

UWB MB-OFDM 시스템에서 TOA 성능향상을 위한 동기화 기법

준회원 권형주*, 정회원 이준호*, 준회원 정영석*, 조상호*

Timing Synchronization for Performance Improvement of TOA in UWB MB-OFDM Systems

Hyung-Ju Kwon* *Associate Member*, Joon-Ho Lee* *Regular Member*,
Yeong-Suk Jeong*, Sang-Ho Jo* *Associate Members*

요 약

IEEE 802.15.3a task group에서 채택한 4가지의 UWB 채널 모델과 AWGN 채널 모델에 대해서, MB-OFDM 시스템의 preamble 신호를 이용한 TOA 성능 향상기법을 제안한다. 제안되는 방법은 수신 신호와 template 신호 사이의 correlation에 의한 타이밍 동기화 지점을 이용하여 TOA를 추정한다. 제안한 방법의 성능이 기존의 방법에 비하여 우수한 성능을 나타냄을 전산모의실험을 통하여 확인한다.

Key Words : Synchronization, Multi-band, OFDM, TOA Performance, UWB

ABSTRACT

We propose how to improve the performance of TOA estimation in UWB MB-OFDM systems. The scheme is based on the correlation between the OFDM preamble and the template signal. The validity of the proposed scheme is shown using the simulation results, where it is shown that the performance of the proposed scheme outperforms that of the existing schemes

I. 서론

최근 들어서 실내 환경에서의 정확한 위치추정에 대한 필요가 급격히 요구되면서 그에 따른 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이동통신 환경이나 실외 위치추정에 방식에서는 GPS(Global Positioning System)의 동기화된 정확한 시간정보를 이용하여 보다 쉽게 TOA(Time-Of-Arrival)정보를 적용해서 발신자의 위치를 파악할 수 있다^[1]. 그림1에서는 측정된 TOA 정보를 이용해서 일반적인 삼각측량 방식으로 위치 추정하는 알고리즘을 보여준다.

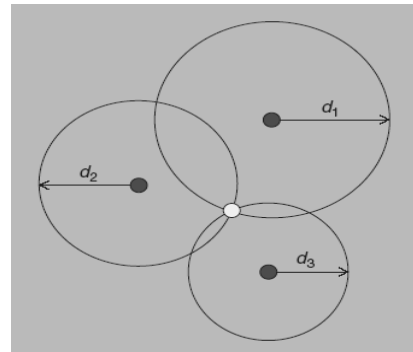


그림 1. TOA를 이용한 위치추정

* 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅네트워크원천기술개발사업의 지원에 의한 것임

* 세종대학교 정보통신공학과 (korace123@hanmail.net, joonhlee@sejong.ac.kr, ys00man@hotmail.com, conet81@naver.com)

논문번호 : KICS2006-10-462, 접수일자 : 2006년 10월 25일, 최종논문접수일자 : 2007년 5월 8일

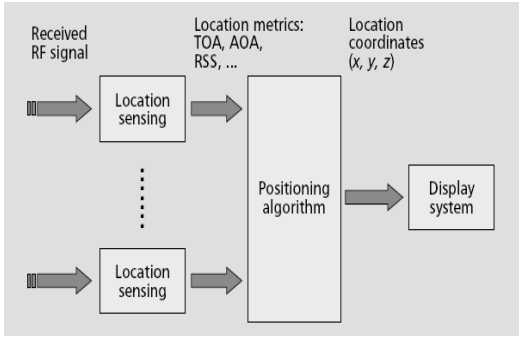


그림 2. 위치추정 시스템 구성도

그림 2에서는 TOA정보를 이용한 위치추정 시스템의 구성을 나타내고 있다. 시스템은 거리를 추정하는 감지(sensing) 부분과 거리등의 정보를 조합하여 위치를 결정하는 위치결정알고리즘(positioning algorithm)부분, 위치추정결과를 나타내는 표시부(display)등으로 구성된다.

그러나 실내 환경의 경우 GPS 정보를 이용하기가 어렵고, 송수신 장비들 간의 정확하게 동기화된 시간정보를 가지는데 많은 제약이 따르므로, 2-Way 방식의 TOA 정보를 이용한 위치추정 방법을 많이 이용하게 된다. RADAR 시스템과 다르게 실내 환경에서는 LOS(Line Of Sight)가 보장되기 어렵고, 특히 많은 다중경로 신호들이 있기 때문에 일반적인 상관기를 이용한 방식은 정확한 타이밍 동기를 추정하기 어렵다.

