

# 2.45GHz RTLS 고정밀 위치추정 기술

정승희, 이현재, 오창현, 신동욱

한국기술교육대학교 정보기술공학부

## 목 차

I. 서론	IV. RTLS 위치추정
II. RTLS 개요	V. 결론
III. RTLS 물리계층	

### I. 서론

각 사물에 전자 태그를 부착하고 사물의 위치정보를 실시간 무선으로 전송, 추적하여 사물에 대한 위치 및 이동체의 안전을 보장하는 USN 기반의 위치확인 및 추적기술 등의 서비스가 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 기반 기술로서 RFID가 각광을 받고 있다[1].

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 태그와 리더간 라디오 주파수를 통해 정보를 전달하는 기술로서 특정 매체가 담고 있는 정보를 자동으로 식별하므로 다양한 목적으로 활용이 가능하다. 또한, RFID는 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심요소로서 IT산업은 물론 국방, 조달, 건설, 교통, 의료 등의 공공부문과 물류, 유통, 제조, 서비스 등 산업 전반에 걸쳐 큰 영향을 미치므로 기존의 산업구조는 물론 인간의 생활방식까지도 변화시킬 수 있는 중요한 산업으로 인식되고 있다. 이러한 기술은 기존의 GPS 기술을 대체하여 상품 관리를 네트워크화, 지능화함으로써 유통 및 물품 관리뿐만 아니라 security, safety, 환경관리 등에 활용되어 인간 생활의 혁신을 선도할 것으로 예상되며, 지금까지 추진된 사람 중심(anyone)의 정보화에서 사물(anything)에까지 확장된 개념의 핵심기술로서 부각되고 있다[2],[3].

이에 따라 RFID 태그가 점차 소형화·저가격화 될 것으로 예상되며 사물 인식 등 다양한 분야에 대한 적용 가능성을 높이고 있다. 현재 RFID 태그가 고속도로 이용료 정산, 출입/보안 카드, 컨테이너 추적 등

에 활발하게 적용되고 있으며, 국내외에서 IPv6 및 브로드밴드 인터넷과 더불어 미래 IT 시장을 선도할 기술로서 주목받고 있다. 이러한 RFID 기술이 현실 세계의 사물에 적용될 경우, 사물의 네트워크 및 디지털 정보화가 이루어짐으로써 사물에 대한 다양한 서비스 및 관리 작업에 혁신을 선도할 것이며, 향후 USN 환경에서 핵심 기술이 될 것으로 전망된다[4].

이에 본 고에서는 다양한 분야에서 응용 가능한 USN 기반 위치추정 방안으로 태그의 위치를 실시간 추정할 수 있는 RTLS (Real Time Location System)의 물리계층 규격을 중심으로 고정밀 위치추정 방안에 대하여 기술한다.

### II. RTLS 개요

#### 2.1 RTLS 표준화

RFID 기술관련 표준화 작업은 ISO/IEC JTC1의 SC31에서 담당하고 있으며, SC31은 5개의 워킹그룹(WG)으로 구성되어 있다. 각각의 WG은 세분화된 자동식별 기술에 대해 표준화를 진행하고 있고, 2004년에 실시간 위치 시스템(RTLS)에 대한 표준화를 위해 WG5를 설치하였다.

RFID 기술로 사용 가능한 주파수 대역은 125KHz, 135KHz, 13.56MHz, 433MHz, 860~960MHz, 2.45GHz, 5.8GHz등이 알려져 있으며, 이중 RTLS(Real Time

Location System)는 2.45GHz 대역에서 실시간 위치추정을 통한 RFID 응용기술이다. WG5에서는 2.45GHz air interface, API, GLS, near field 등에 대한 RTLS 표준화를 추진 중이고, 이 중에서 2.45GHz air interface와 API는 표준 초안이 완성된 단계이다[5].

