

논문 2013-08-07

RSSI를 이용한 향상된 TDOA와 Pattern Matching 간의 선택적 실내 측위에 관한 연구

(A Study of Selective Indoor Positioning between Enhanced Time Difference of Arrival and Pattern Matching using Received Signal Strength Indicator)

허수정, 김재현, 박용원*

(Soo-Jung Hur, Jea-Hyun Kim, Yongwan Park)

Abstract: This paper researches location estimating method in CDMA system. Previously proposed positioning algorithms are difficult to estimate accurate position in indoor environments, and possible to limited position. This paper proposes enhanced algorithm using received PN pilot signals from base stations to enhance previous algorithms. For estimating position, we set the threshold value and use over the threshold value in received signals. After selecting signals, we estimate position using TDOA algorithm. And the cases which TDOA algorithm cannot use to estimate position, we use Pattern Matching algorithm. The proposed method system showed the improved performance in estimating parameters and locating positions by computer simulations.

Keywords : Position, TDoA, Pattern Matching, CDMA, Indoor

1. 서론

이동통신 기술의 발달과 더불어 다양한 통신망에서 이동 단말의 위치를 측위하는 기술이 활발하게 연구되고 있다. 1996년 6월, 미국의 FCC(Federal Communication Commission)는 모든 무선망 서비스 사업자에게 응급 상황을 대비하여 위치 정보를 소방서, 경찰서와 같은 공공기관에 제공하도록 요구하였다. 또한 2001년까지 모든 911 호(call)의 약 67%가 오차범위 100m 이내로

* Corresponding Author (ywpark@yu.ac.kr)

Received: 01 Aug. 2012, Revised: 11 Aug. 2012, Accepted: 29 Nov. 2012.

S.J. Hur, Y. Park: Yeungnam University

J.H. Kim: ESM Lab.

※ 본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임(No. 2012-015596)

※ 본 논문은 2008년 영남대학교 교비 지원을 받아 수행되었음(과제번호 : 208-A-251-193)

단말기의 위치정보를 부여하도록 규정하였다 [1].

현재 GPS(Global Positioning System) 안테나가 설치된 단말기의 경우에는 실외에서 위성으로부터 비교적 정확도가 높은 위치를 측정할 수 있으나, GPS 안테나가 설치되어 있지 않은 단말기나 GPS가 장착되어 있지만 실내와 같이 위성파와 단말기 사이에 장애물이 존재하는 경우에는 위성을 이용한 측정이 가능하지 않다.

이를 해결하기 위하여 단말기가 서비스 받고 있는 이동 통신망의 특성을 이용하여 단말기의 위치를 추정하는 방법이 많이 소개되었다. 대표적인 예가 Cell-ID, AOA(Angle of Arrival), TOA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival), Pattern Matching 등이다 [2].

Cell-ID 알고리즘은 단말기가 이동하는 구간에서의 셀(Cell)의 identity를 파악하여 위치를 추정한다. 그러나 Cell-ID 알고리즘은 셀 크기에 따라 위치 측위 정확도가 결정되기 때문에 세밀한 위치 측위가 비교적 어렵다.

AoA 알고리즘은 각각의 기지국으로부터 단말기에 수신된 각도를 이용하여 단말기의 위치를 추정

한다. 그러나 AOA 알고리즘은 기본적으로 LOS(Line of Sight) 신호 성분을 가정하여 위치를 추정하기 때문에 건물과 같은 장애물이 밀집한 도심지역에서는 다중경로와 같이 수신 각도를 증가시키는 요인에 의하여 위치 오차 값이 증가하여 세밀한 위치 측위가 비교적 어렵다. 또한 AOA 알고리즘은 각도를 측정하기 위하여 스마트 안테나와 같은 고가의 장비가 추가적으로 필요하다.

TOA 알고리즘은 단말기의 신호를 수신한 한 개의 서비스 셀 기지국과 두 개의 주변 기지국들 사이의 도달시간을 이용하여 위치 정보를 제공하는 알고리즘이다. 그러나 TOA 알고리즘은 단말기의 위치 측위를 위하여 사용되는 도달시간의 동기를 맞추어야 하는 문제점을 가지고 있다.

그러므로 현재 CDMA 시스템에서는 시간 정보의 동기 문제를 해결하고, 정확한 위치 측위 결과 값을 제공하기 위한 TDoA 알고리즘과 이동통신 환경의 영향을 줄이기 위하여 제안된 Pattern Matching 알고리즘이 많이 연구되고 있다 [1].

