

NLOS 상태 추정을 이용한 위치 정보 신뢰성 기반의 정밀 위치 측정 시스템

손상현*, 최훈*, 조현태**, 백윤주^o

Location Information Reliability-Based Precision Locating System Using NLOS Condition Estimation

Sanghyun Son^{*}, Hoon Choi^{*}, Hyuntae Cho^{**}, Yunju Baek^o

요 약

이동형 장치의 위치 정보를 확보하기 위해 다양한 위치 측정 시스템이 연구되고 있으며 현재 가장 많이 이용하는 시스템은 위성 정보를 이용하는 GPS와 무선 네트워크를 이용하는 RTLS가 있다. 장치 주변의 장애물은 장치와 위성 혹은 무선 통신 앵커와 NLOS 상태를 유발하며 측정 정확도를 떨어뜨린다. 본 논문에서는 대상의 위치 측정을 위해 두 개의 시스템을 함께 이용해 장치 주변의 NLOS 상태를 파악하여 장치간의 측정 신뢰성 정보를 추정함으로써 측위 정확도를 향상시키는 기법을 제안한다. 또한 NLOS 상태의 파악을 위한 위성 정보의 분석 방법에 대해서 설명하고 이를 이용한 위치 측정 시스템을 제안한다. 본 시스템의 성능평가를 위해 다양한 환경에서의 NLOS 상태 판별에 대한 테스트를 수행하였으며 해당 측정결과를 이용한 위치 측정 시스템을 구현하여 시뮬레이션 하였다. NLOS 상태 파악을 위한 실험 결과 약 97% 정도의 성공률로 NLOS 상태를 판별하였다. 또한 NLOS 상태 판별 정보를 이용한 동작 성능을 모의실험한 결과 단독으로 위치 측정된 결과에 비해 성능이 89% 향상되는 것을 확인하였다.

Key Words : GPS satellite, RTLS, NLOS condition, Measuring Reliability, Locating system

ABSTRACT

Recently, mobile devices were increased and there was a sharp rise in demand. To exploit the location information of each device, many researcher was studying locating systems. The favorite locating or positioning systems were a GPS using satellites and a RTLS using wireless communication between devices. If some obstacle existed nearby the target device, The system have difference of performance. The obstacles near targets were caused signal disconnection and reflection because of NLOS condition. As the result, the NLOS condition degrade the locating performance. In this paper, we propose a locating system which is cooperated two systems using information reliability estimates from LOS/NLOS condition. We developed proposed system. In addition, we performed fields test and simulation tests at various environment for performance evaluation. As the result, the test showed 97% success rate to estimate NLOS condition. Furthermore, the simulation result of our locating system was increased to 89% compared with a single system.

※ 본 연구는 지식경제부 지방기술 혁신사업(B0009720) 지원으로 수행되었습니다.

♦ 주저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실, sonsang@eslab.re.kr, 정희원

° 교신저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실, yunju@pusan.ac.kr, 종신회원

* 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실, hoon.choi@eslab.re.kr, 정희원

** KAIST 스마트IT융합시스템연구단, phd.marine@kaist.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2012-09-468, 접수일자 : 2012년 9월 30일, 최종논문접수일자 : 2013년 1월 7일

I. 서 론

소형 전자기기와 이동 통신기술의 발전에 따라서 스마트기기와 같은 무선 이동형 장치가 급속히 증가하고 있으며 이를 활용하기 위한 환경 구축 및 통신기술의 개발도 활발히 진행되고 있다. 이러한 환경이 구축되면서 사용자를 위한 다양한 응용에 대한 요구가 증가하고 있다. 위치 정보의 파악은 이러한 환경에서 가장 중요한 요소 중의 하나로 평가 받고 있으며 위치 정보 제공을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 다양한 위치 측정 시스템 중 가장 많이 사용되는 시스템으로 GPS(global positioning system)와 RTLS(real time locating system)가 있다. 위치측정 시스템을 이용하여 추정된 위치정보를 이용할 경우 이동형 장치의 관리가 용이해지고 사용자가 자신의 위치정보를 통해 주변 지역의 정보를 능동적으로 활용할 수 있어 물류, 안전, 교통 분야 등에서 널리 활용되고 있다^{1,2)}.

GPS는 지구를 도는 다수의 위성의 신호를 수신하여 자신의 위치를 계산하는 시스템으로 네비게이션 장치와 스마트폰에 포함된 수신기를 이용하여 각 장치의 위치를 측정할 수 있도록 한다. GPS는 수신기의 성능과 수신한 위성 신호의 수준으로 그 정밀도가 결정되며 일반적으로 이용되는 장치에서 10미터 수준의 오차를 갖는 위치정보를 제공한다. GPS는 위성이 보내는 신호의 수신을 기반으로 위치를 측정하는 장치로써 위성 신호를 수신할 수 없는 실내나 하늘이 가려지는 환경에서 측정할 수 없거나 큰 오차를 갖는 문제를 가진다.

RTLS는 장치간의 무선통신을 이용하여 위치를 측정하는 시스템으로 이동 장치의 신호를 수신하는 리더 장치의 설치를 통해 장소의 제약을 적게 받는 장점이 있다. 현재 다수의 무선통신기반 RTLS는 삼변측량법을 이용한 위치계산을 수행하며 측정 대상이 되는 이동 장치와 이동 장치의 신호를 수신하며 위치의 기준이 되는 리더 장치 그리고 위치계산을 수행하는 엔진으로 구성된다. 이동 장치는 리더 장치와의 거리 측정을 하기 위해 무선 신호의 전달 시간을 이용하는 ToA(Time of Arrival)나 TDoA(Time Difference of Arrival)와 같은 기법으로 장치 간의 거리를 측정하고 위치측정 엔진에서는 측정된 거리 정보를 이용하여 삼변측량법으로 위치를 추정한다. 리더 장치는 이동 장치의 측정을 위한 기준 위치를 가지고 있어야 하므로 위치 정보를 사용자가 직접 설정하거나 GPS 등을 사용

하여 초기 위치를 설정할 수 있다.

삼변측량법 기반의 RTLS는 2차원의 정밀한 위치 측정을 위해 최소 3개 이상의 LOS(line of sight) 상태에서의 거리 정보가 필요하다. 하지만 대부분의 환경에서 장치 간 거리측정 시 리더 장치와 이동 장치 사이에 존재하는 장애물로 인해 NLOS(non-line of sight) 상태가 발생하는데 이는 신호의 반사로 인한 지연으로 거리측정 오차를 발생시키고 측정성능을 저하시키는 요인이다. NLOS 상태에서 무선 신호는 장치 사이의 직선거리로 전달되지 않고 주변의 환경에 따라 반사, 회절, 산란 등이 일어나 신호의 전달 속도로 측정하는 거리 값에 오차가 발생한다. 따라서 RTLS에서 이동 장치가 리더의 LOS/NLOS 상태를 파악하여 계산에 활용하는 것은 매우 중요한 이슈 중 하나로 NLOS로 인한 거리 측정오차를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다.

