

# 국내 RFID/USN 대역에서 PHY/MAC 계층을 모두 고려한 주파수 공동사용 분석 방법

## Coexistence Analysis in Korean RFID/USN Frequency Bands Considering Both PHY and MAC Layers

윤 현 구 · 장 병 준\*

Hyungoo Yoon · Byung-Jun Jang\*

### 요 약

본 논문에서는 PHY 계층에서의 간섭 전력을 수학적으로 모델링하고, 이를 MAC 계층의 DTMC(Discrete Time Markov Chain) 모델과 결합한 주파수 공동사용 분석 방법을 제안하였다. 그리고 제안한 방법을 국내 RFID/USN 대역에서 수동형 RFID와 USN 간의 주파수 공동사용을 위한 이격 거리 분석에 적용하였다. 국내 RFID/USN에서 채널 20 미만일 경우에는 4 W의 고출력 RFID가 사용하므로 USN과 주파수를 공동사용하기 어려우나, 채널 20 이상은 출력 200 mW로 최소 보호 영역 반경 300 m가 확보되면 RFID 리더 간섭에 따른 USN의 성능 감소가 1 % 미만으로 공동사용이 가능함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we have proposed the interference analysis method which uses both an interference probability model at the PHY layer of RFID system and the DTMC model at the MAC layer of USN system. Using the proposed method, we have performed sharing analysis between passive RFID and USN systems at the Korean RFID/USN frequency bands. If 1 % performance degradation of USN system is allowed, RFID and USN systems can share the frequency bands where channel number is greater or equal to 20 on condition that radius of protection area is greater than 300 m.

Key words : RFID/USN, Coexistence, Interference, Slotted ALOHA, CSMA/CA, Discrete Markov Chain

### I. 서 론

최근 실시된 국내 1.8 GHz 대역의 이동 통신용 주파수 경매에서 볼 수 있듯이, 주파수의 가치는 20 MHz에 1조 원을 육박하는 수준으로 치솟았다. 게다가 주파수를 필요로 하는 분야는 방송·통신 이외에도 의료, 공공 안전 등으로 급속히 확산되고 있다. 그

러나 현실적으로 사용 가능한 주파수는 100 GHz 이하로 한정되어 있어서, 주파수 부족 현상은 갈수록 심화될 것으로 예상된다. 이에 미국의 FCC(Federal Communications Commission), 영국의 Ofcom 등은 TV white space 대역을 super WiFi로 사용될 수 있도록 비면허 대역으로 개방하는 등, 주파수 공동사용을 통해 주파수 부족 현상을 완화하려 하고 있다<sup>[1],[2]</sup>.

「본 연구는 방송통신위원회 방송통신인프라원천기술개발사업의 연구 결과로 수행되었음(KCA-2012-12-911-01-111).」

명지전문대학 컴퓨터전자과(Department of Computer and Electronic Engineering, Myongji College)

\*국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received December 6, 2012 ; Revised January 9, 2013 ; Accepted January 15, 2013. (ID No. 20121206-137)

· Corresponding Author : Byung-Jun Jang (e-mail : bjjang@kookmin.ac.kr)

국내 주파수 공동사용 동향을 보면 RFID용으로 사용되던 908.5~914 MHz를 2009년에 917~923.5 MHz 대역으로 이전 확장하면서 RFID와 USN 시스템이 해당 주파수 대역을 공동사용하도록 기술 기준을 개정한 바 있다<sup>[3]</sup>. 개정된 기술 기준에 의하면, 이 주파수 대역은 주파수 호핑 혹은 송신전 감지(Listen Before Talk, 이하 LBT)를 사용하는 수동형 RFID 시스템과 USN 시스템이 같이 사용하도록 고시되어 있다. 따라서 두 시스템이 해당 대역을 공동으로 사용하기 위해서는 다양한 환경에서 두 시스템 간의 주파수 간섭을 분석하여 공동사용을 위한 조건을 제시할 필요가 있다. 하지만, 아직까지 개정된 기술 기준에 따라 두 시스템이 공동사용했을 때, 간섭에 의한 영향을 제시하거나 공동사용 조건을 도출한 연구는 없었다.

현재까지의 연구 결과를 살펴보면, 참고문헌 [4]에서는 SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool)<sup>[5]</sup>을 이용한 Monte Carlo 시뮬레이션으로 RFID 시스템 간의 주파수 간섭을 분석하였고, 참고문헌 [6]에서는 PHY(Physical) 계층을 수학적으로 모델링하여 RFID와 USN의 공동사용 조건을 분석하였다. 참고문헌 [4]와 [6]은 PHY 계층에서 BER(Bit Error Rate) 기준을 만족시키기 위한 허용 간섭 전력만을 분석하였기에 간섭에 의한 시스템 성능을 고려하지 못하였다. 시스템 성능 분석을 위해서는 MAC(Media Access Control) 계층 분석이 필요한데, 다행히 참고문헌 [7]에서 PHY와 MAC 계층을 모두 고려한 간섭 분석을 수행한 바 있다. 그러나 RFID 시스템 간의 간섭만 분석하고, 이중 시스템 간의 공동사용 조건에 대한 분석 결과는 없었다.