TDoA 알고리즘은 한 개의 서비스 기지국과 두 개 이상의 주변 기지국 사이에 수신 신호 도달 시간의 차이를 이용하여 거리를 산출하고 사용자의 위치를 추정하는 알고리즘이다. TDoA 알고리즘은 NLOS(Non Line of Sight) 환경에서 우수한 위치 측위 성능을 가진다 [2]. 그러나 수신되는 시간 정보에 종속적인 TDoA 알고리즘은 경로손실, 다중경로 등과 같은 이동 통신 채널 환경에 의하여 위치 측위 결과 값이 저하된다. 기존에 제안되었던 TDoA 알고리즘은 단말기에 수신되는 기지국 수를 세 개로 설정하거나, 수신된 다수의 기지국 신호를 사용하여 위치 측위 알고리즘을 수행한다. 그러나 이와 같은 측위 방식은 위치 측위에 사용되는 도달 시간을 아무런 보정 없이 사용하기 때문에 정확한 위치 측위 결과 값을 제공할 수 없다. 또한 TDoA 알고리즘은 단말기의 위치를 추정하기 위하여 적어도 세 개 이상의 기지국 신호를 수신해야 하기 때문에 제약적인 위치 측위 서비스를 제공한다.

수신된 기지국 신호에 제약적인 위치 측위 문제를 해결하고, 이동 통신 채널 환경의 영향을 적게 받기 위하여 제안된 알고리즘이 Fingerprinting 또는 Pattern Matching 알고리즘이다 [3]. Pattern Matching 알고리즘은 이동 통신 채널 환경을 고려하여 데이터베이스를 생성하였으므로, TDoA 알고리즘에 비해 이동통신 환경에 안정적인 특성을 가진다. 그러나 Pattern Matching 알고리즘은 단말기의 위치를 추정하기 전에 데이터베이스를 반드시

구축하여야 한다. 데이터베이스를 구축하기 위해서는 많은 시간과 노력이 요구된다. 그리고 Pattern Matching 알고리즘은 데이터베이스의 패턴(pattern)이 바뀌었을 경우에 새로운 데이터베이스를 구축해야 하며, 데이터베이스를 만들 때 결정되는 패턴 크기에 의하여 위치 측위 정확도의 한계를 가진다 [4].

이에 본 논문에서는 GPS 신호를 사용할 수 없는 CDMA 시스템의 실내 환경에서 현재 가장 많이 연구되는 TDoA 알고리즘과 Pattern Matching 알고리즘이 가지는 문제점을 해결하고, 보다 정확한 위치 측위를 수행하기 위하여 두 알고리즘이 결합된 형태의 알고리즘을 제안한다. 제안하는 위치 측위 알고리즘은 수신된 PN 파일럿의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)에 따라 임계치를 설정하고, 임계치 이상의 신호를 사용하여 위치 측위 알고리즘을 수행한다. 임계치 이상의 신호가 세 개 이상이면 임계치 이상의 신호를 사용하여 TDoA 알고리즘을 수행하고, 임계치 이하의 신호가 세 개 미만일 경우에는 Pattern Matching 알고리즘을 적용하여 단말기의 위치를 추정한다.

본 논문의 구성은 2장에서 CDMA 시스템에 적용 가능한 TDoA 알고리즘과 Pattern Matching 알고리즘에 대하여 기술하고, 3장에서 수신된 PN 파일럿의 RSSI에 따라 신호의 선별 및 TDoA 알고리즘과 Pattern Matching 알고리즘을 선택하는 알고리즘을 제안한다. 그리고 4장에서 모의실험 및 결과에 관하여 고찰한 후, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 무선 측위 방법

2.1 Pattern Matching 알고리즘

Pattern Matching 알고리즘은 단말기의 위치를 추정하기 전에 구축된 데이터베이스와 단말기에 측정된 데이터를 비교하여 가장 유사한 데이터베이스의 대표 좌표 값을 사용자의 위치로 추정하는 확률론적 모델링에 의한 위치 추정 알고리즘이다.

그림 1과 같이 m 개의 패턴을 가지는 셀 A 는 수식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 이 때, S_A 는 셀 A 지역, C_{Ai} 는 셀 A 지역에서의 i 번째 패턴, $b_{Ai,j}$ 는 셀 A 지역에서의 i 번째 패턴이 가지는 j 개의 파라미터이다.

$$S_A = \sum_{i=1}^m C_{Ai} \text{ for } i=1,2,3,\dots,m \quad (1)$$

$$C_{Ai} = [b_{Ai,1}, b_{Ai,2}, \dots, b_{Ai,j}]$$

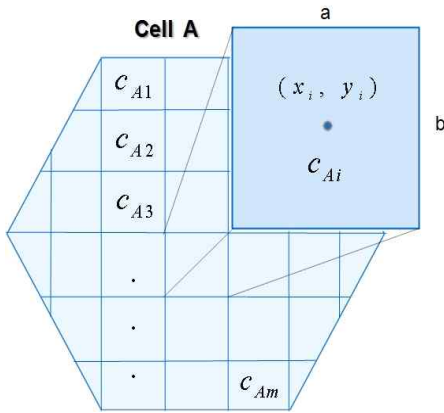


그림 1. Pattern Matching 위치 추정 알고리즘
Fig. 1 Pattern Matching Position Estimation Algorithm

각 패턴에 대한 특성을 데이터베이스로 구성한 후, 사용자가 단말기의 위치 추정을 요청하게 되면 단말기는 측정되는 지역의 고유정보,

$$B^* = [b_1^*, b_2^*, \dots, b_j^*] \quad (2)$$

를 가지게 된다.