NLOS 상태를 파악하기 위한 방법으로 채널의 상태를 파악하고 활용하는 channel statistics 방법과 주변 환경정보를 적극적으로 활용하는 position estimate 방법 및 측정 신호의 연속적인 값을 통계적으로 이용하는 방법 등으로 분류할 수 있다. 물리적인 환경변화에 민감한 channel statistics와 position estimate 방법의 경우 측정 환경 정보의 입력이 매우 어려우며 실제 환경에 변화가 생길 경우 측정 결과에 큰 영향을 끼칠 가능성이 높다. 통계적인 방법의 경우 다양하게 발생할 수 있는 오차로 인한 적응적 기법 적용이 어려우며 계산이 복잡해지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 앞서 소개한 GPS와 RTLS 시스템을 함께 활용하여 위치 측정 성능을 향상시킨 시스템을 제안한다. 이동 장치 및 리더 장치의 GPS 수신정보에 포함된 GPS 위성의 각종 상태를 이용하여 장치가 배치된 환경의 장애물 정보를 추측하고 각 장치간의 통신 상태를 판별한다. 이후 NLOS 상태로 판단 할 경우 위치 계산에서 제외하거나 거리 보정 값을 가감하여 위치측정 정확도를 향상시키도록 한다. 이러한 상태정보를 RTLS에 활용하여 장치간의 거리측정값의 신뢰도를 평가하고 이를 이용하여 시스템 성능을 향상시키는 방법을 제안한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2절 관련 연구에서는 GPS와 RTLS에 대해서 살펴보고 위치 측정에 문제를 유발하는 NLOS에 대한 해결 방법에 대해 살펴본다. 3절에서는 제안하는 시스템을 소개하고 설계 및 구현한 내용에 대해 살펴본다. 4절에서는

제안한 시스템의 성능평가를 수행하였으며 5절에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. GPS(global positioning system)

다양한 위치 정보를 이용하는 응용에서 사용되는 GPS는 지구 주변을 도는 위성에서 보내는 신호를 수신하여 위치를 측정하는 시스템이다. GPS 정보를 수신하여 위치 정보를 제공하는 수신기는 최소 4개의 위성으로부터 무선 신호를 받아 그 정보를 이용하여 위치를 계산하며 그 정보를 NMEA 0183 프로토콜^[3]을 이용하여 사용자에게 전달한다. NMEA 0183 프로토콜은 12개의 위성정보를 전달해 주며 각 위성 마다 해당 수신기로 부터의 방향과 고도 정보 및 신호 대 잡음비(SNR, signal-to-noise ratio)를 가진다. 이 프로토콜은 수신한 위성의 정보, 수신시간, 방향정보, DOP (dilution of precision)^[4] 그리고 수신기의 위경도 정보를 전달한다. DOP 값은 포함된 정보에 따라 PDOP (Position DOP), TDOP (Time DOP), HDOP (Horizontal) 및 GDOP (Geometry DOP)로 구분되며 모든 정보를 포함한 것은 GDOP로 일반적으로 GDOP값을 사용한다. DOP는 위치 계산에 사용된 위성의 배치로 발생하는 위치 측정 결과에 존재하는 불확실성의 정도를 나타내는 값이며, 그 값에 따라 해당 위치 정보의 정확도를 추정 할 수 있다. DOP 값이 낮을수록 위치 정보의 불확실성이 적음을 나타내며 측정 결과의 위치 오차 수준은 해당 수신기가 갖는 측정 오차에 DOP 값을 곱한 것으로 DOP를 이용하여 대략적인 위치 오차 수준을 파악할 수 있다. 위치 측정 성능을 향상시키기 위하여 측정 대상을 중심으로 각 위성이 서로 겹치지 않는 최대한 넓은 영역에 배치되도록 위성을 선정한다. 위성이 넓게 그리고 서로 근접하지 않도록 배치할수록 DOP값은 낮아진다. 그림 1은 측정 장치의 배치에 따라 달라지는 DOP와 그로 인한 측정 오차의 정도를 나타내고 있는 예다. (a)에서 2개의 transmitter는 (b)보다 더 넓게 퍼진 형태로 존재하고 있어 상대적으로 낮은 DOP 값을 갖는다. 각 transmitter가 갖는 거리 측정 오차가 같다고 가정할 경우 두 개의 거리 측정 결과가 만드는 겹치는 영역은 측정 대상이 존재 할 수 있는 위치 범위로서 (b)의 결과가 (a)의 결과보다 더 넓게 나타나며 (b)의 위치 오차가 (a)의 위치 오차 보다 크게 발생함을 알 수 있다. 고층 건물이 다수 존재하는 도심환경과 같은 장소에서는 낮은 DOP 값을 갖더라도 무선 신호의 반사로

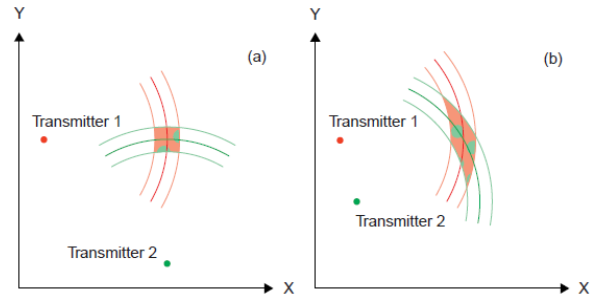


그림 1. 수신기의 배치에 따른 위치 측정 결과 범위의 차이
Fig. 1. Receiver-transmitter geometry influences position precision in locating systems

인한 다중경로(multi-path)로 인하여 추가적인 위치 오차가 발생할 수 있다. 이러한 다중경로로 발생하는 오차를 추정하기 위해 DOP값을 연속으로 측정하여 다중경로로 인한 위치 오차를 찾는 방법을 추가적으로 적용하였다. 본 논문에서는 위성 정보와 DOP 정보를 이용하여 GPS 결과에 대한 신뢰도를 추정하며 RTLS 시스템과 결합하여 더 나은 결과를 얻기 위한 방법을 제안한다.

2.2. RTLS (real time locating system)

일반적으로 RTLS는 추적 대상이 되는 이동 장치인 태그(RTLS tag)와 태그의 정보를 읽어들이는 리더(RTLS reader) 그리고 위치 측정 엔진(RTLS engine)으로 구성된다. 그림 2는 무선 신호를 기반으로 하는 RTLS의 시스템을 나타내고 있다. 그림에서 리더와 태그는 무선신호를 이용한 통신을 수행하며 신호의 전달시간을 측정하여 위치 측정을 위한 전달시간 값을 수집한다. 그 정보는 위치 측정 엔진으로 전달되어 태그의 위치를 추정하고 해당 위치 정보는 데이터베이스에 저장되며 그 정보는 유무선 네트워크를 통해 사용자가 활용할 수 있도록 구성됨을 보인다. RTLS는 측정 방법에 따라 삼각측량법(triangulation), 삼변측량법(trilateration) 및 쌍곡선측량법(hyperbolic method)을 사용한다.^[5] 2007년 말 IEEE 802.15.4a 표준^{[6][7]}이 제정된 이후 무선 태그의 위치를 측정하기 위해 거리 측정을 기반으로 하는 삼변측량법을 가장 많이 사용한다. 삼변측량법은 2차원 상의 위치를 측정하기 위해서 3개의 거리 정보를 필요로 한다. 계산에 필요한 거리를 측정하기 위해서 무선신호의 신호세기를 이용한 RSSI (received signal strength indicator) 기법^[8]과 전달시간을 재는 ToA(time of arrival)^[9,10], TDoA(timedifference of arrival)^[11] 기법을 이용한다. 이러한 거리 측정방법은 장애물로 인해 발생하는

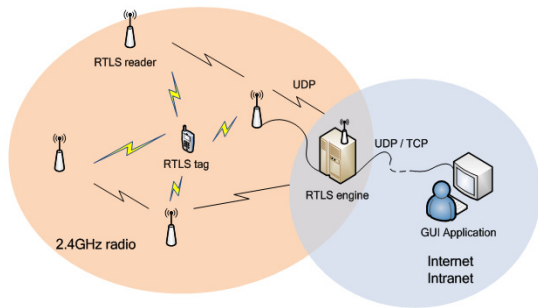


그림 2. 실시간 위치 측정 시스템 overview
Fig. 2. Real time locating system overview

NLOS상황에서의 거리 측정에서 많은 오차를 발생시키며 시스템 전체의 위치 측정 정확도를 크게 저하시킨다.

