
효율적인 주파수 이용을 위한 주파수 공유 방법

강상기*, 황택진**

A Frequency-Sharing Method to Use Frequency Resources Efficiently

Sanggee Kang*, Taekjin Hwang**

요 약

최근에 ZigBee, Bluetooth, RFID(Radio Frequency Identification)와 같은 근거리 무선통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이와 같은 시스템들은 대부분 소출력무선기기들이다. 미래에는 개인을 중심으로 하는 WPAN(Wireless Personal Area Network)을 위해서 더 많은 소출력무선기기들이 출현할 것이며, 간섭저감기술은 소출력무선기기들이 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위한 필수 기술이 될 것으로 예상된다.

본 논문에서는 두 가지의 주파수를 공유 방법을 고려하였다. 첫 번째는 이미 특정시스템에 할당된 주파수를 공유하는 경우이고, 두 번째는 새로운 주파수 대역을 할당하는 경우이며, 이 두 가지 경우에 대한 효율적인 주파수 공유 방법을 연구하였다. 첫 번째 방법으로 주파수를 공유하는 경우의 한 가지 예로서 ZigBee, RFID, DCP(Digital Cordless Phone) 및 Bluetooth가 특정 주파수대역을 공유하는 경우 주파수 공유 조건을 검토하였다. 그리고 두 번째 공유 방법에서는 서로 다른 간섭저감기술을 사용하는 통신시스템에 대해서 공평한 신호 방사조건을 유지하기 위한 balancing factor의 개념을 제안하였으며, FH(Frequency Hopping) 시스템을 기준으로 하는 경우 LBT(Listen Before Talk)는 0.9, DS(Direct Spreading)은 0.8의 balancing factor를 이용하면, 이들 간섭저감기술들 사이의 방사조건을 비슷하게 유지할 수 있기 때문에 전체적으로 더 많은 시스템이 주파수를 공유할 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

Recently many short-range transceiver systems, such as ZigBee, Bluetooth and RFID(Radio Frequency Identification), have been developed. These systems are mostly low-power transceivers. In the near future many more low-power transceivers are appeared for WPAN(Wireless Personal Area Network) and interference mitigation technologies are necessary to the low-power transceivers for using frequency resources efficiently.

In this paper we consider two methods for sharing frequency resources. The first case is that a frequency band previously assigned for a certain system is shared and the second case is that the white frequency band is shared. We study the method and conditions for sharing frequency resources in the above two cases. When a frequency band is shared with ZigBee, RFID, DCP(Digital Cordless Phone) and Bluetooth as an example for the first case, the sharing conditions are investigated and the results are presented. We propose a balancing factor to maintain an equal transmitting conditions between systems having a different interference mitigation technique. In the interference simulation we use FH(Frequency Hopping) as a reference system and 0.9 of a balancing factor for LBT(Listen Before Talk) and 0.8 for DS(Direct Spreading). From the simulation results we know that a balancing factor reduces interference probability therefore many more systems can be operated in the same frequency bands compared with the case without using a balancing factor.

키워드

소출력무선기기(Low-power transceiver), 주파수공유(Spectrum-sharing), 간섭저감기술(Interference Mitigation Technology)

* 군산대학교

** 한국전자통신연구원

I. 서론

한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 통신시스템의 전송효율을 높이거나, 송신 스펙트럼의 순도를 높이기 위한 많은 연구가 진행되고있다[1,2]. 최근에 보다 효율적으로 주파수 자원을 이용하기 위해서 주파수 정책이 나아갈 방향에 대한 연구가 진행되었고, 그 연구의 결과로서 미래의 주파수 자원 관리는 규제 보다는 경쟁을 통해서 주파수 자원의 이용 효율을 높여야 한다는 결론을 얻었다[3].

