한국ITS학회논문지
제6권, 제3호 (2007년 12월)
pp.122~137

무선통신 업무간 양립성 분석에 관한 연구

Study on Compatibility Analysis between Radio Services

강정용* 김진영** 김은철*** 김종헌** 류충상**** 오성택*****
(Jeong-Yong Kang) (Jin-Young Kim) (Eun-Cheol Kim) (Jong-Heon Kim) (Chung-Sang Ryu) (Seong-Taek Oh)

요 약

본 논문은 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위하여 무선통신 업무가 인접 대역 혹은 동일 대역에 존재하는 경우 몬테 카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 양립성을 분석하였다. 간섭 시나리오를 설정하면 간섭원과 피 간섭원간의 간섭 확률을 몬테 카를로 방법으로 계산한 후 이를 미리 설정된 최대 허용 간섭 확률과 비교하여 활성화 간섭원 밀도, 간섭원 대역폭, 피 간섭원의 셀 반경, 간섭원과 피간섭원 사이의 거리, 충격 계수에 따라 양립 여부를 판단하였다. 이 때 전파 모델은 free space 모델, extended Hata 모델로 가정하였다.

Abstract

In this paper, compatibility between different radio services or systems is analyzed when they are in adjacent band or co-channel. The first step of the compatibility analysis is establishing an interference scenario. And an interference probability from an interfering transmitter to a victim receiver is calculated by means of Monte-Carlo simulation techniques. Then the calculated result is compared with the predefined interference criteria, maximum permissible interference probability and we can determine compatibility in accordance with the active interferer density, channel bandwidth, cell radius, distance between interfering transmitter and victim receiver, and duty cycle. It is assumed that propagation modes are the free space model and extened Hata model.

Key words : Compatibility, radio services, Monte-Carlo methods, interference.

Ⅰ. 서 론

전파 자원은 국가의 무형자산으로서 자원이 한정되어 있는 반면에 이에 대한 수요가 급증하면서 전파 자원의 가치가 점점 높아지고 있다 [1-4]. 특히 이동통신, WLAN (Wireless Local Area Network),

본 연구는 2006년도 광운대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었습니다.
* 주저자 : 원광대학교 전기 전자 및 정보공학부 전임강사
** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수
*** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정
**** 공저자 : 전파연구소 공업연구관
***** 공저자 : 전파연구소 공업연구사
† 논문접수일 : 2007년 11월 27 일

디지털 방송 및 위성통신을 비롯하여 RFID/USN (Radio Frequency IDentification/Ubiquitous Sensor Network), UWB (Ultra Wide-Band) 등 무선을 이용하는 서비스가 급증하면서 한정된 전파 자원에 대한 수요가 계속 증가하고 있다.

급격한 주파수 사용의 증가와 함께 이용 가능한 전파는 주파수 대역이 점차 증가하고 있다. 이는 곧 고주파를 사용하는 서비스 상호간의 전파간섭 분제를 발생시킨다. 이 때 강한 전파를 송수신하는 서비스에 비하여 전파전문업무와 같은 약한 전파를 송수신하는 서비스는 상대적으로 피해가 크기 때문에 후자와 같은 서비스에 대한 적절한 보호가 필요하다. 따라서 한정된 전파자원을 상호공존의 원칙 아래 효율적으로 사용하기 위해 국제전기통신연합 (ITU : International Telecommunication Union)에서는 전파사용에 관한 규칙을 국제법으로 정하고 있으며 [5-10], 이는 국제통신연합 산하의 세계전파통신회의 (WRC : World Radiocommunication Conference)에서 제반 규정을 주기적으로 제정 또는 개정하고 있다. 또한 미국을 비롯한 선진 국가에서는 국가적인 차원에서 이를 효율적으로 이용하기 위한 기술을 개발하고, 이를 토대로 전파 정책을 수립하기 위한 활동이 활발하게 진행되고 있다. 이렇게 전파자원의 이용효율을 제고하고, 투명하고 유연한 주파수 공급체계를 확보하기 위하여 업무간 양립성을 분석하여야 한다.

본 논문에서는 무선통신 업무가 동일 주파수 대역 혹은 인접 주파수 대역에 존재하는 경우 무선통신 업무간의 양립성을 분석하였다. 양립성 분석 과정에서 필요한 여러 가지 시스템 특성 파라미터는 ITU-R 문서를 참고하였다. 양립성을 평가하기 위해 몬테 카를로 (MC : Monte Carlo) 시뮬레이션 방법 [11-13]을 이용하였고, 몇 가지 시스템을 예로 들어 보았다. 시뮬레이션을 위해 선택한 시스템은 아날로그 및 디지털 주파수공용통신 시스템 (TRS : Trunked Radio System), Global System for Mobile Communications (GSM), 이동전화 시스템, 주파수 도약 확산 스펙트럼 (FHSS : Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식 및 직접 시퀀스 확산 스펙트럼 (DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum) 방식을 사용하는 소출력 무선기기 (SRD : Short-range Radiocommunication Device) 이다. 여기서 소출력 무선기기란 당해 무선기기로부터 10 미터 거리에서 측정한 전계 강도, 공중선 전력 또는 공중선 전력밀도의 허용치 중 하나를 만족하는 무선기기이다 [14].

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 Ⅱ장에서는 몬테 카를로 시뮬레이션 방법에 대해 소개하였고, 제 Ⅲ장에서는 몇 가지 무선통신 업무를 예로 들어 양립성을 분석하였다. 분석 과정에서 몬테 카를로 방법을 이용하여 간섭 확률을 계산하고 이를 최대 허용 간섭 확률 (maximum permissible interference probability)과 비교하여 양립 여부를 판단하였다. 마지막으로 제 Ⅳ장에서 본 논문의 결론을 제시하였다.

Ⅱ. 몬테 카를로 방법

몬테 카를로 방법은 랜덤과정의 시뮬레이션을 위하여 사용되어 왔으며, 정의된 확률분포함수로부터 랜덤변수들의 분포를 찾아 그를 선택하는 원리에 기초한다. 이 방법은 복잡한 통계적 문제들을 푸는 가장 강력하고 유용한 방법이라고 할 수 있다. 이는 일반적인 간섭 시나리오들이 하나의 모델로 포괄적으로 다루어질 수 있다는 것을 의미하고 접근 방법이 매우 융통성이 있으며 합성된 간섭 시나리오들도 다룰 수 있다는 면에서 간섭 분석을 위한 가장 좋은 방법 중의 하나라고 할 수 있다. 이는 또한 시스템의 파라미터들을 어떻게 정의하는가에 따라 사실상 모든 무선 간섭 시나리오에 적용할 수 있다. 안테나 패턴, 방사 전력, 전파 경로 등의 각 가변 입력 파라미터는 통계적인 분포함수로 입력하도록 주어진다. 따라서 상대적으로 간단한 기본함수들을 사용하여 매우 복잡한 상황을 모델링 할 수 있으므로 방송국 (지상파 및 위성), 이동국 (지상파 및 위성), 점대점 (point to point), 점대 다중점 (point to multi-point)

및 기타 다양한 무선통신시스템을 모두 다룰 수 있다.