FCC(Federal Communication Commission)에서는 초광대역(Ultra-WideBand) 장비들의 사용을 위해서 3.1GHz부터 10.6GHz에 이르는 총 7500MHz의 스펙트럼을 분배했다.^[2] 이러한 광대한 대역폭에 대해서 제안된 통신방식은 “carrierless” pulse-based UWB와 CDMA(Code-Division Multiple Access)UWB 그리고 MB-OFDM(Multiband Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 등이 있다.^[3]

MB-OFDM 수신기에서 타이밍 동기 오차는 매우 중요한 부분인데 이러한 에러는 부반송파간의 직교성을 파괴하고 시스템의 성능을 급격히 저하시키는 ISI(Inter Symbol Interference)를 유발하게 된다.

본 논문에서는 타이밍 동기를 위한 FFT의 윈도우의 시작부분과 거리측정을 위한 기준점을 찾는 것에 초점을 맞춘다.

이 후의 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 MB-OFDM specifications에 나와 있는 preamble 신호를 정의한다. III장에서는 IEEE의 802.15.SG3a study group에서 발표한 UWB 실내 multi-path 채널

모델에 대해서 간단하게 설명하고, IV장에서는 타이밍 동기를 추정하는 3가지 방법을 소개한 다음 그 뒤에 동기추정성능을 향상할 수 있는 타이밍 동기 추정 방법을 제안한다. V장에서는 각 채널 조건에 따라 전산 실험한 타이밍 동기 추정 결과를 보여주고 끝으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 송신 Preamble

MB-OFDM specifications에서는 7500MHz의 대역을 총 14개의 528MHz대역폭의 부분대역으로 나누어서 사용한다. 다시 부분대역들은 5개의 대역 그룹으로 그룹지어지고 1번부터 4번 대역 그룹은 각각 3개의 부분대역을 가지며, 5번 대역 그룹은 2개의 부분대역을 가진다. TFC(Time-Frequency Code)에 따라서 각 데이터들은 주파수 대역을 번갈아 이동하며 주파수 다이버시티의 효과를 가질 수 있게 된다. Standard Preamble 신호는 TFC의 번호에 따라서 PS(Packet Synchronization) 21심볼과 FS(Frame Synchronization) 3심볼, 그리고 CE(Channel Estimation) 6심볼로 구성된다. 각 심볼은 128샘플길이의 데이터 구간과 37샘플길이의 보호구간으로 이루어진다. 그림 3은 Standard Preamble 신호의 구성을 나타낸다^[4].

수신되는 신호 모델식은 다음 다음과 같다.

$$r(d) = \sum_{i=1}^{Hlen} s(d-i-\theta)h(i) + n(d) \quad (1)$$

여기에서 d 은 시간 정수 인덱스이고, s 는 preamble 신호이다. i 는 샘플간격의 채널 임펄스 응답의 인덱스이고 $Hlen$ 은 채널응답의 길이이다.

θ 는 타이밍 Offset이고, n 은 0평균 과 σ^2 를 분산으로 하는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다. 본 연구에 사용되는 preamble 신호의 구성은 다음과 같다.

$$S = [PS_0, \dots, PS_{20}, FS_0, \dots, FS_2, CE_0, \dots, CE_5] \quad (2)$$

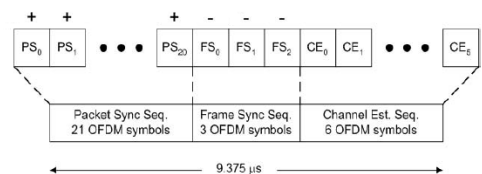


그림 3. standard preamble

표 1. IEEE UWB 채널 변수 설정값

Target Channel Characteristics ¹	CM	CM 2	CM 3	CM 4
τ_m [ns] (Mean excess delay)	5.05	10.38	14.18	
τ_{rms} [ns] (rms delay spread)	5.28	8.03	14.28	25
NP _{10dB} (number of paths within 10 dB of the strongest path)			35	
NP (85%) (number of paths that capture 85% of channel energy)	24	36.1	61.54	
Model Parameters				
Λ [1/nsec] (cluster arrival rate)	0.0233	0.4	0.067	0.067
λ [1/nsec] (ray arrival rate)	2.5	0.5	2.1	2.1
Γ (cluster decay factor)	7.1	5.5	14.00	24.00
γ (ray decay factor)	4.3	6.7	7.9	12
σ_c [dB] (stand. dev. of cluster lognormal fading term in dB)	3.4	3.4	3.4	3.4
σ_r [dB] (stand. dev. of ray lognormal fading term in dB)	3.4	3.4	3.4	3.4
σ_s [dB] (stand. dev. of lognormal fading term for total multipath realizations in dB)	3	3	3	3

