

CDMA 기반의 실내 측위 시스템을 위한 중계기 보정 알고리즘에 관한 연구

준회원 최희동*, 김선미**, 종신회원 최정희***, 박용완****

A Study of Repeater Effect Adjustment Algorithm in CDMA Indoor Positioning System

Heedong Choi*, Sunmi Kim** *Associate Members*,
Jeonghee Choi***, Yongwan Park**** *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 CDMA 망의 실내 환경에서 이동국에 수신된 신호들 중 중계기에 의하여 지연된 신호 도달 시간을 보정하여 위치 측위 성능을 향상시키는 알고리즘을 제안한다. 현재 중계기는 사용자 용량을 증대시키고 통화 품질 향상 및 서비스 영역을 확대시키기 위하여 많은 건물 및 터널과 같이 전파가 잘 도달하지 않는 지역에 보편적으로 설치 되어있다. 그러나 중계기를 통과한 신호는 중계기 내부 및 통화 선로에 의하여 신호 도달 시간이 지연된다. 따라서 중계기를 통과한 신호를 사용하여 이동국의 위치를 추정하면 위치 측위 오차 값이 증가되는 문제점을 가진다. 그러나 현재 중계기의 물리적 특성으로 인하여 중계기 신호와 기지국 신호를 구분할 수 없으며, 이를 해결하기 위한 알고리즘이 고려되고 있지 않다. 이에 본 논문에서는 위치 측위 오차 값을 줄이기 위하여 중계기 보정 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 기지국으로부터 수신된 PN 파일럿 신호를 사용하여 이동국, 기준 기지국 및 주변 기지국을 꼭짓점으로 하는 삼각형을 구성하고, 각 거리에 대한 지리적인 관계를 삼각형의 수학적 특성을 이용하여 중계기 신호를 검출 및 중계기 영향을 보정하는 알고리즘을 수행한다. 제안된 측위 시스템은 컴퓨터 모의실험을 통해 향상된 파라미터 추정 및 측위 성능을 보임을 확인하였다.

Key Words : Repeater, Wireless Location Estimation, Indoor, CDMA

ABSTRACT

This paper researches the estimating location using repeater effect adjustment method in CDMA based system. Repeaters are commonly used by commercial and amateur radio operators to extend signals in the radio frequency range from one receiver to another. The repeater signals are increasing arrival time from base station to mobile station. So if we calculates the mobile station using repeater signals, the estimating position error is increased. However nobody researched about adjusting repeater effects. This paper proposes repeater effect adjustment algorithm. For adjusting repeater effects, we make the triangle using mobile station, reference base station and neighbor base station, and then detect the repeater effects using the triangle characteristic. The proposed method system showed the improved performance in estimating parameters and locating positions by computer simulations.

※ 본 연구는 한국산업기술재단 지역혁신인력양성사업 연구비에서 지원하여 연구되었습니다.

* 영남대학교 정보통신공학과(hdchoi@yu.ac.kr), ** 호카이도대학교 정보통신공학과(sunmikim@lmd.ist.hokudai.ac.jp)

*** 대구대학교 정보통신공학부(choijh@daegu.ac.kr), **** 영남대학교 전자정보공학부(ywpark@yu.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-06-276, 접수일자 : 2008년 6월 18일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 30일

I. 서 론

위치 정보의 중요성이 증가하면서 위치 정보를 활용한 위치 기반 서비스(LBS; Location-based Service)가 많은 관심을 받고 있다^{[1][2]}.

현재 위치 기반 서비스를 위하여 GPS(Global Positioning System)를 이용한 방식이 가장 보편적으로 사용되고 있다. GPS를 이용한 위치 측위 방식은 GPS 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^{[3][4]}. 그러나 이동 통신망을 이용하여 단말기의 위치를 추정할 때 AWGN(Additive White Gaussian Noise), 다중경로(multipath), 비가시선 효과(NLOS; Non Line Of Sight)와 같은 신호의 전파 특성과 중계기(repeater)와 같은 인위적 설치물에 의하여 신호 도달 시간이 지연된다. 따라서 지연된 신호 도달 시간을 사용하여 단말기의 위치 측위를 수행하면 위치 측위 오차 값이 증가하는 문제점을 가진다. 이러한 위치 측위 오차 범위를 줄이기 위하여 최근 정확한 채널 모델링과 실내 전파 환경 모델을 예측하여 다중경로와 비가시선 효과에 의한 시간 지연 값을 감소시키는 알고리즘이 많이 제안되었다^{[5][6]}. 그러나 새로운 기지국 설치에 비하여 저렴한 공사비용, 설치의 편리성 등과 같은 이유로 구축된 중계기에 대한 해결 방안은 고려되고 있지 않다.

