

가중치 적합 기법을 이용한 개선된 IEEE 802.11 RSSI 감쇠 로그 모델

Improved IEEE 802.11 RSSI Attenuation Log Model by Weighted Fitting Method

신 석 훈, 박 준 구*
(Seokhun Shin¹ and Joon Goo Park^{1,*})

¹School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

Abstract: With the development of communication technologies and smartphone, requirements of positioning accuracy for LBS (Location Based Service) are becoming increasingly important. LBS is a service which offers the information or entertainment based on a location to users. Therefore, positioning is very important for LBS. Among many positioning methods, IEEE 802.11 WLAN positioning measures the distance using the RSSI (Received Signal Strength Indicator) attenuation log model. Thus in order to enhance positioning, we modify the IEEE 802.11 RSSI attenuation log model by adaptive weighting method. In this paper, we propose improved IEEE 802.11 RSSI attenuation log model for enhanced indoor positioning.

Keywords: LBS, indoor positioning, RSSI, IEEE 802.11

I. 서론

스마트폰의 대중화와 이동통신 기술의 발달로 인하여 LBS (Location Based Service) 기술 즉, 위치기반서비스의 요구가 증대되고 있다. 이러한 위치기반서비스에서 요구하는 여러 기술 중 측위 기술은 유무선 통신망을 통해 사용자의 위치, 그리고 그 밖에 주변의 위치에 대해 정확히 판단하는 기본 정보를 제공함에 따라 많은 중요도를 가진다.

측위 기술로 대표적인 것이 GPS (Global Positioning System)가 있다[1]. 하지만, GPS는 실외 측위 기술로서 건물이 많은 대도시 지역에서의 측위 음영지역이 있어 정확도가 떨어지며, GPS 신호가 단지 않는 실내에서는 이 기술을 사용할 수 없기 때문에 GPS를 대체하고, 일정 수준의 측위 성능을 지닌 기술을 개발하기 위한 다양한 측위 연구가 진행되고 있다 [2]. 실내측위 방법에는 도래각을 이용한 측위 방법[3,4], 도달 시간을 이용한 측위 방법[5,6], RSSI 신호세기를 이용한 측위 방법[7-9] 등 다양한 기술이 연구되고 있다.

그 중에서 본 논문에서는 RSSI 신호세기를 이용한 IEEE 802.11 WLAN [10] 기반 실내 측위 기술을 연구한다. IEEE 802.11 WLAN은 현재 많은 인프라가 조성되어 있고 측위 뿐만 아니라 표준화된 데이터 포맷[11]으로 데이터 전송도 할 수 있다는 장점이 있다. 이는 여러 센서와 다양한 기술들과 융합한 위치기반서비스가 가능하다.

IEEE 802.11 WLAN 기반 측위 방식은 AP (Access Point)로의

수신신호 세기, 즉, RSSI (Received Signal Strength Indicator) [7-9]을 측정하여 수신 신호세기의 감쇠특성을 반영하는 감쇠 로그 모델을 사용해 거리를 측정한다[2,10,11]. 하지만 실제 수신된 신호세기에는 신호잡음이 포함되어 있기 때문에 기존 감쇠 로그모델의 측위 유효 거리는 근거리로 제한되었다. 감쇠 로그모델의 특성 상 신호세기가 강한 근거리보다 신호세기가 약한 즉 AP와의 거리가 먼 곳에서 더 많은 거리오차가 발생한다.

기존 감쇠로그 모델은 AP와 MT (Mobile Terminal)간의 거리가 7m 이내에서는 안정적인 거리오차를 나타내지만 7m에서 10m (최대 유효거리)이내에서는 상대적으로 큰 거리오차를 유발한다[12]. 이러한 이유로 측위에 포함되는 특정 AP의 상대거리가 7m 이상의 경우에는 측위오차가 상대적으로 커지는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 유효 측위거리를 7m 이상으로 확장하여 10m 이내에서 안정적인 거리오차를 주는 개선된 감쇠 로그모델을 제시한다. 개선된 감쇠 로그 모델은 기존 감쇠 로그모델에 비해 7m 이내에서는 거리오차가 다소 크지만 7m~10m 구간에서는 거리오차를 크게 낮추어 10m 이내에서의 평균 거리 오차가 작아지는 특성을 나타낸다.

