

IS-95환경에서 IMM을 적용한 단말기 위치 추적 알고리즘

이지효, 고한석

고려대학교 전자공학과

Mobile Tracking Algorithm using IMM in IS-95 Environment

Jihyo Lee, Hanseok Ko

Dept. of Electronics Engineering, Korea University

jhlee@ispl.korea.ac.kr, hsko@ispl.korea.ac.kr

요약

CDMA환경에서 단말기 위치 결정은 여러 추가적인 서비스 응용에 대한 필요성 때문에 활발히 연구가 진행되고 있다. 그러나 기존의 위치 결정 알고리즘은 현재의 정보만을 활용했기 때문에 위치 오차에 대한 성능 향상에 한계점을 드러내고 있다. 따라서 이전 시간의 단말기 위치 정보가 포함된 Kalman Filter를 사용하면 위치 에러에 대해 향상된 성능을 보일 것이다. 그렇지만 실제 단말기 사용자의 움직임은 Maneuvering Target에 가깝기 때문에 단순히 Kalman Filter를 이용한 위치 오차 성능 개선보다는, 여러 개의 Kalman Filter Model들을 응용하는 IMM을 이용하는 경우에 보다 나은 결과가 도출될 것이다. 실제로 단말기 위치 오차에 대한 Kalman Filter와 IMM을 적용한 경우의 비교 분석 결과, IMM을 적용한 경우가 위치 에러를 최소화 할 수 있었다.

I. 서론

기존의 단말기의 위치를 결정하기 위한 주요 기술로는 Signal Strength를 이용하는 방법, AOA(Angle Of Arrival)를 이용하는 방법, TDOA(Time Difference Of Arrival)와 TOA(Time Of Arrival)를 이용하는 방법 등이 있다. 그렇지만 AOA를 제외한 세가지 방법의 알고리즘에 적용하기 위해서는 단말기가 적어도 3개 이상의 기지국(Base Station)으로 적당한 신호를 보낼 수 있어야 한다. 그러나 기존의 CDMA 환경에서는 기지국과 거리가 가까울수록 단말기의 송신 Power를 상대적으로 낮추고, 기지국과 거리가 멀수록 송신 Power를 높이기 때문에 Soft Hand Off 범위 내에 단말기가 속해 있지 않은 이상, 신호의 감쇠로 인해 단말기의 위치에 따라

다른 기지국에서는 단말기로부터 신호를 받을 수가 없다.

따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 IS-95B에서 새로 추가된 PUF(Power Up Function) 기능을 사용하여 Reverse Traffic Channel을 통해 일정 시간 동안 단말기의 Power 수준을 높이는 방법을 사용하였다. 즉, 단말기의 Power 수준을 높여 기존의 위치 예측 알고리즘을 적용하는데 한계를 극복하고 단말기의 위치를 예측하는데 필요한 기지국 수의 안정된 확보를 가능하게 하였다.

본 논문에서는 PUF를 적용하여 Signal Strength를 이용한 방법과 TOA, TDOA 알고리즘을 이용한 단말기의 위치 결정 알고리즘의 성능 분석을 하였다. 그러나 시간 경과에 따른 단말기의 위치 추적은 이전의 Sampling Time에서 도출된 단말기의 위치에 대한 관련성이 전혀 고려되어 있지 않기 때문에 이전 시간의 위치에 대한 고려가 포함된 Kalman Filter를 적용한다면 단말기의 위치 추적의 오차를 줄일 수 있을 것이다.

