

# 이동국 위치 추정을 위한 TOA와 TDOA방법의

## 비교 분석

윤현성<sup>\*</sup> · 호인석<sup>\*</sup> · 이창호<sup>\*</sup> · 변건식<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>동아대학교

Comparative Analysis of TOA and TDOA method

for position estimation of mobile station

Hyun-seong Yoon<sup>\*</sup> · In-seok Ho<sup>\*</sup> · Chang-ho Lee<sup>\*</sup> · Kun-sik Byon<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Dong-a University

E-mail : ksbyon@mail.donga.ac.kr

### 요 약

본 논문은 휴대폰이나 PCS의 통신망 기반 구조를 사용하여 이동국의 위치 추정을 개발하는데 목적이 있다. 이동국의 위치 추정이 가능하게 될 때 도시 교통 관리, 119 긴급 구조, 범죄 수사, 환자 안전 보호 특히 치매환자를 위한 서비스가 가능하게 된다. 본 논문은 기지국과 이동국의 위치를 나타내기 위해 전파 경로가 NLOS 환경일 경우 표준 잡음을 모델링 할 때 LOS 환경의 통계적 특성을 이용한다고 가정하였다. 우선 표준 잡음의 표준 편차를  $\pm 150$ 으로 하고 칼만 필터를 이용해 표준 잡음을 제거한 후, TOA, TDOA의 측위 알고리즘을 이용하여 위치 추정 값을 비교 분석하였고 그 결과치를 smoothing 처리하였으며 보상 후 비교 분석하였다. 그 결과 칼만 필터를 사용하여 표준잡음 에러를 제거한 경우에는 TOA에서 51.2 m과 TDOA에서 34.8 m으로 2차원 평균위치오차가 두 방법 모두 향상된 결과를 얻었다. 칼만 필터를 통과한 값으로 다시 Smoothing 기법을 이용하면 TOA와 TDOA 각각 평균이 약 3 m 정도가 개선됨을 확인하였다.

### ABSTRACT

This paper is aimed at developing an location tracking for mobile station employing currently available mobile communication network of cellular phone and PCS(Personal Communication System). When the location tracking of mobile stations is in services, the services such as Emergency-119, crime investigation, effective urban traffic management or the safety protection of Alzheimer's patients, can be available. This paper is to track the mobile station in communication network in NLOS environment. To achieve reduction of the standard noise, Kalman filter is used. In terms of the distance, positions are located by using TOA and TDOA methods in LOS environment that removes NLOS bias in the measured data. And then smoothing method is used. to achieve reduction of the position error values

### 1. 서 론

이동통신 서비스에서 이동국 위치확인 서비스는 119응급 서비스, 치매환자를 위한 안전보호, 도심지의 교통관리, 범죄자 수사 등과 같은 다양한 분야에 사용할 수 있다.[1]

이동통신 환경 하에서 이동국(MS : Mobile Station)과 기지국(BS : Base Station)은 서로간에 방해물이 전혀 없는 가시선 환경(LOS : Line of

Sight)과 이동국과 기지국 사이에 방해물이 존재하는 비가시선환경(NLOS : Non Line of Sight)으로 나눌 수 있다. 도심환경과 같은 건물이 많은 밀집 지역에서는 이동국과 기지국간의 직선경로를 가지지 못하고, 반사나 굴절로 인한 다중경로(multipath)가 발생하여 전파의 전파 거리가 직선 경로보다 더욱 길게 된다. 이러한 오차를 NLOS 오차라고 하며 이러한 bias값을 예측해서 제거함으로써 보다 정확한 이동국의 위치를 추정할 수 있다.

일반적으로 기지국을 이용한 무선측위 시스템에서의 위치 추정방법은 크게 세 가지 방법으로 분류할 수 있다. BS에서 MS으로부터 보내온 신호의 도래각(AOA : Angle of Arrival)을 측정하여 BS를 기준으로 MS으로부터 오는 신호의 방향을 찾아내어 MS의 위치를 구하는 방법, BS와 MS사이의 전파도달시간(TOA : Time of Arrival)을 측정하는 방법과 두 개의 BS으로부터의 전파 도달시간의 상대적인 차(TDOA : Time Difference of Arrival)를 측정값으로 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. [2]

본 논문에서는 NLOS 환경일 경우 표준잡음을 모델링 할 때 LOS 환경의 통계적 특성을 이용할 수 있다는 가정 하에서, 칼만 필터를 사용하여 에러를 보정한 TOA와 TDOA의 측위 알고리즘을 이용하여 위치 추정 값을 비교 분석하였고 그 결과를 smoothing 처리하였으며 보상 후 비교 분석하였다.