거리 측정 기반의 위치 측정 시스템의 경우 각 거리 정보의 측정 결과가 위치 계산 결과에 중요한 영향을 미친다. 거리 정보의 측정 결과는 측정하려는 두 지점 사이의 장애물의 유무로 인한 NLOS 상태에 따라 신호의 투과(penetrated), 반사(reflected), 회절(diffraction), 산란(scatter path) 등의 영향으로 오차를 가진다. NLOS로 인한 거리 측정오차를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으며 크게 NLOS identification과 NLOS mitigation 두 가지로 존재한다. NLOS identification은 NLOS로 추정되는 노드를 위치 계산에서 제외하기 위해 NLOS 측정결과를 찾는 방법이다. 이 방법은 NLOS 에러 수준이 매우 심각하거나 정밀 위치 측정을 위해 사용되거나 NLOS 결과를 제외하기 때문에 LOS를 만족하는 측정 결과가 부족할 때는 활용이 어렵다. Identification 기법은 거리 측정 분산이나 수신 신호의 통계 정보 및 맵을 이용한 정보를 기반으로 구분할 수 있다. NLOS mitigation의 경우, 실제로 NLOS를 찾아내는 것이 매우 어렵기 때문에 확실적인 기법으로 오차를 줄이는 방법이다. 이 방법은 NLOS의 거리 측정 값을 찾아내지 않아도 되나 LOS를 만족하는 측정 결과가 많을수록 좋은 결과를 내며, NLOS로 인한 에러가 커질수록 결과의 오차가 커지는 단점이 존재한다. Mitigation 기법은 DP(direct path) 탐색 및 확률 통계를 기반으로 오차를 줄이는 방법이다. NLOS identification의 기법으로 range estimation-based method^[12], channel statistics based method^[13] 그리고 position estimate based method^[14]가 있다. Range estimation based method는 거리 측정값의 분산 정도를 이용하여 NLOS를 판별하는 기법으로 분산 임계값(threshold)을 LOS 환경에서

미리 측정하여 LOS/NLOS를 구분한다. 이 경우 다수의 측정을 통해 해당 측정의 분산 값을 측정해 내며 그 결과를 임계값과 비교한다. Channel statistics based method는 해당 채널에서 수신되는 다양한 파라미터를 이용한 통계를 통해 임계값을 구하고 그 값을 토대로 NLOS를 구분해내는 기법이다. 임계값을 측정하기 위한 파라미터로 신호의 진폭(amplitude), 전달 평균 지연(mean delay), 전달 초과 지연(excess delay) 및 RMS 전달 지연(root-mean-square delay) 등을 이용한 MPC (multi-path components) 통계 작업을 수행한다. Position estimate based method는 위치 정보와 해당 위치 주변의 지리적인 환경을 고려한 기법이다. 이 기법은 해당 공간 정보를 이용하여 ray-tracing algorithm을 이용한 NLOS 분별 방법으로 지도를 기반으로 해당 수신기가 전달한 신호의 다중경로를 추정하는 방법을 사용한다. NLOS identification 기법은 상태 판별을 위한 임계값을 설정하는 것이 매우 중요하며 환경에 따라 영향을 많이 받으므로 정확한 임계값을 설정하는 것이 매우 어렵다.

NLOS mitigation 기법으로 direct path estimation based method와 statistics based method이 있다. Direct path estimation based method는 TOA 측정시 주고받는 송수신 신호에서 가장 빨리 수신된 신호를 찾아 NLOS에 대한 보정을 수행하도록 하는 기법이다. 상태 판단 기준은 DDP (detected direct path)와 UDP(undetected direct path)로 나누어지며, 이를 통해 현재 측정 상태에 대한 판단을 내린다. DDP는 direct path를 찾을 수 있는 상황으로 거리 측정 에러가 적게 나타난다. UDP는 direct path를 찾을 수 없는 상황으로 거리 측정 에러가 크게 나타나며 NLOS 환경으로 인하여 발생하는 것으로 예상된다. 이러한 DDP와 UDP를 구분하기 위해 제한된 대역폭에서 CIR을 적용하여 결과를 도출한다. Statistics based method는 신호 전달을 통해 거리 측정 및 위치 측정을 수행한 이후 나타나는 다수의 결과를 이용하여 통계적으로 오차를 줄이는 기법이다. 거리 측정 정보를 토대로 결과를 얻기 보다는 계산된 위치 정보를 이용한 통계를 많이 활용한다. LS(least square)^[15]를 기초로 하여 Taylor-series 기반의 weighted LS^[16]와 같은 변형적인 알고리즘을 이용하거나 LP (linear programming)^[17] 기반의 알고리즘을 이용한다. 추가적으로 kalman filter^[18,19] 등의 필터링 방법을 이용하여 데이터를 정리하여 문제가 되는 데이터를 걸러 정확도를 향상시킨다. NLOS mitigation 기법은 위치 결정을 위한 계산량이 매우 많으므로 시스템 부하를 유

발한다. 본 논문에서는 GPS로 확보할 수 있는 대략적인 위치정보와 위성 정보로 얻을 수 있는 해당 장치 주변의 상태정보를 이용하여 높은 위치 측정 성능을 내는 시스템을 제안한다.

III. 측정 신뢰도를 이용하는 위치 측정 시스템

제안하는 시스템에서 GPS의 정보와 RTLS의 거리 측정 정보를 함께 이용하여 더욱 정밀한 측정 성능을 이루기 위해 두 시스템의 신뢰도의 판별이 요구된다. 본 논문에서는 각 시스템의 신뢰도를 측정하기 위한 방법을 제안하고 측정된 신뢰도를 이용하여 정밀한 위치 측정 결과를 얻을 수 있는 시스템을 제안한다.

3.1. GPS 위치 정보의 신뢰도 판별 기법

GPS 위치 정보는 수신기 주변 환경의 영향에 따라 그 성능이 달라진다. 위성 신호의 수신을 방해하는 장애물에 따라 측정성능이 달라진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 GPS의 위치측정시에 활용된 위성 정보를 이용하여 GPS의 위치 정보에 대한 신뢰도를 추정한다. GPS의 DOP 값은 위치 측정을 수행할 시 이용된 위성의 배치에 따라 그 값이 결정된다. 위치 측정 수행시 위성이 수신기를 둘러싸는 형태로 배치될수록 좋은 성능을 낸다. 그러나 무선 신호가 반사되어 다중 경로로 수신기에 전달될 경우 DOP를 이용하여 위치 정밀도를 판정하기 어렵다. 이러한 경우 같은 위치에서 지속적으로 측정하는 것으로 해당 위치에서의 정확도를 판단할 수 있다. 위성은 지속적으로 이동하고 있으므로 수신기로 향하는 위성 신호의 방향은 항상 바뀌게 된다. 다수의 장애물로 인하여 무선 신호의 전달 상태가 좋지 않은 순간에는 높은 DOP 값을 가진다. 같은 위치에서 측정된 GPS의 DOP 정보 중에서 높은 값이 나타나게 될 경우, 해당 수신기 주변에 장애물이 존재하며 그 장애물로 인한 다중경로가 발생할 가능성이 높음을 확인할 수 있으며 그로 인해 유발될 위치 오차도 예상 할 수 있다.

