MB-OFDM에서 충돌회피를 위한 결정궤환방식의 간섭신호 검출 기법

오우진*

Detection algorithm for DAA using Decision Directed method in MB-OFDM

Woojin Oh*

본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임

요 약

MB-OFDM(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역을 사용하는 초 광대역 통신으로 기존 통신 시스템과 공존하기 위해서 검출 및 회피 기법인 DAA(Detect-And-Avoid)을 사용하는 것이 요구되고 있다. 본 논문에서는 DAA를 위한 간섭신호 검출 방식으로 결정궤환 방식을 제안하여 기존의 방법에 비하여 수렴 속도가 빠르고 간단히 구현할 수 있는 특징을 갖고 있다. 제안된 방식은 AWGN(Additive White Gaussian Noise), 및 LOS(Line-Of-Sight)채널에서는 -20dB의 간섭까지 검출하는 우수한 성능을 보이고 있다. 또한 비 LOS 채널에서는 적절한 채널 클리핑을 통하여 AWGN 채널에 근사한 성능을 제시하였다.

ABSTRACT

Since the MB-OFDM(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is an ultra wideband communication system operated on ISM(Industrial, Scientific and Medical) band, DAA(Detect-And-Avoid) is required for co-existence with the other communication service. In this paper we propose the new detection algorithm based on decision-feedback, which shows faster convergence time and less complexity than previous works. The proposed algorithm detects interference above -20dB in AWGN(Additive White Gaussian Noise) and LOS(Line-Of-Sight) channel, and close to AWGN in non-LOS channel under appropriate channel clipping.

키워드

MB-OFDM, 충돌회피, 초광대역통신, 결정궤환

Key word

MB-OFDM, DAA, UWB, Decision-feedback

* 정회원 : 금오공과대학교 (교신저자, wjoh@kumoh.ac.kr)

접수일자 : 2011. 01. 17
심사완료일자 : 2011. 01. 28

Ⅰ. 서 론

초광대역 (UWB: Ultra Wide Band) 통신은 3.1-10.6GHz대역에서 다른 시스템과 공존(coexistence)하여 사용되는 통신 방식이다. 세계 각국에서는 기존 시스템에 영향을 주지 않도록 이 대역에서 spectral mask를 규정하고, WiMax, 4G 이동통신, 레이더, 방송장비 등의 다른 서비스가 존재하는지 감지하여 회피하는 DAA(Detect- And-Avoid)기법을 사용할 것을 권장하고 있다. MB-OFDM(Multi-Band OFDM)은 UWB 통신방식의 하나로 WiMedia Alliance에서 연구되고 있으며, 특히 Tiger group에서 DAA를 주도적으로 연구하고 있으며 기본적인 절차는 다음과 같다 [1]-[4].

다른 시스템이 공존하는지 판단하기 위하여
1) 상향신호(Up Link)를 검출(Detect)
2) 이격거리를 추정
3) 이격거리가 일정 수준이상인 경우에는 통상의 UWB를 그대로 사용
4) 근거리에 존재하는 경우에는 다른 시스템의 서비스를 보호하기 위하여 회피(Avoidance)기법적용

상향신호를 검출하는 DAA기법은 구현이 간단하나 간섭원이 송신을 하지 않는 대기상태에는 검출이 어려운 단점이 있다. 최근에는 하향신호(Down Link)를 검출하는 기법을 적용할 것을 제안하고 있으나, 복잡한 검출부가 필요한 단점이 있다. 다른 방법으로 UWB의 송신 시 일정한 silent period를 두어 충돌 방지를 제안하고 있으나 데이터 전송률이 저하되는 단점이 있다.

본 논문에서는 하향 간섭신호의 검출을 위하여 블라인드 등화기(Blind equalizer)의 결정궤환(Decision Directed)에 기반하여 오차신호를 관찰하여 간섭원의 존재 유무를 검출하는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 II장에서 MB-OFDM의 특징 및 요구되는 DAA 방식을 살펴보고 III장에서 제안된 방식을 설명하겠다. 그리고 IV, V장에서 시뮬레이션 결과 및 결론을 제시하겠다.

Ⅱ. MB-OFDM UWB 시스템

2.1. MB-OFDM UWB 개요[1]

MB-OFDM 시스템은 점유 대역폭이 528MHz이며 3.1~10.6GHz 대역을 그림 1과 같이 14개 밴드(band)로 분할하여 채널을 할당하였다. 3개의 밴드씩 그룹화하여 BG(Band Group)라 하며, 각 나라별 전파환경 등에 따라 선택적으로 사용되고 있다. BG단위로 할당된 3개의 밴드를 10개의 TFC(Time FrequencyCode)로 구분된 preamble pattern을 사용하여 마치 10개의 논리채널로 동작하도록 되어있다.