현재 국내 이동통신 업체들은 이동통신의 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 사용자 용량을 증대시키고 통화 품질 향상 및 서비스 영역을 확대시키기 위하여 많은 건물 및 터널과 같이 전파가 잘 도달하지 않는 지역에 많은 중계기를 설치하고 운용하고 있다^[6]. 중계기란 통신 시스템의 중간에서 기지국(BTS; Base Station System)의 무선 주파수(radio frequency) 신호를 제 3의 전송 매체를 통하여 원하는 원격 지역에 전송하여 다시 무선 주파수 신호로 재생하는 장치이다. 사용자 용량 및 서비스 영역과 같은 성능 측면에서 기지국이 월등히 중계기보다 좋은 특성을 갖는다. 그러나 비용 면에서 기지국은 중계기에 비해 비용이 많이 드는 단점이 있다. 소규

모 음영지역을 해소하기 위해서는 기지국의 설치라는 점이 비용 및 성능 측면에서 과다 투자 될 수 있다는 점도 간과할 수 없기 때문에 무선망 설계 및 서비스 사업자는 음영 지역 해소 방안을 위하여 중계기를 일반적으로 사용한다. 따라서 현재 국내 통신 시스템은 건물 실내 또는 지하 장소, 지하철, 터널 등과 같이 전파가 잘 도달하지 않는 지역에서는 중계기를 설치하여 호의 단락 없는 통신이 가능하다^[6]. 그러나 음영지역 해소를 위한 방안으로 강구된 중계기는 내부에서 신호를 처리하고 물리적으로 연결된 통화선로에 의하여 처리 시간 및 시스템 지연 시간이 발생하여 단말기에 수신되는 신호 도달 시간을 지연시킨다. 따라서 중계기를 통과한 신호를 사용하여 이동국(MS; Mobile Station)의 위치를 측위하면 큰 오차 값을 가진다.

현재 CDMA 기반의 시스템에서 중계기를 통과한 신호는 단지 신호 세기만 증폭되기 때문에 수신된 신호가 중계기를 통과한 신호인지 구분이 불가능하다^[7]. 이에 본 논문에서는 GPS 신호를 사용할 수 없는 CDMA 시스템 기반의 실내 환경에서 중계기에 의하여 지연된 신호 도달 시간을 보정하여 위치 측위 성능을 향상시키는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 기지국으로부터 수신된 PN 파 일롯(pilot) 신호를 이용하여 각 기지국의 위치 정보 및 신호 도달 시간을 이동국, 기준 기지국 및 주변 기지국을 꼭짓점으로 하는 임의의 삼각형을 구성한 후, 각 거리에 대한 지리적 관계를 삼각형의 수학적 특성을 이용하여 중계기 신호를 검출 및 제거하는 알고리즘을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 CDMA 시스템의 구성 및 중계기 종류와 구성에 대해 기술하고, III장에서 수신된 기지국 신호를 사용하여 중계기 효과를 제거하는 알고리즘을 제안한다. 그리고 IV장에서 모의실험 및 결과에 관하여 고찰한 후, V장에서 결론을 맺는다.

II. CDMA 시스템 구성 및 중계기

2.1 CDMA 시스템 구성

CDMA 셀룰러 시스템은 그림 1과 같이 크게 이동 통신 교환국(MSC; Mobile Switching Center), 기지국(중계기 포함), 이동국으로 구성된다^[8].

이동 통신 교환국은 각 기지국 제어 장치와의 연결과 가입자에 대한 정보 및 인증, 관련 부가 장비들로 구성되며, 다른 망과의 접속을 이루는 역할을 한

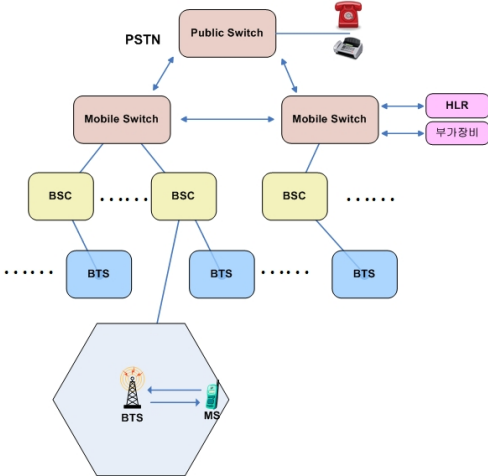


그림 1. CDMA 시스템 구성도

표 1. 환경에 따른 셀 반경

셀 형태	셀 반경
과밀집 도시 (Dense Urban)	1.0 [Km]
도시 (Urban)	1.2 [Km]
부도시 (Suburban)	2.7 [Km]
시골 (Rulral)	10.0 [Km]

다. 기지국(중계기 포함)은 기지국 제어 장치(BSC; Base Station Controller), 기지국(BTS), 중계기 등으로 구성되며, 이동국이 원하는 상대방과 통화가 이루어지도록 교환기와 연결을 목적으로 한다.

