

가우시안 잡음이 존재하는 무선채널에서 Chirp RTLS 시스템의 성능 특성에 관한 연구

강병권*
순천향대학교 정보통신공학과*

A Study on the Performance Characteristics of a Chirp RTLS over Wireless Channel with Gaussian Noise

Byeong-Gwon Kang*

Dept. of Information and Communication Engineering, Soonchunhyang University*

요약 첩 신호는 그 양호한 코릴레이션 특성으로 인하여 전통적으로 레이더에서 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 ISO/IEC 24730-5와 IEEE 802.15.4a 등에서 위치추적을 위한 표준규격으로 선정되어 여러 회사에서 이 방식을 구현하고 있다. 본 논문에서는 무선채널을 라이시안 채널로 모델링하고, 신호대 간섭 잡음비를 $S/I = -30[\text{dB}]$, $-20[\text{dB}]$, $-10[\text{dB}]$ 의 세가지 경우로 고려하고, 각 경우마다 라이시안 팩터 $K=10$ 과 $K=20$ 를 적용하여 성능을 시뮬레이션하여 평가하였다. 성능평가 결과, $S/I = -30[\text{dB}]$ 에서는 $K=10$ 에서 $K=20$ 으로 신호조건이 변화하면서 25%의 성능이 향상되었고, $S/I = -20[\text{dB}]$ 에서는 약 27%, $S/I = -10[\text{dB}]$ 에서는 약 50%의 성능이 향상되었다. 결과적으로 $S/I=-20[\text{dB}]$ 미만인 경우 가시성분이 성능을 향상시킨다고 하더라도 신호의 전력은 필요한 최소값이 요구된다. 한편, 신호대 잡음비가 $S/I=-20[\text{dB}]$ 이상으로 유지되는 경우 신호의 가시성분을 강화시킨다면 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

주제어 : 첩 신호, 실시간 위치추적 시스템, 라이시안 페이딩, 시뮬레이션, 상대거리 오류율

Abstract The chirp signaling has been mainly used in radar systems due to its good correlation characteristics, and nowadays it is applied to real time locating system(RTLS). The RTLS with chirp signaling was chosen as a standard such as ISO/IEC 24730-5 and IEEE 802.15.4a. In this paper, the performance of a real time locating system with chirp signaling was evaluated and simulated with relative distance error rates. We considered three cases of $S/I = -30[\text{dB}]$, $-20[\text{dB}]$, and $-10[\text{dB}]$ with Rician factor $K=10$ and $K=20$. The performance was enhanced with K factor improvement by 25%, 27% and 50% for respective three cases of S/I . As results, in case of $S/I < -20[\text{dB}]$, the minimum signal power is required for performance improvement even though the line of sight component is helpful. And also, in case of $S/I \geq -20[\text{dB}]$, as the line of sight component is stronger the better performance is obtained.

Key Words : Chirp signaling, real time locating system, Rician fading, simulation, relative distance error rates

Received 26 June 2013, Revised 20 July 2013

Accepted 20 July 2013

Corresponding Author: Byeong-Gwon Kang (Soonchunhyang University)

Email: bgkang@sch.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 사람과 사물을 대상으로 하는 위치 추적에 대한 관심이 급증하고 있다. 전통적으로 위치 추적의 주된 대상이었던 물류 분야는 물론 응급구조와 산업체 및 가정에서의 위치추적까지 대상이 확대되고 있다[1]. 대표적인 적용 예로서 와이파이 기술을 접목하여 병원 내 고가 장비의 위치추적 시스템이 구축된 바 있다[2]. 즉, 에어로 스카우트(Aero Scout)사는 예일 대학 병원에 온도를 모니터링하고, 자산을 추적하는 시스템을 구축하였고, 닥터머스 대학 병원에는 고가의 스마트 약물 주입기 자산을 추적하는 시스템을 설치하였다. 그러나 와이파이는 ISM(Industrial, Scientific, and medical) 대역을 사용하여 간섭에 취약하다는 단점이 있다. 이에 비하여 Chirp 신호는 간섭에 강한 특성이 있어 최근에는 독일의 Nanotron 사가 석유 화학 공장의 위험 물질을 추적하기 위하여 Chirp 시스템을 개발하여 적용한 바 있다[3]. 세계 표준화기구인 ISO에서는 IEC와 함께 ISO/IEC 24730-5에서 칩 신호를 이용한 RTLS 방식을 규정한 바 있으며, IEEE 802.15.4a에서도 IR-UWB (Impulse Radio-Ultra Wide Band)와 CSS(Chirp Spread Spectrum)를 표준으로 선정한 바 있다. 칩 신호는 상관 특성이 양호하여 시간 지연을 이용한 거리 추정에서 우수한 성능을 보인다[4]. 즉, 상관 특성이 더 뾰족한 형태로 나타난다.