몬테 카를로 기법을 이용한 시스템 레벨 시뮬레이션 방법 중 하나로 스냅샷 (snapshot) 방법이 있다 [15-18]. 이는 이동국의 움직임에 관계없이 서로 독립적인 특정 순간들의 상황들을 통계적으로 분석하는 방법이다. 즉 통계적인 데이터를 얻기 위해 반복적인 시도를 하게 되는데 각각의 시도에서 사용되는 모든 확률적인 변수들 (이동국의 위치, 송신전력 등)은 모두 이전 시도와 독립적이다. 즉 각 시도에서 사건들은 모두 i.i.d. (independent and identically distributed) 사건이다.

몬테 카를로 기법을 이용한 무선 시스템 시뮬레이션 절차는 다음과 같다.

(1) 피간섭 이동국을 셀 내에 랜덤하게 위치시킨다.
(2) 원하는 신호에 대한 피간섭 수신기의 link budget을 경로 손실 모델, 안테나 이득 패턴, 송신 전력, 전력 제어 알고리즘, 원하는 송신기 위치를 이용하여 계산한다.
(3) 피간섭 수신기 주위에 간섭원을 분포시킨다. (보통 균일하게 분포시킴)
(4) 간섭원에 의해 전력제어가 수행되면 간섭 송신기에 관련된 수신기를 위치시키고 link budget을 계산한다.
(5) 각 간섭원의 특성은 모두 알고 있어야 한다.
(6) 피간섭 수신기에 대한 전체 간섭원의 영향은 각 간섭원의 영향이 더해진 값이다.
(7) 간섭 레벨과 원하는 신호 세기가 알려지면 목표하는 C/I를 만족하는지 확인한다.

정확한 몬테 카를로 알고리즘은 모델링된 시나리오에 따라 다르게 적용된다. CDMA 시스템 분석은 사용자 사이에 더 많은 상호작용 때문에 더 복잡한 알고리즘을 필요로 한다. CDMA 시스템에서는 많은 사용자가 동일한 채널을 이용한다. 피간섭 수신기 noise floor는 더 이상 열잡음 한계에 관한 것이 아니고 간섭 한계에 관한 것이다. CDMA 시스템에서 사용하는 전력 제어 알고리즘은 동일 채널과 인접 채널 간섭을 고려하여 각 통신 링크가 C/I를 만족하도록 한다. CDMA 시스템은 또한 간섭이 존재하는 셀 구석 부분에서 이득을 제공하는 소프트 핸드오버와 같은 특징을 가지고 있다.

Ⅲ. 양립성 분석

1. 아날로그 및 디지털 TRS

1) 시스템 특성

A. 피간섭 링크 특성 - 아날로그 TRS

피간섭 링크의 시스템은 아날로그 TRS로 ERC Report 86 [19]에서 제공된 시스템 파라미터에 기초하여 시스템 특성을 나타내었다. <표 1>은 아날로그 TRS의 특성 파라미터를 나타내며, <표 2>는 블로킹 특성을 나타낸다.

<표 1> 아날로그 TRS의 특성 파라미터.
<Table 1> System parameters for analog TRS.

요소	이동국 (Mobile Station)
채널간격	12.5 kHz
송신전력	30 dBm
수신대역폭	8 kHz
안테나 높이	1.5 m
안테나 이득	0 dBi
활동 간섭밀도 영역	변수
수신 민감도	-107 dBm
수신 보호비	21 dB
전력 제어 특성	사용하지 않음

<표 2> 아날로그 TRS의 블로킹 특성.
<Table 2> Receiver Blocking for analog TRS.

주파수 오프셋	수신기 블러킹
50 ~ 100 kHz	-23 dBm

여기서 바닥 잡음 (noise floor)은 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

바닥잡음 = 민감도 − 수신보호비. (1)

따라서 바닥 잡음은 -128 dBm 이다.

B. 간섭 링크 특성 - 디지털 TRS

간섭 링크의 디지털 TRS는 18 kHz 의 방사 대역폭을 가지고 있으며, 채널 간격은 25 kHz을 갖는다. 디지털 TRS의 파라미터는 ERC Report 86 을 기초로 하였다. 표 3은 디지털 TRS의 특성 파라미터를 나타내고, 표 4는 불요방사 마스크 특성을 나타낸다. 이 때 분해 대역폭 (Resolution Bandwidth)은 18 kHz 이다.

2) 간섭 시나리오

이 시나리오에서는 아날로그 TRS 이동국이 디지털 TRS 이동국에 의해서 간섭을 받는 경우를 분석한다. 이 분석의 목적은 디지털 TRS 이동국의 불요

<표 3> 디지털 TRS의 특성 파라미터.
<Table 3> System parameters for digital TRS.

요소	이동국	기지국
주파수 대역	870 ~ 876 MHz	915 ~ 921 MHz
시스템 동작에 필요한 최소 주파수 대역의 크기	2 MHz	2 MHz
채널 간격	25 kHz	25 kHz
채널 수	80	80
송신 전력	30 dBm	44 dBm
수신 대역폭	18 kHz	18 kHz
안테나 높이	1.5 m	30 m
안테나 이득	0 dBi	9 dBi
수신기 민감도	-103 dBm	-106 dBm
수신 보호비	19 dB	19 dB
전력 제어 특성	5 dBm 부터 15 dBm 까지 한계값 = -86 dBm	사용하지 않음

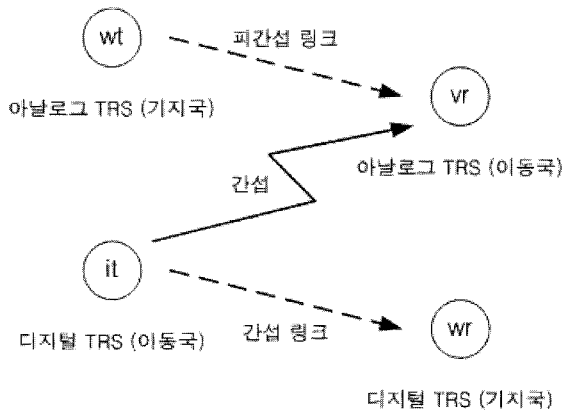
<표 4> 디지털 TRS의 불요방사 특성.
<Table 4> Unwanted emission for digital TRS.

주파수 오프셋	이동국	기지국
25 kHz	-30 dBm	-16 dBm
50 kHz	-40 dBm	-26 dBm
75 kHz	-40 dBm	-26 dBm
100 ~ 250 kHz	-45 dBm	-36 dBm
250 ~ 500 kHz	-50 dBm	-41 dBm
> 500 kHz	-70 dBm	-56 dBm

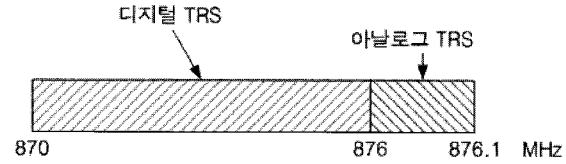
방사가 아날로그 TRS에 야기하는 간섭확률을 몬테카를로 분석방법을 통하여 계산하는 것이다.

간섭 시뮬레이션은 디지털 TRS의 활성화 간섭원 밀도 (AID : Active Interferer Density)와 아날로그 TRS의 셀 반경에 따라서 수행하였다. 이 때 아날로그 TRS의 셀 범위는 2000 m 까지라고 가정하였다. 이 간섭 시나리오에서 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계는 <그림 1>과 같다.