그림 3은 GPS 수신기 주변의 장애물에 따라 변화하는 DOP 값의 상태를 보여준다. (a)에서 GPS 수신기는 2, 4, 5, 6번 위성의 신호를 수신하게 되어 2, 4, 6번 위성을 이용하여 위치를 측정하게 되며 낮은 DOP 값을 가진다. 그러나 위성 2번의 신호가 반사되어서 들어오기 때문에 GPS 수신기의 위치오차가 발생하게 된다. 시간이 지나 위성의 위치가 조금씩 바뀌게 되면 (b)의 상황이 발생한다. 위성 2의 신호가 반사되어 GPS 수신기에 도달하지 못하거나 신호의 세기

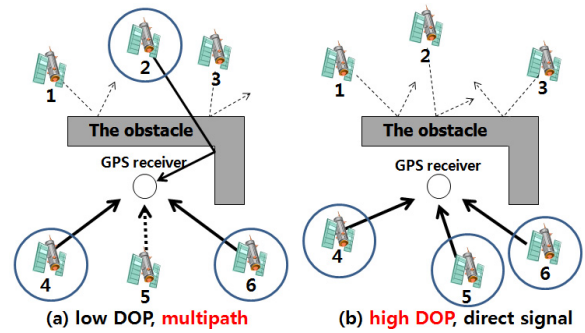


그림 3. 장애물로 인하여 발생하는 GPS 수신기의 위성 선택으로 인한 오차 발생 예
Fig. 3. Two cases of causative a locating error by obstacles near GPS receiver

가 약해서 유효한 신호로 판단하지 않게 될 경우, GPS 수신기는 4, 5, 6번 위성을 이용하여 위치를 측정하게 된다. 이 경우 DOP 값이 높게 나타나며 이러한 연속적인 측정으로 GPS 수신기 주변에 위성 신호가 전달할 수 없게 하는 장애물이 있음을 알 수 있다. GPS 수신기에서의 지속적인 측정으로 해당 GPS 위치 결과의 측정 정확도와 신뢰도에 대한 정보를 알 수 있다.

3.2. 무선 거리 측정 신호의 NLOS판정 기법

위치 측정 정밀도를 향상시키기 위해 각 장치들 간 거리 측정 정확도의 향상이 요구된다. 각 장치간의 거리 측정 수행시 두 장치가 LOS/NLOS 상황임을 판별하는 것은 정확도 향상에 중요한 영향을 준다. 장치간의 상태를 알기 위하여 GPS 수신기가 받아들이는 위성 신호의 방향과 그 신호세기를 이용하여 주변에 존재하는 장애물을 추정하고 해당 방향에 대한 상태를 파악할 수 있도록 한다. GPS 수신기는 다수의 위성 신호를 수신하여 자신의 위치를 측정하고 이 과정 중에 수신한 위성들의 방향각, 고도, SNR 정보를 저장한다. 이때 다수의 위성정보를 사용하여 수신기 주변의 LOS/NLOS 상태에 대해 판별한다. 이 과정에서 방향각(0~359) 값은 수신기에서 어떤 방향에 대해 판정할 수 있음을 알 수 있다. 고도(0~89) 값은 해당 위성이 2차원상의 장애물을 발견할 수 있는가에 대한 판정이 가능하다. SNR(0~99) 값은 수신 신호에 얼마나 많은 노이즈가 포함되었는지 확인하여 장애물의 유무를 판정할 수 있다. 위성 정보를 이용한 구체적인 판별 방법은 다음과 같다. 그림 4는 LOS/NLOS 상태 확인 기법의 플로우 차트를 보인다.

GPS 수신기에서 GPS 위성 정보 수집을 하고 위성 별로 정보를 분류한 후에 각 위성 정보의 값을 분석하

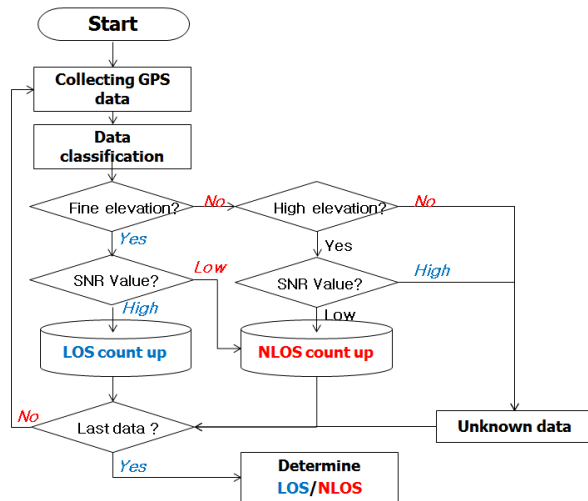


그림 4. GPS 위성 정보를 이용한 LOS/NLOS 상태 확인 플로우 차트
 Fig. 4. Flowchart of LOS/NLOS condition estimation using GPS satellites

여 특정 방향각의 LOS/NLOS 판정을 수행한다. 처음으로 판정하는 것은 위성 정보의 고도 정보로 너무 높은 고도나 너무 낮은 고도를 가질 경우 2차원의 장애물을 확인하는데 어려움이 따르므로 제거된다. 그러나 높은 고도를 갖는 경우 NLOS로 판정되는 경우에는 그 결과를 인정한다. 그 이유는, 고도가 높아도 NLOS가 발생하는 경우는 그 장애물의 높이가 높음을 나타

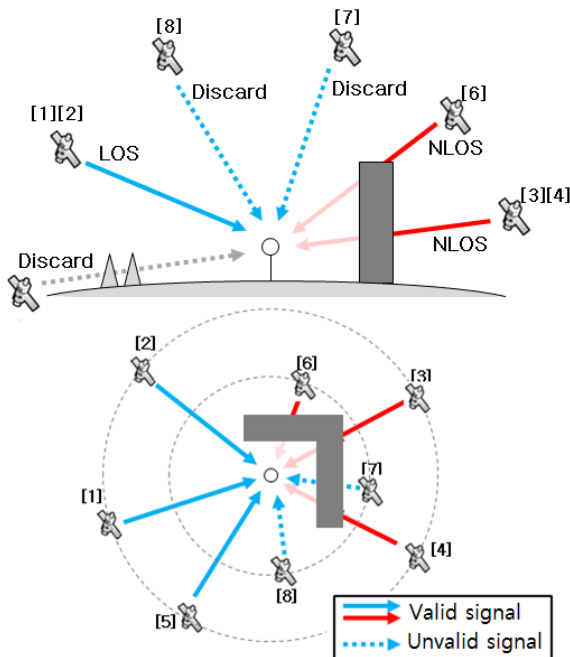


그림 5. GPS 수신기의 위치에 따른 위성 신호의 유효성 판정
 Fig. 5. Determining the validity of the satellite signal depending on the position of the GPS receiver

표 1. 위성의 고도 및 SNR을 이용한 상태 판정 방법
 Table 1. The condition estimating method using elevation and SNR of satellite

Elevation	SNR	Determination
$11 \leq x \leq 45$	$31 \leq \text{SNR}$	LOS
$11 \leq x \leq 30$	$0 \leq \text{SNR} \leq 25$	NLOS
$31 \leq x \leq 45$	$0 \leq \text{SNR} \leq 30$	NLOS
$46 \leq x \leq 90$	$0 \leq \text{SNR} \leq 25$	NLOS
$x \leq 10, 46 \leq x$	-	Discard
$11 \leq x \leq 30$	$26 \leq \text{SNR} \leq 35$	Discard
$31 \leq x \leq 45$	$31 \leq \text{SNR} \leq 35$	Discard

내나, LOS가 발생하는 경우는 장애물이 위성에 비해 낮은지 장애물이 존재하지 않는지 판단하기 어렵기 때문이다. 그림 5는 각 위성의 위치에 따라 나타나는 위성 신호가 유효성에 대한 예를 나타내고 있다. 적정 고도에 존재하는 위성은 SNR을 확인한다. SNR이 0인 경우는 대다수가 NLOS인 경우이며 LOS와의 분기점은 15~20 사이에서 나타난다. 모호한 측정을 극복하기 위하여 같은 위치에서 다수의 정보를 수집하여 판정에 사용한다. 판정의 정확도를 높이기 위해서 오랜 시간 동안 같은 위치에서 정보를 수집하여 충분한 정보를 수집하였다면 SNR로 선택된 LOS/NLOS 가능성을 비교하여 더 높은 쪽으로 결론을 내린다. 표 1은 위성의 고도각과 SNR 값을 이용하여 해당 위성 과 수신기 사이의 상태를 판별하는 표이다.