III. UWB 채널 모델

본 논문에서는 2003년 7월에 IEEE의 802.15.3 SG3a study group에서 발표한 UWB 실내 다중경로 채널 모델을 적용한다. 이 채널 모델은 1972년 Turin등에 의해 제안된 Cluster 접근 방식에 기초를 두고, Saleh와 Valenzuela에 의해서 실내 다중경로 전송에 대한 통계적 특성을 적용해 더욱 발전시킨 형태이다[5][6].

다음 표1에서는 IEEE에 제출된 측정데이터를 바탕으로 제안한 실내 채널 모델에 대한 채널 변수 설정값을 나타내고 있다.

CM1은 송수신간의 거리가 4m 이하의 LOS(Line of Sight)를 보장한 실내 채널 환경이고 CM2에서는 4m이하 NLOS(Non-Line of Sight)의 특성을 가지는 채널이다. CM3는 4~10m 사이의 송수신 거리와 NLOS를 가정한 채널이고, CM4는 4~10m 사이의 송수신 거리와 극심한 다중경로 채널을 가정한 경우이다.

IV. 타이밍 동기화 알고리즘

MB-OFDM 시스템에서 타이밍 동기 획득을 위한 상관방식을 이용한 여러 가지 알고리즘들이 알려져 있다[7]. 여기에서는 3가지 알고리즘의 방식과 제안하는 알고리즘 방식을 소개한다.

FS_0 의 첫 번째 샘플을 우리가 추정하려는 정확한 심볼 타이밍으로 하고 n_0 로 표시한다. 그래서 타이밍 Offset은 다음 식처럼 나타낸다.

$$\theta = \hat{d} - d_0 \tag{3}$$

우리는 또한 CE_0 의 첫 번째 샘플을 거리측정 시스

템의 기준지점으로 사용해야하므로 심볼 타이밍과 함께 측정되어야 한다.

4.1 N-Peak 알고리즘

수신된 신호와 template sequence(PS심볼을 구성하는 128샘플)를 가지고 상관을 취한 결과를 다음 식과 같이 나타낸다.

$$C(d) = \sum_{k=d+N-1, m=N-1}^{k=d+N-1, m=N-1} r(k)p^*(m) \tag{4}$$

여기에서 N 은 template sequence의 샘플길이이다.

N-Peak(Negative Peak) 방식은 수신신호와 약속된 template sequence사이의 상관을 취해서 상관기 출력신호의 최소 값에 해당하는 시간인덱스를 심볼 타이밍으로 추정하게 된다. 즉, $\hat{d} = \operatorname{argmin}_{d \in Z} C(d)$ 이다.

그러나 이 방식은 많은 다중경로의 영향으로 상관기 출력의 Peak Point의 극성을 예측하기 어렵고 또한 3개의 FS심볼의 영향으로 음의 방향으로 Peak point가 3개씩 발생하므로 정확한 심볼 타이밍을 추정하는데 큰 오차가 예상된다.

4.2 S-Peak 알고리즘

S-Peak(Summation of Peaks)방식에서는 이미 송수신단 사이에 약속된 preamble 신호의 극성을 이용한다.

$$S(d) = \sum_{k=1}^L C(d + (k-1)len)b(k) \tag{5}$$

여기에서 len 은 한 심볼의 샘플길이이고 $b(k)$ 는 preamble 안에서 심볼들의 극성을 나타낸다. 상관기 출력에서 나온 peak point들을 약속된 극성을 곱하여 차례대로 더하여 최대가 되는 인덱스를 심볼 타이밍 동기 지점으로 추정하게 된다. 즉, $\hat{d} = \operatorname{argmax}_{d \in Z} |S(d)|$ 이다.

N-Peak 방식에서의 문제점인 상관기 출력 값의 극성을 예측할 수가 없다는 점과 또한 3개의 연속된 Peak point의 모호성 문제도 해결될 수 있다. 그러나 이 추정 알고리즘에서는 정확한 심볼 타이밍 동기를 추정할 수 있지만 거리 측정을 위한 기준지점을 추정할 수 없다는 문제점이 있다.

