

특집  
06

# Chirp신호 기반 실시간 위치추적 기술(RTLS)

## 목 차

1. 서 론
2. 거리추정 방식
3. 신호방식별 Ranging 기술 비교
4. Chirp 신호 기반 위치추적기술의 개발
5. 결 론

이 경 국  
(Orthotron)

## 1. 서 론

실시간 위치추적기술(Real-Time Location System: RTLS)은 인명안전을 위하여 긴급전화의 휴대폰 발신자의 위치를 실시간 파악할 수 있어야 한다는 미국 FCC의 E-911 요구사항이 발표 되면서 이를 계기로 실외(Outdoor)는 물론 실내(Indoor) 기술 개발이 활기를 띠게 되었고 위치 추정을 위한 많은 Sensor Networking 방법론들이 제시되어 왔다. 그간 RTLS를 위한 별도의 표준 무선기술이 개발되지 않아 RTLS 응용과는 무관하게 데이터 통신을 위해 개발 된 기존의 휴대무선 표준기술인 W-CDMA기술, 무선 LAN기술(IEEE802.11b/11g), 무선 PAN 기술(IEEE802.15.4, 일명 ZigBee) 등을 이용하여 광범위한 연구가 진행 되어 왔다. 최근에는 IEEE에서 Data 및 Ranging이 모두 가능한 Chirp-Spread-Spectrum방식(2.4GHz ISM-Band)과 Impulse-Radio방식(UWB-Band)을 IEEE802.15.4a 표준 [1]으로 제정하였고, ISO에서는 DSSS방식의 RTLS 표준 ISO/IEC 24730-2 [2]를 제정하는 등 동 분야의 표준기술간 경쟁

도 심화 되어가고 있다.

본 논문에서는 RTLS 구현에서 위치 추정 방법인 RSS, ToA, TDoA, 및 AoA 방법들에 대한 비교, RTLS 표준 방식들 간의 장단점 비교, 및 CSS 기술을 이용한 RTLS 개발 동향과 구현의 주요 Issue들을 다루고자 한다.

## 2. 거리(Ranging) 추정 방식별 비교

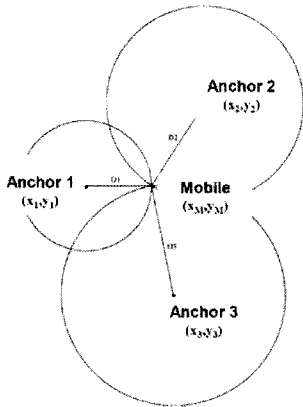
Tag의 위치를 추정하기 위하여 주로 삼각측량법(Trilateration)을 사용하게 되는데 이를 위해서는 다음에 소개하는 Tag와 Anchor Node간의 거리 추정 방법들을 필요로 한다.

### 2.1 RSS(Received Signal Strength) 방식

RSSI 방식은 자유공간의 거리에 따라 안테나의 수신 전계강도가 지수적으로 감소하는 것을 이용하여 거리를 추정하는 방법이다. 이 방법은 무선 신호의 변조 방식, 주파수대역폭에 무관하게 사용할 수 있는 기술이라는 장점이 있으나 전파의 다중경로 간섭(Multipath Fading), 안테나의 방사 패턴, 전파 감쇄 장애물 등의 환경의 영향을 크게 받는다는 단점이 있어 주로 거리 측정

의 보조 수단으로 많이 사용된다. 이 방식은 일반적으로 거리가 멀어질수록 거리 추정오차도 커지는 경향을 나타낸다.

