

2.45GHz 대역 RTLS 트래픽 모델 및 eTDOA 기법을 이용한 위치추정 알고리즘의 성능분석

Performance Analysis of Traffic Model and Location Estimation Algorithm with eTDOA Scheme in 2.45GHz Band RTLS

정승희*, 이현재*, 고봉진**, 오창현*, 임춘식***

Seung-Hee Jeong*, Hyun-Jae Lee*, Bong-Jin Ko**, Chang-Heon Oh*, and Choon-Sik Lim***

요 약

본 논문에서는 2.45GHz 대역 RTLS 시스템 환경에서 다수의 태그가 동작할 경우의 트래픽을 모델링하고 다중 태그간의 간섭 영향을 분석하였다. 또한, RTLS 다중태그 환경하의 고정밀 위치측정(ranging) 방안을 제안하고 이에 대해 분석하였다. 결과에 의하면, 가우스 잡음과 페이딩 환경 하에서 동시접속 태그 수에 따른 RTLS 시스템의 BER 성능은 다중태그의 수가 증가할수록 저하되며, 페이딩 지수 $m=15$ 인 경우 RTLS 규격인 10^{-5} 의 BER 성능을 만족하기 위해서는 동시접속 태그의 수가 40개 이하로 제한되어야 함을 확인하였다. 또한, 250m×250m의 탐색범위에서 개선된 TDOA 기법을 적용하여 태그의 위치를 추정하였을 경우 리더의 수가 3~8개일 때 sub-blink가 2개 이상 수신되면 RTLS 규격인 3m 이내 오차거리가 만족됨을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we model a traffic of multiple tags operated in 2.45GHz band RTLS environment and analyze the multi-tag interference. Also, we propose a high precision location estimation algorithm of RTLS and then analyze its performance. From the results, the BER performance of RTLS degrades as the number of multi-tags increase in Gaussian noise and fading($m=15$) environment. To meet the BER specification of RTLS, 10^{-5} , we have to limit the multi-tag number to below 40. We also estimate the tag's location in 250m×250m searching-area with enhanced TDOA scheme. It is confirmed that the 3m radius within accuracy of RTLS specification is satisfied, if the number of sub-blink receives more than 2 when available reader is 3 to 8.

Key words : RTLS, TDOA, Location Estimation, Multi-tag

I. 서 론

RFID 기술은 사물에 전자 태그를 부착하여 무선으로 사물의 ID를 인식하고 주변상황 정보를 감지,

수집된 정보를 저장, 가공, 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격처리, 관리 및 사물 간 정보 교환 등의 서비스를 제공하는 기술이다[1].

현재 RFID 기술로 사용 가능한 주파수는 125kHz,

* 한국기술교육대학교 전기전자공학과(Dep. of Electrical and Electronics Engineering, Korea Technology and Education Univ.)

** 창원대학교 전자공학과(Dep. of Electronic Engineering, Changwon National Univ.)

*** 한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 제1저자 (First Author) : 정승희

· 접수일자 : 2006년 2월 6일

135kHz, 13.56MHz, 433MHz, 860~960MHz, 2.45GHz, 5.8GHz 등이 알려져 있으며, 이 중 RTLS는 2.45GHz 대역에서 실시간 위치추정을 통한 RFID 기술이다[2].

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 등의 여러 가지 상황을 모델링 하여 RTLS 리더 배치에 따른 성능 분석, 리더간의 최적화 배치 등을 분석할 필요가 있다. 또한, 정확한 위치 인식을 위해 2D 위치추정 및 위치오차 최소화 기술 및 위치추정기술 연구가 필요하다.

따라서 본 논문은 2.45GHz 대역 RTLS 시스템의 수학적 전파모델 및 다수의 태그들이 제한된 범위 내에서 동시에 동작할 경우의 트래픽을 모델링하고, RTLS 다중태그 환경하의 고정밀 위치추정 방안에 대해 연구한다.