앞서 설명한 바와 같이, 본 논문은 기존논문의 신호감쇠 로그모델의 개선을 통해 측위성능을 향상[16,17]하는데 그 목적이 있다. 따라서 기존 감쇠 로그모델의 개선을 통해 7m~10m 구간의 거리 오차의 추정 성능을 개선하여 전체 측위 오차를 줄이는 방안에 대해 연구한다.

II. RSSI 신호세기 감쇠 로그모델 특성

수신신호세기, 즉, RSSI (Received Signal Strength Indicator)는 송수신 전력의 비로 정의되며, 수신되는 신호의 강도를 반영하는 값으로 dBm 단위로 표현된다. RSSI는 거리에 따라 지수적으로 감소하는 특성을 가지고 있다. 이와 같은 감쇠특성을

* Corresponding Author

Manuscript received June 14, 2014 / revised October 29, 2014 / accepted November 17, 2014

신석훈, 박준구: 경북대학교 전자공학부

(shshin8320@gmail.com/jgpark@ee.knu.ac.kr)

※ 이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었음.

바탕으로 수신신호세기를 거리기반의 측위 방식에 적용하기 위해서 수학적인 모델링 과정을 거치게 된다. 수신 신호세기의 감쇠특성을 반영하는 다양한 모델들이 소개되고 있는데, 본 논문에서는 식 (1)과 같은 감쇠모델을 사용하였다[2,13,14].

$$RSSI[dBm] = -(10n \log_{10} d - A) \quad (1)$$

$$Rd[m] = 10^{\frac{RSSI-A}{-10n}} \quad (2)$$

n : 신호감쇠상수

d : 신호원에서의 거리

A : 오프셋, 1m에서 측정된 RSSI

식 (1)에서 n 은 신호감쇠상수로서 환경에 따라 감쇠되는 수신신호 세기의 특성을 반영하는 값이고, A 는 오프셋(offset)을 말하며 1m 지점에서의 신호세기 값을 의미한다.

신호세기를 이용한 거리측정의 특성을 알아보기 위해서 실험을 하였다. 실험 장소는 경북대학교 소강당의 실내환경을 대상으로 하였다. 이 공간은 15m×25m의 장애물이 없는 개방된 환경으로 다른 전파의 간섭이 비교적 적은 환경이다.

실험에는 IPTime사의 N104 모델의 AP 1개와 노트북 내장 Broadcom 802.11 무선 네트워크 카드를 사용하였다. 무선랜 신호는 NetStumbler를 이용하여 수집하였다. 실험방법은 실험 장소의 한 지점에 AP를 고정시키고 직선 10m 경로상에서 1m 간격으로 수신신호를 확인하였다. 표 1에 나타난 거리별 RSSI (dbm) 데이터값은 총 10개의 샘플을 이용한 평균치이다. 그림 1은 일정구간에서 수집한 수신신호세기와 이를 바탕으로 설정한 로그감쇠모델의 관계를 보여준다.

그림 1에서처럼 실제 측위시 여러 요인에 의해 측위 오차가 발생하게 되며 감쇠모델을 거리로 환산하는 함수가 지수 함수기 때문에 신호세기가 약할수록 더 큰 거리오차를 발생하게 된다. 또한 측위에 사용하기 위해 설정된 감쇠함수의 파라미터 값은 수집된 RSSI 신호세기에 기반을 두고 있기 때문에 실제 측위시 오차를 포함하게 된다.