셀룰러 시스템은 특정 이동전화 기지국이 가장 양호하게 이동전화의 호(call)를 처리할 수 있는 구역인 셀(cell)이 여러 개 모여 하나의 서비스 지역을 구성한다. 이 때, 한 개의 기지국이 서비스 할 수 구역은 다음의 표 1과 같다⁸⁾.

보통 하나의 기지국 건설비용은 5억~10억이 필요하고, 공사기간도 수개월이 소요된다. 따라서 저렴한 공사비용, 설치의 편리성, 공사기간의 단축의 장점이 있는 중계기를 서비스 구역 내의 음영지역 해소를 위하여 용도별로 다양하게 개발 및 사용하고 있다⁷⁾.

2.2 중계기 구조 및 종류

일반적으로 중계기는 그림 2와 같이 기지국의 RF 회로와 물리적으로 직접 연결하여 통화선로를 구성하고, 호 처리를 위한 자원은 모국인 기지국의 채널 카드에서 처리하는 방식으로 개발되어 모국인 기지국의 통화와 자국인 중계기의 통화가 구분되지 못하는 시스템 구조를 가지고 있다⁷⁾.

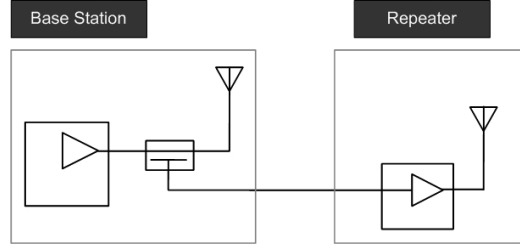


그림 2. 중계기 구조

표 2. 중계기 종류

구 분	서비스 종류	커버리지 확장
지상 중계기	옥외 중계기 주파수 변환 중계기 광중계기 마이크로 웨이브 중계기 레이저 중계기	옥외 커버리지 확장
지하 및 인빌딩 중계기	누설 동축케이블용 중계기 광분산 중계기 I/F 분산 중계기 소형 중계기 복합방식 중계기	전파 음영지역 확장

중계기는 전송매체, 설치장소 등으로 분류할 수 있다. 다음의 표 2는 중계기 설치 위치에 따라 크게 지상 중계기와 지하 및 인빌딩 중계기로 분리한 것이다⁶⁾.

또한 중계기는 제조 회사 및 종류에 따라 다른 내부 처리 시간 및 시스템 지연 시간 값을 가진다. 그러므로 기지국에서 송신된 후 중계기를 통과하여 이동국에 수신된 신호는 이동 통신 특성에 의한 전파 환경뿐만 아니라 중계기에 영향까지 부가적으로 받는다.

만약 이동국이 중계기를 통과한 신호를 사용하지 않거나, 중계기를 통과한 신호를 구분할 수 있다면 중계기로 인한 영향은 제거할 수 있다. 그러나 현재 사용 중인 CDMA 시스템에서는 신호의 중계기 통과 여부를 구분할 수 없을 뿐만 아니라, 위치 측위 서비스를 요청하는 지역이 실내일 경우 거의 중계기를 통과한 신호에 의하여 서비스를 제공받는다. 따라서 중계기 영향을 보정하는 알고리즘은 이동국에 수신되는 신호 도달 시간을 보정할 수 있기 때문에 기존에 제안된 위치 측위 알고리즘보다 정확한 위치 측위가 가능하게 한다.

III. 제안하는 중계기 제거 알고리즘

이동 통신 전파 환경과 함께 중계기는 위치 측위

오차에 많은 영향을 주고 있다. 그러나 현재 중계기에 의한 영향을 제거하여 위치 측위 성능을 향상시킬 수 있는 알고리즘은 고려되지 않고 있다.

제안하는 알고리즘은 이동국, 기준 기지국 및 주변 기지국을 꼭짓점으로 하는 삼각형을 구성한 후, 각 거리에 대한 지리적 관계를 삼각형의 수학적 특성을 통해 중계기 신호를 검출 및 신호를 보정하는 알고리즘을 수행한다. 이 때 중계기 영향을 보정하기 위하여 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 광중계기(optic repeater)를 중심으로 중계기 시간 지연 값을 계산한 후 이를 사용하여 신호를 보정한다.