## 2.2 ToA(Time of Arrival) 방식



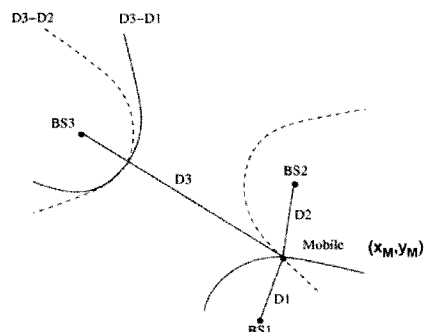
(그림 1) Time of Arrival

ToA 방식 [3]~[5]은 송신기와 수신기간의 거리에 정비례하는 전파의 도달지연을 측정하여 거리를 추정하고 3개 이상의 Anchor Node로부터의 Tag까지의 거리를 이용해 Spheric Intersection을 계산해 위치를 추정하는 방식(그림 1)이다. 이 방식은 전파의 전파속도가 광속으로서 항상 일정하다는 물리적 특성을 이용하는 것으로서 측정거리가 멀어져서 신호 강도가 약해져도 필요 최소한의 SNR이 유지 되는 영역 내에서는 거리 추정오차가 영향을 받지 않는다는 것이 최대의 장점이다. 이 방식은 Tag와 Anchor Node간에 시간 기준이 공유 되는 경우에 사용가능한 기술로서 안테나 패턴의 영향을 받지 않으며, 상대적으로 전파 감쇄 장애물의 영향은 장애물로 인한 추가적인 전파 지연 부분만큼 추정오차를 유발하나 그로인한 영향은 RSS방식에 비해 상대적으로 적다. 이 방식은 전파 다중경로에 대해서는 비교적 민감하여 먼저 도달한 최소경로거리 신호와 물체에 반사되어 나중에 도달한 신호들 간의 간섭에 의해 거리 추정오차를 유발 시킬

수 있다. 이 오차의 정도는 사용된 신호의 물리적 특성, 다중경로신호를 수신 측에서 다시 분리해 내는 신호처리 기술의 적용 여부, 및 적용기술의 종류에 따라 각기 다른 성능을 보이게 된다. 이 방식은 RSS방식에 비해 일반적으로 고 정밀도의 거리 추정이 가능한 방식이다.

## 2.3 TDoA(Time-Difference of Arrival) 방식

TDoA 방식은 3개 이상의 Anchor Node에 도달한 신호 각각의 시점들을 추정하고 이들 시점들 간의 차이를 이용한 Hyperbola Intersection을 계산해 위치를 추정하는 방식(그림 2)이다. TDoA 방식은 송신기와 수신기간의 거리에 정비례하는 전파의 지연시간 추정치를 이용하여 Tag의 위치를 추정하는 방식이라는 점에서는 ToA 방식과 매우 유사하다. TDoA 방식은 ToA 방식 적용의 전제가 되는 Tag와 Anchor Node간에 시간 기준이 공유 되지 않아도 사용가능한 기술이라는 점이 근본적인 차이점이며, 이 방식도 Anchor Node 상호 간에는 동일한 시간 기준이 마련되어야 한다. 안테나 패턴의 영향, 전파 감쇄 장애물의 영향, 및 전파 다중경로에 대한 성능 등은 ToA 경우와 유사한 결과를 나타낸다. 이 방식은 ToA방식과 유사하여 고 정밀도의 거리 추정이 가능한 방식이며 구현이 ToA 방식에 비해 수월하여 상용 시스템에 많이 채택 되고 있는 방식이다.



(그림 2) Time Difference of Arrival

## 2.4 AoA(AoA) 방식

AoA 방식은 3개 이상의 Anchor Node의 다중 수신 안테나에 도달한 전파의 입사각을 각각 추정하고 이들 방향 Vector의 연장선이 만나는 점을 Tag의 위치로 추정하는 방식이다. 이 방식은 신호의 종류나 주파수 대역폭에 영향을 상대적으로 덜 받는다는 장점이 있으나, 다중 수신 안테나와 다중 수신기가 필요하여 이들의 설치문제를 해결하여야 하며 Tag와 Anchor Node간의 거리가 멀어 질수록 오차가 증가하는 양상을 나타낸다. 다중경로 신호로 인한 입사각 오차도 해결 해야 할 과제이다.

## 3. 신호(Signal) 방식 별 Ranging 표준 기술 비교

실내 (Indoor) 채널모델은 일반적으로 많은 반사체들이 밀집해 있어서 수신된 다중 경로 (Multipath)신호는 직접파(Direct-path Signal)와 반사파간에 도달 경로 차에 따른 시간 차이는 약 1nsec(30cm 경로 차) 부터 1 usec(300m 경로 차) 사이의 다양한 분포를 가진다.

