

GPS L1-CA/Galileo 겸용 수신기의 설계

Design of GPS L1-CA/Galileo Dual Mode Receiver

김 찬 모*, 임 성 혁, 지 규 인, 조 용 범
(Chan-Mo Kim, Sung-Hyuk Im, Gyu-In Jee, and Yong-Beom Cho)

Abstract : A GNSS(Global Navigation Satellite System) using GPS provides us with very useful information concerning the positioning of users in many sectors such as transportation, social services, the justice system and customs services, public works, search and rescue systems and leisure. A GNSS using the Galileo satellite is due to work in 2008 and expected to be used in various fields such as aviation, marine transportation, land surveying, resources development precise agriculture, telematics, and so on. In this paper, we discuss the implementation and testing of a combined GPS/Galileo receiver which we named KSTAR V1.0. Each tracking module of GPS/Galileo dual mode correlator has the five track arms which consist of Very Early code, Early code, Prompt code, late code, and Very late code. Each of 24 tracking modules can be assigned to GPS and/or Galileo signal by changing mode selection register. The basic correlator integration dump period is set to 1ms for GPS C/A code and fast Galileo signal tracking. The performance of the developed combined GPS/Galileo receiver was tested and evaluated using the IF (Intermediated Frequency)-level GPS/Galileo signal generator.

Keywords : GNSS, GPS, galileo, correlator, dual mode

I. 서론

GPS 사용자들은 빌딩, 나무, 교각 등의 많은 신호 방해 요소에 의한 다중 경로를 거친 GPS 위성신호를 수신하게 된다. 2008년에 정상 동작할 계획인 Galileo는 GPS와는 별도로 유럽에서 자체적인 위성을 사용하여 서비스 될 계획으로 EU가 주도하여 진행하고 있다. GPS와 Galileo를 함께 이용하면 도심에서도 많은 위성을 관측할 수 있을 것이며 만약 GPS만을 사용한 경우에 비해서 두 배의 위성 신호가 수신되면 측위 정밀도, 신뢰성 및 이용성의 향상을 얻을 수 있다. 이는 GNSS 수신기를 현재 불가능한 분야에 응용이 가능하도록 할 수 있으며 사용자에게는 훨씬 높은 가격대비 효용을 제공할 수 있을 것이다. 이에 따라 세계 각국 및 수신기 제조업체에서는 GPS + Galileo 겸용 수신기 개발과 응용연구에 초점을 맞추고 있다.

일반적인 GNSS 수신기의 구조는 그림 1과 같이 RF front end, DA 변환기, 다 채널 상관기, 마이크로 프로세서 등으로 구성된다[1].

상관기는 마이크로 프로세서의 제어에 따라 위성의 추적을 수행하며 마이크로 프로세서는 상관기의 추적 정보를 이용하여 항법해를 구한다.

본 논문에서는 상용의 아날로그 부분, ARM9 프로세서, 그리고 ASIC으로 구현한 GPS/Galileo 겸용 상관기를 이용하여 GPS L1-CA 코드와 Galileo BOC(1,1) 코드를 동시에 사용하는 수신기를 구현하였다. 구현된 수신기는 IF(Intermediated Frequency) 대역의 실제 GPS 위성 데이터, 저장 또는 시뮬레이터를 사용하여 생성한 GPS + Galileo 혼합 신호를 이용하여 검증되었다. 그림 2는 구현된 수신기의 블록도이다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 9. 29., 채택확정 : 2007. 10. 26.

김찬모, 임성혁, 지규인, 조용범 : 건국대학교 전자공학과
(cmkim@konkuk.ac.kr/shim@konkuk.ac.kr/gijee@konkuk.ac.kr/ybcho@konkuk.ac.kr)

※ 본 연구는 IDEC, IT R&D Project, Nano IP/SoC Promotion Group, BK21 사업의 지원으로 연구되었음.