단말기의 위치를 추정하기 위하여 단말기에서 측정된 데이터와 데이터베이스의 유사도를 비교하고, 최종적으로 측정된 데이터와 가장 유사한 데이터베이스 주소 값을 위치 결과 값으로 제공한다 [4].

Pattern Matching 알고리즘은 안정적인 측위 결과 값을 제공하며, 수신되는 신호가 한 개 이상이면 위치 측위가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 Pattern Matching 알고리즘은 위치 측위 결과 값이 초기 데이터 구축 시 적용된 패턴의 크기에 따라 위치 측위 정확도의 제한을 받으며, 데이터베이스 생성을 위하여 많은 시간과 노력이 요구된다.

III. TDoA(Time Difference of Arrival) 알고리즘

네트워크 기반의 TDoA 알고리즘은 한 개의 서비스 기지국과 두 개 이상의 주변 기지국 사이에 수신 신호 도달 시간의 차이를 이용하여 거리를 산출하고 사용자의 위치를 추정하는 알고리즘이다.

그림 2와 같이 단말기의 위치를 (x_m, y_m) , i 번째 기지국의 위치를 (X_i, Y_i) 이라고 할 때, 측정된

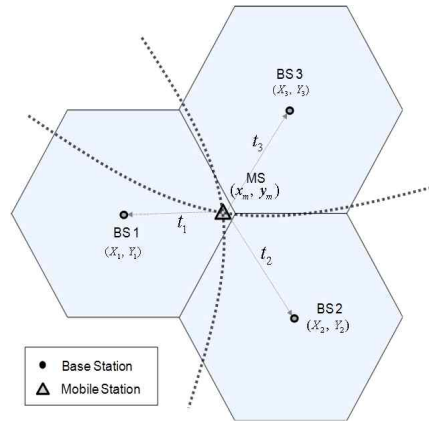


그림 2. TDOA 위치 추정 알고리즘
Fig. 2 TDOA Position Estimation Algorithm.

단말기와 기지국 사이의 위치 관계는 수식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} r_{i1} &= r_i - r_1 \\ &= (t_i - t_0)c - (t_1 - t_0)c = (t_i - t_1)c \\ &= \sqrt{(X_i - x_m)^2 + (Y_i - y_m)^2} \dots \\ &\quad - \sqrt{(X_1 - x_m)^2 + (Y_1 - y_m)^2} \end{aligned} \quad (3)$$

이 때, c 는 빛의 속도, t_0 는 이동국이 신호를 전송하는 시각, r_i 는 i 번째 기지국과 단말기 간의 거리, t_i 는 i 번째 기지국으로부터 수신된 신호의 도달시간을 나타낸다. N 을 수신되는 기지국 PN 파일럿 수라고 할 때, 수식 (3)을 확장하고, 재배열하는 일련의 과정을 거친 후, 식을 간략화 하면 단말기의 위치를 추정할 수 있다 [5].

TOA 알고리즘의 경우 절대적인 시간 정보를 측정하기 위하여 기지국과 단말기 사이의 정확한 시각 동기를 가져야 하지만, TDoA 알고리즘은 수신된 도달시간차이를 이용하여 위치 측위를 하기 때문에 기지국과 단말기 사이의 시간 동기가 필요하지 않으며, 노이즈(noise)가 고려되지 않은 LOS(Line of Sight) 환경에서는 수 mm 이하의 정교한 측위 결과 값을 제공해 주는 장점을 가지고 있다.

그러나 이동 통신 채널 환경은 불규칙한 지형으로 인한 수많은 방해물로부터 NLOS(Non Line of Sight) 환경을 필연적으로 경험한다. 그러므로 단말기에서 기지국 사이에 신호 도달시간은 지연되며 이것은 네트워크 기반의 TDoA 알고리즘의 측위 결

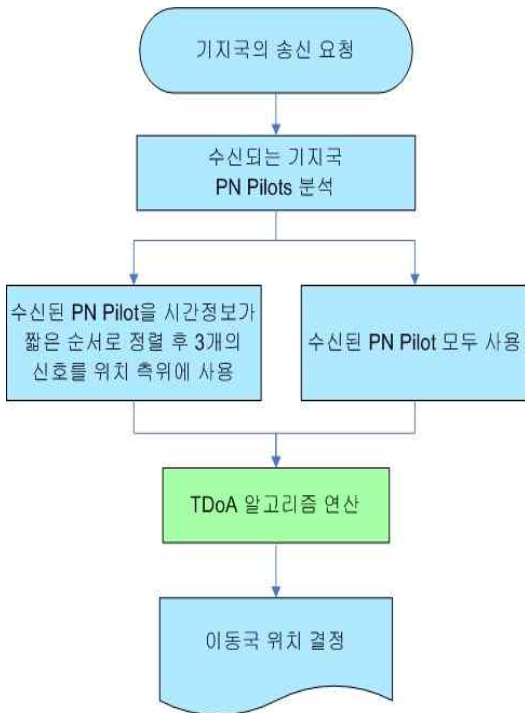


그림 3. 기존의 TDoA 알고리즘 순서도
Fig. 3 Previous TDOA Algorithm Flow-chart

과 값을 저하시킨다.