3.1 중계기 지연 값

국내 대부분의 CDMA 시스템에서 이동 통신 업체들은 서비스 범위와 용량을 증가시키기 위하여 뛰어난 안정성 및 우수한 광 링크를 이용하여 서비스 지역에 양질의 신호를 전송할 수 있는 광중계기를 많이 사용한다⁶⁾. 광중계기는 주장치(master)와 종속장치(slave) 사이를 광케이블로 연결하여 신호를 전달해 준다. 광중계기는 기지국의 RF 신호를 광신호로 변환한 후 광케이블을 통해 음영지역으로 전송 후 다시 RF 신호를 변환하여 신호를 전송한다.

중계기에서 의하여 발생하는 시간 지연은 식(1)과 같이 자유 공간에서 전파 속도와 광케이블에서의 속도 차이에 의하여 발생하는 시간 지연과 중계기 내부에서 발생하는 시간 지연 값을 고려한다.

$$T_R = F_D + \tau_R + \tau_Z \quad (1)$$

여기서 T_R 은 중계기에 의한 시간 지연, F_D 는 광케이블에 의한 시간 지연, τ_R 은 중계기 내부 지연 시간, τ_Z 는 중계기에서부터 이동국까지의 전파 지연 시간이다.

광케이블에서의 신호 전파 속도는 자유 공간에서의 전파 속도($3 \times 10^8 m/s$)보다 느리다. 대략적으로 광케이블에서의 신호 전파 속도는 $2 \times 10^8 m/s$ 이다. 그러나 광케이블의 종류와 길이에 따라 지연 시간은 차이가 발생하기 때문에 이를 수식으로 나타내면 식(2)와 같다.

$$F_D = \beta X \quad (2)$$

여기서 β 는 종류에 따른 섬유 지연율, X 는 섬유 길이이다.

CDMA 시스템에서 짧은 PN 코드(PN code; pseudo noise code)를 사용하여 PN 코드열을 발생

시킨다. 이때, 짧은 PN 코드는 15개의 지연을 갖는 이동 레지스터를 사용하여 발생시킨다. 그러므로 PN 코드열의 길이는 2^{15} 또는 32,768 칩(chip)이며, 이것은 서로 다른 32,768 개의 PN 코드열을 발생시킬 수 있다. 데이터 전송율이 1.2288 Mcps인 경우, 한 칩의 주기와 한 주기당 전파 진행거리는 각각 식(3), 식(4)와 같다⁹⁾.

$$\frac{1 s}{1.2288 \times 10^6 \text{ chip}} = 0.8138 \times 10^{-6} s = 0.8138 \mu s \quad (3)$$

$$(0.8138 \times 10^{-6} s) (3 \times 10^8 m/s) = 244.14 m \quad (4)$$

그러므로 이동 통신 채널 환경에서 전파 지연과 광케이블에 의하여 발생하는 신호 도달 지연 시간은 다음과 같다.

$$F_c = 3.3 \mu s/km = 4.1 \text{ chip/km} \quad (5)$$

$$F_d = 5 \mu s/km = 6.1 \text{ chip/km} \quad (6)$$

그러므로 광케이블을 1Km 구축하였다면 이것은 자유 공간에서 신호 도달 시간보다 약 2chip 정도 신호 지연 현상이 더 발생한다. 그러나 광케이블을 기지국에서부터 설치할 건물까지 직선으로 구축하는 경우는 거의 없기 때문에 일반적으로 두 장치가 설치된 거리보다 신호 도달 지연 시간은 증가한다.

다음으로 중계기 내부 시간 지연에 대해 알아본다. 중계기 내부에 의한 시간 지연은 앞에서 살펴본 바와 같이 중계기 종류와 제조업체에 따라 차이가 난다. 제안된 중계기 관련 논문과 국내에서 사용되는 중계기 스펙을 검토한 결과 일반적으로 실내에 설치되는 중계기 내부 시간 지연은 전파 시간 지연을 제외하고 $1 \mu s$ 내외이다^{10)~13)}.

또한 이노와이어리스(innowireless)사의 OPTSis Analyzer를 소프트웨어를 사용하여 대구와 서울의 10곳 이상의 지역을 실험한 결과 중계기 영향으로 발생하는 시간 지연은 최소 4 PN chip 이상 발생한 것으로 판단되었다. 따라서 얻어진 이 값을 기준으로 수신된 신호에서 중계기 신호를 구분 및 보정하였다.

