Monte-Carlo 기반의 간섭분석에 관한 연구

김성권*

Interference Analysis based on the Monte-Carlo Method

Seong-kweon Kim*

요 약

본 논문에서는 industrial, scientific, medical (ISM) 대역의 효율적인 운용을 위해 간섭시나리오와 monte-carlo method 기반의 간섭분석 methodology를 제안하였다. 간섭시나리오는 거리와 밀도에 따른 시나리오로 구분되며, 희생원을 victim receiver (Vr), 간섭원을 interfering transmitter (It)로 정의한다. 간섭분석 시뮬레이션은 Vr의 간섭허용치를 만족하는 It의 간섭유효구간을 통해 얻어지는 유효간섭영역 내에서 It의 분포밀도에 따른 간섭 확률을 도출하게 된다. 제안된 간섭시나리오를 적용하여 2.4GHz ISM 대역에서 사용되는 대표적 무선설비인 WLAN (Vr)과 bluetooth (It)의 시뮬레이션 결과 간섭유효구간은 60~400m 이며, WLAN은 유효간섭영역에 존재하는 6개의 bluetooth와 간섭허용치를 만족하는 범위 내에서 운용될 수 있음을 확인하였다. 또한, 같은 조건에서 frequency hopping (FH) 통신방식을 사용하는 bluetooth에 cognitive radio(CR) 기술 기반의 listen before talk (LBT) 방식을 적용시 간섭 확률은 크게 감소하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 european radiocommunications office (ERO)에서 monte-carlo method를 기반으로 개발한 spectrum engineering advanced monte carlo analysis tool (SEAMCAT)을 사용하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the methodology of interference analysis based on monte-carlo method for effective use of Industrial, Scientific, Medical (ISM) band. The interference scenario is divided according to the distance and density. The simulation of interference analysis evaluates the interference probability according to distribution density of Interfering Transmitters (It) in the Secure Interference Area (SIA). The SIA is gained from the Interference Efficiency Range that satisfied to Interference Permissible Range of Victim Receiver (Vr). Simulation result that apply the proposed interference scenario to the WLAN and bluetooth, Interference Permissible Range was 60~400m. And the WLAN was acceptable within interference permissible range to six bluetooth that exist in the SIA. In the same condition, when applied Listen Before Talk (LBT) based on Cognitive Radio (CR) to the bluetooth using Frequency Hopping (FH), interference probability was decreased sharply. The Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool (SEAMCAT) that has been developed based on the monte-carlo method by European Radio-communications Office (ERO) were used to the interference simulation.

키워드

WLAN, Bluetooth, Frequency Hopping(FH), Monte-Carlo Method, ISM Band

* 목포해양대학교 해양전자통신공학부
접수일자 : 2008. 04. 19
심사완료일자 : 2008. 05. 23

Ⅰ. 서 론

Industrial, scientific, medical (ISM) 대역은 국제전기통신연합 (international telecommunication union, ITU)이 산업 (industrial), 과학 (scientific) 및 의료 (medical) 등 전파응용설비 (ISM기기) 용으로 지정한 주파수 대역으로 13.553~13.567㎒, 26.975~27.283㎒, 40.66~40.70㎒, 433.05~433.79㎒ (region 1 only), 902~928㎒ (region 2 only), 2.4~2.48㎓, 5.725~5.875㎓, 24~24.25㎓, 61~61.5㎓, 122~123㎓, 244~246㎓가 있다[1][2].

ISM 대역은 비면허로 일정한 출력의 규제만 지키면 자유롭게 사용할 수 있다는 장점으로 인하여 기존의 설비 및 기기는 물론이고, 전 세계적으로 새롭게 대두되는 다양한 전파응용설비 및 무선설비들의 상당수가 이 대역을 대상으로 개발 및 운영되고 있다. ISM 대역을 기반으로 동작하는 무선기기들 (WLAN, Bluetooth, ZigBee, Digital Cordless Phone 등)은 자체적으로 전파간섭을 최소화하거나 회피할 수 있는 알고리즘을 가지고 있으므로 동종기기 간 간섭문제는 크게 대두되지 않으나 이기종간의 전파간섭 및 혼신문제는 시스템의 안정성을 열화 시킬 수 있는 요인이 될 수 있다. 따라서 효과적인 ISM 대역의 운용을 위해서는 간섭분석을 통한 보다 구체적인 규제 및 정리가 반드시 필요하다[3].

