

# 몬테-카를로(Monte-Carlo) 방법을 적용한 시스템 양립성 분석

\*김영환, \*어필선, \*양훈기, \*\*박승근, \*\*조평동  
\*광운대학교 전자공학과, \*\*한국전자통신연구원

e-mail : \*knext@nate.com, \*appeal80@nate.com, \*hgyang@daisy.kw.ac.kr

## System Co-existence Analysis Using Monte-Carlo Method

\*Young-Hwan Kim, \*Pill-Seon Eo, \*Hoon-Gee Yang  
Department of Electronic Engineering Kwangwoon University

\*\*Seung-Keun Park, \*\*Pyung-Dong Cho  
ETRI

### Abstract

This paper presents a Monte-Carlo based method to obtain a probability of interference among systems. We show an efficient algorithm to calculate not only in-band interference for a given emission mask, but out-of-band interference, which depends on the blocking performance of a victim receiver filter. Applying the proposed method to an arbitrary system, we show the simulation results by Matlab and compare them with those by a SEAMCAT software

### I. 서론

새로운 시스템을 도입하기 위해서는 자신의 시스템, 즉 동종 시스템간의 간섭뿐 아니라 기존의 이종시스템간의 간섭분석이 필요하다. 인접한 대역이나 같은 대역에서의 간섭을 주는 정도에 따라 시스템이 통신에 지장을 받거나 전혀 동작이 못 할 수도 있기 때문이다. 기존에 나와 있는 간섭 분석 방법으로는 MCL(Minimum Coupling Loss)이 있다. 이는 시스템의 출력, 안테나 이득, 블로킹(Blocking), 불요발사(Unwanted Emission)등과 전파모델을 통해서 이격 거리(Protection distance)를 계산한다. 하지만, MCL은 일정한 크기의 송수신 신호가 계속 수신되는 최악의 경우(worst case)로 가정하고 계산해내기 때문에 실제

로 적용하기에는 부적합하다[1]. 본 논문에서는 좀 더 현실적인 몬테-카를로 방식을 이용한 양립성 분석 방법을 제시한다.

### II. 간섭확률 계산방법

몬테-카를로 방법을 이용한 시스템 간의 간섭분석을 하는 과정은 다음과 같다. 간섭을 받는 시스템의 수신기를 Vr(Victim Receiver), 송신기를 Wt(Wanted Transmitter)라 한다. 간섭을 일으키는 시스템의 송신기를 It(Interfering Transmitter), 수신기를 Wr(Wanted Receiver)라 한다. 다음 원하는 신호(dRSS)와 간섭신호(iRSS)를 구한다. dRSS와 iRSS의 차를 Vr에서 요구하는 C/I 또는 C/(N+I)와 비교한다. 위의 방법을 수차례 반복하여 간섭확률을 계산한다.[2]

#### 2.1 원하는 신호(dRSS)

dRSS는 Wt가 보내는 신호를 Vr에서 수신했을 때의 전력으로 나타낸다. dRSS를 [dB] 단위로 표현하면

$$dRSS[dB] = P_{wt} + G_{wt \rightarrow vr} + G_{vr \rightarrow wt} - pl \quad (1)$$

과 같고, 여기서  $P_{wt}$ 는 Wt에서 방사되는 전력,  $G_{wt \rightarrow vr}$ 은 송신기의 안테나 이득,  $G_{vr \rightarrow wt}$ 은 수신기의 안테나 이득,  $pl$ 은 경로손실(path-loss)을 말하며 경로손실은 slow-fading을 겪는다.[3] 경로손실을 수식으로 표현하면

$$pl = L + G(\sigma) \quad (2)$$

로 쓸 수 있고, 여기서 L은 자유공간 손실,  $G(\sigma)$ 는 log-normal 분포의 편차에 의한 값이다.

예를 들어 경로손실이 자유공간(Free-space) 모델을 따르는 경우, 여기서 L은

$$L[dB] = 32.5 + 10 \log \left( \left( \frac{h_{tx} - h_{rx}}{1000} \right)^2 + d^2 \right) + 20 \log(f) \quad (3)$$

과 같고,  $h_{tx}$ 는 송신안테나의 높이(m),  $h_{rx}$ 는 수신안테나의 높이(m),  $d$ 는 송·수신기사이의 거리(Km),  $f$ 는 동작 주파수(MHz)를 나타낸다[2]. 여기서  $d$ 는 특정 값, 또는 일정 범위 안에 균일한 분포를 가지는 랜덤 값으로 정한다.