## II. Kalman filter를 이용한 표준 잡음 추정과 Smoothing

칼만 필터의 일반적인 성질은 램덤 프로세스의 벡터 모델링이며, 측정 잡음 데이터의 순환 Processing이다. 이러한 성질 때문에 이산적 잡음 데이터의 통계적 특성을 알고 있다면, 측정 잡음을 효과적으로 줄일 수 있다. [3]

표준 칼만 필터 모델링은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= \phi_k x_k + w_k \\ z_{k+1} &= H_k x_k + v_k \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

$x_k$  : 시간  $t_k$ 에서의 프로세스상태 벡터

$\phi_k$  : 시간  $t_k$ 에서의 천이행렬

$w_k$  : 시간  $t_k$ 에서의 백색잡음벡터

$z_k$  : 시간  $t_k$ 에서의 측정벡터

$H_k$  : 시간  $t_k$ 에서의 연결행렬

$v_k$  : 시간  $t_k$ 에서의 백색잡음벡터

은 통계적으로 독립이라고 가정한다.

$$\begin{aligned} E[W_k \cdot W_k^T] &= \begin{cases} Q_k & i=k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \\ E[V_k \cdot V_k^T] &= \begin{cases} R_k & i=k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \\ E[W_k \cdot V_k^T] &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Kalman filter의 순환 루프는 그림1과 같다.

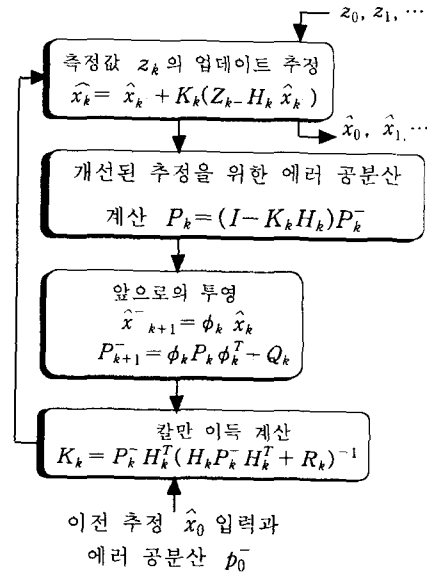


Fig 1. Kalman filter loop

이동국의 운동 모델은 그림2와 같이 속도가 random walk로 표현되는 운동 모델로 한다. 백색잡음을 적분해서 얻은 표준잡음 error의 통상 속도는 또 다른 적분을 통해 거리를 만든다. 따라서 속도의 적분은 측정거리의 표준잡음오차를 만든다. 그림2는 속도에 대한 랜덤 walk모델이다.

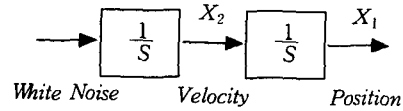


Fig 2. Random walk model

이 process의 벡터 미분 방정식은 식(3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서

$x_1$  : 이동국과 기지국간의 표준경로잡음

$x_2$  : 기지국에서 이동국으로의 이동 속도

$(\dot{x}_1, \dot{x}_2)$  :  $(x_1, x_2)$ 의 미분형

$u_2$  : 백색 가우시안 잡음

칼만 필터에 이 모델을 기초로 하면 필요한 변수는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} x &= \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad \phi = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ Q_p &= \begin{bmatrix} \frac{S_p \Delta t^3}{3} & \frac{S_p \Delta t^2}{2} \\ \frac{S_p \Delta t^2}{2} & S_p \Delta t \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

$z = [z]$ ,  $H = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T$   
 $x_1$ :거리,  $x_2$ :움직임 속도  
 $\Delta t$ :샘플링 시간,  $S_p$ :백색잡음 스펙트랄 진폭  
 $z$ : 이동국과 기지국간의 측정거리  
 이 변수들을 식(3)에 대입해서 칼만 필터링 과정을 적용시키면 이동국의 위치 에러를 줄일 수 있다.  
 Kalman filter의 순환 루프를 나온 값들을 보다 더 나은 추정치를 얻기 위하여 Smoothing 처리하였다.