### 2.2 RTLS 현황

RTLS 관련 국내/외 현황을 살펴보면 국내의 경우 기술개발 및 표준화 연구는 이제 막 시작 단계에 있다. 이에 반해 미국, 일본 등 선진국에서는 수년전부터 다양한 프로젝트를 통하여 실시간 위치추적을 위한 RTLS 태그 및 안테나 기술과 위치추적 기술개발 등을 적극 지원을 하고 있다. 또, 2.45GHz 대역 RTLS 태그는 미국, 일본 등에서는 이미 출시되어 일부 서비스에 활용되고 있다. 현재까지는 통신거리, 가격, 기능 면에서 RTLS 네트워크에 보편적으로 활용할 정도는 아니지만, 향후 2~3년 내에 활성화될 시장을 선점할 것으로 예측된다[6],[7].

능동형 RTLS 시스템을 공장, 공항, 항만 등의 물품 추적, 관리 분야에 응용하기 위해서는 여러 가지 기술적인 문제를 고려해야 한다. 일정한 반경 내에 다수의 태그가 참여하여 동작할 경우 태그 상호간 충돌이 발생하여 성능저하를 가져올 수 있다. 그러므로 다수의 태그들이 제한된 범위 내에서 동시에 동작할 경우 여러 가지 상황 등을 모델링 하여 RTLS 리더 배치에 따른 성능 분석, 리더간의 최적화 배치 등을 연구할 필요가 있다. 또한, 정확한 위치 인식을 위해 2D/3D 위치추정 및 위치오차 최소화 기술이 요구되며, 태그의 빠른 접속을 위하여 태그의 고속 접속기술, 다중태그 접속기술 및 시스템 고정밀 동기방식의 연구가 필요하다.

## III. RTLS 물리계층

### 3.1 RTLS 구조

RTLS 시스템은 2.45GHz 대역의 능동형 RFID 기술로서 해당 제품의 정보 및 위치를 송신하는 태그와 송수신 단말인 리더를 통해 정보를 수집, 응용하는 서버 애플리케이션으로 구성되어 있다. 그림 1은 RTLS

구조이다.

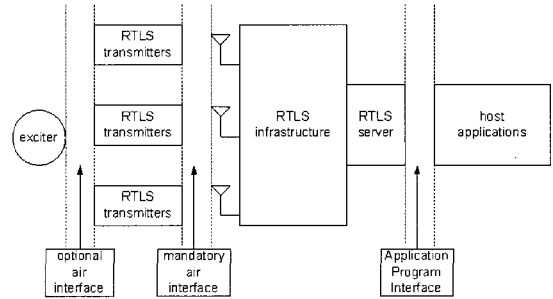


그림 1. RTLS 구조

RTLS 태그는 배터리가 내장된 능동형 태그이며, 그림 2와 같이 태그와 리더간의 측정 가능거리가 최대 300m로 이때 리더는 1초당 최대 120개의 서로 다른 태그 신호를 구분 할 수 있다. RTLS 규격상 태그의 위치 추정 오차는 2차원, LOS 환경에서 반경 3m 이 내를 만족해야 한다.

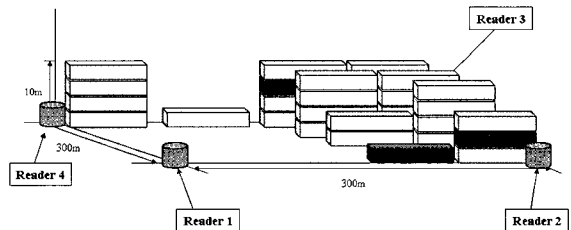


그림 2. RTLS 탐색범위

### 3.2 동작주파수

RTLS의 동작 주파수는 2.4GHz~2.4835GHz 범위에서 중심주파수는 2.44175GHz이며, 채널 대역폭은 60MHz이다. RF 전송은 저전력이고, 전자기적으로 호환가능하며, 2.4GHz 대역의 다른 무선 매체들과 간섭을 일으키지 않아야 한다.

### 3.3 생산자 태그 ID

생산자들의 태그 ID 넘버는 특정 생산자를 인식하기 위한 16비트로 구성되어 있다. 생산자는 1개 이상의 ID 넘버를 가질 수 있으며 서버의 API로 전달된다. API로 전달된 16비트 데이터는 생산자 ID 넘버로

고유하게 생산된 시스템을 구별한다.

### 3.4 물리 계층 파라미터

표 1은 RTLS의 물리계층 파라미터들에 대한 정의이다.

