

# GPS L1 신호추적 결과를 이용한 GPS L5 신호추적 기법

주인원\*, 이상욱\* 정회원

## GPS L5 Signal Tracking Scheme Using GPS L1 Signal Tracking Results

Inone Joo\*, Sanguk Lee\* *Regular Members*

### 요 약

미국은 GPS 현대화 계획을 추진하고 있으며 그 주요 내용 중의 하나가 L5 신호를 제공하는 것이다. 1176.45MHz 대역의 L5 주파수는 항공기의 안전운항을 위해 할당된 주파수 대역을 사용하여 안정적인 항법 서비스를 제공할 수 있고, L1 주파수와 동시에 사용 시 이온층 오차를 제거하여 보다 높은 측위 정밀도를 제공할 수 있다. 그러나, L5 신호의 코드길이는 L1 신호에 비해 10배가 더 길기 때문에 L5 신호의 획득시간도 L1 신호에 비해 더 길어진다. 이러한 단점을 개선하기 위해서는 신호획득에 사용되는 상관기 갯수를 늘려야 하는데, 이는 상관기 구조가 복잡해지고 연산량이 많아지는 문제점이 있다. 따라서, 본 논문은 GPS L1/L5 겸용 수신기에서 L1 신호처리 결과를 이용하여 L5 신호추적하는 방법을 제안한 것으로, L5 신호획득 과정을 사용하지 않으므로 L5 신호획득을 위한 별도의 하드웨어가 필요하지 않다. 제안된 방법은 동일한 GPS 위성에서 전송하는 L1/L5 신호는 코드시작시점의 코드위상이 동기화 되어 있다는 특성을 이용하여 L1 신호의 메시지 비트가 시작하는 시점에 L5 코드의 시작시점을 동기시킨다. 그리고, GPS L1 신호를 처리하여 산출된 도플러 주파수 변이값을 이용하여 캐리어 주파수간의 관계식을 통해 GPS L5 도플러 주파수 변이값을 계산한다. 이렇게 계산된 L5 신호의 코드시작시점과 도플러 주파수 변이값을 이용하면 L5 신호획득을 위한 별도의 상관기 모듈을 사용하지 않고 L5 신호를 추적 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 시뮬레이션 결과를 통해 이론적 분석의 타당성을 입증한다.

**Key Words** : GPS, L1, L5, 항법, 신호추적

### ABSTRACT

The United States will proceed with the effort to modernize the GPS system, and one of its main content is to provide L5 signal. L5 will be transmitted in a radio band reserved exclusively for aviation safety services. And, L5, in combination with L1, will improve the position accuracy via ionospheric correction and robustness via signal redundancy. However, The acquisition processing time of L5 takes longer than that of L1 as the code length of L5 is 10 times longer than that of L1. To reduce this acquisition processing time, a higher number of correlators in the acquisition module should be used. However, there is a problem that this causes increase in the complexity of the correlator configuration and the computation power. So, in this paper, we propose L5 signal tracking scheme using tracking results in the GPS L1/L5 receiver. The proposed scheme could reduce the hardware complexity as the GPS L5 signal acquisition module is not needed, and provide fast and stable tracking of L5 signal by aiding L1 tracking results such as PRN, the code phase synchronization, and the Doppler frequency. The feasibility of the proposed scheme is demonstrated through simulation results.

## I. 서 론

최근에 유럽의 갈릴레오 출현, 러시아의 GLONASS 정상화, 일본 QZSS, 및 중국의 COMPASS 프로그램 등, 각국에서 경쟁적으로 위성항법시스템을 새롭게 구축하거나 기존 위성항법시스템의 성능향상을 추진하고 있다[1]. 미국도

GPS 현대화 계획을 추진하고 있으며 그 주요 내용 중의 하나가 Block III 위성에 L5 신호를 제공하는 것이다. 1176.45MHz대역의 L5 주파수는 ARNS(Aeronautical Radio Navigation System)에 할당된 주파수대역으로, 현재 존재하는 어떤 전파에도 영향을 받지 않는 주파수 대역이므로 안정적인 항법 서비스를 제공할 수 있다[2]. GPS L5 신호의 특징

\*이 논문은 방송통신위원회의 방송통신 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2011-S-301-01, 다원화 항법 주파수 감시 및 이용 기술 개발]

