http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.11.2261

GIS 정보를 이용한 향상된 모바일 GPS 측위 기법

정 길 섭◆, 공 승 현°

GIS Based Advanced Positioning Technique for Mobile GPS

Gil-Seop Jeong◆, Seung-Hyun Kong°

요 약

GIS(Geographic Information System) 기반 측위 기법은 기존의 GPS 측위보다 향상된 측위 정확도를 갖기 위해 지리정보를 측위에 이용하는 기법이다. 차량이 높은 건물들이 많은 도심환경을 지나갈 때는 다중경로와 같은 채널환경으로 인해 GPS 측위 오차가 수백 미터에 이르기도 하는데, 제안 하는 GIS 기반 측위 기법은 특히 이러한 도심환경에서 오차를 보정할 수 있는 기법이다. 구현을 위해서는 모바일 GPS 외에 위성궤도정보(Ephemeris & Almanac) 서버와 GIS 서버가 추가로 구성된다. 본 논문에서는 제안하는 기법은 모바일 GPS의 NMEA-0183 출력 데이터를 이용하여 의사거리를 역으로 추정하고 이와 함께 항법 위성 궤도 정보와 GIS 정보를 이용하여 GIS 기반 측위기법을 통해 최종 위치를 추정한다.

Key Words : Mobile GPS, GIS, Pseudorange Inverse Estimation, Virtual Satellite, NMEA

ABSTRACT

GIS(Geographic Information System) based Positioning technique uses geographic information to predict which satellites are visible or invisible. GPS positioning has poor positioning accuracy in dense urban area where tall buildings block the satellite signals. In this paper, we proposed GIS based Advanced Positioning technique of Mobile GPS to resolve this problem. Particularly, this technique improves positioning accuracy in dense urban area. It is consist of ephemeris and GIS server. We will inversely estimate pseudorange by using NMEA-0183 output data of mobile GPS. After that, we can find more accurate position by using ephemeris and GIS information.

Ⅰ. 서 론

오늘날 차량용 항법장치(Car Navigation Device, CND)를 비롯한 GPS의 활용범위가 점차 넓어지고 측위 정보를 이용한 서비스가 시장을 확대해 나갈수록 보다 정확하고 신뢰성 있는 측위 기술의 확보가 필수적이게 되었다.

오랜 기간 동안 GPS 수신기의 측위 능력 향상을 위한 많은 연구가 되어왔다. 가장 대표적인 기술로 결정적 오차(deterministic error)를 보정하는 기법인 DGPS(Differential GPS)를 들 수 있다. DGPS는 원래 SA를 제거하기 위한 기술로 1980년대 말부터 연구 및 개발되었지만, 2000년 SA가 사라지면서 기존 GPS의 정확도를 보다 높이기 위한 민간 기술로 발전하였다. 이뿐만 아니라 GPS의 고속 신호 처리 능력을 위해 개발된 미국 퀄컴(Qualcomm)의 A-GPS(network

※ 본 연구는 한국연구재단이 선정하여 지원하는 중견연구자지원사업 2013R1A2A2A01067863 지원으로 수행되었습니다.
◆ First Author : Department of CCS Graduate School for Green Transportation, Korea Advanced Institute of Science and Technology, kilsup@kaist.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Department of CCS Graduate School for Green Transportation, Korea Advanced Institute of Science and Technology, skong@kaist.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2015-07-229, Received July 17, 2015; Revised November 13, 2015; Accepted November 13, 2015

assisted GPS) 기술과 미국 Sirf 사의 고감도(high sensitivity) GPS 기술이 바로 차량용 항법장치와 같은 모바일 GPS 위치 신뢰성 향상을 이끈 대표적인 기술이다[1,2].

본 논문에서는 특히 차량용 항법장치, 스마트폰과 같은 모바일 GPS에서 칩 의존성에서 벗어나 GIS 정보를 이용하여 측위능력을 향상 시킬 수 있는 기법을 제안한다. 현재 모바일 GPS는 NMEA(National Marine Electronics Association)에서 정의한 프로토콜 중 GPS 통신을 위한 프로토콜인 NMEA-0183을 사용한다. NMEA는 해양 전자공학 산업의 발달과 교육을 위해 모인 비영리 단체이다. 이곳에서 항행을 위한 해양 전자 장비들의 통신을 위한 인터페이스 프로토콜을 NMEA 표준으로 정하였으며, 이중 GPS 통신을 위해 사용되는 표준이 바로 NMEA-0183이다. 이를 이용하여 GPS 측위 정보를 필요로 하는 간단한 장비인 자이로컴퍼스, 모바일 GPS, 나침반, 관성항법장치(Inertial Navigation System, INS)에 응용되어 사용되어 왔다. 문제는 모바일 측위 정확도 향상을 위해서는 우선 칩 의존성에서 벗어나야 하는데, 이는 현재 모바일 단말기에서 출력되는 NMEA-0183 프레임에는 GPS 수신기의 위치 정보, 항법 위성 상태정보, 속도, 시간 등으로 아주 간략하게만 구성되어 있다는 점이다. 즉, 단말기 내에서 하드웨어, 신호처리 및 소프트웨어 알고리즘을 API(Application Program Interface)를 통해 최종 출력된 위치 관련 데이터만 얻을 수 있기 때문에 추가적인 알고리즘을 구현하는 것이 제한적이다. 따라서 높은 건물들이 많은 도심환경에서는 하드웨어나 기타 신호처리 방법을 통해 다중경로 환경을 완화시키는 일반 GPS 단말기에 비해 추가적인 알고리즘 구현이 힘든 모바일 단말기는 칩이 낼 수 있는 성능 이상을 기대하기 힘들다. 그러므로 모바일 단말기 칩에 의존하지 않고 측위 능력을 향상시킬 수 있는 방법이 필요하다.

