

NLOS 환경에서 TDOA 위치 추정 성능 향상을 위한 시간 지연 역추적 기법

Time Delay Traceback Scheme for Performance Enhancement of TDOA Location Estimation in NLOS Environment

이현재*, 오창현*

Hyun-Jae Lee*, Chang-Heon Oh*

요 약

본 논문에서는 NLOS(non-line-of-sight) 환경에서 신뢰성 있는 LBS(location based service)를 제공하기 위해, TDOA(time difference of arrival) 위치 추정 성능 향상을 위한 시간 지연 역추적 기법을 제안하고, 다양한 사용 조건에서 성능을 분석하였다. 제안하는 위치 추정 기법은 탐색영역 주변에 복수의 리더를 배치하여 송신된 신호를 리더 조합(reader combination) 수만큼 재활용 하는 방안을 적용하였다. 또한, NLOS에 의한 성능 열화를 개선하기 위해 리더가 수신한 시간에서 일정한 시간 간격을 빼주면서 위치를 재추정하는 기법을 적용하였다. 실험 결과 제안하는 시간 지연 역추적 기법을 적용하였을 때, NLOS 시간 지연 70 m에서 NLOS 리더를 3개로 가정하고 Sub-blink 수를 3회로 하였을 때 약 16 m의 RMSE 개선을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 결과를 통해 NLOS 환경에서 LBS 서비스 제공을 위해 요구되는 위치 추정 기법으로 본 논문에서 제안하는 시간 지연 역추적 기법이 적합함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose a Time Delay Traceback Scheme for the TDOA location estimation performance enhancement in NLOS environment and analyze the performance in various conditions. We place multiple readers in a square(300 m × 300 m) searching area for reuse of received signal. Also, we use more active NLOS reader detection methode for NLOS error mitigation. when NLOS time delay 70 m, the number of the NLOS reader is 3 and the received sub-blinks number 3, proposed time delay trace-back scheme improve the RMSE about 16 m. From these results, we confirm that the proposed time delay traceback scheme is well-suited for the high precision location estimation to offer the location based service.

Key words : Time delay trace-back, LBS, Location Estimation, RTLS, TDOA, NLOS

I. 서 론

최근 발전된 다양한 센서 기술과 향상된 모바일
컴퓨팅 능력의 융합을 통한 스마트폰과 같은 개인이

* 한국기술교육대학교(Korea of University of Technology and Education)

· 제1저자 (First Author) : 이현재

· 투고일자 : 2012년 4월 10일

· 심사(수정)일자 : 2012년 4월 11일 (수정일자 : 2012년 4월 25일)

· 게재일자 : 2012년 4월 30일

동 단말의 급격한 확산을 통해 위치기반 서비스(location-based service)의 사회, 경제적인 요구가 급격히 증대되고 있다.

현재 위치기반 서비스는 위치정보를 활용해 업무 생산성 개선 및 다양한 생활편의를 제공하는 서비스로 전통적인 의미에 이용자 정보, 증강현실(augmented reality), 소셜 네트워크 서비스(social network service)를 결합함으로써 고도화 되고 파급력을 가지게 되었다[1]. 이와 같은 생활방식의 변화와 자유를 제공하게 될 궁극적인 위치기반 서비스 제공에 있어서 요구되는 여러 기술적, 기능적 요소 기술들 가운데 하드웨어 및 기반기술 요소들을 요약한다면 크게 두 가지 정도로 요약할 수 있을 것이다. 첫째는 다양한 센싱 기술들과 결합되어 사용자 및 서비스 대상에 대한 정보를 획득할 수 있는 포괄적 상황인식(context-aware) 이고, 두 번째는 사물 및 서비스 대상에 대한 실시간 위치정보의 획득 및 추적을 위한 위치인식이다. 특히, 실내·실외든 서비스 대상의 위치적 한계에 대한 구분 없이 고정밀 위치정보를 획득 및 추적하는 기술은 위치기반 서비스 제공을 위한 기반 인프라 제공이라는 측면에 있어 우선해야 할 핵심요소 기술이다. 서비스 대상의 정확한 위치 정보가 확보되어야만 서비스 대상에서 요구하거나 요구될 수 있는 사용자 친화적인 위치기반 서비스가 제공될 수 있기 때문이다[2].

사용자 위치정보 확보를 위한 방법으로 GPS를 이용한 자동 항법 시스템이나 이동통신 기지국과 연동된 cell-ID 방식과 같은 다수의 네트워크 기반 방식들이 그 예이다. GPS를 이용한 방식은 위성 신호를 직접 수신할 수 없는 건물 내부에서 사용할 수 없다는 커다란 단점과 함께 일부 LOS(line of sight) 위성 신호가 수신되는 창가와 같은 지역에서도 다수의 NLOS 신호의 영향으로 정밀도가 현저히 저하되는 단점을 갖는다[3]. 네트워크 기반 방식의 경우 실내 중계기와 같은 설비가 동일 PN 값을 가지는 네트워크 환경에서는 위치 추정의 오차가 매우 크거나 존재 여부만을 제공 가능하다는 단점을 갖는다.

따라서 본 논문에서는 NLOS 환경에서 신뢰성 있는 사용자 위치 정보 제공을 위해 USN(ubiquitous sensor network)의 효율적인 위치 추정 방법으로 연구

되고 있는 TDOA(time difference of arrival) 기법을 기반으로 하여, TDOA 위치 추정 성능 향상을 위한 시간 지연 역추적(time delay trace-back, time offset trace-back) 기법을 제안하고 그 성능을 분석하였다.