4.3 E-Peak 알고리즘

앞선 알고리즘들의 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 E-Peak(Energy Peak) 방식을 이용한다. 이

방식에서는 앞선 상관기 출력의 결과를 이용하여 에너지가 최고점이 되는 순간을 심볼 타이밍 동기 지점으로 추정하게 된다.

$$E(d) = C^*(d)C(d-3len) + E(d-1) \quad (6)$$

preamble의 특성 때문에 PS 심볼 구간동안은 계속적으로 에너지의 크기가 꾸준히 축적하게 된다. 위 식에서 최대 에너지 값을 나타내는 지점을 심볼 초기 타이밍 동기 값으로 추정하게 된다. 즉 $\hat{d} = \arg \min_{d \in Z} E(d) + \alpha$ 이다. 여기에서 α 는 채널의 특성에 따라 통계적으로 나타나는 상수이다. 추정된 심볼 타이밍을 이용하여 CE_0 의 첫 번째 샘플인 거리측정 기준지점을 추정할 수 있게 된다.

이 방식에서는 상관기 출력의 에너지를 계속적으로 더해져 가므로 늦게 도착하는 강한 크기의 다중경로의 성분의 영향과 AWGN의 영향이 시스템의 성능 오차에 큰 영향을 미치게 된다.

4.4 제안된 알고리즘

이전에 나온 E-Peak 방식의 채널동기 추정방식의 문제점을 개선하여 오차요인을 획기적으로 줄일수 있는 동기화 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 방식은 상관기 출력신호를 에너지 축적하는 신호로 하지 않고, 각각의 샘플단위로 에너지 크기로 저장한다.

$$K(d) = C^*(d)C(d-len) \quad (7)$$

MB-OFDM 시스템에서 preamble의 극성이 변하므로 에너지 샘플 값이 PS심볼 구간과 FS구간에 걸쳐 일어나는 경우 샘플 값들은 음(-)의 값을 가지게 된다. 이런 각 샘플들의 크기를 비교 하여 최대크기로 음의 값을 갖는 에너지 샘플의 인덱스를 타이밍 동기 지점으로 추정하게 된다. 즉, $\hat{d} = \arg \min_{d \in Z} K(d)$ 이다.

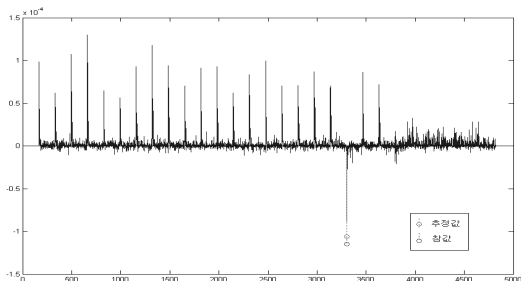


그림 4. 제안된 알고리즘의 출력 결과 (CM1,SNR=0dB)

그림 4는 CM1 채널과 SNR=0dB인 조건에서 제안된 알고리즘을 사용한 출력결과를 예제 화면을 통해 보여주고 있다.

제안된 알고리즘의 출력결과에서 확인할 수 있듯이 앞선 N-Peak의 상관기 출력신호의 구성의 모호성을 없앴고, S-Peak 알고리즘의 거리 측정을 위한 기준지점을 판별하지 못하는 문제점들이 발생하지 않는다. 그리고 E-Peak 방식과 다르게 샘플들 간의 크기를 비교하므로 타이밍 동기오차에 영향을 주는 AWGN요인과 낮은 다중경로신호의 오차요인을 훨씬 감소할 수 있게 된다.

V. 실험 조건 및 결과

이 장에서는 MB-OFDM 시스템의 preamble 신호를 이용하여 앞장에서 설명한 3가지의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 타이밍 오차에 대한 성능을 비교 분석하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 실행한 결과를 보여준다.

실험에 사용된 채널은 CM1, CM2, CM3, CM4, 그리고 AWGN 채널이며 각각에 1000번의 실험 결과에 대해 RMS(Root Mean Square) 에러를 구했다.

AWGN과 CM1, CM2 채널에서 송수신간의 거리는 3m이고, CM3, CM4 채널에서는 9m로 설정하였다. 실험에서 오버샘플링은 사용되지 않았고, E-Peak 알고리즘에서 상수 α 는 AWGN채널일 때 83, CM1일 때 87, CM2일 때 88, CM3일 때 77, CM4일 때 61로 각각 무잡음 상태에서 평균값을 구하여 사용되었다.