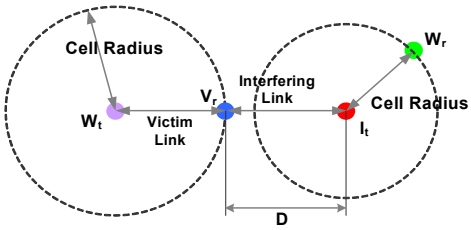

그림 1. 거리 시나리오
Fig. 1 Scenario for distance

간섭분석 방식으로는 크게 minimum coupling loss (MCL), enhanced-MCL (E-MCL) 및 monte-carlo (MC) 방식이 있다. MCL 방식은 시스템 파라미터와 전파모델을 통해서 시스템이 간섭의 영향을 전혀 받지 않고 동작하기 위해 떨어져야 하는 최소한의 거리를 계산한다. 그러나 MCL 방식은 송수신기의 활동률 (activity factor)을 무시하고 일정한 크기의 송수신 신호가 계속 수신되는 worst case를 가정하므로 실제 적용하기에는 불필요하게 엄격한 이격 거리가 계산 된다. 또한 한 개의 간섭원만 모델링이 가능하기 때문에 여러 상황을 적용하기 어렵다. E-MCL 방식은 MCL 방식을 개선한 것으로 간섭원이 원형 셀에 균등하게 분포하는 링크 가용성 (link availability)을 고려하면서 이격거리와 간섭확률을 계산한다.

본 연구에서 사용되는 MC 방식은 구하고자하는 수치의 확률적 분포를 반복 가능한 실험의 통계로부터 구하는 방법으로, 간섭환경과 관련된 모든 파라미터 값들을 지정하고 다양한 간섭 환경을 시뮬레이션 할 수 있으나 복잡도가 크고 결과에 대한 신중한 분석이 요구된다[4][5][6].

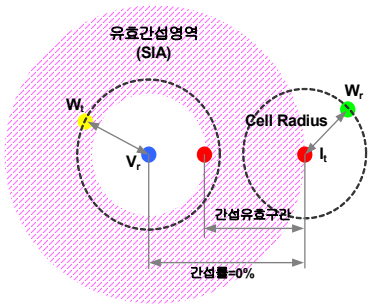

그림 2. 밀도 시나리오
Fig. 2 Scenario for density

본 논문에서는 간섭분석을 통한 ISM 대역의 효율적인 운용을 위해 간섭시나리오와 MC 방식의 간섭분석 methodology를 제안하였으며, 제안된 간섭 시나리오를 적용하여 2.4GHz ISM 대역에서 사용되는 WLAN (IEEE 802.11b)과 bluetooth (IEEE 802.15.1)의 간섭영향을 분석하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 european radio-communications office (ERO)에서 개발한 spectrum engineering advanced monte carlo analysis tool (SEAMCAT)을 사용하였다.

Ⅱ. ISM 대역 전파간섭 시나리오 개요

전파간섭 시나리오는 크게 거리와 밀도에 따른 시나

리오로 구분되며, ISM 대역에서 사용되거나 사용될 기기별로 경우의 수 만큼 짝지어 간섭원 과 희생원으로 적용한다. 시나리오에서 간섭원에 의해 간섭을 받는 희생원은 victim receiver (Vr), 간섭의 영향이 없는 희망신호를 Vr로 송신하는 기기를 wanted transmitter (Wt), Vr에 간섭신호를 발생시키는 간섭원을 interfering transmitter (It)로 정의한다. 그리고 Vr과 Wt 사이의 전파경로를 victim link, Vr과 It의 경로를 interfering link라 한다. 간섭환경에서 전파응용설비는 통신기기가 아니므로 Vr가 될 수 없고 It로만 설정할 수 있다.