또한 모바일은 제조업체 도움 없이는 추가 하드웨어나 신호처리를 할 수 없을 뿐만 아니라 의사거리(Pseudorange)나 신호 송신 시각(Transmit time)에 대한 정보가 없기 때문에 항법 위성 정보 이외의 정보를 이용하여 측위 정확도 향상을 위한 방법이 필요하다. 특히 GIS (Geographic Information System) 정보를 이용하여 측위 정확도를 향상시키기 위한 방법들이 연구되어 왔는데, 고도 정보를 이용한 'Altitude aiding'과 3D 건물 모델을 이용한 'Shadow matching'이 대표적이다[3,4]. Altitude aiding 기법은 측위 지점 일대의 고도 정보를 이용하여 지구 중심에 가상위성을 두어 고도의 정확도 향상을 통해 위치오차를 보상하는 방법이다. 이 기법은 도심환경 뿐만 아니라 일반적인 환경 모두에서 적용 가능한 기법이지만 다중경로를 직접 보상하기 위한 기법은 아니기 때문에 도심환경에서 측위 정확도의 많은 향상을 기대하기는 어렵다. 또한 각 위성의 의사거리 (Pseudorange)를 알 수 없기 때문에 모바일에 적용하는 것은 힘들다. 반면에 Shadow matching은 모바일 환경에서 도심환경에서의 측위 향상을 위한 기법이다. 단독 측위 (Stand alone positioning)으로 얻어진 기존의 GPS 측위 결과를 기준으로 Shadow matching 위치해를 찾을 주변 영역을 설정하고, 영역 내의 각 위치에서 3D 건물 모델을 이용하여 위치별 가시 (Line of sight, LOS) 위성과 비가시 (Non-line of sight, NLOS) 위성을 구조적으로 구분한 다음 모바일 단말의 NMEA 결과와 비교하고, 이를 점수화 하여 높은 점수의 위치를 최종 추정 위치로 결정하는 기법이다. 하지만 LOS 위성와 NLOS 위성 비교를 정수를 이용한 점수화와 기존 GPS 출력결과를 배제하고 단순히 최고점수를 최종 추종하였다는 측면에서 다양한 원인에 의한 위성 신호 세기의 변화로 인해 전혀 다른 위치를 최종 추정하여 더욱 오차를 증가 시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 모바일에서 출력되는 NMEA 프로토콜 프레임 내의 정보와 A-GPS (Assisted GPS) 서버로부터 전송 받은 위성궤도정보 (Ephemeris)를 이용하여 '의사거리 역추정 알고리즘'을 통해 각 위성의 송신시각과 의사거리를 추정하여 모바일 칩 의존성을 배제하였으며, 건물이 밀집한 도심 환경에서 다중경로를 보상해 주기 위해 GIS 정보를 이용하여 3D 건물 모델을 형성하고, 수신된 측위 위성 신호의 세기 (Signal to noise ration : SNR)를 이용하여 LOS/NLOS 위성을 구별하여 이를 통해 형성된 음영지역을 지나는 도록하는 가상 위성을 형성하고, 최소자승기법 (Least Square, LS)을 이용하여 기존 GPS 출력 위치 해를 보정한다. 이를 통해 이론적으로 건물이 밀집한 실외 도심지역에서도 건물에 의해 다중경로 환경에 노출된 신호 방향의 측위 오차를 최소한 건물과 건물 사이의 거리의 절반에 해당하는 거리를 넘지 않는 범위 이내로 할 수 있는 수준으로 정확도를 향상 시킬 수 있다. 다중경로로 인한 측위 오차를 200m 이상 발생할 수 있는 측면을 고려했을 때, 최소 절반 이상 정확도를 향상 시킬 수 있다.

Ⅱ. 본 론

2.1 시스템 구성

모바일 GPS에서는 API(Application Program Interface)를 통해 출력 되는 데이터가 Table 1과 같이 수신 시각이나 간략한 사용자 위치 정보만을 제공하는 NMEA-0183 프로토콜을 따르므로 정보가 한정적이다. 이로 인해 소프트웨어로 추가적인 알고리즘을 구현하여 측위 성능 향상하기에는 제한이 따른다. 이는 DGPS를 포함하여 측위 성능 향상을 위한 알고리즘의 대부분이 의사거리(Pseudorange)를 필요로하기 때문이며, 이에 따라 적용의 한계가 있어왔다.

따라서 본 논문에서는 의사거리 역추정 알고리즘을 통해 이를 대략적으로 추정하여 복원한 뒤, GIS 정보를 이용하여 측위 능력 향상 기법을 적용한다. 이러한 위치 보정 알고리즘 전체 시스템 구조는 Fig. 1에 간단히 나타나 있으며, 이와 함께 알고리즘의 블록다이어그램은 Fig. 2에 나타나 있다.

앞서 언급한대로 Fig. 1은 위치 보정 알고리즘 전체 시스템 구조를 나타내는 그림이다. GPS 측위 성능 향상을 위해 추가적인 정보를 이용하므로, 기존에

표 1. NMEA-0183 출력 메세지
Table 1. NMEA-0183 Output Messages

Output Type	Description	Example
GGA	Time, Location.	$GPGGA,161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1,07,1.0,9.0,M,,,,0000*18
GLL	Latitude, longitude, UTC time of position fix and status	$GPGLL,3723.2475,N,12158.3416,W,161229.487,A,A*41
GSA	GPS receiver operating mode, satellites used in the position solution, and DOP values	$GPGSA,A,3,07,02,26,27,09,04,15,,,,,,1.8,1.0,1.5*33
GSV	The number of GPS satellites in view satellite ID numbers, elevation, azimuth, and SNR values	$GPGSV,2,1,07,07,79,048,42,02,51,062,43,26,36,256,42,27,27,138,42*71
VTG	Course and speed information relative to the ground.	$GPVTG,309.62,T,,M,0.13,N,0.2,K,A*23