Martin Hellebrandt와 Rudolf Mahar가 1999년 IEEE에 발표한 논문에서는 GSM 환경에서 Power를 이용하여 얻은 단말기의 예측된 위치의 오차를 줄이기 위해 Kalman Filter를 이용하였다.[1] 그러나 실제 단말기 사용자의 움직임은 등속도 운동 Model이나 등가속도 운동 Model중 어느 하나로 나타내는데는 한계가 있기 때문에 단순히 하나의 운동 Model을 사용하는 Kalman Filter를 적용한 경우보다는 등속도 Model과 등가속도 Model 여러 개를 사용하여 사용자의 위치를 추적하는 경우에 오차를 더 줄일 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 단말기 위치 결정값의 오차를 줄이기 위한 방법으로 여러개의 운동 Model을 사용하는 IMM알고리즘의 도입을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 서론에서 언급한 여러 단말기 위치 결정 알고리즘들에 대해 살펴보고 3장에서는 단말기 위치 결정 알고리즘들에 대한 성능 분석을 한다. 4장에서는 IMM 알고리즘에 대해 설명하고 5장에서는 단말기 위치 결정 알고리즘을 통해 도출된 단말기 위치 값에 IMM과 Kalman Filter를 적용하여 향상된 위치 오차 값에 대한 성능을 비교 평가하여 6장에서 최종 결론에 대해 이야기한다.

II. 단말기 위치 결정 알고리즘

단말기 위치를 결정하기 위해서는 기지국들과 단말기 사이의 거리 정보가 필요하며 거리 정보를 도출하는 방법에 따라 Signal Strength를 이용하는 방법, Time을 이용하는 방법 등으로 나뉜다.

Signal Strength를 이용하는 방법은 신호의 Power를 이용하므로 기지국과 단말기사이의 Power Control부분을 고려해야 하며 Pathloss를 이용하여 기지국과 단말기 사이의 거리를 계산하게 된다.

Time을 이용하는 방법은 TOA를 이용하는 방법과 TDOA를 이용하는 방법 등이 있으며 단말기와 기지국 사이의 거리정보를 도출하기 위해 단말기와 기지국사이의 신호의 도달 시간차를 이용하는 방법이다. 단말기와 기지국 사이의 시간차를 구하기 위해 신호의 동기화를 위해 사용하는 DLL을 이용한다. 실제 시뮬레이션에 적용한 DLL의 구조는 그림 1을 보면 알 수 있다.

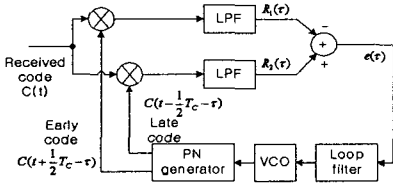


그림 1. DLL의 기본적인 구조

일단 단말기와 기지국 사이에서 거리 정보가 도출되면 단말기 위치 결정 알고리즘을 통하여 단말기의 위치를 결정하게 되는데 Signal Strength와 TOA의 경우 거리 정보를 도출하는 방법에 차이가 있을 뿐 위치 결정 알고리즘은 같은 방식을 사용한다. 본 논문에서는 공통현을 이용하는 방법(1)과 세 원의 교점의 평균을 이용하는 방법(2)과 거리에 가중치를 부여하는 방법(3)을 사용하여 성능 분석을 하였다.

TDOA의 경우 쌍곡선을 이용하는 방법과 타원을 이용하는 방법을 주로 사용하는데 쌍곡선을 이용하는 경우 기지국의 개수를 늘려 여러 개의 쌍곡선을 이용하더라도 단말기의 위치를 나타내는 교점이 두 개 이상 발생하는 결점이 있어 실제 성능분석에서는 타원의 장축을 이용하는 LOP(Line Of Position) 방법을 사용하였다.

III. 단말기 위치 결정 알고리즘들의 성능 분석

2장에서 언급했던 단말기 위치 결정 알고리즘들을 토대로 그림 2에서 나타낸 2개의 시나리오에 대해 Monte Carlo 시뮬레이션을 200회 수행한 결과를 바탕으로 성능 분석을 하였다.

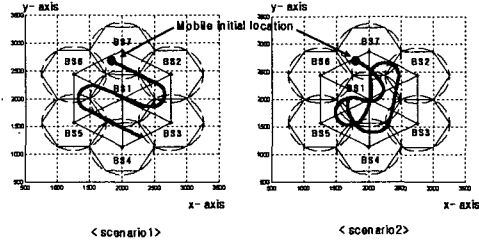


그림 2. 단말기 이동경로

각 기지국의 Cell 반경은 500m이며 단말기의 이동 속도는 70km/h 이고 시작좌표는 (1800, 2700)이다. 시나리오 총 소요 시간은 시나리오 1의 경우 205초, 시나리오 2의 경우 300초이다.