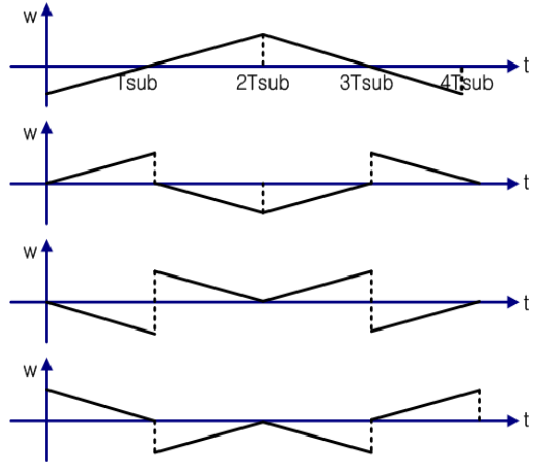
본 논문에서는 이러한 칩 신호가 간섭 신호가 존재하는 무선 채널을 통과하였을 때, 성능 특성의 변화를 제시하였다. 채널은 실내 무선채널을 고려하여 라이시안 채널을 가정하였으며, 간섭 신호로는 가우시안 신호를 가정하였다.

2. 칩 신호와 채널 모델

2.1 칩 신호

칩 신호는 몇가지 형태로 구성할 수 있으나, 본 논문에서는 [Fig. 1]과 같은 ISO/IEC 24730-5 RTLS (Real Time Locating System) 표준에서 사용하는 칩 파형중 첫 번째 파형을 적용하여 2.4 GHz 주파수 대역에서의 거리 측정 성능을 시뮬레이션 하였으며, 성능평가 방법은

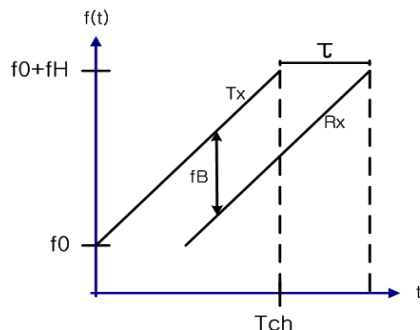
[5]에서 제시한 상대거리 오차를 이용한 거리 오류율을 사용하였다.



[Fig. 1] Chirp signals in ISO/IEC 24730-5[6]

ISO/IEC 24730-5 표준에서의 칩 파형은 다수개가 하나의 세트에 되어 있고, 각각이 상호 직교성을 가지고 있어 칩 신호 상호 간의 간섭을 최소화 할 수 있도록 설계되어 있다[6]. 본 논문에서는 주로 실내 무선채널 환경을 가정함으로써 전파 채널을 Rician 페이딩 채널로 모델링하였고, 실내 물체 이동 등에 따른 환경 변화를 K 팩터를 사용하여 표현하였다.

칩 신호는 주로 레이더에 적용되어 왔으며 레이더 파형은 전통적으로 주파수 변조된 연속 신호 즉, FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 신호이고, 이를 그림으로 표현하면 [Fig. 2]와 같다.