OFDM변조는 길이 128의 FFT를 사용하여 4.125MHz 부반송파 대역폭, 0.3125us 심볼간격과 100/12/10개의 data/pilot/guard 부반송파를 갖도록 변조한다. 패킷구조는 물리계층 프리앰블과 헤더 및 데이터 부로 구성되어 있다. 프리앰블 부분은 24심볼의 패킷/프레임 동기시퀀스와 6심볼의 채널추정 시퀀스로 구성되어 있으며, 각 시퀀스는 각각 동일한 심볼을 순번, TFC 등에 따라 정해진 패턴으로 위상을 반전하도록 구성되어있다.

FCC 및 각 나라별로 제시된 허용 전계강도는 그림 2와 같으며 전파환경에 따라 약간의 차이가 있지만 거의 유사한 형태이다. UWB 대역내에 사용될 WiMax, 4G등의 주파수에서는 -75~ -85dBmdBm/MHz으로 제한할 것을 요구하고 있다.

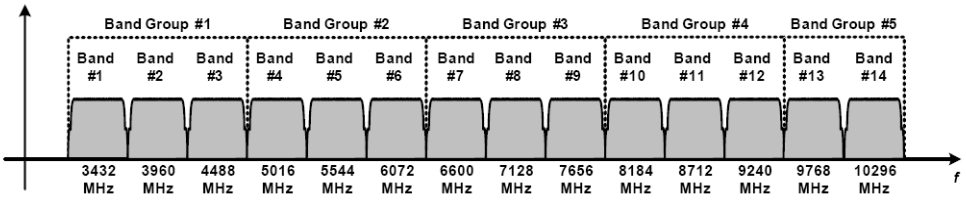
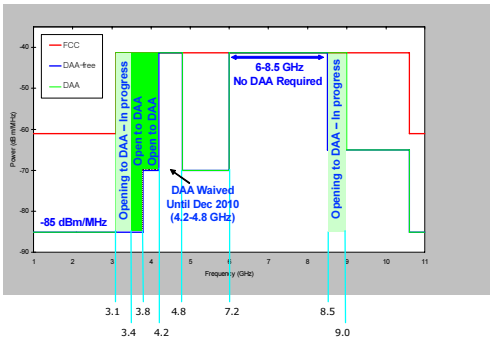
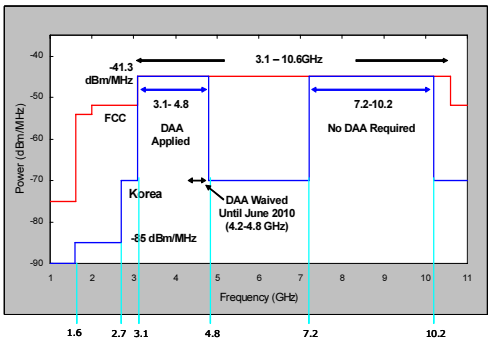


그림 1. MB-OFDM 밴드
Fig. 1. MB-OFDM band

이 송신전력으로는 UWB를 고속통신에 사용하기 어려우므로 다른 신호의 존재유무를 검출하고, 회피하는 DAA가 많이 연구 중이다. [2]



(a)



(b)

그림 2. UWB 허용 전계강도
(a) 미국 및 유럽 (b) 한국
Fig. 2. UWB Spectrum Mask
(a) USA and Europe, (b) Korea

국내에서는 UWB대역으로 3.1~4.8GHz(Low Band)와 7.2~10.2GHz(High Band) 2개 대역으로 정하였으며, 저주파수대는 기존의 서비스 및 4G와 간섭을 고려하여 DAA를 적용한 UWB시스템만이 사용가능하며 허용출력은 -41.3dBm/MHz로 설정하였다. 단 4.2~4.8GHz 대역은 2010년 하반기까지는 DAA적용을 유예한 바가 있다[7].

UWB 사용대역인 3.1~10.6GHz에서의 국내외 주파수 환경을 살펴보면, 방송과 통신사업자를 위한 M/W중계, 아마추어 무선시스템, 항공 및 우주관련 주파수, 기상레이더, 항공레이더 및 비콘, 소출력 무선랜 등 다양하게 할당되어 있다[7].