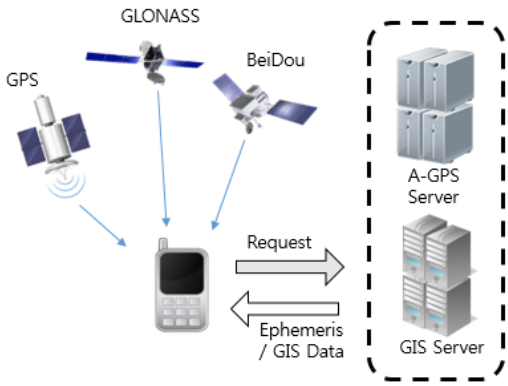


그림 1. 제안하는 알고리즘의 시스템 구조
Fig. 1. System structure of Proposed algorithm

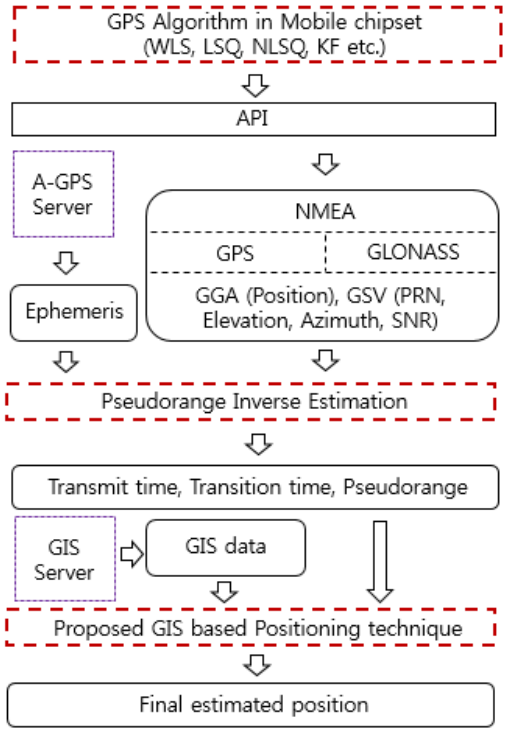


그림 2. 제안하는 알고리즘의 블록 다이어그램
Fig. 2. Block Diagram of Proposed algorithm

GPS, GLONASS BeiDou를 비롯한 GNSS(Glabal Navigation Satellite System) 뿐만 아니라 항법 위성 궤도정보(Ephemeris & Almanac)를 받기 위한 A-GPS 서버, GIS 정보를 받기 위한 GIS 서버를 필요로 한다[3,4].

전체적인 알고리즘의 흐름을 살펴보면 Fig. 2의 첫 번째 블록은 우선 모바일 GPS에 내장된 칩 내에서 하

드웨어 및 소프트웨어 신호처리를 비롯하여 가중최소자승기법(Weighted Least Square, WLS), 칼만필터(Kalman Filter, KF)와 같은 특정 위치 추정 알고리즘을 통해 측위 결과 형성을 나타낸다.

이후 구해진 측위 항법 결과들이 API를 통해 NMEA-0183 프로토콜 형태로 출력이 되며, 이때 측위 결과를 위해 사용된 항법 위성의 목록을 이용하여 A-GPS 서버를 통해 항법 위성별 위성궤도정보를 제공받게 되면, 이를 이용하여 의사거리 역 추정 알고리즘을 통해 항법 위성별 의사거리, 전송시간, 전달시간 등을 복원한다.

끝으로 모든 GIS 정보를 이용하여 처리하기에는 데이터 용량이 매우 클 뿐만 아니라 연산속도가 늦어지므로, GIS 서버에서 NMEA로부터 출력된 위치를 기준으로 대략 200m 반경 이내의 GIS 정보만을 받아와 GIS 정보 기분 위치보정 알고리즘을 수행하며, 최종적으로 이를 통해 기존의 모바일 GPS 측위 결과보다 향상된 위치 정확도를 제공하게 하게된다.

2.2 의사거리 역 추정 알고리즘

의사거리 역 추정 알고리즘은 정보가 제한된 NMEA만을 이용하여 역으로 항법 위성별 의사거리, 전송시간, 전달시간 등을 추정 복원하는 알고리즘이다. 한정된 정보만을 이용하여 추정하기 때문에 한 가지 중요한 가정을 하게 되는데, 이는 모든 항법 위성에서 전달되는 신호를 Fig. 2처럼 직접 전달되는 신호(Line of Sight signal, LOS signal)로 가정한다는 것이다. 이러한 가정을 하면, 수신시각과 Ephemeris 정보를 이용하여 의사거리 역 추정을 할 수 있게 된다.

의사거리를 역 추정하기 위한 기법은 크게 위성궤도정보(Ephemeris)를 이용하여 위성위치를 복원하는 방법과 NMEA의 위성 배치정보인 고도각(Elevation) 및 방위각(Azimuth)을 이용하여 위성위치를 복원하는 방법으로 나뉜다. 전자의 경우가 본 논문에서 언급하는 의사거리 역추정 알고리즘으로써 반드시 위성궤도정보를 받아올 수 있는 추가적인 서버를 요구하지만 상대적으로 정확한 위성의 위치를 추정할 수 있다. 후자의 경우는 단지 정수로 표현 된 고도각 및 방위각을 이용한 위성위치 추정으로 위성위치 추정에 매우 큰 오차 한계가 존재하므로 본 고에서 배재하였다[5].

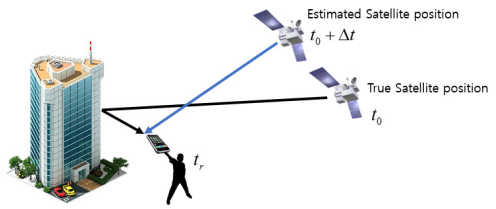


그림 3. 제의사거리 역추정 알고리즘 개념도
Fig. 3. Conceptual diagram of Pseudorange inverse estimation algorithm