표 1은 Signal Strength를 이용한 경우의 (1),(2),(3) 세 가지 방법에 의해 결정된 단말기 위치의 RMS값을 나타낸 것이다. 표 1을 보면 알 수 있듯이 시나리오에 관계없이 (1)의 방법이 두 방법에 비해 보다 나은 성능을 보임을 알 수 있다.

Noise Variance	1			
	시나리오 1		시나리오 2	
단위 : w(와트)	mean	var	mean	var
Method (1)	133	262	131	270
Method (2)	153	770	150	802
Method (3)	147	604	145	628

표 1. Signal Strength경우의 RMS Error (meter)

표 2는 TOA와 TDOA를 이용한 경우의 단말기 위치의 RMS값을 나타낸 것이다. (1),(2),(3)의 방법은 TOA를 이용한 경우이며 LOP는 TDOA를 이용한 경우이다. 표 2를 보면 알 수 있듯이 TOA의 경우 표 1과 마찬가지로 (1)의 방법이 나머지 두 방법에 비해 좋은 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

실제적으로 Signal Strength와 TOA의 경우 단말기와 기지국 사이의 거리 도출 방법에 차이가 있을 뿐 같은 단말기 위치 결정 알고리즘을 사용한다. 그러나 단순히 RMS값을 비교할 수 없는 이유는 두 방법의 여러 요인이 Power와 Time으로 서로 관계가 없기 때문이다.

그렇지만 Signal Strength알고리즘의 경우 Pathloss

의 비선형성 때문에 기지국의 Cell 반경의 변화에 따라 위치 오차값이 민감하게 되는 단점이 있다.

Noise Variance 단위: sec(초)	1.6×10^{-7}			
	시나리오 1		시나리오 2	
	mean	var	mean	var
Method (1)	84	289	85	315
Method (2)	110	1458	110	1580
Method (3)	105	1141	105	1275
LOP	75	409	74	419

표 2. Time을 이용한 경우의 RMS Error (meter)

표 3은 동일한 시나리오 1에 대해 Noise Variance가 0.5W인 경우 Cell 반경이 500m인 경우와 1000m인 경우 Singal Strength를 이용한 방법의 RMS 오차를 비교한 것으로 Cell 반경이 커짐에 따라 세 알고리즘 모두 RMS 오차가 커지게 됨을 알 수 있다.

Noise Variance 단위 : w(와트)	0.5			
	반경: 500m		반경: 1000m	
	mean	var	mean	var
Method (1)	78	323	112	1120
Method (2)	94	1200	137	5849
Method (3)	90	1560	127	8326

표 3. Cell 반경 변화에 따른 RMS Error (meter)

IV. Kalman Filter와 IMM

2,3장에서 언급했던 단말기 위치 결정 알고리즘들을 이용하면 단말기의 위치를 결정할 수 있지만 위치 결정 알고리즘만을 이용하는 데는 한계가 있다.

만약 현재 시간의 단말기의 위치를 결정하는데 있어서 과거의 단말기 위치정보까지 참조하게 된다면 좀 더 정확한 단말기의 위치를 찾을 수 있을 것이다. 즉 현재 시간에 들어온 단말기와 기지국들 사이의 거리정보로부터 도출된 단말기의 최종 위치가 여러가 클 경우 과거 시간에서 결정된 단말기의 위치를 활용하여 현재시간에서 좀 더 정확한 단말기의 위치를 결정할 수 있을 것이다. 이를 위해 거리정보로부터 도출된 단말기의 최종 위치값과 단말기 사용자의 움직임을 하나의 운동 방정식으로 가정하고 시간에 따른 단말기의 움직임을 예측하는 상태값(State)등 2개의 파라미터를 이용하여 시간에 따른 단말기의 위치를 결정하는 방식이 필요하다. 이를 해결하기 위해 적용할 수 있는 알고리즘이 Kalman Filter이다. Kalman Filter는 위에서 언급한 운동 방정식을 통해 나온 상태값과 측정값(Measurement)을 사용하여 최종적인 Target의 위치를 결정하는 알고리즘이다. 그러나 실제 단말기 사용자의 움직임을 하나