표 1. 회피방식의 비교
Table 1. Comparison of avoidance techniques

Parameter	설명	장점	단점
Band Nulling	Band 제거	간단, 우수한 회피성능	528MHz 대역 낭비
SC Nulling	SC를 제거	간단	낮은 감쇄 (-15~22dB)
SC Nulling with Windowing	SC 제거 및 windowing	-25dB까지 개선	WiMedia 송신표준 위배
AIC	SC에 선형연산 및 추가 데이터	우수한 성능 (-up to 40dB)	계산량 증가(역행렬 연산)
Notch Filter	직접 filter 적용	-30dB정도의 적절한 성능	필터 길이에 따른 계산량

국내에서는 이 대역에서 방송중계 시스템을 많이 사용하고 있으나, WRC-07 (World Radio Conference 2007) 권고에 따'라 방송용 주파수를 변경하고 4G 서비스를 시행할 예정이므로 고려하지 않아도 된다. 해외에서는 WiMax에 대하여 가장 심도있게 연구 중에 있으며, 본 연구에서도 WiMax를 간섭원으로 설정하였다.

2.2. DAA기법 [2]

MB-OFDM에서 간섭검출은 프리앰블구간에서 패킷검출, 주파수오차 보정, 채널보정이 완료된 후에 수행된다. 프리앰블은 대부분의 경우 미리 약속된 신호로 구성되어 있으므로 작은 간섭에 대해서도 쉽게 검출이 가능한 장점이 있다. 간섭의 판정은 부반송파 별로 a) 수신전력의 비, b) 프리앰블 구간에서 알고 있는 신호와 비교, c) 최대전력값의 인덱스 검출 등의 방법이 있다. 특정 주파수의 수신 전력 Pr(k)와 다른 대역의 신호 Pr(A)가 주어질 때 다음과 같이 적을 수 있다.

$$a) \quad \frac{P_r(\omega_k)}{P_r(\omega_A)} > Th \qquad (1)$$
$$b) \quad |C(\omega)P_r(\omega) - P_{pre}(\omega)| > Th$$
$$c) \quad k_{\max} = \arg max\, C(\omega)P_r(\omega)$$

여기서 k는 k번째 부반송파이며, A는 나머지 대역이며, C(•)는 채널보상 값이다. 이러한 방법들은 공통적으로 수신된 간섭신호가 원하는 신호보다 큰, SIR>0dB

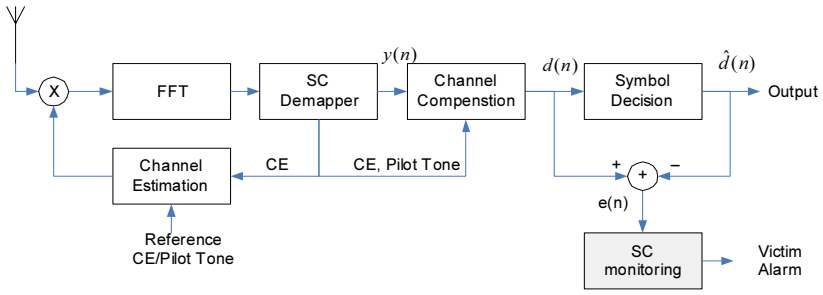


그림 3. 제안된 간섭원 검출방식을 적용한 MB-OFDM 수신기
Fig. 3. The MB-OFDM receiver with the proposed detection algorithm

일 때만 사용이 가능하다. 그러나 DAA의 효율성을 위해서는 원 신호보다 작은 간섭인 하향신호의 검출도 필요하다.

논문 [4]에서는 하향신호를 검출은 간섭제거 기법을 응용한 결정궤환 제거(Decision Feedback Cancellation) 방식을 제안하였다. 이 방식은 미약신호까지 검출할 수 있어 상향신호와 하향신호 모두에 적용이 가능하지만 복잡도가 증가하며, 고속모드에서 사용되는 DCM(Dual Carrier Modulation)에서는 적용할 수 없는 단점이 있다.

간섭원이 검출된 후에는 간섭신호의 세기, 즉 이격거리에 따라 표 1과 같은 회피기법을 적용하게 되며 이를 DAA라 한다.