그림 3은 기존에 제안된 TDoA 알고리즘은 단말기에 수신되는 신호를 모두 사용하여 위치 측위를 하거나, 수신되는 시간 정보가 짧은 순서대로 세 가지를 선택하여 위치 측위를 하는 알고리즘 순서도를 나타낸다 [5-7]. 그러나 이러한 형태의 위치 측위 알고리즘은 수신된 신호를 수정 또는 보완하는 과정 없이 무분별하게 선택함으로써 신호의 신뢰성을 저하시키고, 단말기에 수신된 신호를 모두 사용하여 단말기의 위치를 추정하기 때문에 시스템 복잡도를 증가시키는 문제점을 가진다. 그리고 TDoA 알고리즘은 단말기의 위치를 추정하기 위하여 위치가 다른 기지국으로부터 수신된 신호를 최소한 세 개 이상 수신하여야 한다.

IV. 제안하는 측위 시스템

본 논문에서는 기존의 TDoA 알고리즘이 가지는 신호의 신뢰성과 시스템 복잡도 문제를 보완하고, 수신된 기지국 수에 관계없이 서비스가 가능한 형태의 향상된 위치 측위 알고리즘을 제안하고자 한

다.

현재 이동통신 시스템에서는 Pattern Matching 알고리즘을 사용하고 있으나, 파일럿 신호세기 및 데이터베이스의 지속적인 업데이트의 문제가 발생하고 있다. 일반적으로 TDoA와 같은 신호도달 시간을 이용한 위치측위 알고리즘은 그 정확도는 높으나 이동통신 시스템에서는 전파환경에 따른 신호도달 시간의 오류가 크게 발생하여 신뢰성 높은 위치측위를 기대하기 어렵다.

이동통신 시스템에서 이동국은 한 개 이상의 기지국 신호를 수신한다. 이 때, 이동국이 사용하는 신호는 사용자의 QoS(Quality of Service)를 보장하기 위하여 수신감도가 일정 레벨 이상으로 도달한 신호이다(CDMA: -134dB / WCDMA: -137.85dB) [8]. 다수의 기지국 신호가 이동국에 수신 될 때, 일반적으로 신호의 세기가 큰 신호는 이동국에서 가까운 곳에 위치한 기지국이 보낸 신호라고 추측할 수 있다. 즉, 작은 신호 세기를 가지는 신호는 이동국에서 멀리 떨어져 있거나 이동통신 채널의 영향을 많이 받은 신호라고 유추할 수 있다.

TDoA 알고리즘에 사용되는 신호 도달거리 정보는 다음 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = c(t_{d,i} + t_{e,i}) \text{ for } i = 1, 2, \dots \quad (4)$$

이 때, r_i 는 이동국과 i 번째 기지국 사이의 거리 값, c 는 빛의 속도, $t_{d,i}$ 는 i 번째 기지국으로부터 수신된 신호의 참 도달시간, $t_{e,i}$ 는 NLOS에 의하여 발생된 시간 오차 값이다.

그러므로 일반적으로 TDoA 알고리즘에서 사용되는 신호는 기지국과 이동국 사이의 참 도달시간보다 도달시간이 지연된다. 그리고 지연된 시간 정보를 사용하여 단말기의 위치를 추정하면 위치 측위 성능이 저하된다.

한편, 전파모델에 따르면 LOS 관계인 전파는 NLOS 관계인 전파보다 크기가 훨씬 크다. 따라서 이 전파의 세기를 측정한다면 LOS 전파와 NLOS 전파를 유추할 수 있다 [9]. 그러므로 이러한 수신 신호의 세기를 정의한 후, 일정 세기 이상의 신호, 즉 신뢰성을 가진 신호만을 사용하여 위치 측위를 수행하면 기존의 방식보다 보다 좋은 위치 측위 결과 값을 얻을 수 있다.

이동국의 수신감도에 대한 레벨을 정의하기 위하여 일반적으로 사용하는 전파모델을 제안하는 알

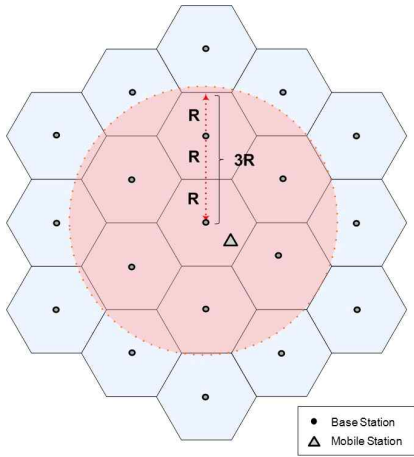


그림 4. 이동국 위치에 따른 기지국 거리 추정
Fig. 4 Distance Estimation using Mobile Station Location

고리즘으로 재 모델링을 하여 수신신호 레벨을 정의한다.