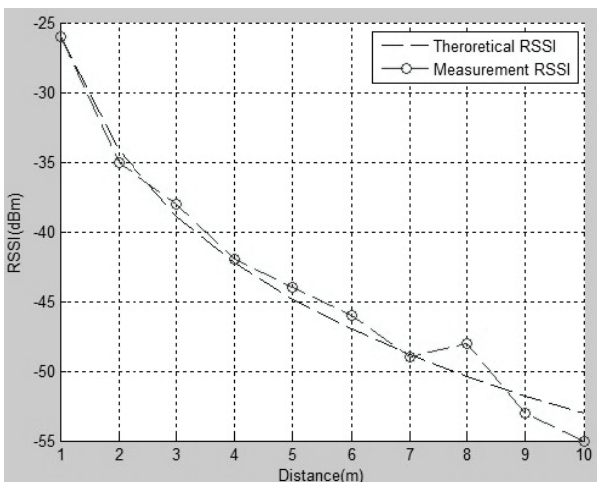


그림 1. 수신신호세기 감쇠특성 (실내_로비).

Fig. 1. RSSI Attenuation Pass Loss Model (Indoor_Lobby).

표 1. RSSI 감쇠 로그모델 거리 오차 (실내_로비).

Table 1. RSSI Attenuation Log Model Distance Errors (Indoor_Lobby).

| Distance (m) | RSSI (dBm) | Error (m) |
|--------------|------------|-----------|
| 1 | -26 | 0 |
| 2 | -35 | 0.154 |
| 3 | -38 | -0.217 |
| 4 | -42 | -0.086 |
| 5 | -44 | -0.358 |
| 6 | -46 | -0.495 |
| 7 | -49 | 0.109 |
| 8 | -48 | -1.472 |
| 9 | -53 | 1.00 |
| 10 | -55 | 1.859 |

그림 1과 표 1을 살펴 보면 1m ~ 7m까지의 근거리 추정 거리오차는 1m 미만인 반면, 7m 이후 원거리에는 추정 거리 오차가 커지는 것을 볼 수 있다. 이 결과에서 알 수 있듯이 원거리 측정에서 RSSI 신호 감쇠식 자체가 로그식이기 때문에 신호세기의 작은 변화에도 거리변화가 크게 나타나는 단점이 존재하고 불안정한 값이 수신되는 문제점이 발생하여 신호세기를 이용한 거리 기반의 삼각측량의 경우 원거리 측정의 오차로 인한 위치정확도의 저하가 발생한다.

III. RSSI 신호세기 감쇠 로그모델 개선방법

기존 감쇠 로그모델에서는 로그모델 계산 시 모든 참조 포인트에 대해 동일한 가중치를 부여하였다. 앞서 보았던 RSSI 로그모델의 특성 상, 근거리에서는 오차가 작아 성능이 우수하지만 원거리에서 많은 오차를 발생시킨다. 따라서 본 논문에서는 오차에 따른 차등 가중치를 부여하여 근거리에서의 정확도 손실을 감내하더라도, 원거리 오차의 정확도를 높이고 또한 전체 측위 오차가 기존 감쇠 로그모델보다 나은 성능을 보이는 감쇠 로그모델을 제안 한다.

1. 기존 감쇠 로그모델

기존 로그모델 생성은 다음과 같다.

$$RSSI_i = -(10n \log_{10} d_i - A) + e_i, i = 1, 2, \dots, 10$$

$$e_i = RSSI_i + (10n \log_{10} \hat{d}_i - A) \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^{10} \{e_i\}^2 = \sum_{i=1}^{10} \{RSSI_i + (10n \log_{10} d_i - A)\}^2 \quad (4)$$

$$\operatorname{argmin}_n Q \text{ and } \operatorname{argmin}_A Q \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

여기서 d_i 는 거리(단위:m)를 나타낸다. $RSSI_i$ 는 해당되는 거리에서의 실측 RSSI값을 나타내며, e_i 는 오차 값을 나타낸다.

1m~10m까지 실제 측정된 RSSI 신호 값을 통해 표현되는 10개의 함수식을 최소자승법(LSM: Least Square Method) [15]으로 오차가 최소가 되는 새로운 해 n 과 A 를 구한다.