[Fig. 2] Tx and Rx signal delays over a single chirp

FMCW 레이더는 칩 구간 T_{ch} 동안 칩 시작 주파수 f_0 부터 $f_0 + f_H$ 까지의 선형 주파수 변조된 연속 신호를 방사시킨다. 여기서, 시스템 파라미터 f_H 는 레이더 신호의 대역폭이다. 전송되는 신호 $x(t)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있으며, 일정한 포락선을 갖는다[7]-[8].

$$x(t) = A_{TX} \cos \theta_{TX}(t) \quad (1)$$

여기서 A_{TX} 는 송신 신호의 크기이며, $\theta_{TX}(t)$ 는 순시 전송 신호 위상으로서 다음과 같이 계산된다.

$$\theta_{TX}(t) = 2\pi \int_0^t f(\tau) d\tau = 2\pi [f_0 t + \frac{f_H}{2T_{ch}} t^2] \quad (2)$$

물체에 반사되어 되돌아 온 신호를 $r(t)$ 라고 하면 이 신호는 전송된 신호 $x(t)$ 가 감쇠되고 시간 지연된 것으로 해석하여 다음과 같이 쓸 수 있다[9].

$$\begin{aligned} r(t) &= A_{RX} x(t-\tau) + n(t) \\ &= A \cos [2\pi f_0 (t-\tau) + \frac{f_H}{2T_{ch}} (t-\tau)^2] + n(t) \end{aligned} \quad (3)$$

본 논문에서는 가우시안 잡음을 간섭 신호로 가정하여 신호대 간섭비(S/I)에서 간섭전력으로 적용하였고, S/I = -30dB부터 10dB까지 변화시키면서 성능을 평가하였다.

2.2 채널 모델

채널 모델은 위에서 언급한 바와 같이 송신기와 수신기 간에 가시 성분(Line of sight)이 있는 Rician 채널 모델을 고려하였다. 일반적으로 Rician 페이딩 채널을 나타내는 확률밀도함수 수식은 다음과 같다.

$$f_X(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + a^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{ax}{\sigma^2}\right) \quad (4)$$

여기서 $I_0(\cdot)$ 는 변형된 제 1종 0차 베셀함수이고, Rician K 팩터를 직접 가시 성분의 전력과 분산된 성분 전력의 비 $K = a^2/2\sigma^2$ 로 나타낸다. K값이 작아질수록

레이리 페이딩의 특성을 보이며, K값이 커질수록 가우시안 채널로 근사화된다. 일반적으로 K값이 -40dB이면 레이리 페이딩으로, 15dB 이상이면 가우시안 채널로 가정한다. 본 논문에서는 K값을 10과 20dB 두 가지 경우에 대하여 성능을 분석하였다.

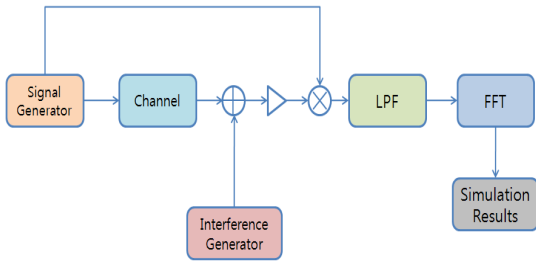
3. 시뮬레이션 모델

본 논문에서 사용한 시뮬레이션 모델은 아래 [Fig. 3]과 같다. 일반적인 통신시스템에서의 원리와 같이 Signal Generator에서 칩 신호를 생성한다. 2.4GHz를 중심 주파수로 하여 2.3GHz부터 2.5GHz까지의 주파수 신호가 연속적으로 발생하도록 MATLAB으로 구현하였다. Signal Generator를 통해 생성된 신호는 무선채널 상에서 가우시안 잡음의 간섭을 받은 후 수신된다. 가우시안 잡음을 발생시키는 간섭 발생기에서는 신호 대 잡음비를 S/I = -30[dB], -20[dB], -10[dB]로 변화시키기 위하여 전력레벨을 조절하였다. 수신된 신호는 채널을 통과하지 않은 원 신호와 함께 Mixer를 통과한다. LPF(Low Pass Filter)를 통과하고 나면 송신 신호와 수신신호의 주파수 차이만 남게 된다. 이를 FFT를 통해 주파수 분석을 실시하고 이를 바탕으로 송신신호와 수신신호를 비교하여 상대적 거리 오차율(Relative Distance Error Rates)를 확인할 수 있다. 본 논문에서 사용한 칩 신호 모델은 2장에서 제시한 칩 파형 모델을 적용하여 구성하였다.

