

정확한 동적 GPS 측량에 관한 연구

The Study about Accuracy Kinematic GPS Survey

박운용¹⁾ · 이종출²⁾ · 이인수³⁾ · 나종기⁴⁾

Park, woon youg · Lee, jong chool · Lee, in soo · Na, jong gi

¹⁾ 동아대학교 토목해양공학부 교수(E-mail:uyypark@daunet.donga.ac.kr)

²⁾ 부경대학교 토목공학과 교수(E-mail:jclee@ync.ac.kr)

³⁾ UNSW Post Dr 과정(E-mail:lid9919@yahoo.ac.kr)

⁴⁾ 동아대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:nc2100@korea.com)

Abstract

The Navstar Global Positioning System(GPS) is an advanced navigation satellite system for determination of position, velocity and time. It can provide three-dimensional positioning on a global basis, independent of weather, 24 hours per day.

Test results show that the carrier phase and pseudorange corrections are suitable for a kinematic GPS system. Using these corrections are more effective than using raw GPS data, since fewer bits are required for transmission. Additionally, the number of computation required at the rover is reduced when corrections, rather than raw measurement are transmitted.

1. 서론

GPS는 간략하게 표현하여 인공위성을 이용한 위치 결정 시스템이라 할 수 있다. 기본적인 목적은 지상, 해상 및 공중에서의 사용자의 위치를 시각 및 기상상황에 관계없이 연속적으로 측정이 가능하도록 하는 것이며, 우주공간에서의 항법이 이용하는 것이다. GPS를 이용하여 전 세계 어디서든 24 시간 사용자의 위치를 결정하는 방법은 다음과 같이 나누어 생각할 수 있다. 우선 의사거리 측정방법에 따라서 두 가지로 나눌 수 있는데 C/A 코드나 P 코드에 의한 의사거리를 이용하는 경우와 반송파위상 측정에 의한 의사거리를 이용하는 경우로 구분할 수 있다. 다음으로는 구하고자하는 사용자의 위치에 따른 구분으로 지구상에서의 사용자의 절대좌표를 구하는 절대위치 결정과 이미 위치를 알고있는 점에 대한 상대적인 위치를 구하는 상대위치 결정으로 나눌 수 있다. 본 연구는 절대위치 결정기법과 상대측위 결정기법으로 차량의 궤적을 정확하게 측정하여 그 결과를 분석하고자 한다.

2. GPS 위성으로부터의 측정값

2.1 코드

사용자로부터 GPS 위성까지의 거리를 측정하는 기본적인 방법은 C/A 코드 또는 P 코드를 이용하여 신호의 전송시간을 측정함으로써 이루어진다. 이 값에 빛의 속도를 곱함으로써 위성까지의 거리를 알 수 있는데 이를 의사거리(pseudo-range)라 한다. 위성 시계(satellite clock), 수신기 시계(receiver clock), 그리고 GPS 기준시간(GPS time) 등 세 가지 시간(time scale)을 기준으로 의사거리에 대해서 살펴본다. 그림 1에서 보듯이 수신기가 측정한 신호의 전달시간은 dt 가 된다. dt 는 다음 (1)과 같이 풀어 쓸 수 있다.

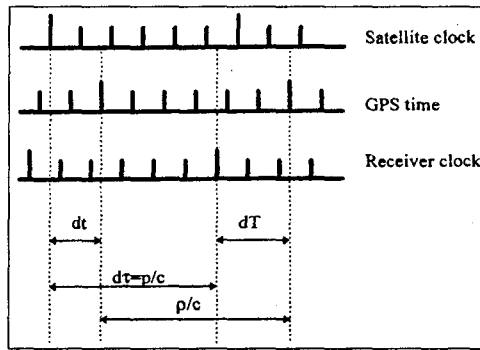


그림 1. 의사거리의 측정원리

$$d\tau = d\tau_{TURE} + dt - dT \quad (1)$$

$d\tau$; 수신기가 측정한 신호의 전달시간

$d\tau_{TURE}$; 실제의 신호 전달시간

dt ; GPS 기준시간에 대한 위성시계의 편의(bias)

dT ; GPS 기준시간에 대한 수신기 시계의 편의

이 값에 광속 c 를 곱하면 의사거리 p 가 되고 여기에 전달 지연 오차를 더하면 아래의 (2)와 같은 측정식을 얻는다.

$$p = \rho + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} \quad (2)$$

ρ ; 위성과 수신기 사이의 실제거리

d_{ion} ; 이온층 지연에 의한 의사거리 측정오차

d_{trop} ; 대류권 지연에 의한 의사거리 측정오차

위 식에서 $(dt - dT)$ 는 위성과 수신기 시계가 GPS 기준시간에 대하여 편의된 값을 나타내는데 일반적으로 위성시계의 편의는 수신기 시계 편의에 비해서 그 크기가 매우 작으므로 무시하고 이를 수신기 시계 편의로 근사시킨다. 이와 같이 의사거리 측정치에는 실제로 필요한 값 이외에도 다중경로 (multipath), 수신기 잡음등이 의사거리 측정치에 포함된다.