2. 가중치를 고려한 감쇠 로그모델

오차에 따른 가중치 부여 방안에는 1m~10m 총 10개의 측위 포인트 오차에 대해 10개 포인트 모두 다른 가중치를 부여하는 방안과, 10개의 포인트에 대해 최소자승법 계산을 하

는 것이 아닌 각 구간 별 대표 포인트 2m, 5m, 9m 총 3포인트만 계산하고 가중치를 부여하여 오차를 줄이는 방안이 있다. 이는 계산량을 극도로 줄임으로써 시스템비용을 줄이고, 오차에 대한 가중치를 사용함으로써 신뢰성 있는 감쇠 로그 모델 생성이 목적이다.

2.1 오차 가중치를 고려한 로그모델

식 (5)에서 Ed_i 는 실제 측정된 RSSI 값으로 추정된 거리와 감쇠 로그모델의 이론적 거리의 차의 제곱으로 나타낸다. 식 (5)에서 계산된 Ed_i 의 값을 식 (6)을 통해 가중치(w_i)를 정규화(Normalize) 한 뒤 식 (7)에 대입하여 새로운 감쇠 로그 모델을 생성한다.

$$Ed_i = (e_i)^2, i = 1, 2, \dots, 10 \tag{5}$$

$$w_i = \frac{Ed_i}{\sum_{j=1}^{10} Ed_j}, i = 1, 2, \dots, 10 \tag{6}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{10} w_i \{RSSI_i + (10\log_{10}d_i - A)\}^2 \tag{7}$$

$$\operatorname{argmin}_n Q \text{ and } \operatorname{argmin}_A Q \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

2.2 구간별 대표포인트 오차 가중치를 고려한 로그모델

대표 3포인트(2m, 5m, 9m) 에서 RSSI 신호를 실측하여 식 (5)에서 2m, 5m, 9m의 오차를 계산한다. 계산된 값을 식 (8)을 통해 가중치(w_i)를 정규화 한 뒤 식 (9)에 대입하여 새로운 감쇠 로그모델을 생성한다.

$$w_i = \frac{|Ed_i|}{|Ed_2|+|Ed_5|+|Ed_9|}, i = 2, 5, 9 \tag{8}$$

$$Q(b) = \sum_{i=2,5,9} w_i \{RSSI_i + (10\log_{10}d_i - A)\}^2 \tag{9}$$

$$\operatorname{argmin}_n Q \text{ and } \operatorname{argmin}_A Q \quad i = 2, 5, 9$$

IV. 실험 및 결과 분석

1. 실험 환경

실험은 경북대학교 내 IT대학 1호관 에서 수행하였다. 또한, 로비와 복도 구역으로 나누어 실험하였다. 실험에는 ipTIME사의 N3004 모델의 AP(Access Point)와 노트북 내장 무선 네트워크 카드(Broadcom 802.11)를 사용하였으며, RSSI 수집을 위해 inSSIDer 프로그램을 사용하였다.

2. 성능 실험 및 분석

2.1 오차 가중치를 고려한 로그모델 분석

표 3을 보면 기존 감쇠 로그모델을 사용 했을 때 보다 근거리(1m-6m) 성능은 반개구간과 폐구간 각각 약 15.63%, 약 41.94% 악화되었지만, 원거리(7m-10m) 성능이 각각 약 26.04%, 약 20.87%로 개선되었으며, 전체 거리의 측위 오차 성능은 각각 약 17.24%, 약 3.08% 향상되었다.

표 2. 실험 데이터 구분.

Table 2. Experimental Data Distinction.

| | |
|-------|---------------------|
| 데이터 1 | 실내환경 : 반개구간 (건물 로비) |
| 데이터 2 | 실내환경 : 폐구간 (건물 복도) |



그림 2. 실험장소 (데이터 1-IT3호관 1층, IT1호관 1층 로비).
Fig. 2. Experimental Location (Data 1-IT3 1F, IT1 1F Lobby).