원거리 통신을 위한 이동통신 뿐만 아니라 최근에는 응용 분야에 따라서 초고속 또는 저속의 데이터 통신을 할 수 있는 WPAN에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 [4,5], 근거리 통신에 대한 연구개발 추세는 많은 소출력 무선기기의 개발을 더욱 더 촉진시킬 것이다[5]. 유비쿼터스 센서 네트워크의 실현을 위해서 소출력무선기기의 적절한 이용은 필수적이다. 따라서 미래에는 다양한 통신기기들이 유한한 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 주파수를 공유해야 하는 것은 피할 수 없는 현실이 될 것이다. 주파수를 공유하기 위해서 미래의 통신 시스템에서 간섭저감기술은 시스템의 기본 기능이 될 것으로 예상된다.

주파수를 공유하는 방법을 고려함에 있어서 주파수 자원의 분배는 두 가지 경우로 구분해서 생각할 수 있다. 첫 번째는 이미 특정 시스템에 할당된 주파수 대역을 공유하도록 주파수를 할당하는 경우이고, 두 번째는 아날로그 TV 대역에 할당된 주파수를 디지털로 전환함에 따른 주파수의 재배치에 의해서 비워지는 주파수를 신규 할당하는 경우를 생각할 수 있다. 이 두 가지 경우 모두 주파수 이용효율을 높이기 위해서는 주파수 공유기술, 즉 간섭저감기술인 *underlay*, *LBT*, *DAA*(*Detection And Avoiding*) 등의 사용이 필요하다. *Underlay* 기술은 타시스템에 간섭영향을 줄이기 위해서 출력을 낮게 제한하는 방법이며, *LBT*와 *DAA* 기술은 스펙트럼의 사용 여부를 확인하고 주파수를 점유하거나, 원서비스의 주파수 재점유 여부를 주파수 사용 중에 인식하고, 주파수 점유를 중단함으로써 간섭을 줄이는 방법이다.

간섭저감기술을 사용하는 경우에도 송수신기들 사이의 신호간섭은 존재한다. 따라서 서로 다른 간섭저감기술을 사용하는 시스템들 사이에 간섭 영향을 검토하고, 이를 기준으로 기술기준을 마련하는 것이 주파수를

공유하기 위한 기본 절차가 될 것이다. 본 논문에서는 위에서 기술한 두 가지 방법으로 주파수를 할당하는 경우에 대해서 주파수 공유를 위한 조건을 연구하였다. 첫 번째 공유조건을 기준으로 *RFID*, *ZigBee*, *Bluetooth* 및 *DCP*가 주파수를 공유하는 경우 어떤 조건으로 주파수 공유가 이루어져야 하는지 간섭시물레이션을 통해서 검토하였다. 그리고 서로 다른 간섭저감기술을 사용하는 경우, 각각의 저감기술에 의한 간섭영향이 서로 다르기 때문에 이들 간섭저감기술들 사이에 공평한 송신조건을 유지할 수 있도록 *balancing factor*를 도입함으로써 주파수 이용효율을 높일 수 있는 방법을 제안한다.

II. 주파수 공유 조건

2.1 이미 할당된 주파수 대역의 공유 조건

이미 할당된 주파수 대역은 주파수 간섭의 영향을 최소화하기 위해서 *underlay*, *LBT* 및 *DAA*와 같은 간섭저감기술을 이용해야 한다. *FH*이나 *DS*도 간섭저감기술로 적용할 수 있다[6]. 간섭저감기술을 사용하는 경우에도 간섭이 완전히 제거되는 것이 아니기 때문에 기존의 시스템에 미치는 영향을 고려해서 기술기준(간섭송수신기의 시스템 파라미터)을 정해야만 한다. 그리고 주파수 공유를 위해서 시스템 파라미터를 변경해야 하는 경우에도 간섭송수신기의 *PHY*의 변경을 최소화하는 것이 바람직하다.

이미 서비스 중인 시스템들 사이에도 간섭은 항상 존재한다. 특정 시스템에 할당된 주파수를 임의의 시스템이 공유하는 경우, 정도의 차이는 있지만 원시스템들 사이의 간섭뿐만 아니라 타시스템이 원시스템에 미치는 간섭도 존재한다. 따라서 원시스템들 사이의 간섭 정도와 타시스템이 원시스템에 미치는 간섭 정도를 주파수 공유 조건으로 고려할 수 있다. 만약 타시스템이 원시스템에 미치는 간섭 정도가 원시스템들 사이의 간섭 보다 작거나 같다면 두 시스템은 주파수를 공유할 수 있을 것이다. 이 경우 원시스템이 주파수를 점유하는 기회가 주파수 공유 이전과 동일하게 유지되기 위해서는 새로운 시스템의 서비스 유형, 즉 주요 사용시간대, 사용시간 및 사용장소 등에 대한 추가 검토도 필요하다.