표 1. 물리계층 파라미터

Parameter name	Description
Operating frequency range	2400~2483.5MHz
Operating frequency accuracy	25 ppm maximum
Center frequency	2441.75MHz
Occupied channel bandwidth	60MHz
Transmit power	Class 1: 10 dBm EIRP max. Class 2: Maximum in accordance to local regulations.
Spurious emission, out of band	The device shall transmit in conformance with spurious emissions requirements defined by the country's regulatory authority within which the system is operated.
Modulation	BPSK Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
Data encoding	Differentially encoded
Data bit rate	59.7 Kb/s
Bit error rate	0.001%
PN chip rate	30.521875MHz ± 25 ppm
PN code length	511
PN spread code	0x1CB
Data packet lengths	Option 1: 56 bits Option 2: 72 bits Option 3: 88 bits Option 4: 152 bits
Message CRC polynomial	$G(x)=x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
CRC polynomial initialized value	0x001
blink interval	Programmable, 5 s minimum
blink interval randomization	±638 ms maximum
Number of sub-blinks	Programmable, 1 - 8
sub-blink interval randomization	125 ms ± 16 ms maximum

Maximum Frequency Drift	<±2 ppm over the duration of the entire message
Phase Accuracy	< 0.50 radians within any 33µs period
Phase Noise	< 15 degrees when the noise is integrated from 100Hz to 100KHz

### 3.5. Air interface 표준

RTLS 시스템 구조는 고정된 위치의 RTLS 리더들과 랜덤하게 분포한 RTLS 태그들로 구성되어 있으며, 리더에서는 태그의 DSSS blink 신호를 수신한다. 이를 통해 RTLS 시스템은 RTLS 태그들의 X, Y 위치를 결정한다. 수신된 해당 태그의 위치와 기타 정보들은 서버 애플리케이션으로 전송되어 RTLS 태그의 위치를 결정한다. 이를 통해 태그들의 위치는 실내/실외 환경에서 반경 3미터 이내의 정확도를 만족할 수 있어야 한다. 또한 추가적으로 옵션구성을 통해 원거리 데이터 전송을 위한 기능을 정의할 수 있다.

### 3.6 RTLS 태그

RTLS 태그 모듈은 자체 전원을 포함하고 있는 소규모의 무선 장비로서 RTLS 시스템의 구성 요소이다. 각각의 전송된 위치정보 신호들은 DSSS 신호로서, RTLS 리더는 이러한 blink 신호를 수신한다. blink는 short ID 또는 RTLS 태그 ID를 포함하는 long ID 메시지로 구성되어 있다. 또한 각 전송신호들은 RTLS 태그의 상태 정보를 포함하고 있으며, RTLS 태그의 구성상태, 배터리상태, 기타상태 정보 데이터들을 포함하고 있다.

RTLS 태그의 전송신호에서 충돌방지를 위한 동기 프로토콜들은 필수 사항이 아니며, 각 blink는 복수의 sub-blink들로 구성되어 있다. RTLS에서는 이러한 sub-blink들을 통해 시간 다이버시티, 공간 다이버시티, 프로세싱 게인과 같은 다중 레벨 간섭방지 시스템을 구성할 수 있다. 또 복수의 sub-blink의 조합과 다중 수신 안테나들 그리고 확산 상관도를 이용하여 동시에 수신된 blink들을 구분한다. RTLS 태그 데이터는 메시지들 중에서 처음 전송되는 MSB(Most Significant Bit)와 함께 Binary Encoding된다. 그림 3은 differential 인코딩 회로이다.

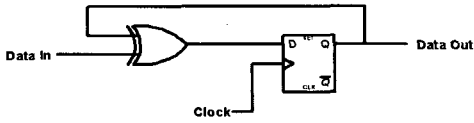


그림 3. Differential encoding

Differential 인코더 출력의 초기 값은 1로 설정하며, 인코더를 통한 출력은 다시 PN 제너레이터의 출력과 함께 XOR 하게 된다. XOR을 한 출력은 BPSK를 이용하여 변조되고, 업컨버터를 이용하여 동작 주파수로 컨버팅 된다. 이런 과정을 통하여 증폭된 RTLS 태그 신호는 RTLS 리더로 전송된다. 그림 4는 RTLS 태그의 데이터 인코딩과 전송 프로세스이다.