### 3.1 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)

ISO/IEC 24730-2 표준은 2.4GHz ISM-Band에서 PN (Code 길이: 511) Chip-rate 30.52MHz, Bandwidth 60MHz의 DSSS신호를 사용하여 Data-rate 59.7Kbps 와 10dBm 송신 Power로 최대 300m 거리까지 3m 반경 이내 오차의 Tag 위치 추적을 목표로 하고 있다. DSSS 방식의 경우 Chip-duration(약 33nsec) 보다 경로차가 큰 다중경로 신호는 수신기에서 Correlation에 의해 직접파와 다중경로 신호의 분리가 가능하여 보정이 가능하나 경로차가 이보다 적은 다중경로 신호는 수신기 내에서 분리가 불가능하여 10m의 경로 차(33nsec) 이하의 다중경로 신호가 많이 존재하는 실내(Indoor) 환경

에서는 위치 추정치의 오차가 목표인 3m 보다 큰 값이 될 확률이 높아진다.

### 3.2 IR(Impulse Radio)

IEEE802.15.4a 표준의 IR 기술은 UWB-Band에서 PRF(Pulse Repetition Frequency) 3.9MHz ~ 62.4MHz, Bandwidth가 499.2MHz 혹은 1354.97MHz 인 Impulse-sequence를 사용하여 Data-rate 110Kbps ~ 27.24Mbps와 최대 50m 거리에서 20cm 반경이내 오차의 Tag 위치 추적을 목표로 하고 있다.

IR 방식의 경우는 다중경로 신호가 존재하여도 Impulse의 Duration이 약 2nsec 이하 이므로 실내 다중경로 환경에서도 목표로 하는 20cm 오차 내외의 위치 추정 정밀도를 구현 할 수 있다. 반면, IR 방식은 UWB-Band를 사용하므로 최대 송출가능 Power가 미국의 경우 -16dBm(여타 나라에서는 각국의 규정에 따라 아직 전파 발사가 허용되지 않던지 허가 되었더라도 미국의 경우보다 낮은 송신 Power혹은 다른 규정을 통해 규제)로 타 방식에 비해 매우 낮은 송신 Power로 전파 도달거리가 매우 제한 적이며, Bandwidth가 500MHz 이상을 사용하므로 DSP 방식 구현 시 1GHz 이상의 저전력 ADC Sampling-rate가 요구 되는 점도 해결해야 할 과제이다.

### 3.3 CSS(Chirp Spread Spectrum)

IEEE802.15.4a 표준의 CSS 기술은 2.4GHz ISM-Band에서 Bandwidth 22MHz의 CSS 신호를 사용하여 Data-rate 1Mbps와 10dBm 송신 Power로 최대 300m 거리에서 1m 반경이내 오차의 Tag 위치추적을 목표로 하고 있다.

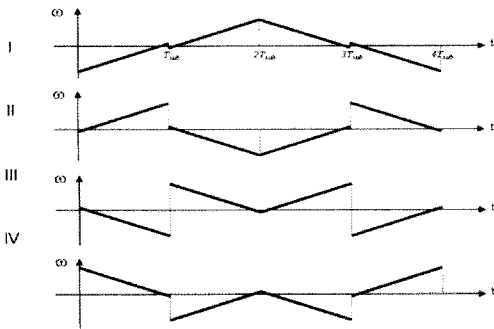
CSS 방식의 경우 Chirp 신호의 물리적 특성에 의해 경로차가 1m 이하의 다중경로 신호의 경우 까지도 수신기에서 De-correlation에 의해 직접파와 다중경로 신호의 분리가 가능하여 보정이

가능하므로 실내(Indoor) 환경에서도 위치 추정치의 오차를 목표인 1m 이내로 실현 가능하다. 다만, 다중경로가 밀집된 환경의 경우에는 일반적인 Correlation 방법만으로는 충분치 못하여 MUSIC, ESPRIT 등의 Super-Resolution Algorithm을 추가로 사용하여야 한다. DSP 구현 시 Sampling-rate가 32MHz로서 여타방식에 비해 가장 낮아 저전력 구현이 용이하다.

### 4. Chirp신호 기반 RTLS 기술

#### 4.1 IEEE802.15.4a 표준 기술의 개요 [1]

IEEE802.15.4a 표준의 CSS기술은 Linear FM 신호인 Chirp 신호들의 4가지 조합 (그림 3)으로 구성되어 4개의 SOP(Simultaneously Operating Piconet)를 지원한다.

