11-15)</sup>. 참고문헌 [11]은 선순위 사용자의 사용상태와 유휴상태가 동적으로 변하는 인지 무선 네트워크에서 선순위 사용자와 차순위 사용자 간의 충돌 확률을 특정 값 이하로 하면서 차순위 사용자의 주파수 효율을 최대화시키기 위해서 차순위 사용자의 센싱시간이나 데이터 전송시간과 같은 센싱 파라미터를 결정하는 방법을 제안하였다. 참고문헌 [12]와 [13]은 차순위 사용자가 유휴상태인 선순위 사용자 주파수를 사용하지 않는 기회 손실율을 고려하면서, 차순위 사용자의 센싱 효율을 최대화시키기 위한 센싱시간과 데이터 전송시간 결정 방법을 제안하였다. 그러나 참고문헌 [11]-[13]의 연구들은 차순위 사용자의 전송시간에서만 선순위 사용자의 동작상태 변화를 고려하였다. 참고문헌 [14]는 차순위 사용자의 센싱시간과 데이터 전송시간에서 선순위 사용자의 동작상태가 변화는 인지 무선 통신 네트워크를 고려하였다. 여기서 차순위 사용자가 선순위 사용자에게 미치는 간섭을 특정 값 이하로 하면서 차순위 사용자의 수율을 최대화시키기 위한 센싱시간과 데이터 전송시간 결정방법을 제안하였다. 참고문헌 [15]는 차순위 사용자의 센싱성능, 수율과 서비스 불능 확률을 분석하였다. 그러나 참고문헌 [14]와 [15]의 연구들은 단일 센싱 환경에서 선순위 사용자의 동작상태 변화를 제한적으로 고려하였다.

본 논문에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 사용하여 선순위 선박의 사용상태와 유휴상태가 동적으로 변화하는 해상 인지 무선 네트워크 환경에서 차순위 선박들이 협력적 스펙트럼 기법을 사용할 때 선순위 선박의 상태 변화율과 차순위 선박의 스펙트럼 센싱시간에 따른 선순위 선박과 차순위 선박의 수율을 평가한다. 특히, 스펙트럼 센싱시간과 선순위 선박의 상태 변화율에 따라 협력적 스펙트럼 기법, 차순위 선박 수 및 목표 검출 확률이 수율에 미치는 영향을 평가하고 분석하며, 해상 인지 무선 네트워크 환경의 변화에 따

라 선순위 선박과 차순위 선박의 수율을 최대화하는 파라미터를 도출한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 해상 인지 무선 네트워크의 시스템 모델에 대하여 설명한다. III장에서는 수율 평가를 위한 시스템 레벨 시뮬레이션의 개요에 대해 기술하고, IV장에서는 선순위 선박의 상태 변화율과 시스템이 제어 가능한 시스템 파라미터의 변화에 따른 수율을 모의실험을 통해서 분석한다. V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 장에서는 해상 인지 무선 네트워크의 협력적 스펙트럼 센싱 모델에 대하여 기술 한다. 또한, 차순위 선박의 프레임 구조 및 선순위 선박의 사용과 유희상태 변화 모델에 대해서 설명하고, 선순위 선박의 사용 상태나 유희상태의 유지확률과 전이확률을 분석한다.

### 2.1 해상 인지 무선 네트워크 모델

해상 인지 무선 네트워크 시스템에서 각 차순위 선박은 에너지 검출 방식의 스펙트럼 센싱기법을 사용하여 선순위 선박의 신호를 센싱 후 센싱정보를 퓨전 선박 또는 퓨전센터에 전송한다. 퓨전센터는 다수의 차순위 선박으로부터 수신한 센싱 정보를 종합하여 최종적으로 선순위 선박의 존재 여부를 판단하고, 차순위 선박 중 통신을 수행할 선박을 결정한다. 해상 인지 무선 네트워크의 시스템 모델은 그림 1과 같다. GMDSS나 AIS와 같이 우선순위가 높은 통신을 위한 신호를 전송하는 선박을 선순위 선박, 업무용 통신과 같이 우선순위가 낮은 통신을 위한 신호를 전송하는 선박을 차순위 선박으로 가정한다.