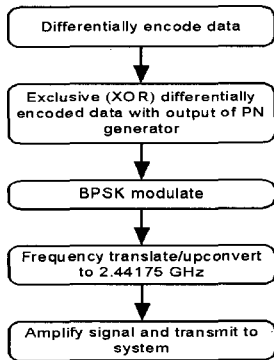
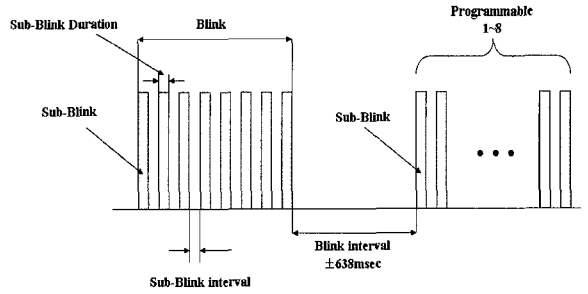
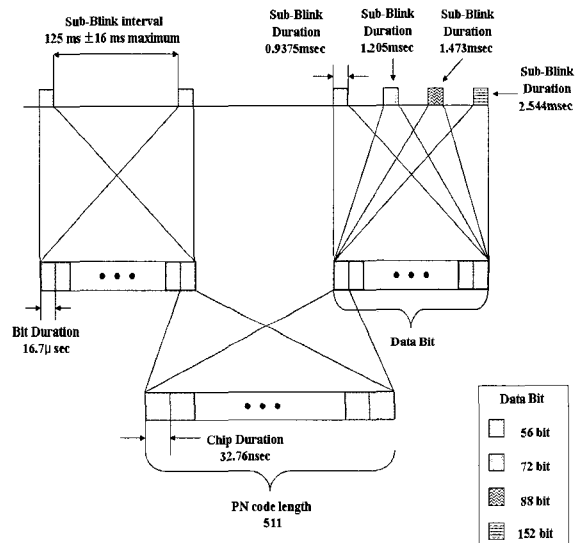


그림 4. RTLS 태그의 데이터 인코딩과 전송 프로세스



(a) Blink 구조



(b) Sub-blink 구조

그림 6. 태그의 blink 및 sub-blink 구조

그림 5는 RTLS 태그의 PN 제너레이터 구성도이다.

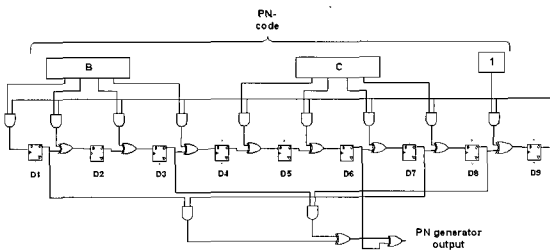


그림 5. RTLS transmitter PN generator

RTLS 태그로부터 송신되는 DSSS 신호의 전송 형식은 그림 6과 같다. 각 DSSS 신호는 N 개의 sub-blink들을 포함하는 blink 패키지로 이루어진다.

각 sub-blink의 패킷은 56bit, 72bit, 88bit, 152bit의 4가지 메시지 형태 중 하나이며, 각각의 sub-blink들은 시간 다이버시티 효과를 얻기 위해 blink 내에서 서로 동일해야만 한다.

각 sub-blink들은 RTLS 태그의 메시지 형식에 따라 8비트 프리앰블과 32비트 ID, 4비트의 상태 정보, CRC 데이터 그리고 추가적으로 payload 데이터를 포함할 수 있다. blink 내의 각각의 sub-blink들은 sub-blink 간격에 의해 분리되며, sub-blink의 구조는 사용자가 임의로 변경할 수 없다. 그러나 blink 당 sub-blink들의 수와 blink 간격은 조정 가능하다.

RTLS 시스템의 DSSS 반송파와 chip-rate는 각각 2441.75MHz와 30.521875MHz로 고정되어 있다.

### 3.7 RTLS 태그 방사전력

RTLS 태그는 출력파워레벨과 관련해서 2가지 클래스로 구분할 수 있다.

