LR-WPAN에서 비주기적 전송 패턴을 갖는 임펄스 기반의 TOA 추정 기법

정회원 박 운 용*, 준회원 박 철 웅*, 홍 윤 기*, 정회원 최 성 수**, 이 원 철***°

Impulse Based TOA Estimation Method Using Non-Periodic Transmission Pattern in LR-WPAN

Woon-Yong Park* *Regular Member*, Cheol-Ung Park*, Yun-Gi Hong* *Associate Members*, Sungsoo Choi**, Won-Cheol Lee***° *Regular Members*

요 약

최근 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.15.4a TG (Task Group)에서는 저소비, 저전력 뿐만 아니라 다수개의 피코넷이 공존하는 즉, SOPs (simultaneously operating piconets) 환경하에서 거리 인지가 가능하도록 규정하고 있으며 거리인지 (ranging)의 서비스에 따라 Ternary 코드를 이용한 coherent/non-coherent 방안이 표준으로 채택되었다. 그러나 표준안에서 제시된 최소의 펄스 간 간격(Pulse Repetition Interval; PRI)은 채널의 최대 초과 지연(Maximum Excess Delay; MED) 보다 좁아 펄스 간 간섭 (Inter-Pulse Interference; IPI) 문제가 발생되어 DS(Direct Sequence) 기반의 추정기법으로는 부정확한 최초 도착 시간(Time Of Arrival; TOA)을 얻게 된다. 따라서 본 논문에서는 IPI을 줄이면서 고정밀 TOA를 추정하기 위한 비주기적 펄스 전송 (non-periodic transmission; NPT) 패턴 기법을 제안한다. 수신단은 저속 무선 개인 영역 네트워크의 모티브를 고려하여 에너지 검출을 이용한 non-coherent 기반의 수신 구조로 구성하였다. TOA 정보는 슬라이딩 상관처리 후 역 탐색 구간 (Search Back Window; SBW)을 두어 오차를 감소시키고 사전 정해진 임계치를 이용하여 얻기 된다. 제안된 펄스 패턴 기법에 대한 성능을 검증하기 위해서 IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 두 가지 채널 모델을 적용하였고 시뮬레이션 결과로부터 제안된 기법이 다수개의 피코넷이 공존하는 다중 경로 환경에서 일반적인 기법보다 성능이 개선됨을 확인하였다.

Key Words : UWB ranging, TOA estimation, LR-WPAN, SOP, Ternary code

ABSTRACT

Recently Task Group (TG) 4 of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.15a has been recommended a system with ranging capability in existence of multiple Simultaneous operating piconets (SOPs) as well as low-cost, low-power. According to the ranging service, coherent and non-coherent based ranging schemes using ternary code have been adopted as a standard. However it is hard to estimate an accurate time of arrival (TOA) in case of using direct sequence based TOA estimation method because pulse repetition interval (PRI) offered by TG is more limited than the maximum excess delay (MED) of channel. To mitigate inter pulse interference (IPI) problem, this paper proposes a non-coherent TOA estimation scheme using non-periodic transmission (NPT) pattern. The proposed receiver is based on a non-coherent energy detection considering with motivation of low rate wireless personal area network (LR-WPAN). TOA information is estimated via proper comparison with a prescribed threshold after the sliding correlation and search back window (SBW) process for reducing TOA error. To verify the performance of proposed ranging scheme, two distinct channel models approved by IEEE 802.15.4a TG are considered. According to the simulation results, we could conclude that the proposed scheme have performed better performance than the conventional method on the existence of multiple SOPs.

※ 본 논문은 "서울시 산학연 협력사업(과제번호: 10544)" 지원과 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신 및 신호처리연구실({mrjoy, pcu0106, kazal}@amcs.ssu.ac.kr)

** 한국전기연구원 전기정보망기술연구그룹(sschoi@keri.re.kr), *** 숭실대학교 정보통신전자공학부(wlee@ssu.ac.kr)(° : 교신저자)

논문번호 : KICS2007-06-280, 접수일자 : 2007년 6월 20일, 최종논문접수일자 : 2008년 3월 31일

Ⅰ. 서 론

최근 들어, 위치 기반 서비스가 이동 통신뿐만 아니라 센서 네트워크를 필두로 홈 자동화 등의 개인 사용자에게 다양한 응용 서비스를 제공하는 부분에서 급속한 발전이 예상되고, 더 나아가 개인의 안전과 물품의 이동경로 파악이 유비쿼터스 환경에서 중요한 기능 중에 하나로 대두되면서 위치인식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 추세에 발맞추어, 2004년 5월부터 IEEE 802.15 무선 개인 네트워크 Working Group (WG)의 Task Group 4 (TG4)는 저속, 저전력, 저비용의 구현을 위한 핵심 기술과 더불어 초정밀 해상도를 가지는 무선측위 기능을 포함하는 저속의 무선 개인 영역 네트워크 (Low Rate - Wireless Personal Area Network; LR-WPAN)에 대한 표준화 작업을 진행하고 있으며, 현재 표준 baseline으로 CCS (Chirp Spread Spectrum) 기술과 더불어 초정밀 거리인지 및 위치 인식이 가능한 초광대역 (Ultra Wide Band; UWB) 기술이 채택되었다[1][2].