의사거리 역 추정 알고리즘은 총 3단계의 추정을 통해 수행된다. 간략히 각 단계 별로 먼저 알아보면, 1차 추정을 통해 송신시각의 항법 위성의 위치를 대략적으로 추정하고, 이와 관련한 전파 거리를 파악한다. 이후 2차 추정을 통해 1차 추정에서 구한 전파거리를 다시 전달 시간으로 변환한 뒤 자유공간(Free space)가 아닌 대기를 통해 직접 전달되는 전달지연시간을 구하기 위해 전리층 전달지연(Ionospheric delay)과 대류층 전달지연(Tropospheric delay)을 추가한다. 이때 전리층 전달지연과 대류층 전달지연과 관련한 정보는 Ephemeris 정보를 통해 얻을 수 있다. 이렇게 구해진 전달 지연시간을 이용하여 마지막으로 3차 추정을 통해 최종 항법 위성 위치를 추정하게 된다. 여기서 주의할 점은 다중경로로 인해 의사거리가 길어질 때 항상 수신기와의 상대거리가 길어지는 것이 아니라, 수신기와 상대적으로 다가오는 항법 위성의 경우에는 추정 위성이 실제 위치보다 보다 멀리 추정 될 수 있으며, 반대로 상대적으로 멀어져 가는 항법 위성의 경우 추정 위치가 보다 실제 위치보다 가까울 수 있다. 이를 다음에서 각 단계에 맞춰 자세히 알아보도록 한다.

먼저 1차 추정인 시각 t_0에서 수신된 각 항법 위성 위치를 추정하기 위해서 NMEA에서 출력된 위치 정보인 위도 (Longitude), 경도 (Latitude)를 ECEF (Earth-Centerd Earth_Fixed) 좌표계로 변환하여 $[x, y, z]$로 나타내며, UTC (Universal time)를 GPST (GPS time)로 변환한다. 이 때 출력된 수신기 위치 $\hat{X}_u$를 식(1)과 같이 정의하고, 항법 위성 별 송신시각을 t^n 이라 할 때, 항법 위성궤도정보를 이용하여 추정한 항법 위성의 위치 $\hat{X}_s^{(i,n)}$를 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\hat{X}_u(t_0) = [\hat{x}_u(t_0), \hat{y}_u(t_0), \hat{z}_u(t_0)] \quad (1)$$

$$\hat{X}_s^{(i,n)}(t^n) = [x_s^{(i,n)}(t^n), y_s^{(i,n)}(t^n), z_s^{(i,n)}(t^n)] \quad (2)$$

이 때 i 는 추정 단계에 대한 인덱스(index)이며, $n = \{1, ..., N\}$은 항법 위성 번호에 해당한다. 또한 항법 위성 별 전달 시간을 $\tau^{(i,n)}$으로 정의한다.

고도각에 따라 항법 위성의 전달 거리가 다르기 때문에, 우선 1차 추정으로 NMEA에서 출력 된 항법 위

성 별 고도각 을 이용하여 자유공간 (Free space)에서의 신호 전파를 가정하여 대략적인 항법 위성 별 전달시간 $\tau^{(1,n)}$을 계산한다. Fig. 4와 같이 지평선 (고도각 0^o)으로부터 오는 측위 항법 위성 신호는 자유공간에서 대략 0.086(sec), 머리 위 (고도각 90^o)로부터 오는 측위 항법 위성 신호는 대략 0.668(sec) 정도의 전달 지연시간으로 계산된다. 따라서 1차 추정 항법 위성 별 위치는 (3)과 같다.

$$\hat{X}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)}) = [\hat{x}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)}), \hat{y}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)}), \hat{z}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)})] \quad (3)$$

이를 이용하여 1차 추정의 목표인 초기 추정 전파거리 $d^{(1,n)}$을 구하면 (4) 과 같다.

$$\| \hat{X}_u - \hat{X}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)})\| = ((\hat{x}_u(t_0)-\hat{x}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)}))^2 + (\hat{y}_u(t_0)-\hat{y}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)}))^2 + (\hat{z}_u(t_0)-\hat{z}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)}))^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

이후 1차 추정으로 구한 전파거리 $d^{(1,n)}$에 전리층 지연과 대리층 지연을 (5)와 같이 추가하여 항법 위성 별 2차 추정 전달지연 시간 $\tau^{(2,n)}$을 구한다.

$$\tau^{(2,n)} = \frac{\{\| \hat{X}_u - \hat{X}_s^{(1,n)}(t_0-\tau^{(1,n)})\| + I^n + T^n\}}{c} = \frac{d^{(1,n)} + I^n + T^n}{c} \quad (5)$$

최종적으로 2차 추정을 통해 구한 전달지연 시간 $\tau^{2,n}$을 이용하여 항법 위성 별 위치를 $\hat{X}_s^{(3,n)}(t-\tau^{(2,n)}) = [\hat{x}_s^{(3,n)}(t-\tau^{(2,n)}), \hat{y}_s^{(3,n)}(t-\tau^{(2,n)}), \hat{z}_s^{(3,n)}(t-\tau^{(2,n)})]$와 같으며, 항법 위성 별 의사거리 ρ_n은 (6)과 같다.

$$\rho_n = \| \hat{X}_u - \hat{X}_s^{(3,n)}(t_0-\tau^{(2,n)})\| = \{ (\hat{x}_u(t_0)-\hat{x}_s^{(3,n)}(t_0-\tau^{(2,n)}))^2 + (\hat{y}_u(t_0)-\hat{y}_s^{(3,n)}(t_0-\tau^{(2,n)}))^2 + (\hat{z}_u(t_0)-\hat{z}_s^{(3,n)}(t_0-\tau^{(2,n)}))\}^{1/2} \quad (6)$$

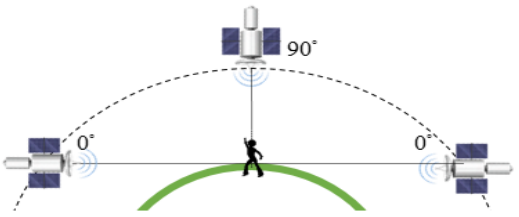


그림 4. 고도각에 따른 GPS 위성의 위치
Fig. 4. The Position of the GPS satellilte according to elevation angle

이렇게 해서 지금까지 의사거리 역 추정 알고리즘을 통해 항법 위성 별 의사거리 ρ_n을 복원하는 기법에 대해 알아보았다. 이와 같이 정보가 제한된 NMEA만을 이용하더라도 LOS 신호를 가정할 경우 Ephemeris를 통해 어느 정도 정확한 위성의 위치를 재 추정할 수 있으며, 신호처리를 위해 사용할 수 있는 의사거리를 복원할 수 있다.