총  $K$  척의 차순위 선박들은 에너지 검출 방식의

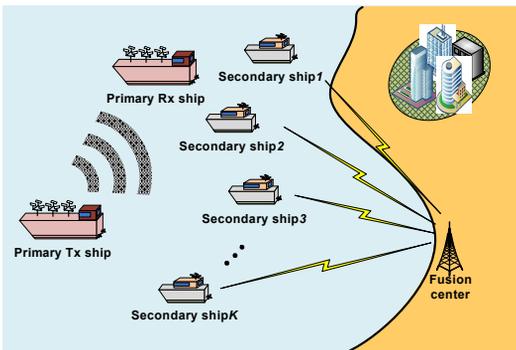


그림 1. 해상 인지 무선 네트워크 모델  
Fig. 1. A maritime cognitive radio networks model

스펙트럼 센싱기법을 통해서 주기적으로 선순위 선박의 존재 여부를 판단한다. 각 차순위 선박은 에너지 검출을 수행하기 위해 채널을 센싱하고, 센싱한 채널의 에너지 크기와 선순위 선박의 존재 여부 판단을 위한 임계값을 바탕으로 선순위 선박의 존재 여부를 판단한다. 그 후, 차순위 선박은 선순위 선박 존재 여부 정보를 퓨전센터로 전송한다. 퓨전센터는 차순위 선박들로부터 수신한 선순위 선박 존재 여부 정보를 OR-rule이나 AND-rule과 같은 협력적 스펙트럼 센싱 기법 방식에 적용함으로써 최종적으로 해당 채널 내 선순위 선박의 존재 여부를 판단한다. 이 때, 최종적으로 선순위 선박이 채널을 사용하고 있지 않다고 판단되면 퓨전센터는 스케줄링 알고리즘을 사용해서 통신을 수행할 차순위 선박을 결정한다. 최종적으로, 퓨전센터는 차순위 선박들에게 선순위 선박의 존재 여부 및 현재 프레임에서 통신을 수행할 차순위 선박의 정보를 피드백 한다. 이 때, 퓨전센터와 차순위 선박 간 통신 시 오류는 발생하지 않는다고 가정한다.

### 2.2 차순위 선박의 프레임 구조

차순위 선박은 매 프레임 마다 선순위 선박의 신호를 검출하기 위해서 각 프레임은 무선 채널을 센싱 하는 구간과 선순위 선박이 채널을 사용 중이지 않는 경우 데이터를 전송하기 위한 구간으로 나뉜다. 여기서, 채널을 센싱하는 구간을 스펙트럼 센싱시간, 데이터를 전송하기 위한 구간을 데이터 전송시간으로 정의한다. 차순위 선박의 전체 프레임 시간이  $T$ , 차순위 선박의 스펙트럼 센싱시간이  $\tau$  이면, 데이터 전송시간은 전체 프레임 시간에서 스펙트럼 센싱시간을 제외한  $T - \tau$ 가 된다. 차순위 선박은 전체 프레임 시간  $T$  동안 총  $M$  개의 샘플을 가지며, 스펙트럼 센싱시간  $\tau$  동안  $N$  개의 샘플을 사용해서 선순위 선박의 신호를 센싱하며, 데이터 전송시간  $T - \tau$  동안 총  $M - N$  개의 샘플을 사용해서 데이터를 전송한다. 해상 인지 무선 네트워크에서 차순위 선박의 프레임 구조를 그

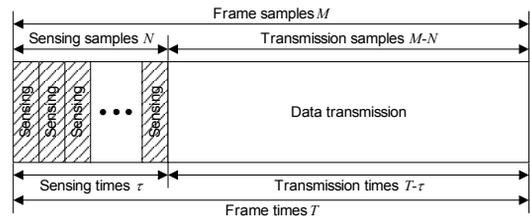


그림 2. 차순위 선박의 프레임 구조  
Fig. 2. Frame structure of secondary ships

림 2에 나타내었다. 본 논문은 협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 차순위 선박의 프레임 구조가 모두 동일하다고 가정한다.

### 2.3 선순위 선박의 상태 변화 모델

선순위 선박의 상태는 차순위 선박의 한 프레임 시간 내에서도 동적으로 변한다. 선순위 선박의 상태 변화는 차순위 선박의 스펙트럼 센싱시간과 데이터 전송시간 모두에서 발생 가능하며, 이를 위해 선순위 선박의 상태 변화 모델을 1-0 랜덤 프로세스로 가정한다. 1-0 랜덤 프로세스에서 ‘1’은 선순위 선박이 채널을 사용 중인 사용상태를 의미하며, ‘0’은 선순위 선박이 채널을 사용하지 않는 유휴상태를 의미한다. 또한, 선순위 선박이 특정 상태를 유지하는 평균시간은 지수 분포를 따른다고 가정한다. 이에 따라 일정 시간 내에서 선순위 선박의 상태 변화 확률은 포아송 분포를 따른다.