이에 본 연구에서는 PHY 계층에서의 간섭 전력을 수학적으로 모델링하고, 이를 MAC 계층의 DTMC(Discrete Time Markov Chain) 모델과 결합한 주파수 공동사용 분석 방법을 제안하였다. 그리고 제안한 방법을 국내 RFID/USN 대역에서 수동형 RFID와 USN 간의 주파수 공동사용을 위한 이격 거리 분석에 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 국내 RFID/USN 대역의 기술 기준 및 USN MAC 계층의 특성과 논문에서 고려할 공동사용 시나리오에 대해 기술하고, III장에서 본 논문에서 제안한 공동사용 분

석 방법을 설명한다. IV장에서는 제안한 분석 방법을 적용하여 국내 RFID/USN 대역에서 주파수 공동사용 조건을 도출하고, V장에서 본 논문의 결론을 나타내었다.

## II. RFID/USN 시스템

### 2-1 917~923.5 대역의 RFID/USN 기술 기준

917~923.5 MHz 주파수 대역은 방송통신위원회 고시 제2011-46호 99조에 따라 RFID/USN 기기가 사용할 수 있도록 규정되어 있으며, 기술 기준을 만족하는 다른 무선설비도 사용 가능하다고 명시되어 있다. 우선 RFID 채널 간 간섭을 줄이기 위해 200 kHz 간격으로 중심 주파수가 지정되어 있고, 그 이상의 대역폭이 필요할 때는 여러 채널을 붙여서 다양한 대역폭을 사용할 수 있도록 개선하였다. 또한, 채널의 복사 전력은 그림 1과 같이 채널 번호에 따라 다르게 제한되어 있다. 기본적으로 RFID가 아닌 기기는 모든 채널에서 출력을 10 mW 이하로 하되, 채널 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18은 RFID의 태그 응답신호와의 간섭을 줄이기 위해 3 mW 이하로 규정되어 있다. 수동 RFID 리더 중 고정형의 경우는 수 m의 인식거리를 얻기 위해 4 W의 고출력을 필요로 하므로, 채널 2, 5, 8, 11, 14, 17에서 4 W 이하로 출력을 제한하고 있다. 반면, 이동형의 경우는 수십 cm의 동작 영역을 제공하므로 고정형에 비해 적은 전력으로도 동작이 가능하므로 채널 20~32까지 최대 200 mW 출력을 사용할 수 있도록 하고 있다. 이외의 RFID/USN의 기술 기준 개정에 대한 내용은 표 1에 비교·정리하였다.

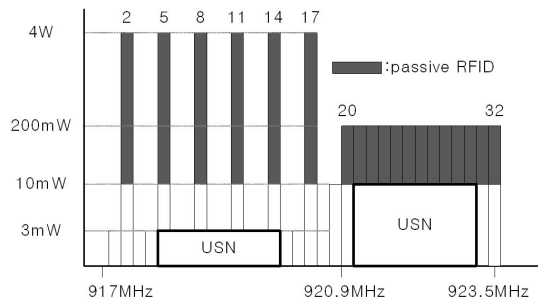


그림 1. 917~923.5 MHz 대역의 방사 전력 기준  
Fig. 1. Technical regulation for radiated power in 917~923.5 MHz frequency bands.

표 1. UHF 대역 RFID/USN 기술 기준  
Table 1. Regulations for UHF RFID/USN.

구분	수동 RFID	USN	개정 전		
주파수 대역	917~923.5 MHz		908.5~914 MHz		
	917~920.6 MHz 우선	920.6~923.5 MHz 우선			
주파수 허용 편차	±10	±40	±20		
출력 (EIRP 기준)	채널 2, 5, 8, 11, 14, 17.4 W 이하 채널 20~32: 200 mW 이하	10 mW 이하 (Tag 채널 3 mW 이하)	4 W		
출력허용 편차	상한 20 %, 하한 없음		상한 20 %, 하한 없음		
채널링	200 MHz (920.6 MHz 이하에서는 600 kHz)	없음	없음		
전파(변조) 형식	NON 및 디지털 변조	좌동	NON, A1D, B1D, B7D, G1D, G7D		
전송 방식	디지털	좌동	FHSS, AFHSS, LBT		
공동사용 조건	FHSS	채널 점유	연속 0.4초 이내	좌동	좌동
		호핑 채널	6	25	6
	LBT	출력 1 mW 초과 송신전 5 ms 이상 -64 dBm	송신전 5 ms 이상 -75 dBm	송신전 5 ms 이상 -83 dBm	송신전 5 ms 이상 50~250 mW -90 dBm
		송신 4초 이내 휴지 0.1초 이상	송신 4초 이내 휴지 0.1초 이상	송신 4초 이내 휴지 0.1초	250 mW 이상 -96 dBm
Duty cycle	채널 duty cycle 2 % (20초 이내에 송신 0.4초 이하)	좌동	-	-	

표 1에서 보여주듯이 주파수 공동사용 방식인 주파수 호핑, LBT 그리고 duty cycle에 따라 조건이 다르게 제시하고 있다. 주파수 호핑의 경우, RFID 채널

은 6개로 호핑에 따른 간섭 효과를 나타내기에는 채널 수가 작으므로, 주파수 공동사용에 따른 간섭이 존재할 수 있다. 따라서 이후의 RFID 시스템은 주파수 호핑 방식만을 고려한다.