## 2.2 간섭신호(iRSS)

### 2.2.1 불요 발사(Unwanted emission)

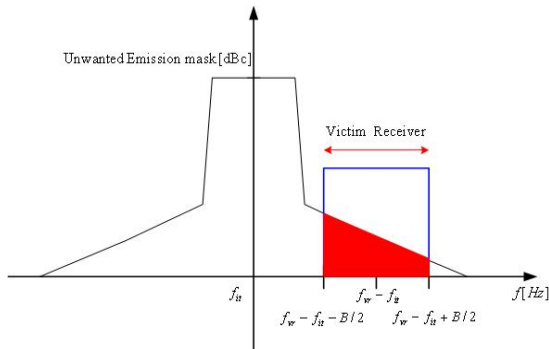


그림 1.대역에 따른 불요 발사

불요 발사는 간섭원의 전력이 수신단 필터의 수신 대역에 들어왔을 때의 간섭을 말하며, 그림 1의 색칠된 부분과 같다. 즉, 불요발사 간섭을 계산하기 위해서는 첫째, 간섭원의 방사 마스크를 정해야하고, 둘째, 정해진 마스크로부터 간섭 량을 계산해야 한다.[2]

#### 2.2.1.1 방사 마스크

방사 마스크는 그림 2와 같이 필수 대역폭(Necessary Bandwidth), Out-Of-Bandwidth 그리고 Spurious Bandwidth로 나뉜다.[4] 각 대역에서의 분해(기준) 주파수(Reference Bandwidth)는 일반적으로 표 1.과 같이 정하며, 방사 마스크는 표 1.의 기준에 의해 영역에 따라 각각 다른 [dBc/RBW] 값을 갖는다.

표 1. 일반적인 대역에 따른 기준 주파수

영역	기준 주파수(Reference bandwidth)
대역 외 <sup>[5]</sup>	필수 대역폭의 1%

불요발사 <sup>[4]</sup>	9Hz~150KHz	1KHz
	150KHz~30MHz	10KHz
	30MHz~1GHz	100KHz
	1GHz이상	1MHz

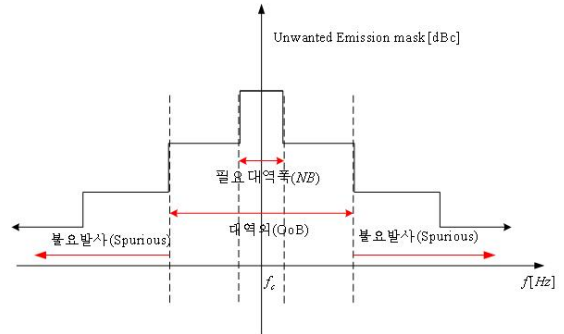


그림 2.일반적인 방사 마스크

#### 2.2.1.2 불요 발사 간섭 계산

스펙트럼 마스크는 그림 2.와 같이 주파수 이격( $f_{offset}$ ), dBc 전력( $P_{dBc}$ ), 그리고 기준 주파수로 정의된다. 간섭 영역은 수신기 필터의 대역(그림1.의 색칠된 부분)을 모두 적분한다. 하지만, 방사 마스크는 각 영역에 따른 기준 주파수가 다르므로 먼저 기준 주파수를 (4)와 같이 1Hz로 일반화 시켜준다. 그림3.에서 원래의 방사 마스크(점선으로 표현)와 1Hz로 일반화된 후의 방사 마스크(실선으로 표현)를 나타낸다.