거리 인지란 두 디바이스간의 거리 정보를 추정하는 것으로써 일반적으로 시스템의 동기 유무에 따라 단방향 송신을 통한 거리 인지 (One Way Ranging; OWR) 기술과 양방향 송신을 통한 거리 인지 (Two Way Ranging; TWR) 기술로 분류된다[2]. 이러한 거리 인지 기술은 현재 이동통신 시스템뿐만 아니라 GPS (Global Positioning System)에 쓰이고 있는 시간 기반의 TOA 혹은 TDOA (Time Difference Of Arrival) 정보를 이용한 기법과 신호의 수신 감도를 이용하는 RSS (Received Signal Strength) 기법, 수신 각을 이용한 AOA (Angle Of Arrival) 기법 등 다양하다[2]. 그러나 실내 환경에서 RSS 기법과 AOA 기법은 다중 경로 페이딩의 영향에 매우 민감하기 때문에 고정밀의 거리 인지 정보를 얻기 힘들다. 시간 기반의 거리 인지 기법을 통한 고 정밀의 정확한 거리 정보를 얻기 위해서 가장 중요한 요소 중에 하나는 최초로 수신된 신호, 즉 최초의 TOA에 대한 추정 여부에 달려 있다. 일반적으로 TOA 추정 기법은 크게 시간 기반의 TOA 추정 기법[2]과 MUSIC (MUltiple Signal Classification)과 같은 주파수 기반의 TOA 추정 기법[3]으로 나눌 수 있다. 또한 수신 구조에 따라 coherent 방식은 문헌상으로 가장 간단하면서 신호 검출의 최적 솔루션인 정합 필터링 (matched filtering)을 들 수 있다[4]. 그러나 참조 펄스 신호와 수신 신호와의 정확한 상관 특성을 얻기 위해서는 수신기가 나이퀴스트 표본화율로 동작되어야 하기 때문에 매우 고속의 표본화율이 요구될 뿐만 아니라 다중 경로 및 송·수신 안테나의 영향으로 인한 펄스 변화로 사전에 수신 신호의 정확한 펄스 모양을 알지 못하면 낮은 상관 특성으로 인하여 결국, 부정확한 TOA 성분을 추정하게 된다. 이러한 단점을 극복하고 IEEE 802.15.4a의 모티브에 적합하도록 유수 업체들은 회로 복잡도에서 야기되는 소자들의 저 전력화를 위해서 기존의 coherent 방식보다 시스템 성능이 다소 열악하지만 수신기 구조가 매우 간단하면서 동기 문제에도 비교적 강한 non-coherent 검출 방식을 고려하고 있는 추세이다[5]. 뿐만 아니라, IEEE 802.15.4a TG에서는 다수개의 피코넷이 공존하는 즉, SOP 환경하에서 두 디바이스간의 거리 인지가 가능하도록 규정하고 있다[6]. 이러한 거리 인지는 프리앰블내에서 처리되며 거리 인지 서비스 종류에 따라 프리앰블내의 펄스 간 간격 (Pulse Repetition Interval; PRI)이 설정된다. 그러나 IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 프리앰블 내에서의 펄스 간 간격은 채널의 최대 초과 지연 (Maximum Excess Delay;보다 다소 좁기 때문에 펄스 간 간섭 (Inter-Pulse Interference; IPI) 문제가 발생되고 결국, 부정확한 TOA 추정 결과를 얻게 된다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a에 소개된 프리앰블 구조 및 파라미터들을 준수하면서 IPI 문제를 완화시키는 NPT 패턴 방안을 제안하고 표준안에 소개된 주기적 전송 (Periodic Transmission; PT) 패턴과 비교하여 이에 대한 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 IEEE 802.15.4a의 UWB PHY 중에 거리 인지에 필요한 SHR (Synchronization Header) 프리앰블 구조 및 파라미터들에 대해 설명하고 III장에서는 제안된 펄스 전송 및 TOA 추정 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 IEEE 802.15.4a TG에서 제시된 채널 모델을 이용한 시뮬레이션 과정 및 결과를 분석하고 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. IEEE 802.15.4a의 SHR 프리앰블

IEEE 802.15.4a에서 소개된 SHR 프리앰블은 그림 1에서 보이는바와 같이 패킷 동기화, 채널 추정, 거리인지를 위한 SYNC 부분과 프레임 시작을 알리는 SFD (Start Frame Delimiter)로 구분된다[6].

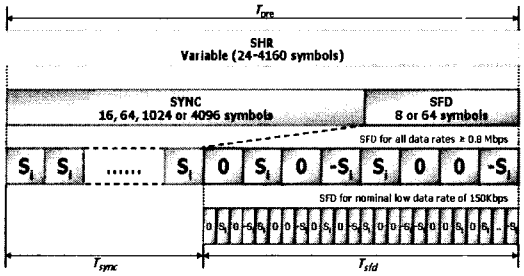


그림 1. UWB PHY SHR 프리앰블 포맷

여기서 SYNC부분은 16, 64, 1024, 4096 심볼로 가변적이며 이중 64개의 심볼로 구성된 프리앰블을 기본으로 하고 있다. 프리앰블 코드는 PAN들을 구분하기 위해 길이가 31과 127인 Ternary 코드가 사용된다. 이러한 Ternary 코드는 {-1, 0, 1}로 구성하고 있고 주기적으로 완벽한 자기 상관 특성을 가지고 있다. UWB PHY의 주파수 밴드는 총 16개의 채널로 구성되며 3개 (1GHz 이하의 밴드, Low 밴드, High 밴드)의 밴드 그룹으로 구분된다. 이때 채널 넘버 4, 7, 11, 15 이외의 채널들은 각각 499.2MHz의 대역폭을 갖는다.

