

인지 기반 MB-OFDM UWB 시스템에서의 간섭 회피 기술

Interference Avoidance Technology in Cognitive Based MB-OFDM UWB System

성 태 경 · 원 영 수* · 조 형 래**

Tae Kyung Sung · Young-Su Weon* · Hyung-Rae Cho**

요 약

본 논문에서 제안한 무선 인지 기반 초광대역(UWB) 시스템은 주파수 자원 이용 효율성을 높이기 위한 주파수 공유 기술인 UWB와 무선 인지 기술이 결합된 기술로, 본 논문에서는 무선 인지 기술을 이용하여 타 시스템과의 간섭을 회피하여 성능 향상을 보임을 확인하고자 한다. 본 논문에서는 타 통신 시스템과의 간섭 문제를 해결하기 위하여 무선 인지 기술을 MB-OFDM UWB 시스템에 적용하였으며, 간섭 신호 측정을 위한 방안으로는 FCC에서 제안한 간섭 온도 모델을 사용하였다. 간섭 온도 측정을 통해 시스템의 채널 용량을 계산한 후 간섭 상황을 해결하는 방안을 제안한다. 계산 과정의 인지 엔진의 연산 알고리즘으로는 유전 알고리즘을 사용하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 방식은 현재 문제시될 수 있는 UWB 통신 시스템에서의 간섭 문제를 해결하는데 좋은 효과가 있음을 확인하였다.

Abstract

CR technology is an intelligent technology which can sense the spectrum environment and adaptively adjust the parameters for wireless transmission. In this paper, by using CR-UWB, the spectrum efficiency of the transmission channel is largely improved; Furthermore, the interference to other system can be effectively avoided. In this paper, we propose a solution on interference problem of UWB system using cognitive radio. We use interference temperature model of cognitive radio that has proposed by FCC for estimating interference signal. Calculating channel capacity of UWB system with interference temperature, we suggest how to solve interference problem. We have used genetic algorithm in cognitive engine's calculation process. The proposed UWB System with cognitive radio shows very efficient in solving interference problem.

Key words : CR(Cognitive Radio), UWB(Ultra Wideband), Interference Avoidance, Cognitive Engine

I. 서 론

최근 전파를 이용한 다수의 무선 기기 및 시스템의 운용에 따라 주파수 자원의 부족 현상을 야기시키고 있다. 또한, 타 시스템 간의 간섭의 문제가 발생함에 따라 주파수 자원 부족의 문제와 간섭 문제를

해결하기 위하여 Underlay 방식인 UWB와 Overlay 방식인 무선 인지(Cognitive Radio: CR)와 같은 주파수 자원 공유 기술이 개발되고 있다^[1]. 우리나라의 UWB 주파수 분배안은 3.1~4.8 GHz의 대역과 7.2~10.2 GHz 대역으로 정했으며, 저주파수대에서는 기존 이용 주파수 및 차세대 이동 통신 주파수와의 간섭

인하대학교 초광대역무선통신연구센터(UWB Wireless Communications Research Center, Inha University)

*(주)한그린텍 기술연구소(HANGREENTECH Technology Institute)

**한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20080417-049

· 수정완료일자 : 2008년 6월 12일

을 고려하여 간섭 회피 기술(Detect & Avoid: DAA)을 적용하도록 규정하고, 2010년까지 유예 기간을 주고 있다^[2].

Underlay 방식인 UWB 시스템은 -41.3 dB/MHz의 저출력으로 전송됨으로 간섭 없이 여러 사용자와 공유할 수 있다. 그러나 다수의 UWB 시스템이 동일 공간에 존재할 경우 FCC의 방사 제한 규격을 따르는 시스템간에 영향을 미칠 수 있으며, UWB 단말 기간에도 간섭이 발생할 수 있다. 따라서 FCC는 주파수 자원의 효율적 이용을 위해 동적으로 주파수를 할당하는 CR 기술을 허가했으며, 타 시스템간의 간섭 측정을 위한 방안으로 간섭 온도 모델(interference temperature model)을 제안하였다^[3].

CR 기술은 J. Mittra에 의해 제안되었으며, 할당된 주파수 대역 중 실제 사용되지 않고 비어있는 주파수 대역을 감지하여 이용하는 기술로 이용하지 않는 주파수 대역을 검출(sensing)하고 적응적으로 판단하여 좋은 환경의 채널 상태, 간섭의 정도, 서비스 시간대 등과 같은 유동적인 외부 환경을 인지하고 변조방식, 채널 코딩, 출력 크기 데이터 전송률을 조절하여 QoS를 최적으로 만들어 사용자에게 만족을 주도록 조절하는 역할을 한다^{[4],[5]}.

CR 기술에 있어 송신단에서는 수신단과 사전 약속된 정보(동기알고리즘 적용)에 의해 TFC를 변환 전송하고, 또한 예상치 못한 채널 상황에 의한 주파수 변경이 필요한 경우에 송수신단에 주파수 변경 사실을 통지하고 확보된 sub 대역으로 즉시 전환토록 한다. 또한, 주파수 자원을 할당받은 사용자에게 간섭을 주지 않는 조건하에 주파수 자원을 효율적으로 이용하는 기술로 주파수의 사용 현황을 파악할 수 있는 스펙트럼 검출 기법(spectrum sensing)과 동적 주파수 선택(dynamic frequency selection)이 필요하며, 주파수 이용률이 높은 도시 환경에는 비효율적이다.

본 논문에서는 초광대역 주파수 대역을 사용하는 UWB 기술과 채널 환경을 인지하여 비어 있는 채널을 찾아 사용하는 CR 기술의 장점을 융합시켜 CR 기반 UWB 시스템을 제안하고 CR 기반 UWB 시스템에서의 DAA에 대한 연구를 수행하였다. 본 논문의 구성은 제2장에서 UWB 시스템 및 CR 기술에 대하여 고찰하며, 제3장에서는 간섭 온도 모델을 이용한

CR 기술을 적용한 UWB 시스템을 설계하고 인지 엔진(cognitive engine)의 연산 알고리즘인 유전 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 소개하며, 제4장에서 시뮬레이션 및 결과를 보이고 제5장에서 결론을 맺는다.

II. CR 기반 MB-OFDM UWB 시스템 개요

2-1 MB-OFDM UWB 시스템

OFDM은 고속 역푸리에 변환(Inverse Fast Fourier Transform: IFFT)을 사용하여 인접 부반송파 간 사이클 수의 차이를 정확히 1로 만들어 고속의 송신 신호를 다수의 직교하는 협대역 반송파로 다중화 시키는 변조 방식이다. 즉, OFDM은 데이터열을 여러 개의 부 채널로 동시에 나란히 전송하는 다중 반송파 전송 방식의 특별한 형태로 본다. 각 부반송파의 파형은 시간 영역에서는 직교하지만 주파수 영역에서는 겹치게 된다. FCC는 UWB 장비가 3.1~10.6 GHz 대역 사이에 500 MHz 이상을 차지하도록 요구하였다. UWB 시스템은 전대역을 13개의 대역으로 분할하고 있으며, 128개의 부반송파로 OFDM 기술을 사용한다. 128개의 부반송파는 100개의 데이터 전송용, 12개의 파일럿 톤(pilot tone), 10개의 보호 톤(guard tone) 및 6개의 널 톤(null tone)으로 이루어진다.

주파수 영역 확산 기법을 사용하는 경우에는 128 포인트 IFFT가 사용될 때 IFFT 측의 1부터 61번째 입력 단에는 QPSK 변조된 데이터가 IFFT 입력에 들어간다. 그리고 67번째부터 127번째 들어가는 입력은 1부터 61까지의 켈레 복소수의 입력이 들어가게 되며, 나머지 61번째부터 66번째까지는 0으로 세팅된다. 이 방식의 이점은 IFFT의 결과가 항상 실수가 된다는 것이다. 이는 시스템의 송신부는 실수부만 고려하여 설계하면 된다는 것을 의미한다. 다만 계산 과정의 정밀도가 높아야 실수를 얻을 수 있다. 이런 경우, 파일럿 톤이 위상 추적을 위해 적절한 위치에 삽입된 후, QPSK 심볼은 $\{X_{k,m}\}$ 로 나타내어지며, k, m 는 심볼과 부반송파의 순서를 나타낸다. k 번째 OFDM 심볼은 50개의 QPSK 심볼과 22개의 파일럿 톤으로 이루어져 있으며, 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x_{k,n} = \sum_{m=1}^{61} X_{k,m} e^{j \frac{2\pi mn}{128}} \quad (1)$$