제안하는 시간 지연 역추적 기법을 적용한 TDOA 위치 추정 기법의 첫 번째 특징은 복수의 리더를 탐색영역 주변에 배치하여 태그로부터 수신된 한 번의 정보를 리더 조합의 수만큼 반복사용 함으로써, 고정밀 위치 정보의 제공과 함께 태그의 효율적 에너지 사용에 기여 할 수 있도록 하였다. 두 번째 특징은 추가적인 부가정보 없이 리더들로부터 수신된 시간정보들을 대상으로 수신된 시간에서 일정한 오프셋 이전의 수신시간으로 가정하여 위치 추정을 반복 진행함으로써, NLOS 환경에 놓인 리더를 구분하고 태그로부터 송신된 신호가 겪은 시간지연의 양을 알 수 있다는 장점을 갖는다. 이때, NLOS 신호인지 LOS 신호인지를 구분하는 파라미터로 추정 위치들이 형성하는 2차원 오차 타원체 영역의 분산, 표준편차, 추정 위치별 무게(weight) 등이 고려된다[4][5]. 이 과정은 탐색영역에 배치된 전체 리더를 대상으로 하여 진행하기 때문에 리더의 수에 비례하여 연산 시간이 증가하는 단점을 내포하고 있지만, 획득된 리더별 지연시간을 재활용하여 협력 위치 추정을 진행 할 수 있다는 커다란 장점을 갖는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 TDOA 위치 추정 기법과 그에 따른 근의 판정과정을 설명하고, 제안하는 시간지연 역추적 기법에 대해 살펴본다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 시간 지연 역추적 기법을 적용한 위치 추정의 시뮬레이션 결과와 추정 오차를 분석한다. IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. TDOA 위치 추정 시스템 및 시간 지연 역추적 기법

본 장에서는 TDOA 위치 추정 시스템에 적용된 위치 추정 기법 및 근의 판정 과정과 함께 제안하는 시간 지연 역추적 기법에 대해 기술한다.

2-1 위치 추정 시스템

본 논문에서는 ISO/IEC FDIS 24720에서 고려된 위치 추정 시스템을 대상으로 하였다. 시스템 구성은 송수신 단말인 리더, 위치추정 대상의 정보를 송신하는 태그, 리더를 통해 정보를 수집·응용하는 서버 어플리케이션으로 구분된다. 태그에서는 위치추정 대상의 정보를 송신하고 리더는 이 신호를 수신하여 상위의 호스트 어플리케이션으로 전송하여 2차원 평면상의 태그 위치를 결정하게 된다[6].

태그에서 전송되는 위치정보 신호들은 blink라 하며, 리더들은 이러한 blink 신호를 수신하게 한다. blink는 태그의 구성 상태, 배터리 상태와 같은 태그의 상태 정보를 포함하고 있다. 각 blink는 복수의 sub-blink들로 구성되며, 최대 8개의 sub-blink들을 포함할 수 있는 blink 패킷으로 이루어진다. sub-blink들의 수와 blink 빈도는 위치 추정 성능과 태그의 유지 보수 기간에 영향을 미친다.

2-2 TDOA 위치 추정

ISO/IEC JTC FDIS 24720 규격에 적용된 위치추정 방식은 태그에서 송신한 신호가 각각의 리더에 도착한 시간차를 이용하여 태그의 위치를 추정하는 TDOA 기법으로, GPS 시간 정보가 필요하지 않다는 장점을 갖는다. 그림 1에 예를 나타내었다.

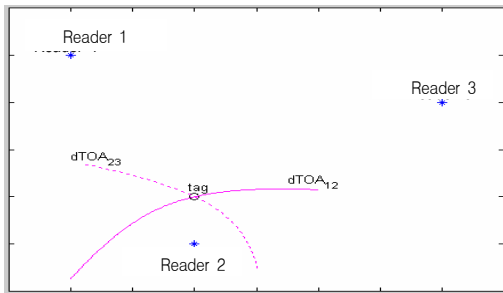


그림 1. TDOA 방식을 이용한 위치추정
Fig. 1. Location Estimation with TDOA.

태그는 일정한 크기의 탐색범위 내에 존재하며, blink 신호를 송신한다. 각 리더들은 각각 리더 1, 리더 2 와 리더 3 이며, 태그에서 송신한 blink 신호를 수신한 시점의 시간정보와 태그 데이터를 상위 계층

또는 서버로 송신한다. 서버는 각기 다른 3개의 리더에서 수신된 blink 신호의 수신 시간차를 기반으로 쌍곡선 방정식을 사용하여 측정하고자 하는 대상 (tag)의 위치를 찾아낼 수 있다[7].

TDOA 기법을 이용한 위치추정의 연산은 다음과 같다. 먼저 추정하고자 하는 미지의 태그 위치를 (x, y) 로, (x_k, y_k) 는 가용할 수 있는 리더의 X, Y 2차원 좌표로 가정한다. 여기서 c 는 빛의 속도 상수이다. 미지의 태그로부터 송신된 신호가 k 번째 리더까지 전파되는 시간 p_k 는 식 (1)과 같다.

$$p_k = \frac{\sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}}{c} \tag{1}$$

따라서 j 번째 리더와 k 번째 리더에 도착한 태그 송신 신호의 도착시간차는 식 (2)과 같이 표현할 수 있다.

$$dTOA_{jk} = \frac{\sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}}{c} - \frac{\sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}}{c} \tag{2}$$