### 2-2 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4는 센서 네트워크와 같은 서비스에 적합하도록 저가 및 저전력 소모를 염두에 둔 PHY 계층과 MAC 계층에 대한 표준으로, 본 연구에서는 USN 시스템의 속성은 이를 따른다고 가정한다. IEEE 802.15.4 센서 네트워크에는 PAN(Personal Area Network) 코디네이터가 주어진 공간에서 네트워크를 제어하도록 되어 있고, 가능한 네트워크 토폴로지는 star, peer-to-peer, cluster-tree가 있으나, USN의 서비스 상황과 유사한 센서를 통한 모니터링이나 데이터 수집기(data sink)로 정보를 전송하는 경우를 고려하여, 본 연구에서는 1홉 star 토폴로지 네트워크를 가정한다.

USN의 채널 액세스 방식은 beacon을 사용하는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)이며, PAN에 연결된 모든 장치들은 PAN 코디네이터의 슬롯 경계와 자신의 슬롯 경계를 일치시켜 메시지를 전송하도록 되어 있다. 채널 경합을 위해, 노드들은 저전력 상태로 랜덤 backoff 만큼 캐리어 센싱을 대기한 후에, 채널을 사용하려는 노드는 최대 2개의 backoff 슬롯 동안만 채널 상태를 감지하기 위해 깨어난다. 코디네이터가 데이터를 수신하기 위해서는 beacon을 통해 ‘데이터 수신 대기’ 메시지를 다른 장치들에게 전송하고, ‘데이터 요청 메시지’를 받은 후에 코디네이터는 요청한 데이터를 전송한다. 802.15.4는 beacon을 사용하지 않는 액세스 방식도 규격에 포함시키고 있으나, 이는 에너지 소비 절감이 필요한 센서 네트워크에 적합하지 않으므로, 본 연구에서는 USN의 간섭에 대한 성능 연구를 위해 beacon enabled slotted CSMA/CA 방식의 up-link에 대해서 분석한다.

### 2-3 Beacon 활성화 Slotted CSMA/CA

Beacon 활성화 모드에서 beacon은 PAN에 연결된 장치들을 동기화하고, PAN을 식별하며 슈퍼프레임의 구조를 설명하는 역할을 한다. 슈퍼프레임은 네

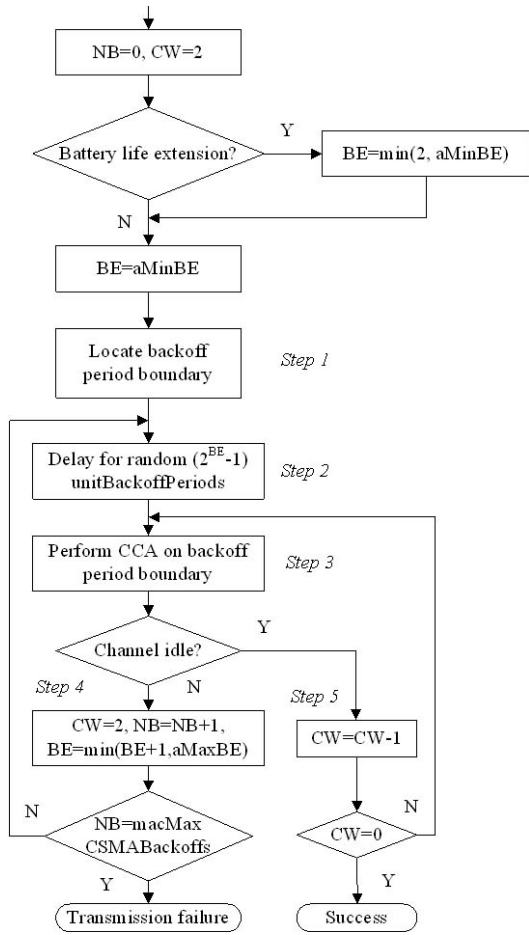


그림 2. CSMA/CA를 위한 backoff 메커니즘  
Fig. 2. Backoff mechanism for CSMA/CA.

트위크 beacon으로 경계를 구분하며, 각 슈퍼프레임의 첫 번째 슬롯에 beacon 프레임이 전송된다. 슈퍼프레임은 활성부분과 비활성 부분을 가질 수 있다. 비활성 부분 동안 코디네이터는 자신의 PAN과 반응하지 않고 저전력 모드로 들어갈 수 있다. 활성 부분은 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period)로 나뉘며, CAP 동안 통신하고 싶은 장치는 다른 장치와 slotted CSMA/CA 방식으로 경쟁을 해야 하고, CFP는 GTS(Guaranteed Time Slots)를 가질 수 있다. Slotted CSMA/CA 액세스 방식에서 PAN에 있는 모든 장치의 backoff 슬롯 경계는 PAN 코디네이터의 슈퍼프레임 경계와 일치한다.