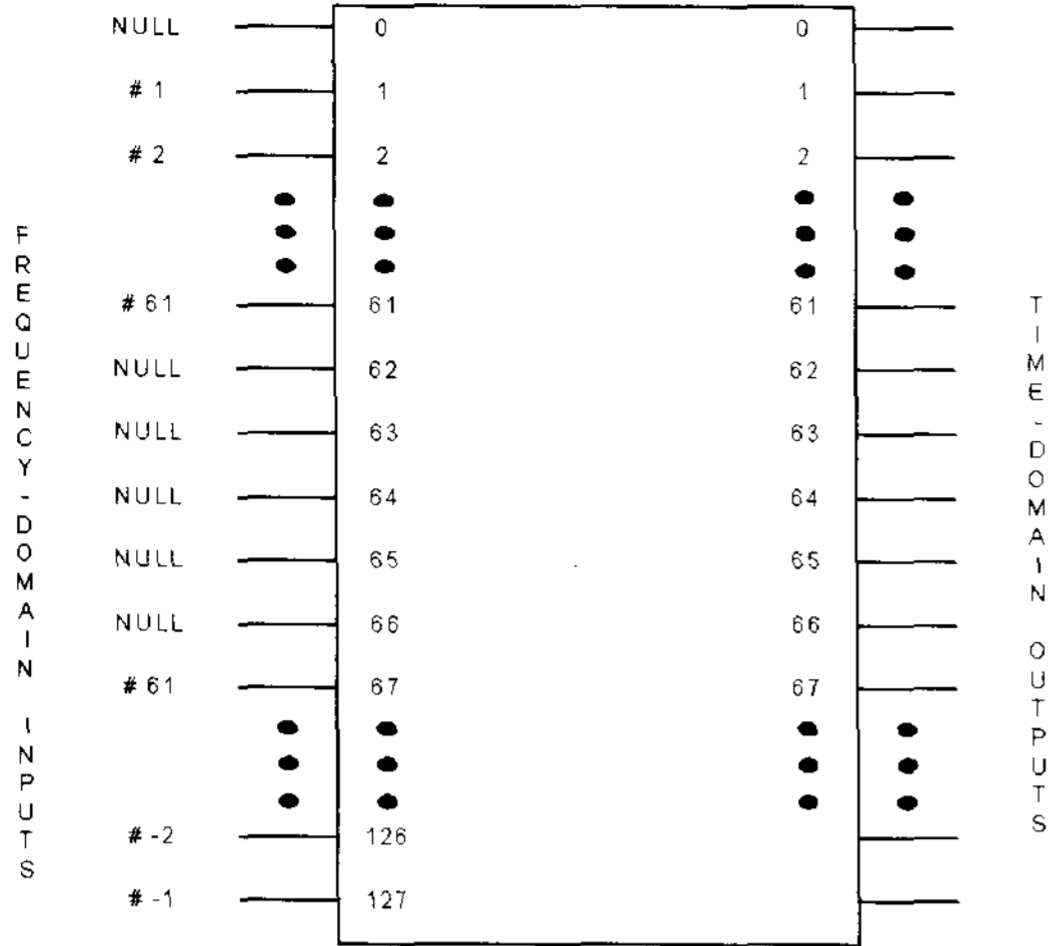


그림 1. IFFT 입출력 구조
Fig. 1. Structure of IFFT input/output.

여기서, n 은 이산 시간을 나타낸다. 그리고 상기한 바와 같이 입력단의 데이터는 식 (2)를 만족한다.

$$X_{k,m} = X_{k,-m}^* \quad 1 \leq m \leq 61 \quad (2)$$

IFFT 연산 후에 보호 간격(guard interval)이 적절한 길이로 덧붙여져 OFDM 심볼이 생성된다^[3]. 그림 1에는 IFFT 입/출력단 및 데이터 입력 방법을 보인다.

시간 영역 확산 기법은 같은 OFDM 심볼을 TFI 패턴에 따른 대역을 이용해서 순차적으로 두 번 전송하는 방법을 사용한다. 같은 내용을 두 개의 시간 대에 걸쳐 다른 주파수 대역으로 전송해주는 것이므로 다이버시티 효과를 얻을 수 있으며, 동시에 운용되는 피코넷의 성능 향상을 기대할 수 있다. 실제 RF부에서의 송신 신호는 식 (3)과 같이 표현된다^[6].

$$r_{RF}(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} x_k(t - kT_{SYM}) \exp(j2\pi f_k t) \right\} \quad (3)$$

$\text{Re} \{ \cdot \}$ 는 복소수의 실수 부분을 나타내고, $x_k(t)$ 는 k 번째 OFDM 심볼의 복소 기저 신호이다. N 은 OFDM 심볼의 개수이고, T_{SYM} 은 심볼 구간이며, f_k 는 k 번째 대역 반송파의 중심 주파수이다. 식 (3)의 신호를 기저 대역으로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$s(t) = \sum_{k=-N/2}^{N/2} d_k \exp(j2\pi f_k t) \quad (4)$$

$$d_k = x_k(t - kT_{SYM})$$

식 (4)를 이산 시간으로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$s(n) = \sum_{k=-N/2}^{N/2} x(n) \exp(j2\pi \frac{kn}{N})$$

$$x(n) = [d_{\frac{N}{2}}, d_{\frac{N}{2}+1}, \dots, d_0, d_1, \dots, d_{\frac{N}{2}-1}] \quad (5)$$

기저 대역을 이산 샘플과 같다고 놓으면 수신 신호 $r(n)$ 은 식 (6)이 된다.

$$r(n) = \sum_{k=0}^{L-1} h(n) s(n-k) + w(n) \quad (6)$$

여기서 $s(n)$ 은 송신 신호이며, $h(n)$ 은 길이가 L 인 채널 임펄스 응답이며, $w(n)$ 은 잡음 신호이다.

MB-OFDM UWB 시스템은 기본적으로 Band Group #1 내에 포함된 3개의 대역을 이용하여 표 1과 같은 TF(Time-frequency) code들을 이용하여 4개의 piconet을 형성하거나 FDMA 방식으로 3개의 piconet을 형성할 수 있으며, 전 주파수 대역을 이용할 경우 최대 18개의 piconet을 형성할 수 있다. 그림 2에는 BandGroup #1의 Mandatory 할당 주파수를 보인다.

그림 2의 BandGroup #1의 주파수들과 표 1의 프리앰블 패턴 2에 따른 MB-OFDM UWB 시스템의 전송 규칙을 도시하면 그림 3과 같다. 그림 3에서 각 OFDM 심볼은 매 심볼마다 프리앰블 패턴 2에 따라 그림 2의 3개 주파수들을 호핑하며 전송된다^{[7],[8]}.

식 (3)의 OFDM 신호는 식 (7)과 같은 펄스열의 식으로 나타낼 수 있다.

$$p(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s(t - nT_{SYM}) \quad (7)$$

$s(t)$ 의 전력 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density: PSD)를 구하기 위해서는 $s(t)$ 의 자기 상관 함수를 푸리에 변환하여야 한다. 그러나 각 펄스열은 확률적으로 서로 다른 데이터를 가질 가능성이 크기 때문에 서로 독립적이라 할 수 있다. 따라서 PSD는 각 부반송파의 PSD를 모두 더해서 구할 수 있다. 반

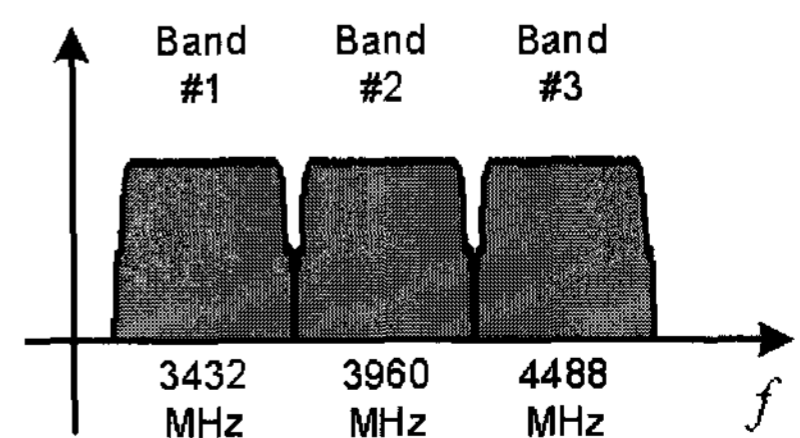


그림 2. Mandatory 할당 주파수(BandGroup #1)
Fig. 2. Mandatory allocation frequency(BandGroup #1).

표 1. TFI 코드

Table 1. Time frequency interleaving code.

Preamble Pattern		Time Frequency Code				
1	1	2	3	1	2	3
2	1	3	2	1	3	2
3	1	1	2	2	3	3
4	1	1	3	3	2	2
5	1	1	1	1	1	1
6	2	2	2	2	2	2
7	3	3	3	3	3	3

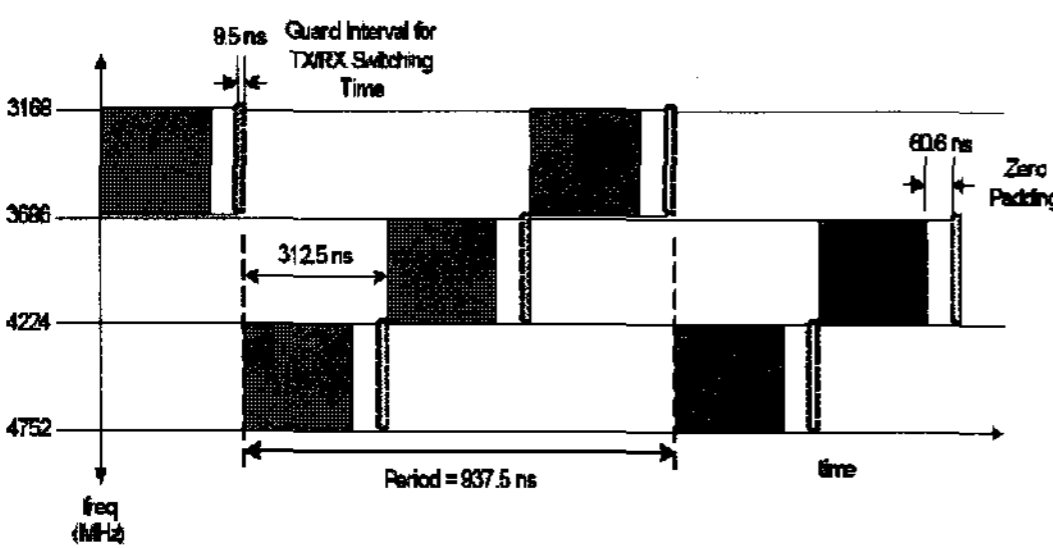


그림 3. MB-OFDM UWB 시스템 전송 규칙
Fig. 3. MB-OFDM UWB system transmission a regulation.