그림 5부터 그림 9는 각 채널에 대해서 실험되어진 4개의 알고리즘에 대한 RMS 에러를 비교해서 나타낸다.

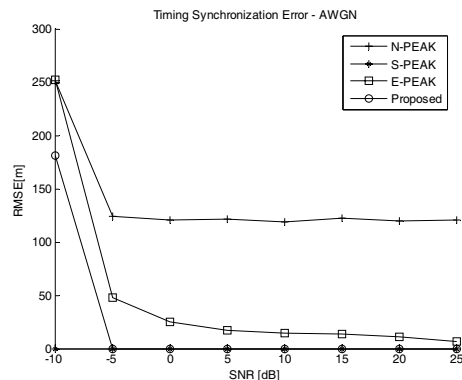


그림 5. AWGN - TOA RMSE

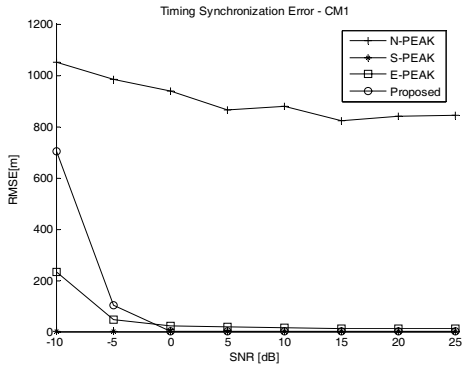


그림 6. CM1 - TOA RMSE

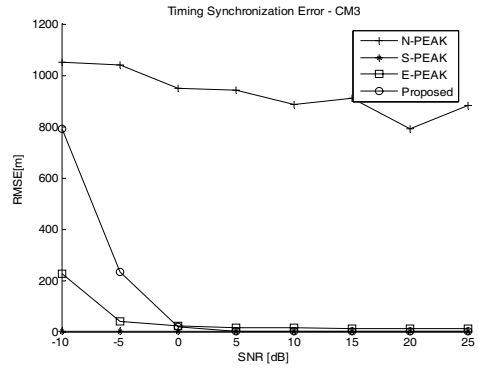


그림 8. CM3 - TOA RMSE

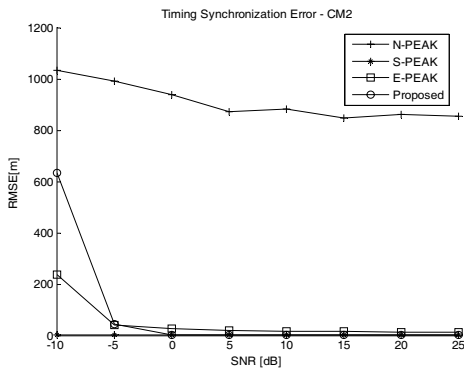


그림 7. CM2 - TOA RMSE

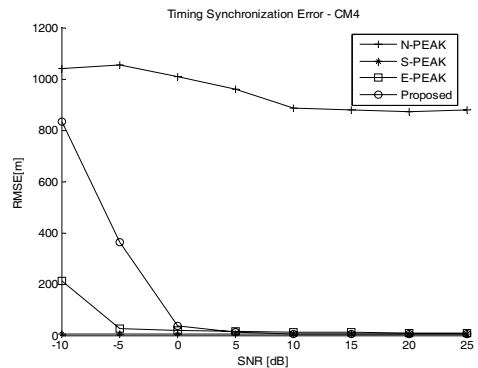


그림 9. CM4 - TOA RMSE

거의 모든 채널에서 N-Peak 알고리즘은 제대로 된 동기추정을 하지 못하고 있고, E-Peak 알고리즘은 RMS 에러가 송수신간의 거리에 비해 상당히 커서 거리 측정을 위한 TOA 계산에는 부적합하게 나타났다.

시뮬레이션 결과를 보면 거의 모든 채널조건에서 S-Peak 알고리즘과 제안된 알고리즘은 비슷한 타이밍 동기 추정 성능을 보이고 있다. 그러나 S-Peak 알고리즘은 오직 FFT 윈도우의 시작지점인 심볼 타이밍 동기만을 추정 할 수 있기 때문에 거리 측정을 위한 TOA 정보로는 이용되지 못한다.