3.2 삼각형의 특성을 이용한 중계기 예측 알고리즘

이동국을 가지고 있는 사용자가 위치 정보를 요청하면 먼저 이동국은 측정된 신호들을 분석한다. 이 때, 이동국에 수신된 신호들은 이동 통신 시스템 번호(SID), 이동 통신 네트워크 번호(NID), 기지국 번호(BSID), 현재 서비스 중인 기지국 섹터 번호(Ref_PN), Ref_PN 내의 파일럿 페이즈, 신호 세기

등을 포함한다. 또한 인접 기지국의 파일럿 신호는 인접 기지국 섹터들의 번호(Measurement PN), 각 Measurement PN 내의 파일럿 페이즈, 신호 세기 등과 같은 거리 데이터 및 시간 데이터를 포함한다. 그러므로 각각의 신호들은 주위의 기지국과 구분될 수 있는 BID, NID, Transmit PN 등을 가지고 있기 때문에 이를 이용하여 측정된 신호들이 송신된 기지국의 위도, 경도 및 각 기지국으로부터의 신호 도달 시간을 알 수 있다.

그림 3과 같이 i 번 기지국의 위치를 (X_i, Y_i) , 이동국에 측정된 신호 도달 시간을 t_i 라고 할 때, 식(7)을 이용하여 기준 기지국과 i 번 기지국 간의 거리를 계산할 수 있다.

$$D_i = \sqrt{(X_1 - X_i)^2 + (Y_1 - Y_i)^2} \quad (7)$$

이동국에 수신되는 신호들을 선으로 가정하면 이동국, 기준 기지국, 한 개의 주변 기지국을 꼭짓점으로 하는 삼각형을 만들 수 있다. 이 때, 식(7)을 이용하여 계산된 거리 값은 시간 값(t_i')으로 변환할 수 있다.

“삼각형의 두 변의 길이의 합은 나머지 한 변의 길이보다 크다.” 는 삼각형의 수학적 특성이 있다. 그러므로 그림 3의 이동국에 수신되는 신호가 중계기를 통과하지 않았다면 식(8)을 만족한다.

$$\begin{aligned} t_1 + t_2 &> t_2' \\ t_1 + t_2' &> t_2 \\ t_2 + t_2' &> t_1 \end{aligned} \quad (8)$$

반면, 중계기에 의한 신호 도달 시간 지연은 앞에서 살펴본 바와 같이 최소 4chip 이상 발생한다. 그러므로 이동국에 수신되는 신호가 중계기에 의하여 신호 도달 시간이 지연되었다면 삼각형의 수학적 특성을 만족할 수 없다.

따라서 그림 3과 같이 이동국에 수신된 신호 중 두 번째 기지국으로부터의 신호가 중계기를 통과하였다면 식(8)의 관계식은 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} t_1 + t_2 &> t_2' \\ t_1 + t_2' &> t_2 \\ t_1 + t_2' &\leq t_2 \end{aligned} \quad (9)$$

식(8), (9)와 같은 비교 과정을 모든 기지국에 적용하여 중계기 신호를 구분한다.

이동국의 위치를 추정할 때, 수신되는 신호가 많이 있다면 중계기를 통과한 신호를 제외하고 다른

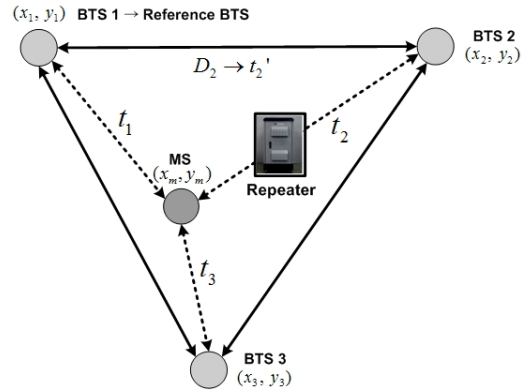


그림 3. 제안하는 중계기 보정 알고리즘

신호들을 사용하여 이동국의 위치를 추정하는 것이 보다 정확한 위치 값을 제공하여 준다. 왜냐하면 중계기의 종류 및 제조회사, 중계기 설치 환경에 따라 신호 지연 시간이 다르게 발생하기 때문에 임의로 예측된 임계값에 의하여 신호 도달 시간을 보정하는 방식은 중계기 영향을 줄여줄 수는 있지만 완벽하게 제거하는 것은 어렵기 때문이다.

네트워크 기반의 위치 측위 알고리즘을 수행하기 위해서는 이동국에 수신된 신호가 적어도 3개 이상 다른 위치의 기지국에서 송신된 것이어야 한다. 중계기를 경험한 신호를 사용하지 않고 이동국의 위치를 추정한다고 가정하면 중계기를 경험하지 않은 신호가 2개 이하일 경우에는 이동국의 위치를 추정할 수 없다. 그러나 섹터 안테나에 의하여 수신되는 기지국 신호 중 다수가 동일한 기지국 위치에서 송신된 신호이므로 위치가 다른 기지국에서 송신된 신호를 세 개 이상 수신할 확률은 비교적 낮다. 따라서 제안하는 중계기 보정 알고리즘은 이동국에 수신된 신호에 따라 중계기 신호를 제거 또는 보정한 후, 이동국의 위치를 추정한다.