본 논문의 구성은 I 장 서론에 이어 II 장에서 RTLS의 개요를 설명하고 III 장에서는 RTLS 시스템의 트래픽 모델을 분석한다. IV 장에서는 위치추정 알고리즘을 제안하고 그에 대한 성능을 분석한다. 마지막 V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. RTLS(Real Time Location System)

2-1 RTLS의 개요

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 구조의 요소이다.

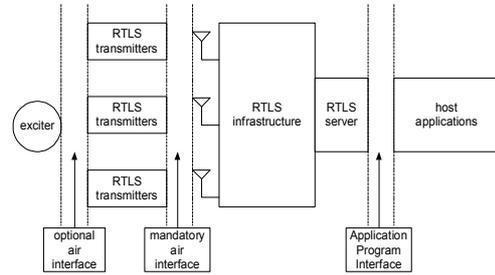


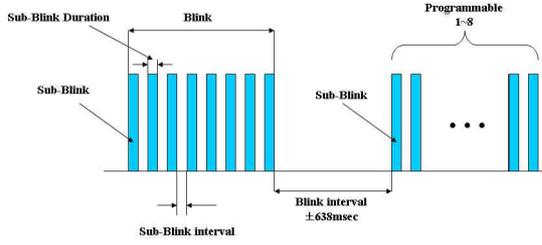
그림 1. RTLS 구조의 요소
Fig. 1. Elements of RTLS infrastructure.

2-2 2.45GHz 대역의 RTLS

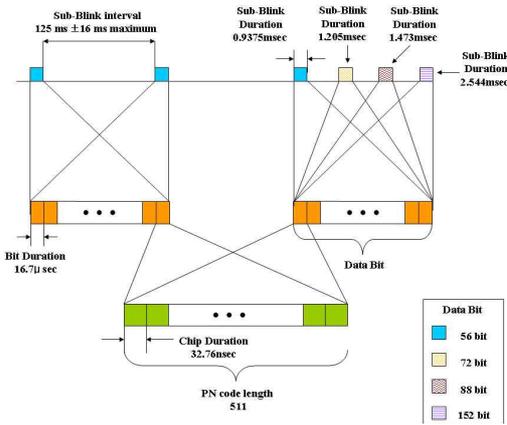
RTLS는 2.4GHz~2.4835GHz 범위에서 중심주파수는 2.44175GHz 이며, 채널 대역폭은 60MHz 이다. RTLS에서 태그는 배터리가 내장된 능동형 태그이며, 태그와 리더간의 측정 가능거리가 최대 300m로, 이때 리더는 1초당 최대 120개의 서로 다른 태그 신호를 구분 할 수 있다. 태그의 위치 추정 오차는 LOS 환경에서 3m 이내를 만족해야 한다. RTLS에서 사용되는 2.4GHz 대역은 ISM대역으로 UHF 대역(433MHz)에 비해 점유대역폭과 태그인식 거리가 크며 태그를 소형화할 수 있는 이점이 있다[3].

태그의 blink와 sub-blink는 그림 2와 같이 설계되어 있다. 하나의 blink는 1~8개의 sub-blink로 이루어져 있으며, 이때 blink 간의 간격은 $5\text{sec} \pm 638\text{msec}$ 로 유지된다. 각 sub-blink들은 동일한 메시지로 구성되어 있다.

각 sub-blink는 동일한 duration을 가지고 리더로 전송된다. 이때 주파수 간섭 및 채널 환경에 따라 각 태그의 sub-blink들은 충돌이 발생 할 수 있으며 이러한 충돌의 영향에 의해 sub-blink의 수는 랜덤하게 수신 된다. RTLS 규격상의 DSSS sub-blink 메시지는 56비트, 72비트, 88비트, 152비트의 4가지로 형식으로 구분되어 있다. 각각의 sub-blink는 $125\text{msec} \pm 16\text{msec}$ 의 간격을 유지하고 각 비트의 duration은 $16.7\mu\text{sec}$ 이며, 56비트의 메시지 형식인 경우 전체 sub-blink의 duration은 0.9375msec 이다[4].



(a) blink 구조
(a) Blink structure.



(b) sub-blink 구조
(b) Sub-blink structure.

그림 2. 태그의 blink 및 sub-blink 구조
Fig. 2. Blink and sub-blink structure.