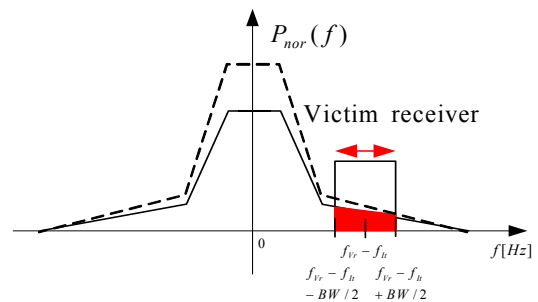


그림 3.방사 마스크의 일반화

$$P_{it\_nor}(f)[dBc/Hz] = P_{it}(f) - 10 \log \frac{RBW}{1Hz} \quad (4)$$

여기서, RBW는 각 영역의 기준 주파수를 말한다. 수신단의 구간을 각각  $a = f_{vr} - f_{it} - \frac{BW}{2}$ ,

$b = f_{vr} - f_{it} + \frac{BW}{2}$ 라하고,  $P_{it\_nor}(f)$ 을 적분하면

$$P_{it\_tot} = 10 \log \int_a^b 10^{(P_{it\_nor}(f)/10)} df \quad (5)$$

와 같다. 여기서 BW는 수신 대역폭이다. (5)에서

$P_{it\_nor}(f)$ 는 RBW 간격으로 샘플 값을 가지고 있으므로 인터폴레이션(interpolation)이 필요하다. 스펙트럼 마스크가 짧은 구간에서는 piece-wise linear라고 가정하면서 (5)를 계산하기 위해서

$$P_{it\_nor}(f) = P_i + \frac{f - f_i}{f_{i+1} - f_i} (P_{i+1} - P_i) \quad (6)$$

과 같은 근사식을 사용한다. 여기서,  $P_i$ 는  $P_i = P_{it\_nor}(f_i)$ 이다.  $P_i$ 와  $P_{i+1}$ 은 [dB]단위 이므로, 적분하기 위해서는 (6)을 대입해

$$P_{it\_tot} = 10 \log \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \int_{f_i}^{f_{i+1}} 10^{\left[ P_i + \frac{f - f_i}{f_{i+1} - f_i} (P_{i+1} - P_i) \right] / 10} df \right\} \quad (7)$$

과 같이 선형(linear) 값으로 바꿔 줘야 한다. 다음으로  $a = f_0, b = f_N, K = (P_{i+1} - P_i) / (f_{i+1} - f_i)$  으로 정의하고 적분 부분만 수식을 전개하면

$$P_{it\_tot}^{dBc} = \frac{10^{P_i/10}}{10^{Kf_i/10}} \int_{f_i}^{f_{i+1}} 10^{Kf/10} df \quad (8)$$

과 같고, (8)을 풀어 지수 변환하면

$$P_{it\_tot}^{dBc} = \frac{10}{\ln 10} \left[ \frac{10^{P_{i+1}/10}}{K} 10^{K(f_{i+1} - f_i)/10} - \frac{10^{P_i/10}}{K} \right] \quad (9)$$

를 얻는다. 다시 (9)에  $K = (P_{i+1} - P_i) / (f_{i+1} - f_i)$  을 대입하여 전개하면

$$P_{it\_tot}^{dBc} = \frac{10}{\ln 10} \left[ \frac{f_{i+1} - f_i}{P_{i+1} - P_i} (10^{P_{i+1}/10} - 10^{P_i/10}) \right] \quad (10)$$

과 같다. 이를 선형(linear)단위로 바꾸고 (7)에 대입하면 최종적으로 불요 발사에 의한 간섭계산식

$$P_{it\_tot} = 10 \log \left\{ \frac{10}{\ln 10} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{f_{i+1} - f_i}{P_{i+1} - P_i} (P_{i+1}^{Linear} - P_i^{Linear}) \right] \right\} \quad (11)$$

을 얻게 된다.