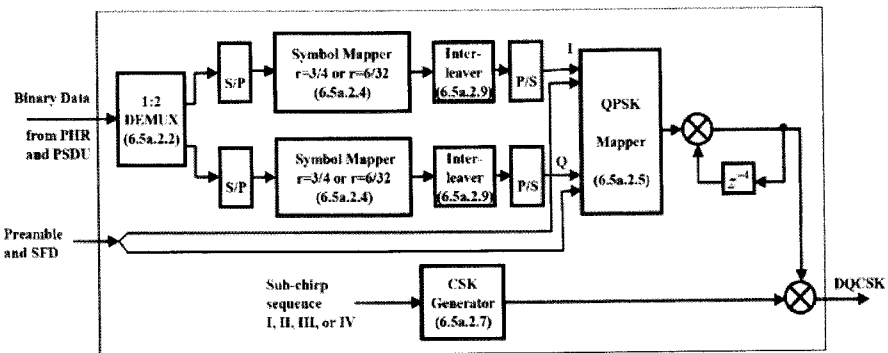


(그림 3) 4-SOP(Simultaneously Operating Piconet)

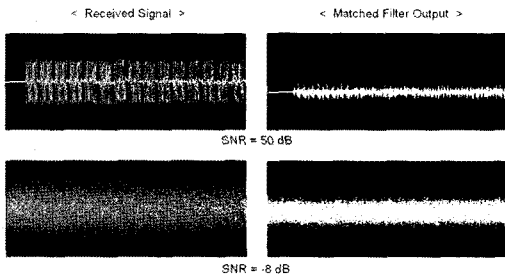
표준의 CSS Modulation(그림 4)은 입력 Data의 Bi-Orthogonal Mapping, 4-symbol 단위의 Differential-Coding, CSK(Chirp-Shift-Keying) 신호를 사용한DQCSK Modulation을 하여 Chirp-Spread-Spectrum(CSS) 신호를 생성하며, 이를 이용 최대 1Mbps까지 Data 통신이 가능하다.

#### 4.2 CSS Data 통신 및 ToA Ranging 구현

CSS 신호는 기본적으로는 Chirp 신호의 물성을 지니고 있어 수신기에서 Correlation에 의한 Matched-Filter를 사용하면 Chirp 신호의 특성인 Pulse-Compression이 가능하다. 그림 5의 왼쪽 상단은 SNR이 큰 경우의 표준 Packet의 파형이며 그 오른쪽은 Packet의 Preamble에 대한 Matched-Filtering 한 파형이다. Matched-Filtering 한 파형을 보면 Preamble 부분에서 Pulse-Compression이 되어 예리한 Peak의 Pulse파형이 관찰 된다. 이와 같은 CSS 신호의 Compression 특성을 이용하여 Data Communication을 하면 (그림 5)의 아래 결과처럼 SNR이 낮은 경우에도 Preamble 부분이 명확하게 검출되는 것을 볼 수 있다. 이런 특성을 인해 Noise 원이 상대적으로 많이 존재(W-LAN, Bluetooth, ZigBee 등)하는 2.4GHz Band에서도 신뢰성 있는 통신이 가능 하다.



(그림 4) DQCSK Modulation



(그림 5) CSS Matched Filtering

CSS 신호에 의한 Ranging도 Chirp 신호의 이 같은 특성을 이용한다. Packet이 수신되면 Preamble과 SFD(Start of Frame Delimiter)의 Detection에 의해 수신 Packet의 도착 시점을 추정해야 되는데 Matched-Filtering에 의해 신호의 검출을 수행하며, Pulse-Compression 된 파형에서 Peak가 도달 한 시점을 추정 하므로 서 정확한 결과를 얻게 된다. 이렇게 하면 원래 수신된 CSS 신호 파형만으로는 도착 시점의 정확한 추정이 곤란하나 Matched-Filter 출력에서는 상대적으로 정확하고 용이하게 도착시점을 추정할 수 있게 되는 것이다.