2.2 새로운 주파수 대역의 공유 조건

미국의 경우 ISM 대역은 용도 미지정 대역으로서 새로운 시스템이 이 주파수 대역을 이용하기 편리하다[6]. FCC Part 15.247에서는 간섭저감기술로서 FH 방식과 디지털 변조방식으로 구분해서 기술하고 있다. 유럽에서는 860 ~ 868 MHz와 2.4 GHz를 용도 미지정 대역으로 사용하고 있으며, 주파수 대역별로 구체적인 주파수 공유기술을 지정하고 있다. 또한 ERC-REC 70-03에서는 간섭저감기술을 FH, LBT와 DS 방식으로 구분하여 기술하고 있다[7]. 미국과 유럽의 기술기준을 비교해 보면, 유럽의 기술기준은 상당히 세분화되어 있고, FCC의 기술기준은 상대적으로 광범위하게 기술하고 있다. 만약 이 두 기술기준 사이의 절충적인 기술기준을 마련한다면, 주파수의 효율적인 사용 뿐만 아니라 새로운 시스템이 출현하더라도 주파수를 쉽게 이용할 수 있을 것이다.

간섭을 발생시키지 않기 위해서는 전력을 송신하지 않아야 한다. 역으로 모든 송신기는 간섭원으로 작용한다. 때문에 동일한 통신방식을 사용하는 시스템들은 동일한 송신조건을 유지해 준다면, 시스템 상호간에 간섭영향이 비슷하게 유지되어 주파수의 공유가 쉽다. 그러나 서로 다른 통신방식(예를 들어 FH와 LBT 또는 LBT와 DS 등)을 사용하는 경우에는 통신방식의 차이로 인한 간섭영향이 다르기 때문에 송신 조건을 비슷하게 유지하기 위한 수단이 필요하다. 이러한 목적을 위해서 본 논문에서는 balancing factor의 사용을 제안한다. Balancing factor는 서로 다른 간섭영향을 비슷하게 유지하되, 기준이 되는 간섭저감기술을 간섭이 작고, 현재 기술구현이 용이한 기술을 기준으로 적용한다. 따라서 balancing factor를 적용한다면, 전체적으로 간섭영향이 줄어들기 때문에 주파수 공유가 가능한 시스템의 수가 증가한다. 송신 balancing factor의 도출은 다양한 시스템들 사이의 간섭 영향을 고려함으로써 가능하며, 본 논문에서는 FH, LBT, DS 방식을 간섭저감기술로 고려하고, 이들 통신방식 사이의 balancing factor를 도출하였다.

III. 간섭 시뮬레이션

3.1 간섭 시뮬레이션 방법

주파수의 공유 가능성을 판단하기 위해서 시스템들 사이의 간섭 정도를 확인해야 한다. 간섭 분석에서 고려

해야 하는 시스템 파라미터로는 간섭송신기의 출력전력, 대역의 방사특성, 송신대역폭, duty 등이 있고, 피간섭 수신기의 시스템 파라미터로는 수신대역폭, 수신감도 등이 있다. 또한 시스템이 동작하는 주변 환경의 전파 전달특성과 시스템이 서비스되는 적절한 시나리오가 설정되어야 한다.

간섭시뮬레이션의 절차는 다음과 같으며, 간섭원에 의해서 피간섭수신기에서 필요로하는 $C/(N+I)_{req}$ 보다 낮은 $C/(N+I)$ 가 계산되면 간섭이 발생한 것으로 판단한다. 여기서 C는 신호의 전력, N은 잡음전력, 그리고 I는 간섭전력이다.