여기서 wt는 피간섭 수신기가 수신해야 할 신호를 전송하는 송신기, vr은 wt가 송신하는 신호를 수신하면서 동시에 it가 송신하는 간섭신호를 수신하는 피간섭 수신기, it는 wr이 수신해야 할 신호를 송신하면서 동시에 vr에 간섭신호를 송신하는 간섭 송신기, wr은 it가 송신하는 신호를 수신해야 하는 수신기이다.



<그림 1> 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계.
<Fig. 1> Victim link/interfering link.



<그림 2> 디지털 TRS와 아날로그 TRS의 주파수 대역.

<Fig. 2> Band allocations of digital and analog TRSs.

<그림 2>는 디지털 TRS와 아날로그 TRS의 주파수 대역을 나타낸다. 디지털 TRS의 경우 870 MHz에서 876 MHz 까지 6MHz가 할당되었고, 바로 인접하여 아날로그 TRS에 대하여 870 MHz에서 876.1 MHz 까지 100 kHz가 할당되었다고 가정하였다.

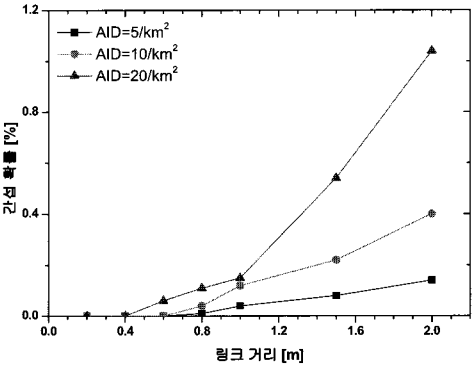
3) 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에서 간섭원인 디지털 TRS는 875.6 MHz 에서 동작하고 출력 전력은 40 dBm 이라 가정하였다. 그리고 피 간섭원인 아날로그 TRS는 디지털 TRS에 가장 가까운 채널인 876.0125 MHz 에서 동작하고 출력은 30 dBm이라 가정하였다. 또한 간섭 시뮬레이션은 활성화 간섭원의 밀도와 피해 수신기의 셀 반경에 대해서 수행하였고, 전파 모델은 자유

<표 5> 아날로그 TRS와 디지털 TRS의 간섭 시뮬레이션 결과.

<Table 5> Interference simulation results between analog TRS and digital TRS.

아날로그 TRS의 셀 반경 [km]	간섭확률 [%]		
	AID=5/km2	AID=10/km2	AID=20/km2
0.2	0	0	0
0.4	0	0	0
0.6	0	0	0.06
0.8	0.01	0.04	0.11
1.0	0.04	0.12	0.15
1.5	0.08	0.22	0.54
2.0	0.14	0.4	1.04



<그림 3> 디지털 TRS와 아날로그 TRS의 간섭 시뮬레이션 결과.

<Fig. 3> Interference simulation results between analog TRS and digital TRS.

공안 전파모델로 가정하였다. 또한 최대 허용 간섭확률은 0.5 %라 가정하였다.

<표 5>와 <그림 3>은 양립성 분석 결과를 나타낸다. <표 5>로부터 아날로그 TRS의 기지국으로부터 반경 1.5 km밖의 범위에 이동국이 존재하고 디지털 TRS의 이동국이 km^2 당 20개가 존재하는 경우 간섭확률이 0.5 %를 초과한다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우를 제외한 나머지 모든 경우는 두 시스템이 양립할 수 있다.

2. 아날로그 TRS와 GSM

1) 시스템 특성

A. 피간섭 링크 특성 - 아날로그 TRS

피간섭 링크의 시스템은 아날로그 TRS로 시스템 파라미터는 <표 1>과 <표 2>에 나타난 바와 같다.

B. 간섭 링크 특성 - GSM

간섭 링크의 GSM 시스템은 200 kHz의 채널 간격을 갖는다. GSM의 시스템 파라미터는 ERC Report 86을 기초로 하였다.

<표 6>은 GSM 시스템의 특성 파라미터를 나타

<표 6> GSM 시스템의 특성 파라미터.
<Table 6> System parameters for GSM.

요소	열차 부착 이동국	휴대용 이동국	기지국
주파수 대역	876 - 880 MHz	876 - 880 MHz	921 - 925 MHz
채널 간격	200 kHz	200 kHz	200 kHz
채널수	19	19	19
송신 파워	39 dBm	33 dBm	39 dBm
수신 대역	200 kHz	200 kHz	200 kHz
안테나 높이	4 m	1.5 m	30 m
안테나 이득	2 dBi	0 dBi	16 dBi
수신 민감도	-102 dBm	-102 dBm	-104 dBm
수신 보호비	9 dB	9 dB	9 dB
전력 제어 특성	2 dBm steps to a minimum of 5 dBm Threshold = -84 dBm	2 dBm steps to a minimum of 5 dBm Threshold = -84 dBm	사용 안함

내고, 표 7은 GSM 시스템의 불요방사 마스크 특성을 나타낸다. 이때 분해 대역폭은 30 kHz이다.

2) 간섭 시나리오

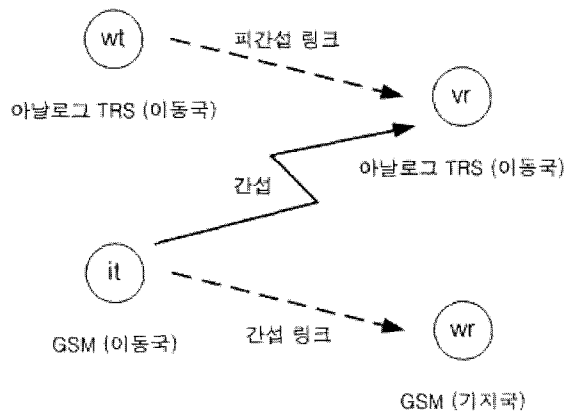
이 시나리오에서는 아날로그 TRS 이동국이 GSM 이동국에 의해서 간섭을 받는 경우를 분석한다.

이 분석의 목적은 디지털 TRS 이동국의 불요방사로부터 아날로그 TRS 시스템에 야기하는 간섭확률을 SEAMCAT을 통하여 얻는 것이다. 분석에 필요한 정보는 ERC Report 86을 이용하였다. 이 예제에서는 디지털 TRS의 활성화 간섭원의 밀도와 아날로그 TRS의 셀 반경에 대해서 간섭 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 아날로그 TRS의 범위는 2,000 m까지라고 가정한다. 이 간섭 시나리오에서 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계는 <그림 4>와 같다.

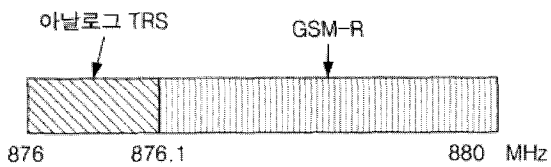
<그림 5>는 실험에서 고려한 아날로그 TRS와 GSM의 주파수 대역을 나타낸다. GSM에 대해서는 876.1 MHz에서 880 MHz까지 할당되었고, 바로 인접하여 아날로그 TRS에 대해서 876.1 MHz까지 100 kHz가 할당되었다고 가정하였다.

<표 7> GSM 시스템의 불요방사 특성.
<Table 7> Unwanted emission for GSM.