결론이 난 LOS/NLOS 방향들은 각각 그 영역을 확장하여 선이 아닌 일정 공간을 해당 상태로 추정한다. 이 경우 근접 위성이 자신과 같은 상태를 갖는다면 추가적으로 크게 확장하고, 그렇지 않을 경우 근접 위성으로 적게 확장한다. 확장을 완료하면 GPS 수신기 주변의 LOS/NLOS 영역 구분이 가능해진다. LOS/NLOS 영역 양쪽에 속하지 않는 경우, 해당 지역에 대한 판정은 어려운 상태로 응용에서 사용하지 않는다. LOS/NLOS 영역이 겹칠 경우 겹치는 영역이 최소화되도록 축소한다.

3.3. 측정 신뢰도를 이용하는 위치 측정 시스템

두 위치 측정 시스템의 측정결과에 대한 신뢰도 정보를 이용하여 더욱 정밀한 위치 측정 결과를 얻는 시스템을 제안한다. GPS는 위치 계산 결과로 확인할 수 있는 DOP 정보를 이용하여 측정 오차에 대한 신뢰도를 추정하며, RTLS는 각 장치 간의 LOS/NLOS 상태에 따른 신뢰도를 추정한다.

위치 인식 알고리즘의 구조는 2단계의 전체 위치정보의 계산을 수행한다. 1단계 동작에서 GPS를 통한 장치의 1차적인 위치를 결정하는 단계를 가진다. 그림

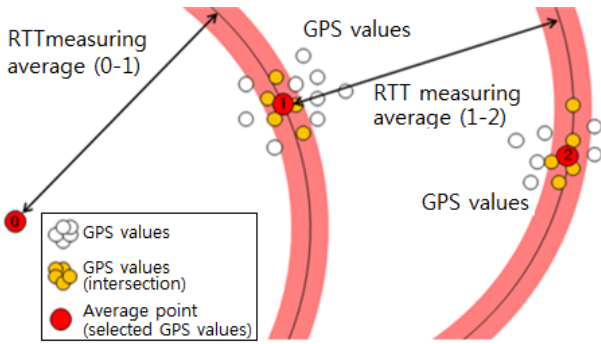


그림 6. 측정 신뢰도를 이용하는 위치 측정 시스템의 1단계 동작 예
 Fig. 6. The example of 1st phase of locating system using measuring reliability

6에서와 같이 신뢰도가 가장 높은 장치로부터 1홉씩 이동하며 GPS 위치정보와 장치간의 거리정보의 평균을 활용하여 위치를 결정한다. 정확한 위치를 아는 고정 리더의 경우 항상 최고 신뢰도를 가지며 보통의 경우 고정 리더에서부터 측정을 시작한다. 이 과정은 다수의 장치에서 함께 진행된다. 위치 결정을 수행하는 중, 위치 정보와 거리 정보가 모순되는 장치를 제외 장치로 결정한다. 또한 장치의 GPS 신뢰도가 낮을 경우나 NLOS 상황으로 연결된 경우 제외 장치가 되며 이러한 장치는 다른 장치의 위치를 결정하지 않는다.

2단계 동작에서는 1차 동작에서 결정된 대략적인 위치정보를 활용하여 삼변측량법을 통한 위치추정을 수행하여 최종위치를 계산한다. 1단계에서 제외된 노드들도 주변 노드의 위치 정보를 이용하여 위치를 계산한다. LOS 상태가 3개 이상 확보되지 못할 경우

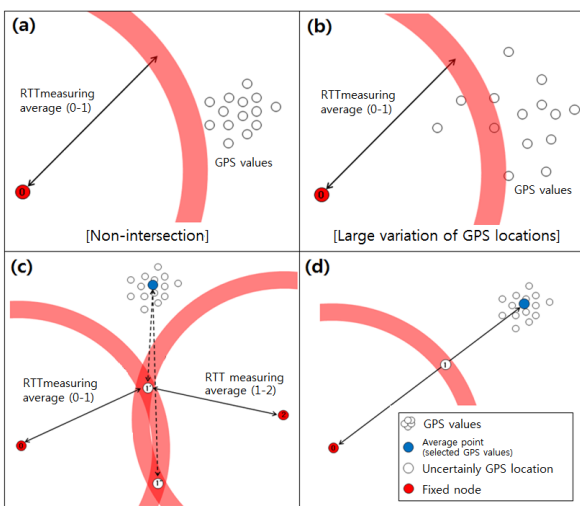


그림 7. 위치 측정시에 발생할 수 있는 예외 상황의 예
 Fig. 7. The example of some exceptions that can occur during the measurement

표 2. GPS 위치 정보의 신뢰도 판별 기법의 평가를 위한 실험 결과
 Table 2. For evaluation of GPS reliability method, test results

	(a)	(b)	(C)	(d)
Maximum DOP value	6.4	50	25.6	0.9
Prediction Error	19.2m	150m	76.8m	2.7m
Measuring Error	19.8m	146.1m	51.6m	6.2m

NLOS 상태의 거리 측정값에서 예상 거리를 감하여 계산을 수행한다. 무선 통신의 연결수가 적은 환경으로 삼변측량이 어려울 경우 교점정보와 오차범위 제한 기법을 이용하여 위치를 결정한다.

알고리즘 동작 시에 2가지의 예외상황이 발생한다. 제외 노드 선정과 삼변측량이 어려운 경우로 그림7에서 나타내었다. 1단계 동작에서 발생하는 (a)는 GPS 측정값과 거리 측정값이 일치하는 경우가 거의 없는 경우이며, (b)는 GPS 위치결과의 분산이 심하여 옳은 위치로 판단할 수 없는 경우이다. 이 때 해당 노드는 제외되고 2단계에서 계산된다. 2단계 동작에서 발생하는 (c)의 경우 삼변측량을 수행할 시 거리정보가 2개만 존재하는 경우로 2개의 후보위치 중 GPS와 거리가 더 가까운 후보를 선택한다. (d)의 경우 거리정보가 1개인 경우로 GPS의 오차가 심할 경우 GPS와 장치의 일직선에서 거리 측정 값 만큼 떨어진 위치를 대상 노드의 최종 위치로 선정한다. 이러한 경우 위치 오차가 상대적으로 크게 발생할 수 있다.

IV. 성능 평가

이 절에서는 GPS 위치 정보와 LOS/NLOS 상태에 따른 거리 측정 정보에 대한 신뢰도 측정 결과에 대해서 성능평가를 수행하고 위치 측정 모의실험을 통해 위치 측정 성능평가를 수행하도록 한다.