- 필요한 C/N 이 유지되는 서비스 범위 내에서 서비스 시나리오에 따른 간섭송수신기의 위치 설정
- 필요한 C/N 이 유지되는 서비스 범위 내에서 서비스 시나리오에 따른 피간섭송수신기의 위치 설정
- 간섭송신기와 피간섭수신기 사이의 경로손실 계산
- 피간섭수신기로 인가되는 간섭전력계산: 동일채널 간섭전력 및 인접채널에 의한 간섭전력 계산
- 피간섭송수신기의 $C/(N+I)$ 계산

3.2 이미 할당된 주파수 대역의 공유

표 1은 서로 다른 시스템의 간섭 영향을 시뮬레이션한 결과이며, 시뮬레이션에서 이용한 시스템 파라미터는 표 2와 같다. RFID는 tag 신호가 reader로 수신될 때 받는 간섭과 reader의 송신신호가 타시스템에 미치는 영향을 고려하기 때문에 표 2에는 tag의 blocking 특성과 스푸리어스 방사특성을 기술하지 않았다. 표 1에서 RFID 시스템들 사이의 간섭확률과 Bluetooth가 RFID에 미치는 간섭확률을 비교해 보면, Bluetooth가 RFID에 미치는 간섭영향이 0.5% 크다. 이와 같은 간섭영향의 차이는 무시할 만하다. RFID나 DCP가 Bluetooth에 미치는 간섭영향이 Bluetooth 시스템 사이의 간섭확률 보다 크기 때문에

표 1. 시스템 사이의 간섭확률
Table 1. Interference probability between systems

		Victim transceiver			
		ZigBee	RFID	Bluetooth	DCP
Interferer	ZigBee	0.084	0.0001	0.02	0.057
	RFID	0.051	0.02	0.018	0.046
	Bluetooth	0.022	0.025	0.014	0.028
	DCP	0.08	0.11	0.04	0.175

표 2. 간섭시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터
Table 2. System parameters used in simulating interference

Parameters	RFID		ZigBee	DCP	Bluetooth
	Reader	Tag			
Channel spacing	200 kHz	200 kHz	600 kHz	2 MHz	1 MHz
Transmit power	1W	-10dBm	0 dBm	24 dBm	10 dBm
Receiver BW	200 kHz	200 kHz	600 kHz	1.78 MHz	1 MHz
Cell Radius	10 m	10 m	10 m	50 m	0.01 km
Antenna height	1.5 m	1.5 m	1.5 m	1.5 m	1.5 m
Antenna gain	6 dBi	2 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
Sensitivity	-70 dBm	-45dBm	-92 dBm	-83 dBm	-70 dBm
C/I	9 dB	9 dB	15.2 dB	10 dB	11 dB
Receiver blocking	-35dBm @ 1MHz	-	adjacent : 0 dB alternative:30dB	Ref[8]	Ref[9]
Spurious emission	-36dBm/1MHz	-	-36dBm/1MHz	Ref[8]	Ref[9]

RFID와 DCP의 송신파라미터의 변경이 필요할 수도 있다. ZigBee의 경우에는 ZigBee 시스템들 사이의 간섭보다 타시스템이 ZigBee에 미치는 간섭이 작기 때문에 타시스템들은 ZigBee가 먼저 사용하고 있는 주파수대역은 송신파라미터의 변경없이 주파수 공유가 가능하다.

3.3 새로운 주파수 대역의 공유

표 3에는 서로 다른 통신방식을 사용하는 시스템들 사이에 송신 balancing factor를 계산하기 위한 간섭송수신기와 피간섭 송수신기의 특성을 나타내었다. 간섭저감 방법들 사이의 balancing factor를 찾기 위해서는 다양한 시스템에 대한 간섭시뮬레이션이 필요하다. 본 논문에서 고려하는 시스템들은 소출력 무선통신기기이기 때문에 대역폭을 제외한 나머지 시스템 파라미터들의 변화 정도는 아주 적을 것으로 예상된다. 때문에 간섭시뮬레이션에서는 표 3의 시스템에서 대역폭을 변경하여 시스템의 다양성을 추가하였다. 간섭시뮬레이션에서 적용한 시스템의 대역폭은 표 4와 같다. 표 4는 서로 다른 간섭저감기술을 이용하는 시스템들 사이의 송신 balancing factor를 도출하기 위해서 사용한 시스템들의 대역폭을 보여주며, 간섭시뮬레이션에서 사용한 주파수 대역은 900 ~ 925MHz로 총 할당 대역폭은 25MHz이다. 간섭시뮬레이션에서 사용한 간섭시스템의 기준대역폭(reference BW)은 현재까지 많이 사용되고 있는 시스템을 고려해서, FH 시스템인 경우 250kHz와 500kHz, LBT와 DS 시스템인 경우에는 500kHz 대역폭을 기준대