즉, ISM대역에서 사용되는 전파응용설비 및 무선설비에서 무선설비와 무선설비 또는 무선설비와 전파응용설비간의 간섭은 그림 1의 Vr과 It 사이의 거리(D)를 변경하는 거리시나리오와 그림 2의 유효간섭영역에서 It의 밀도(N/km^2)를 변경하는 밀도시나리오로 구분한다.

시나리오의 적용에 앞서 Vr와 Wr는 각각 worst case를 고려하여 수신신호의 세기가 가장 작은 Wt와 It의 최대 서비스반경에 위치시킨다.

여기서 무선설비의 서비스반경은 link budget을 이용하여 산출할 수 있다. link budget은 주어진 통신 링크상에서 필요로 하는 성능(이득, 손실, BER 등)을 만족 시키는 수식으로 주변의 환경에 따라 변하는 셀의 크기와 기지국의 개수를 결정할 때 사용되는 방법이다. Link budget을 이용한 셀의 크기는 수신기의 대역폭과 noise figure 값으로 결정되는 노이즈 전력의 세기와 수신기의 신호 대 잡음비(SNR)의 합이 경로손실 값 보다 작은 값을 가져야 한다는 것을 이용하여 산출한다.

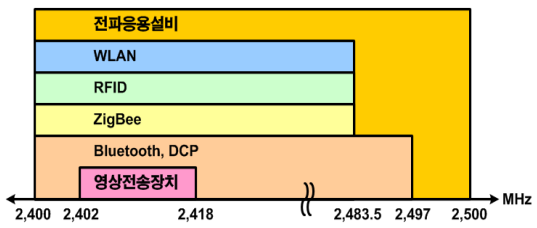

그림 3. 2.4GHz ISM 대역의 스펙트럼 분포
Fig. 3 Spectrum of 2.4GHz ISM Band

예를 들어, 2.4GHz ISM 대역에서 사용되는 WLAN의 경우 채널 1에서 반송파 주파수가 2,412MHz인 신호를 23dBm의 출력 값으로 송신한다. 반송파 주파수에 의해 파장(λ)은 0.1244m이고, 사용되는 수신기에서 신호 대 잡음비 (SNR)가 최저 33dB, 노이즈의 전력의 세기는 -90.41dBm, close-in reference distance d0=1m 라면, 주어진 신호 대 잡음비로 부터 수신전력 값은 $P_r > (-90.41dBm + 33dB) = -57.41\text{dB}m$ 이다. 따라서 경로손실 값 PL은

$$\overline{PL} = 23\text{dB}m - (-57.41\text{dB}m) = 80.41dB \quad (1)$$

보다 작은 값을 가져야한다. 임의의 거리 d_0에서 경로손실 값은

$$\overline{PL}(d_0) = 10\log\frac{(4\pi)^2 \cdot d_0^2}{\lambda^2} = 10\log\frac{(4\pi)^2 \cdot 1^2}{(0.1244)^2} = 40.08\text{dB} \quad (2)$$

이다. 경로손실에 관한 식 (3)에 대입하여 free space 환경(n=2)에서의 송수신기 간의 최대 거리, 즉 셀의 크기는

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10(n)\log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (3)$$

$$83.41dBm = 40.08dB + 10(2)\log\left(\frac{d}{1m}\right) \quad (4)$$

식 (4)로부터 D=100m임을 알 수 있다. 즉, 자유공간의 조건에서 2.4GHz ISM 대역에서 사용되는 WLAN은 서비스 반경이 100m이다.

거리시나리오는 앞의 link budget에 의해 계산된 Wt와 It의 cell radius를 이용하여 최대 서비스 반경에 각각 Vr와 Wr를 위치시키고 Vr와 It 사이의 거리 D를 변경하여 간섭률이 0%인 지점부터 Vr의 간섭허용치를 만족하는 구간을 확인한다. 이 구간을 간섭유효구간이라 정의한다.