### III. 시뮬레이션 및 결과

이동국의 시나리오는 그림3과 같으며 이동국의 경로에 따른 속도 변화는 그림4와 같다.[2]

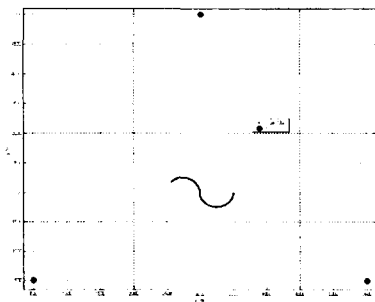


Fig 3. 이동국의 시나리오

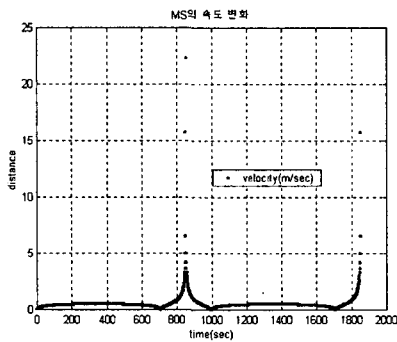


Fig 4. 이동국의 경로에 따른 속도 변화

도심환경에서 이동국과 기지국사이의 측정거리는  $r_m(t_i) = L_m(t_i) + n_m(t_i) + NLOS_m(t_i)$  이다.  
 여기서

$L_m$ : 직선거리  $n_m$ : 표준잡음  
 $NLOS_m$ : NLOS오차  
 $m=1, \dots, M$   $i=1, \dots, n-1$   
 $M$ : 기지국의 수  $n$ : 측정데이터의 개수  
 실제의 직선거리를 구하기 위하여 우선 전파 환경에 따른 통계적 특성의 차이를 이용하여 측정 데이터가 NLOS 오차를 가지고 있는지 확인한 후 칼만 필터를 통해 표준잡음을 줄이고 NLOS 오차를 제거하여 LOS 환경에서의 데이터로 변환한다. 그 다음단계에서 2차원 평면상에서 이동국의 위치를 찾는다.  
 NLOS 모델 식에 근거해서, 표준잡음과 NLOS 에러 성분의 합은 Gaussian 잡음이라고 가정한다. 기지국 위치는 (500, 500), (3000, 500), (3000, 5000)이고 이동국 초기 위치는 (2570, 500) 이다. 측정거리 데이터의 통계적 성질을 칼만 필터에 적용하기 위해  $\Delta t=1$ ,  $S_p=0.25$ ,  $R=150$  를 선택했다

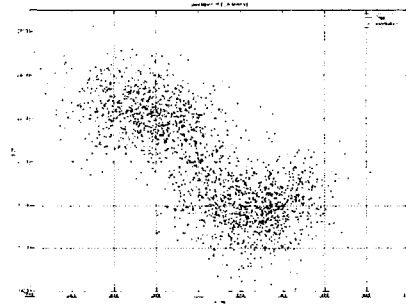


Fig 5. Position solution of TOA algorithm

그림5는 NLOS 환경하의 위치 측정 데이터를 통계적 특성을 이용하여 LOS 환경의 데이터로 변환하여 GPS에서 사용하는 직접해로 이동국의 위치를 추정 값이다. [4]

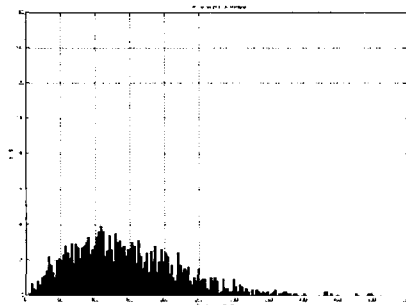


Fig 6. Position error histogram of TOA position solution

그림6은 그림5의 이동국 위치 오차 히스토그램으로 이동국의 위치 오차가 약 400m 이내에 분포함을 알 수 있다.