식 (2)를 이용하여 리더 1, 리더 2의 sub-blink 수신 시간차로부터 $dTOA_{12}$ 를 계산할 수 있으며, 두 지점으로부터의 거리차가 일정한 점들의 궤적인 쌍곡선 방정식을 유도할 수 있다. 마찬가지로 방식으로 리더 2 와 리더 3의 시간차 $dTOA_{23}$ 로부터 또 다른 쌍곡선 방정식을 유도할 수 있다. 식 (2)의 $dTOA_{jk}$ 에 빛의 속도 c 를 곱한 값을 δ_{jk} 라 하면 식 (3)과 같이 표현되며 식 (3)의 우변에 식 (2)를 대입하고 양변을 제곱해서 전개한 후, x, y 항에 대해 정리하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_{jk} = c \cdot dTOA_{jk} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \cdot [\delta_{jk}^2 + (x_j^2 - y_j^2) - (x_k^2 - y_k^2)] \\ & + (x_k - x_j) \cdot x + (y_k - y_j) \cdot y \\ & = \delta_{jk} \cdot \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2} \end{aligned} \tag{4}$$

식 (4)의 좌변 $\frac{1}{2} \cdot [\delta_{jk}^2 + (x_j^2 - y_j^2) - (x_k^2 - y_k^2)]$ 을 식 (5)와 같이 정의하면, 리더 1, 2와 리더 2, 3에 대한 관

계식은 식 (6), (7)과 같다.

$$\lambda_{jk} = \frac{1}{2} \cdot [\delta_{jk}^2 + (x_j^2 - y_j^2) - (x_k^2 - y_k^2)]. \quad (5)$$

$$\lambda_{12} + (x_2 - x_1) \cdot x + (y_2 - y_1) \cdot y = \delta_{12} \cdot \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}. \quad (6)$$

$$\lambda_{32} + (x_2 - x_3) \cdot x + (y_2 - y_3) \cdot y = \delta_{32} \cdot \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}. \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)을 연립하여 정리하면 식 (8)과 같으며, 식 (9)와 같은 1차 방정식 형태로 정리할 수 있다. 여기서, m 과 b 는 식 (10)과 같다.

$$[\delta_{32} \cdot (x_2 - x_1) - \delta_{12} \cdot (x_2 - x_3)] \cdot x + [\delta_{32} \cdot (y_2 - y_1) - \delta_{12} \cdot (y_2 - y_3)] \cdot y + (\delta_{32} \cdot \lambda_{12} - \delta_{12} \cdot \lambda_{12}) = 0. \quad (8)$$

$$y = m \cdot x + b. \quad (9)$$

$$m = \frac{[\delta_{32} \cdot (x_2 - x_1) - \delta_{12} \cdot (x_2 - x_3)]}{[\delta_{32} \cdot (y_2 - y_1) - \delta_{12} \cdot (y_2 - y_3)]}, \quad (10)$$

$$b = \frac{[\delta_{32} \cdot \lambda_{12} - \delta_{12} \cdot \lambda_{12}]}{[\delta_{32} \cdot (y_2 - y_1) - \delta_{12} \cdot (y_2 - y_3)]}.$$

식 (10)의 m 과 b 를 대입한 식 (9)를 식 (6), (7)에 대입하면 식 (11)과 같이 2차 함수로 정리할 수 있다. 이때 계수 A, B, C는 식 (12.A), (12.B), (12.C) 와 같다. 계산된 계수 A, B, C를 식 (11)에 대입하여 정리하면 식 (13)과 식 (14)를 각각 얻을 수 있다.

$$A \cdot x^2 + B \cdot x + C = 0. \quad (11)$$

$$A = (x_2 - x_1)^2 + 2 \cdot m \cdot (x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_1) + m^2 \cdot (y_2 - y_1)^2 - \delta_{12}^2 \cdot (1 + m^2), \quad (12.A)$$

$$B = 2 \cdot \{\lambda_{12} \cdot (x_2 - x_1) + \lambda_{12} \cdot m \cdot (y_2 - y_1)\} + b \cdot (x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_1) + m \cdot b \cdot (y_2 - y_1)^2 + \delta_{12}^2 \cdot (x_2 - m \cdot b + m \cdot y_2), \quad (12.B)$$

$$C = \lambda_{12}^2 + 2 \cdot \lambda_{12} \cdot b \cdot (y_2 - y_1) + b^2 \cdot (y_2 - y_1)^2 - \delta_{12}^2 \cdot (x_2^2 + b^2 - 2 \cdot b \cdot y_2 + y_2^2). \quad (12.C)$$

$$x = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}, \quad (13)$$

$$y = m \cdot x + b.$$

$$x = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}, \quad (14)$$

$$y = m \cdot x + b.$$

이상의 연산 과정을 통해 미지의 태그 좌표인 x , y 로 추정될 가능성이 있는 두 개의 근인 식 (13)과 식 (14)를 얻을 수 있다. 여기서 식 (13)과 식 (14)의 물리적인 관계는 1차 함수인 식 (9)와 2차 함수인 식 (11)이 정해진 탐색영역 내부 또는 외부에서 교차하는 서로 다른 2개의 교점을 의미한다.

2-3 근의 판정

지금까지의 과정에 의해 구해진 각각의 근들은 미지의 태그 위치로 판정될 수 있는 가능성만을 갖는 2차원 평면상의 (x, y) 좌표 값이다. 따라서 어느 근이 blink를 송신한 미지의 태그 위치인지 알 수 없으며, 두 개의 근 각각에 대한 판정 과정을 통해 최종적으로 하나의 근을 선택해야한다.

두 개의 근에 대한 판정에 있어서 가장 기본적인 가정은, 두 근 중 최소 한 개의 근은 리더들로부터 수신(실측)된 시간 정보에 의해 계산된 시간차 정보 dTOA12, dTOA32과 매우 유사하거나 같은 시간차 정보를 갖는다는 것이다. 따라서 각각의 근이 지시하는 좌표에 가상의 태그를 설정하고 dTOA12, dTOA32를 구할 때 사용한 리더들에게 가상의 신호를 송신하였을 때 계산되는 시간차 정보와 실측에 의한 시간차 정보인 dTOA12와 dTOA32을 비교하여 가장 적은 차이를 나타내는 근의 위치를 실제 신호를 송신한 태그의 위치로 판정할 수 있다.