선순위 선박의 사용상태 유지시간 파라미터와 유휴상태 유지시간 파라미터는 각각  $1/\lambda$  과  $1/\mu$  이므로, 선순위 선박이 사용상태를 유지하는 시간과 유휴상태를 유지하는 시간은 각각  $T_{busy} = \lambda$  와  $T_{idle} = \mu$  를 평균으로 가지는 지수 분포를 따른다<sup>16)</sup>. 이 때, 임의의 시점에서 선순위 선박이 사용상태에 있을 확률  $p_b$  와 유휴상태에 있을 확률  $p_e$  는 각각 수식 (1)과 수식 (2)와 같다.

$$p_b = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \tag{1}$$

$$p_e = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \tag{2}$$

또한, 각 샘플 마다 선순위 선박의 상태 전이확률은 수식 (3)과 같다.

$$p(T_s) = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda + \mu} \begin{pmatrix} \mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)T_s} & \lambda - \lambda e^{-(\lambda + \mu)T_s} \\ \mu - \mu e^{-(\lambda + \mu)T_s} & \lambda + \mu e^{-(\lambda + \mu)T_s} \end{pmatrix} \tag{3}$$

여기서,  $T_s$ 는 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송을 위한 한 샘플 데이터의 시간,  $p_{00}$  는  $T_s$  동안 선순위 선박이 유휴상태를 유지할 확률,  $p_{01}$  은  $T_s$  동안 선순위 선박이 유휴상태에서 사용상태로 변할 확률,  $p_{10}$

는  $T_s$  동안 선순위 선박이 사용상태에서 유휴상태로 변할 확률,  $p_{11}$  는  $T_s$  동안 선순위 선박이 사용상태를 유지할 확률을 각각 의미한다.

### III. 시스템 레벨 시뮬레이션 개요

본 장에서는 선순위 선박의 사용상태와 유휴상태가 동적으로 변하는 해상 인지 무선 네트워크에서 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 개요에 대하여 기술한다. 성능을 평가하기 위해서 제작한 시스템 레벨 시뮬레이션의 블록 다이어그램은 그림 3과 같으며, 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 주체는 크게 선순위 선박, 차순위 선박 및 퓨전센터로 나뉘며, 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 과정은 크게 7단계로 나뉜다.

첫 번째, 사용상태와 유휴상태 유지시간 파라미터  $\lambda$ ,  $\mu$  에 따른 선순위 선박의 상태를 1-0 랜덤 프로세스를 이용해서 생성한다. 두 번째, 생성된 선순위 선박의 상태를 기반으로 선순위 선박과 차순위 선박의 채널 환경을 생성한다. 세 번째, 각 차순위 선박은 두 번째 단계에서 생성된 선순위 선박의 채널 값을 에너지 검출 방식을 통해서 센싱한다. 네 번째, 선순위 선박의 존재 여부 판단을 위한 임계값과 에너지 검출 방식을 통해서 구한 에너지 값을 비교하여 선순위 선박의 존재 여부를 판단한다. 이 때, 임계값은 협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 차순위 선박의 수가 4척이며, 기존 선순위 선박의 상태 변화가 정적인 환경에서 검출 확률이 0.9가 되도록 하는 임계값으로 선택한다. 다섯 번째, 각 차순위 선박은 이를 통해 결정된 선순위 선박 존재 여부를 퓨전센터로 전송하고, 퓨전센터에서는 각 차순위 선박으로부터 수집된 선순위 선박 존재 여부를 기반으로 최종적으로 선순위 선박 존재 여부를 판단한다. 여섯 번째, 만일 선순위 선박이 존