주파수 오프셋	휴대용 이동국	열차 부착 이동국	기지국
100 kHz	25.5 dBm	31.5 dBm	31.5 dBm
200 kHz	-5 dBm	1.0 dBm	1.0 dBm
250 kHz	-8 dBm	-2 dBm	-2 dBm
400 kHz	-35 dBm	-29 dBm	-29 dBm
600 - 1200 kHz	-35 dBm	-29 dBm	-37 dBm
1200 - 1800 kHz	-35 dBm	-29 dBm	-40 dBm
1800 - 3000 kHz	-43 dBm	-37 dBm	-47 dBm
3000 - 6000 kHz	-45 dBm	-39 dBm	-47 dBm
> 6000 kHz	-51 dBm	-45 dBm	-54 dBm



<그림 4> 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계.
<Fig. 4> Victim link/interfering link.



<그림 5> 아날로그 TRS와 GSM의 주파수 대역.
<Fig. 5> Band allocations of analog TRS and GSM.

3) 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에서 간섭원인 GSM은 876.8 MHz에서 동작하고 출력 전력은 33 dBm 이다. 그리고 피해 수신기인 아날로그 TRS는 GSM에 가장 가까운 채널인 876.0625 MHz에서 동작하고, 출력 전력은 30 dBm이라 가정한다.

또한 간섭 시뮬레이션은 활성화 간섭원의 밀도와 피해 수신기의 셀 반경에 대해서 수행되고, 전파 모델은 자유 공간으로 가정한다. 또한 최대 허용 간섭 확률은 0.5 %로 가정한다.

<표 8> 및 <그림 6>은 양립성 분석 결과를 나타낸다. <표 8>로부터 아날로그 TRS의 기지국으로부터 반경 1 km밖의 범위에 이동국이 존재하고 GSM의 이동국이 km^2 당 10개와 20개가 존재하는 경우 간섭확률이 0.5 % 를 초과한다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우를 제외한 나머지 모든 경우는 두 시스템이 양립할 수 있다.

3. 아날로그 TRS 및 디지털 TRS와 GSM

1) 시스템 특성

A. 피간섭 링크 특성 - 아날로그 TRS

피간섭 링크의 시스템은 아날로그 TRS로 시스템 파라미터는 <표 1>과 <표 2>에 나타난 바와 같다.

B. 간섭 링크 특성 - 디지털 TRS, GSM

간섭 링크의 시스템은 디지털 TRS와 GSM 시스템이다. 두 시스템의 시스템 파라미터는 <표 3, 4, 6, 7>에 나타난 바와 같다.

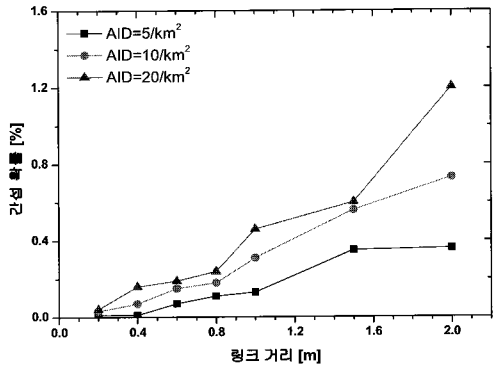
2) 간섭 시나리오

이 시나리오에서는 아날로그 TRS 이동국이 디지털 TRS와 GSM 이동국에 의해서 간섭을 받는 경우를 분석한다. 이 분석의 목적은 디지털 TRS 이동국과 GSM 이동국의 불요방사로부터 아날로그 TRS 시스템에 야기하는 간섭확률을 SEAMCAT을 통하여 얻는 것이다. 분석에 필요한 정보는 ERC 리포트 86을 이용하였다. 이 예제에서는 디지털 TRS의

<표 8> GSM 과 아날로그 TRS의 간섭 시뮬레이션 결과.

<Table 8> Interference simulation results between GSM and analog TRS.

아날로그 TRS 셀 반경[km]	간섭확률 [%] AID=5/Km^2	간섭확률 [%] AID=10/Km^2	간섭확률 [%] AID=20/Km^2
0.2	0.01	0.03	0.04
0.4	0.01	0.07	0.16
0.6	0.07	0.15	0.19
0.8	0.11	0.18	0.24
1	0.13	0.31	0.46
1.5	0.35	0.56	0.86
2	0.36	0.73	1.2

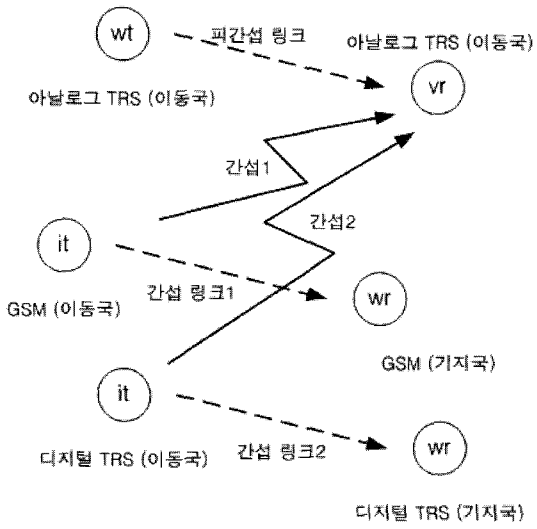


<그림 6> GSM과 아날로그 TRS의 간섭 시뮬레이션 결과.

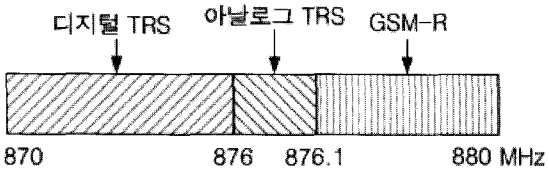
<Fig. 6> Interference simulation results between GSM and analog TRS.

AID와 아날로그 TRS의 셀 반경에 대해서 간섭 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 아날로그 TRS의 범위는 2000 m 까지라고 가정한다. 이 간섭 시나리오에서 피해 링크와 간섭 링크의 관계는 <그림 7>과 같다.

<그림 8>은 실험에서 고려한 아날로그 TRS와 디지털 TRS 및 GSM의 주파수 대역을 나타낸다. 디지털 TRS의 경우 870 MHz 에서 876 MHz 까지 6MHz가 할당되었고, 바로 인접하여 아날로그 TRS에 대하여 870 MHz에서 876.1 MHz 까지 100 kHz가 할당되었으며, GSM에 대해서는 876.1 MHz에서 880 MHz까지 할당되었다고 가정한다.



<그림 7> 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계.
<Fig. 7> Victim link/interfering link.



<그림 8> 아날로그 TRS와 디지털 TRS 및 GSM의 주파수 대역.
<Fig. 8> Band allocations of analog TRS, digital TRS, and GSM.

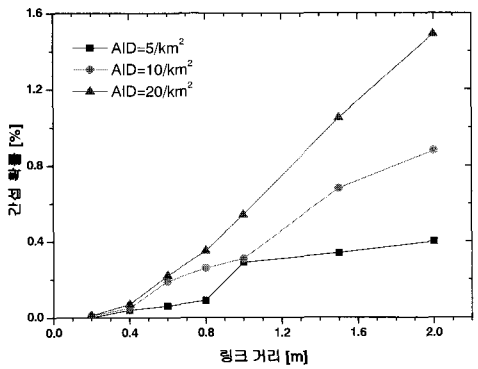
3) 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에서 간섭원인 간섭원인 디지털 TRS는 875.6 MHz, GSM은 876.8 MHz에서 동작하고 출력 전력은 각각 40 dBm과 33 dBm이다. 그리고 피해 수신기인 아날로그 TRS는 876.015 MHz에서 동작하고, 출력 전력은 30 dBm이라 가정한다. 또한 간섭 시뮬레이션은 활성화 간섭원의 밀도와 피해 수신기의 셀 반경에 대해서 수행되고, 전파 모델은 자유 공간으로 가정한다. 또한 최대 허용 간섭 확률은 0.5 %로 가정한다.