식 (13)에 의해 얻어진 음(-, negative)의 근 좌표가 (x_{neg} , y_{neg}) 이고, 그림 5와 같이 위치한다고 가정

하였을 때, (x_{neg}, y_{neg}) 에서 리더 1, 2, 3 까지 거리와 sub-blink 전파 시간인 $t1', t2', t3'$ 을 계산할 수 있다. $t1', t2', t3'$ 을 이용하여 리더간의 sub-blink 도착 시간차 정보인 neg-dTOA12 와 neg -dTOA32를 계산할 수 있다.

식 (14)에 의해 얻어진 양(+, positive)의 근을 이용한 시간차 정보인 pos-dTOA12 와 pos-dTOA32 또한 음의 근과 동일한 방식으로 $t1'', t2'', t3''$ 을 구하여 계산할 수 있다.

두 근을 이용하여 계산된 시간차 정보들은 실측에 의한 시간차 정보인 dTOA12, dTOA32와 비교 판정 과정을 거친다. 이 과정에서 실측값인 dTOA12, dTOA32와 차이가 가장 적은 근이 태그의 위치로 결정되게 된다. 그림 2의 경우, 음의 근 좌표가 sub-blink를 송신한 미지의 태그 위치로 판정될 것이다.

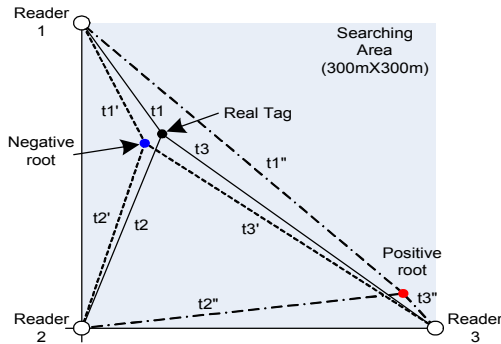


그림 2. 근의 유효성 판정
Fig. 2. Decision of root.

2-4 시간 지연 역추적 기법

본 논문에서 제안하는 TDOA 위치 추정 시스템을 위한 시간 지연 역추적 기법은 그림 3과 같이 크게 2가지 단계를 거치게 된다. 첫 번째 단계는 리더 조합의 수만큼 태그 위치를 추정하는 단계이다. 본 논문에서는 송신된 신호가 신호의 강도와 독립적으로 모든 가용리더에서 수신 가능한 것으로 가정한다. 전체 가용 리더의 수가 8이라고 가정하면, 최대 리더 조합의 수는 중복을 포함하여 8개의 리더에서 3개의 리더를 선택하는 경우의 수와 같다. 그러나 본 논문에서는 (1, 1, 1)와 같이 3개의 리더 모두가 동일하여

위치 추정이 불가능한 경우와 (1, 2, 2)와 같이 2개의 리더만 선택한 경우 등을 제외 시켰다. 또한, 리더들의 기하학적 위치를 고려해서 선택된 3개의 리더가 동일선상에 위치하는 경우 등을 피할 수 있도록 리더의 순서를 부여 하였다. 이것은 리더들의 기하학적인 배치에 따라 추정 성능의 변화가 발생하기 때문이다 [8]. 생성 가능한 전체 리더 조합의 수를 J 라 하고, 예외 및 삭제 조건을 적용한 최종적인 조합의 수를 N 이라 하였을 때, 판정 과정을 거쳐 얻어진 위치 추정 결과의 숫자 M 과는 통상 $M \leq N \leq J$ 의 관계가 형성된다.

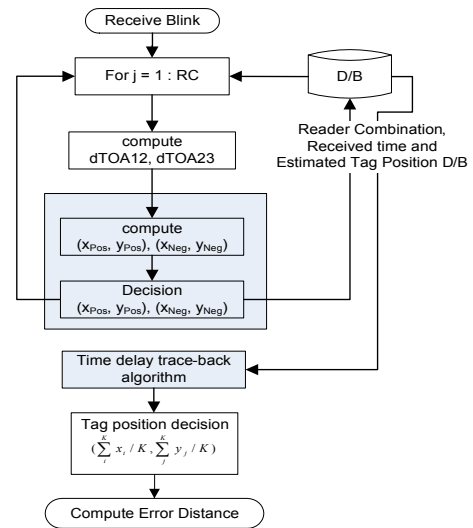


그림 3. 위치 추정 기법 흐름도
Fig. 3. Location Estimation flow.

두 번째 단계는 M 개의 위치 추정 결과를 바탕으로 시간 지연 역추적 과정이 적용되는 단계이다. 이 과정의 연산대상은 각 리더에서 태그의 송신 신호가 수신된 시간과 NLOS에 의한 시간 지연이 더해진 전파 시간이다. 그런데 송신된 신호가 NLOS 환경에서 겪게 되는 시간지연의 양은 얼마 만큼인지 그 최대치를 정확히 알 수 없기 때문에 전파시간의 범위를 정확히 정의 하는 것은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 송신 신호의 전파시간을 다음과 같이 정의한다. 태그에서 송신한 시간을 t_0 라 하고, 특정 리더에서 수신된 시간 t_r 라 한다면, 전파 시간 t_{Pr} 는 식 (15)와 같은 관계식을 갖는다.