송파 1개의 PSD $S_f(f)$ 는 식 (8)과 같이 정의된다.

$$S_f(f) = \frac{1}{T_{SYM}} |S(f)|^2 \quad (8)$$

$S(f)$ 는 $s(t)$ 의 푸리에 변환이며, 모든 반송파의 PSD S_{Total} 을 구하면 식 (9)와 같다^[9].

$$S_{Total}(f) = \sum_{k=-N/2}^{N/2} S_f(f-f_k) \quad (9)$$

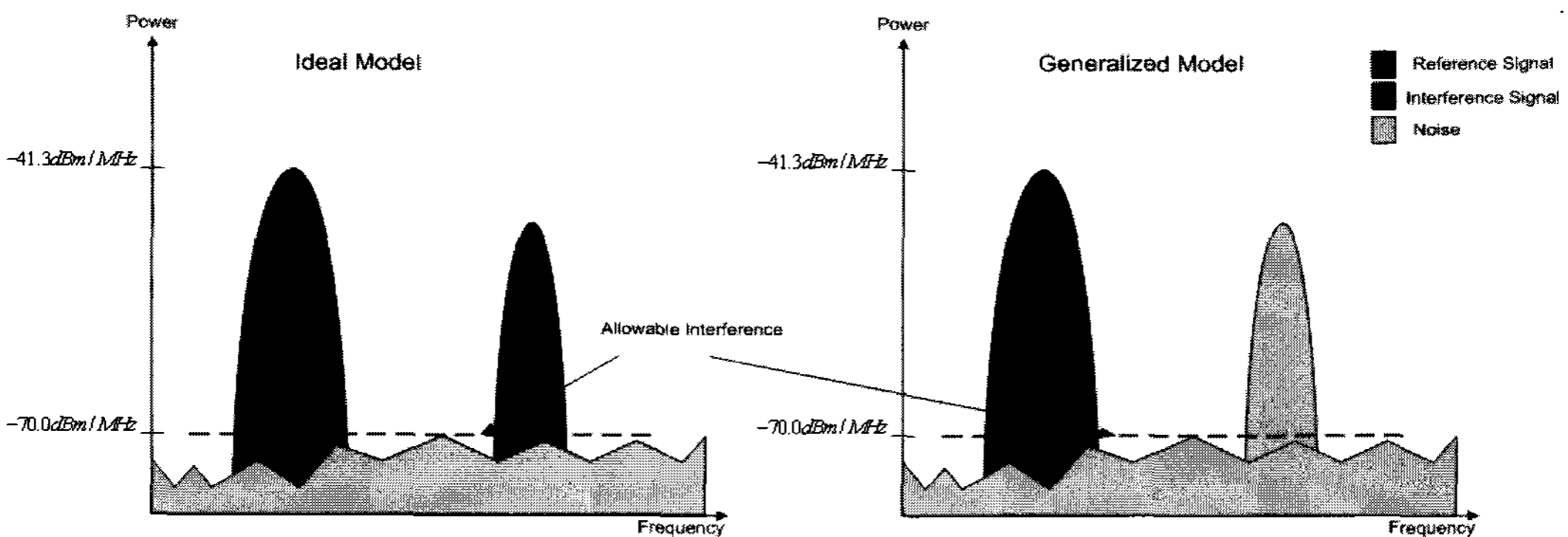


그림 4. 이상적 모델과 일반화된 모델
Fig. 4. Ideal model and generalized model.

UWB 시스템은 반송파 주파수 대역이 겹칠지도 모르는 4개의 피코넷을 지원하며 확산과 코딩 기술은 각각의 피코넷에 의존하므로 피코넷들을 구분하는 방법은 4개의 독특한 TFI 코드를 사용하는 것이다^[3]. 서로 다른 TFI 코드를 사용하더라도 피코넷간에 충돌이 발생할 가능성이 있다. 또한, 기존의 민감한 주파수 대역을 피해야 할 필요도 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 GA을 이용한 CR 기술을 사용한다.

2-2 무선 인지(CR) 기술

2-2-1 간섭 온도 모델(Interference Temperature Model)

간섭 온도 개념은 잡음 온도 개념과 동일하다. 이는 간섭 신호가 차지하는 전력과 대역폭의 측정으로 얻어진다. 간섭 온도 T_I 는 Kelvin 온도로 나타내어지며, 식 (10)과 같다.

$$T_I(f_c, B) = \frac{P_I(f_c, B)}{kB} \quad (10)$$

여기서 P_I 는 간섭 신호의 평균 전력(W), f_c 는 간섭 신호의 중심 주파수(Hz), B는 간섭 신호의 대역폭(Hz), k는 볼츠만 상수(1.38×10^{-23} [J/K])이다.

간섭 신호와 잡음 신호는 분명히 다르다. 간섭은 데이터를 가지고 대역폭이 정해져 있지만, 잡음은 그렇지 않다. 현재까지 제안된 모델로는 간섭 신호와 잡음 신호를 구분하는 이상적 모델과 구분하지 않는 일반화된 모델이 있으며, 이를 그림 4에 나타내었다^[10].

간섭 신호와 잡음 신호를 구별하는 일은 CR 기술

이 면허 사용자를 보호하기 위해 사용될 때 유용하다. 왜냐하면 비 면허 사용자는 간섭 신호가 잡음 신호이면 신호 전력을 높여 시스템의 성능을 높일 수 있지만 간섭 신호가 면허 사용자의 신호일 경우에는 다른 주파수 대역을 사용해야 하기 때문이다. 따라서 본 논문과 같이 CR 기술을 UWB 시스템에 적용하는 경우는 일반화된 모델을 사용하는 것이 적합하다.

2-2-2 채널 용량 계산

간섭원이 UWB 신호이므로 간섭 신호는 UWB 주파수 대역에서 측정된다. 간섭 온도는 중심 주파수 f_c 와 대역폭 B 를 가지는 간섭 신호의 전력 스펙트럼 $S(f)$ 로 계산하며, 식 (11)과 같다.

$$T_I(f_c, B) = \frac{1}{B^2 k} \int_0^B S(f) df \quad (11)$$

샤논-하틀레이의 채널 용량 이론^[11]에 따라 시스템의 채널 용량은 식 (12)로 계산한다.

$$C(f_c, B) = B \log_2 \left(1 + \frac{L(T_R(f_c) - T_I(f_c, B))}{MT_I(f_c, B)} \right) \quad (12)$$

여기서, L, M ; 경로 손실 상수($0 < L, M < 1$), T_R 은 사용자 신호온도, T_I 는 간섭 신호 온도이다.

2-2-3 인지 엔진(Cognitive Engine)

CR 기술의 핵심은 인지 엔진으로, 인지 엔진은 시스템의 성능을 평가하고 정보를 수집하여 시스템이 타 시스템과 간섭을 일으키지 않도록 하는데 도움을 준다. 무선 시스템에서 제어 가능한 변수들은 노브(knobs)라고 하고, 관측 가능한 변수들을 메터(meter)라고 한다^[12]. 노브의 조정은 네트워크 성능을 향상시키는데 도움을 준다. 본 논문에서는 통신 시스템의 채널 용량을 최대화 하는 과정을 통해 UWB 시스템간의 간섭을 최소화 한다. 표 2에는 시스템의 최적화 과정에서 사용될 메터와 노브를 나타내었다.

MODM(Multi-Objective Decision-Making)은 함수의 최적화를 위한 변수를 선택하는 수학적 방법으로 식 (13)과 같다^[13].

$$\begin{aligned} \min / \max \{ \bar{y} \} &= f(\bar{x}) \\ &= [f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_{i_{\max}}(\bar{x})] \end{aligned}$$

표 2. PHY와 MAC 계층의 Meters와 Knobs
Table 2. Meters & Knobs of PHY & MAC layer.

Layer	메터 (관측 가능 변수)	노브 (제어 가능 변수)
MAC	- 프레임 에러율 - 데이터율	- 소스 코딩 - 채널 코딩을 및 유형
PHY	- BER - 수신 신호 전력 - 간섭 전력 - 전력소비	- 송신기 전력 - 변조 유형 - 변조 인덱스 - 펄스 성형 - 심볼율 - 반송 주파수

$$\begin{aligned} \text{subject : } \bar{x} &= (x_1, x_2, \dots, x_{i_{\max}}) \in X \\ \bar{y} &= (y_1, y_2, \dots, y_{i_{\max}}) \in Y \end{aligned} \quad (13)$$

X 값은 시스템의 입력(노브)을 나타내고, Y 값은 시스템의 출력(메터)을 나타낸다. i 는 GA의 세대수(연산 횟수)를 나타낸다. 시스템 최적화를 위한 최적화 알고리즘으로는 hill climbing법과 고정 소수점 반복(fixed-point iteration)법이 있다^[12].

고정 소수점 반복법이 hill climbing법보다 효율적이지만 고정 소수점 반복법은 최적 해를 찾지 못하는 경우가 종종 있어 hill climbing법과 병행하여 사용하는 경우가 있다. UWB 시스템에 인지 엔진의 연산 알고리즘으로 hill-climbing법을 적용하는 경우, hill-climbing법은 편미분을 이용하여 효과적으로 함수의 극점을 찾을 수 있으나, 찾은 극점이 전역적으로 적용 가능한 최대 혹은 최소값인지는 알 수 없다. 또한, UWB 주파수 대역의 채널은 고정되어 있는 함수가 아니므로 편미분을 이용하는 hill-climbing법을 사용하여 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 전 주파수 대역의 채널 용량에 대한 데이터가 필요하다. 채널 용량에 대한 신뢰성 있는 데이터를 얻기 위해 송신 신호의 중심 주파수를 3.432~4.488 GHz까지 5.28 MHz씩 변화시켜가며 채널 용량을 계산하는 경우, 기본적으로 200회의 연산 횟수가 필요하다.

연산량이 많은 함수의 최적화 문제를 해결하기 위해 제시된 방법 중 하나가 GA이다. GA는 출력을 얻을 수 있는 함수가 정의되면 어디에나 적용 가능하며, GA는 주어진 함수에 대한 모든 가능한 해의 탐색 공간에서 컴퓨터가 생성한 개체들의 집합인 개

체군으로 시작된다. 그리고 개체가 속한 환경에 얼마나 잘 맞는가를 측정하는 목적 함수를 이용하여 최적의 개체를 선택하고 좀 더 나은 개체로 진화되는 과정을 반복함으로써 최적 해에 도달하도록 한다.