Ⅲ. 제안된 간섭신호 검출 기법

본 논문에서는 논문 [4]에서와 유사한 결정궤환을 적용하지만 그림 3과 같은 하향신호 검출 기법을 제안한다. 이 방식은 n번째 수신심볼 $d_i(n)$과 최종 판정된 $\hat{d}_i(n)$의 차 신호를 이용하여 간섭을 추정하는 것이다.

$$e_i(n) = d_i(n) - \hat{d}_i(n) \tag{2}$$

여기서 i는 부반송파 번호이이며, 오차 $e_i(n)$ 는 블라인드 등화기의 결정궤환과 동일하며, 다만 궤환에 의한 등화기능이 없으므로 E[e(n)]이 0으로 수렴되지 않을 것이다. 그러나 MB-OFDM에서는 프리앰블 시퀀스와 파일롯 캐리어에 의하여 채널 보상이 이루어지므로 간섭이 없는 경우에는 등화기처럼 0으로 수렴될 것이다.

$\hat{d}_i(n)$에 오류가 없다면 $e_i(n)$은 AWGN 성분, 채널특성, 간섭신호 v(n)로 구성될 것이다. 채널 보상이 적절하게 이루어 졌다면, AWGN 성분은 zero-mean이므로 E[e(n)]=0이 되어 v(n) 신호를 구할 수 있게 된다.

MB-OFDM은 간섭 신호에 비해 초광대역이므로 대부분의 간섭신호는 협대역으로 나타나게 된다. 즉 MB-OFDM는 부반송파 간격은 4.125MHz 이므로 간섭원인 협대역 신호는 2~4개의 부반송파에 영향을 미치게 될 것이다. 또한 5MHz 대역폭, 심볼당 샘플수 NSYM=256인 WiMax의 한 심볼은 528MHz, NSYM=165의 MB-OFDM에게는 63.84개의 MB-OFDM 심볼동안 존재한다[6]. 따라서 UWB 심볼단위 이내에서 간섭 신호는 심볼전력이 동일하다고 가정할 수 있으므로 시 평균으로 추정이 가능하게 된다.

실제에서는 간섭신호인 WiMax신호는 부분 심볼을 사각 창함수(rectangular window)로 수집되므로 전체 심볼의 주파수 특성을 구할 수 없다. 그러나 이 문제는 긴 관측시간의 신호에 대하여 짧은 구간의 창함수로 전력스펙트럼 밀도 를 예측하는 periodogram과 동일하며 이에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$P_x(f) = \frac{1}{N_0}\left|\sum_{i=1}^{N_0} h(t_i)e^{-j2\pi f t_i}\right|^2 \tag{3}$$

64개의 구간에 대하여 periodogram을 구하면 전력은 랜덤 위상의 영향을 받지만 최종 관찰 대상인 전력은 검출이 가능하게 된다. 본 연구에서는 최종 전력의 상대크

기를 구하기 위하여 $E[e(n)]$ 대신에, $E\left[|e(n)|^2\right]$ 을 다음과 같이 추정하여 사용하였다.

$$E\left[|e_{sc}(N)|^2\right] \cong \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}|e_{sc}(n)|^2 P_{SC}(N) \quad (4)$$

여기서 $P_{sc}(N)$ 은 N번째 심볼에서 sc번째 부 반송파의 오차전력으로 정의했다. 이를 에너지로 다시 적으면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_{SC}(N) &= \sum_{n=1}^{N}|e_{sc}(n)|^2 \\ &= E_{SC}(N-1)+|e_{sc}(n)|^2 \end{aligned} \quad (5)$$

빠른 수렴을 위하여 위 수식에 norm을 적용하면

$$\| e_{sc}(N) \|_p = \left(\sum_{n=1}^{N}|e_{sc}(n)|^p\right)^{\frac{1}{p}} \quad (6)$$

이 된다. 이때 본 연구에서는 정확한 전력 값이 아니라 상대적인 비 이므로 구현을 고려하여 1/p승을 제외하였다. 실제 시뮬레이션을 살펴보면, p=10 이상이면 WiMax이 1~2dB의 SNR인 경우에도 검출이 가능하다. 이는 WiMax가 결정된(deterministic) 신호이므로 가능하다. 만약 p가 커질수록 최대치 검출에 근접하게 되며, 그림 4에 제안된 검출기의 구조를 보였다.