$$\begin{aligned} i) \quad n_s &> 3 & (10) \\ \alpha_i = yes &\Rightarrow \text{eliminate} \\ \alpha_i = no &\Rightarrow \bar{t}_i = t_i \\ ii) \quad n_s &= 3 \\ \alpha_i = yes &\Rightarrow \bar{t}_i = t_i - T_{th} \\ \alpha_i = no &\Rightarrow \bar{t}_i = t_i \end{aligned}$$

여기서 n_s 는 수신된 기지국 신호 수, α_i 는 i 번 기지국으로부터 수신된 신호가 중계기를 통과하였는지 판단하는 상수, T_{th} 는 중계기 영향을 경감시키기 위해 사용하는 보정 값, \bar{t}_i 는 중계기 효과를 보정한

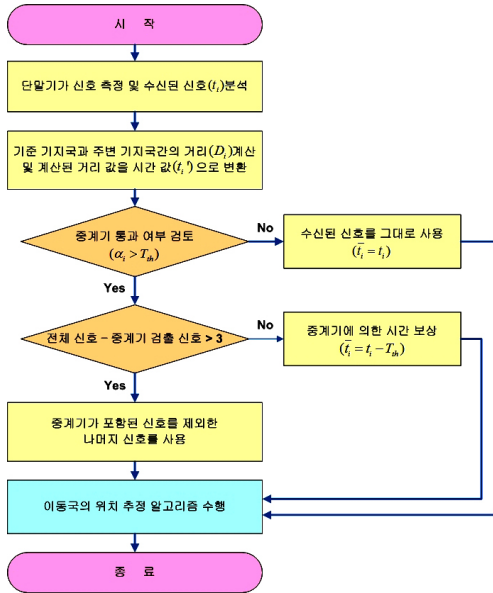


그림 4. 제안하는 중계기 보정 알고리즘의 순서도

후 신호 도달 시간이다.

다음 그림 4는 제안하는 알고리즘의 과정을 보여주는 순서도이다.

IV. 모의실험 및 결과

제안한 중계기 제거 알고리즘을 분석하기 위하여 이동통신 채널은 단일 사용자, 다중 경로 채널의 경로감쇄, 음영효과, 페이딩 등 다양한 채널 효과를 고려해 2계층(2-tier) 셀 계획을 수립하였다. 컴퓨터 모의실험 구성도는 그림 5와 같으며, 모의실험에 적용한 파라미터는 다음 표 3과 같다.

제안하는 알고리즘을 검증하기 위하여 설치된 기지국과 이동국 사이에 임의로 중계기를 추가로 설치하였다. 이 때, 중계기는 신호 도달 시간을 지연

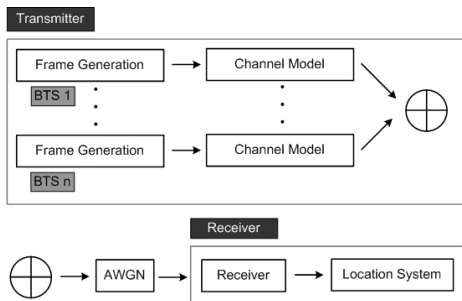


그림 5. 모의실험 구성도

표 3. 시뮬레이션 파라미터

Item		Value
Transmitter	Cell Layout	19 Cells
	Cell Radius	500 [m]
	BS total Tx Power	20 [W]
	Carrier Frequency	900 [MHz]
Antenna	BTS Antenna Height	30 [m]
	MS Antenna Height	1 [m]
Channel	Rayleigh fading	
	Noise environment	AWGN
	Standard Deviation of Shadowing	8 [dB]

표 4. 중계기 신호 검출 성능 비교

(Unit: %)

σ	Proposed Method
95%	89.27
67%	92.76

시키며 이동국은 이동 통신 환경뿐만 아니라 설치된 중계기의 영향을 추가로 받는다.

먼저 제안하는 알고리즘을 사용하여 단말기에 수신된 신호 도달 시간에서 중계기 검출 성능을 실험하였다. 다음 표 4는 중계기 신호 검출 성능을 나타낸 것이다.

표 4와 같이 컴퓨터 모의실험에서 중계기 보정 알고리즘을 사용하였을 경우 1σ (67%) 신뢰도 검증에서 92.76%, 2σ (95%) 신뢰도 검증에서 89.27%의 검출 성능을 보였다. 이것은 제안하는 알고리즘이 이동국에 수신된 신호 도달 시간에서 효과적으로 중계기 신호를 검출하는 것을 알 수 있다.