\*한국전자통신연구원 위성항법연구팀(inone@etri.re.kr, slee@etri.re.kr), 교신저자 : 주인원

접수일자 : 2012년 11월 26일, 수정완료일자 : 2012년 12월 12일, 최종 게재확정일자 : 2012년 12월 17일

을 살펴보면, 코드주기는 L1 신호와 동일한 1ms이지만, 칩속도는 10.23MHz로 L1 신호에 비해 10배가 더 빠르고, 코드길이가 10,230개로 L1 신호에 비해 10배가 더 길다. 이러한 L5 신호 구조는 L1 신호에 비해 측위 정확도가 향상되지만, 코드길이가 10배 더 길기 때문에 신호획득시간이 더 길어지는 단점이 있다. L5 신호획득시간을 줄이기 위해서는 FFT 기법, 다중 상관기 기법, 및 정합 필터 기법 등이 알려져 있지만, 결과적으로 이러한 기술들은 상관기의 구조를 복잡하게 하며 연산량이 증가시키는 문제점이 있다[3]. 한편, FFT 기법과 정합 필터를 결합한 기술을 사용하는 Septentrio 수신기의 Fast Acquisition Unit(FAU)의 경우, GPS L1의 신호획득시간은 불과 0.06초이지만 GPS L5와 코드길이가 동일한 Galileo E5a 신호획득시간은 0.48초가 걸리는 것으로 확인되었다[4]. 본 논문은 GPS L5 신호획득을 수행하는데 발생하는 이러한 문제점을 해결하기 위해, GPS L1/L5 겸용 수신기에서 GPS L1 신호처리 결과를 이용하여 GPS L5 신호획득 과정을 수행하지 않고도 GPS L5 신호추적을 가능하게 하는 방법을 제안한다. 동일한 GPS 위성에서 전송하는 L1/L5 신호의 코드위상이 동기가 되어 있는 특성을 이용하여 GPS L5 코드위상값 알 수 있고, GPS L1 신호를 처리하여 산출되는 도플러 주파수 변이값을 이용하면, 캐리어 주파수간의 관계식을 통해 L5 도플러 주파수 변이값을 알 수 있다. 본 논문은 총 5장으로 구성하였으며 2장에서는 검증에 위해 필요한 GPS L1/L5 데이터를 수집하기 위한 환경에 대해 설명하고, 3장에서는 기존의 GPS L1/L5 신호처리 기술에 대해 설명한다. 그리고, 4장에서는 제안한 GPS L1 신호추적 결과를 이용한 GPS L5 신호추적 기법에 대해 설명하고, 5장에서는 모의실험 결과를 통해 제안한 기법을 검증하고 6장에서 결론을 맺는다.

## II. GPS L1/L5 데이터 수집

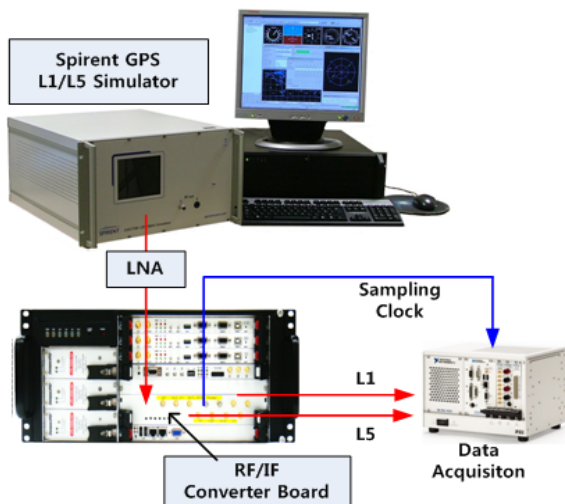


그림 1. GPS L1 및 L5 데이터 획득 환경

그림 1은 GPS L1 및 L5 데이터 획득을 위한 환경을 보여준다. L1 및 L5 신호는 Spirent 시뮬레이터 장비에 의해 생성하였고, LNA(Low Noise Amplifier)를 통해 ETRI에서 개발된 광대역 L1 및 L5 RF/IF 변환 모듈에 입력된다. 변환된 중간 주파수 신호인 L1 및 L5는 데이터 획득 장비(NI사 제품)에 의해 각각 샘플링되어 저장된다. 저장된 데이터는 제안한 알고리즘을 검증하기 위한 입력 데이터로 활용하였다.