GA는 크게 이진 GA(Binary-coded GA)와 십진 GA(Decimal-coded GA)로 구분되며, 본 논문에서는 십진 GA를 사용하였다. 십진 GA의 교차 연산 식은 식 (14)와 같다^[14].

$$\begin{aligned}
 X_{offspring} &= rX_{parent} + (1-r)Y_{parent} \\
 Y_{offspring} &= (1-r)X_{parent} + rY_{parent} \\
 r &: \text{랜덤 수 } (0 < r < 1)
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

교차(crossover)는 두 부모 해의 속성을 부분 복사함으로써 새로운 해를 만든다. 따라서 교차로 인해 만들어지는 해의 유전자들은 모두 부모 해로부터 물려받은 것이다. 부모 해가 없이 새로운 값을 생성하는 것이 돌연변이(mutation) 연산자이며, 돌연변이 연산 식은 식 (15)와 같다.

$$\begin{aligned}
 X_{offspring} &= \begin{cases} X_{parent} + (b_i - X_{parent})f(i), & r_1 < 0.5 \\ X_{parent} - (X_{parent} + a_i)f(i), & r_1 \geq 0.5 \end{cases} \\
 f(i) &= \left(r_2 \left(1 - \frac{i}{i_{max}} \right) \right)^b \\
 r_1, r_2 &: \text{랜덤 수 } (0 < r_1, r_2 < 1)
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

i 는 현재 세대수, i_{max} 는 최대 세대수, a_i , b_i 는 변이율 조정 변수이다.

그림 5에는 십진 GA의 교차와 돌연변이에 대한

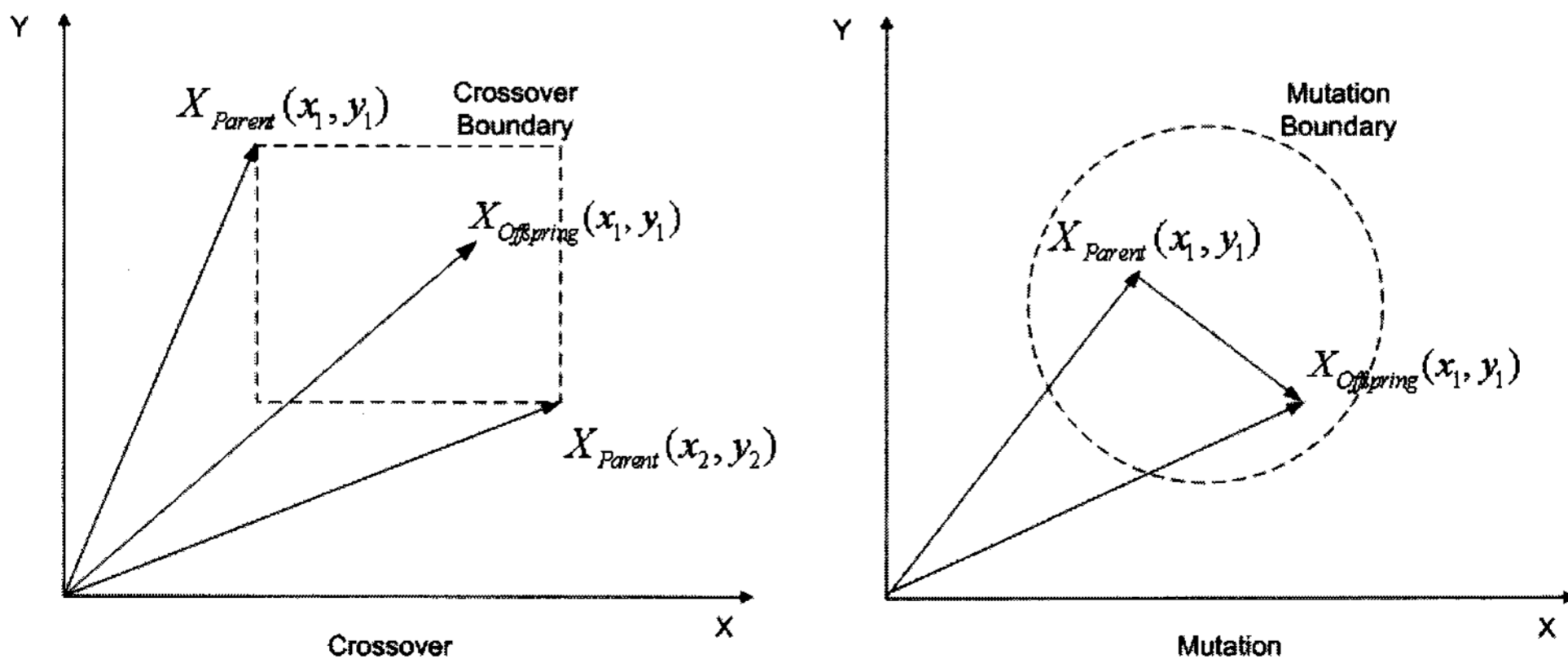


그림 5. 유전 알고리즘의 교차와 돌연변이 연산 과정
 Fig. 5. Crossover and mutation calculation processing of genetic algorithm.

연산 과정을 보인다.

III. CR 기반 MB-OFDM UWB 시스템 설계

UWB 시스템은 128개의 부 반송파로 이루어져 있으므로 만약 전파를 송출하면 안 되는 대역이 존재하는 경우, 그 대역에 해당하는 부반송파의 출력을 차단하고 타 시스템에 방해를 주지 않을 수 있다. 타 시스템의 사용 대역을 피하기 위해 사용 주파수 대역에 노치(notch)를 발생시키는 것이다. 주파수 영역에서 노치를 발생시키는 가장 일반적인 기법이 송출 금지 대역과 중첩되는 부 반송파를 제거(zero out)시키는 것이다. 이 기법의 장점은 송신기의 복잡도를 증가시키지 않는다는 점이다^[15].

그림 6에는 근거리 초광대역 무선 통신 주파수로 제안한 국내 UWB 주파수 분배를 보인다. 각 주파수 대역은 약 528 MHz의 대역폭을 가지며, 전파 송출 금지 대역을 찾아내는 방법으로 간섭 온도를 이용한 CR 기술을 적용한다. 인지 엔진의 연산 과정에 GA를 사용한다. 간섭 온도가 가장 높은 주파수 대역을 찾아 그 지점의 전파 송출을 막거나 TFI 패턴을 다시 설정한다. 표 3에는 시스템의 PHY 계층에서 노브로 사용할 변수를 나타내었다.

제안한 CR 기반 MB-OFDM UWB 시스템 송신기의 채널 용량을 계산하기 위해 GA의 연산 과정에 사용되는 염색체에 해당하는 노브를 P_R , B_R , f_R 로 정하고 시스템의 채널 용량에 관한 식을 유도한다. 식 (11)에서 $P = \frac{1}{B} \int_0^B S(f)df$ 이므로 사용자 신

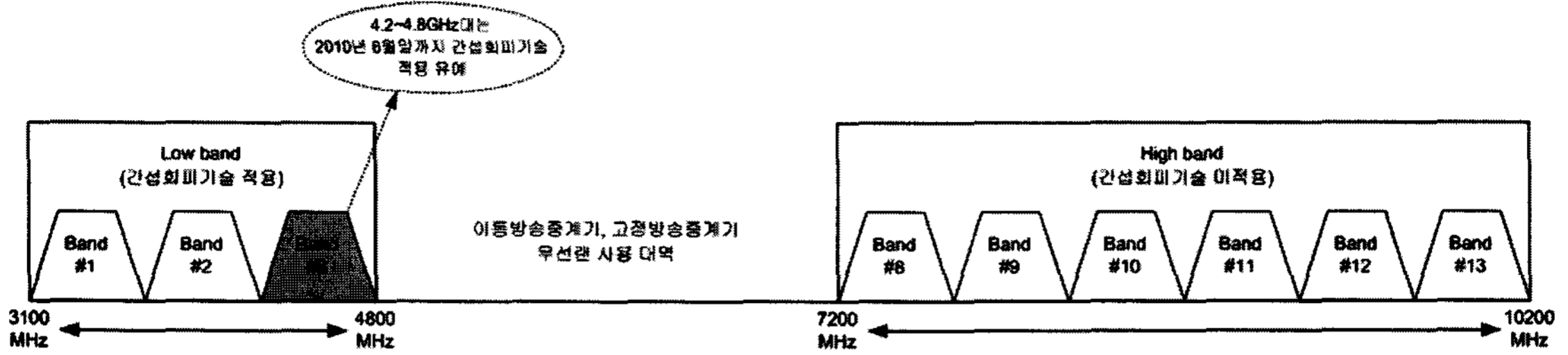


그림 6. 국내 UWB 주파수 할당
Fig. 6. Domestic UWB frequency allocation.

표 3. PHY 계층에서 사용할 노브
Table 3. Knobs for PHY layer.

기호	의미
P_R	사용자 신호의 전력
B_R	사용자 신호의 대역폭
T_R	사용자 신호의 온도
f_R	사용자 신호 반송파의 중심 주파수
b	유전 알고리즘 변이율 조정 변수

의 대역폭과 전송 전력, TFI 코드에 따른 사용 주파수 대역 재설정을 결정하여 신호의 전송을 제어한다. 다른 사용자의 수신단의 위치가 정해져 있는 것이 아니므로 다른 사용자의 수신 단이 아닌 사용자의 송신 단에서 간섭 온도 측정이 이루어지는 것으로 한다.