CSMA/CA를 위한 backoff 메커니즘은 그림 2와 같다. 임의의 장치가 CAP 동안 데이터 프레임을 보

내고 싶을 때마다, 다음 슬롯 구간의 시작 부분을 찾아 랜덤 backoff 슬롯만큼 기다려야 한다. 이 시간 동안, 장치는 idle 상태이지만 에너지 소모를 줄이기 위해 채널을 스캐닝 하지 않는다. 랜덤 backoff 후에, 두 슬롯 동안 CCA(Clear Channel Assessment)를 수행한다.

각각의 네트워크 장치들은 랜덤 backoff를 위해 세 변수 NB(Number of Backoff), CW(Contention Window), BE(Backoff Exponent)를 사용한다. NB는 CSMA/CA 알고리즘에서 현재 전송을 위해 기다려야 하는 시간을 의미하며, 새로운 전송을 하기 전에 0으로 초기화된다. CW는 전송이 시작되기 전에 동작을 마치는데 필요한 슬롯 수를 의미한다. 이 값은 매 전송 시도를 하기 전에 2로 초기화되며, 채널이 busy로 판단될 때마다 2로 설정된다. BE는 backoff 지수로 채널 상태를 판단하기 전에 기다려야 하는 슬롯 수를 결정한다. BE의 초기값은 BE가 활성화되면 min(2, aMinBE)로 설정되고, 그렇지 않으면 aMinBE로 설정된다.

### III. 간섭 분석 방법

일반적으로 주파수 공동사용 연구는 PHY 계층에서 피간섭 시스템에 도달하는 간섭 전력 및 이에 따른 링크의 BER 성능 저하를 분석하는 것과 MAC 계층에서 간섭으로 인한 피간섭 시스템의 throughput 성능 저하나 시간지연 등을 분석하는 것으로 나뉜다. 간섭 전력을 PHY 계층에서 Monte Carlo 시뮬레이션하는 SEAMCAT은 전자를 이용한 대표적인 분석 툴이고, NS-2(Network Simulator-2), Qualnet 등은 후자에 속하는 대표적인 툴이다<sup>[8],[9]</sup>. 그러나 실제 시스템은 PHY 계층과 MAC 계층을 동시에 고려해야 정확한 간섭 및 공동사용 분석이 가능한데, 기존의 분석 툴로 두 계층을 동시에 고려한 분석하는 것은 매우 시간이 많이 소요되는 힘든 작업이다. 따라서 본 절에서는 공동사용 조건 도출을 위해 PHY 계층에서 통계적 간섭 모델링 방법과 MAC 계층에서 성능 분석을 위한 DTMC 모델을 결합한 간섭 분석 방법에 대해 기술한다.

#### 3-1 간섭 확률

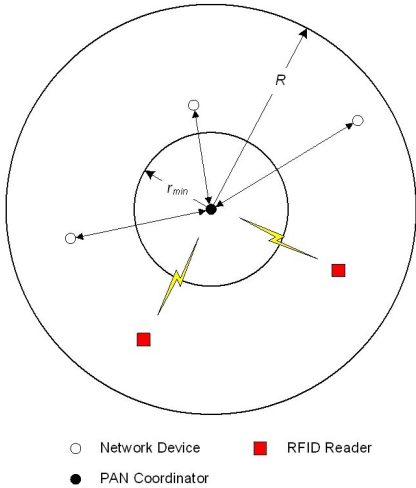


그림 3. 간섭 분석을 위한 기하학적 모형  
Fig. 3. Geographical model for interference analysis.

PHY 계층 모델링은 채널에서 발생하는 랜덤한 특성을 반영하여 피간섭원에 수신되는 간섭 신호의 통계적 특성을 이용하여 간섭일 발생할 확률을 계산한다. 우선 그림 3처럼, 피간섭원인 PAN 코디네이터 주위에 간섭원인 RFID 리더가 공간상에 랜덤하게 분포하고, 보호 영역에는 간섭원이 존재하지 않는다고 가정한다. 간섭원의 면적 밀도를  $\rho_u$ , 채널의 감쇄지수를  $\gamma$ , 보호 영역의 반경을  $r_{min}$ 이라 할 때, 피간섭원 수신부에서 간섭 전력의 누적 확률 밀도 함수(Cumulative probability Density Function)는 식 (1)로 표현된다<sup>[10]</sup>.

$$P_{int} = \Pr\{I_{int} < I\} = \exp\left\{-\pi\rho_u r_{min}^2 \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^{-2/\gamma} - 1\right\} \quad (I \leq I_{max}) \quad (1)$$

여기서  $I_{max}$ 는 최대 간섭 전력으로 간섭원의 방사 전력이  $P_t$ 이고, 피간섭원의 거리가  $r_{min}$ 일 때, 식 (2)처럼 표현될 수 있다.