다음 표 1은 저장된 GPS L1 및 L5 신호의 특성을 보여준다[5][6]. ETRI에서 개발된 RF/IF 변환 모듈의 경우, GPS 신호 감시국용으로 개발된 것으로, 신호의 대역폭이 상용 RF/IF 변환 모듈에 비해 광대역이며, 샘플링 주파수 및 양자화 비트수도 각각 112MHz와 8비트를 사용하였다. 한편, GPS L5 신호의 특징을 살펴보면, 코드주기는 L1 신호와 동일한 1ms이지만, L5 신호의 칩속도는 10.23MHz로 L1 신호에 비해 10배가 더 빠르고, L5 신호의 코드길이가 10,230개로 L1 신호에 비해 10배가 더 길다. 이러한 L5 신호 특성은 L1 신호에 비해 측위 정확도가 향상되지만, 코드길이가 10배 더 길기 때문에 신호획득시간이 더 길어지는 단점이 있다.

표 1. GPS L1 및 L5 신호 특성

Item	GPS L1	GPS L5
Modulation	BPSK	Data Channel : BPSK Pilot Channel : BPSK
Chip rate	1.023MHz	10.23MHz
Code Length	1,023	10,230
Symbol rate	50 Symbol/s (20ms)	100 Symbol/s (10ms)
Bandwidth	25MHz	26MHz
IF Frequency	140MHz	
Sampling Freq.	112MHz	
Quantization	8bit	

## III. 기존 기법

그림 2는 일반적으로 사용되는 GPS L1/L5 겸용 수신기의 신호처리 기능 블록도를 보여준다[7]. L1과 L5의 신호획득 모듈 및 신호추적 모듈이 각각 구성되어 있으며 독립적으로 동작된다. 신호획득에 소요되는 시간을 산술적으로 간단히 비교해 보면, 도플러 주파수의 경우, L1과 L5 신호의 코드주기는 동일하게 1ms이므로 500Hz로 검색이 가능하며 도플러 주파수 검색구간의 경우, L5가 L1에 비해 약 1.33배 정도 적을 수 있다. 하지만, L5 신호의 코드길이가 10,230개로 L1 신호에 비해 10배가 더 많으므로, 코드위상값을 검색하기 위한 구간이 L5가 L1에 비해 10배만큼 많아져, 결과적으로 L5 신호의 신호획득을 수행하는 시간이 길어지는 것이다.

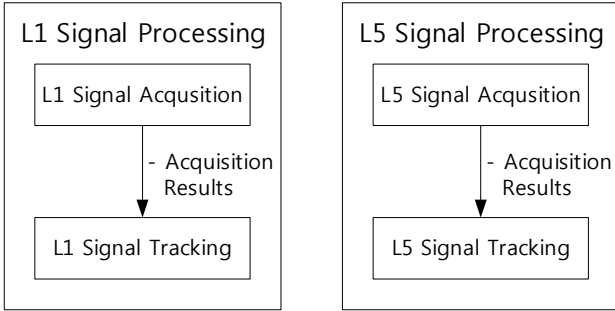


그림 2. 기존 기술의 GPS L1/L5 신호처리 기법

### IV. 제안된 기법

#### 1. GPS L1 신호획득

본 논문은 GPS L1/L5 겸용 수신기에서 L1 신호처리 결과를 이용하여 L5 신호획득 과정을 수행하지 않고도 GPS L5 신호추적을 가능하게 하는 방법을 제안한 것으로, 본 논문은 동일한 GPS 위성에서 전송하는 L1/L5 신호는 코드시작시점의 코드위상이 동기가 되어 있다는 특성과, GPS L1 C/A 신호를 처리하여 산출되는 도플러 주파수 변이값을 이용하여 GPS L5 도플러 주파수 변이값을 계산한다. 다음 그림 3과 같이 GPS L1 C/A 신호 추적하여 생성되는 PRN, 코드위상시점, 및 도플러 주파수 변이값을 이용하여 L5 신호를 추적한다.