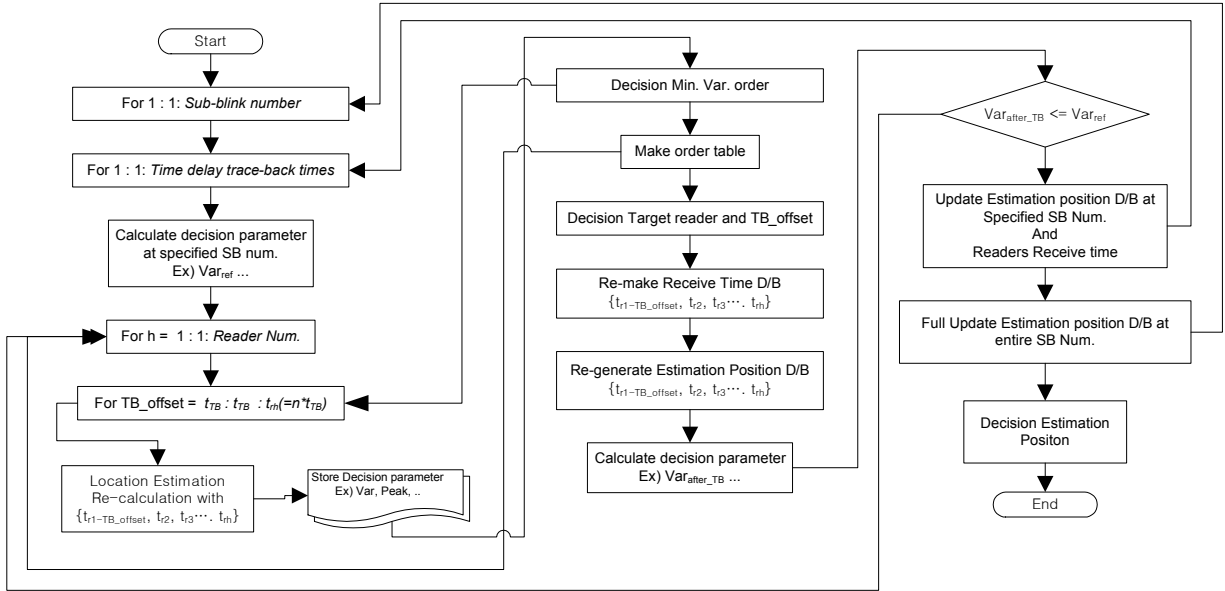


그림 4. 시간 지연 역추적 기법
Fig. 4. Time delay(offset) trace-back algorithm.

$$t_{Pt} = t_r - t_0. \tag{15}$$

t_{Pt} 는 식 (16)과 같이 태그와 리더의 물리적 거리에 의한 이상적인 전파 시간, NLOS에 의한 시간 지연, 리더의 물리적인 동작 시간 등을 고려한 검파 지연이 모두 합쳐진 시간이다. 그 범위는 $0 \leq t_{Pt} \leq t_r$ 과 같다.

$$t_{Pt} = t_{idle\ propagation\ time} + t_{NLOS\ time} + t_{detection\ time} \tag{16}$$

시간 지연 역추적 기법의 흐름 도를 그림 4에 나타내었다. 시간 지연 역추적 기법의 진행은 다음과 같다. 첫 번째 단계로 이전 단계에서 얻어진 위치 추정 D/B를 이용하여 Var_{ref} 와 가장 많은 빈도수를 갖는 X, Y 좌표 ($x_{est-ref}, y_{est-ref}$)와 빈도수 W_{ref} 등의 결정 파라미터를 구한다. 이때, D/B의 개수는 M 으로 가정한다. 두 번째 단계로 위치 추정시 획득된 리더별 수신 신호 D/B를 이용하여 각 리더별 시간 지연 역추적 과정을 수행한다. 리더가 R1부터 R8까지 존재한다고 가정하였을 때, 각 리더의 수신 시간은 각각 $\{t_{r1}, t_{r2} \dots t_{r8}\}$ 로 나타낼 수 있다. 1번 리더의 수신시간 t_{r1} 에서 시간 지연 역추적 간격 t_{TB} 를 뺀 $t_{r1-1} (= t_{r1} - t_{TB})$ 와 나머지 리더의 도착시간 $\{t_{r2} \dots t_{r8}\}$ 을 이용하여 전체 N 개의 리더 조합에 대한 위치

추정을 다시 실시하고, $Var_{t_{r1-1}}$ 과 $W_{t_{r1-1}}$ 을 구한다. 이 과정을 $0 = t_{r1-1}$ 일 때 까지 반복한다. 이때 구해진 $Var_{t_{r1-1}}$ 값 중에서 가장 작은 값을 중에서 가장 작은 값을 가질 때를 리더 1의 최소 분산 차수($Ord_{Var_{r1}}$)로 저장한다. $W_{t_{r1-1}}$ 을 대상으로 하여 최대 빈도 차수($Ord_{W_{r1}}$)를 저장한다. 이 과정을 리더 8번까지 반복한다. 세 번째로 이 과정을 통해 얻어진 D/B를 기반으로 추정치들의 최소 분산 차수가 최대인 리더 또는 최대 빈도 차수가 최소인 리더를 선정한다. 선정된 리더의 수신 시간 t_{rh} 에서 차수와 t_{TB} 의 곱만큼을 제거해준 $t_{rh}' (h=\{1,2,3,\dots,8\})$ 와 나머지 리더의 수신시간을 이용하여 위치 추정을 진행한다. 지금까지의 과정이 1번의 시간 지연 역추적 과정이다. 따라서 위치 추정 시스템에서 시간 지연 역추적 과정을 3회로 설정하였다면, 상기의 과정을 특정한 sub-blink 내에서 3번 실시하게 된다. 이와 같이 제안하는 시간 지연 역추적 기법은 sub-blink 단위로 알고리즘이 수행되기 때문에, 임의의 태그에서 sub-blink가 2회 송신되었고 시간 지연 역추적 횟수를 3회로 설정하였다면 모두 6번의 시간 지연 역추적 기법이 수행된다.