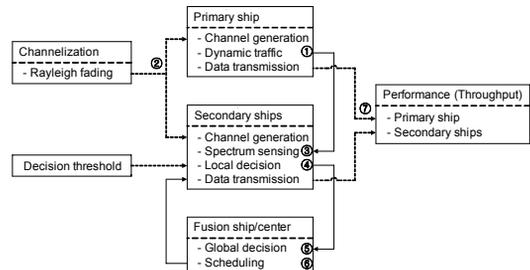


그림 3. 선순위 선박의 상태 변화를 고려한 해상 인지 무선 네트워크의 시스템 레벨 시뮬레이션 블록 다이어그램  
Fig. 3. Block diagram of the system level simulation taking the state change of a primary ship into consideration

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Value	Unit
Frame time in a frame, $T$	10	msec
Number of samples in a frame, $M$	200	-
Sensing time in a frame, $\tau$	0.4 ~ 4.0	msec
Change ratio between ON-OFF state of a primary ship, ( $T_{idle} = T_{busy}$ )	5, 10, 20	msec
Channel model	Rayleigh	-
Average SNR of a primary ship during the sensing period, $\gamma_p$	0	dB
Average SNR of a primary ship, $\gamma_{ps}$	10	dB
Average SNR of secondary ships, $\gamma_{ss}$	10	dB
Average interference to noise ratio	0	dB
Target detection probability	0.7, 0.8, 0.9	-
Cooperative spectrum sensing scheme	OR-rule, AND-rule	-
Scheduling algorithm	Round robin	-
Number of frames of secondary ships	10000	frames
Number of secondary ships, $K$	4, 6, 8	ships

재하지 않을 경우 퓨전센터는 라운드 로빈 스케줄링 알고리즘을 통해서 통신을 수행할 차순위 선박을 결정하고, 선순위 선박의 존재 여부 및 현재 프레임에서 통신을 수행할 차순위 선박의 정보를 차순위 선박에 피드백 하며, 선순위 선박이 존재하는 경우 피드백 하지 않는다. 일곱 번째, 두 번째 단계에서 생성된 채널 환경을 기반으로 여섯 번째 단계를 통해서 결정된 차순위 선박과 선순위 선박의 수율을 계산한다.

#### IV. 모의실험 결과

본 장에서는 선순위 선박의 사용상태와 유휴상태 변화가 동적인 해상 인지 무선 네트워크 환경에서 선순위 선박과 차순위 선박의 수율을 평가하기 위해 시스템 레벨 시뮬레이션에서 사용한 모의실험 환경에

대해 설명하고, 모의실험을 통해서 도출된 선순위 선박과 차순위 선박의 수율을 평가 및 분석한다.

우선 모의실험 수행을 위해 사용한 파라미터 값을 정리하고, 모의실험 수행 시나리오에 대해서 설명한다. 성능 분석에서는 선순위 선박의 상태 변화가 동적인 해상 인지 무선 네트워크 환경에서 스펙트럼 센싱 시간과 선순위 선박의 상태 변화율에 따라 협력적 스펙트럼 센싱기법, 차순위 선박 수 및 목표 검출 확률이 수율에 미치는 영향 및 결과를 도출하고 분석한다.

##### 4.1 모의실험 환경

선순위 선박의 사용상태와 유휴상태 유지시간 감소는 선순위 선박 수 증가와 동일한 결과를 나타내므로 선순위 선박이 1척일 때에 대해 모의실험을 수행하였다. 선순위 선박의 사용상태 평균유지시간  $T_{busy}$ 와 유휴상태 평균유지시간  $T_{idle}$ 은 동일한 값을 가지며, 5msec, 10msec, 20msec로 변화시키면서 결과를 도출하였다. 또한, 모의실험을 위한 차순위 선박의 한 프레임 시간  $T$ 는 10msec, 프레임 내 샘플 수는 200개로 고정하였다. 채널 환경은 레일리 분포로 발생시켰으며, 선순위 선박과 차순위 선박의 평균 신호 대 잡음비  $\gamma_{ps}$ 와  $\gamma_{ss}$ 는 10dB를 사용하였다. 총 모의실험은 10000프레임 동안 수행하였다. 모의실험을 위해서 설정한 주요 파라미터 값은 표 1과 같다.