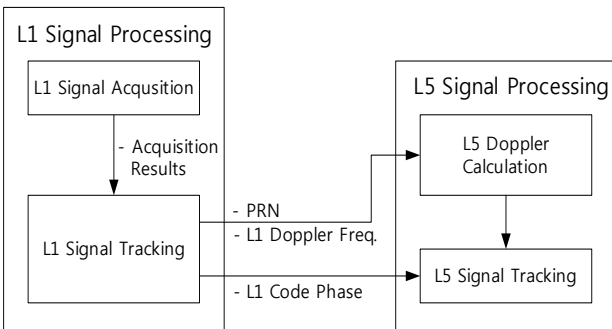


그림 3. 제안 기술의 GPS L1/L5 신호처리 기법

#### 2. 코드위상 동기시점 계산

동일한 위성에서 전송한 L1 신호와 L5 신호는 동기 특성을 갖고 있다. 한편, 표 2에서 확인할 수 있듯이, L1과 L5의 코드주기 1ms로 동일하지만, L1의 코드길이는 1,023이고, L5의 코드길이는 10,230로 서로 달라서, L1 신호의 코드위상값을 L5 신호의 코드위상값에 직접적으로 적용할 수 없다. 따라서, 본 논문은 L1 과 L5 간의 비트 동기 특성을 이용하였고, 다음 그림 4는 이를 설명하기 위해 도시한 그림이다.

그림 4에서 확인할 수 있듯이, L1 신호의 1비트에 해당하는 시간은 20ms이고, L5 신호의 1비트에 해당하는 시간은 10ms이므로, L1신호의 1비트 시간동안에 L5 신호의 2개 비

트가 포함된다. 즉, L1의 비트 시작시점에 L1의 첫번째 코드가 시작한다. 이와 동일한 시점에 L5도 비트가 시작하고 L5의 첫번째 코드가 시작한다. 따라서 본 논문은 이러한 L1과 L5간의 비트 동기 특성을 활용하여 L5의 코드위상을 계산하여 L5 신호추적에 이용한다.

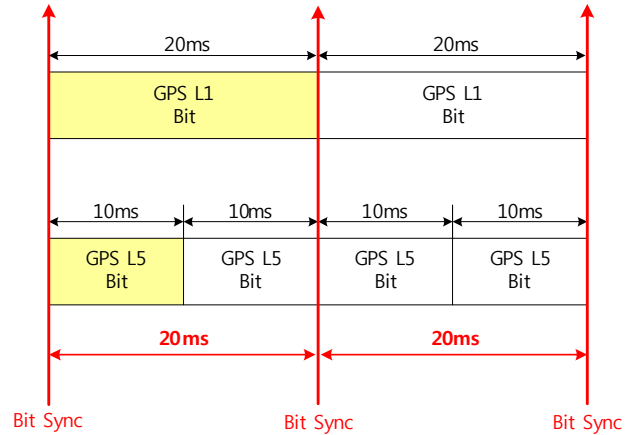


그림 4. L1과 L5 신호의 비트 동기 특성

#### 3. L5 도플러 주파수 변이 계산

GPS L5 도플러 주파수 변이값은 L1 도플러 주파수 변이값을 알면, L1과 L5의 캐리어 주파수와와의 관계식을 통해 다음 수식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$L5_{Doppler} = \frac{L1_{Doppler}}{L1_{Carrier}} \cdot L5_{Carrier} \tag{1}$$

한편, L1 캐리어 주파수는 1575.42MHz이고, L5 캐리어 주파수는 1176.45MHz이다.

### V. 시뮬레이션 결과

#### 1. GPS L1 신호획득

신호 획득단계에서는 500[Hz] 오차 이내의 도플러 주파수와 0.5칩 오차 이내의 코드 위상값을 결정해야 한다. 신호획득은 Parallel Code Phase Search 알고리즘을 사용하였다[8]. 신호 획득 임계값은 첫번째 최대 상관값과 두번째 최대값의 비율이 2.5배가 넘을 때, 신호를 획득한 것으로 선언하였다. 그림 5는 GPS L1의 신호획득 결과를 보여준다. 도플러 주파수는 디지털 IF 중심주파수인 28[MHz]에서 2500[Hz]만큼 변위된 지점에서 최대값이 검출되었고, 코드 위상은 1,023개의 코드 중에서 199.5 번째 코드에서 최대값이 검출되었다.

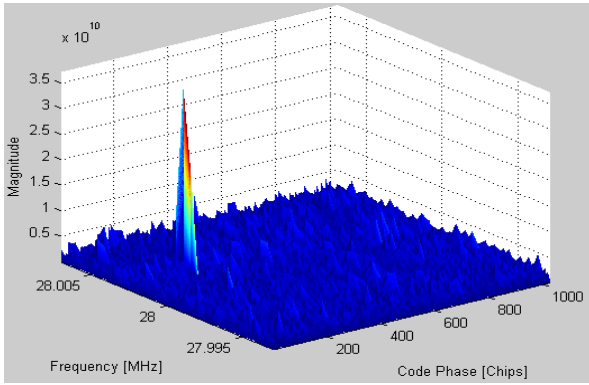


그림 5. GPS L1 신호획득 결과

## 2. GPS L1 신호추적

### 2.1 GPS L1 코드 위상 동기 시점

그림 6은 GPS L1 메시지 비트 출력값을 보여준다. GPS L1 메시지 비트가 시작하는 시점에 GPS L5 비트도 시작하고, 또한 GPS L5 코드위상값도 시작한다. 따라서, GPS L5 코드위상은 그림 6의 L1 메시지 비트 시작 시점에서 시작하여 신호추적을 수행한다.

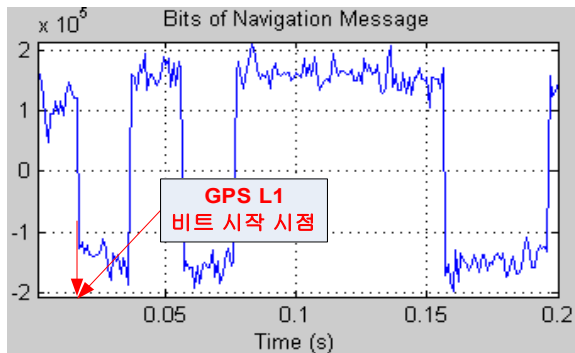


그림 6. GPS L1 메시지 비트

### 2.2 GPS L1 도플러 주파수 변이값

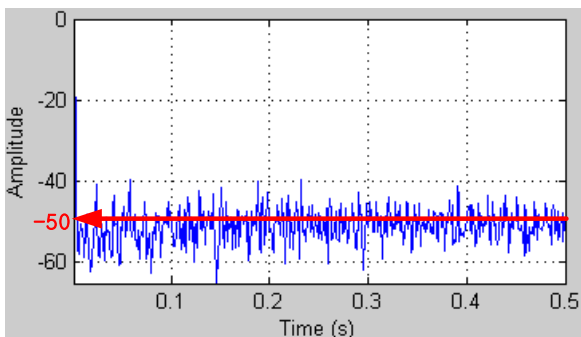


그림 7. GPS L1 PLL 필터 출력값 [Hz]

그림 7은 GPS L1 PLL 필터 출력값을 도시한 것이다. 신호획득결과인 도플러 주파수에 해당하는 2500 [Hz]를 이용하여 PLL 수행한 결과 -50[Hz]만큼 변화된 주파수에 PLL 루프가 동작함을 확인할 수 있다. 즉, L1의 도플러 주파수 변

이는  $2500-50=2450$ [Hz]이고, 이 값을 이용하여 L5 도플러 주파수를 추정할 수 있다.

## 3. GPS L5 신호추적

### 3.1 GPS L5 코드 위상 동기 시점 및 도플러 변이값

GPS L5 신호획득 과정없이 GPS L1 신호추적결과값을 이용하여 GPS L5 신호추적을 수행한다. 4.2.1절에서 설명한 대로, GPS L1 메시지 비트가 시작하는 시점에 GPS L5 코드 위상값을 첫번째 코드값부터 시작한다. 또한, 4.2.2에서 산출된 L1 도플러 변이값인 2450[Hz]를 수식 (1)에 대입하여 L5 도플러 변이값인 1829[Hz]를 계산하여 L5 신호추적의 초기값으로 이용한다.

### 3.2. GPS L5 신호추적 결과

그림 8은 EPL 상관기 출력값을 보여준다. Early-Late 칩 간격은 1칩을 사용하여 신호추적을 수행하였다. 녹색으로 표시된 Prompt 값이 가장 크고, Early와 Late값이 더 작은 값에서 정상적으로 신호추적이 수행됨을 확인할 수 있다.

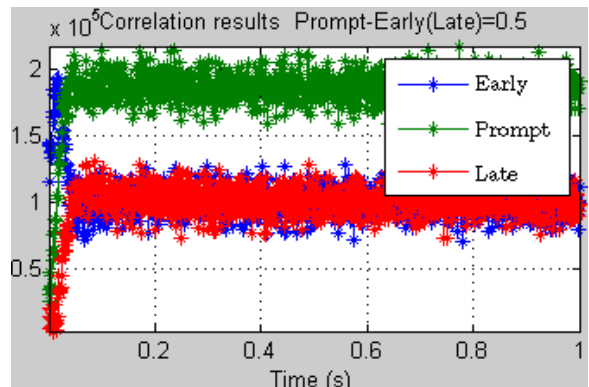


그림 8. GPS L5 상관기 출력값

그림 9는 GPS L5 메시지 비트출력을 보여준다. 녹색으로 표시된 Quadrature값은 0에 가깝게 나타내고 있으며, 파란색으로 표시된 In-phase값이 양과 음의 값으로 반전되면서 비트 출력값이 생성됨을 확인할 수 있다.

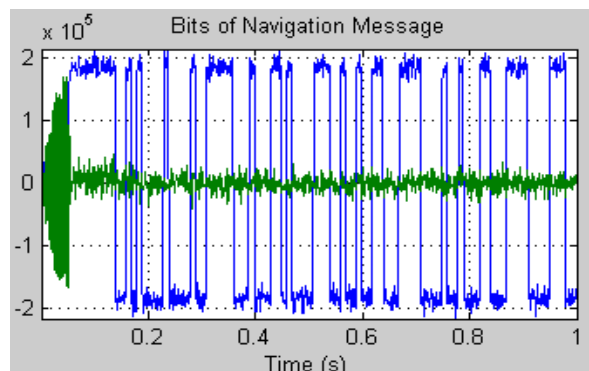


그림 9. GPS L5 메시지 비트

그림 10은 GPS L5 C/No 결과를 보여준다. C/No estimator는 참고문헌[9]를 이용하여 구현하였고, 비트 동기된 이후부터 50[ms]마다 측정하였으며, 대략 52 ~ 55 [dB.Hz] 값으로 측정됨을 확인할 수 있다.

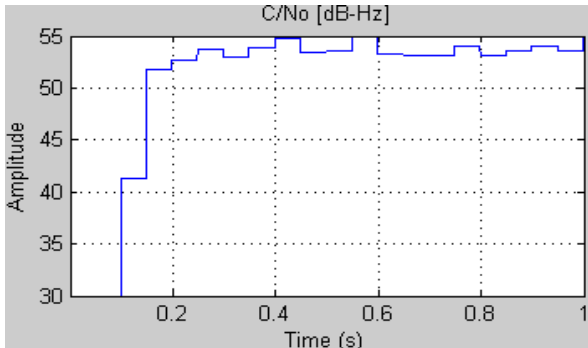


그림 10. GPS L5 C/No 결과

## VI. 결론

각국에서 경쟁적으로 새롭게 위성항법시스템을 구축하거나 기존 위성항법시스템의 성능향상을 추진 중에 있으며, 미국도 GPS 현대화 계획을 추진하고 있다. 그 주요 내용 중의 하나가 Block IIF 위성에 L5 신호를 제공하는 것이며, 1176.45MHz대역의 L5 주파수는 ARNS(Aeronautical Radio Navigation System)에 할당된 주파수대역으로, 현재 존재하는 어떤 전파에도 영향을 받지 않는 주파수 대역이다. 따라서, L5 주파수는 안정적인 항법 서비스를 제공할 수 있고, L1 주파수와 동시에 사용시 이온층 오차를 제거하여 보다 높은 측위 정밀도를 제공할 예정이다. 그러나, GPS L5 신호의 특성상, 코드길이가 10,230개로 L1 C/A신호에 비해 10배가 더 길기 때문에 신호획득시간이 L1 C/A신호에 비해 더 길어진다. L5 신호획득시간을 줄이기 위해서는 신호획득에 필요한 상관기가 더 많이 필요하며, 이는 하드웨어 로직이 더 복잡해지며 가격 상승 요인으로 작용할 수 있다. 따라서, 본 논문은 이러한 문제점을 극복하기 위해, GPS L1/L5 겸용 수신기에서 GPS L1 신호처리 결과를 이용하여 GPS L5 신호획득 과정을 수행하지 않고도 GPS L5 신호추적을 가능하게 하는 방법을 제안하였다. 동일한 GPS 위성에서 전송하는 L1/L5 신호는 코드시작시점의 코드위상이 동기가 되어 있다는 특성을 이용하여 GPS L1 신호의 메시지 비트가 시작하는 시점에 GPS L5 코드위상값을 시작함을 예측할 수 있다. 또한, GPS L1 신호를 처리하여 산출되는 도플러 변이값을 이용하면, 캐리어 주파수간의 관계식을 통해 GPS L5 도플러 변이값을 계산한다. 이렇게 계산된 L5의 코드위상값과 도플러 변이값을 이용하여 L5 신호획득과정을 수행하지 않고 신호추적을 정상적으로 수행하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 시뮬레이션 결과를 통해 이론적 분석의 타당성을 입증하였다. 본 논문을 통해 GPS L1/L5 겸용 수신기에서 GPS L5 신호획득부를

구현하지 않더라도 GPS L1 신호추적 결과값을 이용하면, GPS L5 신호추적을 수행할 수 있음을 확인할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] 김재훈, 이상욱, 이점훈, 신천식, 정성균, 장동필, “위성항법 지상국 및 탐색구조단말기 기술 개발”, 위성통신과 우주산업, 제 16권, 제 1호.
- [2] Inone Joo, Cheonsig Sin, Sanguk Lee, and Jaehoon Kim, “GPS L5 Acquisition Schemes for Fast Code Detection and Improved Doppler Accuracy”, ETRI Journal, vol.32, No.01, Feb. 2010, pp 142-144
- [3] 이현, 박찬식, “초기 신호획득 성능향상을 위한 GPS용 다중 상관 디지털 신호처리기의 구현”, 충북대학교 컴퓨터 정보통신 연구소 논문집, 제 10권 2호, 2002.
- [4] Wim De Wilde, Jean-Marie Sleewaegen, Andrew Simsky, Christophe Vandewiele, Edda Peeters, Jan Grauwen, Frank Boon, “New Fast Signal Acquisition Unit for GPS/Galileo Receivers”, ENC GNSS 2006, Manchester, 7-10 May 2006
- [5] The Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces (IS-GPS-200E), 8 June 2010
- [6] The Navstar GPS space segment/user segment L5 interfaces (IS-GPS-705A), 8 June 2010
- [7] Dina Reda Salem, Cillian O'Driscoll and Gerard Lachapelle, “Performance Evaluation of Combined L1/L5 Kalman Filter-Based Tracking versus Standalone L1/L5 Tracking in Challenging Environments”, Journal of Global Positioning Systems, Vol.8, No.2, 2009, pp 135-147
- [8] Kai Borre, Dennis M. Akos, A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach, Birkhauser, 2006
- [9] Parkinson, B. W, Spilker, J, Jr., Axelrad, P, (eds.), “The Global Positioning System: Theory and Applications”, Volume 1, AIAA, Washington, DC, 1996

## 저자

### 주인원(Inone Joo)



- 1999년 2월 : 전북대학교 전기공학과 학사졸업
- 2001년 2월 : 포항공대 전기전자공학과 석사졸업
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 제직중

<관심분야> : 위성항법, 신호처리

**이 상 욱(Sanguk Lee)**



**정회원**

- 1988년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 학사졸업
  - 1991년 3월 : Auburn 대학교 항공우주공학과 석사졸업
  - 1994년 3월 : Auburn 대학교 항공우주공학과 박사졸업
  - 1993년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 위성항법연구팀장 재직중
- <관심분야> : 위성항법시스템, 시뮬레이터, 탐색구조시스템