III. 트래픽 모델

본 논문에서는 다중 태그가 존재하는 RTLS 시스템을 비동기(asynchronous) DS-SSMA 시스템으로 모델링하며, 태그에서 리더로 blink 신호를 전송하는 링크를 가정한다. 태그가 동시에 리더에 접속되는 상황에서 다중태그 수와 PN 코드길이가 충분히 크고 접속과정이 랜덤하다면 중앙집중정리(central limit theorem)에 의해 RTLS 트래픽은 가우시안 랜덤변수로 취급할 수 있다. 따라서 간섭영향을 분석하는 채널모델은 가우스 잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)과 다중태그 간섭이 존재하는 무선 채널로 모델링 할 수 있다. RTLS 규격에서 정의하는 전파환경은 가시거리 (LOS : Line Of Sight) 채널을 고려하지만 실제 RTLS 시스템이 존재하는 환경은 비가시거리 통신채널이 존재할 수 있으므로 이를 위해 m-분포 페이딩 채널을 추가로 고려한다.

3-1 다중태그 간섭(MTI) 모델

시스템 모델로는 다중 태그 수가 K, 확산(PN : Pseudo-random Noise) 코드길이가 N, 정보비트 지속시간(time duration)이 T인 경우를 고려한다. 각각의 태그는 동일한 전력과 서로 다른 PN 코드가 할당되며, 비동기 시스템에서 나타나는 시간지연(time delay) τ 는 0과 T 사이의 임의의 값이다.

특정 태그신호를 복조할 때 나머지 태그 신호는 단지 다중접속간섭으로 작용하게 되며, PN 코드길이 N이 충분히 클 경우 다중접속간섭은 가우시안 랜덤변수로 근사시킬 수 있다. 리더가 영역내의 모든 태그로부터 받는 신호레벨이 같다면 간섭신호도 기준 신호와 같은 크기의 전력세기와 경로손실을 갖는다. 다른 태그에 의한 다중접속간섭은 가우스 랜덤변수로 취급되므로 하나의 간섭신호가 다중접속간섭(MTI : Multi-Tag Interference)에 기여하는 정도는 다음과 같다.

$$MTI = \frac{2}{3N} E_b \cdot \alpha^2, \quad (1)$$

단, N : PN 코드길이, α : 송신신호의 순시진폭.

서비스 영역 내 기준 태그에게 간섭을 주는 실제 태그 수는 K-1이다. 따라서 DS-SSMA 시스템의 신호대 잡음비(SNR)는 다음과 같이 표현된다[5].

$$SNR = \frac{E_b \cdot \alpha^2}{\frac{2(K-1)}{3N} E_b \cdot \alpha^2 + \frac{N_0}{2}}, \quad (2)$$

단, N_0 : AWGN의 전력스펙트럼 밀도.

3-2 m-분포 페이딩

무선통신 채널에서 발생하는 페이딩은 주파수, 전파모드, 전파경로의 프로파일 등에 의해 변동형태가 달라진다. 특히, RTLS 시스템의 전파모델은 대부분 가시거리 통신을 가정하지만 특정한 경우 비가시거리 통신도 고려해 볼 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 페이딩 모델로서 수신파의 변동정도를 파라미터

로 하는 m-분포 페이딩을 고려한다. m-분포 페이딩은 페이딩지수 m을 변화시킴으로서 여러 가지 심도의 페이딩을 나타낼 수 있는데 m이 커질수록 점차 약한 페이딩 변동을 나타내며, m=1인 경우는 Rayleigh 페이딩 분포를, m→∞의 극한은 페이딩 변동이 없는 상태를 나타낸다. m-분포 페이딩 채널에서의 순시 γ 의 확률밀도함수는 다음과 같다[6].

$$p(\gamma) = \frac{m^m \gamma^{m-1}}{\Gamma(m) \gamma_o^m} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\gamma_o}\right), \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \leq m < \infty, 0 \leq \gamma < \infty$$

단, $\Gamma(\cdot)$: 감마함수, m : 페이딩 지수, γ_o : 평균 SNR.