그림 4와 같이 기지국이 배열되었을 때, 주변 기지국(neighbor cell)에서 송신되는 신호는 다른 기지국 신호에 비하여 보다 좋은 신호 레벨을 가진다. 그러므로 셀 반경이 R일 때, 이동국이 위치해 있는 서비스 기지국에서부터 주변 기지국의 경계 부분까지 도달할 수 있는 최대거리는 수식 (5)와 같다.

$$distance_{max} \leq 3R \tag{5}$$

위치 측위를 위한 도달신호 세기를 추정하기 위하여 매크로셀(Macrocell) 지역에서 사용 가능한 오크무라-하타(Okunura-Hata) 모델을 사용하였다 [10].

$$L_{OH} = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_t \dots - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d \tag{6}$$

여기서, f_c 는 단위가 MHz인 사용 주파수, h_t 는 단위가 m인 기지국 안테나의 유효 높이, $a(h_r)$ 은 이동국 안테나의 높이 보정 팩터, d 는 단위가 m인 기지국과 이동국사이의 거리를 나타낸다. 이 때, 보정 팩터 $a(h_r)$ 는 도심과 중소 도시, 대도시, 교외지역에 따라 각각 다르게 적용하여 도달신호 세기를 추정할 수 있다.

또한 실외 환경과 더불어 실내 환경을 추가적으

로 고려하였다. 실내 전파 모델은 건물의 층 수, 벽, 문 등과 같은 실내의 구조물의 종류와 성질을 알 경우에는 통계적인 분석 및 투과손실을 적용한 모델 등의 실내 전파 모델을 적용할 수 있지만 [11, 12], CDMA 시스템을 사용하여 이동국의 위치를 추정할 할 경우에는 위치 측위를 요청하는 대상의 위치를 예상하여 모든 실내 구조물을 파악하기가 어렵다. 따라서 이러한 실내 환경을 고려하기 위하여 셀룰러 망에서 적용되는 실내 손실 계수(indoor loss factor)를 고려하여 위치 측위 모델에 추가적으로 적용하였다 [10, 11].

$$L_p = L_{OH} + L_{if} \tag{7}$$

여기서, L_{OH} 는 오크무라-하타 모델을 적용한 신호 손실, L_{if} 는 실내 손실 계수이다.

수식 (7)을 이용하여 수식 (8)과 같이 기지국과 이동국 간의 거리가 R인 곳에서의 수신 세기와, 주변 기지국에서의 신호세기를 예측한다.

$$P_r(R) = P_t - L_p(R) \tag{8}$$

이 때, $P_r(R)$ 은 거리가 R인 지역에서의 수신세기이며, P_t 는 전송 출력, $L_p(R)$ 는 거리가 R인 지역에서의 손실 값을 나타낸다.

$$P_r(threshold) = P_t - L_p(3R) \tag{9}$$

임계치 신호 세기, $P_r(threshold)$ 을 기준으로 도달하는 전체 기지국 신호에서 임계치 신호 세기보다 큰 신호를 사용하여 TDOA 알고리즘을 계산한다. 이 때, 임계치 신호 세기보다 큰 신호가 두 개 이하일 경우에는 TDoA 알고리즘을 적용할 수 없으므로, 이 경우에는 Pattern Matching 알고리즘을 사용하여 이동국의 위치를 추정한다.

임계치 신호는 PN 파일럿 신호가 단말기에 도달하였을 때 신호의 시간을 계산한 값을 말한다. 이 값이 계산된 임계치 값보다 작을 경우에는 신뢰할 수 없는 신호로 판단하고 Pattern Matching 알고리즘을 적용하여 이동국의 위치를 결정한다. 임계치의 설정은 기준 기지국과 참조 기지국에서 최대 수신도달 거리를 계산하여 결정하고 이 임계치의 설정을 다르게 할 경우 그에 따른 위치오차가 크게 발생할 수 있다.

CDMA 시스템에서 이동 통신 단말을 가지고 있는 사용자가 위치 측위를 요청하게 되면, 이동국은 수신된 다수의 기지국 PN 파일롯을 분석하게 된다. 다수의 기지국으로부터 수신된 PN 파일롯은 각각 서비스 PN 시퀀스 오프셋(Reference PN sequence offset), 파일롯 세기, 이동국 ID(Base Station Identification), 시스템 ID(System Identification), 네트워크 ID(Network Identification) 등의 정보를 가지고 있다.

제안하는 알고리즘은 전파환경 분석을 위하여 수신된 여러 가지 파라미터 중, 파일롯 세기 값을 사용하여 위치 측위 입력 값을 선별하는 과정을 수행한다.