##### 4.2 성능 평가 및 분석

그림 4와 그림 5는 목표 검출 확률이 0.9이며 협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 차순위 선박이 4척인 경우 협력적 스펙트럼 센싱기법에 따른 선순위 선박과 차순위 선박의 수율을 나타낸 것이다. 협력적 스펙트럼 센싱기법으로는 AND-rule과 OR-rule을 고려하였다. AND-rule은 협력적 스펙트럼 센싱을 수행하는 모든 차순위 선박이 선순위 선박이 있다고 판단해야 퓨전센터가 최종적으로 선순위 선박이 있다고 판단하는 협력적 스펙트럼 센싱기법이며, OR-rule은 하나의 차순위 선박이라도 선순위 선박이 있다고 판단하면 퓨전센터가 최종적으로 선순위 선박이 있다고 판단하는 협력적 스펙트럼 센싱기법이다.

퓨전센터에서 OR-rule을 사용하는 경우 선순위 선박의 수율이 더 높았으며, AND-rule을 사용하는 경우 차순위 선박의 수율이 더 높았다. 이는 AND-rule이 OR-rule 보다 선순위 선박이 존재한다고 판단할 확률이 더 낮으므로, OR-rule을 사용하는 경우 선순위 선박이 간섭받을 확률이 감소하고 AND-rule을 사용하

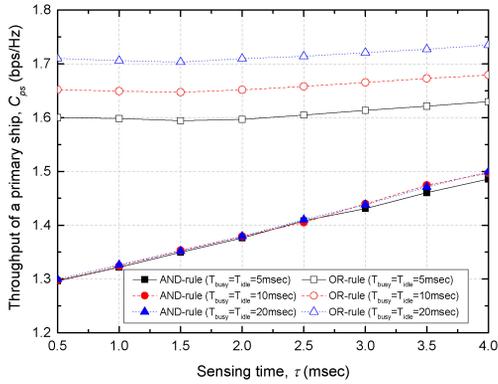


그림 4. 협력적 스펙트럼 기법에 따른 선순위 선박 수율  
Fig. 4. The throughput of a primary ship according to the cooperative spectrum sensing scheme

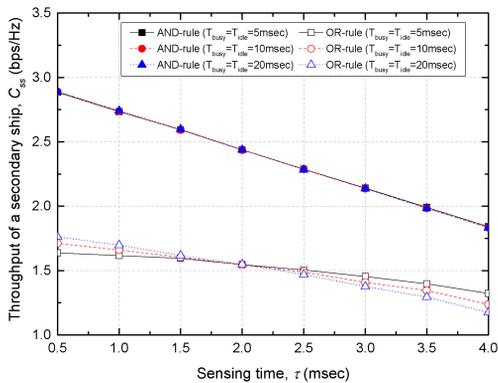


그림 5. 협력적 스펙트럼 기법에 따른 차순위 선박 수율  
Fig. 5. The throughput of a secondary ship according to the cooperative spectrum sensing scheme

는 경우 차순위 선박이 전송할 기회가 증가함에 따른 결과이다. 스펙트럼 센싱시간이 2msec이며, 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 20msec일 때, OR-rule을 사용하는 경우 선순위 선박의 수율이 AND-rule을 사용하는 경우보다 23.9% 더 높으나 차순위 선박의 수율은 57.4% 더 낮았다.

AND-rule은 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 20msec인 경우, 스펙트럼 센싱시간이 0.5msec에서 4.0msec로 증가함에 따라 선순위 선박의 수율이 26.0% 증가하고, 차순위 선박의 수율이 36.6% 감소한 반면, OR-rule은 선순위 선박의 수율이 1.5% 증가하고, 차순위 선박의 수율이 33.4% 감소하였다. 또한, AND-rule은 스펙트럼 센싱시간이 2msec인 경우 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 5msec에서 20msec로 증가함에 따라서 선순위 선박의 수율이 6.3% 증가한 반면 OR-rule의 경우는 변하지 않았다. 즉,

AND-rule이 OR-rule 대비 센싱시간 및 선순위 선박 변화율에 더 큰 영향을 받았다. 이는 AND-rule과 OR-rule이 동일한 임계값을 사용하는 경우 AND-rule의 미검출 확률이 OR-rule 보다 더 큰 값을 가지므로 선순위 선박이 존재하지 않는다고 판단하여 차순위 선박이 실제 선순위 선박의 존재 여부와 상관없이 계속 통신을 할 확률이 크게 증가하기 때문이다.