또한 동일 채널내에서는 SOP 문제를 완화시키기 위해서 상호 상관 특성이 가장 낮은 서로 다른 2개의 Ternary 코드가 사용된다. 이때에 사용되는 Ternary 코드의 총 수는 24개 (C_i, i=1,2,...,24)로서 그중 8개는 길이가 31인 Ternary 코드가 사용되고 나머지는 길이가 127인 Ternary 코드가 사용된다. 여기서 i 는 코드 인덱스를 나타낸다.

i 번째 인덱스를 갖는 Ternary 코드를 사용하는 WPAN에 대하여 SYNC 부분은 심볼 S_i 가 반복적으로 전송된다.

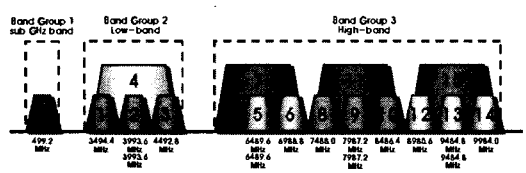


그림 2. UWB PHY 주파수 밴드 및 채널 할당

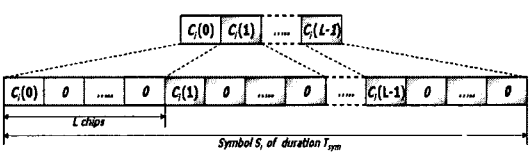


그림 3. 확산된 심볼 Si 의 구조

여기서 S_i 는 길이가 L인 delta 함수 δ_L로 확산된 코드 C_i 로 나타내고 여기서 L은 확산 지수(spreading factor)로서 심볼 당 칩수를 나타낸다.

$$S_i = C_i \otimes \delta_L \ , \ \delta_L(n) = \begin{cases} 1 \ , n=0 \\ 0 \ , n=1,2,...,N-1 \end{cases} \quad (1)$$

서로 다른 주파수 밴드들에 대한 base 심볼율 및 심볼 간격에 대한 설정값들은 표 1과 같다[6].

표 1. UWB PHY 프리앰블 규격

유형	Channel Number	C_i 코드 길이	최대 PRF (MHz)	평균 PRF (MHz)	Delta 길이 δ_L	심볼 당 칩 수	심볼 간격(ns)	Base 심볼율 (Ms/s)
1	{0:15}	31	31.20	16.10	16	496	993.59	1.01
2	{0:3, 5:6, 8:10, 12:14}	31	7.80	4.03	64	1984	3974.36	0.25
3	{0:15}	127	124.80	62.89	4	508	1027.63	0.98

표 1에서 유형 1과 3은 모든 밴드에 적용 가능한 반면에 유형 2는 대역폭이 499.2MHz인 밴드에 적용된다. 또한 유형 1과 2의 PRI는 각각 대략 32.05 nsec와 128.21 nsec로 유형 3과 비교했을 때 펄스 간 폭이 넓어 지연 확산(delay spread)이 다소 넓은 채널에 적합하지만 IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 채널 모델의 MED는 30 nsec부터 100 nsec 이상까지 다양하기 때문에 IPI 문제가 발생될 수 있다. 결국, Ternary 코드가 완벽한 자기 상관 특성을 가지고 있어도 IPI 문제로 인하여 상관 처리를 통해 TOA 정보를 추정할 경우 다소 열화된 성능을 얻게 된다.

Ⅲ. 제안된 펄스 전송 및 TOA 추정 기법

그림 4는 IEEE 802.145.4a에서 제시한 프리앰블 구간내에서 펄스 전송 패턴과 제안된 전송 패턴을 비교한 것이다.

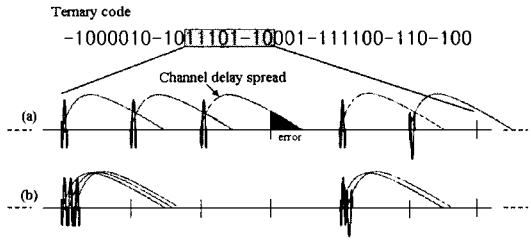


그림 4. 제안된 펄스 전송 패턴과 기존 패턴과의 비교

그림 4(a)는 주기적인 간격으로 펄스를 위치시키는 PT 기법으로서 채널의 지연 확산 성분이 펄스 간격보다 길 경우 오차가 발생될 수 있음을 보여주고 있다. 반면 그림 4(b)는 비 주기적인 간격으로 펄스의 위치를 설정하는 제안된 NPT 기법으로서 Ternary 코드의 1 혹은 -1이 연속적으로 위치할 때 신호 간 간격을 좁히고 0일 경우 균일한 간격으로 펄스 간격을 넓게 배치함으로써 기존의 주기적인 간격 방식보다 전반적으로 1과 0의 사이가 넓어져 채널의 지연 확산으로 인한 오차를 줄일 수 있게 된다. 이러한 전송 패턴은 타임 홉핑 패턴과 유사하게 수신단에서 상관처리 시 Ternary 코드의 완벽한 자기 상관 특성을 갖기 어려우나 NLOS (Non-Line Of Sight) 채널 환경에서 더욱 정확한 TOA 정보를 얻을 수 있다.