의사거리 역 추정 알고리즘은 이후 소개될 GIS 정보 기반 위치보정 알고리즘뿐만 아니라 의사거리가 출력되지 않는 모바일 GPS에서 의사거리를 복원하여, 의사거리를 이용하여 측위성능을 향상시키는 DGPS, WLS와 같은 여러 위치 추정 기법 적용을 가능하도록 하는 유용한 기법이다.

2.3 GIS 기반 측위 기법

GIS(Geographic Information System) 기반 측위 기법이란 말 그대로 지리정보를 측위 기법에 이용한다는 의미이다[6]. 본 논문에서는 위성의 위치와 건물 정보를 이용하여 Fig. 5와 같이 LOS와 NLOS 신호의 위성을 구별하고, 이를 가공하여 만든 정보로 가상위성을 형성한 다음 건물에 의한 다중경로(Multipath)를 보상하는 기법을 제안한다[7].

제안하는 GIS 기반 측위 기법은 앞서 언급한 것처럼 Fig. 1과 같이 모바일 단말이 외에 A-GPS 서버와 GIS 서버가 추가로 구성된다. 모바일 GPS에서 서버로 측위에 사용된 항법 위성 정보와 추정 위치를 전송함으로써 위성궤도정보와 GIS 정보를 요청하면, A-GPS Server에서는 요청한 위성에 해당하는 Ephemeris & Almanac과 추정 위치 주변의 GIS 정보를 전송한다. 모바일 GPS는 수신한 항법 위성 궤도

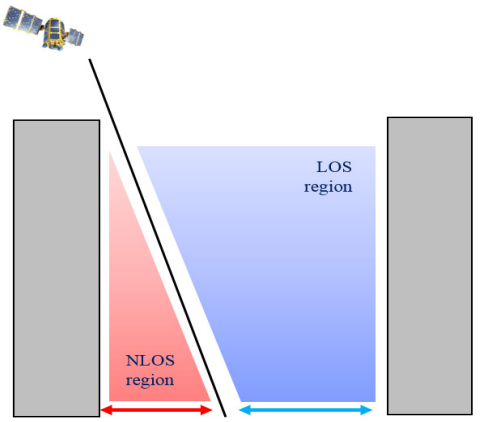


그림 5. GIS기반 측위 개념도
Fig. 5. Conceptual diagram of GIS based Positioning

정보와 GIS 정보를 이용하여 위치보정 알고리즘을 통해 최종 위치를 추정한다. 이때 GIS 서버를 통해 전달되는 정보가 실제 건물 및 주변 환경을 구체적이고 정확하게 반영할수록 측위 단계에서 형성하는 3D map이 실제와 가까워지고 이에 따라 기법의 정확도 개선이 더욱 가능합니다. 다만 이는 GIS 서버 구축 비용 및 데이터 트래픽의 증가로 이어져, 정확도와 비용간 트레이드 오프는 추후 계속해서 연구되어야 할 과제입니다.

본 고에서 제안하는 GIS 기반 측위 기법은 건물의 위치, 높이, 너비, 폭 정보를 통한 육면체의 건물로 3D map을 구성하며, 앞서 설명한 의사거리 역 추정 알고리즘과 마찬가지로 3 단계로 측위 기법이 진행된다. 먼저 1 단계에서 모바일 GPS에서 출력된 NMEA 초기 위치추정을 이용하여 GIS 정보 탐색을 하기 위한 후보 영역을 설정하고, 2단계에서 GIS 정보와 위성 위치를 이용하여 LOS, NLOS를 구분하고 이를 이용하여 가상 위성을 설정하여, 마지막으로 최종적으로 가중최소자승기법(Weightled Least Square)를 이용하여 위치추정을 한다. 설명에 앞서 언급한 Server환경이 구축 된 상태에서 Fig. 6과 같이 건물 사이를 지나가는 차량 네비게이션 환경을 가정한다. 따라서 차량 주위의 건물 정보와 모바일 GPS에서 출력되는 항법 위성 정보를 Ephemeris 형태로 보유하고 있는 상황 역시 함께 가정한다.

2.3.1 초기 위치추정을 이용한 후보 영역 설정

Fig. 6과 같이 건물들 사이로 지나가는 차량의 네비게이션에서 수신되는 항법 위성의 신호는 높은 건물들에 의해 반사와 굴절 같은 다양한 영향으로 다중경로(Multipath) 및 페이딩(Fading)되어 수신되기 때문에 모바일 GPS 단독 측위의 경우 오차가 200m 이상 날 수 있다. 하지만 이러한 단독 측위 결과와 주변 건물의 높이와 너비를 이용하면, Fig. 5와 같이 항법 위성의 위치에 따라 차량이 위치할 영역을 구분할 수 있게 된다. Fig. 7의 W_{Tot} 만큼 떨어진 두 건물이 있다고 가정했을 때, (a)와 같이 건물 뒤편에 보이는(LOS) 위성 중 가장 고도각이 낮은 위성을 이용하면 건물 앞에 얼마나 가까이에 있을 수 있는지에 대한 위치 영역 정보 ($W_1 = h_1 \tan\theta_1$)가 생기며, 반대로 Fig. 7의 (b)와 같이 그 위성보다 낮아 건물에 가려 보이지 않는 위성을 이용하면 건물 앞에서 얼마나 멀리 있을 수 있는지에 대한 위치 영역 정보($W_2 = h_1 \tan\theta_2$)가 생긴다. 따라서 이 두 위성을 이용하면 Fig. 7의 (c)와 같이 모바일 GPS가 탑재된 차량이 위치 할 수 있는 위치 영역 ($W_2 - W_1$)을 건물 앞에 건물과 나란한 방향으로 형성할 수 있다. 만약 $W_2 > W_{Tot}$인 경우에는 최대 맞은편 건물까지 위치할 수 있으므로 $W_{Tot} - W_1$ 만큼의 위치 영역을 형성 할 수 있다. 따라서 후보 영역 설정 시 건물 뒤편의 위성을 이용하기 때문에 결국 건물과 나란하게 후보영역이 형성이 된다. 이론적으로 건물에 의해 다중경로 환경에 노출된 신호 방향의 측위 오차를 최소한 후보 영역 $W_2 - W_1$ 이내로 줄일 수 있다.