3-3 성능분석

3-3-1 잡음 환경하의 성능

가우스 잡음 환경 하에서 DS-SSMA 시스템의 BER 성능은 다중접속간섭 모델을 고려하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(e | \gamma) = \frac{1}{2} \exp(-\gamma), \quad (4)$$

단, $\gamma = \frac{E_b \cdot \alpha^2}{\frac{2(K-1)}{3N} E_b \cdot \alpha^2 + \frac{N_o}{2}}$, N: PN 코드 길이, K: Tag 수.

3-3-2 잡음과 페이딩 환경하의 성능

위 식 (4)는 페이딩의 순시진폭 α^2 이 일정할 때 즉, 페이딩에 의한 변동이 없을 때의 조건부 오류식으로서 α 가 m-분포 페이딩에 의해 변동할 때의 오류식은 식 (5)에서 γ 의 p.d.f로 평균을 취하여 얻어진다[7].

$$P_{ef} = \int_0^\infty P(ea | \gamma) \cdot p(\gamma) = \frac{1}{2(1 + \gamma_o/m)^m}, \quad (5)$$

$$\text{단, } \gamma_o = \frac{\overline{E_b}}{\frac{2(K-1)}{3N} \overline{E_b} + \frac{N_o}{2}}$$

3-3-3 성능 결과 및 검토

앞에서 유도한 DS-SSMA 시스템의 오류식을 PN 코드길이 N=511, 다중태그 수(K), 페이딩 지수(m), 비트에너지 대 잡음전력 밀도비(E_b/N_o) 등을 함수로 하여 계산한 결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

그림 3은 가우스 잡음 환경 하에서 동시 접속하는 태그 수에 따른 RTLS 시스템의 BER 성능을 나타낸 것으로서, 다중태그의 수가 증가할수록 시스템의 BER 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 특히, RTLS 규격인 10^{-5} 의 BER 성능을 만족하기 위해서는 동시접속 태그의 수가 70개 이하로 제한되어야 하며, 또한 높은 E_b/N_o 값 (약 23[dB])을 필요로 하였다. 적절한 E_b/N_o 값인 약 15dB에서 BER= 10^{-5} 를 만족하는 동시접속 태그 수는 약 60개 정도로 성능 곡선을 통해 확인할 수 있었으며, RTLS 시스템은 blink 신호의 랜덤화 과정을 통해 확률적으로 동시접속 태그 수를 60개 이하로 유지할 수 있었다.

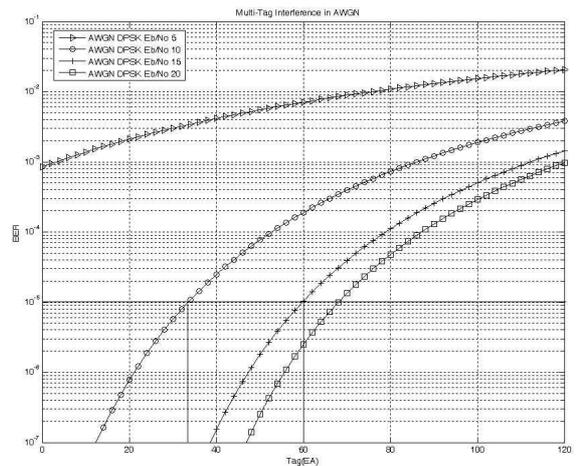


그림 3. 가우스 잡음 환경에서 RTLS 시스템의 다중접속 성능

Fig. 3. Multi-tag performance of RTLS in Gaussian noise environment.

그림 4는 가우스 잡음과 페이딩 환경 하에서 동시 접속 태그 수에 따른 RTLS 시스템의 BER 성능을 나타낸 것으로서, 그림 3과 유사하게 다중태그의 수가 증가할수록 시스템의 BER 성능이 저하되지만 그 정도는 페이딩 지수 m 값이 작을수록(즉, 페이딩에 의한 신호 변동이 심할수록) 심각하였다. 페이딩 지수 $m=15$ 인 경우 RTLS 규격인 10^{-5} 의 BER 성능을 만족하기 위해서는 동시접속 태그의 수가 40개 이하로 제한되어야 함을 확인하였다. RTLS 규격에서는 이를 개선하기 위해 sub-blink를 최대 8개까지 전송하여 time diversity 효과를 얻을 수 있도록 하였으며, 랜덤한 sub-blink를 통해 동시접속 태그 수를 제한할 수 있었다. 따라서 랜덤화 과정을 통해 동시접속 태그 수를 제한하는 것이 태그 전력 효율 면에서 유리함을 알 수 있다.