다중 경로 신호가 존재하지 않는 AWGN 환경에서는 이상의 방법만으로도 1m 이내의 오차 범위를 갖는 위치 추정이 가능 하나, 실내 환경에서는 수신 전파에 다중 경로 신호들이 존재하여 Matched-Filtering 결과만으로 신호 도착시점을 추정하게 되면 위치 추정 오류가 발생 하게 된다. 다중 경로 입력들에 의해 발생하는 오류를 제거하기 위하여 MUSIC, Root-MUSIC, 혹은 ESPRIT 등의 Super-Resolution Algorithm을 사용하여 가장 먼저 도달한 신호 성분만을 분리해 내어 도달 시점을 추정함으로써 정밀한 Ranging이 가능하게 된다.

### 4.3 실내(Indoor)환경에서의 CSS Ranging

DSSS 신호를 사용하면 앞에서 언급하였던 바와 같이 1-chip 이내의 Delay를 가지는 다중경로

성분들이 수신 안테나에서 중첩되면 수신기의 Rake-Receiver에서 분리가 불가능 하게 되며 Super-Resolution Algorithm의 사용도 무의미하게 되어 개선을 기대할 수 없다. 더구나, 신호의 중첩이 파괴적으로(Destructive Superposition) 발생하는 경우 신호 에너지의 대부분이 상쇄되어 송수신기간의 거리가 가까운 곳에서도 SNR이 급격한 열화가 나타나게 된다. 이에 반해 CSS 신호는 신호의 주파수가 시간에 따라 변하는(Frequency Sweeping) 물리적 특성으로 인해 다중 경로 신호들 간의 약간의 시간 차이만으로도 중첩되는 시점에서 신호들 상호간의 주파수가 달라져 건설적인 중첩과 파괴적인 중첩이 동시에 존재하게 되어 신호 에너지가 거의 일정하게 보존 되므로 다중 경로 중첩 후에도 SNR이 보전되며 Super-Resolution Algorithm의 적용에 의해 최초 도달 경로 신호의 분리도 가능해지는 것이다.

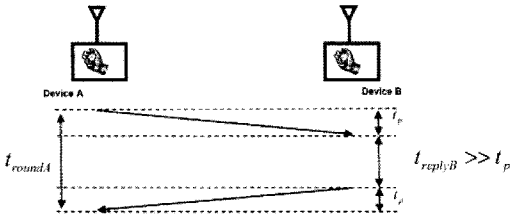
### 4.4 비 동기 ToA Ranging 기법

ToA Ranging은 송수신기 간에 동기 된 시간 정보를 공유하여야 가능 하나, 비 동기 관계인 두개의 송수신기간에 ToA Ranging을 수행할 수 있도록 하기 위하여 다음과 같이 두 가지 방법을 소개한다.

#### 4.4.1 Two-way Ranging (TWR)

비 동기 관계인 Device A와 Device B 간의 ToA Ranging은 (그림 6)과 같이 Device A가 자신의 Clock으로 Ranging Packet을 Device B로 송신 하고 그 송신 시점부터 시간 측정을 시작한다. Device B는 수신 신호의 도착시점을 측정하고 도착이 검출된 시점으로부터 reply가 경과한 후 응답 Ranging Packet을 Device A로 송신 한다. Device A는 Device B로부터의 응답 Packet 도달 시점을 검출하여 시간 측정의 총 경과 시간을 출력 한다. 총 경과 시간에서 reply를

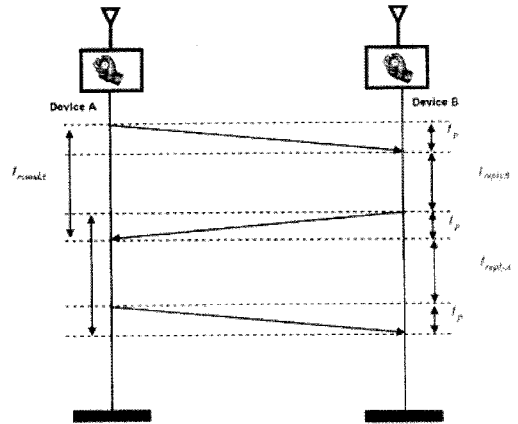
빠면 전파의 Round-trip 시간을 얻을 수 있으므로 (Device A와 B간의 거리) =  $c(\text{빛의 속도}) \times (\text{Round-trip time})/2$  계산에 의해 거리를 추정하는 방법이다. 이때 두 Device간에 Clock 오차가 있으면 clock 오차의 정도에 비례하는 거리 오차 값이 존재 하게 된다.