4.1. GPS 위치 정보의 신뢰도 판별 기법 평가

GPS 위치 측정 신뢰도 추정 성능평가를 위해서 다양한 환경에서 GPS 수신기를 이용하여 측정을 수행하였다. 실험은 4개의 환경에서 진행되었으며 각 위치에서 3000번의 데이터를 수집하였다. 측정 위치와 실

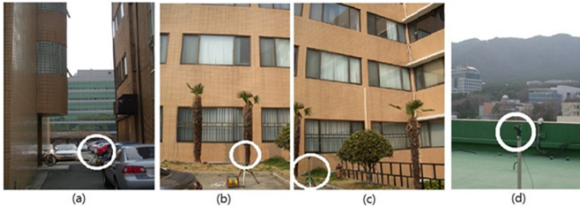


그림 8. GPS 위치 정보의 신뢰도 판별 기법의 평가를 위한 실험 장소
 Fig. 8. For evaluation of GPS reliability method, test environments

제위치는 구글 어스(Google earth)를 이용하여 확인하였다. 그림 8는 4개의 실험 장소를 보여준다. (a)에서 장치는 두 건물의 통로 사이에 배치되었다. (b)에서는 ㄱ형태의 빌딩에서 가운데 지점에 설치가 되었다. (c)는 빌딩의 외벽에 근접한 장소에 설치하였다. 마지막으로 (d)는 건물의 옥상에 설치하였다. (a), (b), (c)의 경우 건물로 인한 무선 신호의 가려지는 현상이 나타나는 장소이며 (d)의 경우 주변에 장애물이 없는 무선 신호를 잘 받을 수 있는 상황이다. 해당 빌딩은 5층 빌딩이며 건물의 높이는 약 15미터 정도이다. 실험에 사용한 GPS 수신기의 측정오차는 2D-RMS 기준으로 3미터 수준이다.

표 3은 해당 실험의 결과를 나타내고 있다. 본 실험에서 체크하는 것은 최대 DOP 값(Maximum DOP value)으로 추정되는 추정오차(Prediction Error)와 실제 위치와 측정 위치를 비교해서 나타나는 위치 오차의 차이를 확인하는 것으로 이루어졌다. 각 위치에서 DOP로 예상한 위치 오차와 실제로 발생한 오차사이의 값이 유사하게 확인됨을 알 수 있다. (d)의 경우 실

표 3. 각 위치에 대한 LOS/NLOS 판별 정답률
 Table 3. Correct rate of LOS/NLOS determine for each position

Satellite	Location 1		Location 2		Location 3	
	Status	Correct Rate	Status	Correct Rate	Status	Correct Rate
S1	NLOS	100.0%	NLOS	100.0%	LOS	100.0%
S2	NLOS	99.9%	NLOS	100.0%	LOS	90.3%
S3	NLOS	100.0%	NLOS	100.0%	LOS	100.0%
S4	LOS	100.0%	NLOS	100.0%	LOS	100.0%
S5	LOS	100.0%	LOS	100.0%	LOS	100.0%
S6	NLOS	100.0%	NLOS	100.0%	LOS	100.0%
S7	NLOS	93.8%	LOS	75.8%	LOS	92.1%
S8	-	-	-	-	LOS	100.0%
S9	-	-	-	-	LOS	100.0%
S10	-	-	-	-	LOS	100.0%
Average		99.1%		96.5%		98.2%

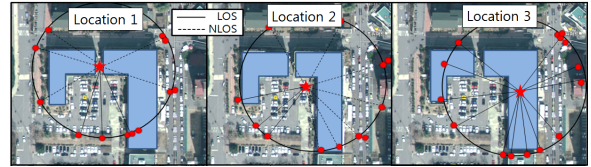


그림 9. 위치에 따른 LOS/NLOS 판정 결과
 Fig. 9. The result of LOS/NLOS estimation from the positions

제 위치오차와 비교한 값의 차이가 있으나 기준 위치로 이용한 구글 어스의 위치 값이 갖는 부정확함이 발생시킨 오차이다.

4.2. 거리 측정 신호의 NLOS판정 기법 평가

장치 간 거리측정 정보의 신뢰성 확인을 위한 LOS/NLOS 상태 판정 기법의 성능평가를 수행하였다. 그림9와 같이 3개의 장소에서 1시간 동안 데이터를 수집한 후 시뮬레이터를 구현하여 LOS/NLOS의 판별 성능을 확인하였다. 실험 환경인 위치 1, 2는 건물로 만들어지는 장애물로 발생하는 LOS/NLOS 판별을 확인하였다. 위치 3은 건물의 옥상으로 주변에 장애물이 없는 무선신호를 잘 받을 수 있는 상황에서 판별을 확인하였다.

실험 결과 그림과 같이 각 장소마다 다양한 방향으로 위성정보가 수신됨을 확인할 수 있었다. 수집된 위성정보 중의 일부는 고도가 너무 높거나 너무 낮아 유효하지 않은 신호값을 가지고 있었다. 유효하지 않은 신호는 LOS/NLOS 상황판별 시 잘못 된 판단을 할 수 있는 가능성이 높으므로 유효하지 않은 값을 제외하고 판별하였다. 그림 6의 조건식을 기준으로 판별한 결과 표3 와 같이 각 위치에서 높은 정답률을 보였고 위치 2의 위성7의 경우 위성이 장애물의 경계지점에 위치해 SNR이 낮게 나온 경우로 비교적 낮은 정답률을 보이고 있다.

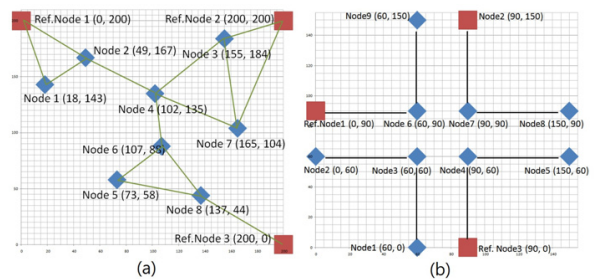


그림 10. 위치 측정 시스템의 모의실험 평가를 위한 장치 토폴로지
 Fig. 10. Topologies of nodes for the locating system simulation