제안하는 위치 추정 알고리즘은 임계치 신호 세기를 설정한 후 선별된 신호 값들을 사용하여 이동국의 위치를 추정한다. TDoA 알고리즘은 위치 측위 연산을 수행하기 위하여 적어도 세 개 이상의 기지국 신호를 필요로 하기 때문에 선별된 신호가 세 개 이상인 경우에는 선별된 위치 신호를 사용하여 TDoA 알고리즘을 수행한다.

그러나 선별된 신호가 두 개 이하인 경우에는 TDoA 알고리즘을 수행할 수 없으므로, 이 경우에는 수신된 신호를 모두 사용하여 Pattern Matching 알고리즘을 수행한다. Pattern Matching 알고리즘을 사용하여 위치 측위를 할 경우 선별된 신호가 아니라 수신된 신호를 모두 사용하여 위치 측위를 수행하는 것은, Pattern Matching 알고리즘을 위하여 데이터베이스를 구성할 때 수신된 PN 파일롯들을 모두 고려한 상태에서 생성되었기 때문이다. N_r 을 임계치 신호 세기를 만족하는 기지국 신호의 개수라고 할 때, 제안하는 알고리즘을 단계적으로 설명하면 다음과 같으며, 제안하는 알고리즘의 순서도는 그림 5에 나타내었다.

- Step 1. 이동국에 수신된 신호를 확인한다.
(이 때, 모든 신호 레벨은 최소신호 레벨 이상이다.)
- Step 2. 임계치 신호 세기, $P_r(threshold)$ 을 계산한다.
- Step 3. 신호들 중에서 임계치 신호세기보다 큰 신호를 선택한다.
- Step 4. - $N_r < 3$: 수신된 신호를 사용하여 Pattern Matching 알고리즘 연산한다.
- $N_r \geq 3$: 선택된 신호를 사용하여 TDoA 알고리즘 연산한다.

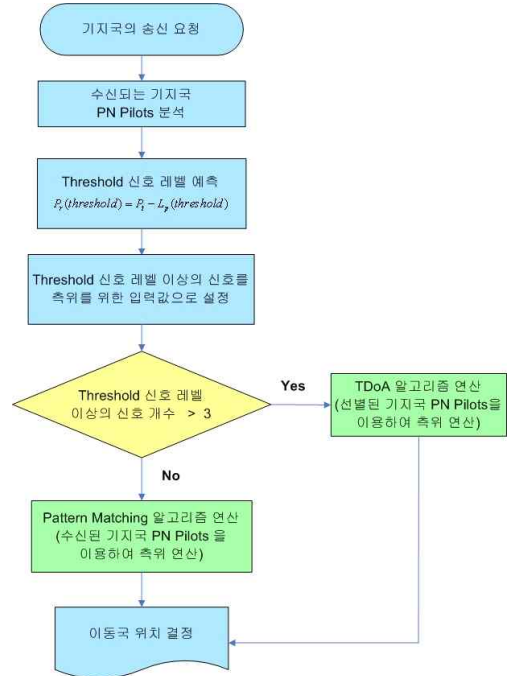


그림 5. 제안하는 알고리즘 순서도
Fig. 5 Proposed Algorithm Flow-chart

V. 모의실험 및 결과

제안한 위치 측위 시스템의 성능 분석을 위하여 이동 통신 채널은 단일 사용자, 다중 경로 채널로 모델링 하고, 송신출력이 20[W]인 900Mhz 환경에서 모의실험을 하였다. 또한 Pattern Matching 알고리즘을 위하여 패턴 크기가 100m × 100m인 데이터베이스를 구축하였다. 시뮬레이션에 적용한 파라미터는 표 1과 같다.

또한 시뮬레이션에 사용된 도달시간 오차 범위는 $t_i = rt_i + \delta_i$ 여기서 $i = 1, 2 \dots N$ 이다. 이 때, δ_i 는 가우시안 분포를 따르는 시간 오차 값이며, rt_i 는 기지국과 이동국 사이의 참 도달시간이다. 도달시간 오차 값을 적용하여 TDoA 연산을 할 경우, TDoA 측정값은

$$\begin{aligned} \Delta t_{ij} &= t_i - t_j \\ &= (rt_i + \delta_i) - (rt_j + \delta_j) \\ &= r(t_i - t_j) + \eta_{ij} \end{aligned} \tag{10}$$

과 같다. 여기서 $i = 1, 2 \dots N$, $\eta_{ij} = \delta_i + \delta_j$ 이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Item	Value
Cell layout	19 cells
Cell radius	500 [m]
BS total Tx power	20 [W]
Standard deviation of shadowing	8 [dB]
Carrier frequency	900 [MHz]
BS antenna height	30 [m]
MS antenna height	1 [m]