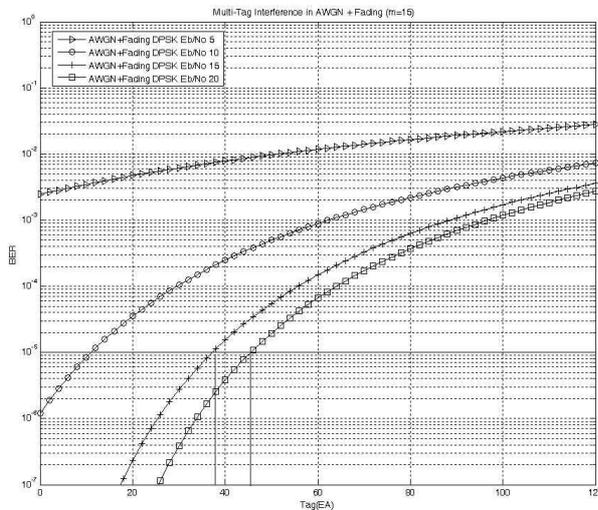


그림 4. 가우스 잡음과 페이딩 환경에서 RTLS 시스템의 다중접속 성능 ($m=15$)
 Fig. 4. Multi-tag performance of RTLS in Gaussian noise and fading($m=15$) environment.

IV. 위치추정 알고리즘

4-1 eTDOA (enhanced Time Difference Of Arrival) 알고리즘

RTLS의 규격상의 data rate은 59.7Kbit/sec로 PN code length가 511일 때 PN code 1 chip의 duration은 약 32.76nsec이 된다. 따라서 리더에서

받아들이는 신호에 대한 오차범위를 32.76nsec 이내에서 랜덤하게 발생시켰다.

식 (6)은 태그로부터 송신된 신호에 대한 각 리더간의 수신시간차를 위한 식이다. 실제 시뮬레이션에서 사용된 시간정보는 식 (7)을 통해 발생한 시간차이며, 이때 각 리더간의 시간측정 오차인 32.76nsec 이내의 랜덤한 시간을 포함하였다.

$$R(i) = \frac{\sqrt{(X-X_i)^2 + (Y-Y_i)^2}}{C} \quad (6)$$

$$R(i,j) = \frac{\sqrt{(X-X_i)^2 + (Y-Y_i)^2}}{C} - \frac{\sqrt{(X-X_j)^2 + (Y-Y_j)^2}}{C} \quad (7)$$

단, $R(i)$: 태그의 신호가 i 번째 리더에 도착한 시간,
 $R(i,j)$: 태그의 신호가 i 번째와 j 번째 리더에 도착한 시간차

발생한 시간차를 통해 임의로 선정한 3개의 리더에서는 2~4개의 쌍곡선 교점이 발생하게 된다. 그림 5는 TDOA 기법을 이용 추정된 태그의 위치를 보여주고 있다.

본 연구에서는 랜덤하게 수신되는 sub-blink 수에 따른 성능을 분석 하였으며 일반적인 TDOA 기법을 이용한 위치 추정의 방식에 비해 추정된 좌표의 허용 임계치 설정을 통해 위치 추정의 정확도를 향상시켰다[8],[9].