실제 거리를 측정하기 위한 RTLS 시스템에서는 칩 신호 발생기에서 생성된 칩 신호가 페이딩 채널을 통해 목표물로 방사되며, 거리측정을 위하여 목표물에서 반사된 신호는 다시 페이딩 채널을 거쳐 수신기로 들어온다. 이 때 채널에서는 간섭 신호가 더해져 반사된 신호를 더욱 열화시킨다. 수신기에서 전송된 신호와 수신된 신호를 곱하면 삼각함수의 합차 공식에 의하여 두 신호 주파수의 합과 차가 산출되는데 저역통과필터에 의하여 높은 주파수인 주파수 합은 제거되고 주파수 차만 얻을 수 있다. 주파수 차에 의하여 [Fig. 2]와 같이 목표물까지의 거리가 산출된다. 본 논문에서는 참고문헌 [5]에서 제시한 상대거리 오류율(relative distance error rates)의 개념을 도입하여 성능을 구하였다. 상대거리 오류율은 구하고자 하는 거리에 대한 상대적인 거리오차 비율이다.

$$\text{상대거리 오류율} = \frac{|R - R_{est}|}{R} \quad (5)$$

시뮬레이션 결과는 랜덤하기 때문에 시뮬레이션 수행 시 매 번의 결과는 다양한 오차율을 보인다. 매 회 마다의 상대거리 오차율을 시뮬레이션 결과로서 제시하였다.



[Fig. 3] Simulation model of a chirp RTLS system

다양한 결과에 대한 타당성을 얻기 위하여 각 조건마다 60회 이상의 시뮬레이션을 수행하였고, 이를 4장에서 제시하였다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 <Table 1>과 같다. 칩신호는 주파수가 점점 빨라지는 업칩(up chirp) 구간과 다시 느려지는 다운 칩(down chirp) 구간을 각각 5 μsec로 가정하였고, 중간에 가장 빠른 주파수를 유지하는 구간을 5 μsec로 두어 신호가 안정적으로 동작하도록 하였다. 따라서, 전체 칩신호의 한 주기는 15 μsec이다.

<Table 1> Simulation parameters

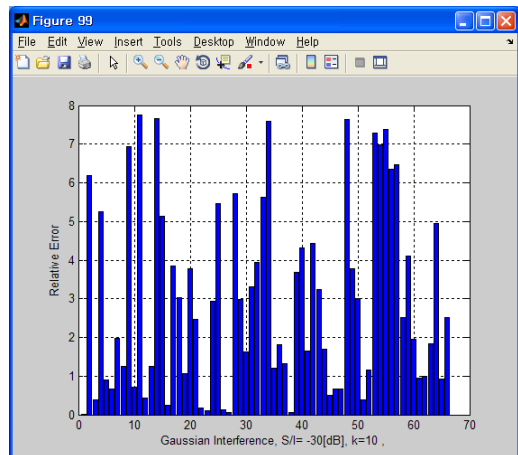
Parameter	Value
T (period)	15 μsec
Up Chirp interval	5 μsec
Fixed Chirp interval	5 μsec
Down Chirp interval	5 μsec
fmin (minimum frequency)	2.3GHz
fmax (maximum frequency)	2.5GHz
Ts (sampling rate)	2e-11sec

4. 시뮬레이션 결과

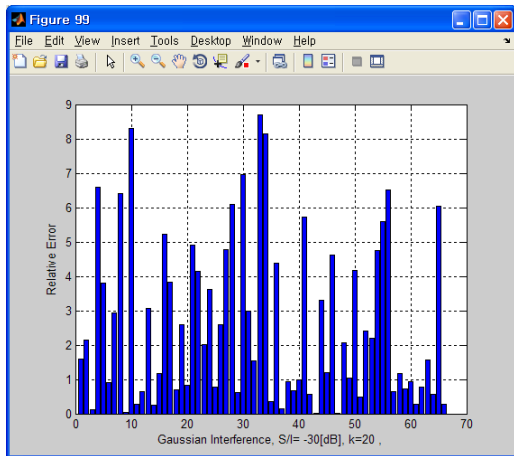
앞 절에서 제시한 방법에 의하여 시뮬레이션을 수행

함으로써 신호대 간섭비에 따른 상대거리 오류율을 구하였다. 신호 대 간섭 잡음비를 S/I = -30[dB], -20[dB], -10[dB] 의 세가지 경우로 가정하고, 라이시안 페이딩 채널의 K 팩터 값을 10과 20으로 변화시키면서 성능을 평가하였다.