2.2 반송파 위상

반송파 위상은 GPS 위성에서 보내져 오는 신호의 반송파(carrier phase)를 이용하여 위성으로부터 수신기까지의 거리를 측정하는 방법이다. 반송파 위상을 이용하는데 필요한 기본적인 변수 및 상수는 다음과 같다.

f_s ; 위성에서 보내지는 신호의 주파수(L1)

f_r ; 수신기가 생성하는 L1 신호의 주파수

c ; 빛의 속도

ρ ; 위성과 수신기 사이의 거리

λ ; L1 신호의 파장 (약 19cm)

반송파 위상의 측정 원리는 다음과 같다. 임의의 시간 $t = 0$ 에서 위성에서 신호가 송신되기 시작한다고 가정하고 수신기에서는 반송파와 같은 주파수의 신호를 생성한다. 위성에서 신호가 출발하여 수신기에 처음 도착하여 수신기가 최초로 신호를 수신한 $t = \tau$ 에서까지 위성에서 생성된 신호의 위상은 $f_s \tau$ 가 된다. 또한 이때까지 수신기에서 생성된 신호의 위상은 $f_r \tau$ 가 된다. 위성과 수신기에서 만들어지는 신호의 주파수는 동일하지만 도플러 효과에 의해 주파수의 변동이 발생하므로 위성과 수신기에서 생성되는 신호의 주파수는 달라진다 시간 $t = t$ 일 때는 수신기가 수신한 위성 신호의 위상은 $f_s(t - \tau)$ 가 되고 이 때까지 수신기에서 생성된 신호는 $f_r t$ 이다. 시간 t 에서 수신기가 수신한 위성의 반송파 위상은 다음과 같다. $\varphi_s(t) = f_s(t - \tau) = f_s t - f_s \frac{\rho}{c}$ 또한 수신기에서 생성된 기준신호의 위상은 다음과 같다.

$\varphi_r(t) = f_r t$ 위 두 식의 차를 구하면 (3)과 같고 이 값은 수신기와 위성사이의 거리의 함수가 되고 이것을 도시하면 그림 2에 나타낸다.

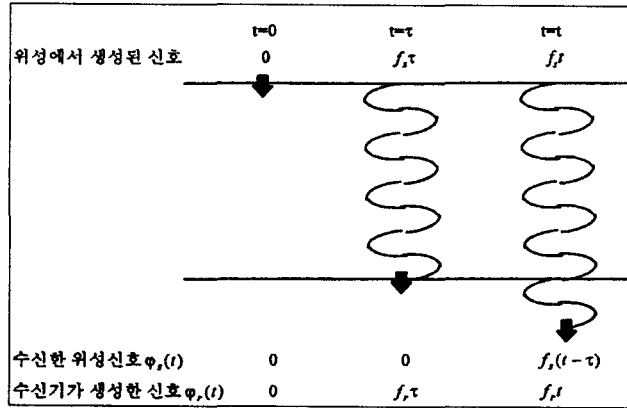


그림 2. 의사거리의 측정원리

$$\varphi_s(t) - \varphi_r(t) = f_s t - f_s \frac{\rho}{c} - f_r t = (f_s - f_r)t - f_s \frac{\rho}{c} \cong -f_s \frac{\rho}{c} \cong \Delta \varphi_{sr}|_0^t \quad (3)$$

(3)에서 정의된 값을 풀어 쓰면 (4)과 같고 수신기가 실제로 측정할 수 있는 부분은 (5)에 나타난 부분이 된다.

$$\Delta \varphi_{sr}|_0^t = \Delta \varphi_{sr}|_0^{t_0} + \Delta \varphi_{sr}|_0^{t_0} = -\frac{\rho}{c} p \quad (4)$$

$$\Delta \varphi_{sr}|_0^{t_0}; \text{ 수신기가 실제로 측정할 수 있는 값 (양 또는 음)} \quad (5)$$

반송파 위상 측정시 다중경로 오차도 이론적으로는 수cm 이내이므로 미지정수만 정확히 구할 수 있다면 매우 정밀도가 높은 의사거리를 구하고 사용자의 위치도 수 cm 이내의 정확도로 구할 수 있다.