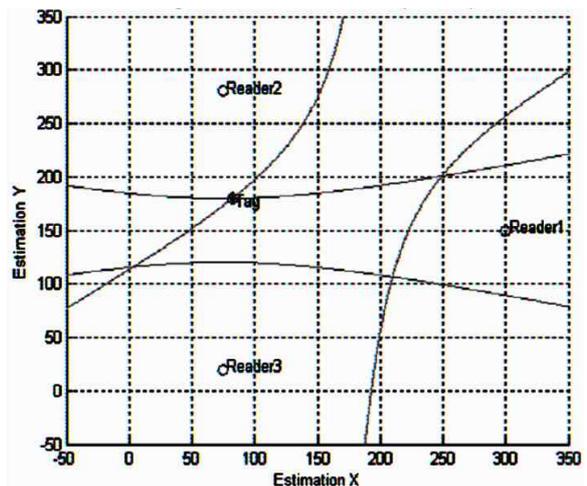


그림 5. 삼변측량을 이용한 태그의 위치 추정
 Fig. 5. Locating a tag through trilateration.

4-2 구현 및 성능평가

본 논문에서는 가로, 세로 3m 간격마다 일정하게 태그가 존재한다고 가정하였다. 또, 각 리더는 탐색 범위로부터 0m~50m 이내에 위치해 있고 리더간 거리는 서로 동일하다. 리더의 위치를 고정된 상태에서 태그의 위치추정 탐색범위를 300m×300m인 경우와 250m×250m인 경우 2가지로 나누어 실험하였다.

그림 6과 같이 위치추정의 범위가 300m×300m인 경우, sub-blink의 수신 개수가 증가 할수록 전체적으로 평균 오차 거리는 감소함을 알 수 있다. 그러나 sub-blink가 3개 이상 수신된 경우 리더의 수가 증가할수록 오차거리는 다소 증가함을 확인하였다.

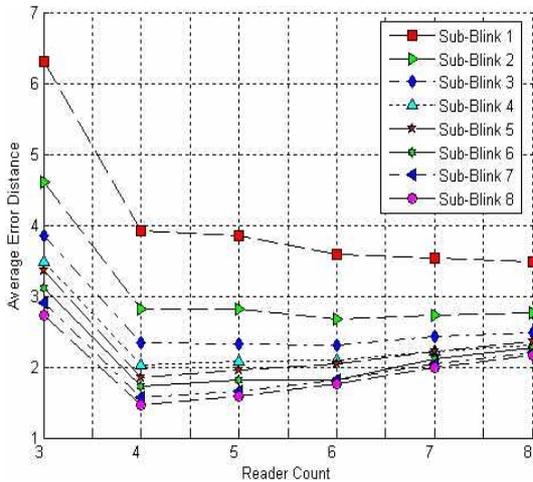


그림 6. 가용리더에 따른 sub-blink별 평균 오차거리 (탐색 범위 : 300m×300m)
 Fig. 6. Average error distance of each sub-blink according to the available reader. (searching-area : 300m×300m)

그림 7은 250m×250m의 탐색범위에서 리더의 개수별 평균오차거리 결과이다. Sub-blink의 수신 개수가 증가 할수록 전체적으로 평균 오차 거리는 감소하며, 리더의 수가 3~8개일 때 sub-blink가 2회 이상 수신 되면 RTLS 규격의 3m 이내의 오차거리를 만족하였다.

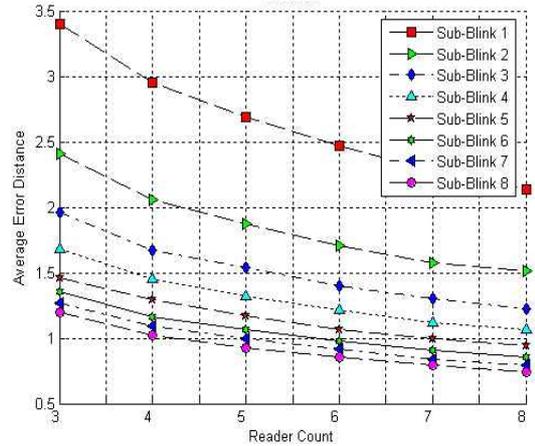


그림 7. 가용리더에 따른 sub-blink별 평균오차거리 (탐색 범위 : 250m×250m)
 Fig. 7. Average error distance of each sub-blink according to the available reader. (searching-area : 250m×250m)

그림 8은 300m×300m 탐색 범위에서 리더의 수가 동일할 때 수신된 sub-blink의 수에 따른 평균오차거리 결과이다. 가용리더가 3개인 경우, RTLS 규격상의 3m 이내의 오차거리를 만족하기 위해서는 sub-blink의 수신 개수가 최소 7 개 이상이어야 함을 알 수 있다. 그러나 가용리더의 수가 4개 이상인 경우 수신된 sub-blink의 수가 2개 이상이면 3m 이내의 오차거리를 만족하였다. 또, 가용리더의 수가 4개 이상인 경우 평균오차거리는 일정 범위(0.5m~2.5m) 이내로 포화됨을 확인하였다.