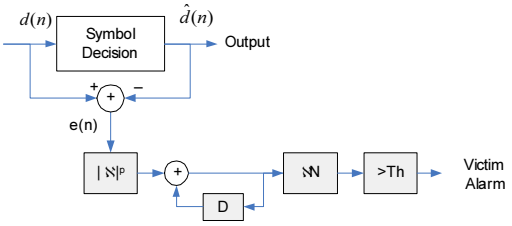


그림. 4. 제안된 간섭 검출기 구조
Fig. 4. The proposed victim detector

제안된 방식은 비교적 간단하면서 -20dB보다 낮은 간섭도 검출할 수 있으며, MB-OFDM 신호의 SNR이 8dB 이상으로 식 (2)의 오차가 정확할 경우, 즉 간섭원의 신호가 AWGN 레벨보다 3dB차이만 있어도 검출이 가능함을 모의 실험을 통하여 확인하였다. 이 결과는 UWB 수신감도를 고려할 때 대부분의 범위를 포함하는 것이다. 만약 MB-OFDM 신호의 신뢰성을 개선하기 위해서 각 부반송파에 대한 채널복호화 된 결과를 적용하는 것도 가능할 것이다.

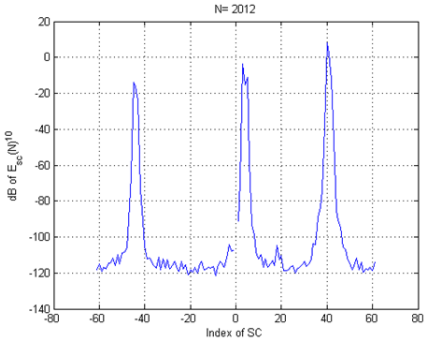


그림 5. AWGN 채널
Fig. 5. AWGN Channel

Ⅳ. 모의 실험

본 연구에서는 간섭원인 WiMax 신호를 대역폭은 5MHz, 중심주파수를 3250MHz, 3449MHz, 3600MHz로 설정하였다. 모의실험은 WiMax와 WiMedia의 MB-OFDM 시스템에 대하여 Matlab으로 모델링하여 수행되었다. 간섭원의 중심주파수는 MB-OFDM의 부 반송파 인덱스 sc는 -44, 4, 41로 환산되며 주어진 전력을 편의상 다음과 같이 표현하였다.

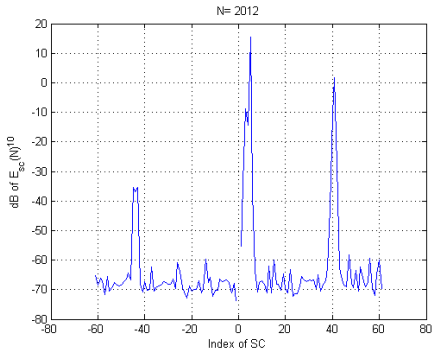
$$SNR_{WiMedia} = \frac{P_{WiMedia}}{P_{AWGN}} \quad (7)$$

$$SIR = \frac{P_{WiMedia}}{P_{WiMax}}$$

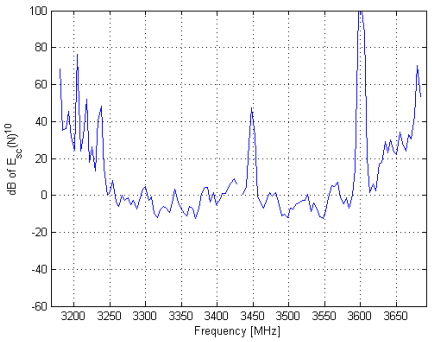
그림 5는 $SNR_{WiMedia}$= 30dB인 이상적인 경우로 간섭원의 특성을 보이기 위함이다. 각 간섭 신호의 SIR은 왼쪽부터 각각 8, 9, 10dB 인 경우에 검출된 WiMedia 신호의 전력이다.

그림 6은 $SNR_{WiMedia}$= 10dB이고 SIR은 10, 5, 0 dB인 경우의 검출 결과이다. (a)는 AWGN 채널에서의 검출 결과이며, (b)는 [8]에서 제시된 CM1 (LOS)인 경우로써 채널 보상의 성능에 따라 영향을 받지만 간섭신호가 검출됨

을 알 수 있다. 여기서 SIR=10dB인 첫 번째 간섭신호는 SNR이 0dB를 의미하는 것으로 WiMax의 최소 요구값이 3dB인 것을 고려하면 통화 불가능한 경우로 검출되지 않아도 무방하다는 것이다. 채널 보상이 정확하지 않은 경우 잔류성분으로 인하여 오차 추정값이 존재하므로 간섭원으로 잘못 인식될 수 있다는 점이다.