<표 9> 및 <그림 9>은 양립성 분석 결과를 나타낸다. <표 9>로부터 아날로그 TRS의 기지국으로부

<표 9> 디지털 TRS, GSM과 아날로그 TRS의 간섭 시뮬레이션 결과.
<Table 9> Interference simulation results among digital TRS, analog TRS, and GSM.

아날로그 TRS 셀 반경[km]	간섭확률 [%] AID=5/Km^2	간섭확률 [%] AID=10/Km^2	간섭확률 [%] AID=20/Km^2
0.2	0	0.01	0.01
0.0	0.04	0.05	0.07
0.6	0.06	0.19	0.22
0.8	0.09	0.26	0.35
1	0.29	0.31	0.54
1.5	0.34	0.68	1.05
2	0.4	0.88	1.49



<그림 9> 디지털 TRS, GSM과 아날로그 TRS의 간섭 시뮬레이션 결과.
<Fig. 9> Interference simulation results among digital TRS, analog TRS, and GSM.

터 반경 1 km밖의 범위에 이동국이 존재하고 간섭원이 km2 당 10개가 존재하는 경우와 반경 0.8 km 밖의 범위에 이동국이 존재하고 간섭원이 20개가 존재하는 경우 간섭확률이 0.5 % 를 초과한다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우를 제외한 나머지 모든 경우는 두 시스템이 양립할 수 있다.

4. TRS 와 디지털 이동전화 시스템

1) 시스템 특성

A. 피간섭 링크 특성 - 디지털 이동전화 시스템

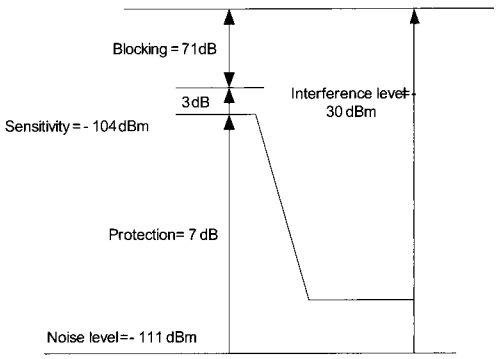
피간섭 링크의 시스템은 디지털 이동전화 시스템으로 실제 서비스중인 시스템의 파라미터에 기초하여 시스템 특성을 나타내었다. <표 10>은 디지털 이동전화 시스템의 파라미터를 나타내고 <그림 10>은 디지털 이동전화 수신기의 블러킹 특성 및 스펙트럼 마스크 특성을 나타낸다.

B. 간섭 링크 특성 - TRS

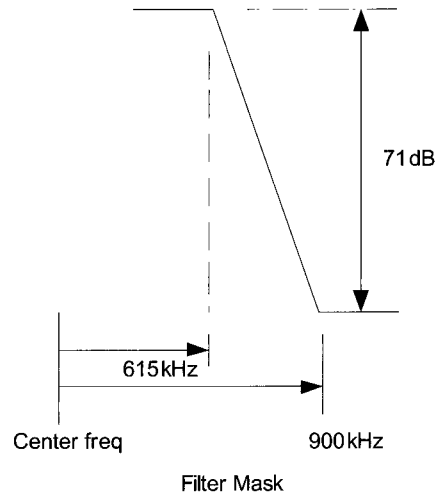
간섭 링크의 시스템은 주파수공용통신으로 ETSI EN 300 392-2 V2.5.1(2005-07) [20] 및 시스템 사업자가 제공하는 파라미터를 기초로 하여 시스템 특성을 나타내었다. <표 11>은 주파수 공용통신의 시스템 파라미터를 나타내고, <표 12, 13>는 각각 주파수 공용통신의 블러킹과 불요방사 특성을 나타낸다. <표 10>에서 셀 반경은 도심지역의 경우 1.4 km

<표 10> 디지털 이동전화 시스템 파라미터.
<Table 10> System parameters for digital mobile communication system.

파라미터	이동국 (피간섭 수신기)	기지국 (원하는 송신기)
채널 간격	1.23 MHz	1.23 MHz
송신 전력	23 dBm	43 dBm
수신기 대역폭	1.23 MHz	1.23 MHz
셀 반경	-	1 km
안테나 높이	1.5 m	30 m
안테나 이득	0 dBi	15.64dBi
민감도	-104 dBm	-117 dBm
수신기 보호비(C/I)	7 dB	-3 dB
전력 제어 특성	-25 ~ -104 dBm, 1 dB step	설정된 Eb/No를 유지하도록 code domain power를 조정
수신기 블러킹	-30 dBm@900 kHz	87 dB@900 kHz



(a) 블러킹 특성,
(a) Receiver blocking for digital mobile communication system.



(b) 스펙트럼 마스크 특성.
(b) Spectrum mask of digital mobile communication system.

<그림 10> 디지털 이동전화 수신기 특성. (a) 블러킹 특성, (b) 스펙트럼 마스크 특성.
<Fig. 10> Receiver characteristics for digital mobile communication system. (a) receiver blocking, (b) spectrum mask.

이고 외곽지역은 8km 이다. ETSI EN 300 392-2 V2.5.1(2005-07)에는 선택도의 경우 이동국은 -103 dBm, 기지국은 -106 dBm으로 기술되어 있고, 수신기 보호비는 19 dB로 기술되어 있다.

2) 간섭 시나리오

이 시나리오에서는 디지털 이동전화 시스템의 이동국이 주파수 공용통신 시스템의 기지국에 의해서 간섭을 받는 경우를 분석한다.

주파수 공용통신 시스템의 기지국과 디지털 이동전화 시스템의 이동국 사이의 거리에 대해서 간섭 시뮬레이션을 수행하였고, 주파수 공용통신의 경우 셀 반경은 5 km, 디지털 이동전화 시스템의 경우 셀 반경은 1 km로 가정하였다. 이 간섭 시나리오에서 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계를 <그림 11>에 나타내었다.

<그림 12>는 본 논문에서 고려한 시스템의 주파수 대역을 나타낸다. 주파수 공용통신의 경우 851 MHz

<표 11> TRS의 시스템 파라미터.
<Table 11> System parameters for TRS.