$$I_{max} = P_t r_{min}^{-\gamma} \quad (2)$$

### 3-2 Slotted CSMA/CA 성능 분석

간섭이 없는 상황에서 slotted CSMA/CA의 성능에 대한 이론적 분석은 Pollin에 의해서 정립되었다<sup>[11]</sup>. 그러나 국내에서 USN이 사용 가능한 917~923.5 MHz 대역은 RFID 시스템과 공동사용하므로 RFID

에 의한 간섭이 발생할 수 있다. RFID 시스템은 IEEE 802.15.4 PHY 계층처럼 채널 상태를 감지하여 신호를 전송 CSMA 방식이 아니라, 일정 주기로 주파수를 변경하는 주파수 호핑 방식을 사용하므로, USN과 같은 채널을 사용하면, 일정 시간 후에 RFID 시스템이 주파수 호핑을 통해 채널을 변경하기 전까지는 주파수 간섭은 피할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 RFID 시스템 간섭이 존재하는 환경에서 참고문헌 [12]에서 분석한 slotted CSMA/CA의 성능 분석을 간섭을 고려할 수 있도록 수정한다.

RFID와 유사하게 slotted CSMA/CA 성능 분석을 위한 모델링도 그림 4와 같은 Markov chain을 이용하여 가능하다. 우선 네트워크 장치의 시간 지연과 전송 구간 카운터를 나타내는 확률 과정을  $c(t)$ 라 하자.  $t$ 는 슬롯 타임의 시작과 일치하는 정수를 의미한다. 지연 카운터가 0이 된 후의 값인  $c = -1$ 과  $c = -2$ 는 각각  $CCA^1$ 과  $CCA^2$ 를 나타낸다.

그리고  $CCA^1$  동안 채널이 busy라고 판단할 확률을  $\alpha$ ,  $CCA^1$  동안 채널이 idle하고,  $CCA^2$  동안 채널은 busy라고 판단할 확률을  $\beta$ 라 하자. 그 후에 전송 상태가 될 때, 패킷 전송 구간을 의미하는  $L$  슬롯만큼 카운트를 해야 한다. 지연 라인 상태를 의미하는 확률 과정을  $s(t)$ 라 하면,  $s(t) \in \{0, \dots, NB\}$  이거나 전송상태에서는  $s(t) = -1$ 이 된다. 그러면  $\{s(t), c(t)\}$ 는 그림 4의 2차원 Markov 체인으로 다음과 같은 천이 확률을 갖는다.

$$P\{i, k | i, k+1\} = 1, \quad k \geq 0 \quad (3)$$

$$P\{0, k | i, 0\} = (1-\alpha)(1-\beta)/W_0, \quad i \leq NB \quad (4)$$

$$P\{i, k | i-1, 0\} = (\alpha + (1-\alpha)\beta)/W_i, \quad i \leq NB, \quad k \leq W_i - 1 \quad (5)$$

$$P\{0, k | NB, 0\} = (1-\alpha)(1-\beta)/W_0 + P_f/W_i \quad (6)$$

여기서  $P_f$ 는 node가 전송에 실패할 확률이고,  $P_s$ 는 노드가 센싱을 시작할 확률이다.  $W_i$ 는 처음에  $W_0 = 2^{aMinBE}$ 에서 2배씩 늘어 최대  $W_{max} = 2^{aMaxBE}$ 가 될 수 있다.

식 (3)은 슬롯당 지연 라인 카운터를 1씩 감소한다는 조건을 의미하고, 식 (4)는 채널이 연속한 두 슬롯 동안 idle 상태인 것을 센싱한 후에 마지막으로 아

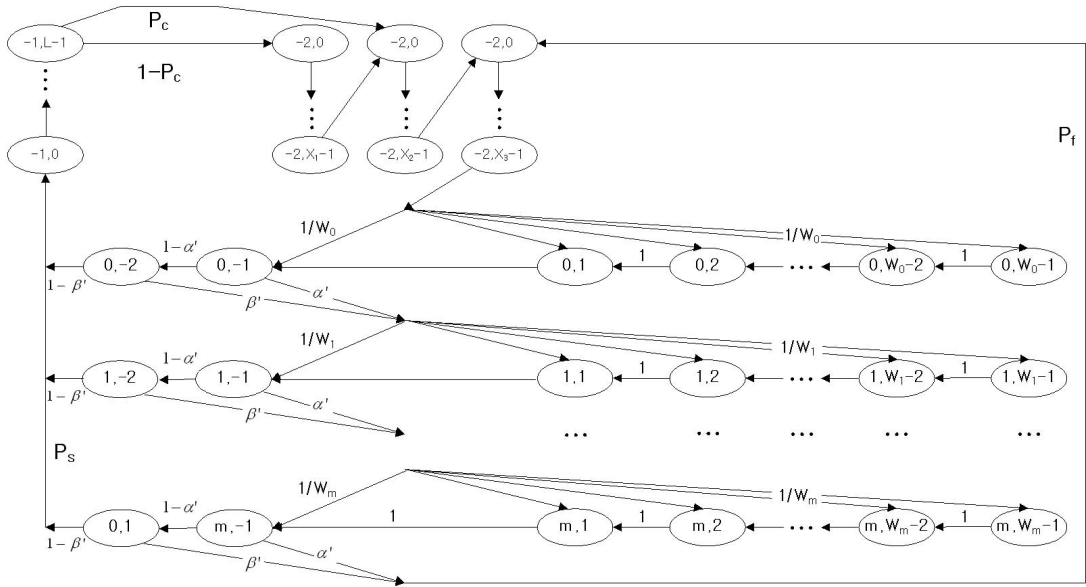


그림 4. Slotted CSMA/CA를 위한 Markov chain 모델  
Fig. 4. Markov chain model for slotted CSMA/CA.