### 2.2.2 블로킹(Blocking)

블로킹은 Vr 필터(filter)의 non-ideal한 특성 때문에 근접대역을 사용하는 타 시스템의 원하지 않는 전력이 필터 안에 수신되는 것을 말한다.[2] 이때 n개의 간섭원이 존재할 경우 블로킹에 의한 iRSS는

$$iRSS_{block} = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{I_j/10} \quad (12)$$

로 나타내며  $I_j$ 는 j번째 It로부터 받은 전력으로

$$I_j = (P + G_{\rightarrow vr} - pl_{\leftrightarrow vr} - a_{vr}(\Delta f) + G_{vr \rightarrow})_j \quad (13)$$

로 나타낸다. 여기서  $P_i$ 는 It의 송신 전력이고,  $pl$ 은

경로 손실로 (2)로 표현되며,  $a_{vr}(\Delta f)$ 는 중심주파수에서  $\Delta f$  떨어진 지점에서의 수신기 필터의 감쇄(dB)를 나타낸다. 그림 4는 수신기의 sensitivity, 열잡음, 간섭전력, BPR(blocking protection ratio),  $a_{vr}(\Delta f)$  간의 관계를 나타낸다.

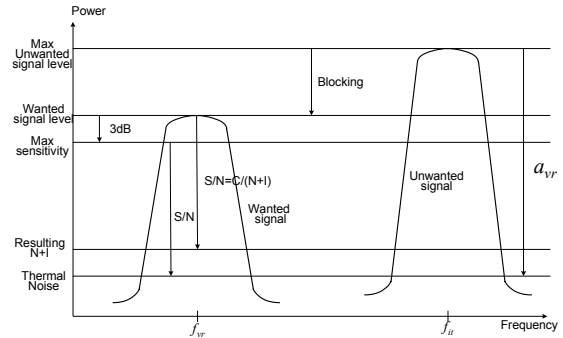


그림 4. dRSS와 iRSS 사이의 관계

BPR( $\Delta f$ )은 수신 필터의 중심주파수에서  $\Delta f$  만큼 떨어진 간섭주파수 성분과 원하는 신호의 크기의 비(I/C)로서 BPR 기준은 간섭 허용거리에 따른다. 일반적인 BPR( $\Delta f$ ) 기준은 원하는 신호전력이 sensitivity 레벨보다 3dB 크고, 수신되는 간섭전력이 열잡음과 같은 정도가 되도록 BPR( $\Delta f$ )를 정한다. 즉,  $a_{vr}(\Delta f)$ 가 고정되어 있을 때 BPR( $\Delta f$ )는

$$BPR(\Delta f) = a_{vr}(\Delta f) - 3dB - \frac{C}{N+I} \quad (14)$$

에 의해 정해진다. 만약 간섭 허용거리를 정하면 BPR( $\Delta f$ )는 고정되며, N과 I가 같아지는  $a_{vr}(\Delta f)$ 는

$$a_{vr}(\Delta f) = 3(dB) + \frac{C}{N+I} + Blocking_{att} \quad (15)$$

로 정할 수 있다.

### 2.3. 간섭확률 계산

간섭 확률 계산을 하는 방법은 간단하며,

$$P_D = \prod_{i=1}^n P \left\{ \frac{dRSS}{i_{i,RSS}} > \frac{C}{I} \quad dRSS > sens \right\} \quad (16)$$

과 같다. 여기서, sens는 sensitivity를 말한다. 즉, 원하는 신호가 수신단의 sensitivity[dBm]보다 큰 값일 때, 원하는 신호 대 간섭신호의 비가 시스템에서 요구되는 C/I보다 클 경우의 확률을 계산한다. 또한, 간섭원이 한 개 이상일 경우에는 각각의 간섭원에 의한 간섭 확률을 모두 고려해 준다.[2]

## III. 시뮬레이션

3.1 테스트 시스템

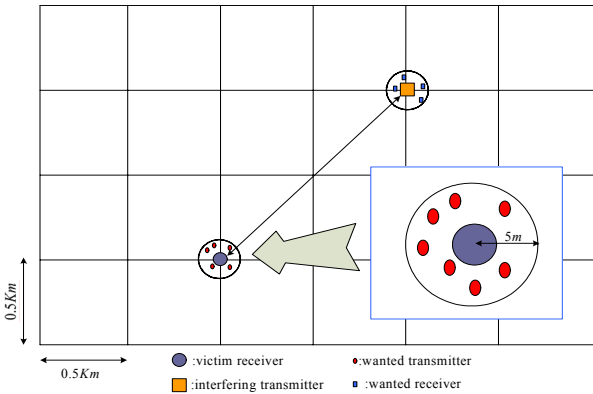


그림 5. 테스트 시스템 시나리오

시나리오는 RFID 리더간의 간섭이며, 그림 5와 같이 리더와 태그가 위치한다. 리더간의 거리는  $\sqrt{2}$ km이며, 각 태그는 리더의 5m반경 안에 랜덤하게 위치한다. 리더의 Emission mask는 EPC gen2[6] 기준을 사용하였다. 세부적인 시스템 사양은 표 2와 같다.