밀도시나리오에서는 거리시나리오를 통해 얻어진 간섭유효구간의 면적을 유효간섭영역 (Secure Interference Area, SIA)이라 정의하고, 유효간섭영역 내에서 It의 밀도를 변경해가며 간섭확률을 측정한다.

표 1. WLAN 주요 파라미터[7][8]
Table 1. Main parameter of WLAN

Parameter	Value	Units
Frequency	2,412+k (k=0,5,10,…60)	MHz
Reception Bandwidth	22,000	kHz
Receiver Sensitivity	-55.33	dBm
interference criteria(C/I)	10	dB
Noise Floor	-90.41	dBm
Antenna Height	Rx 1.5 / Tx 2.5	m
Antenna Azimuth	0~360	Degree
Antenna Peak Gain	6	dBi
Antenna pattern	omnidirectional	
Output Power	23	dBm
Coverage Radius	0.1	km

표 2. WLAN의 방사전력레벨[8]
Table 2. Emission power level of WLAN

Frequency Offset [MHz]	Attenuation [dBc]	Reference Bandwidth [kHz]
~-22	-50	100
-22~-11	-30	100
-11~11	0	100
11~22	-30	100
22~	-50	100

표 3. Bluetooth 주요 파라미터[9][10]
Table 3. Main parameter of Bluetooth

Parameter	Value	Units
Frequency	2,402+k (k=0,1,…,78)	MHz
Reception Bandwidth	1,000	kHz
Receiver Sensitivity	-70 (BER<0.1%)	dBm
interference criteria(C/I)	11	dB
Noise Floor	-103.83	dBm
Antenna Height	1.5	m
Antenna Azimuth	0~360	Degree
Antenna Peak Gain	0	dBi
Antenna pattern	omnidirectional	
Output Power	20 (class 1)	dBm
Coverage Radius	0.1	km

표 4. Bluetooth의 방사전력레벨[10]
Table 4. Emission power level of Bluetooth

Frequency Offset [MHz]	Attenuation [dBc]	Reference Bandwidth [kHz]
~-2.5	-60	100
-2.5~-1.5	-40	100
-1.5~-0.5	-20	100
-0.5~0.5	0	100
0.5~1.5	-20	100
1.5~2.5	-40	100
2.5~	-60	100

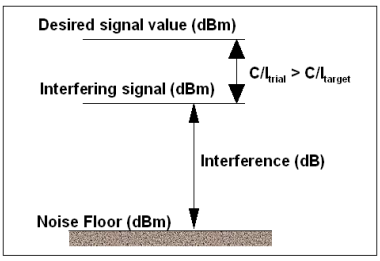

그림 4. 간섭확률의 계산
Fig. 4 Calcuration of the interference probability

이때, It는 유효간섭영역에서 랜덤하게 분포하며, Vr의 간섭허용치를 만족하는 범위 내에서 동시에 운용이 가능한 It의 최대 개수를 확인한다.

III. 2.4GHz ISM 대역의 간섭 시나리오 및 전파간섭 시뮬레이션

본 절에서는 2.4GHz ISM 대역을 사용하는 대표적인 무선설비인 WLAN과 bluetooth를 예로 앞에서 제안된 간섭 시나리오를 구성하고, 간섭 시뮬레이션을 통해 간섭영향을 확인한다.

국제 주파수 분배표 주석인 5.150의 내용에 따라 2.4~2.48㎓ 주파수 대역은 ISM주파수 대역으로 지정이 되어 있으며, 제 3지역인 국내에서도 이 주파수 대역을 ISM대역으로 사용하고 있다. 2.4GHz ISM 대역은 그림 3에 나타낸 바와 같이 다양한 무선설비 및 전파응용설비가 공

존하는 대역으로 ISM 대역 가운데 그 수요와 이용이 가장 활발하다. 특히, WLAN과 bluetooth는 home network의 핵심기술로 컴퓨팅 환경에서 함께 사용되는 경우가 급증함에 따른 간섭문제가 심각하다.