의 운동 방정식으로 표현하는 데는 한계가 있기 때문에 Kalman Filter에서 진보한 형태의 MM(Multiple Model)이나 IMM(Interactive Multiple Model)을 적용하여 여러 개의 운동 모델을 사용하도록 해야한다. 본 논문에서는 모델간의 전이(Transition)가 가능하다는 점에서 MM보다 진일보한 알고리즘으로 평가받고 있는 IMM을 선택하였다.

IMM알고리즘에서 주목할 점은 각 모델간의 전이가 Markov Process에 따라서 일어난다는 가정 아래 이전 상태값을 각 모델간 상호 조합(Interaction)하여 다음 상태값 결정에 사용된다는 것이다.[2][3] IMM의 구조는 그림 3에 도시되어 있다. 그림 3을 보면 알 수 있듯이 IMM은 Interaction, Filtering, Combination의 세 부분으로 이루어져 있다.

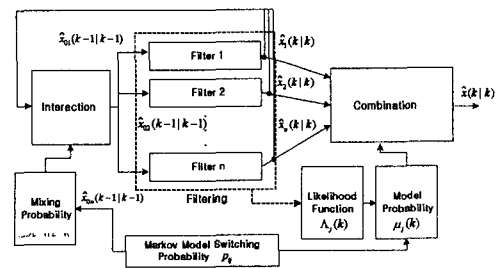


그림 3. IMM의 구조

그림 4는 IS-95환경에서의 최종적인 단말기 위치 추적 알고리즘을 나타낸 것이다. 시간의 경과에 따른 단말기의 위치 예측과 Kalman Filter나 IMM 알고리즘의 도입으로 단말기 위치 추적이라는 개념이 도입 가능할 것이다.

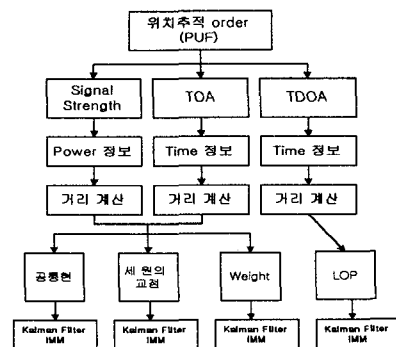


그림 4. 단말기 위치 추적 알고리즘

V. Kalman Filter와 IMM의 성능 비교

본 장에서는 4장에서 논의한 IMM을 바탕으로 동일한 Noise환경 내에서의 Time을 이용한 단말기의 위치 추적 알고리즘에 대한 성능 분석을 하였다. 시뮬레이션

에 적용한 Kalman Filter는 Discrete Time 등가속도 모델로 Three-Dimensional Kinematic 모델을 사용하였다. Process Noise Covariance의 가속도 부분의 파라미터인 σ_a^2 은 30을 사용하였다. IMM의 경우 총 3개의 모델을 사용하였다. 첫 번째 모델은 $\sigma_a^2=5$ 인 등속도 모델을 사용하였고 나머지 두 개의 모델은 각각 $\sigma_a^2=30$, $\sigma_a^2=200$ 인 등가속도 모델을 사용하였다. Markov 모델의 Switching Probability는 A.House와 Y.Bar-Shalom의 논문을 참조하였다. [2]