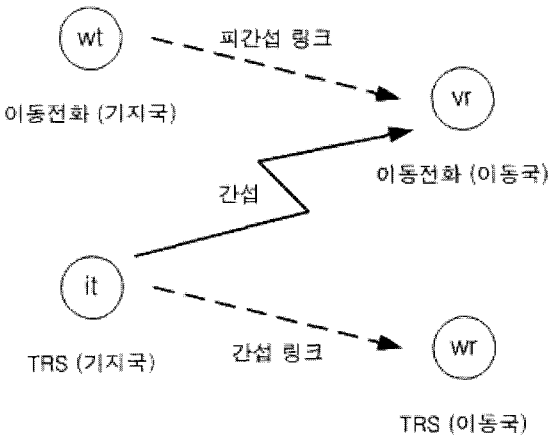
파라미터	이동국 (피간섭 수신기)	기지국 (원하는 송신기)
채널 간격	25 kHz	25 kHz
송신 전력	27.8 dBm	40 dBm
수신기 대역폭	18 kHz	18 kHz
셀 반경	-	5 km
안테나 높이	1.5 m	43 m
안테나 이득	2.14 dBi	14.14 dBi
민감도	-101 dBm	-104 dBm
수신기 보호비 (C/I)	18 dB	18 dB
수신기 블러킹	표 11 참조	표 11 참조

<표 12> TRS의 블로킹 특성.
<Talbe 12> Receiver blocking for TRS.

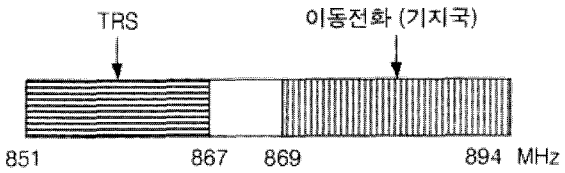
오프셋	간섭 신호 레벨
50 kHz ~ 100 kHz	-40 dBm
100 kHz ~ 200 kHz	-35 dBm
200 kHz ~ 500 kHz	-30 dBm
> 500 kHz	-25 dBm

<표 13> TRS의 불요방사 특성.
<Table 13> Unwanted emission for TRS.

오프셋	간섭 신호 레벨
25 kHz	-20 dBm
50 kHz	-30 dBm
75 kHz	-30 dBm
100 - 250 kHz	-40 dBm
250 - 500 kHz	-45 dBm
> 500 kHz	-50 dBm



<그림 11> 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계.
<Fig. 11> Victim link/interfering link.



<그림 12> TRS와 디지털 이동전화 시스템의 주파수 대역.
<Fig. 12> Band allocations of TRS and digital mobile communication system.

에서 876 MHz까지 이동국의 수신을 위해서 할당되었고, 디지털 이동전화 시스템의 경우869 MHz에서 894 MHz까지 이동국 수신을 위해서 할당 되었다.

3) 시뮬레이션 결과

간섭 시뮬레이션에서는 간섭원인 TRS는 866.9875 MHz에서 동작하고 출력 전력은 40 dBm, 피간섭원인 디지털 이동전화 시스템은 869.515 MHz에서 동작하고, 출력 전력은 42 dBm으로 가정하였다. 또한 간섭 시뮬레이션은 TRS의 기지국과 디지털 이동통신 시스템의 이동국 사이의 거리와 두 시스템 사이의 보호대역에 대해서 수행하였고, 전파 모델은 Extended Hata 모델을 사용하였고, 전파 환경은 도심 지역으로 가정한다.

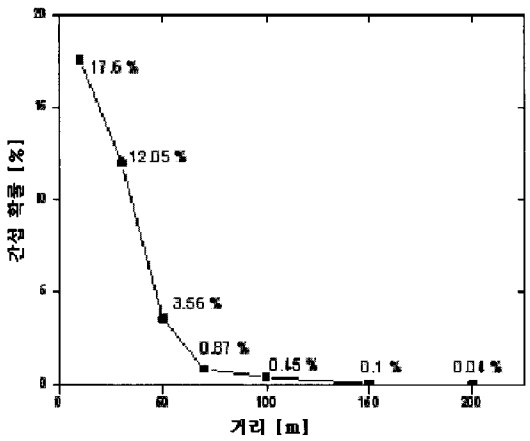
<그림 13>은 간섭 분석 결과를 나타낸다. CDMA 시뮬레이션 결과 피간섭 CDMA 시스템에서 평균 성능 손실은 7.88 이다.

5. FHSS 방식과 DSSS 방식을 사용하는 SRD

1) 시스템 특성

A. 피간섭 링크 특성 - FHSS 방식을 사용하는 SRD

피간섭 링크의 시스템은 FHSS 방식을 사용하는 SRD로, 채널 간격은 500 kHz이고, 송신기의 송신



<그림 13> TRS와 디지털 이동전화 시스템간의 간섭 시뮬레이션 결과.

<Fig. 13> Interference simulation results between TRS and digital mobile communication system.

<표 14> FHSS 방식을 사용하는 SRD의 시스템 파라미터.

<Table 14> System parameters for FHSS_SRD.

파라미터	송신기	수신기
채널 간격	500 kHz	500 kHz
송신 전력	10 dBm	-
수신 대역폭	-	500 kHz
셀 반경	10 m	10 m
안테나 높이	1.5 m	1.5 m
안테나 이득	0 dBi	0 dBi
Active 간섭원 수	1개	
민감도	-	-83 dBm
수신기 보호비 (C/I)	-	25 dB

전력은 10 dBm, 셀 반경은 10m이다. 본 시스템의 특성 파라미터를 <표 14>에 정리하였다.

B. 간섭 링크 특성 - DSSS 방식을 사용하는 SRD

간섭 링크의 DSSS 방식을 사용하는 SRD의 시스템 특성 파라미터를 <표 15>에 나타내었다.

2) 간섭 시나리오

이 시나리오에서는 FHSS 방식을 사용하는 SRD와 DSSS 방식을 사용하는 SRD가 동일 주파수 대역에 존재하는 경우, DSSS 방식의 SRD에 의해서 FHSS 방식의 SRD에 야기되는 간섭확률을 몬테 카를로 분석방법을 통하여 계산하였다. 간섭 시뮬레이션은 DSSS 방식의 SRD의 대역폭 및 충격 계수에 따라 수행하였다.

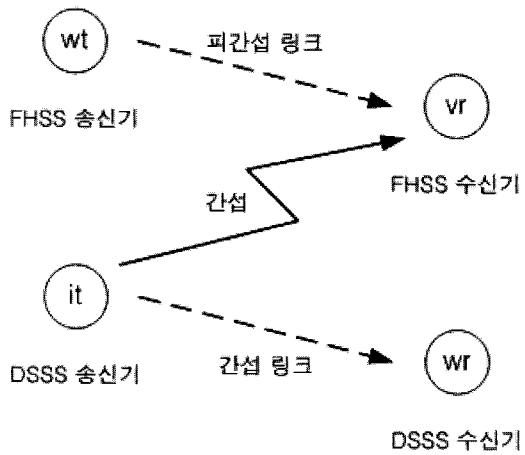
이 때 DSSS 방식을 사용하는 SRD의 송신기가 간섭원으로 동작하며, 간섭원인 DSSS SRD 사이의 셀 반경은 50 m, 피간섭원인 FHSS SRD 사이의 셀 반경은 50 m, 간섭원과 피 간섭원과의 거리는 50 m로 가정하였다. 이 간섭 시나리오에서 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계는 <그림 14>와 같다.

<그림 15>는 분석에서 고려한 시스템의 주파수

<표 15> DSSS 방식을 사용하는 SRD의 시스템 파라미터.

<Table 15> System parameters for DSSS_SRD.