2.3.2 후보 영역을 이용하여 가상 위성 설정

Fig. 7에서와 같이 건물과 나란하게 형성된 후보 영역이 만들어지면, 가상 위성(Virtual satellite)을 설정하기 위해서 이 영역을 횡단하는 선을 그을 수 있다. 이는 Fig. 6에도 잘 나타나있다. 그리고 이 선을 접선으로 하는 큰 원을 형성하며, 큰 원의 반지름은 이후 가상 위성의 의사거리로, 원의 중심을 가상 위성의 위치로 설정한다.

2.3.3 최종 위치 추정

의사거리 역 추정 알고리즘을 이용하여 추정한 N개의 위성 위치와 의사거리 그리고 GIS 정보 기반을 통해 형성한 가상위성(VS)을 포함하여 N+1개의 위성을 이용해 최종 위치를 추정한다. 본 논문에서는 간단하게 (7)와 같이 의사거리의 최소자승기법을 통해 구현하였다[8,9].

$$\rho_n = \sqrt{((\hat{x}_n - x_u)^2 + (\hat{y}_n - y_u)^2 + (\hat{z}_n - z_u)^2} + b_u \qquad (7)$$

해를 구하기 위해서 선형화 (Linearization) 하여 (8)와 같이 정리한다.

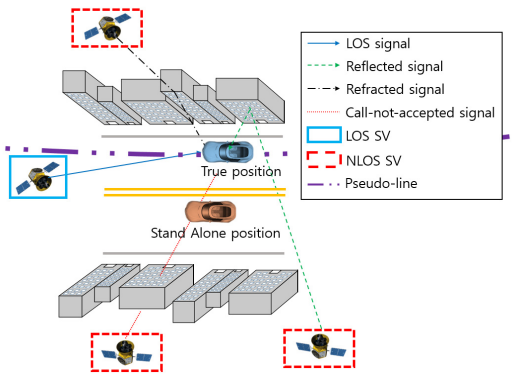
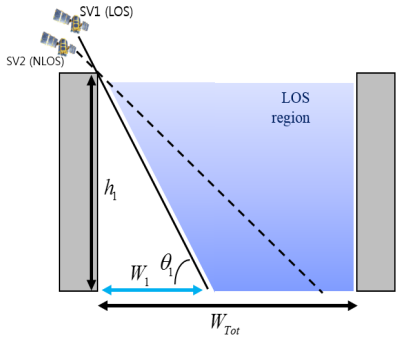
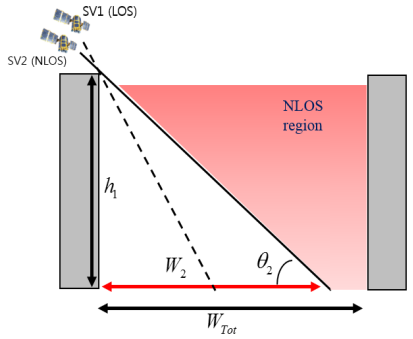


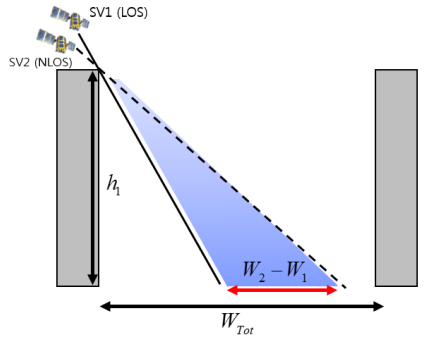
그림 6. 도심 환경에서의 GPS 가시성 조건
Fig. 6. GPS satellite visibility conditions in urban environment



(a) Determination of LOS region



(b) Determination of NLOS region



(c) Combination of LOS/NLOS region

그림 7. 가시 및 비가시 위성을 이용한 추정영역 결정
Fig. 7. Determination using LOS & NLOS satellites

$$\begin{bmatrix} \delta\rho_1 \\ \delta\rho_2 \\ \delta\rho_3 \\ \vdots \\ \delta\rho_N \\ \delta\rho_{N+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & 1 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & 1 \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & 1 \\ \alpha_{N1} & \alpha_{N2} & \alpha_{N3} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{(N+1)1} & \alpha_{(N+1)2} & \alpha_{(N+1)3} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_u \\ \delta y_u \\ \delta z_u \\ \delta b_u \end{bmatrix} \tag{8}$$

이 때, $\alpha_{n1} = -\frac{x_n - x_u}{\rho_n - b_u}$, $\alpha_{n2} = -\frac{y_n - y_u}{\rho_n - b_u}$, $\alpha_{n3} = -\frac{z_n - z_u}{\rho_n - b_u}$

이다.

이후 최종 추정 위치 X를 (9)과 같이 몇 번의 반복을 거쳐 수렴하여 구한다.

$$X = \hat{X}_u + \delta x \tag{9}$$

이 때, $\delta x = [\alpha^T\alpha]^{-1}\alpha^T\delta\rho$ 이다.

Ⅲ. 본 론

3.1 모의실험 환경

본 장에서는 제안한 GIS 기반 측위 기법을 이용하여 기존 모바일 GPS 단일 측위와 측위 정확도를 비교하는 모의실험을 통해 성능을 검증한다. 특히 건물들에 의해 위성신호가 다중경로 환경에 놓이거나 심하면 건물에 가려 신호가 도달하지 못하는 환경에서 실험하기 위해 Fig. 8과 같이 서울 테헤란로 부근 강남역에서 삼성역 사이 고층건물 앞을 12곳 선정하였다[10,11]. 또한 Table 2와 같이 각 실험 장소에서 초당 한 샘플씩 5분 동안 모바일 단말을 이용하여 측정하였으며, 실험 결과는 다음과 같다.