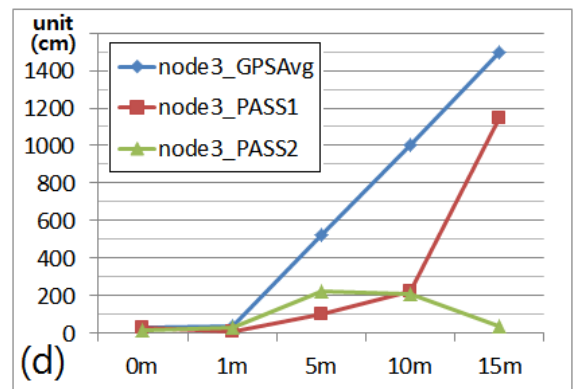
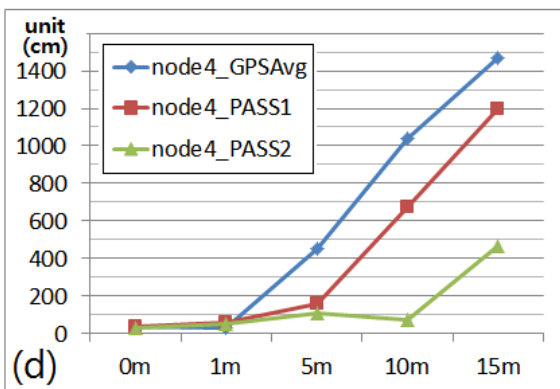
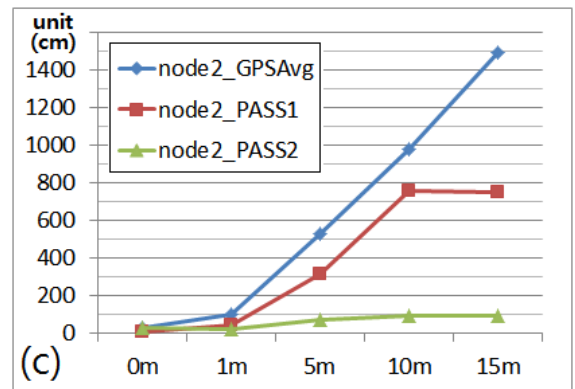
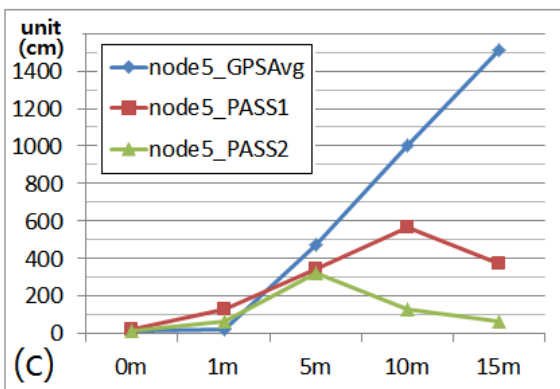
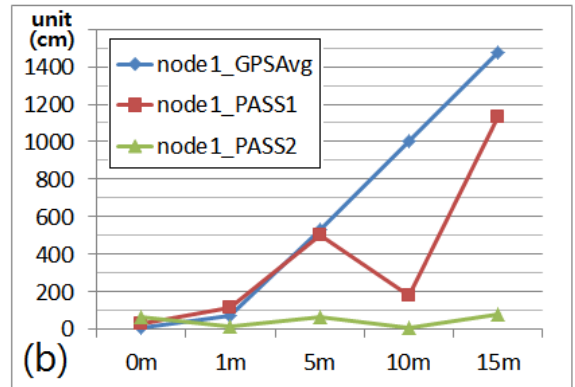
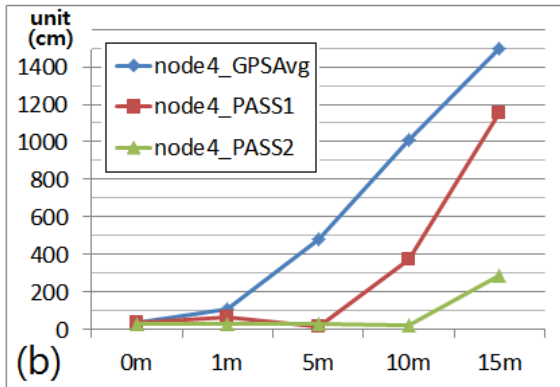
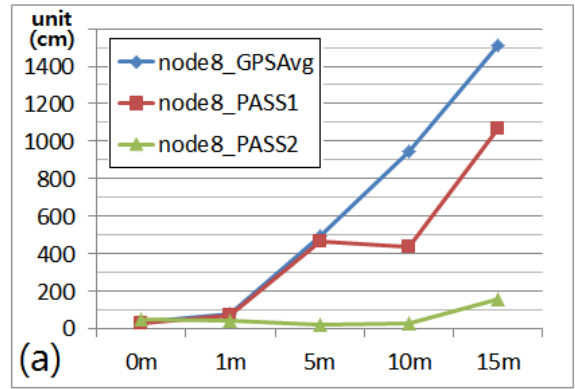
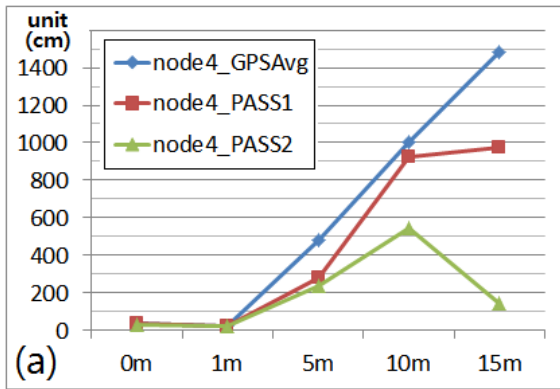


그림 11. 토폴로지(a)에서 실험 조건을 변경하여 수행한 테스트 결과

Fig. 11. Simulation results of topology (a)

그림 12. 토폴로지(b)에서 실험 조건을 변경하여 수행한 테스트 결과

Fig. 12. Simulation results of topology (b)

4.3. 측정 신뢰도를 이용하는 측위 시스템 평가
 측정 신뢰도를 이용하는 위치 측정 시스템을 평가

하기 위하여 모의실험 환경을 구축하고 테스트를 수행하였다. 시스템 엔진과 시뮬레이터를 python으로

구현하였다. 모의실험을 위해서 GPS 데이터에 bias 오차를 발생시켜 GPS의 오차를 파악하고 정밀한 최종 위치 결과를 도출 할 수 있음을 보였다.

그림 10은 모의실험에서 가정하는 2가지 종류의 장치 간 무선통신 토폴로지를 나타내고 있다. (a)의 상황은 3개의 정확한 위치를 아는 리더와 8개의 위치를 모르는 장치를 랜덤하게 배치한 상황이다. (b)에서는 3개의 정확한 위치를 아는 리더와 9개의 위치를 모르는 장치를 도심지를 가정한 격자형태로 배치하였다. 모의실험은 1000회 수행하여 결과를 도출하였다. 1단계 동작에서 GPS선별 임계값은 $\pm 1.5m$, 제외노드 임계값은 10% 이하, 거리 측정 오차는 3m 내외, NLOS 판단 정확도는 95%, NLOS 상황의 거리 보상 배수는 70%, GPS의 분산오차는 10m내외로 바이어스오차는 0/1/5/10/15m로 증가시키며 수행하였다.

그림 11, 12은 각 환경에서 실험한 실험 결과를 나타내고 있다. 그림 11에서 (a)는 오차 값을 갖는 장치가 1번 노드 1개이며 그때의 위치 오차가 해결되는 것을 보이고 있다. 15미터의 GPS 바이어스 오차를 가질 때 장치 4번의 오차는 1.43 미터로 감소하였음을 확인할 수 있다. (b), (c)는 2개의 장치에서 GPS 오차가 발생했을 때의 결과를 보이고 있다. 각 오차 수준은 2.90 미터와 0.65 미터로 나타났다. (d)는 1번, 4번, 7번 3개의 장치에서 오차가 발생했을 때를 나타내고 있다. 그림은 장치 3번에 대한 결과를 나타내고 있으며 측정오차가 4.43 미터로 나타나는 것을 확인하였다. 그림 12의 (a)에서 장치 8번 하나의 오차를 가질 때의 결과를 보이고 있으며 위치오차는 1.61 미터이다. (b), (c)는 마찬가지로 두 개의 노드가 오차를 가질 때 각 노드에서의 위치 오차가 보정되는 것을 보이고 있다. 장치 1과 장치 2은 각각 0.84 미터와 0.93미터의 오차를 가진다. 마지막으로 (d)에서는 3번, 4번, 9번 장치에서의 4번 장치의 위치 측정 결과를 보이고 있다. 최종적으로 연산이 끝났을 경우 0.39 미터의 측정 결과를 갖는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 GPS와 RTLS를 함께 활용하여 위치 측정 성능을 향상시킬 수 있는 위치 측정 기법을 제안하고 평가하였다. GPS와 RTLS는 주변의 장애물의 존재에 따라 위치 측정 성능에 많은 영향을 받는다. 장애물의 존재로 인해 발생하는 NLOS 상태는 위치 측정 결과의 정확도를 크게 저하시키므로 정밀한 위치 측정을 위해 반드시 상태를 파악하고 그 오차를 최

소화 해야한다.