파라미터	송신기	수신기
채널 간격	500 kHz	500 kHz
송신 전력	10 dBm	-
수신 대역폭	-	500 kHz
셀 반경	10 m	10 m
안테나 높이	1.5 m	1.5 m
안테나 이득	0 dBi	0 dBi
Active 간섭원 수	1개	-
민감도	-	-83 dBm
대역외 방사	-36 dBm/1MHz	-
수신기 보호비 (C/I)	-	25 dB



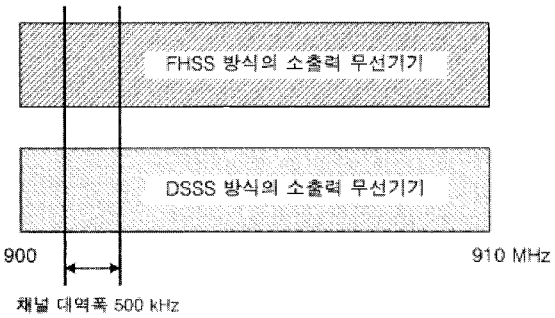
<그림 14> 피간섭 링크와 간섭 링크의 관계.

<Fig. 14> Victim link/interfering link.

대역을 나타낸다. 간섭원인 DSSS 방식의 SRD의 경우 900 MHz에서 910 MHz 까지 10 MHz의 주파수 대역을 사용하며, 피 간섭원인 FHSS 방식의 SRD의 경우 동일한 주파수 대역을 사용한다고 가정하였다. 두 시스템 모두 500 kHz의 채널 대역폭을 가지므로 총 20개의 채널을 갖는다.

3) 시뮬레이션 결과

간섭 분석 시뮬레이션에서는 피간섭원인 주파수



<그림 15> FHSS 방식의 SRD와 DSSS 방식의 SRD의 주파수 대역.

<Fig. 15> Band allocations of FHSS_SRD and DSSS_SRD.

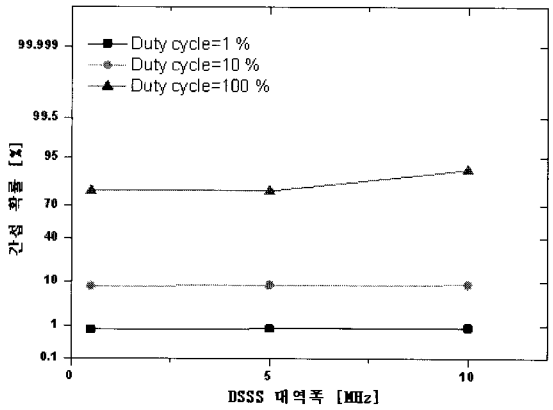
호핑 확산 스펙트럼 방식의 SRD는 500 kHz 의 채널 대역폭을 가지고, 10 MHz의 주파수 대역을 가지고 있는 것으로 가정한다. 또한 간섭원인 DSSS 방식의 SRD는 주파수 대역폭을 25 kHz 에서 10 MHz 까지 변시키면서 간섭 분석을 수행하였다. 또한 DSSS 방식의 SRD의 충격 계수를 1 %, 10 %, 100 % 로 변화시키면서 각 경우의 두 시스템간의 간섭 확률을 분석하였다. 이 때 두 시스템의 서비스 영역은 동일하게 설정하였고 간섭원의 개수는 1개로 가정하였으며, 전파모델은 Open Space로 가정하였다. 또한 양립성 여부를 판단하기 위하여 최대 허용 간섭 확률은 5%로 가정하였다.

표 16 및 그림 16은 간섭 분석 결과를 나타낸다. 표 16로부터 DSSS 방식의 SRD의 충격 계수가 1 % 이면 이 시스템의 대역폭에 관계없이 간섭 확률이 5 % 이하 이므로, DSSS 방식의 SRD와 FHSS 방식의 SRD가 동일 주파수 대역을 공유하더라도 두 시스템은 양립할 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 충격 계수가 10 %와 100 % 인 경우는 모두 간섭 확률이 최대 허용 간섭 확률을 초과하므로 동일 주파수 대역에서 두 시스템을 모두 서비스 할 수는 없다. 또한 실험결과로부터 간섭 확률이 DSSS 방식의 SRD의 대역폭 변화보다는 충격 계수의 변화에 더 많은 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다.

<표 16> DSSS 방식을 사용하는 SRD의 대역폭 및 충격 계수에 따른 간섭 확률.

<Table 16> Interference probability in accordance with bandwidth and duty cycle of DSSS_SRD.

DSSS 방식의 SRD의 대역폭	간섭 확률 [%]		
	Duty cycle =1%	Duty cycle =10%	Duty cycle =100%
25 kHz	0.91	9.54	79.04
5 MHz	1.08	9.97	81.12
10 MHz	1.23	10.63	90.07



<그림 16> DSSS 방식을 사용하는 SRD의 대역폭 및 충격 계수에 따른 간섭 확률.

<Fig. 16> Interference probability in accordance with bandwidth and duty cycle of DSSS_SRD.

Ⅳ. 결론

미국, 영국 등 주요국이 미래의 전파정책에 대한 비전을 제시하고 전파 자원의 국가 전략적 가치를 증대시키기 위한 전파자원 정책을 추진하고 있다. 주파수 경매제 및 임대제 등 시장 기반의 주파수 정책, 주파수 대역별 용도 제한 완화로 사업자 자율성 확대, 비면허기기 확산과 신기술 도입을 위한 비면허 대역 확대 등이 바로 그것이다. 이는 주파수 자원이 현재뿐만이 아니라 미래로 갈수록 중요성이 확대되는 국가의 기간 자원으로서 의미를 갖고 있기 때문이다. 이와 같이 중요한 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위하여, 본 논문에서는 무선통신 업무간 양립성을 분석하였다. 분석 과정은 무선통신 업무가 인접 대역 혹은 도일 대역에 존재하는 경우를 가정하고, 몬테 카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 간섭 확률을 도출하고 양립성을 분석하였다.

첫 번째 간섭 시나리오는 디지털 TRS가 875.6 MHz 에서 동작하고 인접 채널인 876.0125 MHz 에서 아날로그 TRS가 동작하는 경우, 아날로그 TRS의 이동국이 디지털 시스템의 이동국으로부터 간섭을 받는 경우였다. 본 논문에서는 0.5 %를 최대 허용 간섭 확률로 정했기 때문에, 아날로그 TRS의 링크 거리가 1.5 km 이상이고 간섭원의 밀도가 km^2 당 20개인 경우 두 시스템은 양립할 수 없다는 결론을 내렸다. 하지만 최대 허용 간섭 확률을 더 큰 값으로 잡는다면 다른 결론을 내릴 수 있을 것이다.

두 번째는 GSM에 가장 가까운 채널인 876.0625 MHz에서 동작하는 아날로그 주파수공용통신 이동국이 876.8 MHz에서 동작하는 GSM 이동국에 의해서 간섭을 받는 경우였다. 첫 번째 경우와 같이 최대 허용 간섭 확률을 0.5 %로 설정하였기 때문에, 아날로그 TRS의 기지국으로부터 반경 1 km밖의 범위에 이동국이 존재하고 GSM의 이동국이 km^2 당 10개와 20개가 존재하는 경우 를 제외한 나머지 모든 경우는 두 시스템이 양립할 수 있다는 결론을 내렸다. 마찬가지로 최대 허용 간섭 확률을 달리 한다면 다른 결과를 얻을 수 있을 것이다.