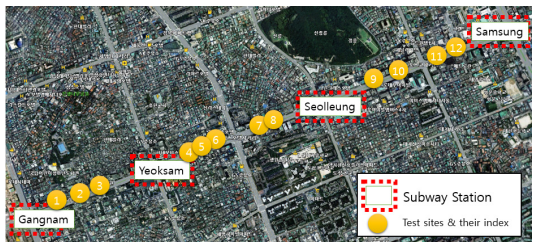


그림 8. 실험 장소 및 실험 번호
Fig. 8. Test sites & their index

표 2. 시뮬레이션 환경
Table 2. Simulation Environment

Test Sites	Description
Seoul Teheranro 12 sites (Gangnam station ~ Samsung station)	Space between tall buildings 300samples / 1test site
Data	Tool
NMEA data	Samsung Galayx S5 (Using NMEA Recoder App)
Ephemeris	SiGe GN3S sampler v3 and KASI Server

3.2 시뮬레이션 결과

3.2.1 강남역 부근 실험 1 결과

Fig. 9는 서울특별시 강남역 부근 역삼세무서 맞은편에서 모바일 GPS 단독측위를 한 결과이다. 고층건

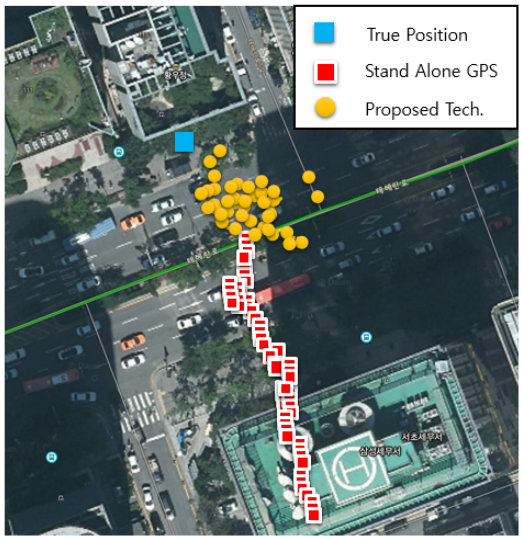


그림 9. 실험 장소 1에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation test results in Test site no. 1

물 출입문 바로 아래에서 5분간 측정한 실 데이터(300 samples)를 바탕으로 위치 보정 알고리즘을 적용한 실험 1의 결과이다. 건물 바로 아래에서 측정하였기 때문에 건물 뒤편으로 들어오는 위성신호는 없는 상황이다. 따라서 다중경로로 인한 오차뿐만 아니라 DOP(Dilution of precision)가 좋지 못하여 모바일 GPS 측위 RMSE(Root Mean Square Error) 결과가 52.4m로 측정되었다. 반면에 GIS 기반 위치보정기법을 적용하였을 경우 측위 RMSE 결과가 11.8m로 측위 오차가 줄어들어 대략 5배정도 측위 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다. Fig. 9의 결과를 통해 GIS 기반 기법의 효용성에 대해서 다시 살펴보자면, 우선 테헤란로 방향(서쪽과 동쪽)의 위성은 건물의 간섭으로부터 비교적 자유로워 신호를 그대로 받아들일 수 있는 반면, 건물에 의해서 가려진 방향(북쪽과 남쪽)의 위성의 경우는 대부분의 위성이 NLOS이거나 LOS가 없는 경우가 많았다. 이로 인해 수직방향 DOP가 무너져 모바일 GPS 단독측위 결과 자체도 도로를 수직하는 방향으로 측위가 된 것을 확인할 수 있으며, GIS 기반 기법은 특히 이러한 상황에서 건물 정보를 이용하여 건물 방향의 정확도를 높일 수 있는 기법임을 알 수 있다.

3.3.2 강남역 ~ 삼성역 사이 실험 결과 종합

Fig. 10, Table 3은 강남역에서 역삼역 사이 3곳, 역삼역에서 선릉역 사이 5곳, 선릉역에서 삼성역 사이에서 특히 다중경로가 심한 4곳, 총 12곳을 선정하여

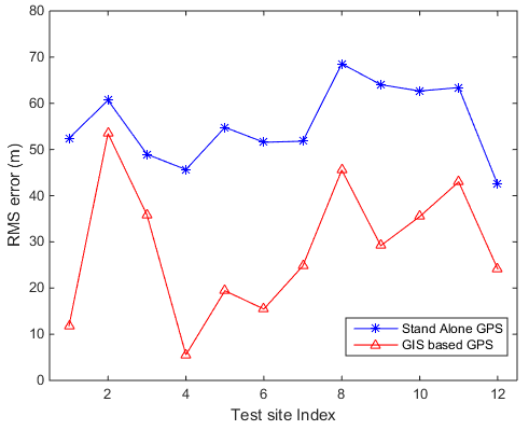


그림 10. 실험 장소에서의 RMSE 결과
Fig. 10. RMSE results in Test sites

표 3. 실험 장소에서의 성능 향상 정도
Table 3. Improvement degree in Test sites

Test site index	1	2	3	4	5	6
Improvement degree (%)	22.6	88.1	73.2	12.1	35.4	30.0
Test site index	7	8	9	10	11	12
Improvement degree (%)	47.9	66.4	45.6	56.6	67.8	56.9

마찬가지로 실 데이터(300 samples / 1 test site)를 이용하여 측정한 결과의 RMS 오차 결과와 이 곳에서 GIS 기반 위치보정기법을 적용하였을 경우 측위 오차 결과를 종합하여 나타낸 그림과 향상정도를 나타내는 표이다. 앞서 살펴 보았던 실험 1의 결과와 마찬가지로 모바일 GPS 측위만을 이용한 모든 측정 장소의 결과 RMS 오차의 평균은 대략 55.58m 정도이며, GIS 정보를 이용하여 위치보정기법을 적용한 경우 RMS 오차 결과가 28.64m로 대략 2배 정도의 성능 향상이 있음을 확인하였다. 실험 2와 실험 3에서는 성능향상이 가장 컸던 실험 1과 달리 테헤란로 방향에 위성의 신호세기가 좋지 않아, 해당 방향의 DOP 역시 무너져 성능 향상이 다소 줄어든 결과를 보인다.