III. 실험 환경 및 성능분석

본 장에서는 NLOS가 존재하는 300 m × 300 m의 탐색영역을 대상으로 sub-blink 송신 횟수, NLOS에 의한 시간 지연의 변화와 같은 시스템 변수들을 변화시켜 가며 제안하는 시간 지연 역추적 기법을 적용한 TDOA 위치 추정 기법의 성능을 검증한다.

3-1 실험 환경

실험 환경은 표 1과 같으며, 탐색범위 내에 LOS와 NLOS가 혼재하는 전파 환경을 가정하였다.

표 1. 실험 환경

Table. 1. Simulation parameter.

	사각형 (Square)
최대 리더 수	8
가용 리더 수	3
Sub-blink 횟수	1 ~ 8
탐색영역	300 m × 300 m
전파환경/범위	LOS(~10 m) + NLOS (~70 m)

송신된 태그 신호들은 모두 리더에 도착한 것으로 한다. 탐색범위 내에 존재하는 태그의 위치는 3 m 간격으로 균일 분포시켰으며, 총 수는 10,201개이다. 위치 추정 성능은 각 태그들의 실제위치와 추정 위치 사이에 존재하는 오차거리의 RMSE(root mean square error)를 이용하여 나타내었다.

본 논문에서 고려한 리더의 배치 형태는 그림 5와 같이 탐색 영역의 외곽선을 따라 리더를 배치한 사각형 배치이다. 사각형 배치는 탐색영역의 확장과 같은 실제 환경의 적용면에서 유리할 것으로 예상된다.

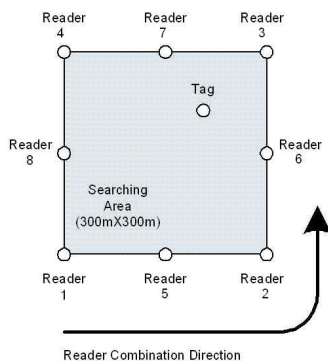


그림 5. 리더의 배치 형태
Fig. 5. Allocation of Reader.

본 논문의 실험환경에서 가정한 시간 지연은 크게 두 가지 요소로 구분된다. 첫 번째는 리더의 여러 가지 물리적 요인으로 인하여 발생하는 측정 시간 오차(지연) 으로 최대 32.76 ns 이내에서 균일한 분포한다. 이러한 물리적인 시간 지연은 전파 환경에 연계되지 않는 리더 고유의 지연(오차) 요소이기 때문에 물리적 제어가 어렵다는 특징이 있다. 위의 시간 지연은 RTLS 규격에 의거하여 길이가 511인 PN code를 통해 변조하였을 때, PN code의 1 chip 당 전송 시간은 $1/PN \text{ chip rate} = 1/30.52187 \text{ MHz} \approx 32.76 \text{ ns}$ 로 계산된다. 거리로 환산하면 오차거리는 약 10 m가 된다.

두 번째는 NLOS 환경을 고려해 시뮬레이션에 반영된 지연 파라미터이며, 위치 추정 성능에 직접적인 영향을 미치는 요소이다. 이 NLOS 지연은 최소 '0'부터 최대 설정된 시간 지연 최댓값까지 균일하게 분포하는 랜덤 변수로 모델링 할 수 있다. 위의 두 가지 지연 요소 모두 서로 독립이다. 또한 임의의 태그에서 송신한 한 번의 송신 신호가 겪는 NLOS에 의한 지연은 태그간, 리더간, sub-blink 간 모두 독립이고, 평균이 '0'이고 분산이 σ^2 인 IID(independently and identically distributed) 백색 잡음이다. 그리고 본 논문에서는 임의의 태그가 송신한 신호가 리더에게 모두 수신될 때 까지 채널이 변하지 않는 것으로 가정하였다.

2. 성능 분석 및 검토

그림 6은 시간 지연을 10 m ~ 70 m 까지 변화시켰을 때, sub-blink 횟수에 따른 추정 오차의 RMSE를 나타내었다.

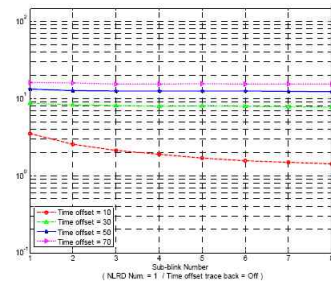


그림 6. Sub-blink 에 따른 RMSE 성능
Fig. 6. RMSE vs. Sub-blink Num. at NLRD Num. 1.

NLOS에 의해 시간 지연이 추가된 리더(NLRD)는 1개이다. 시간 지연이 10 m인 경우 sub-blink 횟수 증가에 따라 RMSE가 개선되는 것을 알 수 있다. 그러나 시간 지연의 크기가 큰 30 m, 50 m, 70 m에서는 위치 추정 성능이 포화점에 가까워져 sub-blink의 증가에 따라 RMSE의 개선량이 작아지게 된다. 따라서 복수의 리더 조합만을 가지고 태그의 위치를 추정하는 것은 예러가 증가하며, NLOS에 의해 시간 지연을 효과적으로 저감시키기는 한계가 있다는 것을 알 수 있다.

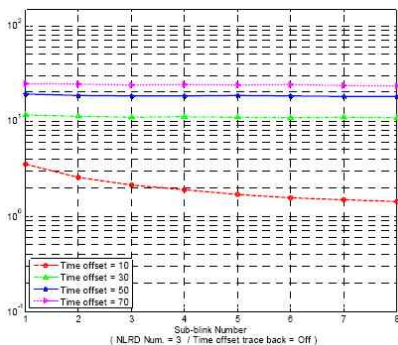


그림 7. Sub-blink에 따른 RMSE 성능
Fig. 7. RMSE vs. Sub-blink Num. at NLRD Num. 3.