그림 5는 non-coherent 방식의 TOA 추정을 위한 수신단 구조를 나타낸다. 먼저 수신단의 AFE (Analog Front End)는 저잡음 증폭기, 대역통과필터, 에너지 검출을 위한 제곱기와 아날로그 적분기로 구성된다. AFE 단을 거친 에너지 신호는 고속의 ADC를 통과하게 된다. 이러한 고속의 샘플값들은 병렬 구조 형태의 다중 윈도우 뱅크를 이용하여 얻을 수 있으며 이때의 각 ADC은 저 표본화율로 동작된다.

ADC의 출력 샘플값은 먼저 DC (Direct Current) 레벨 추정단에 인가되어 에너지 신호의 DC 레벨을 추정하게 된다. 이러한 과정은 거리 인지의 초기 단계에서 동작된다. 또한 이때 얻은 정보는 맵퍼 (mapper)의 기준값으로 사용되고 추후 상관 처리 시 상관특성의 성능을 좌우하기 때문에 좀 더 정확한 정보를 얻도록 충분히 긴 시간동안 그리고 주기적으로 측정된다. 맵퍼는 DC 레벨 정보를 기준하여 샘플값들을 1 비트로 맵핑하게 된다. 즉 기준치보다 클 경우 1, 작을 경우 -1로 맵핑하게 된다. 이러한 1 비트 샘플값들은 Ternary 코드 마스크들을 통해 해당 샘플값들이 출력되고 Ternary 코드로부터 재구성되는 M-시퀀스와 슬라이딩 상관처리

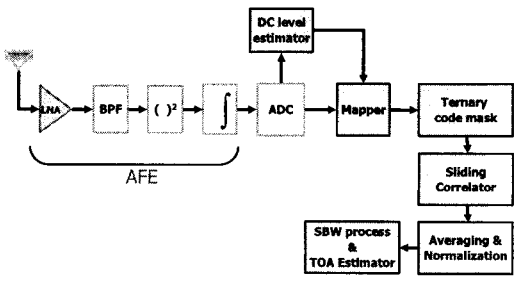


그림 5. TOA 추정을 위한 수신단 구조

를 하게 된다. 여기서 M-시퀀스를 사용하는 이유는 Ternary 코드를 제곱하면 M-시퀀스와 동일한 특성을 가지기 때문이다. 이러한 상관 처리 과정을 통해 얻은 결과들은 각각 프리앰블 구간동안 한 심볼 간격으로 샘플 단위로 더함으로써 잡음 성분이 smoothing 되어 결국, 상관 특성을 높이게 된다. 끝으로 TOA 추정단에서는 미약한 LOS가 수신될 때를 고려하여 역 탐색 기반의 TOA 추정 기법이 적용되고 이를 통해 좀 더 정확한 최초 도착 지연 성분을 추정하게 된다.

이러한 전송 패턴을 기반으로 본 논문에서 소개된 다수의 SOP 상황에서 거리 인지를 위한 k번째 피코넷에서 전송된 펄스열 $s^{(k)}(t)$은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$s^{(k)}(t)=\sum_{j=-\infty}^{\infty}\sum_{i=0}^{N_f-1}\sqrt{E_p}\,p_{s[j]}(t-jT_s-iT_f-(c_{th})_iT_c)c_i^k \quad (1)$$

여기서 $p_{s[j]}(t)$는 j번째 심볼 $s[j]$를 전송하기 위해 사용되는 UWB 펄스를 나타내고 E_p는 1로 정규화된 전송 펄스의 에너지를 의미한다. 한 심볼의 시간 간격 T_s는 N_f개의 프레임으로 구성되고 여기서 T_f는 한 프레임의 시간 간격을 의미한다. 또한 T_c는 적용되는 코드의 한 비트에 해당하는 시간 간격을 나타내고 $(c_{th})_i$는 i번째 프레임에서 전송된 펄스의 주어진 시간 위치에서의 타임 홉핑 패턴을 의미한다. c_i^k는 피코넷을 구분하기 위한 k번째 피코넷의 i번째 프레임에 해당하는 코드 시퀀스를 의미한다.