표 4와 표 5는 TOA와 TDOA 경우의 Kalman Filter와 IMM 모델의 적용결과 RMS값을 나타낸 것이다. 두 경우 모두 위치 결정 알고리즘만을 사용한 경우보다 위치 오차 값이 줄어들게 됨을 알 수 있다. TOA의 경우 (1)의 방법과 비교해보면 Kalman Filter의 경우 평균 16m정도 오차가 줄었으며 IMM의 경우 평균 24m정도 오차가 줄었다. TDOA 경우 LOP와 비교해 보면 Kalman Filter의 경우 평균 22m, IMM의 경우 평균 35m 의 위치 오차 개선을 보였다. 그림 5는 표 4의 결과를 반영해준다. 그림 5에서 a는 (1)의 방법, b는 Kalman Filter, c는 IMM을 나타내는데 표 4의 결과처럼 IMM을 적용한 경우 위치 오차 값이 가장 작음을 알 수 있다. 그림 6은 시나리오 1에 대해 Noise Variance가 $\sigma^2=1.6 \times 10^{-7}$ 인 경우에 TDOA를 이용한 단말기 위치 결정값을 Measurement로 하여 Kalman Filter와 IMM의 시간 경과에 따라 도출된 단말기 위치 값을 나타낸 것이다.

VI. 결론

Cell반경의 변화에 민감하지 않는 Time을 이용한 단말기 위치 결정 알고리즘에 대한 성능 분석 결과 Kalman Filter를 이용하여 단말기 위치를 추적하는 경우보다 IMM을 이용한 경우 단말기 위치 오차값이 최소가 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Martin Hellebrandt and Rudolf Mathar, "Localization Tracking of Mobiles in Cellular Radio Networks", IEEE Transaction On Vehicular Technology, Vol.48, No 5, pp: 1558-1562, September 1999
- [2] A.House and Y.Bar-shalom, "Multisensor Tracking of a Maneuvering Target in Clutter", IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems, Vol. AES25, No 2, March 1989
- [3] E.Mazor, A.Averbuch, Y.Bar-shalom and J.Dayan, "Interacting Multiple Model Methods in Target Tracking" A Survey, IEEE Transactions On

Noise Variance 단위 : sec(초)	Scenario 1				Scenario 2			
	1.6×10^{-7}		2.3×10^{-7}		1.6×10^{-7}		2.3×10^{-7}	
	mean	var	mean	var	mean	var	mean	var
Method (1)	85	283	115	314	85	301	115	341
Kalman Filter	72	328	95	368	72	394	95	424
IMM	70	327	84	316	67	372	82	332

표 4. TOA를 적용한 경우 Kalman Filter와 IMM의 RMS Error (meter)

Noise Variance 단위 : sec(초)	Scenario 1				Scenario 2			
	1.6×10^{-7}		2.3×10^{-7}		1.6×10^{-7}		2.3×10^{-7}	
	mean	var	mean	var	mean	var	mean	var
LOP	75	409	127	3899	74	419	131	5609
Kalman Filter	58	253	101	2541	56	236	103	3552
IMM	50	170	83	1910	49	154	85	1102

표 5. TDOA를 적용한 경우 Kalman Filter와 IMM의 RMS Error (meter)

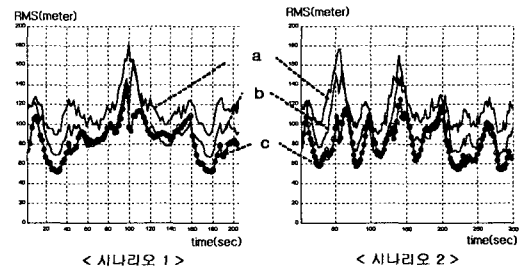


그림 5. TOA 알고리즘에서의 Kalman Filter와 IMM의 오차 성능 비교

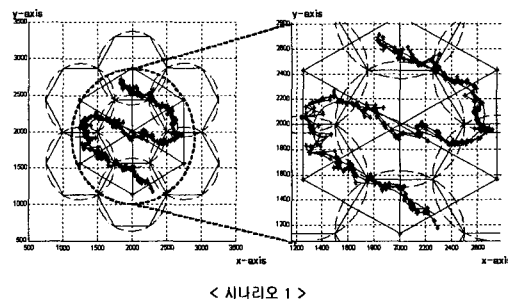


그림 6. Kalman Filter와 IMM에 의한 단말기 위치 추적(TDOA)