그림 7에 NLRD의 수가 3개인 경우, sub-blink 횟수에 따른 추정 오차의 RMSE를 나타내었다. NLOS 시간 지연 변화는 그림 6의 경우와 동일한 10 m ~ 70 m까지로 하였다. 지연이 10 m인 경우를 제외한 나머지 시간 지연의 RMSE 곡선에서는 NLRD의 증가에 따라 RMSE가 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 8. 시간 지연 역추적 기법의 RMSE 성능(30)

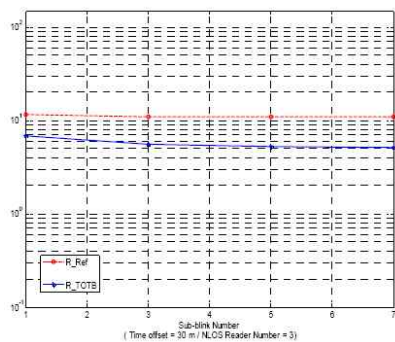


Fig. 8. Performance of TOTB at time offset 30 m.

그림 8에 시간 지연이 30 m 이고, NLRD 3개인 조건에서 리더 조합(RC) 만을 가지고 위치 추정을 진행한 Ref. 의 RMSE와 본 논문에서 제안하는 시간 지연

역추적(TOTB) 기법의 RMSE 성능을 나타내었다. Sub-blink가 3회일 때 제안하는 TOTB 기법의 RMSE가 5.5 m 로 RC만을 활용한 방법의 RMSE 10.8 m 에 비해 약 5.3 m 개선된 것을 알 수다.

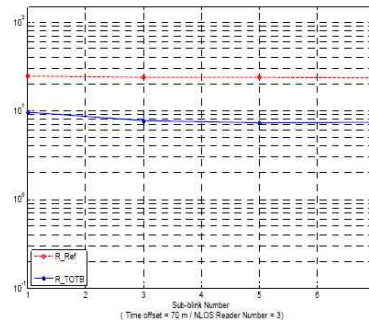


그림 9. 시간 지연 역추적 기법의 RMSE 성능(70 m)
Fig. 9. Performance of TOTB at time offset 70 m.

그림 9에 시간 지연이 70 m 이고, NLRD 3개인 조건에서 RC 만을 가지고 위치 추정을 진행한 Ref.의 성과와 제안하는 TOTB 기법의 RMSE 성능을 나타 내었다. Sub-blink가 3회일 때, RC만을 활용한 방법의 RMSE가 23.7 m인 반면 제안하는 TOTB 기법의 RMSE가 7.7 m 로 RC만을 활용한 방법에 비해 약 16 m 개선된 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 TOTB 기법이 시간 지연이 증가하였을 때에도 효과적으로 위치 추정이 가능 하다는 것을 알 수 있다.

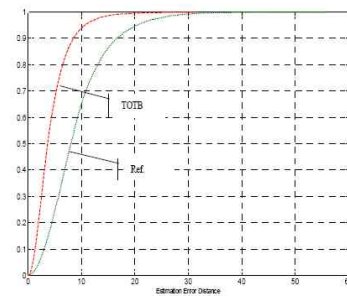


그림 10. 시간 지연이 30 m 일 때 cdf 곡선

Fig. 10. cdf at time delay 30 m.
그림 10. 시간 지연이 30 m 일 때 cdf 곡선
Fig. 10. cdf at time delay 30 m.

그림 10은 그림 8과 같은 시간 지연이 30m, NLRD 3개, sub-blink 3회 경우에 RC만을 이용한 성능(Ref.)과 제안하는 TOTB 기법의 cdf 를 나타내었다. 제안하는 TOTB 기법이 탐색 영역 전체의 RMSE 성능과 함께 추정된 태그들의 위치 추정 오차가 Ref.에 비해 향상된 것을 알 수 있다.

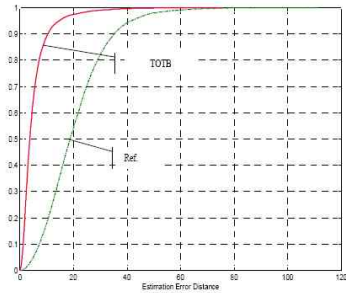


그림 11. 시간 지연이 70 m 일 때 cdf 곡선
Fig. 11. cdf at time delay 70 m.

그림 11. 시간 지연이 70 m 일 때 cdf 곡선
Fig. 11. cdf at time delay 70 m.

그림 11은 시간 지연이 70 m, NLRD 3개, sub-blink 3회 경우에 RC만을 이용한 Ref.와 TOTB 기법의 cdf 특성을 나타낸 것이다. 확률 80% 지점에서 기존 Ref.와 비교해 보았을 때 약 20 m 정도 개선된 것을 알 수 있다. 전체 90% 확률 지점에서는 약 25 m 정도 개선된 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 시간 지연 역추적 기법이 다양한 시간 지연과 환경에 놓여있는 각각의 태그들에 대해 효과적으로 NLOS에 의한 시간 지연을 개선시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 12는 시간 지연 70 m, NLRD 3개, sub-blink 3회인 조건에서 리더 조합을 이용하여 위치 추정을 실시하였을 때 탐색 영역에서의 위치 추정 오차의 분포를 나타낸 그래프이다. 리더가 배치되어 있는 탐색 영역의 4개의 꼭짓점 (0,0), (0, 300), (300, 300), (300, 0) 부근에서 위치 추정 오차가 증가하는 형태를 나타내고 있다. 이러한 결과는 리더와 매우 근접한 태그의 경우 위치 추정시 각 리더에 도착한 시간차를 구분해 내기 매우 어렵기 때문에 나타난 것으로 분석된다.