수신된 신호는 직접적으로 혹은 반사된 신호들과 배경 잡음 그리고 주변 피코넷으로부터의 간섭들로 구성되고 이때의 k번째 피코넷에 수신되는 신호 $r^{(k)}(t)$는 식(2)로 표현 할 수 있다.

$$r^{(k)}(t)=\sum_{m=1}^{N_k}\left(a_d^{(m)}s^{(m)}(t-\tau_d^{(m)})+\sum_{n=1}^{P-1}a_n^{(m)}s^{(m)}(t-\tau_n^{(m)})\right)+n(t) \quad (2)$$

여기서 N_k는 피코넷의 수를 의미하고 $a_d^{(m)}$와 $\tau_d^{(m)}$는 각각 m번째 피코넷의 LOS 성분의 크기와 수신 시각을 나타내며 $a_n^{(m)}$와 $\tau_n^{(m)}$은 각각 m번째 피코넷의 n번째 반사된 성분의 크기와 수신 시각을, P은 다중 경로 성분들의 수를 의미한다. 식(2)에서 $n(t)$는 평균이 0인 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 의미한다. 식(2)로부터 LNA (Low Noise Amplifier)와 BPF (Band-Pass Filter)를 통과한 후의 수신 신호 $\tilde{r}^{(k)}(t)$의 매 T_e 시간에 대한 에너지는 제곱 후 T_e간격으로 수신 신호를 적

분함으로써 얻을 수 있으며 k번째 피코넷의 에너지 신호는 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$e^{(k)}(\tau) = \int_{t-T_e/2}^{t+T_e/2} |\tilde{r}^{(k)}(t)|^2 dt \qquad (3)$$

여기서 T_e는 아날로그 적분기의 적분 시간으로 이때의 적용되는 적분기는 T_e내에 충전 후 방전이 매우 짧게 일어난다고 가정하였다. 이렇게 얻은 수신 에너지 신호는 ADC로 인가된다. DC (Direct Current) 레벨 추정단에서는 ADC의 결과 $r_{adc}^{(k)}[n]$로부터 매 심볼 간격으로 평균치 (averaging) 과정을 통해 잡음 성분에 대한 대략적인 DC 레벨 정보를 추정한다. 이러한 정보는 식(4)와 같이 맵퍼(mapper)의 참조 정보로 사용되어 1 혹은 -1로 맵핑된다. 이러한 이유는 미약한 TOA 성분을 여타 크기가 큰 신호들과 동일 시 함으로써 참조 코드와의 상호 상관 특성을 크게 하기 위함이다. 이렇게 재구성된 1 비트 샘플값들로부터 참조 코드 마스크들을 이용하여 샘플값들을 얻고 Ternary 코드로부터 얻은 M-시퀀스와 슬라이딩 상호 상관 처리를 하게 된다.

$$y_m[n] = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} c_{M_sequence}[n] c_{T_mask}[n-\tau] \qquad (4)$$

이러한 이유는 에너지 검출로 인하여 1과 -1의 극성이 없어지고 이때의 맵퍼의 출력은 M-시퀀스 열을 출력하기 때문이다. 또한 식(4)로부터 얻은 상관 결과는 제한된 프리앰블 길이 내에서 코드 길이 즉, 한 심볼 간격으로 누적을 함으로써 smoothing 결과를 얻게 되고 이를 정규화하면 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$s_m[i] = \frac{1}{N_s} \sum_{j=1}^{N_s} y_m[i+(j-1)N_c] \qquad (5)$$

여기서 N_s는 프리앰블내의 심볼 수를 의미하고 $N_c(=T_s/\Delta t_s)$는 한 심볼구간 동안의 샘플 수를 나타낸다. 이러한 과정을 통해 잡음 성분에 대한 평균화가 이루어지고 정규화과정을 거친 후 N_c개의 인덱스 정보로부터 임계치 ϵ 이상이 되는 첫 번째 인덱스 정보를 대략적인 TOAc 정보로 판단하게 된다.

$$TOA_c = \arg\min_{i=1,\ldots,N_c} \{ s_m[i] > \epsilon \} \qquad (6)$$

그러나 이러한 과정을 통해 얻은 결과는 TOA 성분이 미약한 다중 경로 환경하에서 상당히 큰 오차를 유발시킬 수 있기 때문에 추가적으로, 1차적으로 얻은 TOA_c 정보로부터 역 탐색 구간 W_{sb}, 즉 $(TOA_c - M, TOA_c - M-1, \ldots, TOA_c)$을 두어 그 내에서의 정확한 TOA_f 정보를 추정하게 된다.

$$TOA_f = TOA_c - \arg\min_{i=1,\ldots,M} \{ W_{sb}[i] > \alpha \} \qquad (7)$$

Ⅳ. 시뮬레이션 과정 및 결과

본 논문에서는 제안된 전송 패턴에 대한 성능을 검증하기 위해서, IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 채널들 중 LOS Residential에 적합한 CM1 환경과 NLOS Industrial에 적합한 CM8 환경을 적용하였다[7]. 또한 좀 더 신뢰성을 높이기 위해서 각 채널 당 100번의 realization을 하여 이에 대한 결과를 도출하였다.