다음으로 중계기를 고려한 환경에서 단말기에 수신된 신호 도달 시간을 사용하여 위치 측위를 수행하는 것과 제안하는 알고리즘을 사용하여 신호 도달 시간을 보정한 후 위치 측위 성능을 비교하였다. 이 때, 사용하는 위치 측위 알고리즘으로는 한 개의 서비스 기지국과 두 개 이상의 주변 기지국 사이에 수신된 신호 도달 시간 차이를 이용하여 거리를 산출하고 사용자의 위치를 추정하는 TDOA(Time Difference Of Arrival) 방식을 사용하였다.

그림 6과 같이 이동국의 위치를 (x_m, y_m) , i 번째 기지국의 위치를 (X_i, Y_i) 이라고 할 때, 최소제곱법 (least square)을 이용하여 추정하는 위치는 식(11)과 같다^[15].

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T (r_i c + d) \quad (11)$$

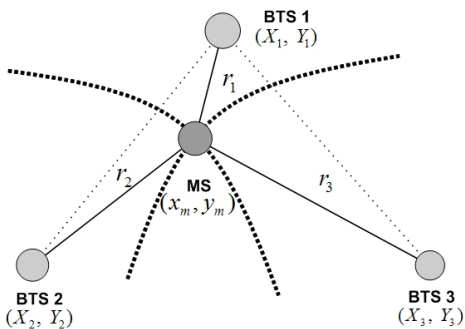


그림 6. TDOA 알고리즘을 이용한 위치 측위

where

$$H = \begin{bmatrix} X_2 & Y_2 \\ X_3 & Y_3 \\ X_4 & Y_4 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} -r_{21} \\ -r_{31} \\ -r_{41} \\ \vdots \end{bmatrix}, d = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} K_2^2 - r_{21}^2 \\ K_3^2 - r_{31}^2 \\ K_4^2 - r_{41}^2 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$r_{i1} = r_i - r_1, K_i^2 = X_i^2 + Y_i^2$$

그리고 위치 측위 결과를 검증하기 위하여 측위 결과를 $1\sigma(67\%)$ 및 $2\sigma(95\%)$ 신뢰도 검증 및 평균 값을 이용하여 비교를 하였다.

그림 7에서 보듯이 다중경로와 중계기를 고려한 환경에서 위치 측위 성능은 $1\sigma(67\%)$ 및 $2\sigma(95\%)$ 신뢰도 검증에서 각각 762.27m, 1306.72m를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그러나 제안하는 알고리즘을 사용하여 중계기에 의한 영향을 보정한 후 위치 측위 성능은 $1\sigma(67\%)$ 및 $2\sigma(95\%)$ 신뢰도 검증에서 각각 440.27m, 698.20m로 감소되었다.

이것은 중계기를 고려한 이동 통신 채널 환경에서 제안하는 알고리즘을 사용하여 단말기의 위치를 추정하면 위치 측위 오차 값이 감소하는 것을 보여 준다. 따라서 제안하는 중계기 보정 알고리즘을 사용하여 신호 도달 시간을 보정하는 방법이 신호의 위치 측위 성능을 높이는데 효과적임을 알 수 있다.

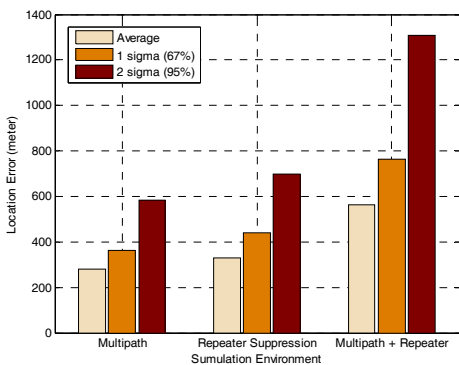


그림 7. 위치 측위 성능 비교

V. 결론

본 논문에서는 CDMA 망의 실내 환경에서 이동국에 수신된 신호들 가운데 중계기에 의하여 지연된 신호 도달 시간을 보정하여 이동국의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하였다.

현재 국내 이동통신 업체들은 이동통신의 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 사용자 용량을 증대시키고 통화 품질 향상 및 서비스 영역 확대시키기 위하여 많은 건물 혹은 터널과 같이 전파가 잘 도달하지 않는 지역에 많은 중계기를 설치하고 운용하고 있다. 중계기를 통과한 신호는 중계기 내부에서 처리 시간 및 시스템 시간 지연이 발생하여 이동통신망의 특성을 이용한 위치 측위 시스템에 오차를 증가시킨다. 또한 현재 CDMA 기반의 시스템에서 중계기를 통과한 신호는 단지 신호 세기만 증폭되기 때문에 수신된 신호가 중계기를 통과한 신호인지 구분이 불가능하다. 그러나 현재 이러한 중계기에 의하여 지연된 신호 도달시간을 해결하기 위한 알고리즘이 제안되지 않았다.