역폭으로 설정하고 시뮬레이션하였다. 간섭 시뮬레이션은 (FH, FH), (FH, LBT), (FH, DS), (LBT, FH), (LBT, LBT), (LBT, DS), (DS, FH), (DS, LBT), (DS, DS)들 사이의 간섭시뮬레이션을 수행하였으며, 여기서 (A, B)는 간섭원 A가 피간섭원 B에 미치는 간섭시뮬레이션을 의미한다. 간섭시뮬레이션에서 (FH, LBT)와 (FH, DS), (LBT, LBT)와 (LBT, DS) 그리고 (DS, LBT), (DS, DS)는 동일한 시뮬레이션 시나리오를 적용하였다.

그림 1은 기준시스템을 결정하기 위해서 (FH, FH)와 (LBT, FH)를 시뮬레이션한 결과이며, 여기서 linear로 표기된 것은 각각의 간섭시뮬레이션 결과를 선형 curve fitting한 결과이다. 그림 1에서 FH1(BW = 250kHz)인 시스템이 FH2(BW = 500kHz)인 시스템 보다 전반적으로 간섭확률이 낮은데, 그 이유는 FH1이 FH2 보다 호핑 채널이 많아, 그 만큼 타시스템에 미치는 간섭확률이 작기 때문이다. LBT 시스템은 대역폭이 500kHz 이상인 경우 FH 보다 간섭 확률이 낮게 나타났으며, curve fitting한 결과를 보면 전체적으로 LBT 시스템이 FH 시스템 보다 간섭확률이 작다. 그림 1에서 DS의 간섭영향은 시뮬레이션하지 않았는데, DS가 FH나 LBT 보다 간섭이 많기 때문에 기준시스템을 설정하기 위한 시뮬레이션에서는 수행하지 않았다.

저가의 소출력무선기기의 시스템의 구현 및 현재의 기술수준을 고려해 보면 FH가 LBT 보다 구현하기 쉽다. 때문에 balancing factor를 사용하는 경우에도 FH를 기준으로 설정하는 것이 편리하며, 그림 1의 결과에서도 시

시스템의 대역폭이 500kHz 이하인 경우에는 FH이 LBT 보다 간섭이 작다. 그리고 여러 시스템이 동시에 존재할 때 정확하게 동작하는 LBT의 구현이 어려운 점을 고려하면, FH 시스템을 balancing factor의 기준시스템으로 적용하는 것이 소출력기기를 대상으로 할 때에는 적절한 방법으로 생각할 수 있다.

표 3. 간섭 시뮬레이션에 이용한 간섭송수신기와 피간섭송수신기의 특성

Table 3. Characteristics of an interference transmitter and victim receiver used in the interference simulation

Parameters	Tx	Rx
Channel spacing	<Table 4>	<Table 4>
Transmit power	10 dBm	-
Receiver bandwidth	-	<Table 4>
Cell Radius	10 m	10 m
Antenna height	1.5 m	1.5 m
Antenna gain	0 dBi	0 dBi
Active interferer number	1	-
Sensitivity	-	-83 dBm
Out of band emission	-36dBm/1MHz	-
Receiver protection ratio(C/I)	-	25 dB

표 4. 간섭시뮬레이션에서 이용한 시스템 대역폭

Table 4. System bandwidth used in simulation

Reference Bandwidth	case1, kHz	case2, kHz	case3, kHz	case4, MHz	case5, MHz	case6, MHz
FH	250kHz	25	125	250	2.5	6.25
	500kHz	50	250	500	5	12.5
LBT(500kHz)	50	250	500	5	12.5	-
DS(500kHz)	50	250	500	5	12.5	-