그림 3. 실험장소 (데이터 2-IT3호관 4층, IT1호관 7층 복도).
Fig. 3. Experimental Location (Data 2-IT3 4F, IT1 7F Passageway).

표 3. 기존 감쇠 로그모델과 오차 가중치를 고려한 로그모델의 성능비교.

Table 3. Performance Comparison between Existing & Suggested Attenuation Log Model.

| | | 근거리 | 원거리 | 전체오차 | 성능향상 (%) |
|--------------|------|------|-------|------|----------|
| | | 1~6m | 7~10m | 평균 | |
| 데이터 1 (반개구간) | 기존방법 | 0.32 | 1.69 | 0.87 | 17.24% |
| | 제안방법 | 0.37 | 1.25 | 0.72 | |
| 데이터 2 (폐구간) | 기존방법 | 0.31 | 1.15 | 0.65 | 3.07% |
| | 제안방법 | 0.44 | 0.91 | 0.63 | |

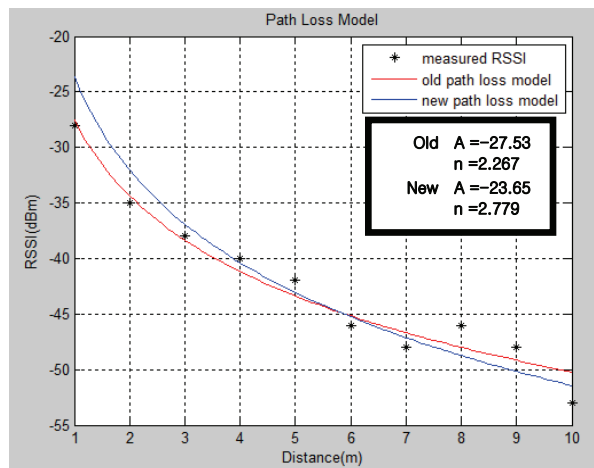


그림 4. 기존 감쇠 로그모델과 오차 가중치를 고려한 로그모델 (반개구간).

Fig. 4. Performance Comparison between Existing & Suggested Attenuation Log Model (Half Open Interval).

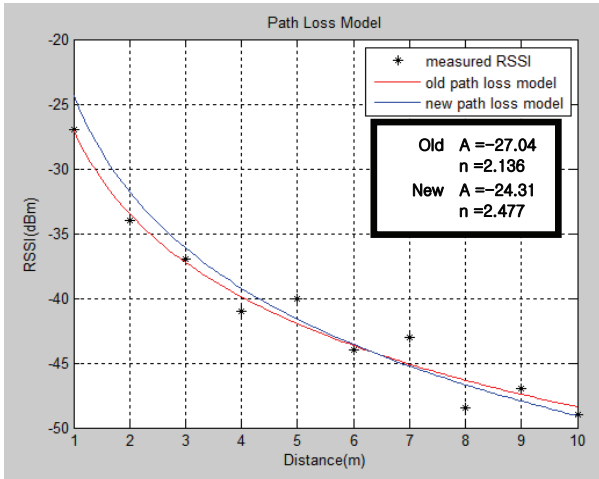


그림 5. 기존 감쇠 로그모델과 오차 가중치를 고려한 로그모델 (폐구간).

Fig. 5. Performance Comparison between Existing & Suggested Attenuation Log Model (Closed Interval).

그림 4와 그림 5의 감쇠 로그모델을 보면, 오차 가중치를 추가하여 RSSI 신호 감쇠 모델의 파라미터가 변경되어 새롭게 설정되었다. 그림 4와 그림 5은 표 3의 DATA 1, DATA 2에 대해 그래프로 나타낸 것이다.

2.2 구간별 대표포인트 오차 가중치를 고려한 로그모델 분석

표 4에서 기존 감쇠 로그모델을 사용 했을 때 보다 오차 가중치를 고려한 대표 3포인트 로그모델에서 근거리(1m~6m) 성능은 반개구간과 폐구간 각각 약 9.38%, 약 96.77% 악화되었고, 원거리(7m~10m) 성능도 각각 약 24.85%, 약 5.22%로 악화되어 전체 거리의 측위 오차 성능은 각각 약 20.69%, 약 30.77% 악화되었다.