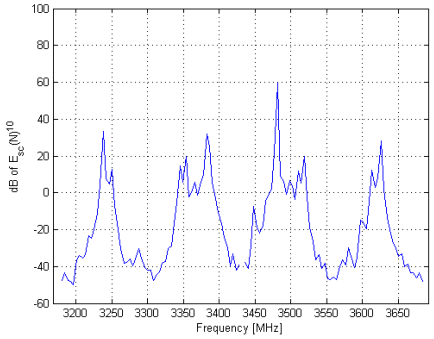
(a)



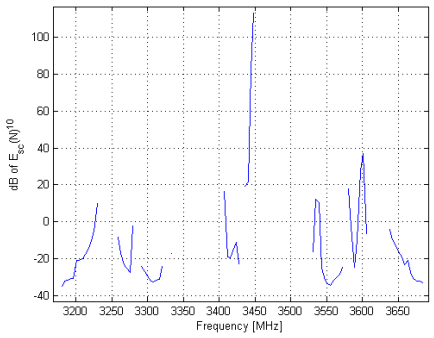
(b)

그림 6. 모의실험 결과 (a) AWGN (b) CM1(LOS)
Fig. 6. Simulation result (a) AWGN (b) CM1(LOS)

그림 7에서는 페이딩이 존재하는 비가시선 채널인 CM2에 대하여 살펴보도록 하겠다. 동일한 간섭원에 대하여 제안된 방법을 그대로 적용한 경우에는 (a)처럼 잘못된 판정을 할 수 있게 된다. 본 연구에서는 부 반송파별로 채널보상 값의 크기가 평균치 대비 2배 이상인 경우 (6dB의 페이딩)에는 이 부 반송파를 제거 하도록 하였다. 제거된 부반송파는 다른 것에 비하여 SNR이 6dB 저하된 것으로 오류로 인한 오차 값이 커지는 것을 방지하는 것이다. 이 부 반송파의 위치에 간섭원이 존재하더라도 이는 최소 SNR 이하가 될 것 이므로 공존에는 문제가 없을 것이다.



(a)



(b)

그림 7 채널보상에서 클리핑의 영향
(a) 채널 클리핑을 안 한 경우 (b) 채널 클리핑을 한 경우
Fig. 7. Clipping effect in channel compensation
(a) without CE clippling (b) with CE clipping

V. 결 론

본 논문에서는 MB-OFDM방식의 UWB 시스템이 간섭원과 공존하기 위해 필요한 DAA에 적합한 간섭원 검출 기법을 제안하였다. 제안된 방식은 결정궤환 방식을 이용하여 데이터 심볼구간에서도 간섭 신호를 검출할 수 있으며, 상향 및 하향신호 검출에 모두 사용이 가능하고 간단히 구현할 수 있는 장점이 있다. 이 방식은 MB-OFDM의 SNR이 9dB이상 유지될 경우 0dB의 간섭원까지 검출할 수 있으며, SNR이 낮은 경우에는 검출 심

볼의 수를 늘려 평균치를 구하면 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있다.

참고문헌

[1] WiMedia Alliance, *Multiband OFDM Physical Layer Specification,* 2009.

[2] ETSI, ECC *Report On Technical Requirements for UWB DAA Devices to Ensure the Protection of Radiolocation in the bands 3.1-3.4 GHz and 8.5-9 GHz and BWA Terminals in the bands 3.4 - 4.2 GHz*, 2008.

[3] S. M. Mishra, R. W. Brodersen, S. T. Brink, and R. Mahadevappa, "Detect and Avoid: An Ultra-Wideband/ WiMax Coexistence Mechanism," *IEEE Communications Magazine,* vol.45, no.6, pp. 68-75, 2007.

[4] H. Yamaguchi, "Detection-and-Avoidance (DAA) Technology for UWB Challenges to share the frequency resource", *IEICE Technical Report,* WBS2005-76, pp. 11-18, 2006.

[5] N. Hadaschik, I. Zakia, G. Ascheid, and H. Meyr, "Joint Narrowband Interference Detection and Channel Estimation for Wideband OFDM", *in the proc. of the 13th European Wireless Conference,* 2007.

[6] IEEE Std 801.16e-2005, *Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*

[7] 문소영, 허영준, "WRC-07 주요 결과 및 시사점", 정보통신정책 제19권 23호, 2007. 12

[8] IEEE P802.15 SG3a, *Channel Modeling Sub-committee Report Final,* 2003.

오우진(Woojin Oh)

1989년 한양대학교 전자공학과 학사.
1991년 한국과학기술원 전자공학과 석사.
1996년 한국과학기술원 전자공학과 박사.
1996년~1998년, SK 텔레콤 선임연구원.
현재, 금오공과대학교 전자공학부 교수.
※관심분야: 레이더 신호처리, 통신 신호처리