[Fig. 4]는 신호대 간섭 잡음비 S/I = -30[dB]이고, 라이시안 K팩터가 K=10 인 경우의 상대거리 오류율이다. [Fig. 4]에서 첫 번째 막대 그래프의 의미는 실제 측정하고자 하는 거리를 기준으로 약 6%의 오차가 발생하였음을 의미한다. 1% 이하로 정확하게 거리를 측정하는 경우도 다수 있으며, 최대 8% 이내에서 오류가 발생한다. 막대 그래프 한 개의 의미는 시뮬레이션 일 회의 결과로서 측정 거리에 대한 상대적 오차 거리를 나타낸다. [Fig. 4]의 성능 특성은 [Fig. 5]의 성능 특성과 비교하여 설명할 수 있다. [Fig. 5]는 [Fig. 4]와 같이 신호대 간섭 잡음비가 S/I = -30[dB]이고, 신호의 가시 성분이 K=20으로 강해진 경우이다. 가시성분이 K=10에서 K=20으로 증가함에 따라 전체적인 성능이 향상되었다. 즉, 전체적으로 각 막대 그래프의 크기가 작아져 상대거리 오류율이 줄어들었음을 알 수 있다. 오류율 5%를 기준으로 보면 K=10인 경우, 총 66회의 측정중에서 5%를 넘는 경우가 16회인 반면 K=20인 경우에는 총 66회의 측정중 5%를 넘는 경우가 12회로서 약 25%의 성능이 향상되었다.



[Fig. 4] Relative distance error rates with S/I=-30[dB] and K=10



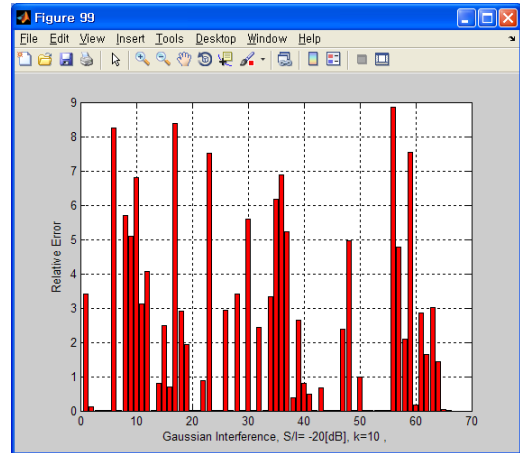
[Fig. 5] Relative distance error rates with $S/I=-30$ [dB] and $K=20$

다음은 [Fig. 6]과 [Fig. 7]의 $S/I = -20$ [dB] 인 경우이다. [Fig. 6]은 $S/I = -20$ [dB], $K=10$ 인 경우인데, [Fig. 5]의 $S/I = -30$ [dB], $K=20$ 인 경우와 비교해 보면, K 값은 작지만 신호대 간섭 잡음비가 향상됨에 따라 성능이 상당히 향상되었음을 볼 수 있다. 즉, 막대 그래프의 크기가 거의 0에 가까운 경우가 다수 발생한 것이다. 따라서, 신호의 가시성분이 양호한 실내 위치추적 환경에서도 신호의 크기는 어느정도 보장 되는 것이 위치추적 시스템의 성능을 향상 시키는데 중요하다는 결론을 얻을 수 있다.