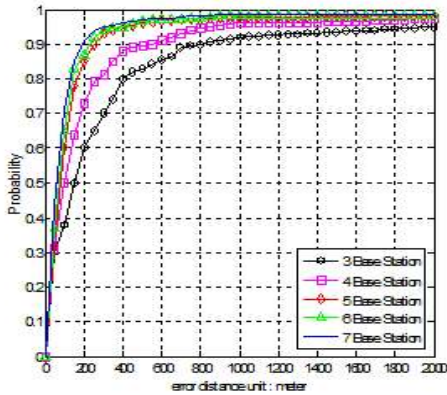


그림 6. 기지국 수에 따른 TDoA 위치 측위 성능
Fig. 6 TDoA Performance according to the Number of Base Station

먼저 기지국 수에 따른 TDoA 위치 측위 결과를 비교하였다. 그림 6과 같이 위치 측위를 위하여 더 많은 기지국을 사용할 경우, 향상된 위치 측위 결과를 얻을 수 있다. 즉, 위치 측위를 연산을 할 때 정확한 입력 값을 바탕으로 위치 측위를 한다면, 수신되는 기지국 수가 증가함에 따라 위치 측위 결과 값도 향상됨을 알 수 있다.

다음으로 제안하는 알고리즘과 기존의 TDoA 방식을 비교하였다.

표 2와 같이 제안하는 방식이 기존의 위치 측위 방식보다 향상된 위치 결과를 나타나는 것을 확인할 수 있다. 기존 TDoA 알고리즘은 위치 측위를 수행할 때 고정된 기지국을 사용을 하지만, 제안하는 알고리즘은 임계치 신호 세기를 설정하여, 수신

표 2. 기존 TDoA 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 위치 측위 성능 비교

Table 2. Performance comparison between conventional TDoA algorithm and proposed algorithm

(Unit: meter)

	Conventional TDoA	Proposed method
사용하는 기지국의 수	3	changeable
95%	352.25	263.11
68%	309.96	232.07

표 3. Pattern Matching 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 위치 측위 성능 비교

Table 3. Performance comparison between Pattern Matching algorithm and proposed algorithm

(Unit: meter)

임계치 이상의 신호의 수	Pattern Matching		Proposed Method	
	68%	95%	68%	95%
1	275.81	289.33	275.81	289.33
2	284.38	299.51	284.38	299.51
3	287.54	305.72	221.93	266.70
4	278.10	288.47	215.41	253.92
5	312.88	328.41	209.77	247.35
6	292.19	300.20	185.12	221.83
평균	288.48	301.94	232.07	263.11

되는 신호 가운데 신호 세기가 임계치 신호 세기보다 큰 값을 사용하기 때문에 사용하는 기지국의 수가 고정되어 있지 않다.

마지막으로 TDoA 측위가 수행될 수 없는 경우, 즉 수신되는 기지국의 수가 세 개 미만인 경우에는 Pattern Matching 알고리즘을 사용하여 위치 측위를 수행하였다.

위치 측위 시스템의 결과는 표 3, 그림 7과 같다. Pattern Matching 알고리즘의 경우, 수신되는 기지국 신호를 사용하여 측위를 하기 때문에 신호 세기가 임계치 이상인 신호 개수가 변화하여도 위치 측위 성능에 큰 변화를 미치지 않는 것을 알 수

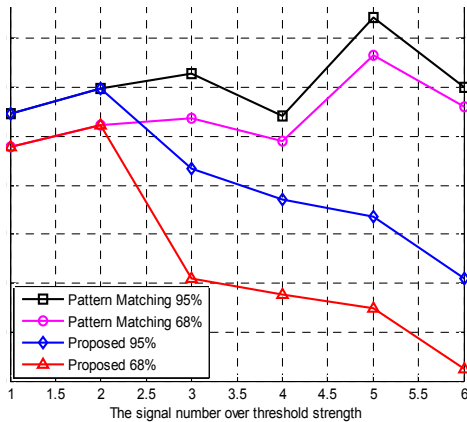


그림 7. Pattern Matching 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 위치 측위 성능 비교

Fig. 7 Performance comparison between Pattern Matching algorithm and proposed algorithm

있다. 그러나 제안하는 알고리즘은 신호 세기가 임계치 이상인 신호 개수가 두 개 이하인 경우에는 Pattern Matching 알고리즘을 사용하므로 동일한 위치 측위 결과 값을 가지지만, 신호 세기가 임계치 이상인 신호 개수가 세 개 이상인 경우에는 수신된 PN 파일럿 신호를 신호 세기에 의하여 선별하는 과정을 수행하므로, 기존의 제안된 TDoA 알고리즘 보다 향상된 위치 측위 결과를 제공하는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 기지국으로부터 수신된 PN 파일럿 신호의 RSSI를 이용하여 향상된 TDoA 실내 위치 측위 방식을 제안하였다.