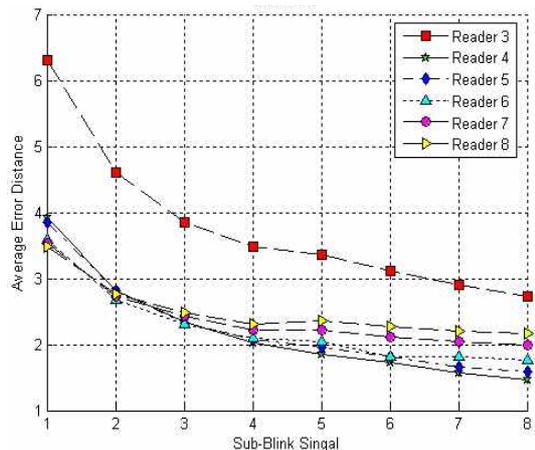


그림 8. Sub-blink의 수에 따른 평균오차거리 (탐색 범위 : 300m×300m)
 Fig. 8. Average error distance according to the number of sub-blink. (searching-area : 300m×300m)

그림 9는 탐색 범위가 250m×250m인 경우로 300m×300m의 결과와 비슷한 결과를 보이나, 평균 오차 거리는 전체적으로 감소함을 알 수 있다.

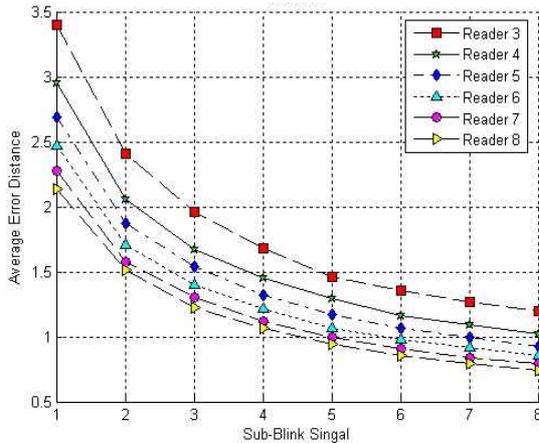


그림 9. Sub-blink의 수에 따른 평균오차거리 (탐색 범위 : 250m×250m)

Fig. 9. Average error distance according to the number of sub-blink. (searching-area : 250m×250m)

V. 결 론

본 논문에서는 2.45GHz 대역 RTLS 시스템 환경에서 태그들이 동시에 동작할 경우의 트래픽을 모델링하고, 다중 태그간의 간섭 영향을 분석하였다. 또한, RTLS 다중태그 환경하의 고정밀 위치측정(ranging) 방안을 제안하고 이에 대해 분석하였다.

먼저 다중 태그가 존재하는 RTLS 시스템을 비동기(asynchronous) DS-SSMA 시스템으로 모델링하였다. 현재, RTLS 규격에서 정의하는 전파환경은 가시거리(Line Of Sight) 채널을 고려하지만 실제 RTLS 시스템이 존재하는 환경은 비가시거리 통신채널이 존재할 수 있으므로 m-분포 페이딩 채널을 추가로 고려하였다. 가우스 잡음과 페이딩 환경 하에서 동시접속 태그 수에 따른 RTLS 시스템의 BER 성능은 다중태그의 수가 증가할수록 저하되며, 페이딩 지수 m=15인 경우 RTLS 규격인 10⁻⁵의 BER 성능을 만족하기 위해서는 동시접속 태그의 수가 40개 이하로 제한되어야 함을 확인하였다. 따라서 랜덤한 sub-blink를 통해 동시접속 태그 수를 제한하여야 한다.