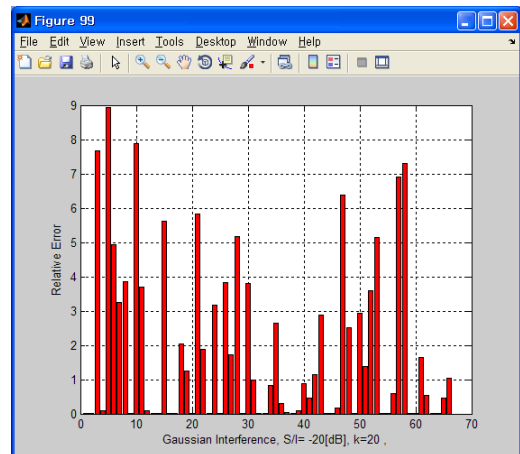
한편, [Fig. 6]과 [Fig. 7]을 비교해 보면 오류율 5%를 기준으로 5%를 넘는 횟수가 $K=10$ 인 경우에 12회, $K=20$ 인 경우에 10회로서 약 17%의 성능이 향상되었다. 그러나, 오류율 4%를 기준으로 보면 4%를 넘는 횟수가 $K=10$ 인 경우 15회, $K=20$ 인 경우 11회로서 약 27%의 성능이 향상되었다. 결과적으로 통신시스템의 제한으로 신호 대 잡음비에 한계가 발생한 경우 안테나 종류의 선택과 안테나 위치 선정 등의 방법으로 신호의 가시성분을 강화 시킨다면 시스템의 성능을 상당히 향상시킬 수 있다.

끝으로 신호대 간섭 잡음비가 $S/I = -10$ [dB]인 [Fig. 8]과 [Fig. 9]의 경우이다. 이 경우는 신호대 간섭 잡음비의 비율에서 신호 성분이 매우 강하기 때문에 모든 경우에서 2% 이하의 오류율을 보인다. $K=10$ 인 [Fig. 8]의 경우 1% 이상의 오류율을 보인 경우가 전체 66회중 7회인 반면, $K=20$ 인 [Fig. 9]의 경우 1% 이상은 4회로서 상대적으로 오류율 1%를 기준으로하면 50%에 가까운 성능이 향

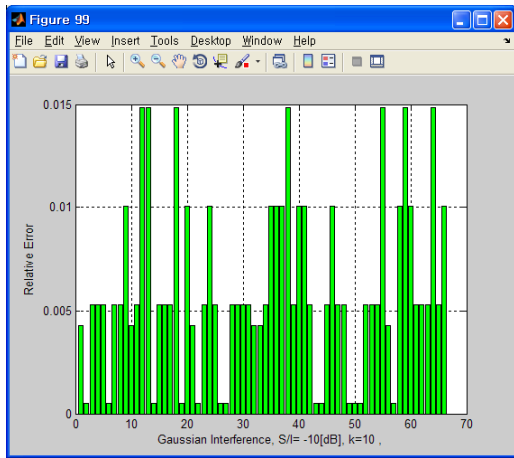
상된 것이다. 따라서, 신호대 간섭잡음비가 $S/I = -10$ [dB]인 경우에는 신호의 가시성분을 더욱 줄이더라도 시스템의 성능을 유지할 수 있음을 알 수 있고, 이것은 안테나 등의 하드웨어 설치비용을 줄일 수 있음을 의미한다.



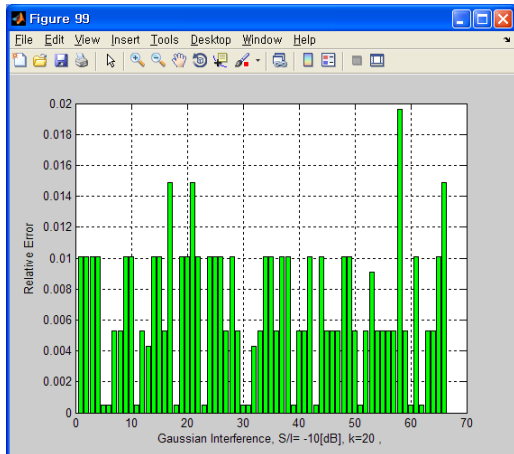
[Fig. 6] Relative distance error rates with $S/I=-20$ [dB] and $K=10$



[Fig. 7] Relative distance error rates with $S/I=-20$ [dB] and $K=20$



[Fig. 8] Relative distance error rates with $S/I=-10$ [dB] and $K=10$



[Fig. 9] Relative distance error rates with $S/I=-10$ [dB] and $K=20$

5. 결 론

본 논문에서는 실내 무선채널을 고려하여 라이시안 페이딩 채널에서 침신호를 사용하는 RTLS 시스템의 거리측정 성능을 시뮬레이션하여 성능을 평가하였다. 성능 평가 방법은 상대거리 오류율로서 상대거리 오류율은 식 (5)에서와 같이 구하고자 하는 거리에 대한 상대적인 거리오차 비율이다.