좀 더 정확한 RMS 에러의 비교를 위해서 표2에서는 15dB의 SNR 조건에서 각 알고리즘의 자세한 RMS 에러수치를 샘플 단위로 나타내었고, 표3에서는 같은 조건에서 RMS 에러를 거리 측정 시 오차 크기로 알아보기 위해 단위를 m로 표시하였다.

실험에 사용된 모든 채널에서 S-Peak 알고리즘과 제안된 알고리즘은 0dB 이상의 SNR 조건에서는 SNR의 증가와 더불어 확인한 성능 향상을 나타내지는 않았다.

표 2. SNR=15dB에서의 알고리즘 RMSE 비교 [단위(샘플)]

알고리즘	AWGN	CM1	CM2	CM3	CM4
N-Peak	212.5	1446.2	1492.9	1599.2	1546.8
S-Peak	0	1.54	1.56	3.90	6.26
E-Peak	23.6	24.5	25.5	23.78	19.34
Proposed	0	1.58	1.52	3.67	6.54

표 3. SNR=15dB에서의 알고리즘 RMSE 비교 [단위(m)]

알고리즘	AWGN	CM1	CM2	CM3	CM4
N-Peak	120.74	821.70	848.23	908.65	878.85
S-Peak	0	0.87	0.89	2.21	3.56
E-Peak	13.41	13.92	14.49	13.51	10.99
Proposed	0	0.90	0.86	2.09	3.72

VI. 결론

지금까지의 실험 결과에서 확인 할 수 있듯이 제안한 알고리즘의 성능은 심볼 타이밍 동기를 찾는 데 매우 정확도가 높으면서 실내 채널 환경의 거리 정보를 이용한 위치추정 시스템에서 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 점점 더 발전하고 있는 실내 무선통신의 분야에서 거리 측정 뿐 만 아니라 위치

정보를 이용한 고속의 데이터 통신의 요구에 발맞추어 좀 더 정확한 타이밍 동기 오차 알고리즘이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Ali H. Sayed, Alireza Tarighat, and Nima Khajehnouri "Network-Based Wireless Location, challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information" IEEE signal processing magazine, July 2005.

[2] Federal Communications Commission (FCC), "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra Wideband Transmission Systems," Rirst Report and Order, ET Docket 98-153, FCC 02-48; Adopted : February, 2002; Released : April, 2002.

[3] R. A. Scholtz, "Multiple access with time-hopping impulse modulation," in Proc. IEEE Military Communications Conference (MILCOM '93), vol. 2, pp.447-450, Boston, Mass,USA, October 1993.

[4] A. Batra, J. Blalakrishnan and S. Somayazulu et al., "Multi-band OFDM Physical Layer Specification," Release 1.1 July 14, 2005

[5] Saleh, A.A.M., and R.A. Valenzuela, "A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume: 5, Issue: 2(February 1987), 128-137

[6] IEEE 802.15.SG3a, "Channel modeling Sub-committee Report Final," IEEE P802.15-02/490r1-SG3a(February 2003).

[7] C. W. Yak, Z. Lei, S. Chattong, and T.T.Tjhung "Timing Synchronization for Ultra-Wideband(UWB) Multi-Band OFDM systems," Vehicular Technology Conference, 2005. IEEE 62nd Volume 3, 25-28 Sept., 2005 Page(s):1599 - 1603

권 형 주 (Hyung-Ju Kwon)

준회원



2005년 8월 : 세종대학교 정보통신 공학과 졸업
 2005년 8월~현재 : 세종대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 무선통신, 위치인식, 배열신호처리 등.

이 준 호 (Joon-Ho Lee)

정회원



1996년 2월 : 포항공과대학교 전자 전기공학과 석사
 1999년 8월 : 포항공과대학교 전자 전기공학과 박사
 1997년 7월~2004년 2월 : ETRI 선임연구원
 2004년 3월~현재 : 세종대학교

정보통신공학과 조교수
 <관심분야> 무선통신, 신호처리 등.

정 영 석 (Yeong-Suk Jeong)

준회원



2006년 2월 : 세종대학교 정보통신 공학과 졸업
 2006년 2월~현재 : 세종대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 위치인식, 배열신호 처리, MIMO 등.

조 상 호 (Sang-Ho Jo)

준회원



2006년 2월 : 세종대학교 정보통신 공학과 졸업
 2006년 2월~현재 : 세종대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 위치인식, 배열신호 처리, 스마트안테나 등.