(그림 6) Two-way Ranging (TWR)

4.4.2 Symmetric Double-sided Two-way Ranging (SDS-TWR)

비 동기 관계인 Device A와 Device B 간의 ToA Ranging은 (그림 7)과 같이 Device A 가 자신의 Clock으로 Ranging Packet을 Device B 로 송신 하고 그 송신 시점부터 경과시간 측정을 시작한다. Device B는 수신 신호의 도착시점을 측정하고 도착이 검출된 시점으로부터 reply가 경과한 후 응답 Ranging Packet을 Device A로 송신 하고 그 송신 시점부터 경과시간 측정을 시작 한다. Device A는 Device B로부터의 응답 Packet 도달 시점을 검출하여 시간 측정의 총 경과 시간을 출력 하며 reply 경과 후 Device A 가 두 번째 Packet을 Device B로 송신 한다. Device B는 Device A로부터 두 번째 Packet이 수신되면 경과시간을 출력 한다. Device 각각의 총 경과 시간에서 reply를 빼면 전파의 Round-trip 시간을 얻을 수 있으므로 (Device A와 B간의 거리) =  $c(\text{빛의 속도}) \times (\text{Round-trip time})/2$  계산에 의해 거리를 추정 하고 이 결과를 Data Packet을 통해 서로 교환 한 후 서로 상대방의 결과와 자신의 결과를 더하여 2로 나누면 두 Device 간의 Clock 오차에 기인 한 거리 오차를



(그림 7) Symmetric Double-sided Two-way Ranging (SDS-TWR)

상쇄하여 정확 한 ToA Ranging 결과를 얻을 수 있다.

4.5 CSS 상용화 Chip 개발 동향

RTLS의 주요 성능 평가 지표에는 휴대 Tag 와 고정 Anchor Node간 거리 추정 정밀도, Tag 위치의 추정 오차, Anchor Node의 단위 시간당 최대 위치추적 가능 Tag 수, 휴대 Node의 전력 소모, Anchor 설치비용 등이 있다. Indoor Ranging에 대한 분석 결과들을 종합하면 Signal Bandwidth가 10MHz 이하인 경우에는 그 Bandwidth 증가에 비례하여 Ranging Resolution이 향상 되나 10MHz 이상의 Bandwidth를 사용하여도 Non-Line-of-Sight 환경과 장애물(Obstacle)등의 통계적 영향으로 인하여 추가적인 Ranging Resolution의 개선이 되지 않는다는 것이다.

현 시점에서 CSS 기술을 적용하여 상용화 된 SoC Chip은 독일의 Nanotron사 의 NanoLoc Chip이 유일하나 이 Chip은 IEEE802.15.4a 표준 과는 무관한 Nanotron의 자체 Proprietary 기술을 적용한 제품이다. 이 기술은 2.4GHz 대를 사용한다는 것과 Chirp 신호를 사용하는 점은 표준

기술과 유사하나 Ranging에 80MHz Bandwidth를 사용하고 있어 표준의 22MHz와 차이가 있고, 신호 Pattern도 단일 SOP만을 지원하여 4 SOP를 지원 하는 표준과는 동 떨어진 기술이다.

상술한 ISO [2]의 DSSS 방식이 사용하는 60MHz의 Bandwidth와 Nanotron의 자체 CSS 방식이 사용하는 80MHz의 Bandwidth는 주파수사용 효율 면에서 개선의 여지가 있는 것으로 보이며, 더욱이 사용한 주파수대가 무선 LAN이 대체를 이루는 2.4GHz ISM-Band 환경에서 두 방식 모두 2.4GHz Band 전체에 IFA 만 가능하여 무선 LAN이 어느 주파수를 사용하더라도 서로간의 간섭을 피할 수 없다는 문제를 안고 있고 이로 인해 응용 확산의 큰 걸림돌이 될 것으로 예상된다. Nanotron의 chip은 SDS-TWR 방식(Nanotron 제안) ToA 지원을 주 목표로 하여 개발 되었는데, 이 방식은 앞에서 기술한 바와 같이 비 동기 Node들 간의 ToA Ranging 정밀도 향상에 큰 이점이 있으나 1차례의 Ranging을 위해 무선 Packet을 4번~6번까지 교환해야 하므로 무선 채널의 시간 자원 소모가 많아 RTLS System의 주요 성능 지표인 Anchor Node의 단위 시간당 최대 위치추적 가능 Tag 수를 감소시키게 되며, 휴대 Node의 전력소모도 증가하게 된다.