표2. 테스트 시스템 사양

시스템 사양	수신 링크		간섭 링크
	Vr	Wt	It
사용 주파수(MHz)	902~928 (50개의 채널을 갖는 FHSS방식)		
수신기 대역폭(KHz)	500	X	X
전력(dBm)	X	-47.3	30
안테나	이득(dBi)	6	1
	높이(m)	1.5	
required C/I(dB)	17		
sensitivity(dBm)	-84.4		

3.2 MATLAB과 SEAMCAT의 시뮬레이션

SEAMCAT은 ERO에서 간섭확률 분석을 위해 만들어진 툴이다.[7] 여기에서는 앞의 간섭확률 계산 방법을 이용하여 Matlab과 SEAMCAT으로 각각 시뮬레이션을 하였다. 실제 시스템에 있어서 블로킹에 의한 간섭은 불요 발사에 의한 간섭보다 매우 작으므로 고려하지 않았다. 시뮬레이션 결과 SEAMCAT과 Matlab의 경우 거의 유사한 값을 가지는 것을 표3.을 통해 확인할 수 있다. 즉, RFID리더와 태그가 그림 5와 같이 위치한다면 약 5%정도의 간섭 확률을 가진다. 실제 적용에 있어서 약 5%정도의 간섭을 가지는 시스템은 간섭의 영향을 거의 받지 않는다고 할 수 있다.

표3. 시뮬레이션 결과

Parameter		Matlab	SEAMCAT
원하는 신호 (dRSS)	Mean(dBm)	-81.70	-81.61
	Std. (dB)	4.42	4.45
간섭신호 (iRSS)	Mean(dBm)	-111.5481	-111.51
	Std. (dB)	9.8053	9.75
간섭 확률(%)		5.82	5.5

\*Std: standard deviation

IV. 결론

기존의 MCL 방법을 이용한 간섭분석은 두 개의 시스템의 위치 및 전력 등의 값들이 최악의 경우를 가정한 후에 계산을 한다. 이로 인해 실제 시스템에 적용하기에 적합하지 않다. 하지만 본 논문에서 설명한 몬테-카를로 방법은 두 시스템의 위치, 주파수, 간섭원의 개수 등을 정해진 범위 안에서 랜덤하게 발생시켜서 간섭 확률을 계산한다. 이러한 간섭 분석은 MCL의 의한 것 보다 훨씬 유연하며, 실제 시스템에 적용하는데 있어서도 효율적이다. 하지만 MCL의 결과는 이격 거리라는 거리 값으로 나오고, 몬테-카를로 방법은 그 결과가 간섭확률이라는 값으로 나온다. 그래서 서로간의 결과 값을 비교 및 이해하는데 어려움이 따른다. 향후 이러한 부분에 대한 이해가 필요하다.

참고문헌

- [1] CEPT Administrations, "A comparison of the minimum coupling loss method, enhanced minimum coupling loss method, and the monte-carlo simulation (ERC report101)," ERC , May 1999.
- [2] CEPT Administrations, "Monte-Carlo Simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems (ERC report68)," ERC, February 2000.
- [3] Jakes, William C., Jr., "Microwave Mobile Communications",John Wiley & Sons,1974
- [4] Rec. ITU-R SM.329-10(Unwanted emissions in the spurious domain)
- [5] Rec. ITU-R SM.1541-1(Example calculation of a permissible OoB power ratio and power limits from a permissible OoB mask)
- [6] EPC Global,"EPC Radio-Frequency Identity Protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocols for communications at 860MHz-960MHz version 1.0.7",EPC global,26-27, 86-87,2004
- [7] Jerome Deloziere, Arnaud Toury, and Marc Le Devendec,"SEAMCAT User Manual", ERO, February, 2004