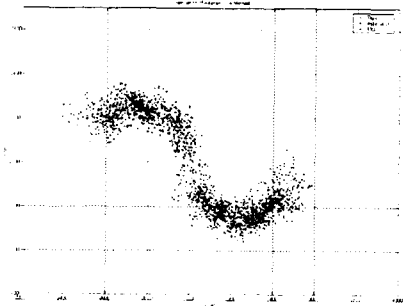


Fig 7. Position solution of TOA algorithm using Kalman filter

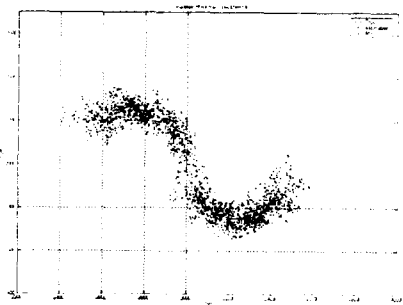


Fig 8. Position solution of TOA algorithm using smoothing

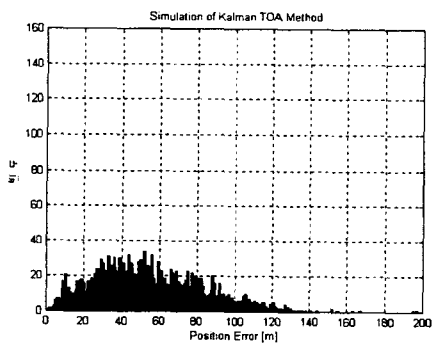


Fig 9. Position error histogram of TOA position solution using Kalman filter

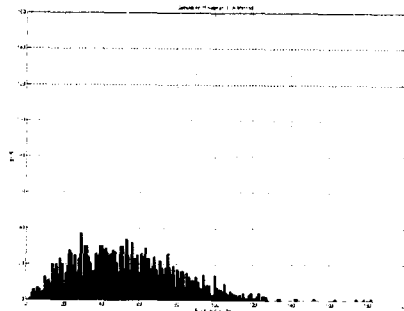


Fig 10. Position error histogram of TOA position solution using smoothing

그림7은 LOS 환경의 데이터로 변환 후 칼만 필터를 적용하여 표준 잡음 에러를 보정한 이동국의 위치를 추정 값이다.

그림8은 칼만 필터를 적용하여 표준 잡음 에러를 보정하고 Smoothing 처리한 후 이동국의 위치 추정 값이다.

그림9는 그림7의 이동국 위치 오차 히스토그램으로 이동국의 위치 오차가 약 140m 이내에 분포함을 알 수 있다.

그림10은 그림8의 이동국 위치 오차 히스토그램으로 이동국의 위치 오차가 약 130m 이내에 분포함을 알 수 있다.

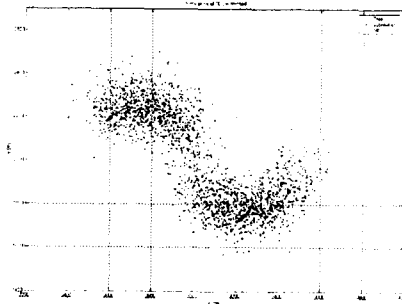


Fig 11. Position solution of TDOA algorithm

그림11은 NLOS 환경하의 위치 측정 데이터를 통계적 특성을 이용하여 LOS 환경의 데이터로 변환한 후 Chan이 제한한 방법으로 이동국의 위치 추정 값이다. [2]

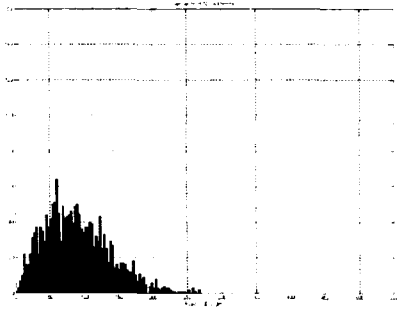


Fig 12. Position error histogram of TDOA position solution

그림12는 그림11의 이동국 위치 오차 히스토그램으로 이동국의 위치 오차가 약 270m 이내에 분포함을 알 수 있다.