3. 위치결정 알고리즘

3.1 코드 의사거리를 이용한 절대위치 결정

GPS 코드를 이용하는 절대위치 측정은 사용자와 위성사이의 거리에 대해서 선형화하여 반복적으로 최소자승법을 적용하여 해를 구하는 것이 일반적이다.

코드를 이용한 사용자의 위치결정 방법은 오차를 고려하지 않는 경우 위성과 수신기 사이의 의사거리 측정치와 위성의 위치는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$P_i = \sqrt{(x_i - u_1)^2 + (y_i - u_2)^2 + (z_i - u_3)^2} + c \cdot dT \quad (6)$$

여기서 $u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ dT \end{bmatrix}$; 수신기의 3차원 좌표, 수신기 시계 편의 $s = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}$; 위성 i 의 좌표

P_i ; 수신기로부터 위성 i 까지의 의사거리 측정치

c ; 빛의 속도

P_i 를 Taylor 급수로 전개하면 다음과 같다.

$$P_i = \overline{P}_i + \frac{\partial P_i}{\partial u} |_{ij} \delta u + \frac{\partial^2 P_i}{\partial u^2} |_{ij} \delta^2 u + \dots \quad (7)$$

여기서 \hat{u} 는 현재위치의 추정값(nominal value)이고 \overline{P}_i 는 (6)에서 계산된 값이다. (7)에서 2차항 이상을 무시하고 선형화 하면 다음 (8)에서 (9)까지의 식을 얻는다.

$$\partial P_i = \left[\frac{\partial P_i}{\partial u_1} \quad \frac{\partial P_i}{\partial u_2} \quad \frac{\partial P_i}{\partial u_3} \quad \frac{\partial P_i}{\partial u_4} \right] |_{ij} \delta u \quad (8)$$

$$\delta P_i = P_i - \overline{P_i} \quad (9)$$

$$\delta u = u - \hat{u} \quad (10)$$

(8)을 (11)과 같이 정의하면 h_i 는 (12)와 같이 구해진다.

$$\delta P_i = h_i \delta u \quad (11)$$

$$h_i = \left[\frac{u_1 - x_i}{P_i} \quad \frac{u_2 - y_i}{P_i} \quad \frac{u_3 - z_i}{P_i} \quad 1 \right]_{ij} \quad (12)$$

그러므로 n 개의 위성을 이용할 경우 다음의 선형화된 측정식을 얻을 수 있다

$$\delta P = \begin{bmatrix} h_1 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} \delta u \equiv H \delta u \quad (13)$$

따라서 반복과정에서 보정해 줄 값은 (14)와 같다.

$$\delta u = H^T (H^T H)^{-1} \delta P \quad (14)$$

즉 수신기의 초기위치를 주고 반복적으로 (14)의 위치오차를 구하여 보정해서 보정값의 크기가 임계치 안에 들어오면 계산을 멈추는 방법이다. 일반적으로 초기위치의 오차는 수 백km가 되어도 몇 회 이내에 수렴한다고 알려져 있다.

3.2 반송파 위상을 이용한 상대측위기법

반송파 위상을 이용한 상대위치측정은 한 개 epoch의 측정치만으로는 불가능하다. 오차요인을 무시한 임의의 한 위성의 이상적인 반송파 위상의 측정식은 (15)과 같다

$$\Phi = \rho + c \cdot dT + \lambda N \quad (15)$$

이 식은 우변에 위치변수 3개, 수신기 시계 편위, 미지정수 등 5개의 미지수를 가지고 있다. 이 중에서 미지정수 N 은 위성마다 다르므로, 결국 n 개의 위성에 대하여 매 epoch마다 $n+4$ 개의 미지수가 존재한다. 그러므로 한 개 epoch에서 반송파 위상을 이용하여 이 식을 풀려면 미지정수 N 을 알아야만 한다. 만약 j 개의 epoch에 대하여 반송파 위상을 얻으면 N 은 시간에 따라 변하지 않으므로 변수는 위치변수 3개, 시계 편위 j 개, 미지정수 n 개가 되어 모두 $3+n+j$ 개가 되고 얻을 수 있는 반송파 위상은 $n \times j$ 개가 되므로 결국 $n \times j \geq 3+n+j$ 가 성립될 때에 해를 구할 수 있다

상대위치는 위치를 알고있는 점에 설치된 수신기와 사용자의 수신기가 동시에 위성신호를 수신하여 이 값을 이용하여 위치를 알고있는 점에 대해 사용자의 상대적인 위치를 구하는 것이다.