OR-rule은 스펙트럼 센싱시간이 0.5msec에서 4.0msec 증가함에 따라 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 20msec인 경우 33.4% 수율이 감소하는 반면, 5msec인 경우 19.2% 수율이 감소하였다. 즉, 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 길수록 차순위 선박의 수율 감소가 더 크게 발생하였다. 이는 OR-rule의 경우 동일 임계값을 사용하는 오경보 확률이 미검출 확률보다 더 높은 값을 가지기 때문에 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 길면 차순위 선박이 전송하지 않을 확률이 증가하나 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 짧으면 미검출 확률과 오경보 확률에 의한 정확한 전송의 중요성이 감소하기 때문이다.

모의실험 결과를 통해서 선순위 선박의 수율이 중요한 경우에는 OR-rule을 사용하거나 스펙트럼 센싱시간을 증가시키야 하고, 차순위 선박의 효율성을 증가시키고자 하는 경우에는 AND-rule을 사용하거나 스펙트럼 센싱시간을 감소시킴으로써 수율을 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한, 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 감소하면 OR-rule을 사용하는 것이 선순위 선박과 전체 시스템의 수율의 모든 측면에서 유리해짐을 볼 수 있다.

그림 6과 그림 7은 목표 검출 확률이 0.9이며 협력적 스펙트럼 센싱기법으로써 OR-rule을 사용하는 경우 협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 차순위 선박 수에 따른 선순위 선박과 차순위 선박의 수율을 나타낸 것이다. 협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 차순위 선박 수로는 각각 4척, 6척, 8척인 경우를 고려하였다.

협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 차순위 선박 수가 증가할수록 선순위 선박의 수율은 증가하나 차순위 선박의 수율은 감소하였다. 이는 차순위 선박이 OR-rule을 사용하는 경우 차순위 선박 수가 증가함에 따라서 선순위 선박이 존재한다고 판단할 확률이 감소하기 때문이다. 스펙트럼 센싱시간이 2msec이며, 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 20msec인 경우 협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 선박이 8척인 경우가 4척인 경우보다 선순위 선박 수율은 2.1% 더 높으나 차순위 선박 수율은 8.2% 더 낮았다.

협력적 스펙트럼 센싱기법에 참여하는 차순위 선박

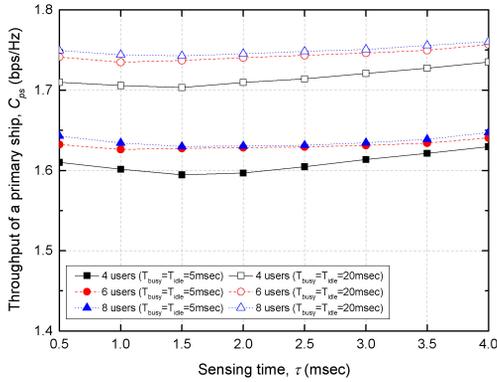


그림 6. 협력적 스펙트럼 참여 선박 수에 따른 선순위 선박 수율  
Fig. 6. The throughput of a primary ship according to the number of ships for cooperative spectrum sensing

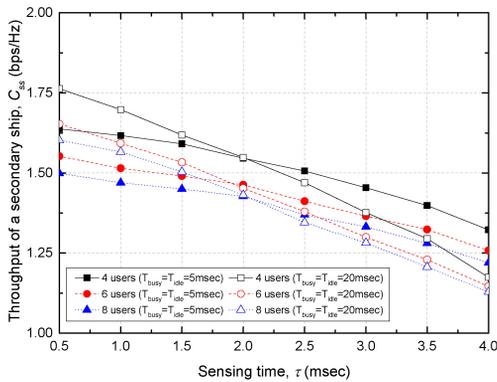


그림 7. 협력적 스펙트럼 참여 선박 수에 따른 차순위 선박 수율  
Fig. 7. The throughput of a secondary ship according to the number of ships for cooperative spectrum sensing

수 별로 차순위 선박의 스펙트럼 센싱시간과 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 미치는 영향은 비슷하였다. 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 20msec인 경우 차순위 선박의 스펙트럼 센싱시간이 0.5msec에서 4.0msec로 증가함에 따라 선순위 선박의 수율은 약 1.0% 증가하였으나, 차순위 선박의 수율은 약 30.0% 감소하였다. 또한, 스펙트럼 센싱시간이 2msec인 경우 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 5msec에서 20msec로 증가함에 따라서 선순위 선박의 수율은 7.0% 증가하였으며, 차순위 선박의 수율은 유지되었다.