닌 임의의 상태에서는 첫 번째 지연 라인으로 천이 하는 것만이 가능하며 이 확률을 나타내고 있다. 식 (5)는 두 번의 채널 센싱에 실패하여 다음 번 지연 레벨에 있는 상태로 천이할 확률을 나타내고 있다. 식 (6)은 패킷 전송에 성공 여부에 상관없이 마지막 지연 라인 상태에서 나와 새로운 전송 시도를 할 확률을 의미한다.

여기에 간섭원이 존재할 때,  $CCA^1$  동안 채널이 busy하다고 판단할 확률을  $\alpha'$ ,  $CCA^2$  동안 채널이 idle하고,  $CCA^2$  동안 채널은 busy라고 판단할 확률  $\beta'$ 은 식 (7) 및 식 (8)과 같이 각각 표현할 수 있다.

$$\alpha' = 1 - (1 - \alpha)(1 - P_{int}) = \alpha + P_{int} - \alpha P_{int} \quad (7)$$

$$\beta' = (1 - \alpha')\{1 - (1 - \beta)(1 - P_{int})\} = (1 - \alpha)(1 - P_{int})(\beta + P_{int} - \beta P_{int}) \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 식 (3)~(6)에 대입하고 정리하면 다음과 같다.

$$P\{i, k|i, k+1\} = 1, \quad k \geq 0 \quad (9)$$

$$P\{0, k|0, 0\} = (1 - \alpha')(1 - \beta')/W_0, \quad i \leq NB \quad (10)$$

$$P\{i, k|i-1, 0\} = (\alpha' + (1 - \alpha')\beta')/W_i, \quad i \leq NB, \quad k \leq W_i - 1 \quad (11)$$

$$P\{0, k|NB, 0\} = (1 - \alpha')(1 - \beta')/W_0 + P_f/W_i \quad (12)$$

#### IV. RFID/USN 공동사용 분석

##### 4-1 공동사용 시나리오

RFID와 USN과의 공동사용을 위해서 분석해야 하는 간섭은 다음과 같이 4가지로 나눌 수 있다.

- ① USN 노드 → RFID 리더
- ② USN 노드 → RFID 태그
- ③ RFID 태그 → USN 노드
- ④ RFID 리더 → USN 노드

①은 USN node에서 송신한 신호가 RFID 리더에 수신되는 태그 역산란 신호에 간섭으로 작용하는 경우이고, ②는 USN node에서 송신된 신호가 RFID 리더에서 송신한 신호에 간섭으로 작용하는 경우이다. ③은 태그 응답 신호가 USN 신호에 간섭으로 작용하는 경우로, ①, ②, ③은 간섭 신호의 크기가 크지 않아 그 영향이 크지 않아 무시할 수 있다<sup>[6]</sup>. 마지막으로 ④의 경우는 RFID 리더의 송신한 신호가 USN node의 수신부에 간섭원으로 작용하여 성능 저하를 유발하며, RFID/USN 기술 기준에 따라 표 2와 같이

표 2. 주파수 공동사용 분석을 위한 시나리오  
Table 2. Scenarios for analyzing frequency sharing.

	Scenario 1	Scenario 2
Freq. range(MHz)	917~920.8	920.8~923.5
Max. radiated power	RFID: 4 W USN: 3 mW	RFID: 200 mW USN: 10 mW
Channel bandwidth	RFID: 600 kHz USN: 2 MHz	RFID: 200 kHz USN: 2 MHz
Freq. hopping	None(Fixed)	Every 0.4 sec

두 가지 시나리오로 나눌 수 있다. 시나리오 1은 RFID 리더의 방사 전력이 최대 4 W, USN 노드의 방사 전력은 3 mW까지 가능한 경우이고, 시나리오 2는 RFID 리더의 방사 전력이 최대 200 mW, USN 노드의 출력 10 mW인 경우이다. 시나리오 1의 경우, 최소 이격 거리가 10 m일 때, USN의 간섭허용치 이상의 간섭 전력이 수신될 확률이 75 % 이상이어서 근거리에서 공동사용은 사실상 불가능하다<sup>6)</sup>. 따라서 본 논문의 공동사용 조건 분석은 시나리오 2에 대해서만 수행한다.

#### 4.2 공동사용 조건 분석

본 절에서는 표 2의 시나리오 2에 있는 파라미터를 사용하여 RFID/USN의 주파수 공동사용을 위한 조건을 분석한다.