프리앰블 내에서의 심볼 반복수는 64로 설정하였으며 펄스 간 간격은 표 1에서 제시한 유형 1과 유형 2와 유사하게 각각 32 nsec, 128 nsec로 설정하였고 NPT 패턴 기법 적용시, 펄스간 최소 간격은 2 nsec가 되도록 구성하였다. 따라서 1 혹은 -1이 연속으로 있을 경우, 2 nsec 간격으로 배치하고 0일 경우, 128 nsec 간격으로 배치되는 반면 일반적인 PT 패턴 기법에서의 펄스간 간격은 유형에 따라 32 nsec, 128 nsec로 설정된다. 이러한 절차를 통해 수신된 신호는 수신단의 제곱기, 2 nsec 간격으로 에너지가 검출되도록 시뮬레이션을 하였으며 이때의 ADC의 동작 표본화율은 2 nsec로 설정하였다. 이외에 시뮬레이션을 위한 파라미터들은 표 2와 같이

표 2. 시뮬레이션 파라미터 설정

파라미터	설정 값			
	유형 1		유형 2	
T_p (펄스 폭(nsec))	2			
T_f (펄스 간 간격(nsec))	32		128	
T_s (심볼 간격(nsec))	992		3968	
T_e (적분 구간(nsec))	2			
δ_k (델타 함수의 길이)	16		64	
T_c (홉핑 간격)	2			
채널 대역폭(MHz)	500			
ϵ (1차 TOA 추정을 위한 임계치)	CM1	CM8	CM1	CM8
	0.5	0.8	0.5	0.8
M (탐색 구간에 대한 샘플 수)	10			
α (2차 TOA 추정을 위한 임계치)	0.5			
Ternary 코드 길이	31			

설정하였다. 다음의 라벨은 각 측정 방안들에 대한 시뮬레이션 결과를 의미한다.

- "PROP" = 제안된 NPT 패턴을 적용한 TOA 추정기법
- "CONV" = 일반적인 PT 패턴을 적용한 TOA 추정기법

또한 제안된 기법의 성능을 검증하기 위해서 전송 패턴 이외의 수신구조 및 TOA 추정 기법은 동일하게 처리하였다.

그림 6은 IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 채널들 중 CM1과 CM8에 대한 특성을 나타낸다. 그림 6에서 CM1일 경우, IPI를 방지하기 위해서는 약 150 nsec의 펄스 간격이 요구되고 CM8일 경우 약 200 nsec가 요구됨을 알 수 있다. 따라서 IEEE 802.15.4a의 표준안에 제시된 파라미터 조건 (표 1)과 비교할 때 모든 유형에서 IPI 문제가 발생될 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 SNR이 6 dB일 때의 가우시안 채널 환경에서 SOP의 개수에 따른 PT 패턴 기법과 NPT 패턴 기법을 적용했을 때의 슬라이딩 상관 처리 결과들을 나타낸다. 그림 7(a)에서 알 수 있듯이 두 개의 디바이스가 공존하는 사이에서 PT 패턴 기법을 적용할 경우 Ternary 코드의 완벽한 자기 상관 특성을 가지고 있으나 NPT 기법을 적용할 경우는 비주기적인 간격으로 인한 열화된 상관 특성을 보임을 알 수 있다. 반면에, 그림 7(b)처럼 디바이스 세 개가 공존할 때 NPT 기법이 PT 기법 보다 다소 상호 상관 특성이 열화됨을 알 수 있다. 그러나 그림 8과 같이 NPT 기법 적용 시, 미약한 LOS 성분의 최초 수신 시점에 대한 상관값이 PT 기법보다 크기 때문에 더욱 정확한 TOA 정보를 추정할 수 있게 된다.

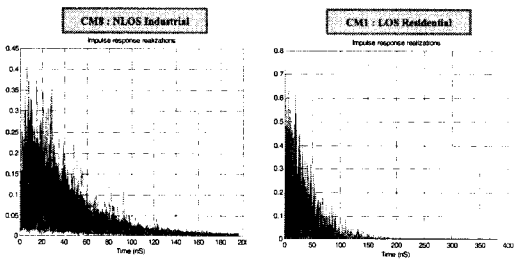
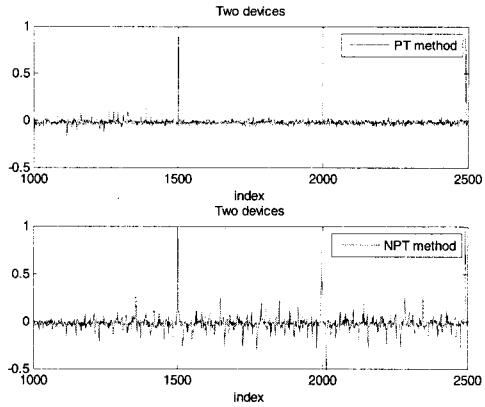
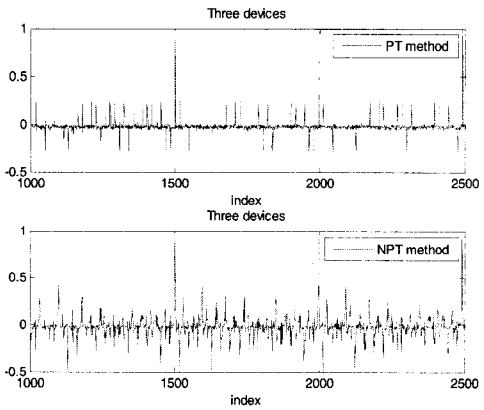