표 1~4는 2.4GHz ISM 대역에서 사용되는 WLAN과 bluetooth의 주요 파라미터 및 방사마스크 특성을 나타낸다. 간섭분석 시뮬레이션에 적용된 WLAN은 IEEE 802.11b, bluetooth는 class 1(100mW)의 규격을 따르며, WLAN을 Vr, bluetooth를 It로 설정하였다. 간섭환경에서 WLAN은 항상 1번 채널인 2,412MHz를 점유하고 있는 상태를 가정하였으며, FH 방식을 사용하는 bluetooth는 79개의 채널을 일정한 확률로 hopping 하도록 설정하였다. 전파모델은 extended hata-SRD (Short Range Device) 모델의urban, indoor 환경을 가정하였고, 시뮬레이션은 간섭원인 중 가장 큰 영향을 미치는 unwanted emission에 의한 간섭만을 다룬다[11].

표 5. 거리 시뮬레이션 결과 #1
Table 5. Simulation result (Distance #1)
(Vr=WLAN, It=Bluetooth, Wt-Vr distance=100m)

Vr-It distance (m)	Probability of Interference
60	4.85 %
70	3.70 %
80	2.91 %
90	2.59 %
100	2.44 %
200	0.85 %
300	0.23 %
400	0.00 %

표 6. 거리 시뮬레이션 결과 #2
Table 6. Simulation result (Distance #2)
(Vr=WLAN, It=Bluetooth, Wt-Vr distance=random)

Vr-It distance (m)	Probability of Interference
40	8.93 %
50	4.75 %
100	1.18 %
150	0.67 %
200	0.33 %
250	0.19 %
300	0.00 %

표 7. 거리 시뮬레이션 결과 #3
Table 7. Simulation result (Distance #3)
(It=Bluetooth using LBT, Wt-Vr distance=100)

Vr-It distance (m)	Probability of Interference
13	4.29 %
15	2.96 %
20	1.17 %
25	0.68 %
30	0 %

그림 4는 SEAMCAT 시뮬레이션에서 간섭확률의 계산과정을 나타낸다. 희망신호의 세기와 간섭신호 세기의 비가 간섭보호비 (Carrier to Interference ratio, C/I)로 설정되어있는 값보다 클 경우 간섭이 발생한 것으로 판단하게 되며, 간섭확률은 1에서 간섭보호비를 만족하는 신호의 수신 횟수와 전체 시뮬레이션 이벤트 발생 횟수의 비를 뺀 값으로 계산된다.

3.1 거리시뮬레이션 결과 및 분석

표 5는 Vr가 서비스반경 가장 바깥에 위치하는 조건으로 Wt로부터 Vr로 수신되는 신호의 강도는 worst case가 된다. WLAN의 간섭 허용치를 5%로 가정한다면, 표 5의 결과로부터 WLAN에 대한 bluetooth의 간섭유효구간은 약 60~400m가 된다.

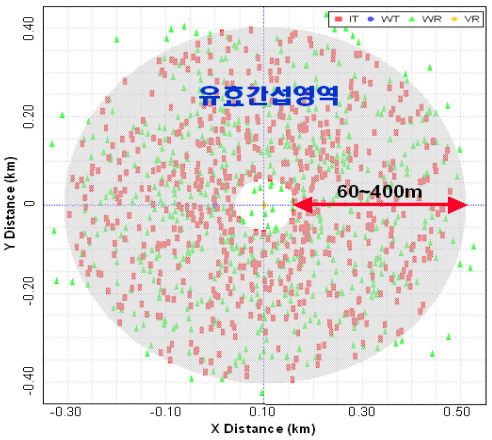

그림 5. 유효간섭영역에서의 밀도시뮬레이션
Fig. 5 Simulation of density in SIA

표 8. 밀도 시뮬레이션 결과
Table 8. Simulation result (Density)
(Vr=WLAN, It=Bluetooth, Wt-Vr distance=100m)

N/km^2	Probability of Interference
1	1.03 %
2	1.79 %
3	2.32 %
4	3.48 %
5	4.22 %
6	4.99 %

표 6은 Vr이 서비스반경 내에서 랜덤하게 위치하며 Wt로부터 Vr로 수신되는 신호의 강도는 worst case와 best case 모두를 포함한다. 위에서 가정한 간섭 허용치로부터 WLAN과 bluetooth의 간섭유효구간은 40~300m가 된다.