그림 5는 USN 노드 수에 따른 CSMA/CA의 성능

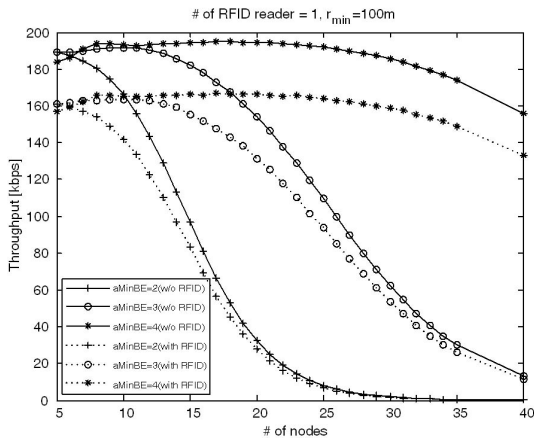


그림 5. USN 노드 수에 따른 CSMA/CA 성능  
Fig. 5. Throughput of CSMA/CA according to the number of USN nodes.

을 간섭이 있는 경우와 없는 경우 모두 구한 결과 그림이다. 가로축은 USN 노드 수이고, 세로축은 USN PAN 코디네이터의 data sink의 성능을 나타낸다. 그림에서 실선은 RFID 리더의 간섭이 없는 경우이고, 점선은 RFID 리더가 그림 3과 같이 PAN 코디네이터 주변에 지형학적으로 랜덤하게 위치할 경우의 성능이다. 세 가지 back-off 지수 모두에서 간섭 리더는 시스템 성능 저하를 유발하고 있으며, 간섭 리더가 보호 영역 100 m 이내에 없을 경우, 간섭 리더 1기는 최대 11 %의 성능 저하를 보이고 있다. 또한 CSMA/CA의 throughput 성능은 USN 노드 수에 따라 차이가 많이 발생하는데, 일반적으로 노드 수가 증가하면 충돌 방지하기 위해 랜덤 back-off 지수도 비례적으로 증가해야 성능 저하가 적게 된다. 그러나 노드 수가 10개일 때, back-off 지수가 3일 경우의 throughput 성능은 back-off 지수가 4이상일 경우와 거의 동일하게 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 노드 수 및 back-off 지수가 성능에 미치는 영향을 최소로 하고, 간섭에 의한 성능 저하 영향을 도출하기 위해, 노드 수를 10개로 가정한다.

간섭원의 특성에 따른 성능 그래프는 그림 6~8에 나타내었다. 그림에서 가로축은 보호 영역의 반지름을, 세로축은 성능을 나타낸다. 그림에서 점선은 간섭이 없는 경우이고, 마커가 있는 실선은 간섭 리더가 있는 경우이다. 그림 6은 back-off 지수가 2, 그림 7은 3, 그림 8은 4인 경우이다. USN 노드의 수가 10일 때 최소 back-off 지수 4에서 최대 throughput을 나타내고 있으며, 세 경우 모두, 보호 영역의 반경이 300 m 정도부터 간섭에 의한 성능 저하가 1 % 미만인 것을 확인할 수 있다. 따라서 국내 RFID/USN 대역 중 채널 20~32(920.9~923.3 MHz)에서 USN과 RFID의 공동사용이 가능할 것으로 판단되며, 공동사용 조건은 보호 영역 반경 300 m 이상이라 할 수 있다. 또한, RFID 리더 수가 4개이면 간섭이 없을 경우 CSMA/CA 성능의 50 % 이하가 되어 주파수 공동사용이 어렵다고 판단되므로 최대 4개까지만 고려하였다.

마지막으로 USN 성능에 영향을 미치는 중요한 요소는 PAN 코디네이터에 연결된 노드 수에 맞는 최소 backoff 지수와 RFID 리더의 수에 따른 보호 영

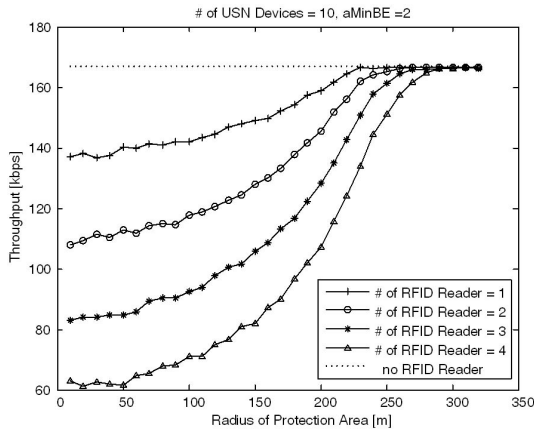


그림 6. 보호 영역 반경에 따른 CSMA/CA 성능(aMinBE=2)

Fig. 6. Throughput of CSMA/CA according to the radius of the protection arera(aMinBE=2).