주파수 대역으로는 2.4GHz를 고려하였으며, 신호 대 간섭 잡음비를 $S/I = -30$ [dB], -20 [dB], -10 [dB] 의 세가

지 경우로 가정하고, 라이시안 페이딩 채널의 K 팩터 값을 10과 20으로 변화시키면서 성능을 평가하였다.

시뮬레이션 결과 $S/I = -30$ [dB]에서는 $K=10$ 에서 $K=20$ 으로 조건이 개선되면서 상대거리 오류율 5%를 기준으로 약 25%의 성능이 향상되었으며, $S/I = -20$ [dB]에서는 동일하게 조건이 개선되면서 상대거리 오류율 4%를 기준으로 약 27%의 성능이 향상되었고, $S/I = -10$ [dB]에서는 $K=10$ 에서 $K=20$ 으로 역시 동일하게 조건이 개선되면서 상대거리 오류율 1%를 기준으로 약 50%의 성능이 향상되었다.

결과적으로 $S/I=-20$ [dB] 미만인 경우 신호의 가시성분이 양호한 실내 위치추적 환경에서도 위치추적 시스템의 성능을 확보하고 향상 시키는데 중요한 것은 간섭 및 잡음에 대하여 신호의 크기를 일정 수준 이상으로 보장하는 것이다. 즉, 가시성분이 성능을 향상시킨다고 하더라도 신호의 전력은 필요한 최소값이 요구되어야 한다. 한편, 신호대 잡음비가 $S/I=-20$ [dB] 이상으로 유지된다면 통신 환경 및 시스템의 제한으로 신호 대 잡음비에 한계가 발생한 경우 안테나 종류의 선택과 안테나 위치 선정 등의 방법으로 신호의 가시성분을 강화시킨다면 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 본 논문의 결과는 신호대 간섭비에 따른 침 RTLS 시스템의 성능을 제시함으로써 실내 환경에서 실시간 위치추적 시스템 설계 시 기본 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 추후 필요한 연구로는 간섭 및 환경의 다양화에 따른 성능 개선 방안에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] Eirini Karapistoli Fotini-Niovi Parildou, "An Overview of the IEEE 802.15.4a Standard," IEEE Communication Magazine, Jan, 2010
- [2] Aero Scout사, <http://www.aeroscout.com>
- [3] Nanotron사, <http://www.nanotron.com>
- [4] Y. S. Kim and J. W. Chong, "A Receiver Architecture with Low Complexity for Chirp Spread Spectrum in IEEE 802.15.4a," The Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 47, TC, no. 8, pp. 24-31, Aug. 2010.

- [5] S. K. Mun, S. K. Park, H. G. Yang, C. Y. Cheon, Y. S. Chung and K. B. Bae, "FMCW Radar Simulation Model with Interference using a New Radar Performance Parameter," The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 10, no. 4, pp. 86-92, Aug. 2011.
- [6] ISO/IEC 24730-5, Information Technology Automatic Identification and Data Capture Techniques - Real Time Locating Systems(RTLS) - Part 5: Chirp Spread Spectrum(CSS) at 2.4GHz.
- [7] Christoph Schroeder and Hermann Rohling, "X-Band FMCW Radar System with Variable Chirp Duration," Proc. of IEEE Radar Conference, pp. 1255-1259, May 2010.
- [8] Xiaowei Wang, Minrui Fei, and Xin Li, "Performance of Chirp Spread Spectrum in Wireless Communication Systems," Proc. of ICCS 2008, pp. 466-469. June 2008.
- [9] S. J. Choi and B. G. Kang, "The Windows Push Server System with Smart Device Identifying Fingerprints over IEEE 802. 15. 4 Protocol," The Journal of Digital Policy and Management, vol. 10, no. 11, pp. 419-425, Dec. 2012.

강 병 권(Kang, Byeong Gwon)



- 1986년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)
- 1993년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신기술연구단

선임연구원

- 2005년 8월 ~ 2006년 7월 : 미국 조지아공대 방문 교수
- 1997년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수
- 관심분야 : ITS, RTLS, RFID, 홈네트워킹
- E-Mail : bgkang@sch.ac.kr