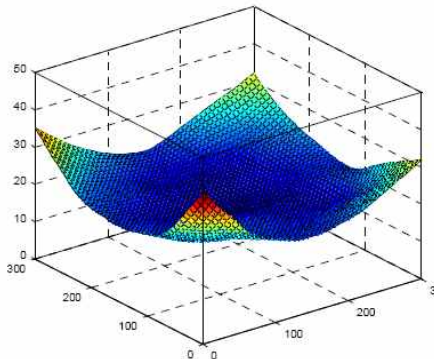


그림 12. 리더 조합에 의한 취치 추정 결과 분포
Fig. 12. Estimated position distribution using RC.

그림 13은 시간 지연 70 m, NLRD 3개, sub-blink 3회인 조건에서 제안하는 시간 지연 역추적 기법을 적용한 결과이다. 그림 11의 cdf 특성과 유사하게 탐색 영역 전반에 걸쳐 안정적인 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한, 탐색 영역의 꼭짓점 부분과 중심부분의 성능 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

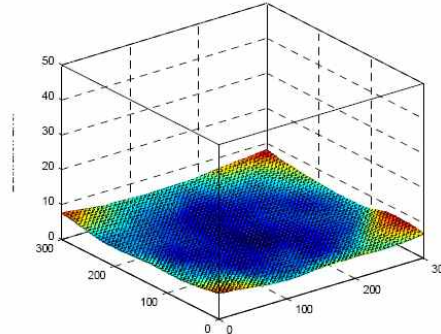


그림 13. 시간 지연 역추적 기법에 의한 취치 추정 결과 분포
Fig. 13. Estimated position distribution using TOTB.

Fig. 13. Estimated position distribution using TOTB.

지금까지의 실험결과 분석을 통해 본 논문에서 제안하는 시간 지연 역추적 기법이 NLOS에 의한 시간 지연이 존재하는 환경에서도 안정적인 위치추정 성능을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 NLOS 환경에서 신뢰성 있는 LBS를 제공하기 위해, TDOA 위치 추정 성능 향상을 위한 시간 지연 역추적 기법을 제안하고, 다양한 사용 조건에서 성능을 분석하였다. 탐색영역은 300 m × 300 m의 2차원 평면으로 위치추정의 대상이 되는 태그들은 탐색영역 내에 3 m 간격으로 균일하게 분포한다고 가정하였으며, 전파환경은 LOS와 NLOS가 혼재하는 환경을 가정하였다.

실험 결과, 시간 지연 이 30m, NLOS 환경에 있는 리더의 수는 3, sub-blink 3회를 송신할 경우 리더 조합만을 고려한 위치 추정 방식보다 약 5.3 m의 RMSE 개선 효과를 얻을 수 있었다. 또한, NLOS의 영향이 증대된 시간 지연 70 m 환경에서도 약 16 m 정도 RMSE 개선 효과를 확인할 수 있었다.

이와 같은 실험 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 시간 지연 역추적 기법을 적용한 위치 추정 기법이 NLOS 와 LOS 가 혼재하는 환경에서도 안정적인 고정밀 위치 추정 성능의 확보가 가능함을 확인 할 수 있었다. 그러므로 신뢰성 있는 LBS 서비스를 제공을 위해 요구되는 위치추정 기법으로 본 논문에서 제안하는 시간 지연 역추적 기법을 적용할 수 있으며, 향후 협력 위치 추정 등의 측면에서도 효율적 위치 추정 기법으로 고려될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 정구민, 최완식, "스마트폰위치기반서비스(LBS) 기술 동향," *TTA Journal*, No. 130, 2010, pp. 75-81.
- [2] T. G. Kanter, "Attaching context-aware services to moving locations," *IEEE Internet Computing*, vol. 7, Iss. 2, Mar/Apr, 2003, pp. 43-51.
- [3] 김학용, "무선랜 기반 위치정보 서비스," *Telecommunications Review*, 2006년, pp. 188-202.
- [4] Cong, L. and Weihua Zhuang, "Non-line-of-sight error mitigation in TDOA mobile location," *IEEE Global Telecommunications Conference, 2001. Volume: 1*, pp: 680 - 684
- [5] 박지원, 박지희, 송승현, 성태경, "다중경로 환경에서의 TOA 방식과 TDOA 방식의 측위성능 비교," *전기학회논문지, 제58권 제2호*, 2009.2, pp. 415-429.
- [6] ANSI/INCITS 371.1, "Real Time Locating Systems (RTLS)-Part 1: 2.4 GHz air interface protocol," 2005.
- [7] JTC 1/SC 31/WG 5: "Real Time Locating Systems (RTLS)—Part 2: 2.4 GHz air interface," Feb. 2005.
- [8] Burke, B.P., Pratt, M.M. and Misra, P., "GPS Performance in Navigation," *Proceedings of the IEEE, Jan 1999. Vol. 87, Iss.1*, pp: 65 - 85

이 현 재 (李賢載)



1998년 2월 : 수원대학교 정보통신학과(학사)

2001년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자공학과(석사)

2001년 1월~2003년 4월 : 텔슨전자(주) 중앙 연구소 근무

2004년 3월~현재 : 한국기술교육대학교

전기전자공학과(박사)

관심분야 : SDR, USN/RFID, CR, Wireless Sensor N/W

오 창 헌 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)

1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원항공통신정보공학과 (공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1990년 2월~1993년 8월 : 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원

1993년 10월~1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원

2006년 8월~2007년 8월 : 방문교수(University of Wisconsin-Madison)

1999년 2월~현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR