

GPS의 원리와 응용

1. 서론

“나는 지금 어디에 있고, 어디를 향해 가고 있는가?”라는 질문은 인간이 활동하기 시작한 때로부터 지금까지 끊임없이 계속되었다. 사람들은 이를 위해 지형지물의 위치나 하늘의 별을 관측하여 자신의 위치를 짐작하기도 하고, 방향과 거리의 측정이 용이해지면서 자신이 지나온 방향과 거리를 평면에 도표형식으로 표시하여 현재의 위치를 추측하기도 하였다. 이와 같이 항법 (Navigation)은 “우리를 한 지점으로부터 목적지까지 도달할 수 있도록 해주는 수단”이라 할 수 있으며, 인간의 생활이 복잡해지고 기술이 발달함에 따라 항법에 대한 새로운 요구가 첨가되고, 또 그 도구와 방법은 더욱 발달되어 왔다.

제2차 세계대전 중 등장한 전파항법장치는 미국을 중심으로 Decca, Omega, VOR/DME, Loran-C등 성공적인 시스템이 개발되어 최근까지도 매우 유용하게 사용되고 있다.[1,2] 그런데 지표면에 송신기를 설치하는 전파항법장치 (Ground-Based Radio Navigation System)는 해상에서는 그의 정확도가 비교적 양호한 편이나, 지상에서 사용할 때는 지형지물의 영향 등으로 전파의 도달거리 (즉, 송신된 전파를 수신하여 항법에 이용할 수 있는 범위)와 그 정확도가 한정될 수 밖에 없다는 단점을 가지고 있다. 그림 1은 여러종류의 항법 시스템의 정확도를 비교한 것이다.

1957년부터 시작된 미·소간의 우주개발정책은 인공위성을 이용한 전파항법(Space-Based Navigation System)의 탄생을 가져 왔다. 인공위성의 위치가 명확하면 그 위성으로부터 발사된 전파를 지상에서 수신하여 그 수신기의 위치를 계산할 수 있다는 Johns Hopkins대학에 있는 APL (Applied Physics Laboratory)의 기초연구를 바탕으로 하여, 미국해군에서 Transit라는 위성을 이용한 항법시스템을 개발하였다. 그러나 이 시스템은 2차원 위치결정만이 가능하고 위치결정의 주기와 시간에 제한이 있다. [3,4]



이 영 재

건국대학교 항공우주공학과 교수

일반적인 지상전파항법장치와 위성을 이용한 Transit의 단점을 극복하려는 미국 공군, 해군의 공동의 지속적인 노력은 60년대부터 시작되어 NAVSTAR (NAVigation Signal Time And Range) GPS (Global Positioning System)라는 프로젝트로 추진되어 왔다[5]. 여러 차례의 수정을 거친 후 고도 약 20,000km의 원궤도에 12시간의 주기를 가진 24개 (그중 3개는 예비위성)의 인공위성군(Constellation)으로 확정되어 현재 완전한 시스템이 운영되고 있다.

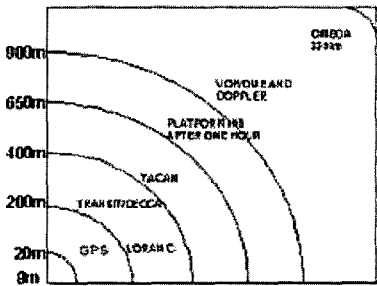


그림 1. 항법 시스템들의 정확도 비교.

2. GPS의 구성

GPS는 위성부분(Space Segment), 지상국부분(Ground Segment), 사용자부분(User Segment), 이렇게 세 부분으로 구성되어 있다.

GPS 위성군 (Satellite Constellation)은 24개의 위성으로 이루어져 있으며 이중 3개는 예비위성이다. 주기는 12시간(정확히 말하면 11시간 56분)으로 고도 20,183 - 20,187km이며 지구 적도면과 55도의 기울기를 이루고 있는 6개의 궤도면에 각각 4개씩의 위성이 배열되어 있다. 위성의 궤도는 지구를 커버하는 범위, 위성의 수명 등을 고려하여 12시간 주기궤도로 확정되었

으며[3,4,5], 이와 같은 위성 위치 배열은 지구상의 어느 위치에서도 위치결정에 필요한 최소가시위성 숫자인 4개의 위성을 항상 관측할 수 있게 한다.

모든 GPS위성에서 발사되는 신호는 반송파(Carrier), PRN (Pseudo-Random Noise)코드, 항법메세지 (Navigation Message)등 세가지 종류의 신호로 구성되어 있다. L1과 L2 라고 불리우는 2개의 L-Band 주파수의 반송파를 이용하여 PRN코드와 항법메세지를 수신기로 전달한다. L1의 주파수는 1,575.42MHz이고, L2는 1,227.6MHz이다. PRN코드는 2진화된 코드로 위성마다 고유의 코드가 있어, 수신기는 이 코드로 위성을 구별한다. 즉, 코드 구분 다중 분별법(CDMA : Code Division Multiple Access)으로 위성과 수신기간의 정보 교환이 이루어진다. 수신기는 미리 입력된 각 위성의 PRN코드를 GPS시간으로 발생시킨 후, 위성에서 송신된 PRN코드의 도착시간과 비교하여 두 시각 사이의 시간차를 구해 전파가 위성에서부터 수신기까지 도달할 때까지 걸린 시간을 측정하며, 여기에 광속을 곱하여 위성과 수신기 사이의 의사거리(Pseudorange)를 계산한다.

PRN코드에는 두 가지가 있는데, 그 하나는 C/A코드 (Coarse Acquisition Code)이고, 다른 하나는 P코드 (Precise Code)이다. 민간사용자는 L1 반송파에만 실리는 C/A코드의 사용만이 가능하며, 민간사용자는 이 C/A코드를 이용하는 Standard Positioning Service (SPS)만을 제공할 수 있다. 이 경우 위치결정의 정확도가 상대적으로 낮아진다 (95% 확률로 약 20m의 평면 위치오차 : 고도오차는 평면 위치 오차의 약 150 - 200% 정도).

P코드는 자격을 갖춘 특정한 사용자만이 사

용할 수 있도록 암호화 하여 (암호화된 P코드를 Y코드라 한다) 군용으로 쓰이는데, 10.23 MHz의 주파수를 가지며, L1과 L2 반송파에 동시에 실린다. L1과 L2 두 반송파가 전리층을 통과하는 시간차를 이용하여 전리층 지연시간 (Ionospheric delay)을 계산하여 의사거리를 보다 정확히 계산할 수 있다. (95% 확률로 약 16m의 평면 위치오차). 항법 메시지는 50bps (bit per second)의 속도로 전송되며, 한 프레임 (Frame)이 1500bit로 이루어져 한 프레임의 정보가 전송되는데는 30초의 시간이 소요된다. 프레임은 모두 5개의 부프레임 (Subframe)으로 이루어 졌는데, 위성 시계 보정 상수, 위성 궤도 상수, 위성 위치 정보 (Almanac), 위성 상태 등의 정보를 포함하고 있다.

표 1은 이상 언급한 GPS위성 신호 성분과 각각의 주파수를 정리한 것이다[6].

표 1. GPS 위성 신호의 성분과 주파수.

			주 파 수 (MHz)	
기본주파수			f_0	10.23
위 성 신 호	반송파	L1반송파	$154 \times f_0$	1,575.42
		L2반송파	$120 \times f_0$	1,227.60
	PRN코드	P-코드	f_0	10.23
		C/A코드	$f_0 / 10$	1.023
항법 메시지			$f_0 / 204,600$	50×10^{-6}

지상국은 미국 콜로라도주의 콜로라도 스프링에 위치해 있는 팔콘 공군기지에 있는 1개의 주관제소 (Master Control Station), 전 세계적으로 퍼져 있는 5개의 관측소 (Monitor Station), 그리고 업링크 (Uplink) 안테나 시설이 있는 3개의 지상관제소 (Ground Control Station)로 구

성되어있다. 관측소에서는 GPS위성에서 보내는 신호를 받아 위성궤도 정보와 위성의 원자시계의 정확도를 측정하여 주관제소에 전달한다. 주관제소는 이들 정보를 이용하여 GPS위성의 궤도 예측을 하는 계산을 하며, GPS위성 관련 주요 사항들을 총지휘한다. 지상관제소는 주관제소에서 계산된 위성정보를 GPS위성에 업링크시키는 역할을 한다.

모든 GPS 수신기는 기능상 크게 세 부분으로 나뉘어진다. GPS신호를 받는 안테나 부분, 반송파에 실린 코드 정보를 알아내는 RF부분, 코드정보와 항법메세지를 처리하는 컴퓨터부분으로 나뉘며, 수신기는 위의 과정을 거쳐, 위성으로부터 위성신호가 수신기까지 전달되는 시간을 계산함으로써 의사거리를 측정한다.

3. GPS를 이용한 위치 측정의 원리

위성에 탑재된 매우 정밀한 원자시계를 이용하여 정확한 시간을 표시한 PRN코드가 발사되고, 수신기는 미리 예정된 위성 고유의 패턴을 이용하여, 신호가 위성에서 수신기까지 도달할 때 걸리는 시간을 계산할 수 있다. 그런데 문제는 지상의 사용자가 갖고 있는 수신기에는 GPS위성과 같이 고가의 원자시계를 장착할 수 없다.

보통 값싼 수정발진 시계를 사용하므로 수신기 시계에 의한 시간오차 (Receiver Clock Bias)가 주요한 위치측정 오차요인으로 항상 존재한다. 이와 같은 수신기 시계 오차를 포함하여 GPS수신기가 측정한 거리를 의사거리 (Pseudorange)라 하는데, 아래와 같은 식 (1)로 표시한다[2,4].

$$P_i = \rho_i + C \cdot \Delta T_b \quad (1)$$

여기서

P_i = i위성과 수신기사이의 의사거리

ρ_i = 실제 거리

ΔT_b = 수신기 시간 바이어스

C = 빛의 속도 (3×10^8 m/sec)

GPS수신기는 기준좌표계로 지구중심고정 좌표계 (ECEF : Earth Centered Earth Fixed Coordinates)를 사용한다. 사용자에게는 위치계산결과를 다시 경도,위도,고도의 정보로 바꾸어 알려준다. 이 ECEF계를 사용하면 식 (1)은 아래와 같이 표시된다.

$$P_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} \quad (2)$$

여기서,

x_i, y_i, z_i = i 번째 위성의 위치 좌표 (궤도정보로 미리 알 수 있음)

x, y, z = 수신기의 위치좌표 (미지수)

ΔT_b = 수신기의 시간 바이어스 (미지수)

식 (2)에서 빛의 속도 값은 알고 있고, GPS 위성의 위치좌표는 항법메세지를 통해 GPS수신기에 전달되므로, 우리가 결정해야 할 미지수는 $x, y, z, \Delta T_b$ 모두 4개이다. 바로 이점 때문에 GPS 수신기로부터 3차원 위치를 알기 위해서는 4개 이상의 GPS위성이 관측되어야 한다.

식 (2)와 같은 4개의 비선형 방정식 (즉, $i = 1, 2, 3, 4$)을 항법식 (Navigation Equation)이라 부르는데, 순환최소자승법과 같은 수치계산법을 이용하여 직접적으로 항법식의 해를 구하거나 혹은 측정 잡음이외에 위성신호의 상대성 이론

에 따른 시간지연 (Relativistic Time Delay), 전리층 통과에 따른 시간지연 (Ionospheric Time Delay), 대류권 통과에 따른 시간지연 (Tropospheric Time Delay)등을 고려한 칼만필터를 이용하여 수신기의 위치 좌표를 계산해낸다. 또한 상대성 이론에 따른 시간지연은 수신기 내부 컴퓨터에 있는 알고리즘으로 보상해준다[3]. 전파가 전리층을 통과 할 때의 시간지연은 통과하는 전파주파수의 제공에 반비례 한다는 원리를 이용하여, L1과 L2 반송파를 모두 수신하는 군용 P코드 수신기는 전리층에 의한 시간지연 문제를 해결한다[3,4,6]. L1 반송파만 수신하는 민간용 C/A코드 수신기는 수신기내에 있는 전리층의 수학적 모델을 이용한다. 한편, 대류권 통과에 따른 시간지연은 아직 뚜렷한 해결책이 없고 다양한 수학적 모델이 연구되고 있는 실정이다[7].

4. DGPS

근접한 두개의 GPS수신기가 같은 위성으로부터 신호를 받아 자신의 위치를 계산할 때 각 수신기의 고유오차와 더불어 공통적인 오차가 있는데, 이 공통의 오차를 제거하여 보다 정확하게 위치측정을 한다는 것이 DGPS (Differential GPS)의 기본 개념이다. 그림 2는 이러한 개념을 설명하고 있다.

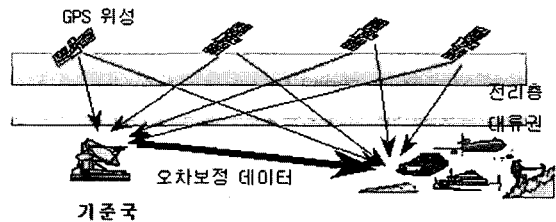


그림 2 DGPS 시스템 개념도.

이 과정을 단계적으로 보다 자세히 설명하면 아래와 같다.

- (1) 위성의 관측성이 좋은 열린 공간상에 정확하게 측지하여 기준국(reference station) 역할을 할 GPS수신기를 설치한 후, GPS위성에서 신호를 받아 수신기로 계산된 위치를 자신의 위치와 비교하여 보정오차(differential correction error)를 계산한다.
- (2) 계산된 보정오차를 주변의 사용자 수신기에 일정한 형식으로 맞추어 전송한다.
- (3) 사용자는 자신의 수신기에서 계산한 위치값에 수신된 보상오차를 적용하여 두 수신기간의 공통오차를 제거함으로써, 단독 GPS의 경우보다 정확한 위치를 계산한다.

DGPS가 정확한 위치 계산이 가능한 이유는 기준국의 정확한 위치 계산 뿐 아니라, 위성계도 오차, 위성시계오차, 전리층 시간지연, 대류층 시간지연 등의 두 수신기간의 공통 오차로 간주하여 이를 제거할 수 있기 때문이다. 그러나, 두 수신기 간의 거리가 멀면 한 위성과 두 수신기 사이에 놓여 있는 전리층과 대류권의 성질이 다를 수 있으므로, 이들에 의한 시간지연값이 두 수신기에 다르게 나타나기 때문에 오차의 공통성이 약해진다. 그러므로 보통 DGPS를 구성 할때 기준국과 사용자간의 거리(Base Line Distance)가 100km가 넘지 않게 기준국을 배열해야 한다.

5. GPS의 최근 동향



SA Transition -- 2 May 2000

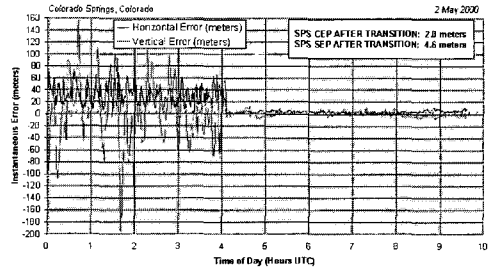


그림 3. SA제거에 따른 위치 정확도 비교.

미국 정부는 그동안 GPS를 운용하면서 C/A 코드에 인위적 오차인 SA(Selective Availability)를 넣음으로써 일반 사용자들이 수평오차를 95% 확률로 100m 이내로 줄이는 것을 허락하지 않았다.

만약 사용자가 오차를 줄이기 위해서라면 DGPS, 혹은 반송파를 이용하는 부가적인 시스템을 활용하여야만 하였다. 그러나 미국 정부는 그리니치 표준시간으로 2000년 5월 2일 04시를 기해 SA를 제거한다고 공식 발표하였다.

이에 따라 사용자는 DGPS 혹은 반송파를 이용하는 부가시스템을 사용하지 않고 20m 이내의 오차를 갖는 측정치를 얻을 수 있게 되었다. 이는 GPS 응용을 더욱 가속화 시키는 결정적인 계기가 될 것으로 전세계 전문가들은 예측하고있다.

6. GPS의 전망

언제 어디서나 자신의 위치와 시각을 알 수 있다면, 이 정보는 많은 분야에 이용될 수 있을

것이다. 더욱이 이 위치와 시각 정보를 저렴한 가격의 소형 장비로 정확히 얻을 수 있다면, 그 정보의 활용도는 더욱 다양할 것이다. 날로 발달되고 있는 전자 및 소프트웨어 기술은 위에 언급한 요구조건에 맞는 GPS 수신기의 제작을 가능하게 하였으며, 또 현재 여러 분야에서 GPS의 응용과 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또 최근 눈부신 발달을 보이고 있는 무선통신 분야의 기술은 GPS 기술과 결합하여 다양한 응용 서비스를 선보이고 있다. 거의 모든 응용은 GPS 수신기로 수신기의 위치와 시간을 측정함으로써 시작된다고 말할 수 있겠다. 한편, GPS 수신기로 측정된 위치정보의 방향성에 따라서 수신기가 정보를 혼자 지니고 있는 단방향 응용 (One-way Application) 과 위치정보를 무선통신망을 이용해 관제소 등 일정장소에 전달하여 정보의 효용가치를 높이는 쌍방향 응용 (Two-way Application) 등으로 구분할 수도 있는데, 군용이 아닌 경우는 수신기의 위치정보를 활용하기 적합한 쌍방향응용이 일반적이다.

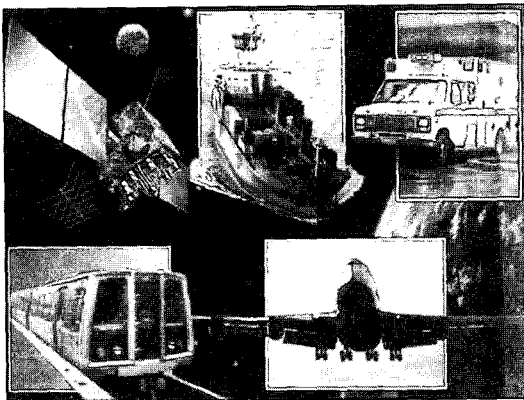


그림 4. GPS위성과 응용 분야

현재까지 광범위한 분야에 응용되고 있는

GPS는 그 영역이 날로 확대되어가고 있다.

어쨌든 GPS는 현 단계에서 그 정확도와 신뢰도를 높이기 위해 DGPS, 자이로스코프나 자기 컴파스와 같은 보조센서 사용, 통신 시스템과 결합에 의한 효율의 증대, 다른 위성항법 시스템과 병행사용 등에 관한 많은 노력이 진행 중이다. 또한, 최근들어 전세계적으로 급격하게 발전되고 있는 이동통신의 발달은 GPS에 의한 위치 정보의 이용을 더욱 가속시킬 것으로 예측되며, 전자·통신 기술의 발전에 따라 보다 저렴하고 소형이며 기능이 다양한 수신기가 개발되어 수년내 항법시스템 분야에 일대 혁신이 일어나리라 전망한다.

참 고 문 헌

- [1] M.Kayton, W.R.Fried, Avionics Navigation Systems, John Wiley & Son, New York, 1969.
- [2] George M.Siouris, Aerospace Avionics System, Academic Press, New York, 1993.
- [3] Tom Logsdon, The NAVSTAR Global Positioning System, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- [4] David Wells, Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1987.
- [5] Ivan A.Getting, "The Global Positioning System," IEEE Spectrum, Dec. 1993, pp. 36-47.
- [6] B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J.Collins, Global Positioning System :Theory and Practice, Springer-Verlag, New York, 1992.
- [7] B.Beckman, "A Water-Vapor Radiometer Error Model," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol.GE-23, VOL.4,July 1985, pp. 474-478.