그림 2는 FH, LBT, DS가 FH 시스템에 미치는 영향을 시뮬레이션한 결과이며, DS 시스템의 경우 기준대역폭 보다 좀더 다양한 시스템에 대한 영향을 평가해 보기 위해서 200kHz와 1MHz의 대역폭을 갖는 DS의 간섭 영향을 시뮬레이션하였다. 그림 2는 LBT와 DS에 balancing factor를 적용해서 FH 보다 간섭 확률을 낮게 유지할 수 있음을 보여주며, 이때 사용한 balancing factor는 duty factor에 0.9를 적용하였다. 그러나 그림 2에서는 간섭 DS 시스템의 대역폭이 1MHz이고 피간섭 FH 시스템의 대역폭이 커서 hopping 채널이 적은 경우(경우 4,5) 간섭 영향이 포화되기 때문에 balancing factor를 적용해도 FH에 의한 간섭영향 보다 큰 경우가 있음을 알 수 있다. 그

림 3은 FH, LBT, DS가 LBT 시스템에 미치는 영향을 시뮬레이션한 결과이다. 그림 3에서 DS는 500kHz와 1MHz를 고려하였는데, 피간섭원의 대역폭이 간섭원의 대역폭과 같거나 큰 경우 간섭 영향은 포화됨을 알 수 있다. 그림 3의 경우도 balancing factor는 duty factor에 적용하였고, LBT는 0.9, DS는 0.8을 이용하였는데, 500kHz 대역폭을 갖는 DS의 경우 duty factor를 0.9 적용하면 FH 보다 간섭확률이 크기 때문에 duty factor 0.8을 이용하였다. 그림 4는 FH, LBT, DS가 LBT 시스템에 미치는 간섭영향을 시뮬레이션한 결과이다. 그림 4에서도 그림 3의 경우와 동일한 방법으로 LBT는 duty 0.9를 이용하였고, DS는 duty 0.8을 이용함으로써 전체적으로 LBT, DS의 간섭확률은 FH의 간섭 확률 보다 낮게 유지함을 알 수 있다.

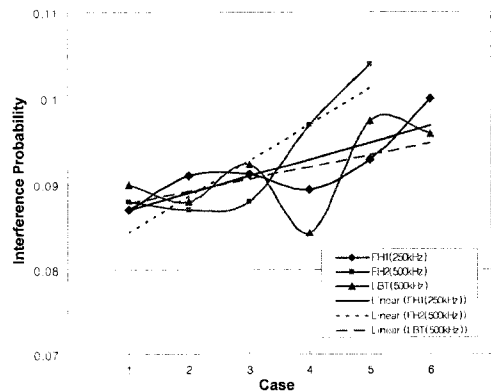


그림 1. (FH, FH)과 (LBT, FH) 간섭시뮬레이션 결과
Fig. 1. Interference simulation result of (FH, FH) and (LBT, FH)