감쇠 로그모델을 생성하기 위해 식 (6)을 n에 대해 편미분을 하면 식 (10)과 같이 나타내며, 식 (6)을 A에 대해 편미분을 하면 식 (11)과 같이 나타낸다. 참조하는 포인트의 계산량은 식 (10), 식 (11)과 표 5에서 나타나듯 k개의 참조포인트에 따라 합의항은 2(3k-1)개 곱의항은 7k개가 생성된다. 따라서 10포인트 에서는 합의항 58개 곱의항 70개가 생성되고, 3포

표 4. 기존 감쇠 로그모델과 구간별 대표포인트 오차 가중치를 고려한 로그모델의 성능비교

Table 4. Performance Comparison between Existing & Suggested Attenuation Log Model.

| | | 근거리 1~6m | 원거리 7~10m | 전체 오차평균 |
|-----------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
| 데이터 1 (반개구간) | 기존방법 10포인트 | 0.32 | 1.69 | 0.87 |
| | 제안방법 3포인트 | 0.35 | 2.11 | 1.05 |
| 데이터 2 (폐구간) | 기존방법 10포인트 | 0.31 | 1.15 | 0.65 |
| | 제안방법 3포인트 | 0.61 | 1.21 | 0.85 |

표 5. k개의 참조포인트 계산량.

Table 5. The Amount of Calculation for k's Reference Point.

| | |
|---------|-----------|
| 합의 항 개수 | 2(3k-1) 개 |
| 곱의 항 개수 | 7k 개 |

표 6. 구간별 대표 3포인트 기존 감쇠 로그모델과 구간별 대표 3포인트 오차 가중치를 고려한 로그모델의 성능비교.

Table 6. Performance Comparison between Existing 3point & Suggested Attenuation Log Model.

| | | 근거리 1~6m | 원거리 7~10m | 전체 오차평균 | 성능향상 (%) |
|-----------------|--------------|-------------|--------------|------------|-------------|
| 데이터 1 (반개구간) | 기존방법 3포인트 | 0.39 | 2.55 | 1.25 | 16% |
| | 제안방법 3포인트 | 0.35 | 2.11 | 1.05 | |
| 데이터 2 (폐구간) | 기존방법 3포인트 | 0.45 | 2.00 | 1.06 | 19.81% |
| | 제안방법 3포인트 | 0.61 | 1.21 | 0.85 | |

인트에서는 합의항 16개 곱의항 21개가 생성되어 계산량이 현저히 줄어들음을 알 수 있다.

$$2(RSSI_i + 10n\log d_i - A)(10\log d_i) \tag{10}$$

$$2(RSSI_i + 10n\log d_i - A) \tag{11}$$

추가로, 기존방법에서 오차 가중치를 고려하지 않은 3개의 대표 포인트에 대해 계산에 대해 제안된 방법과 비교하면 표 6에서와 같이 반개구간과 폐구간 각각 약 16% 약 19.81%로서 보다 나은 성능을 보였다.

그림 6과 그림 7은 표 4와 표 6의 기존방법 10포인트, 기존방법 3포인트 그리고 제안방법 3포인트 데이터를(데이터1, 데이터2) 합쳐 그래프로 나타낸 것이다.

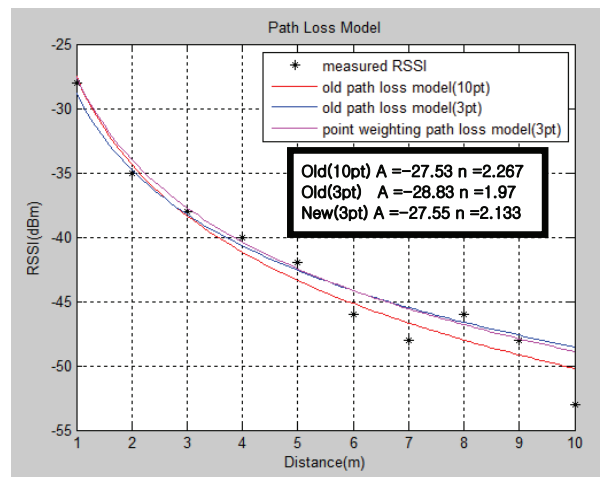


그림 6. 기존 감쇠 로그모델과 구간별 대표포인트 오차 가중치를 고려한 로그모델 (반개구간).