또한, 본 논문에서는 300m×300m의 LOS 환경에서 개선된 TDOA 기법을 적용하여 태그의 위치를 추정하였다. 시뮬레이터 구현을 통해 가용리더 중에서 중복을 허용하지 않는 3개의 리더를 1개의 조합으로 이용하였고 이차원 평면상의 쌍곡선 교점을 태그 위치로 추정하여 오차거리를 산출하였다. 탐색범위가 300m×300m인 경우 sub-blink의 수신 개수가 증가할수록 전체적으로 평균 오차거리는 감소하였으며, sub-blink가 3개 이상 수신된 경우 리더의 수가 증가할수록 오차거리는 다소 증가함을 확인하였다. 태그의 탐색 범위를 300m×300m에서 각 방향으로 약 25m의 여유 공간을 둔 250m×250m에서 개선된 TDOA 기법을 적용하여 태그의 위치를 추정하였을 경우 리더의 수가 3~8개일 때 sub-blink가 2개 이상 수신되면 RTLS 규격인 3m 이내 오차거리가 만족됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김상태, "RFID 기술개요 및 국내의 동향 분석," *USN 핵심기술 RFID*, 2003. 8.
- [2] 오세원, 표철식, 채종석, "RFID 표준화 및 기술 동향," *전자통신동향분석*, 제 20권, 2005. 6.
- [3] 이은주, 성낙선, 최길영, 표철식, "항만 물류용 능동형 RFID 기술," *한국전자과학회 전자파기술*, vol. 16, no. 3, pp. 26-32, 2005. 7.
- [4] 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.
- [5] R. Kerr, Q. Wang, and V. K. Bhargava, "Capacity analysis of cellular CDMA," *IEEE Proc. ISSST A'92*, pp.235-238, Nov. 1992.
- [6] M. Nakagami, "The m-distribution - A general formula of intensity distribution of rapid fading," in *Statistical Methods of Radio Wave Propagation*, W. C. Hoffman, Ed., New York, Pergamon Press, 1960.
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communication*. New York

: McGraw-Hill, 1983.

- [8] 김영수, 이성윤, 문관식, 위규진, 황인희, "이동통신에서의 위치추정 방식," *한국통신학회지 (정보통신)*, 제17권, 2000.
- [9] 박중태, 이위혁, 조영훈, 나재욱, "유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치 측정 기술," *전자공학회지*, 제32권, 2005. 7.

정 승 희 (鄭昇喜)



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

이 현 재 (李賢載)



1998년 2월: 수원대학교 정보통신학과(공학사)
 2001년 2월: 한국기술교육대학교 전기전자공학과(공학석사)
 2004년 3월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자공학과 박사과정
 2001년 1월~2003년 4월: 텔슨전자

(주) 연구소 근무

2003년 5월~2004년 12월: 시그널스펙트럼(주) 단말 연구소 근무

관심분야 : SDR, USN/RFID, 모바일 인터넷, CR

고 봉 진 (高鳳震)



1986년 2월: 항공대학교 통신공학과(공학사)
 1988년 2월: 항공대학교 전자공학과(공학석사)
 1995년 2월: 항공대학교 전자공학과(공학박사)

1994년~1996년: 인하공전 통신과 조교수

1997년: 한국전자통신연구원(ETRI) 초빙연구원

1996~현재: 창원대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 이동통신, USN/RFID, OFDM

오 창 헌 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)

1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1990년 2월~1993년 8월: 한진전자(주) 기술연구소 근무
 1993년 10월~1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무

1999년 2월~현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수

관심분야 : 이동통신, 무선통신, CR, USN/RFID

임 춘 식 (任春植)



1975년 2월: 한국항공대학교 통신공학과(공학사)

1986년 2월: 한국항공대학교 대학원 통신공학과(공학석사)

1992년 2월: 요코하마국립대학(일본) 전자정보공학과(공학박사)

1982년 2월~현재 한국전자통신연구원 텔레매틱스USN단 근무(책임연구원)

관심분야 : 디지털 이동통신, WLAN, 텔레매틱스, ITS, RTLS, 위성통신