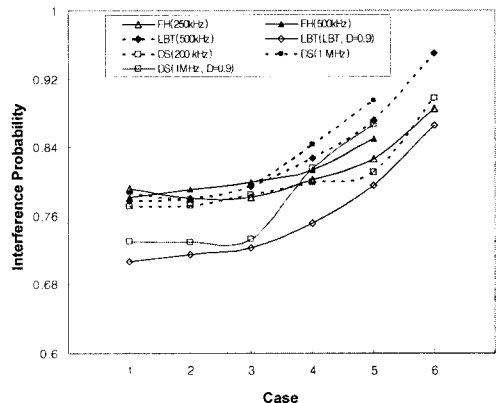


그림 2. FH 시스템에 미치는 간섭영향
Fig. 2. Interference effects to FH systems

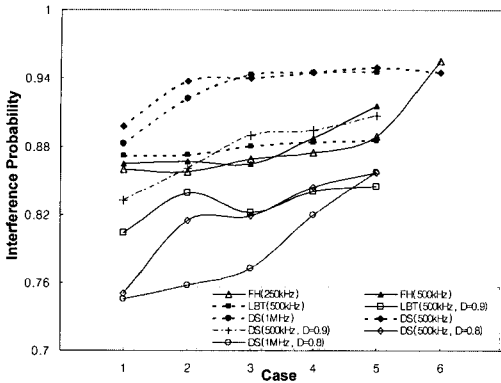


그림 3. LBT 시스템에 미치는 간섭영향
Fig. 3. Interference effects to LBT systems

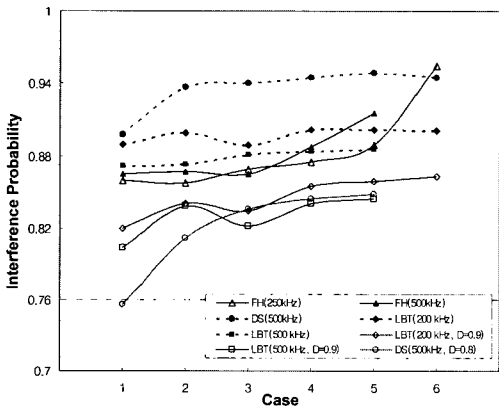


그림 4. DS 시스템에 미치는 간섭영향
Fig. 4. Interference effects to DS systems

IV. 결론

본 논문에서는 두 가지의 주파수 공유 방법을 연구하였다. 첫 번째는 이미 할당된 주파수를 공유하는 경우로서, 이때에는 이미 사용 중인 시스템들 사이의 간섭정도를 주파수 공유조건으로 사용할 수 있다. 두 번째는 비어있는 주파수를 공유하는 경우로, 보다 많은 시스템들이 할당된 주파수를 사용하기 위해서 주파수 공유기술인 간섭저감기술의 사용이 필요하며, 간섭저감기술들 사이에도 타시스템에 미치는 간섭량이 다르기 때문에 송신파라미터로서 **balancing factor**를 도입하면, 전체적으로 간섭량이 줄어들어 보다 많은 시스템이 주파수를 공

유할 수 있다. 본 논문에서는 간섭저감기술로 **FH, LB** 및 **DS**를 고려하였으며, 시뮬레이션을 통해서 **FH**를 기준으로 **LBT**는 0.9, **DS**는 0.8의 **balancing factor**의 사용이 가능함을 보였다. 본 논문의 결과는 향후 주파수 재배기나 기술기준의 개정 등에서 주파수 공유를 위한 조건으로 활용가능하다.

참고문헌

- [1] Tolga M. Duman and Ali Ghayeb, Coding for MIMO Communication Systems, John Wiley & Sons, 2007.
- [2] Steve C. Cripps, Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design, Artech House, 2002.
- [3] ET Docket No. 02- 135, Spectrum Policy Task Force Report, Nov. 2002.
- [4] IEEE Std 802.15.4b, Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2005.
- [5] Todor Cooklev, Wireless Communication Standards : A Study of IEEE 802.11, 802.15, and 802.16, IEEE Press, 2004.
- [6] FCC, Part 15 - Radio Frequency Devices, Feb. 2006.
- [7] ERC-REC 70-03, Relating to the Use of Short Range Devices(SRD), May 2005.
- [8] ETSI EN 300 175-2, Digital Enhanced Cordless Telecommunications(DECT); Common Interface; Part 2- Physical Layer(PHL), 1999.
- [9] IEEE Std 802.15.1, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks(WPANs), 2002.

저자 소개



강 상 기(Sanggeee Kang)

1988년 단국대학교 전자공학과
(공학사)

1989년 삼성반도체통신

1989 ~ 1992 해군통신장교

1994년 단국대학교 전자공학과(공학석사)

2004년 충남대학교 전자공학과(공학박사)

1994 ~ 2005 한국전자통신연구원 선임연구원

2005 ~ 현재 군산대학교 전자정보공학부 조교수

※ 관심분야: RF/MW 부품 및 시스템



황 택 진(Taekjin Hwang)

2003년 한양대학교 전자공학과
(공학사)

2005년 한국과학기술원 전기 및 전자공
학과(공학석사)

2005 ~ 현재 한국전자통신연구원 이동통신연구본부 이
동RF연구팀 연구원

※ 관심분야: RF/MW 부품 및 시스템, 스펙트럼공학