Fig. 6. Performance Comparison between Existing & Suggested Attenuation Log Model (Half Open Interval).

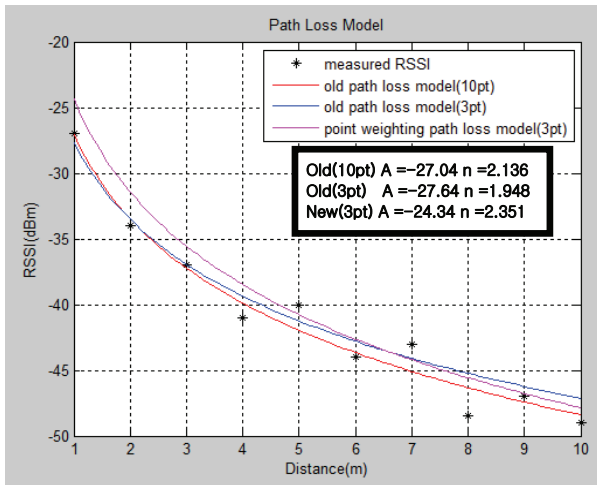


그림 7. 기존 감쇠 로그모델과 구간별 대표포인트 오차 가중치를 고려한 로그모델 (폐구간).

Fig. 7. Performance Comparison between Existing & Suggested Attenuation Log Model (Closed Interval).

V. 결론

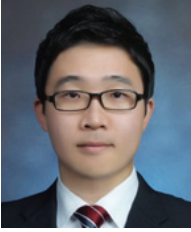
오차 가중치를 고려한 감쇠 로그모델의 실험결과로서 근거리에서는 실내환경 평균 약 28.78%의 성능 저하를 보였으며, 원거리에서는 실내환경 평균 약 23.45%의 성능 향상을 보였고 전체 거리에서는 실내환경 평균 약 10.16%의 성능 향상을 보였다. 근거리에서 오차성능이 나빠지기는 하지만 로그함수의 특성 상 근거리에서는 실제 오차 거리의 미미한 차이가 보였으며, 원거리에서 많은 성능 향상을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 오차 가중치를 고려한 감쇠 로그모델 실험결과로서 오차에 따른 차등 가중치를 부여하여 근거리에서의 정확도 손실을 감내하더라도, 원거리 오차의 정확도를 높이고 또한 전체 오차가 기존 감쇠 로그모델보다 나은 성능을 보였다.

앞서 언급한, 오차 가중치를 고려한 감쇠 로그모델의 개선 방안은 기존 감쇠 로그모델의 오차를 줄이는데 그 목적이 있었다면, 구간 대표 포인트에 대해 오차가중치를 고려한 방법은 기존 감쇠 로그모델의 계산량의 감소와 성능의 개선이 그 목적에 있다. 기존 10개의 포인트에 대한 계산량에 비해 3포인트에 대한 계산량은 합의향 72.41%와 곱의향 70%가 줄어들어 계산량이 현저히 줄어들 수 있으며, 전체 거리 오차는 평균 약 25%의 성능 감소를 보인다. 하지만, 이 오차는 실내 측위 오차 허용 범위 2m미만(본 논문에서는 복도의 폭을 실내 측위 오차 허용범위로 보았다.)의 결과로서 실내 측위에 유효한 성능을 나타낸다. 또한, 기존 방법을 사용하면서 대표되는 몇 개의 포인트로부터 감쇠 로그 모델을 생성 하는 것 보다 제안한 방법인 차등적인 오차 가중치를 부여하여 감쇠 로그 모델을 생성 하면, 평균 약 17.91%의 오차성능 향상을 보인다. 따라서 제안한 방법을 통해 대표되는 몇 개의 포인트로부터 감쇠 로그 모델을 생성하면, 비록 전체 포인트를 고려한 방법 보다는 오차 성능 감소를 보이지만 사용 가능한 오차범위이며, 반대로 낮은 계산량 즉, 더 작은 비용으로 유효한 감쇠 로그모델을 생성 할 수 있음을 보였다.