클래스 1의 EIRP는 최소한의 장애물과 태그들의 분포를 보다 완화하기 위해 10 mW(10 dBm)보다 적게 고려되었다. 클래스 2의 EIRP는 10 mW(10 dBm)보다 크고, 지역 무선관리기관에서 허용한 최대기준보다는 작아야 한다. 클래스 2 EIRP는 태그들이 상대적으로 희박한 환경을 위해 고려되었다. 이 경우 RTLS 리더들은 RTLS 태그 또는 장애물 환경으로부터 300미터 이상 떨어져 위치할 수 있다.

RTLS 태그의 안테나는 RTLS 태그의 패키징 요구사항을 고려하여 가급적 omni-directional의 방사 패턴을 가져야 하며 태그들 사이의 동등한 성능을 보장하기 위해 지향성을 고려할 수 있다. 이때 태그의 RF EIRP는 자유공간상의 구면 패턴에서 피크-피크 10dB 보다 작아야 하며, 금속성 평판에 설치된 태그의 RF EIRP는 요구된 시스템 성능을 만족하기 위해 준-구면 패턴에서 10dB 보다 작아야 한다.

## IV. RTLS 위치추정

### 4.1. TDOA 방식을 이용한 위치추정

ISO/IEC JTC 1/SC 31 에서 권고하는 위치추정 방식은 태그에서 송신한 신호의 도착시간차를 이용하여 위치를 추정하는 TDOA 기법으로 태그의 송신시간이 필요 없는 장점이 있다.

RTLS 태그는 일정크기의 탐색범위 내에서 존재하며, 각기 다른 3개의 리더에 도착한 시간차를 이용하여 쌍곡선으로 표현한다. 그림 7에서 리더  $S_i$ 들은 태그가 전송한 신호의 도달 시간을 측정한다. 리더  $S_1$ 과 리더  $S_2$ 의 도달 시간차로부터  $R_1 - R_2$ 를 계산할 수 있으며, 두 지점으로부터의 거리차가 일정한 점들의 꺾어진 쌍곡선 방정식을 얻을 수 있다. 마찬가지로 방식으로  $R_1 - R_3$ 로부터 또 다른 쌍곡선 방정식을 구할 수 있다. 위치를 측정하고자 하는 대상(태그)이 2차원 평면상에 놓여 있을 경우 두 쌍곡선의 교차점을 구하여 측정 대상의 위치를 찾아낼 수 있다[8].

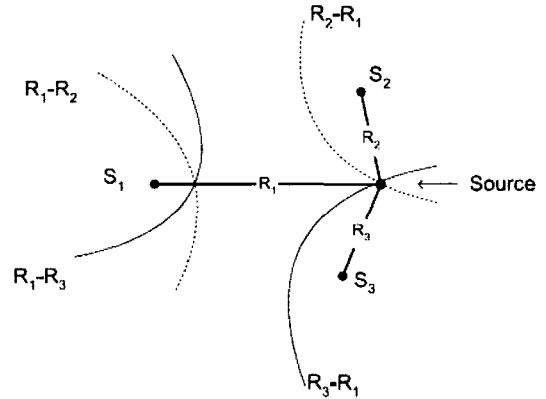


그림 7. TDOA 방식

### 4.2. RTLS 위치추정 연산

RTLS 규격에서 권고하고 있는 TDOA 기법을 이용한 위치추정 연산식은 다음과 같다[5]. 먼저 추정하고자 하는 미지의 태그 위치를  $x, y$ 로,  $x_k, y_k$ 는 가용할 수 있는 리더의  $X, Y$  2차원 좌표로 가정하며  $c$ 는 빛의 속도 상수이다. 미지의 태그로부터 송신된 신호가  $k$  번째 리더까지 전파되는 시간  $P_k$ 는 식 (1)과 같다.

$$P_k = \frac{\sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}}{c} \quad (1)$$

$j$  번째 리더와  $k$  번째 리더에 도착한 태그 송신 신호의 도착시간차는 식 (2)과 같이 표현할 수 있다.

$$TDOA_{jk} = \frac{\sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}}{c} - \frac{\sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}}{c} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 쌍곡선의 방정식을 유도할 수 있다. 식 (2)의  $TDOA_{jk}$  를 식 (3)으로 정의하고 양변을 제공하여 전개하면 식 (4)과 같다.