Fig. 11은 건물방향 즉 도로에 수직한 방향의 RMSE를 나타낸 그림으로 Fig. 10와 비교해 보았을 때, 측위 오차의 주요 요인이 도로방향의 위성 신호가 아닌 건물과 수직한 방향의 위성신호의 다중경로에 의한 것임을 명확히 알 수 있다. 따라서 특히 건물의 수직 방향의 오차를 보정하기 위한 가상위성을 통해 정확도를 향상 시킬 수 있음을 알 수 있다.

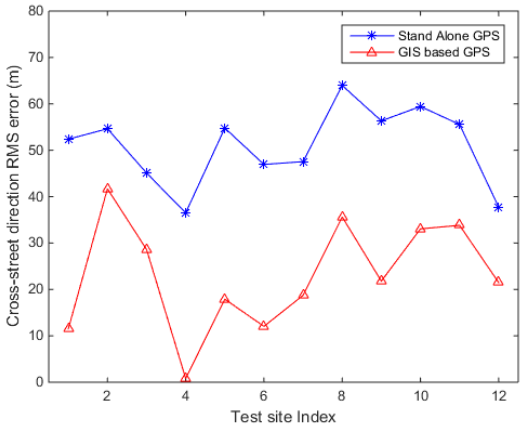


그림 11. 건물 수직 방향 RMSE 결과
Fig. 11. Cross-street direction RMSE

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 모바일에서 출력되는 NMEA 정보를 이용하여 역으로 의사거리를 형성한 다음 GIS 정보를 이용하여 가상위성을 형성하고 이를 이용하여 위치 해를 보상하는 기법을 제안하였으며, 실험을 통해 다중경로에 의한 측위 오차를 절반 이상 보상함으로써 모바일 GPS 성능향상을 보였다. 이론적으로 이는 건물이 밀집한 실외 도심지역에서도 건물에 의해 다중경로 환경에 노출된 신호 방향의 측위 오차를 후보 영역을 넘지 않는 범위 이내로 할 수 있는 수준에 해당한다. 다중경로로 인한 측위 오차가 200m 이상 발생할 수 있는 측면을 고려했을 때, 이는 최소 절반 이상 정확도를 향상 시킬 수 있다. 특히 도심환경에서 건물에 의해 위성의 DOP가 무너진 경우 GIS 정보를 이용하여 이를 보상하기 위한 방법으로 사용할 수 있다. 또한 앞서 언급한 Shadow matching보다 GIS 정보를 이용하면서도 계산 량도 적으며, 모바일 GPS에서 성능 개선이 뚜렷하지 않았던 Altitude Aiding과 달리 GIS 정보를 이용해 형성한 가상위성을 두었을 때, 성능향상이 뚜렷한 걸을 알 수 있다.

References

[1] F. V. Diggelen, *A-gps: Assisted GPS, GNSS, and SBAS*, Artech House, 2009.

[2] W. Gurtner and L. Estey, “RINEX: The receiver independent exchange format-version 3.00,” Astronomical Institute, University of Bern and UNAVCO, Bolulder, Colorado, 2007.

[3] P. Ptasinski, F. Cecelja, and W. Balachandran, “Altitude aiding for GPS systems using elevation map datasets,” *J. Navigation*, vol. 55, no. 03, pp. 451-462, 2002.

[4] P. D. Groves, L. Wang, and M. Ziebart, “Shadow matching: Improved GNSS accuracy in urban canyons,” *GPS World,* vol. 23, no. 2, pp. 14-18, 2012.

[5] B. W. Park and D. H. Yoon, “A study on the DGPS service utilization for the low-cost GPS receiver module based on the correction projection algorithm,” *J. Korean Navig. Port Res.*, vol. 38, no. 2, pp. 121-126, Apr. 2014.

[6] P. D. Groves and D. Paul, “Shadow matching: A new GNSS positioning technique for urban canyons,” *J. Navigation*, vol. 64, no. 03, pp. 417-430, 2011.

[7] S. W. Min, “Effect of path loss models for CDMA base station deployment in LOS environments,” *J. KICS,* vol. 36, no. 1, pp. 1-7, 2011.

[8] E. Kaplan and C. Hegarty, eds., *Understanding GPS: principles and applications*, Artech house, 2005.

[9] P. Misra and P. Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance Second Edition*. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press, 2006.

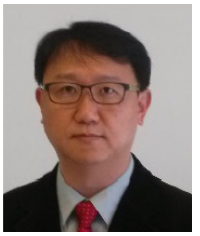
[10] S. L. Cho, et al., “Development of a GNSS signal generator considering reception environment of a vehicle,” *J. KICS*, vol. 37, no. 9, pp. 811-820, 2012.

[11] J. H. Beak, S. S. Yoo, and S. Y. Kim, “A comparison of C/No estimation techniques for commercial GPS receivers under jamming environments,” *J. KICS*, vol. 38, no. 11, pp. 973-975, 2013.

정 길 섭 (Gil-Seop Jeong)

2014년 2월 : 아주대학교 전자공학부 학사
2014년 3월~현재 : KAIST 조천식 녹색교통대학원 석사과정
<관심분야> 차세대 GNSS, 항법 신호처리

공 승 현 (Seung-Hyun Kong)



1992년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사
1994년 6월 : Polytechnic University(현 NYU) 전자공학과 석사
2005년 12월 : Standford University 항공우주공학과 박사
1997년~2000년 : 삼성전자(주) 통신연구소
2000년~2004년 : ㈜넥스파일럿
2006년 : Polaris Wireless Inc.
2007년~2009년 : Qualcomm Inc., Corp.R&D
2010년~현재 : KAIST 조천식 녹색교통대학원 교수
<관심분야> GNSS 신호 처리, 차세대 GNSS기술, 자율주행 및 자율항법 시스템