모의실험 결과를 통해서 선순위 선박의 수율이 중요한 경우 협력적 스펙트럼 센싱기법에 참여하는 차순위 선박 수를 증가시키고, 차순위 선박의 효율성을 증가시키고자 하는 경우 협력적 스펙트럼 센싱기법에 참여하는 차순위 선박 수를 감소시킴으로써 수율을

증가시킬 수 있음을 알 수 있었다.

그림 8과 그림 9는 협력적 스펙트럼 센싱에 참여하는 선박이 4척이며 협력적 스펙트럼 센싱기법으로써 OR-rule을 사용하는 경우 목표 검출 확률에 따른 선순위 선박과 차순위 선박의 수율 결과를 나타낸 것이다. 목표 검출 확률로는 각각 0.9, 0.8, 0.7인 경우를 고려하였다. 목표 검출 확률이 증가할수록 선순위 선박의 수율은 증가하였으나 차순위 선박의 수율은 감소하였다. 이는 목표 검출 확률이 증가함에 따라서 선순위 선박이 존재한다고 판단할 확률이 증가하기 때문이다. 스펙트럼 센싱시간이 2msec, 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 20msec인 환경에서 목표 검출 확률이 0.9인 경우가 목표 검출 확률이 0.7인 경우보다 선순위 선박의 수율은 5.1% 더 높으나 차순위 선박의 수율은 11.6% 더 낮았다. 각 목표 검출 확률 별로 차순위 선박의 스펙트럼 센싱시간과 선순위 선박

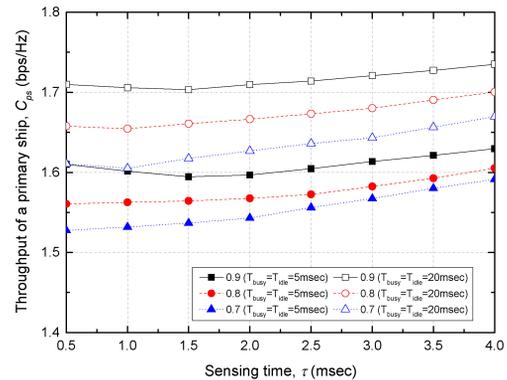


그림 8. 목표 검출 확률에 따른 선순위 선박 수율  
Fig. 8. The throughput of a primary ship according to the target detection probability

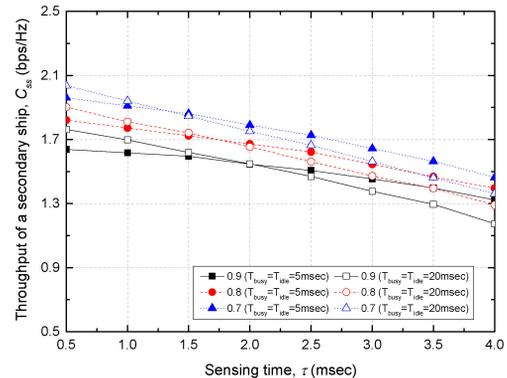


그림 9. 목표 검출 확률에 따른 차순위 선박 수율  
Fig. 9. The throughput of a secondary ship according to the target detection probability

의 상태유지 평균시간이 미치는 영향은 비슷하였다. 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 20msec인 경우 차순위 선박의 스펙트럼 센싱시간이 0.5msec에서 4.0msec로 증가함에 따라서 선순위 선박의 수율은 약 2.5% 증가하였으나, 차순위 선박의 수율은 약 32.0% 감소하였다. 또한, 스펙트럼 센싱시간이 2msec인 경우 선순위 선박의 상태유지 평균시간이 5msec에서 20msec로 증가함에 따라서 선순위 선박의 수율은 7.0% 증가하였으며, 차순위 선박의 수율은 유지하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해서 협력적 해상 인지 무선 네트워크에서 선순위 선박의 사용상태와 유희상태 변화가 동적인 환경에서 선순위 선박과 차순위 선박의 수율을 분석하였다. 특히, 스펙트럼 센싱시간과 선순위 선박의 상태 변화율에 따른 협력적 스펙트럼 기법, 차순위 선박 수 및 목표 검출 확률이 수율에 미치는 영향을 평가하고 분석하였다. 선순위 선박의 사용상태와 유희상태 변화가 동적인 해상 인지 무선 네트워크에서 선순위 선박과 차순위 선박은 상호 배타적인 관계를 가지며, 긴 센싱시간, OR-rule 기반 협력적 스펙트럼 센싱기법, 협력적 스펙트럼 센싱 기법에 참여하는 선박 수 및 높은 검출 확률에서 선순위 선박의 수율이 증가함을 볼 수 있는 반면, 짧은 센싱시간, AND-rule 기반 협력적 스펙트럼 센싱기법을 사용하면 차순위 선박의 수율은 증가하나, 선순위 선박의 수율과 차순위 선박의 선순위 선박 검출 확률을 보장 할 수 없었다.