그림 6. IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 채널 특성



(a) 자기 상관 특성



(b) 상호 상관 특성

그림 7. SOP의 개수에 따른 PT 패턴과 NPT 패턴 기법 적용 시 Ternary 코드의 상관 특성 비교 결과

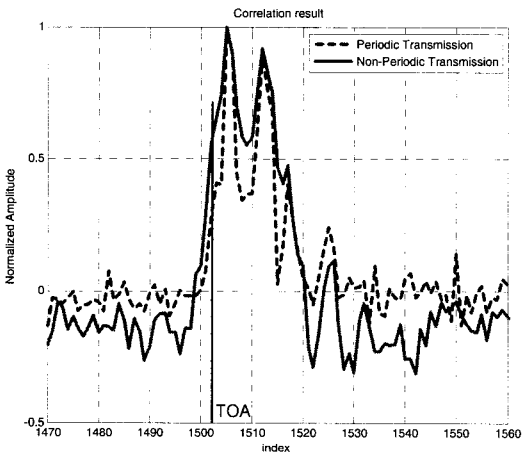


그림 8. 3개의 디바이스 사이에서 PT 패턴과 NPT 패턴 기법의 따른 상관 특성 비교

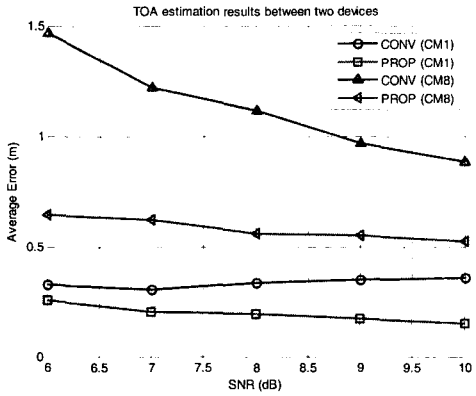


그림 9. 두 디바이스 사이에서 전송 패턴에 따른 성능 비교 결과(유형 1)

그림 9는 유형 1 환경에서 두 디바이스 사이에서의 SNR (Signal to Noise Ratio)을 6 dB에서 10 dB까지 변화시키면서 전송 패턴에 따른 TOA 오차를 비교한 것이다.

그림 9에서 적용된 채널들의 지연 확산이 대략 150 nsec 이상임을 감안할 때 펄스 간 간격이 32 nsec일 경우 Ternary 코드의 완벽한 자기 상관 특성이 떨어지게 된다. 반면 제안된 NPT 기법은 완벽한 자기 상관 특성은 없지만 일반적인 PT 기법보다 펄스 간 간섭이 적기 때문에 좀 더 개선된 TOA 추정 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 10은 유형 2 환경에서 두 디바이스 사이에서의 SNR 을 6 dB에서 10 dB까지 변화시키면서 전송 패턴에 따른 TOA 오차를 비교한 것이다. 그림 10에서 보여주듯이 CM1 환경에서는 지연 확산이 약 150 nsec로 펄스 간 간섭이 거의 없기 때문에 두 개의 기법에 대한 성능이 비슷함을 알 수 있다. 그러나 지연 확산이 약 200 nsec 되는 CM8 채널 환경에서 RT 기법을 이용할 경우 펄스 간 간섭이 발생되기 때문에 TOA 추정에 대한 성능 열화가 발생하게 된다[7]. 반면 NPT 기법은 1 혹은 -1이 2 nsec 간격으로 연속적으로 위치하기 때문에 1과 0 사이의 간격이 RT보다 상대적으로 커져 최종적으로 PT 기법보다 향상된 성능을 얻게 됨을 알 수 있다.

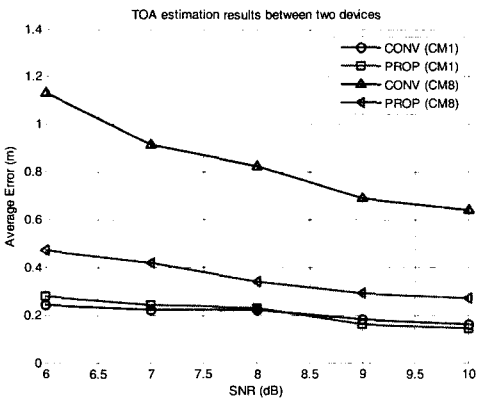


그림 10. 두 디바이스 사이에서 전송 패턴에 따른 성능 비교 결과(유형 2)

그림 11과 그림 12는 3개의 디바이스가 공존하는 즉, 다수개의 SOP 상황에서 TOA 추정 결과를 나타낸 것이다. 서로 다른 Ternary 코드가 공존하기 때문에 Ternary 코드 고유의 완벽한 자기 상관 특성은 없어지게 된다. 그림 9와 10에서 보여준 결과보다 다소 성능 열화가 있으나 여전히 PT 기법보다 성능이 우수함을 알 수 있고 유형 1을 통한 결과보다 유형 2에서의 성능이 우월함을 알 수 있다.