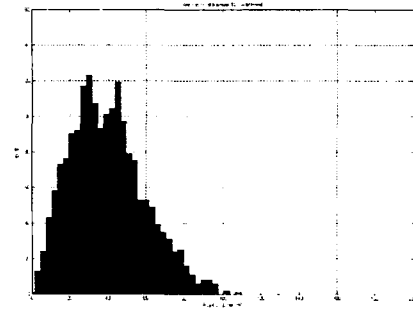


Fig 15. Position error histogram of TDOA position solution using Kalman filter

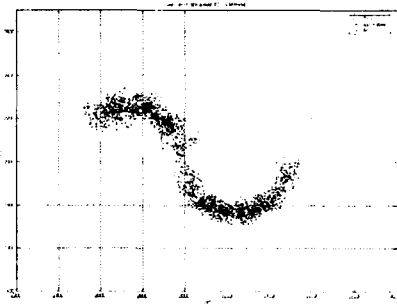


Fig 13. Position solution of TDOA algorithm using Kalman filter

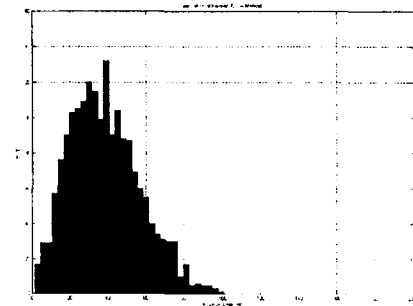


Fig 16. Position error histogram of TDOA position solution using smoothing

그림13은 LOS 환경의 데이터로 변환 후 칼만 필터를 적용하여 표준 잡음 에러를 보정한 후 이동국의 위치를 추정 값이다.

그림14는 칼만 필터를 적용하여 표준 잡음 에러를 보정하고 이동국의 위치를 추정한 Smoothing 처리한 위치 추정 값이다.

그림15는 그림13의 이동국 위치 오차 히스토그램으로 이동국의 위치 오차가 약 110m 이내에 분포함을 알 수 있다.

그림16은 그림14의 이동국 위치 오차 히스토그램으로 이동국의 위치 오차가 약 100m 이내에 분포함을 알 수 있다.

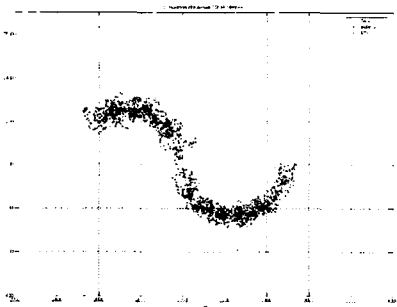


Fig 14. Position solution of TDOA algorithm using smoothing

Table 1. Mean error of position solution

	단위(m)	
	TOA	TDOA
측위 알고리즘	142.93	89.1880
칼만 필터 + 측위알고리즘	55.4043	37.3707
칼만 필터 + 측위알고리즘 + Smoothing	51.2083	34.8964

표1은 TOA 방법과 TDOA 방법의 평균 위치 오차와 두 가지 위치 추정 방법에 칼만 필터를 적용했을 때의 2차원 평균 위치 오차 그리고 칼만 필터를 적용한 후 smoothing 처리한 2차원 평균 위치 오차를 나타내었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 기지국과 이동국의 전파경로를 NLOS 환경으로 가정하고 TOA 방법과 TDOA 방법을 이용하여 이동국의 위치를 추정하였으며 표2에서 보는 바와 같이 두 가지 방법 중 TDOA 방법이 2차원 평균 위치 오차가 TOA 방법보다 약 50 m 정도 양호한 결과를 얻었다. 칼만 필터를 사용하여 표준잡음 에러를 제거한 경우에는 TOA에서 55.4 m과 TDOA에서 37.4 m으로 2차원 평균위치오차가 측위 알고리즘만을 사용한 경우 보다 향상된 결과를 얻을 수 있으며 칼만 필터를 통과한 추정 값에 다시 Smoothing 처리한 경우 TOA와 TDOA 모두 평균이 약 3 m 정도 향상 시킬 수 있었다.

이동국의 속도에 따른 위치 추정의 오차는 속도가 늦을수록 위치 오차가 적다는 것을 알 수 있으며 이동국의 경로가 곡선에서 비해 직선이 위치 추정의 오차가 작아짐을 알 수 있었다.

앞으로 위치오차를 개선하기 위해 TOA + TDOA, TOA + AOA 등의 하이브리드 방식을 적용한 위치측정 알고리즘에 대한 연구가 필요할 것으로 보이며 또한 신경망을 이용한 위치 추정 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] M. Hellebrandt, R. Mathar and M. Scheibenbogen, "Estimation Position and Velocity of Mobiles in a Cellular Radio Network ", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 46, NO. 1, Feb. 1997
- [2] Y. T. Chan, K. C. Ho, "A Simple and Efficient estimator for Hyperbolic

location", IEEE Trans. on Signal processing, Vol .42 . NO .8. pp 1905-1915

- [3] R.G. Brown and P. Y. C. Hwang, Introduction to Random Signals and Applied Kalman filtering, John Wiley & Sons, INC., 1985
- [4] I. Biton, M. Koifman, Y. Bar-Itzhack, "Improved Direct Solution of Global Positioning System Equation", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 21, No. 1, pp.45-49.1998.