$$\delta_{jk} = c \cdot TDOA_{jk} \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \cdot [\delta_{jk}^2 + (x_j^2 - y_j^2) - (x_k^2 - y_k^2)] + (x_k - x_j) \cdot x + (y_k - y_j) \cdot y = \delta_{jk} \cdot \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}. \quad (4)$$

식 (4)의 좌변의  $\frac{1}{2} \cdot [\delta_{jk}^2 + (x_j^2 - y_j^2) - (x_k^2 - y_k^2)]$ 을 식 (5)로 정의하고 TDOA<sub>12</sub> 와 TDOA<sub>23</sub>에 대하여 각각 전개 하면 식 (6), (7)과 같다.

$$\lambda_{jk} = \frac{1}{2} \cdot [\delta_{jk}^2 + (x_j^2 - y_j^2) - (x_k^2 - y_k^2)]. \quad (5)$$

$$\lambda_{12} + (x_2 - x_1) \cdot x + (y_2 - y_1) \cdot y = \delta_{12} \cdot \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}, \quad (6)$$

$$\lambda_{32} + (x_2 - x_3) \cdot x + (y_2 - y_3) \cdot y = \delta_{32} \cdot \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}. \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)을 연립하여 정리하면 식 (8), (9)와 같은 형식의 1차 방정식으로 정리할 수 있으며, 여기에서  $m$ 과  $b$ 는 식 (10)과 같다.

$$y = m \cdot x + b \quad (8)$$

$$[\delta_{32} \cdot (x_2 - x_1) - \delta_{12} \cdot (x_2 - x_3)] \cdot x + [\delta_{32} \cdot (y_2 - y_1) - \delta_{12} \cdot (y_2 - y_3)] \cdot y + (\delta_{32} \cdot \lambda_{12} - \delta_{12} \cdot \lambda_{12}) = 0. \quad (9)$$

$$m = \frac{[\delta_{32} \cdot (x_2 - x_1) - \delta_{12} \cdot (x_2 - x_3)]}{[\delta_{32} \cdot (y_2 - y_1) - \delta_{12} \cdot (y_2 - y_3)]}, \quad (10)$$

$$b = \frac{[\delta_{32} \cdot \delta_{12} - \delta_{12} \cdot \delta_{12}]}{[\delta_{32} \cdot (y_2 - y_1) - \delta_{12} \cdot (y_2 - y_3)]}.$$

식 (10)의  $m$ 과  $b$ 를 대입한 식 (8)을 식 (6), (7)에 대입하면 식 (11)과 같이 2차 함수로 정리할 수 있다. 식 (12)의 A, B, C를 각각 대입하면 식 (13)과 같다.

$$A \cdot x^2 + B \cdot x + C = 0. \quad (11)$$

$$A = (x_2 - x_1)^2 + 2 \cdot m \cdot (x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_1) + m^2 \cdot (y_2 - y_1)^2 - \delta_{12}^2 \cdot (1 + m^2), \quad (12)$$

$$B = 2 \cdot \{\lambda_{12} \cdot (x_2 - x_1) + \lambda_{12} \cdot m \cdot (y_2 - y_1)\} + b \cdot (x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_1) + m \cdot b \cdot (y_2 - y_1)^2 + \delta_{12}^2 \cdot (x_2 - m \cdot b + m \cdot y_2),$$

$$C = \lambda_{12}^2 + 2 \cdot \lambda_{12} \cdot b \cdot (y_2 - y_1) + b^2 \cdot (y_2 - y_1)^2 - \delta_{12}^2 \cdot (x_2^2 + b^2 - 2 \cdot b \cdot y_2 + y_2^2)$$

$$x = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}, \quad (13)$$

$$y = m \cdot x + b.$$

이상의 연산을 통하여 미지의 태그 위치  $x$ ,  $y$ 에 대하여 양(+)의  $x$ ,  $y$  추정 위치와 음(-)의  $x$ ,  $y$  추정 위치를 얻을 수 있다. 이때, 두 근중 하나의 근만이 유효한 결과이므로 적절한 판정 규칙을 근거로 최종 근을 판정한다. 따라서 다음과 같은 사항들을 고려해야 할 것이다.