기존의 TDoA 알고리즘은 기지국과 이동국 사이의 도달시간이 짧은 세 개의 신호를 사용하여 위치를 추정하거나, 수신되는 기지국 신호를 모두 사용하여 위치를 추정을 하였다. 그러나 기존의 방식은 수신신호가 불규칙적이거나 제한적인 지역에서는 정확한 위치 측위가 비교적 어렵다. 또한 Pattern Matching 알고리즘은 위치 측위 결과 값이 한계를 가지고 있으며, 새로운 환경에서 위치 측위를 할 경우 데이터베이스 구축에 많은 시간과 노력이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 수신된 기지국 신호를 RSSI에 따라 임계치를 설정한 후, 임계치 이상의

값이 세 개 이상일 경우에는 임계치 이상의 신호를 사용하여 TDoA 알고리즘을 수행하고, TDoA 알고리즘을 적용할 수 없는 경우(위치 측위에 사용할 수 있는 신호가 세 개 미만인 경우)에는 수신된 신호를 모두 사용하여 Pattern Matching 알고리즘을 수행한다. 제안하는 알고리즘은 임계치 이상의 신호를 사용함으로써 신호의 신뢰성을 향상 시켰고, 또한 위치 측위를 수행할 때 수신되는 PN 파일럿 신호에 따라 위치 측위에 사용하는 신호 개수를 결정함으로써 시스템의 복잡성을 낮추었다. 또한 제안하는 방식은 추가적인 하드웨어 없이 위치 측위 성능을 향상시킬 수 있다.

참고 문헌

- [1] T.S. Rappaport, J.H. Reed, B.D. Woerner, "Position Location Using Wireless Communications on Highways of the Future," IEEE Communications Magazine, Vol. 34, No. 10, pp.33-41, 1996.
- [2] Y. Ju, Y. Park, "Location Accuracy Analysis and Accuracy Improvement Method of Pattern Matching Algorithm Using Database Construction Algorithm," Journal of IEEK, Vol. 46, No. 4, pp.86-94, 2009 (in Korean).
- [3] J.W. Song, S.J. Hur, Y.W. Park, K.Y. Yoo, "Database investigation Algorithm for High-Accuracy based Indoor Positioning", Journal of IEMEK, Vol. 7, No. 2, pp.85-93, 2012 (in Korean).
- [4] N. Chahe, D. Charles, "Geolocation in Mines With an Impulse Response Fingerprinting Technique and Neural Networks," IEEE Trans. Wireless Comm., Vol. 5, No. 3, pp.603-611, 2006.
- [5] A.H. Sayed, A. Tarighat, "Network-based wireless location: challenges faced in developing technique for accurate wireless location information," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, No. 4, pp.24-40, 2005.
- [6] J.J. Caffery, G.L. Stuber, "Subscriber location in CDMA cellular networks," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. 47, No. 2, pp.406-416, 1998.
- [7] A. Dilshod, H. Choi, Y. Park, "Hybrid Pattern

Matching/TDOA Positioning Method for CDMA Network," Proceedings on the International Conference of WPNC, pp.199-203, 2007.

- [8] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad, *Radio Network Planning and Optimizations for UMTS*, Wiley, 2002.
- [9] K.C. Park, S.S. Kim, "A Study on the Location Estimation Method by Using the TDOA Method in Urban Micro-cell," J-KICS, Vol. 12, No. 23, pp.3197-3206, 1998 (in Korean).
- [10] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service," Rev. Electr. Commun. Lab., Vol. 16, No. 9, pp.825-873, 1968.
- [11] T.S. Rappaport, *Wireless Communications. Principles and Practice*, 2nd edition, Prentice Hall, 2002.
- [12] K. Pahlavan, F.O. Akgul, A. Hatami, "Indoor geolocation in the absence of direct path," IEEE Wireless Communications, Vol. 13, No. 6, pp. 50-58, December 2006.

저 자 소 개

허수정



2001년 대구대 정보통신공학과 학사.
 2005년 샌디에고 주립대학 석사 수료.
 2007년 영남대 정보통신공학과 석사.

2012년 영남대 정보통신공학과 박사.
 현재, 영남대 임베디드 멀티미디어 인력양성모바일팀 박사 후 연구과정
 관심분야: 이동통신, 위치기반서비스
 Email: sjheo@ynu.ac.kr

김재현



2007년 대구대 통신공학과 학사.
 2009년 영남대 정보통신공학과 석사.
 현재, ESM 연구소 선임 연구원

관심분야: 무선 센서 네트워크, Zigbee 센서 네트워크, 이동통신, 무선통신
 Email: luckerone@ynu.ac.kr

박용완



1982년 경북대 전자공학과 학사.
 1984년 경북대 전자공학과 석사.
 1989년 뉴욕주립대 전기공학과 석사.

1992년 뉴욕주립대 전기공학과 박사.
 1994년 1월 ~ 1996년 8월 SK Telecom 기술개발 부장.
 현재, 영남대 정보통신공학과 교수
 관심분야: 이동통신, 무선멀티미디어 설계기술, 텔레매틱스, 차세대 위치기반 기술
 Email: ywpark@yu.ac.kr