IEEE802.15.4a 표준 [1]의 CSS 기술은 Bandwidth가 22MHz로 IEEE802.11b 무선 LAN과 동일하며 실제 CSS 신호의 유효 Bandwidth는 약 14MHz로 10MHz 보다는 넓으나 과도하지 않고, 중심 주파수 할당 방법도 무선 LAN과 동일하여 인근에서 사용하는 무선 LAN과 주파수 할당을 피하여 지정 할 수 있는 여유를 가지고 있다.

현재까지 IEEE802.15.4a 표준과 호환되는 CSS Chip은 발표된 바는 없으며, 국내에서는 CSS의 원천기술을 보유하고 있는 오스트론사가 금년 8월경에 자체 개발 Chip을 발표 할 것으로

예상 된다. 아울러 동사는 무선 Tag, Anchor Node, 및 RTLS 운용을 포함하는 TDoA 방식의 Infra System의 개발도 병행 하고 있다. TDoA 방식을 사용하게 되면 무선 Tag와 Anchor Node 간에 한 번, 또는 두 번의 무선 Packet 만으로 Ranging을 완료 하게 되므로 Anchor Node의 단위 시간당 최대 위치추적 가능 Tag 수가 3~4배 증가되며, 휴대 Node의 전력소모도 같은 비율로 감소하게 되어 RTLS System의 종합 성능과 상품 경쟁력의 향상이 기대 된다.

## 5. 결론

RTLS 기술은 인명안전, Game, 상용 서비스 등을 위한 응용분야에서 그 수요가 증가 추세에 있다. 최근 RTLS를 지원하는 ISO와 IEEE 표준이 확정되어 기술 방식 간 경쟁과 Chip 개발경쟁이 점차 격화되고 있다. 본 논문에서 주제로 다룬 CSS 기술의 경우 독일의 회사는 제품을 선출시하였으나 비표준 방식이라는 한계로 인해 시장의 호응도는 낮은 편이며 아직 성능에 있어서도 개선점 들이 남아 있는 것으로 시장에서 반응하고 있다. IEEE 표준 CSS 기술은 국내 벤처 기업이 그 원천 기술을 보유하고 있으며 CSS 방식은 2.4GHz 주파수를 사용하고 있어 전세계 대부분의 국가에서 무선국 허가 없이 사용 가능하므로 표준 방식의 ASIC Chip과 RTLS System이 출시되면 국내 기술이 세계 RTLS 시장의 판도에 큰 영향을 끼치게 될 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- [1] IEEE Std 802.15.4a-2007: MAC and PHY Spec. for Low-rate W-PAN.
- [2] SO/IEC FDIS 24730-2: 2006 Real-Time Location Systems - 2.4GHz Air Interface Protocol.

- [3] Nayef Alsindi, Xinrong Li, & Kaveh Pahlavan, "Analysis of Time of Arrival Estimation Using Wideband Measurements of Indoor Radio Propagations", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 56, No. 5, Oct. 2007.
- [4] Montse Nájjar, Jose M. Huerta, Josep Vidal, J. Antonio Castro, "Mobile Location with Bias Tracking in Non-Line-of-Sight", ICASSP 2004.
- [5] S.A. Sattarzadeh and B. Abolhassani, "ToA Extraction in Multipath Fading Channels for Location Estimation", PIMRC'06.

### 저자약력



**이 경 국**

1977년 한양대학교 통신공학과(학사)  
1979년 한양대학교 통신공학과(석사)  
1978년~2003년 LG전자 전송연구소 연구소장/상무  
2003년~Orthotron사 창업/ 사장  
이 메 일 : kyunglee@orthotron.com