## References

[1] ITU-R M.1371-5, *Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band*, Feb. 2014.

[2] E. Waleed, H. Najam, A. A. Muhammad, and K. H. Seok, "Cooperative spectrum sensing for cognitive radio networks application: performance analysis for realistic channel conditions," *Advances in Comput. Sci., Eng. Inf. Technol.*, vol. 225, pp. 197-206, 2013.

[3] Z. Ming-Tuo, "Cognitive maritime wireless mesh/ad hoc networks," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 35, no. 2, pp. 518-526, Mar. 2012.

[4] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," in *Proc. IEEE*, vol. 56, no. 8, pp. 1379-1380, Aug. 1968.

[5] F. Digham, M. Alouini, and M. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 1, pp. 21-24, Jan. 2007.

[6] P. Sutton, K. Nolan, and L. Doyle, "Cyclostationary signatures in practical cognitive radio applications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 26, no. 1, pp. 13-24, Jan. 2008.

[7] S. V. Nagaraj, "Entropy based spectrum sensing in cognitive radio," *Signal Process.*, vol. 89, no. 2, pp. 174-180, Feb. 2009.

[8] Y. Nam, Y. Lee, S. R. Lee, M. Jeong, and J. So, "Performance evaluation of cooperative spectrum sensing in maritime cognitive radio networks," *J. KICS*, vol. 39C, no. 11, pp. 1192-1200, Nov. 2014.

[9] M. Lim, K. Kim, Y. Lee, and S. R. Lee, "Dynamic spectrum allocation algorithm for maritime communications using spectrum sharing and priority," *J. KICS*, vol. 35, no. 7, pp. 1001-1008, Jul. 2010.

[10] K. S. Kim, M. S. Lim, Y. Lee, K. H. Kim, and S. R. Lee, "Dynamic spectrum allocation algorithm for maritime communications network applying spectrum reuse," *J. KICS*, vol. 35, no. 10, pp. 999-1005, Oct. 2010.

[11] B. Rassouli and A. Olfat, "Periodic spectrum sensing parameters optimization in cognitive radio networks," *IET Commun.*, vol. 6, no. 18, pp. 3329-3338, Dec. 2012.

[12] W. Y. Lee and I. F. Akyildiz, "Optimal spectrum sensing framework for cognitive radio networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 7, no. 10, pp. 3845-3857, Oct. 2008.

[13] K. Chang and B. Senadji, "Spectrum sensing optimization for dynamic primary user signal," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, no. 12, pp. 3632-3640, Dec. 2012.

[14] E. Pei, B. Shen, F. Cheng, and X. Jing, "Optimal sensing time and power allocation in dynamic primary-user traffic model based

cognitive radio networks,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E97-B, no. 1, pp. 196-203, Jan. 2014.

- [15] L. Tang, Y. Chen, E. L. Hines, and M. S. Alouini, “Effect of primary user traffic on sensing-throughput trade off for cognitive radios,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 10, no. 4, pp. 1063-1068, Apr. 2011.
- [16] S. Geirhofer, L. Tong, and B. M. Sadler, “Cognitive radios for dynamic spectrum access-dynamic spectrum access in the time domain: modeling and exploiting white space,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 45, no. 5, pp. 66-72, May 2007.

**남 유 진 (Yujin Nam)**



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

**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 6월~2005년 8월: 아이

피원, 책임연구원 / 수석연구원  
 2005년 9월~2007년 12월: 삼성전자, 책임연구원  
 2007년 12월~2008년 8월: Stanford University, 전기공학과 박사후연구원  
 2014년 8월~2015년 7월: UIUC, ECE 방문교수  
 2008년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 부교수  
 <관심분야> 무선자원관리, 다중안테나시스템, 인지무선통신, 사물 인터넷