표 7은 표 5와 같은 조건에서 frequency hopping(FH) 방식을 사용하는 bluetooth에 cognitive radio (CR) 기술 기반의 listen before talk (LBT) 방식을 적용하였을 때 간섭확률을 나타낸다. LBT 방식이 적용된 bluetooth는 WLAN이 점유 중인 22MHz 채널 대역폭의 1번 채널을 hopping 영역에서 제외시킨다. 시뮬레이션 결과 co-channel 간섭이 제거됨에 따라 간섭확률이 현저히 낮아진 것을 확인할 수 있다. 다양한 무선설비가 공존하는 ISM 대역에서 CR 기술의 적용은 채널용량의 증가와 이기종간의 간섭을 방지하기 위한 좋은 대안이 될 것이다.

3.2 밀도시뮬레이션 결과 및 분석

표 8은 표 5의 거리시나리오 결과로 산출된 유효간섭영역 내에서의 It 밀도 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 5는 수행된 밀도시뮬레이션을 도식화 한 것으로, Vr 주위의 유효간섭영역 내에서 It인 bluetooth가 랜덤하게 분포한다.

표 8로부터 WLAN(Vr)은 유효간섭영역에 존재하는 6개의 bluetooth(It)와 간섭허용치 5%를 만족하는 범위 내에서 운용될 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

ISM 대역은 비면허로 일정한 출력의 규제만 지키면 자유롭게 사용할 수 있다는 장점으로 인하여 수요가 급증함에 따라 이기종간의 전파간섭문제가 심각하다. ISM 대역의 효율적인 운용을 위해서는 간섭분석을 통한 보다 구체적인 규제와 정리가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 monte-carlo method 기반의 간섭분석 methodology를 제안하였으며, 제안된 간섭분석 시나리오 및 간섭량 측정 방법은 다양한 전파응용설비 및 무선기기의 사용과 개발이 급증하고 있는 ISM 대역에 대하여 간섭회피 및 효율적인 주파수 이용방안을 제시하기 위한 참고 자료로써 유용하게 활용될 것이다. 또한, 국내 ISM 대역의 상황에 적합한 구체적 규제 정책 수립에 기여할 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] ITU-R, SM.1056 Recommendation, "Limitation of Radiation from Industrial, Scientific and Medical(ISM) Equipment", 2007.
[2] 박진아, 천재영, 박승근, “국내 ISM 대역 활성화를 위한 제도 개선 방안”, 전자통신동향분석, Vol. 22, No. 2, pp.102-113, April 2007.
[3] 김성권, 여운서, 이민호, 이광희, 차재상, “ISM대역 소출력 무선기기의 규제동향”, 방송공학회지, Vol. 12, No. 3, pp.71-92, 2007.
[4] CEPT Administrations, “A comparison of the MCL method, EMCL method, and the Monte-Carlo Simulation (ERC report 101)", ERC within the CEPT, May 1999.
[5] ERC REPORT 101, CEPT, 1999.
[6] CEPT Administrations, "Monte-Carlo Simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems (ERC report68)", ERC within the CEPT, Feb. 2000.
[7] IEEE Std 802.11-2007, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications".
[8] IEEE Std 802.11b-1999, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band".

[9] IEEE Std 802.15.1-2005, "Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs)".
[10] Bluetooth specification Version 1.0 A, "Part A Radio Specification".
[11] Ivancica Sakal, Dina Simunic, "Simulation of Interference between Bluetooth and 802.11b Systems", IEEE, 2003.

저자 소개

김성권(Seong-kweon Kim)

1996년 : 인하대학교 전자재료공과 졸업 (공학사)
2002년 : 일본 Tohoku 대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2002년 : 일본 Tohoku 대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2004년 8월~현재 : 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
※관심분야 : 무선통신용 LSI 설계, 주파수분배정책 및 주파수의 효율적 사용에 관한 연구, 고주파 회로설계, 무선통신시스템