제한한 시스템에서는 GPS가 위치를 계산할 때 활용하는 위성 정보와 계산시 위성 활용에 대한 정보를 가지는 DOP 정보를 이용하여 해당 장치의 GPS 위치 측정 성능과 장치 간의 LOS/NLOS 상태를 파악한다. 각 측정 결과에 대한 예상 오차정도를 파악함으로써 각 위치 결과의 신뢰성을 활용하여 더욱 정밀한 결과를 얻을 수 있는 방법을 활용할 수 있도록 한다. 본 논문에서는 DOP를 이용한 GPS 측정 성능의 신뢰도 추정 방법을 평가 하였으며 예상 오차와 실제오차 사이의 차이가 평균 13.3 미터로 나타남을 확인하였다. 또한 위성 정보를 이용한 LOS/NLOS 상태를 97% 수준으로 파악할 수 있음을 확인하였다. 이러한 신뢰도 측정 기법을 활용하여 위치 측정을 수행한 결과 GPS를 단독으로 활용한 경우에 대비하여 89%의 향상을 확인하였다.

제안하는 기법을 활용하기 위한 응용으로는 측정 대상이 거의 움직이지 않는 환경에서 활용이 가능하다. 이는 적은 이동성을 가지는 장치의 위치 측정이나 다른 위치 측정시스템에서 리더의 초기 위치정보를 설정할 수 있는 응용에 활용가능하다. 앞으로 수행할 연구로써는 각 장치가 조금 더 빨리 각자의 상태를 파악하고 그것을 활용할 수 있도록 하여 이동성이 많은 장치의 위치 측정을 정밀하게 할 수 있도록 해야 할 것이다.

References

- [1] H. Choi, S. Son, and Y. Baek, "Multi-step location system using mobile reader and trajectory information in container port environments," *J. KICS*, vol. 36, no. 12, pp. 966-974, Dec. 2011.
- [2] H. Choi, Y. Jung, and Y. Baek, "Two-step locating system for harsh marine port environments," in *proc. 2011 IEEE Int. Conf. RFID.*, pp. 106-112, April 2011.
- [3] Publications and Standards from the National Marine Electronics Association (NMEA). *National Marine Electronics Association*, Retrieved June, 27, 2008, from <http://www.nmea.org/pub/index.html>.
- [4] R. B. Langley (May 1999). "Dilution of Precision". *GPS World*. Retrieved Oct., 12, 2011, from

- <http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gpsworld.may99.pdf>.
- [5] S. Son, J. Kim, H. Choi, Y. Jung, and Y. Baek, "Design and implementation of a real time locating systems over IEEE 802.15.4a radio for port logistics," in *proc. Int. Conf. Inform. Techn.: New Generations (ITNG)*, pp. 1183-1188, Apr. 2010.
- [6] Nanotron, *nanoLOC TRX Transceiver (NA5TR1) User Guide Ver.1.02 (NA-06-0239-0385-1.02)*, Retrieved from <http://www.nanotron.com>.
- [7] *IEEE 802.15 WPAN Low Rate Alternative PHY Task Group 4a (TG4a)*, Retrieved Mar., 2008, from <http://ieee802.org/15/pub/TG4a.html>.
- [8] H. Cho, H. Choi, W. Lee, Y. Jung, and Y. Baek, "Design and implementation of a smart tag system for IT-based port logistics," *Lect. Notes Comput. Sc.*, vol. 4159/2006, vol. 4159, pp. 32-43, Sep, 2006.
- [9] Y. Chan, Y. C. Hang, and P. Ching, "Exact and approximate maximum likelihood localization algorithms," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 55, iss. 1, pp. 10-16, Jan, 2006.
- [10] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan "The cricket location-support system," in *proc. ACM Int. Conf. Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp. 32-43, Aug, 2000.
- [11] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A simple and efficient estimator for hyperbolic location," *IEEE Trans. Signal Proces.*, pp. 1905-1915, Vol. 42, no. 8. Aug. 1994.
- [12] J. Borras, P. Hatrack, and N. Mandayam "Decision theoretic framework for NLOS identification," in *proc. IEEE VTC 98.*, pp. 1583-1587. May, 1998
- [13] RA. Saeed, S. Khatun, BM. Ali, and MA. Khazani "Ultrawideband(UWB) geolocation in NLOS multipath fading environments," in *proc. IEEE Int. Conf. Commu.*, pp. 1068-1073, Nov, 2005.
- [14] Y-H. Jo, J-Y. Lee, D-H. Ha, and S-H. Kang "Accuracy enhancement for UWB indoor positioning using ray tracing." in *proc. IEEE/ION Position, Location, And Navigation Symp.*, pp. 565-568, Apr, 2006
- [15] M. Heidari, FO. Akgul, and K. Pahlavan "Identification of the absence of direct path in indoor localization systems," in *proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications*, pp. 1-6, Sep, 2007.
- [16] K. Yu and YJ. Guo "NLOS error mitigation for mobile location estimation in wireless networks," in *proc. IEEE VTC 2007-Spring.*, pp. 1071-1075, Apr, 2007.
- [17] S. Venkatesh and R. M. Buehrer "NLOS mitigation using linear programming in ultrawideband location-aware networks," *IEEE Trans Veh Technol*, vol. 56, no. 5, pp. 3182-3198, Sep, 2007.
- [18] J. Schroeder, S. Galler, K. Kyamakya, and T. Kaiser "Threedimensional indoor localization in non line of sight UWB channels." in *proc. IEEE Int. Conf. on Ultra-Wideband (ICUWB)*, pp. 89-93, Sep, 2007
- [19] H. Choi, S. Son, and Y. Baek, "Multi-step location system using mobile reader and trajectory information in container port environments," *J. KICS*, vol. 36, no. 12, pp. 966-974, Dec. 2011.

손 상 현 (Sanghyun Son)



2007년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 공학학사
 2009년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2009년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> RFID, 센서 네트워크, 임베디드시스템, indoor/outdoor RTLS

최 훈 (Hoon Choi)



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 공학학사
2007년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 공학석사
2013년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 공학박사 (예정)
<관심분야> 센서 네트워크, 임
베디드시스템, Real Time Locating System

조 현 태 (Hyuntae Cho)



2005년 2월 부산대학교 컴퓨
터공학과 공학석사
2011년 2월 부산대학교 컴퓨
터공학과 공학박사
2011년 3월~2012년 부산대학
교 차세대물류IT기술연구사
업단 연구교수

2012년~현재 KAIST 스마트IT융합시스템연구단 연
구교수
<관심분야> 무선 비디오 센서 네트워크, 대규모 능
동형 RFID, 임베디드 시스템

백 윤 주 (Yunju Baek)



1990년 2월 한국과학기술원
전산학과 공학학사
1992년 2월 한국과학기술원
전산학과 공학석사
1997년 2월 한국과학기술원전
산학과 공학박사
1999년~2002년 NHN기술연구

소 소장
2003년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 정교수
<관심분야> RFID, 센서 네트워크, 임베디드시스템,
시각동기, RTLS