그림 6의 국내 UWB 주파수 분배안에 따르면 대역 내에 존재하는 간섭 신호는 UWB 신호이므로 FCC에서 제안한 CR 기술처럼 면허 사용자를 완벽

호의 온도는 식 (16)과 같이 된다.

$$T_R(f_R, B_R) = \frac{1}{B_R^k} P_R \quad (16)$$

시스템의 채널 용량 함수는 식 (12)로부터 식 (17)과 같이 된다.

$$C(T_R, f_R, B_R) = B \log_2 \left(1 + \frac{L(T_R(f_R, B_R) - T(f_C, B))}{MT_I(f_C, B)} \right) \quad (17)$$

제안한 시스템의 최적의 채널 용량을 계산하기 위해 식 (17)을 이용하여 GA 연산 과정에 사용되는 식 (18)과 같이 표현한다.

$$C_{\max} = C^i(T_R^i, f_R^i, B_R^i) \quad 1 \leq i \leq 50 \quad (18)$$

여기서, i 는 세대 수를 의미한다. 채널 용량이 최대가 되는 T_R^i, B_R^i, f_R^i 의 값을 가지고 타 통신 시스템과 사용 주파수 대역이 겹치는 것을 회피할 수 있다. 그림 7은 인지 엔진에 사용되는 GA 연산의 순서도이다. 그림 8은 제안한 CR 기반 MB-OFDM UWB 시스템의 블록도를 나타낸 것이다. 제안한 시스템에서는 무선 인지 기술을 이용하여 간섭 온도를 측정한다. 인지 엔진이 간섭 온도에 따라 사용자 시스템

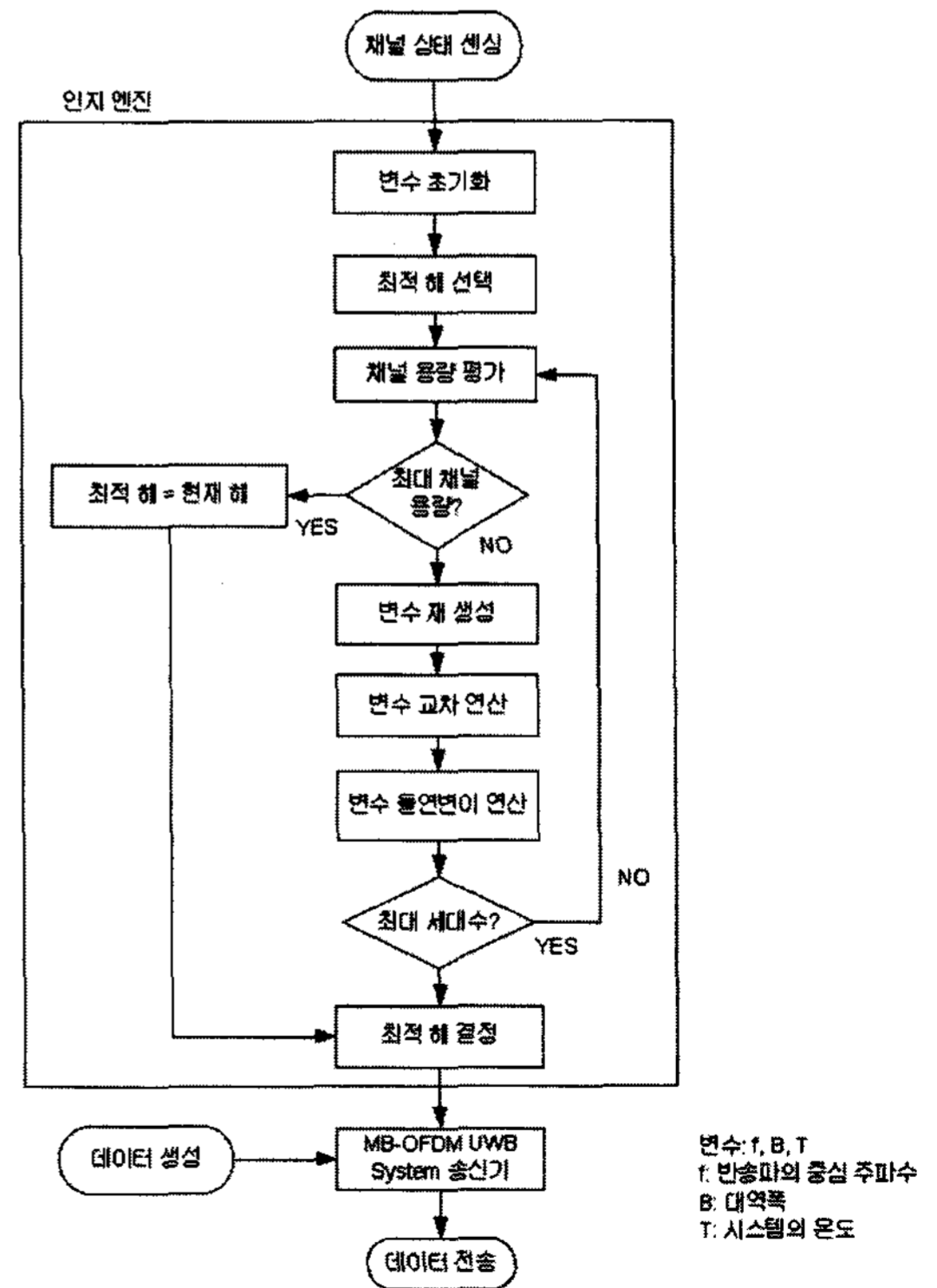


그림 7. 유전 알고리즘 연산 순서도
Fig. 7. Operation flow chart of genetic algorithm.

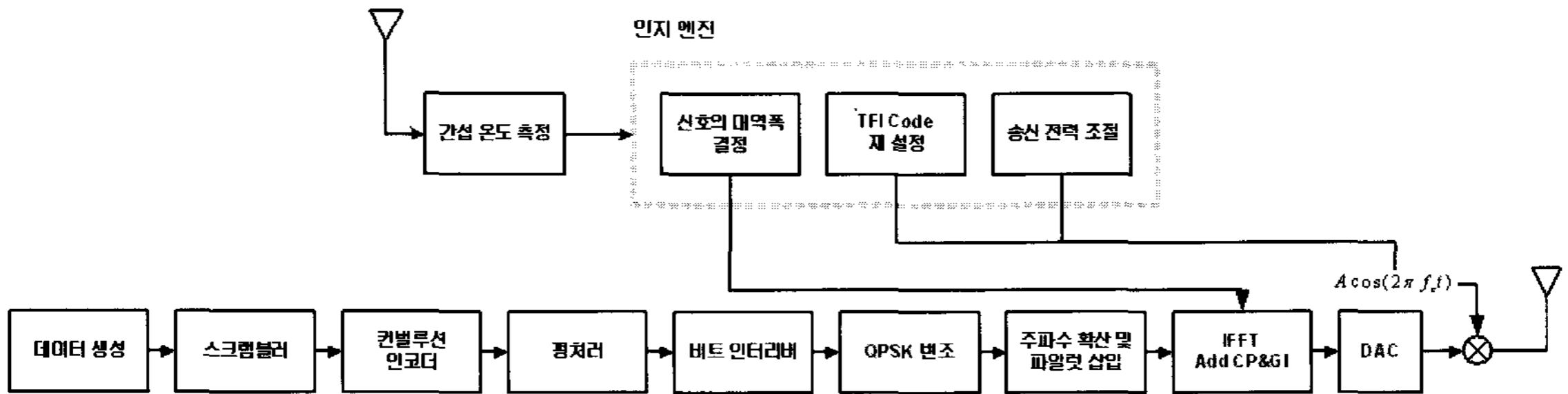


그림 8. 제안한 MB-OFDM UWB 시스템의 송신기 블록도
 Fig. 8. Transmitter block diagram of proposed MB-OFDM UWB system.

하게 보호해야 할 필요는 없다. 사용자의 송신단에서 측정된 간섭 신호의 대역폭에 따라 간섭 회피 기술을 적용한다. 간섭 신호를 찾아내기 위해 주기적으로 테스트 신호를 사용한다. 시스템에서 1개의 부반송파 대역폭이 4.125 MHz이므로 10개의 부반송파의 대역폭은 41.25 MHz가 된다. 사용하지 못하는 부반송파가 10개가 넘으면 시스템의 데이터율이 낮아지므로 인지 엔진은 간섭 신호의 대역폭이 41.25 MHz를 넘지 않는 경우에는 널링 기법을 사용하고, 41.25 MHz를 넘는 경우에는 TFI 코드를 재설정함으로써 간섭 신호를 회피하는 방법을 사용한다.

인지 엔진은 요구되는 데이터율을 얻을 수 있는 경우, 가능한 최소의 신호 전력을 사용하도록 시스템을 제어한다. 이러한 과정은 실시간으로 이루어져야 하므로 상위 계층 프로토콜의 복잡도를 높일 수 있다. 그러나 UWB 시스템 사용자간의 간섭을 피하기 위해서 UWB 시스템에는 간섭 회피 기술이 적용되어야만 한다.

IV. 시뮬레이션 결과

논문에서는 시뮬레이션을 위하여 표 4와 같은 파라미터를 고려하였으며, 간섭 신호 대역폭은 41.25 MHz보다 높은 경우와 낮은 2가지 경우로 가정하였다.

4-1 간섭 신호 대역폭이 41.25 MHz 이상인 경우

그림 9에는 간섭 신호가 있는 경우를 나타내었다. 그림 9(a)의 f_1 은 3.432 GHz, f_2 는 3.960 GHz, f_3 는 4.488 GHz를 나타낸다. 사용자의 UWB 시스템은 {1, 2, 3}의 TFI 코드를 갖게 되므로 A2에 해당하는 데이터는 간섭 신호와 충돌이 발생하게 되어 TFI 코

표 4. 시뮬레이션 파라미터
 Table 4. Simulation parameters.

파라미터	값
데이터율	110 [Mbps]
부호율	11/32
변조방식	BPPM+BPSK
검파방식	Energy detection
채널 코딩	RS / Convolutional Code
주파수 영역 확산	Use
신호 전력	120 [mV]
채널 대역폭	528 [MHz]
채널 모델	S-V channel(CM 2)

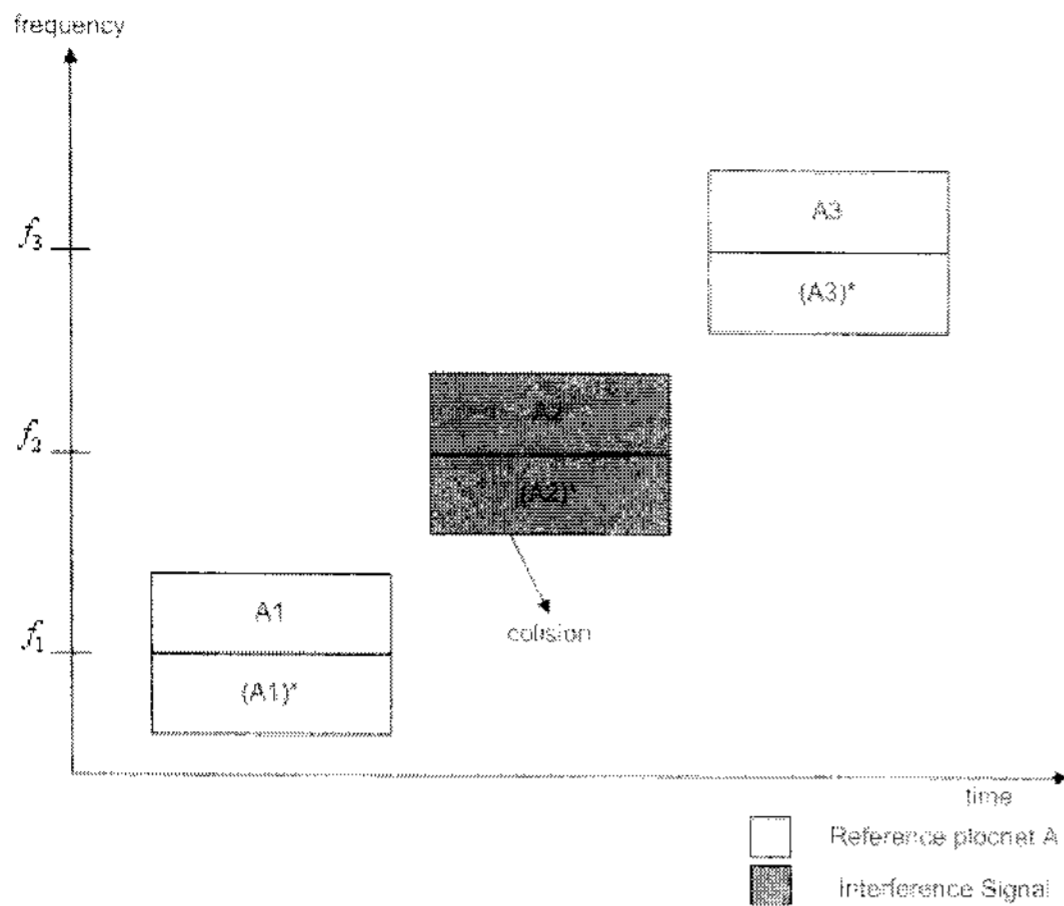
드의 재설정을 필요로 하게 되며, 인지 기술이 간섭 온도를 측정하여 상황에 적합한 TFI 코드를 재설정하게 되며, 이는 각각 그림 9(c) 및 그림 9(d)와 같이 되며, 재설정된 코드는 {1, 3, 3}이 된다.

4-2 간섭 신호 대역폭이 41.25 MHz 미만인 경우

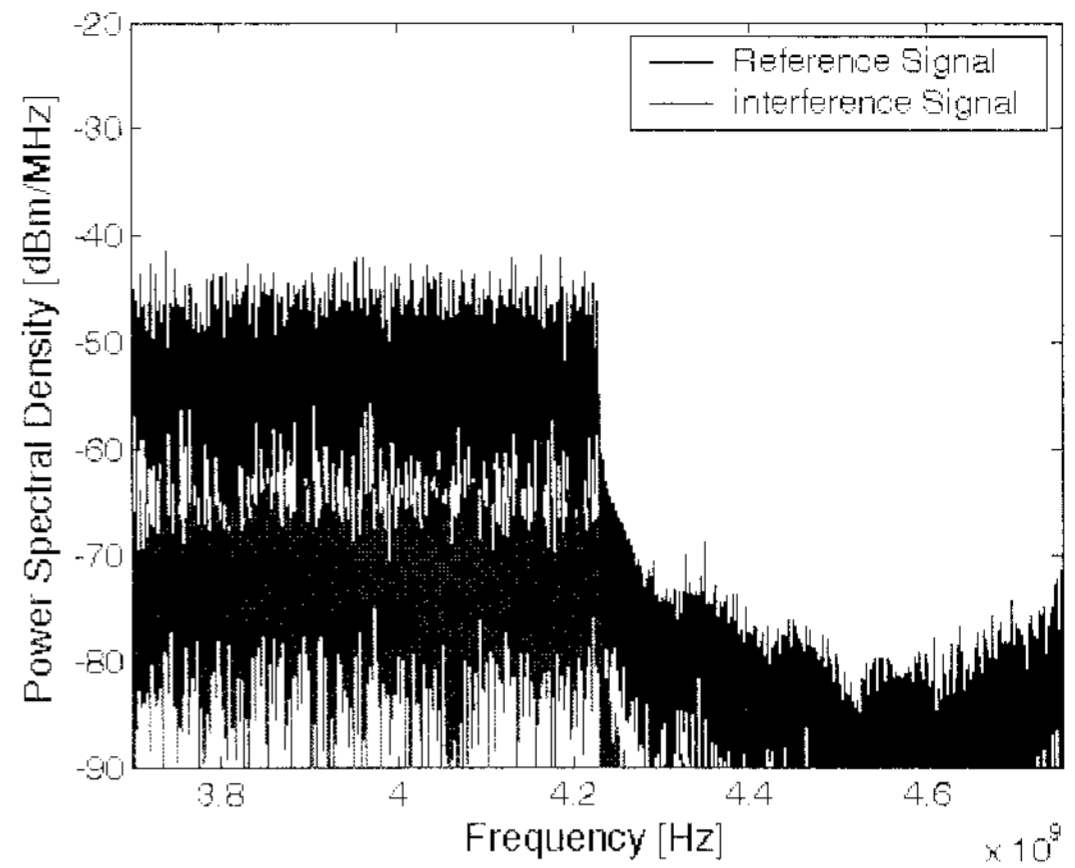
그림 10(a)에는 40 MHz 대역폭을 가지는 간섭 신호가 존재하는 경우를 나타내었으며, 그림 10(b)는 CR 기술에 의한 GA 연산 과정을 수행한 후 얻어진 결과를 보인다.

널링할 주파수 대역을 찾기 위해 10개의 부반송파로 구성된 테스트 신호를 사용하여 간섭 온도가 가장 높은 주파수 대역을 찾는 것으로, 인지 엔진이 10개의 부반송파로 구성된 신호를 사용하여 간섭 상황을 인지한 후, CR 기술을 사용하여 비워두어야 할 주파수 대역을 결정한 후 신호를 전송한다.

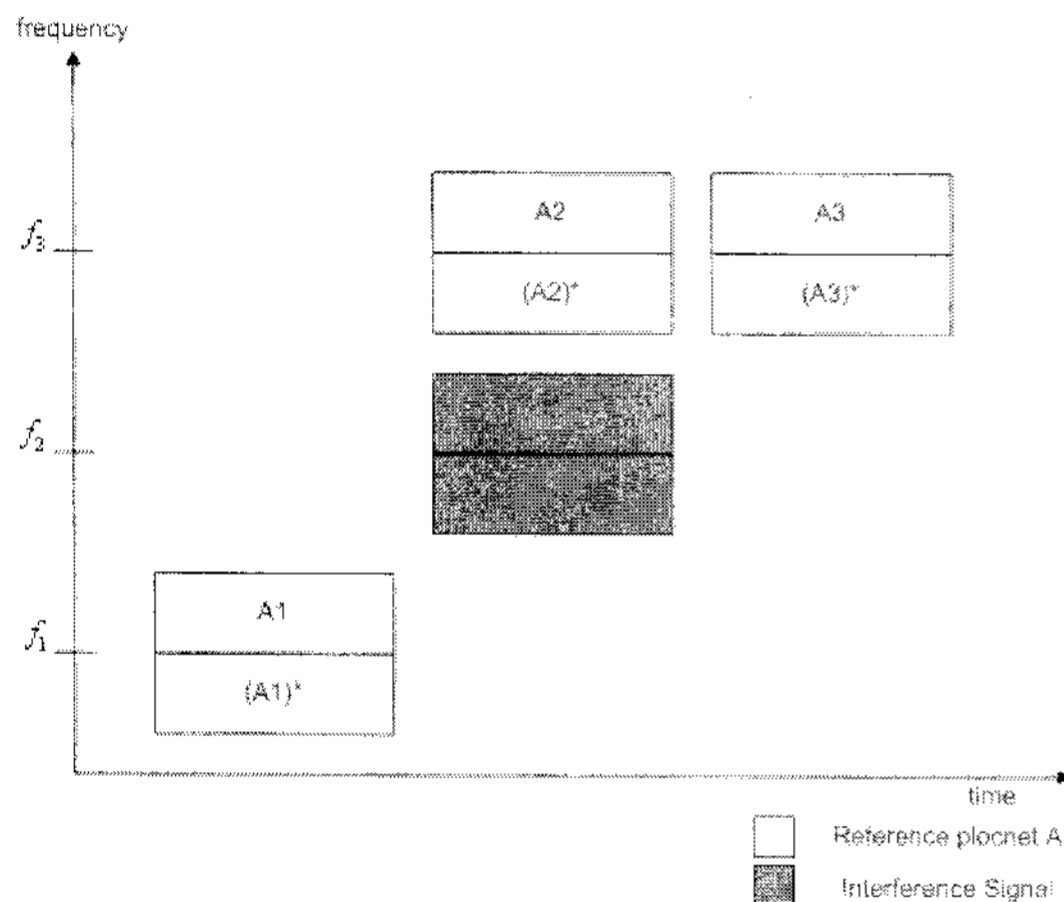
그림 11은 41.25 MHz 이상인 경우의 인지 엔진에 의하여 수행된 GA의 연산에 대한 채널 용량을 나타



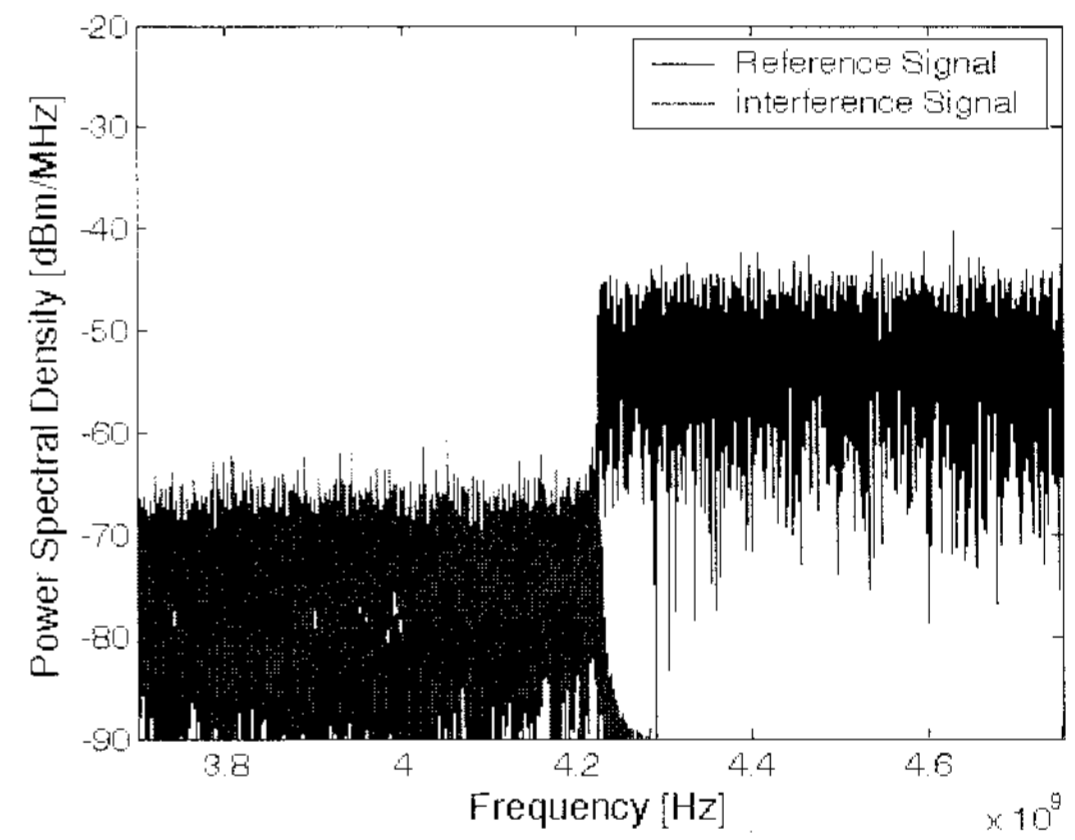
(a) UWB 시스템의 TFI 코드
(a) TFI code of UWB system



(b) 간섭 존재
(b) Interference existence



(c) 변경된 TFI 코드
(c) Modified TFI code



(d) 간섭 회피
(d) Interference avoidance

그림 9. UWB 신호간의 간섭 상황 및 간섭 회피
Fig. 9. Interference conditions and avoidance among UWB signals.

낸 것이다. 그림에서처럼 GA는 전역적인 초기값을 가지고 연산을 수행함으로써 최적값을 찾는 연산 횟수가 5 정도로 경감됨을 알 수 있다.

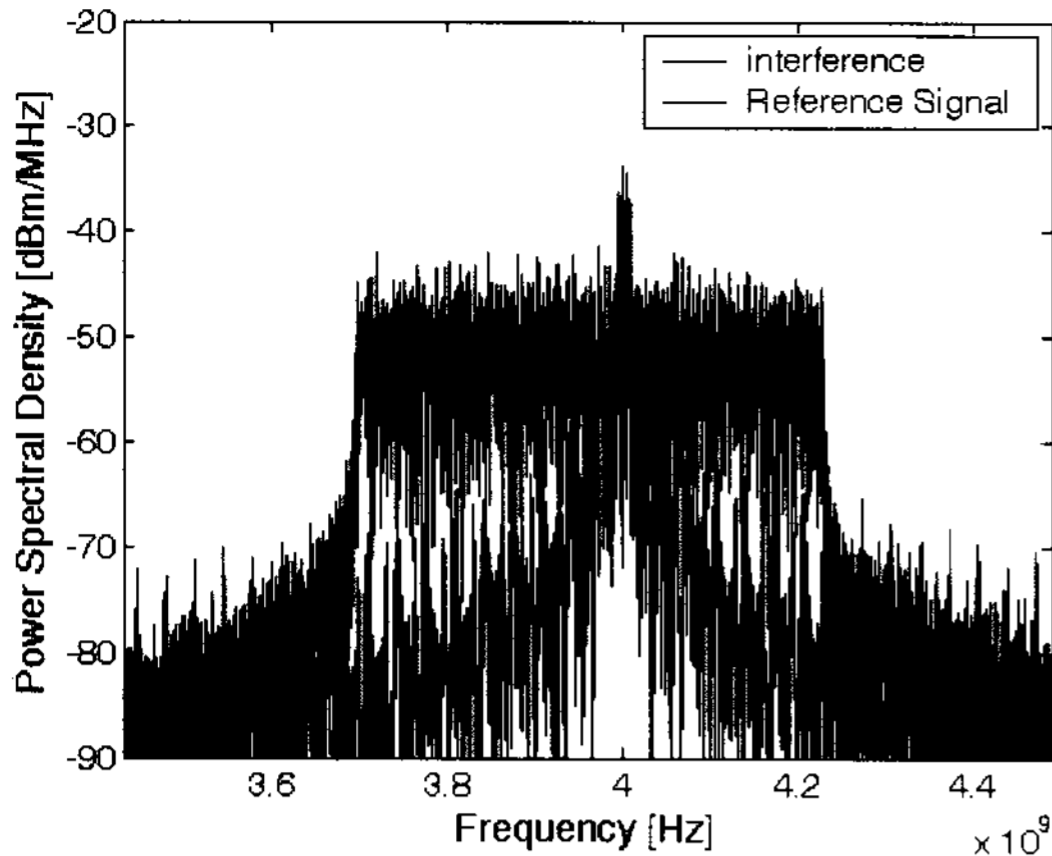
그림 12는 GA 연산 횟수에 따른 간섭 온도를 보이는 것으로, 간섭 신호의 대역폭이 41.25 MHz보다 낮은 경우에는 간섭 온도가 메터로 쓰였으며, 연산 횟수 3 이후의 연산 결과는 동일함을 알 수 있다.

V. 결 론

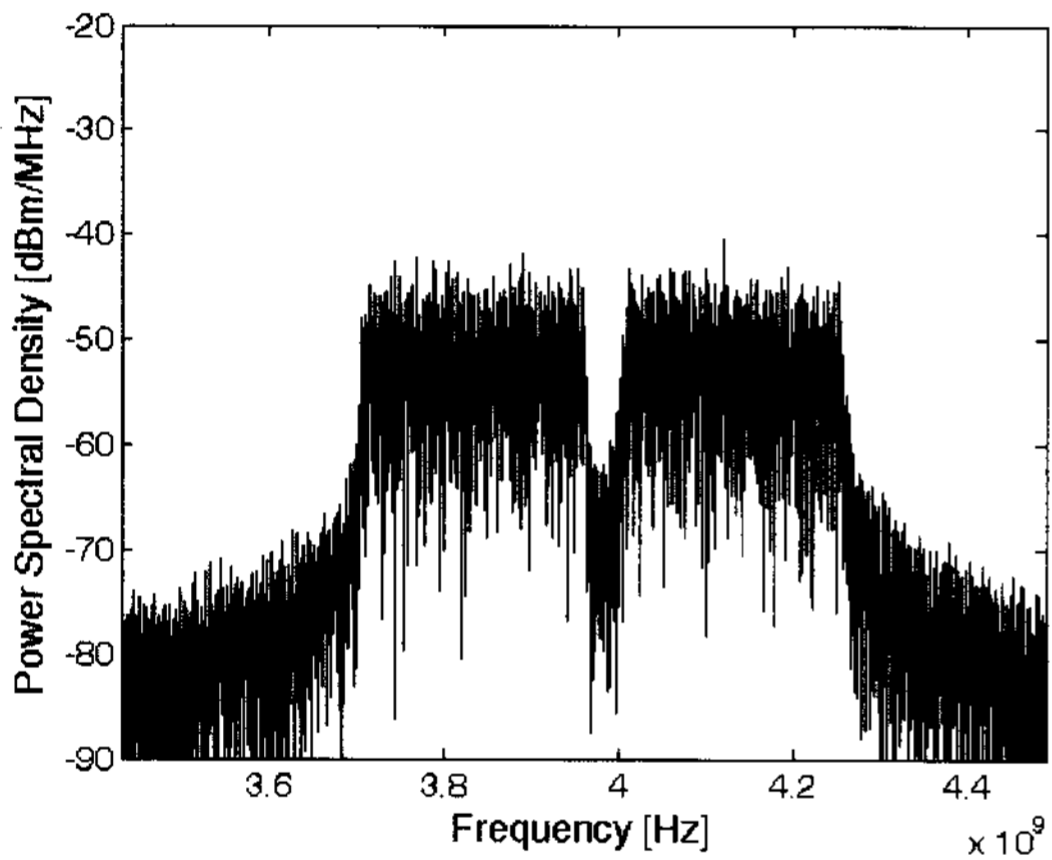
실내 무선용으로 사용되는 UWB의 특성상 타 시스템(WiMAX, 4G, WLAN 등)과의 간섭이 발생할 수

있다. 국내 UWB 송신 스펙트럼 마스크(안)에서는 DAA를 적용함으로써 WiMAX 및 4G 시스템에 있어 거의 간섭의 영향이 미치지 않음을 여러 문헌 및 보고서를 통해 검증되고 있다. 또한, WLAN과 UWB는 주파수 공유가 불가하므로 WLAN 주파수 대역에서는 UWB 출력을 충분히 제한토록 하고 있다.

본 논문에서는 UWB 시스템의 간섭 회피 기술로 간섭 온도 모델을 이용한 CR 기술을 사용하였다. 인지 엔진의 연산 알고리즘으로는 GA를 사용하였다. 이로 인해 기존 방식과 비교해서 최적 값을 찾기 위한 연산량을 경감시킬 수 있었다. 예로, 그림 11과



(a) 간섭파 존재
(a) Interference wave existence



(b) 간섭파 회피
(b) Interference wave avoidance

그림 10. 간섭 회피를 위한 널링
Fig. 10. Nulling for interference avoidance.

같은 간섭 상황에서 GA를 사용한 경우에는 최적 값을 찾기 위한 연산량이 5회에 불과한 반면, 기존 hill climbing 알고리즘을 사용하는 경우에는 최소 100회 이상의 연산이 필요하게 된다. 이는 CR 기술 사용에 따른 시스템의 속도 저하를 개선할 수 있음으로 인하여 타 시스템과의 간섭 문제를 개선시킬 수 있다. 또한, CR 기반 MB-OFDM UWB 시스템은 펄스 전송 방식으로 저전력, 저비용, 낮은 복잡도, 저간섭, 고속 전송, 높은 레인징 능력과 같은 장점을 가지게 된다.

참 고 문 헌

[1] "유비쿼터스 시대를 대비한 주파수 공유 기술의

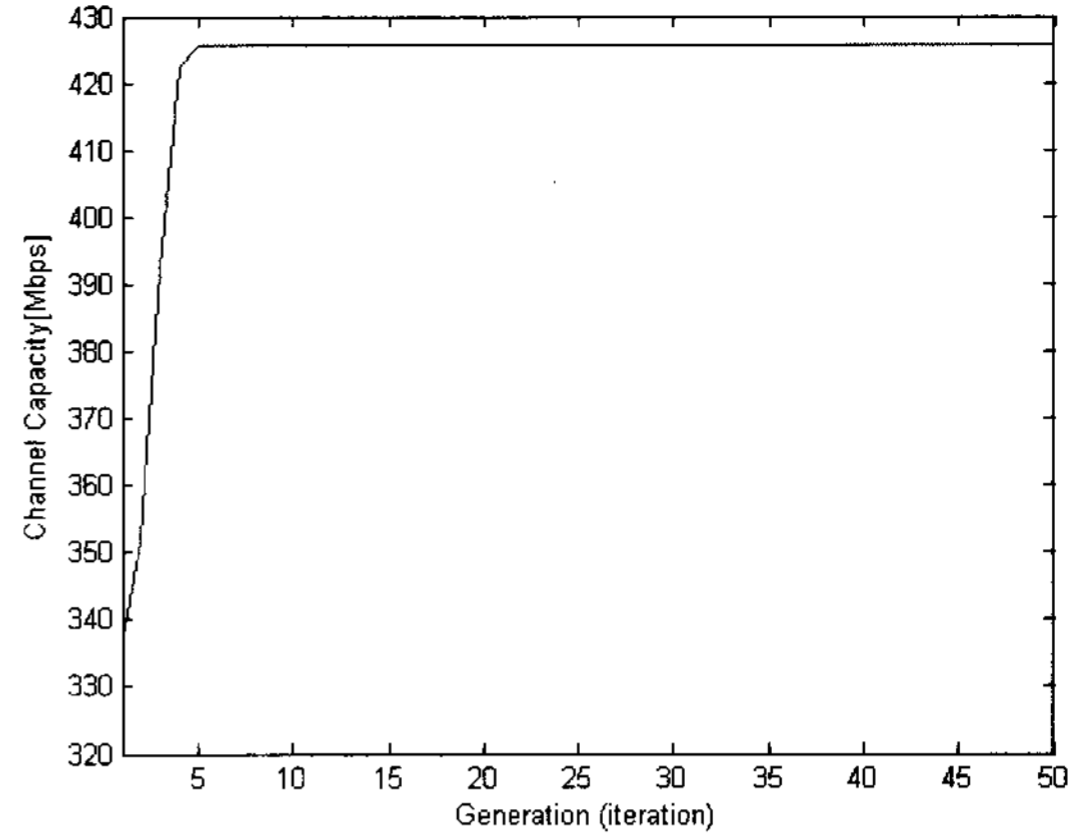


그림 11. GA 연산 횟수에 따른 채널 용량
Fig. 11. Channel capacitance by iteration of genetic algorithm.

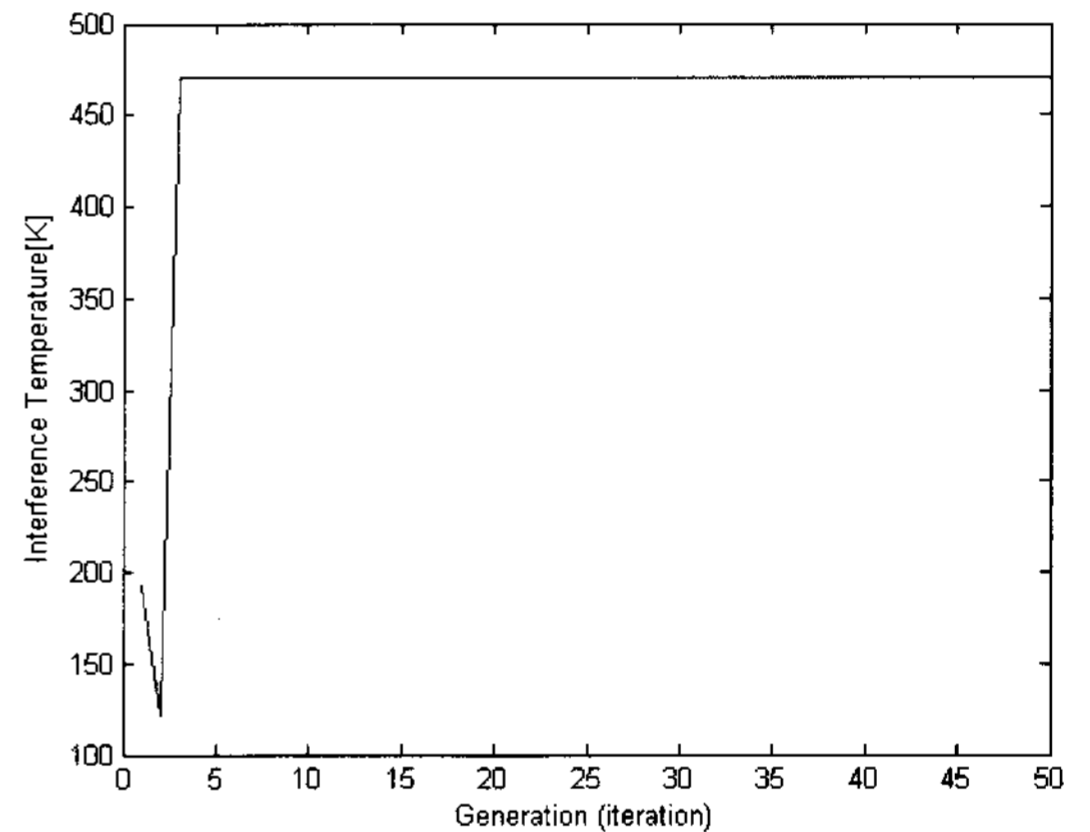


그림 12. GA 연산 횟수에 따른 간섭 온도
Fig. 12. Interference temperature by iteration of genetic algorithm.

발전 방향 및 시사점", 전자통신동향분석, 21(2), 2006년 4월.

[2] 윤두영, "UWB 기술 개요 및 주파수 정책 동향", 정보통신정책, 18(3), 통권 397호, 2006년.
[3] FCC, "Spectrum policy task force", *Rep. ET Docket*, no. 02-135, Nov. 2002.
[4] J. Mittra III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", *IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications*, pp. 3-10, Nov. 1999.
[5] S. Haykin, "Cognitive radio; Brain-empowered wireless communication", *IEEE J. Sel. Areas Communi-*

- ications, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [6] Anuj Batra et al., Texas Instruments et al., "Multi-band OFDM physical layer proposal for IEEE-802.15 TG 3a", *IEEE P802.15-03/267r3*, Mar. 2004.
- [7] RAPA, 고속 UWB 표준화 동향 분석 보고서; UWB 주파수 이용 방안 연구, 2005년 12월.
- [8] ECMA, *High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard*, ECMA-368, 2nd Edition, Dec. 2007.
- [9] Arslan, Zhi Ning Cheng, *Ultra Wideband Wireless Communication*, WILEY, 2006.
- [10] T. Clandy, "Formalizing the interference temperature model", *Wiley Wireless Communications and Mobile Computing*, 2006.
- [11] Bernard Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice Hall PTR, 2002.
- [12] *Cognitive Radio Technology*, Fette, Newnes 2006.
- [13] T. W. Rondeau, C. J. Rieser, B. Le, and C. W. Bostian, "Cognitive radio with genetic algorithms: intelligent control of software defined radios", *SDR Forum Technical Conference, Phoenix*, pp. C-3-C-8, 2004.
- [14] C. R. Houck A, "Genetic algorithm for function optimization a matlab implementation", *Gaot Ver. 5*, <http://www.ise.ncsu.edu/mirage/GAToolBox/gaot/>, 1996.
- [15] Anuj Batra, "고속 초광대역 통신용으로 멀티밴드 OFDM이 DS 방식보다 나은 이유", 반도체네트워킹, 1996년 5월.

성 태 경



1996년 2월: 동의대학교 전자통신 공학과 (공학사)
 1999년 2월: 동의대학교 전자공학과 (공학석사)
 2005년 8월: 한국해양대학교 전파 공학과 (공학박사)
 2001년 3월~2002년 7월: 탐시스템

(주) 연구원

2002년 7월~2004년 2월: 동의대학교 전자세라믹스 센터 선임연구원

2006년 6월~현재: 인하대학교 UWB-ITRC 전임연구원

[주 관심분야] UWB, WPAN, CR, OFDM

조 형 래



1982년 2월: 광운대학교 응용전자 공학과 (공학사)
 1984년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 2002년 4월~현재: 한국해양대학교

전파공학과 교수

[주 관심분야] OFDM, UWB, Spread-Spectrum

원 영 수



2002년 2월: 한국해양대학교 전파 공학과 (공학박사)
 1976년 3월~1994년 10월: KBS 한국방송 근무
 1994년 10월~2007년 5월: KNN 부산방송 기술국장/뉴미디어정보센터장/연구소장 역임

2007년 3월~현재: 동아대학교 공과대학 전자공학과 겸임 교수

2007년 5월~현재: (주)한그린텍 전무이사/연구소장

[주 관심분야] 전자파환경, 지상파 방송 안테나, 전파전파, RF회로설계, RFID/USN