이에 본 논문에서는 GPS 신호를 사용할 수 없는 CDMA 시스템 기반의 실내 환경에서 중계기에 의하여 증가된 지연 시간을 제거하는 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 이동국, 기준 기지국 및 주변 기지국을 꼭짓점으로 하는 임의의 삼각형을 구성한 후 수학적 특성을 이용하여 중계기 신호를 구분하였다. 제안하는 알고리즘은 수신된 신호에서 중계기에 의한 영향을 제거하거나 보정하여 위치 측위를 수행하기 때문에 이동국의 위치 오차 범위를 감소시킬 뿐만 아니라 추가적인 하드웨어 없이 위치 측위 성능을 향상시킬 수 있다.

참고 문헌

- [1] 김선미, 박용완, “차세대 위치기반서비스 측위기술”, *한국통신학회지*, 제23권 제6호, pp.83-98, June 2006.
- [2] 박용완, 김선미, 최희동, 한규영, 조채환, “이동통신 망에서 LBS를 위한 위치 측위 기술”, *대한전기공학회 텔레콤*, 제22권 제2호, pp. 46-54, December 2006.
- [3] L. Cong, W. Zhuang, “Nonline-of-Sight Error Mitigation in Mobile Location,” *IEEE Transaction on Wireless Communications*, Vol.4, No.2, pp.560-573, March 2005.

- [4] W. Wang, J. Y. Xiong, Z. L. Zhu, "A new NLOS Error Mitigation Algorithm in Location Estimation," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol.54, No.6, pp.2048-2053, November 2005.
- [5] M. Changlin, K. Richard, L. Gerard, "A Nonline-of-Sight Error-Mitigation Method for TOA Measurements," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol.56, No.2, pp.641-651, March 2007.
- [6] 박용완, 홍인기, 최정희, *이동통신공학*, 생능출판사, pp.296-305, 2005
- [7] 조용, 진용옥, "CDMA 기지국과 중계기의 시스템 최적화를 위한 Traffic 분석 기법", *한국통신학회논문지*, 제27권 제4C호, pp.333-341, April 2002.
- [8] Y. Wang, L. Strawczynski, J. Nielsen, "Mobile Based Pilot Long Integration For Position Location," *WCNC 99'*, Vol.1, pp.291-295, September 1999.
- [9] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House Publishers, pp.165-174, 1998
- [10] <http://www.st.co.kr>
- [11] <http://www.dongwonsystems.co.kr/>
- [12] <http://www.neotelecom.com/>
- [13] <http://www.aceteq.co.kr/>
- [14] Marco I. S, Timo R, "Mobile Station Emergency Locating in GSM," *ICPWC'96*, pp.232-238, February 1996.
- [15] A. H. Sayed, A. Tarighhat, "Network-based wireless location: challenges faced in developing technique for accurate wireless location information," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.24-40, July 2005.

최 희 동 (Heedong Choi) 준회원



2006년 2월 대구대학교 전자공학과 학사
 2006년 9월~현재 영남대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 이동통신, UWB, 위치추위기술

김 선 미 (Sunmi Kim) 준회원



2003년 2월 영남대학교 정보통신공학과 학사
 2006년 6월 영남대학교 정보통신공학과 석사
 2006년 7월~2008년 2월 영남대학교 지역혁신 센터 (RIC) 연구원
 2008년 3월~현재 일본 홋카이도 대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 차세대통신시스템, 위치추위기술, 이동통신

최 정 희 (Jeonghee Choi) 중신회원



1986년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
 1989년 2월 SUNY at Buffalo. 전자공학과 석사
 1992년 6월 SUNY at Buffalo. 전자공학과 박사
 1994년~1998년 SK Telecom 중앙연구원 선임연구원

1998년~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수
 <관심분야> 위성통신, 레이더 신호처리

박 용 완 (Yongwan Park) 중신회원



1982년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
 1984년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
 1989년 2월 SUNY at Buffalo. 전자공학과 석사
 1992년 2월 SUNY at Buffalo. 전자공학과 박사

1992년~1993년 캘리포니아 공과대학 Research Fellow
 1994년~1996년 SK Telecom 기술연구부장
 1996년~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수
 2000년~2000년 NTT DoCoMo 연구소 초빙교수
 2003년~2004년 UC Irvine 방문교수
 2004년~현재 영남대학교 지역기술혁신 센터장
 2006년~현재 (사)대한임베디드 공학회 총무이사
 2008년~현재 EEE VTS 한국위원장
 <관심분야> 이동통신, 차세대 통신시스템, 위치추위기술