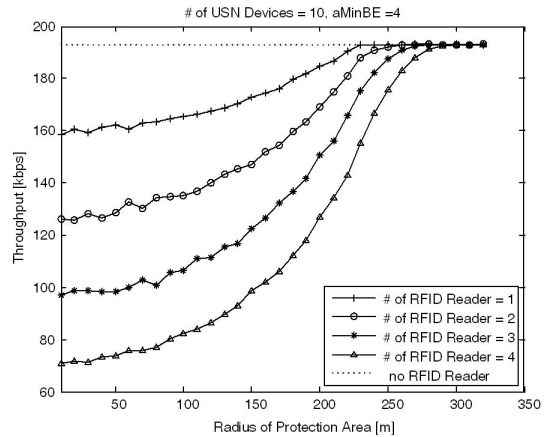


그림 8. 보호 영역 반경에 따른 CSMA/CA 성능(aMinBE=4)

Fig. 8. Throughput of CSMA/CA according to the radius of the protection arera(aMinBE=4).

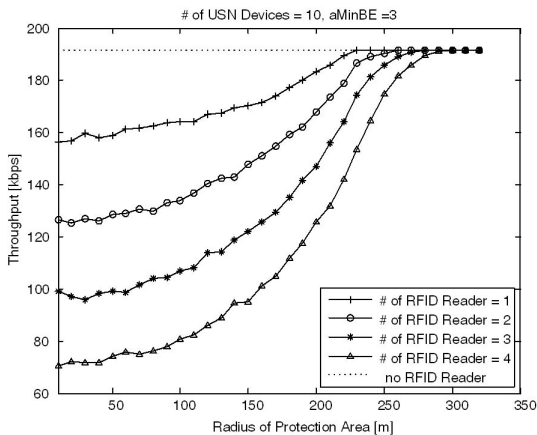


그림 7. 보호 영역 반경에 따른 CSMA/CA 성능(aMinBE=3)

Fig. 7. Throughput of CSMA/CA according to the radius of the protection arera(aMinBE=3).

역 반경으로, 향후 USN 구축 시에 본 논문의 결과가 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

### V. 결 론

본 논문에서는 국내 RFID/USN 주파수 대역을 RFID와 USN 시스템이 공동사용할 경우, PHY/MAC 을 동시에 고려한 주파수 공동사용 조건에 대해 연구하였다. 방통위 고시 제2009-13호의 제99조 RFID/USN 등의 설비에 대한 기술 기준에 따라, 수동형

RFID 리더의 출력은 채널 20 미만일 경우 4 W의 고 출력으로 USN과 공동사용하기 어려우나, 채널 20 이상은 출력 200 mW로 적절한 간섭 회피 방안을 도출하면 주파수를 공동사용할 수 있다. 국내 RFID/USN 주파수 대역에서 채널 20~32에서 RFID 리더 간섭에 따른 USN의 성능 저하가 1% 미만인 되기 위한 보호 영역 반경은 300 m로, 이 조건을 만족시키면 RFID와 USN은 성능 저하가 1% 미만으로 해당 주파수 대역을 공동으로 사용할 수 있다고 하겠다.

### 참 고 문 헌

- [1] FCC, *Connecting America: National Broadband Plan*, May 2010.
- [2] Ofcom, *Final Report: Predicting Areas of Spectrum Shortage*, Apr. 2009.
- [3] 방송통신위원회, "무선설비규칙", 고시 제2011-46호, 2011년 10월.
- [4] 김영환, 어필선, 양훈기, 박승근, 강봉순, 김영수, 육종관, "몬테카를로 방법을 적용한 수동형 900 MHz 대역의 RFID 간섭 분석", 전자공학회논문지, 43(1), pp. 9-17, 2006년 1월.
- [5] <http://www.seamcat.org>
- [6] 윤현구, 강민수, 장병준, "908.5~914 MHz 대역에



서 RFID와 USN 시스템의 주파수 공유 조건에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 19(6), pp. 647-656, 2008년 6월.

- [7] 윤현구, 최선웅, 장병준, "PHY/MAC 계층을 모두 고려한 RFID Gen-2 시스템의 간섭 분석", 한국전자과학회논문지, 21(7), pp. 752-760, 2010년 7월.
- [8] <http://www.nsnam.org>
- [9] <http://www.qualnet.com>
- [10] Jay E. Padgett, Robert A. Ziegler, "Analysis of the interference temperature concept to support spec-

trum sharing between licensed services and unlicensed devices", *Telcordia Technologies*, 2004.

- [11] Sofie Pollin, Mustafa Ergen, Sinem Coleri Ergen, Bruno Bougard, Liesbet Van der Perre, Ingrid Moerman, Ahmad Bahai, Pravin Varaiya, and Francky Catthoor, "Performance analysis of slotted carrier sense IEEE 802.15.4 medium access layer", *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 7, no. 9, pp. 3359-3371, Sep. 2008.

### 윤 현 구



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
 2002년~2004년: (주)현대시스콤 선임연구원

2004년~현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 교수  
 [주 관심분야] 통신시스템, 무선자원관리, 채널모델링, Spectrum Engineering

### 장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1995년 3월~1999년 1월: LG전자

(주)  
 1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소  
 2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원  
 2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수  
 [주 관심분야] RF/마이크로파 회로 및 시스템, 무선통신 시스템, RFID/USN, 주파수 간섭 에너지-IT 융합