TDOA의 특성상 리더에 도착한 태그 송신신호의 수신 시간차를 이용하기 때문에 태그의 도착시간 차가 동일한 경우에 대한 판정기준이 요구된다. 또한 가용리더 선정에서 리더 조합의 물리적 배치와 리더와 태그 간 동기기술, 수신된 태그의 신호 구분기술 등이 고려되어야 할 것이다.

## V. 결론

최근 많은 관심의 대상이 되고 있는 USN 기반 위치확인 및 추적 기술은 다양한 목적으로 IT산업은 물론 국방, 조달, 건설, 교통, 의료 등의 공공부문과 물류, 유통, 제조, 서비스 등 산업 전반에 걸쳐 활용되고 있다.

이에 본 고에서는 다양한 분야에서 응용 가능한 USN 기반 위치추정 방안으로 태그의 위치를 실시간 추정할 수 있는 RTLS (Real Time Location System)의 물리계층 규격을 중심으로 고정밀 위치추정 방안에 대하여 기술하였다.

ISO/IEC JTC 1/SC 31 에서 권고하는 RTLS의 물리계층의 요구사항과 위치추정 기술인 TDOA 방식의

다양한 고려사항 뿐만 아니라 실제 구현 시스템에서 적절한 송수신 환경에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 더불어 고정밀 위치추정의 정확도 향상에 관한 성능개선 연구가 이루어져야할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술개발 동향," 정보과학회지, vol. 23, no. 2, pp. 83-87, 2005. 2.
- [2] 김상태, "RFID 기술개요 및 국내외 동향 분석," USN 핵심기술 RFID, 2003. 8.
- [3] 표철식, 채종석, 김창주, "RFID 시스템 기술," 한국전자과학회 전자과학기술, vol. 15, no. 2, pp. 26-32, 2004. 4.
- [4] 오세원, 표철식, 채종석, "RFID 표준화 및 기술 동향," 전자통신동향분석, 제20권, 2005. 6.
- [5] ISO/IEC JTC 1/SC 31/WG 5, "Information technology automatic identification and data capture techniques - Real Time Locating Systems (RTLS) - Part 2: 2.4 GHz air interface," 2005. 2.
- [6] 윤현철, 김재권, 박주용, 범진옥, "Passive RFID sensor tag," 한국전자과학회 전자과학기술, vol. 16, no. 3, pp. 16-25, 2005. 7.
- [7] 이은주, 성낙선, 최길영, 표철식, "항만 물류용 능동형 RFID 기술," 한국전자과학회 전자과학기술, vol. 16, no. 3, pp. 26-32, 2005. 7.
- [8] 이원희, 이우용, 김민규, 엄두섭, 김진원, "유비쿼터스 환경을 위한 위치 측정 시스템 기술동향," 정보과학회지, 제22권, 2004. 12.

저자소개



정승희

2005년 2월: 한국기술교육대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2005년 3월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 석사과정  
 ※관심분야: 휴대인터넷, 모바일 인터넷, USN/RFID, RTLS



이현재

1998년 2월: 수원대학교 정보통신학과(공학사)  
 2001년 2월: 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)  
 2004년~현재: 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정

2001년~2003년: 텔슨전자(주) 연구소 근무  
 2003년~2004년: 시그널스펙트럼(주) 단말연구소 근무  
 ※관심분야: SDR, RFID/USN, 모바일 인터넷, CR



오창현

1988년 2월: 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)  
 1990년 2월: 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)  
 1996년 2월: 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1990년~1993년: 한진전자(주) 기술연구소 근무  
 1993년~1999년: 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무  
 1999년~현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수  
 ※관심분야: 이동통신, 멀티미디어 무선통신, SDR, RFID/USN, CR



신등욱

1980년 2월: 한양대학교 전자공학과(공학사)  
 1982년 2월: 한양대학교 전자공학과(공학석사)  
 1994년 2월: 일본와세다대학 응용물리학과 (공학박사)

1994년~현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수  
 ※관심 분야: 화상처리, 마이크로프로세서, RFID/USN