REFERENCES

- [1] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [2] R. H. Lee, "A study on enhanced indoor localization method through adapted IEEE 802.11 signal strength measurement path-loss log model," Master's thesis, Kyungpook National University, 2011.
- [3] A. Bensky, "Wireless positioning technologies and applications," Chapter 8, Angle of Arrival, Artech House, Incorporated, 2006.
- [4] W. Leng and A. G. Wang, "The simulation of AOA estimation using double patterns with partial overlapping in the software of wireless insite," *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, pp. 1-4, 2011.
- [5] A. Bensky, "Wireless positioning technologies and applications," Chapter 7, Time of Arrival and Time Difference of Arrival. Artech House, Incorporated, 2006.
- [6] R. Kaune, "Accuracy studies for TDOA and TOA localization," *International Conference on Information Fusion (FUSION)*, pp. 408-415, 2012.
- [7] A. Nafarieh and J. Low, "A testbed for localizing wireless LAN devices using received signal strength," *IEEE CNSRC*, 2008.
- [8] A. Malekpour, T. C. Ling, and W. C. Lim, "Location determination using radio frequency RSSI and deterministic algorithm," *IEEE CNSRC*, 2008.
- [9] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Analysis of WLAN's received signal strength indication for indoor location fingerprinting," *Pervasive and Mobile Computing*, pp. 292-316, Apr. 2012.
- [10] X. L. Hu, "Study on wireless local area network technology," *2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, pp. 609-612, 2012.
- [11] IEEE standard for Information Technology, Telecommunications and Information Exchange between System, Local and Metropolitan Area Network. Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, *IEEE Standard 802.11*, 2012.
- [12] S. H. Kang, "A study of intelligent in-door positioning algorithm based on IEEE 802.11 signal strength," Master's thesis, Kyungpook National University, 2009.
- [13] T. Y. Choi, "A Study on in-door positioning method using RSSI value in IEEE 802.15.4 WPAN," Master's thesis, Kyungpook National University, 2007.
- [14] S. Yun, "Indoor/outdoor integrated positioning system in IEEE 802.15.4 WPAN," Master's thesis, Kyungpook National University, 2008.
- [15] D. P. Bertsekas, "Incremental least squares methods and the extended Kalman filter," *In Proc IEEE Conference on Decision and Control*, pp. 1211-1214, 1994.
- [16] A. S. Kim, J. G. Hwang, and J. G. Park, "Enhanced indoor positioning algorithm using WLAN RSSI measurements considering the relative position information of ap configuration," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 2, pp. 146-151, 2013.
- [17] S. Y. Cho and J. G. Park, "Radio propagation model and correlation method-based efficient database construction for positioning fingerprints," *Journal of Institute of Control*,

Robotics and Systems (in Korean), vol. 20, no. 7, pp. 774-781, 2014.



신 석 훈

2013년 한국방송통신대학교 컴퓨터과학부 학사. 2013년~현재 경북대학교 전자공학부 석사과정 재학. 관심분야는 WLAN, IEEE 802.11, LBS, Indoor Positioning, 모바일 네비게이션 알고리즘.



박 준 구

1994년 서울대학교 제어계측공학 학사. 1996년 서울대학교 제어계측공학 석사. 2001년 서울대학교 전기컴퓨터공학 박사. 2005년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수. 관심분야는 모바일 네비게이션 알고리즘, 이동통신 프로토콜.