4. 관측

실험대상지로는 GPS 측량 시 다중경로(multipath)오차, 수신기 잡음이 적은 강변로를 이용하였으며, 인근에 정지측량에 의한 기지국의 위치를 결정하고 차량에 수신기를 부착하여 1초 간격으로 데이터를 취득하여 코드 의사거리를 이용한 절대위치와 반송파 위상을 이용한 상대측위기법으로 정밀한 궤적을 구하였다. 그림 3, 4에 절대측위기법, 상대측위기법에 의한 궤적을 각각 도시하였다.

그림 3의 절대 측위기법에 의한 궤적결정은 시각적으로 두드러지게 불규칙적으로 발산하는 것을 알 수 있다. 그림 4의 상대 측위기법에 의한 궤적결정의 경우 신호차단에 의한 불연속성은 있지만 그림 3에 비해 아주 정확한 궤적임을 알 수 있다.

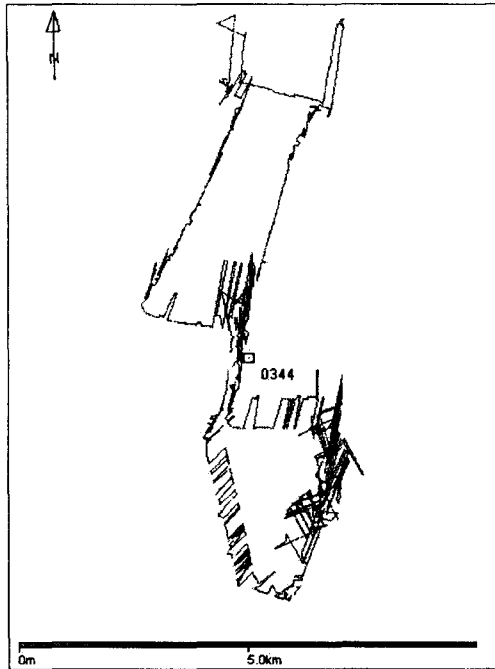


그림 3. 절대측위기법에 의한 궤적결정

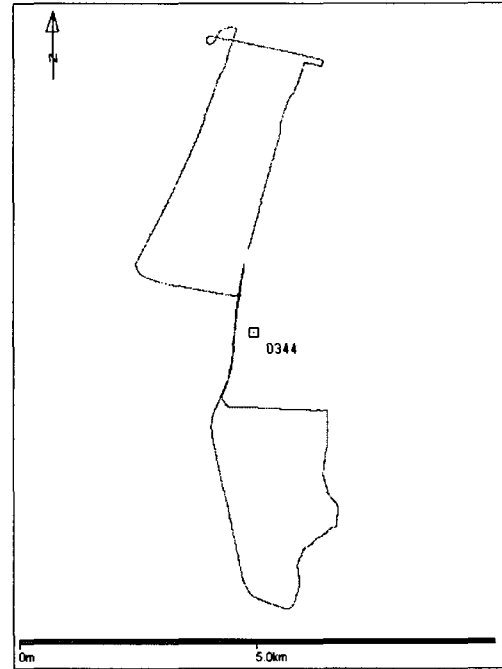


그림 4. 상대측위기법에 의한 궤적결정

5. 결론

본 연구에서는 기지국과 이동국사이의 기선거리별 차량의 궤적 정확도, 기지국에서 추적할 위성 수와 위성의 상태(DOP)에 따른 차량의 궤적 정확도 분석 그리고 코드차를 이용한 절대위치 결정과 반송파를 이용하는 상대위치 결정기법으로 차량의 궤적의 정확도를 비교, 분석하였다. 향후 항법에 있어서 위성 신호의 단절은 위치추적할 수 없는 관계로 보조 측정장치가 있어야 될 것이다. 즉 추측항법(Dead Racking : DR), 휠 센서(Wheel Sensor), 가속도계등 보조장치나 가시위성의 확보를 위해 GLONASS위성이나 GALILEO위성 데이터를 취득할 수 있는 장비를 구비하여 최적의 상태에서 궤적을 결정해야 될 것이다. 또한, 앞으로 GPS 위성측량이 곤란할 것으로 예상되는 도심지 등에서의 실험을 통해 동적 상대위치 결정기법의 이용가능성을 검토하여 차량항법등에서 활용할 수 있는 알고리즘을 개발하고 실시간 미지정수 결정에 관련되어 연구가 되어야 할 것이다.

참고문헌

- Amaud Masson. et. al.(1996) Kinematic DGPS and INS hybridization for Precise Trajectory Determination, ION-GPS96
- Abidin HZ.(1993) On the construction of the ambiguity searching space for on-the-fly ambiguity resolution. Navigation, 40(3).
- Hofmann-Wellenhof, B.H., H. Lichtenegger and J.Collins(1993). Global Positioning System Theory and Practice, Springer-Verlag, Wien.