세 번째 시나리오는 아날로그 주파수공용통신 이동국이 디지털 TRS와 GSM 이동국에 의해서 간섭을 받는 경우이다. 이 때 디지털 TRS의 경우 870 MHz 에서 876 MHz 까지 6MHz가 할당되었고, 바로 인접하여 아날로그 TRS에 대하여 870 MHz에서 876.1 MHz 까지 100 kHz가 할당되었으며, GSM에 대해서는 876.1 MHz에서 880 MHz까지 할당되었다고 가정하였다. 최대 혀용 간섭 확률을 0.5 %에 대하여, 아날로그 TRS의 기지국으로부터 반경 1 km 밖의 범위에 이동국이 존재하고 간섭원이 km^2 당 10개가 존재하는 경우와 반경 0.8 km밖의 범위에

이동국이 존재하고 간섭원이 20개가 존재하는 경우를 제외한 나머지 모든 경우는 두 시스템이 양립할 수 있다는 결론을 내렸다.

네 번째는 디지털 이동전화 시스템의 이동국이 주파수 공용통신 시스템의 기지국에 의해서 간섭을 받는 경우이다. 여기서 간섭원인 TRS는 866.9875 MHz에서 동작하고 출력 전력은 40 dBm, 피간섭원인 디지털 이동전화 시스템은 869.515 MHz에서 동작하고, 출력 전력은 42 dBm인 경우이다. 이 때 최대 허용 간섭 확률이 0.5 %라 가정하면, 두 시스템은 서로 약 100 m 정도 거리 이격을 두어야지만 양립할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

마지막으로 FHSS 방식을 사용하는 SRD와 DSSS 방식을 사용하는 SRD가 동일 주파수 대역에 존재하는 경우, DSSS 방식의 SRD에 의해서 FHSS 방식의 SRD가 간섭을 받는 경우이다. 이번 경우의 최대 허용 간섭 확률은 5 %로 설정하였다. 이 때 충격계수가 10 % 와 100 % 인 경우는 모두 간섭 확률이 최대 허용 간섭 확률을 초과하므로 동일 주파수 대역에서 두 시스템을 모두 서비스 할 수는 없는 것을 알 수 있었다. 또한 실험결과로부터 간섭 확률이 DSSS 방식의 SRD의 대역폭 변화보다는 충격계수의 변화에 더 많은 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 적용한 양립성 분석 방법을 일반화한다면 다양한 무선통신 업무 및 시나리오에 대하여 양립성을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] ETRI, *전파 자원이용기술개발*, 1992~1999.

[2] 정보통신부, *Wiress IT 고도화와 산업 진흥을 위한 전파자원 중·장기 이용계획*, 2002.

[3] 정보통신정책연구원, *전파자원 이용·관리 발전방안 연구*, 2002.

[4] 김창주, "주파수 이용 효율 향상기술," *Telecommunications Review,* vol. 11, no. 4, pp. 560~570, Aug. 2001.

[5] *Report ITU-R SM.2022-1*, "The effect on digital communications systems of interference from other modulation schemes," Apr. 2005.

[6] *Recommendation ITU-R SM.328-11*, "Spectra and bandwidth of emissions," May 2006.

[7] *Recommendation ITU-R SM.329-10*, "Unwanted emissions in the spurious domain," Feb. 2003.

[8] *Recommendation ITU-R SM.1539-1*, "Variation of the boundary between the out-of-band and spurious domains required for the application of Recommendations ITU-R SM.1541 and ITU-R SM.329," Nov. 2002.

[9] *Recommendation ITU-R SM.1540*, "Unwanted emissions in the out-of-band domain falling into adjacent allocated bands," July 2001.

[10] *Recommendation ITU-R SM.1541-2*, "Unwanted emissions in the out-of-band domain," May 2006.

[11] *Report ITU-R SM.2028-1*, "Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems," Jan. 2002.

[12] *ERC report 68*, "Monte-Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems," June 2002.

[13] *ERC report 101*, "A comparison of the minimum coupling loss method, enhanced minimum coupling loss method, and the Monte-Carlo simulation," May 1999.

[14] 전파연구소 고시(font check) 제2005-50호, *방송·해상·항공·전기통신사업용 외의 기타업무용 무선설비의 기술기준*, 2005.

[15] 연세대학교, *차세대 이동통신 주파수 자원 개발에 관한 연구*, Dec. 2004.

[16] *3GPP TS 25.848 V4.0.0*, "Physical layer aspects

of UTRA high speed downlink packet access," Mar. 2001.

[17] *3GPP2 TSG-C.R1002*, "1xEV-DV evaluation methodology (v12.1)," May 2003.

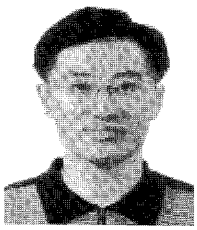
[18] *GPP TS 25.848 V4.0.0*, "Physical layer aspects of UTRA high speed downlink packet access," Mar. 2001.

[19] *ERC report 86*, "Adjacent band compatibility of UIC direct mode with UIC GSM and 900 MHz TETRA. - an analysis completed using a Monte Carlo based simulation tool," June 2000.

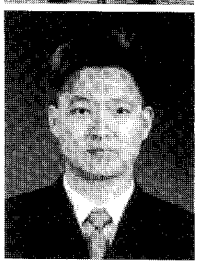
[20] *ETSI EN 300 392-2 V2.5.1*, "Terrestrial trunked radio (TETRA); voice plus data (V+D); part 2: air interface (AI)," July 2005.

저자소개

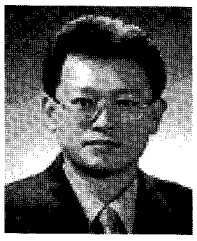
강 정 용 (Jeong Yong Kang)
1991 : 원광대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)
1996 : 원광대학교 전자공학과 공학석사 (전자공학전공)
2003 : 원광대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)
2003년 ~ 현태 : 원광대학교 전기·전자 및 정보공학부 전임강사



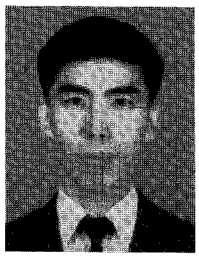
김 진 영 (Jin Young Kim)
1998 : 서울대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)
1998년 ~ 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate
2000년 ~ 2001년 : SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원
2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수



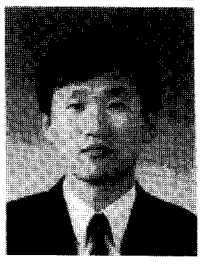
김 은 철 (Eun Cheol Kim)
2003 : 광운대학교 전자공학부 공학사 (전자공학전공)
2005 : 광운대학교 전파공학과 공학석사 (전자공학전공)
2005년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 공학박사과정 (전자공학전공)



김 종 헌 (Jong Heon Kim)
1994 : 독일 Dortmund University 공학박사 (전자공학전공)
1990년 ~ 1994년 : 독일 MICROSENS GmbH technical consultant
1995년 : 광운대학교 전파공학과 교수
2002년 ~ 현재 : Simon Fraser University research associate



류 충 상 (Chung Sang Ryu)
1998 : 광운대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)
1998년 ~ 현재 : 전파연구소 공업연구관



오 성 택 (Seong Taek Oh)
1997 : 원광대학교 전자공학과 공학석사 (전자공학전공)
1997년 ~ 현재 : 전파연구소 공업연구사