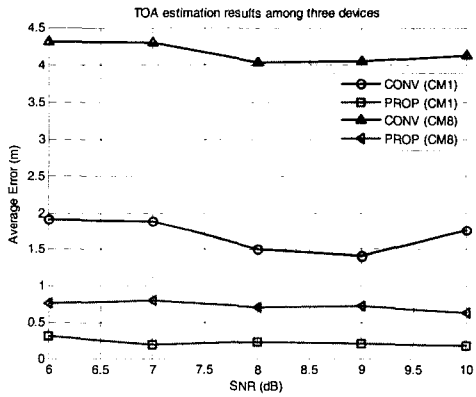


그림 11. 세 개의 디바이스 사이에서 전송 패턴에 따른 성능 비교 결과(유형 1)

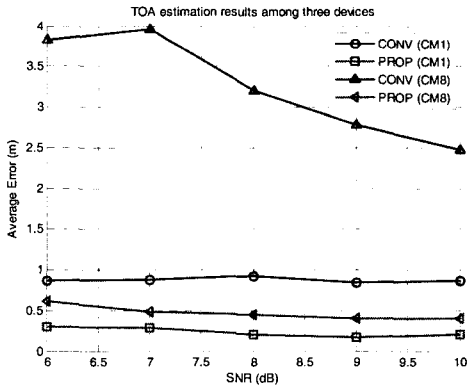


그림 12. 세 개의 디바이스 사이에서 전송 패턴에 따른 성능 비교 결과(유형 2)

V. 결 론

본 논문에서는 다수의 SOP 환경하에서 고정밀 TOA를 추정하기 위한 비 주기적인 펄스 전송 패턴 기법을 제안하였다. IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 프리앰블내에서의 펄스 간 간격은 거리 인지 서비스 종류에 따라 설정되며 이 중, 고속 거리인지 시 PRI는 채널의 MED보다 상당히 좁게 설정되어 상관 특성의 열화를 가져옴을 알 수 있었고 특히, Non-LOS 채널 환경에서 더욱 부정확한 TOA 정보를 추정하였다. 반면에 제안된 기법은 균일 간격으로 펄스를 배치하는 PT 기법보다 전반적으로 1과 0의 사이가 넓어져 채널의 MED으로 인한 IPI 영향을 감소시킴을 알 수 있었다. IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 채널 모델을 적용하여 시뮬레이션한 결과, LOS 환경뿐만 아니라 다수개의 피코넷이 공존하는 NLOS 환경에서도 일반적인 PT 기법보다 향상된 TOA 추정 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] J.Y. Lee and R.A. Scholtz, "Ranging in a dense multipath environment using an UWB radio link," *Proc. IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.20, No.9, December 2002.

[2] IEEE 802.15-TG4a, Precision Ranging Subco mmittee, "Ranging Subcommittee Fi nal Report," available at http://ieee802.or g/15/pub/TG4a.html

[3] X. Li and K. Pahlavan, "Super- resolution TOA estimation with diversity for indoor geo-location", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, No.3, pp.224-234, Jan 2004.

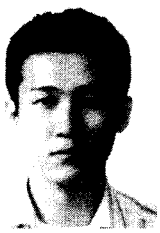
[4] W.C. Chung and D.S. Ha, "An accurat e ultra wideband (UWB) ranging for preci sion asset location," *Proc. IEEE Conferenc e on Ultra Wideband Systems and Technol ogies (UWBST)*, 16-19, pp.389-393, Nov. 2003.

[5] Lei, F. Chin, and Y.-S. Kwok, "UWB ranging with energy detection using terna ry preamble sequences,"*Proc. IEEE Wirele ss Communications and Networking Conf.*, Vol.2, pp.872 - 877, April 2006.

[6] "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical layer(PHY) specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)," *Draft P802.15.4a/ D4*, Aug. 2006.

[7] IEEE 802.15-TG4a, Channel Modeling Sub-Committee, "Channel Modeling Sub-committee Report Final," available at http://ieee802.org/15/pub/TG4a.html.

박 운 용(Woon-Yong Park) 정회원



2000년 2월 남서울대학교 정보통신공학과 학사

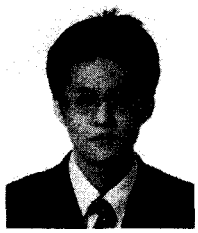
2002년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 석사

2007년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 박사

2007년 3월~현재 BK21 사업, 차세대 이동통신 산학공동협력팀 Post Doc.

<관심분야> Position Location based on UWB, Cognitive Radio, SDR 기술, RFID

박 철 웅(Cheol-Ung Park) 준회원



2006년 2월 남서울대학교 정보통신공학과 학사

2006년 3월~숭실대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> Position Location based on UWB, RFID

홍 윤 기(Yun-Gi Hong) 준회원

2007년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학과 학사

2007년 3월~숭실대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> Position Location based on UWB, RFID

최 성 수 (Sungsoo Choi) 정회원

1996년 2월 경원대학교 전자공학과 졸업
1998년 8월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2002년 1월 미네소타대학교 Pre-Doctoral Assistant
2003년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
2003년 3월~현재 한국전기연구원 융합기술연구단 선임연구원
<관심분야> LR-UWB, WPAN, BPLC

이 원 철 (Won-Cheol Lee) 정회원

1986년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
1988년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
1994년 New York Polytechnic Univ. Electronic Eng. 박사
1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
<관심분야> Cognitive Radio, SDR 기술, Position Location based on UWB, CDMA2000/WCDMA, Smart Antenna