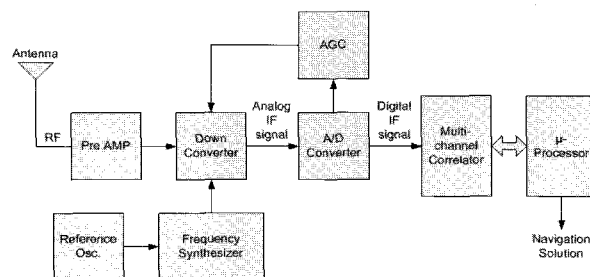


그림 1. 일반적인 GNSS 수신기의 구조.
Fig. 1. Structure of general GNSS receiver.

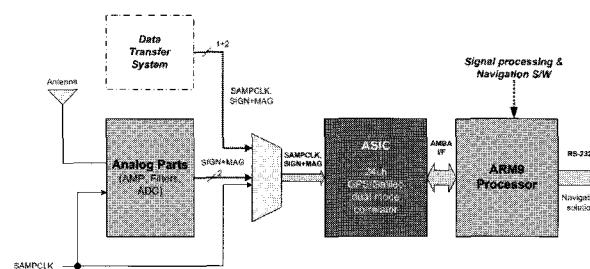


그림 2. GPS/Galileo 동시모드 수신기의 블록도.
Fig. 2. Block diagram of GPS/Galileo dual mode receiver.

ASIC으로 구현된 24 채널의 GPS/Galileo 동시모드 상관기는 AMBA 버스를 통하여 외부의 ARM 프로세서에 연결되며, 추적 및 항법해 처리 S/W는 ARM 프로세서에 포팅된다. 상관기 내의 각각의 추적 모듈은 1/3 ~ 1/6 chip 간격으로 very-early, early, prompt, late, very-late라는 이름으로 5개의 추적 암을 가지며 상관기의 기본적인 dump 주기는 1ms이다.

II. GPS/Galileo 동시모드 상관기의 설계

1. GNSS 신호특성

그림 3은 BPSK만을 사용하는 GPS C/A 코드와 BOC(1,1) 변조를 사용하는 Galileo BOC(1,1) 코드의 자기상관함수이다.

그림을 참조하면 BOC(1,1) 변조를 사용하는 Galileo L1 대역 신호에는 자기상관함수에 메인 피크(main peak) 외에도 사이드 피크(side peak)가 존재한다[2].

Galileo BOC(1,1) 코드의 경우, 자기상관함수의 특성으로 서브 안정 노드 때문에 그림 4와 같은 일반적인 EMLP(Early Minus Late Power) 변별기를 사용하면 신호획득 및 추적이 정상적으로 이루어지지 않는다. 실제 신호는 잘못 획득되어 추적될 수 있다. 별도의 사이드 피크 검출 메커니즘이 없으면 메인 피크 또는 사이드 피크에 어느 곳에서 추적이 되고 있는지 알 수 없게 되며 이를 모호함(ambiguity) 문제라고 한다 [3]. 따라서 3개의 추적 암(tracking arm)으로는 사이드 피크

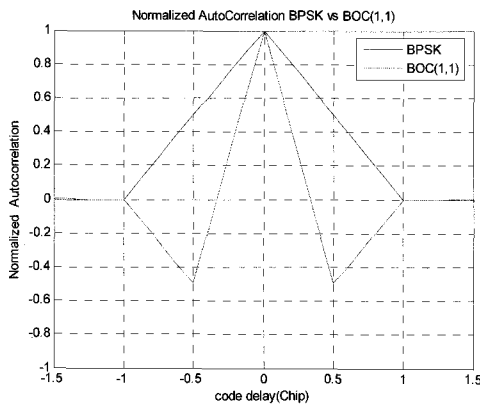


그림 3. GPS/Galileo L1 대역 신호의 자기상관함수.
Fig. 3. ACF of GPS/Galileo L1 band signal.

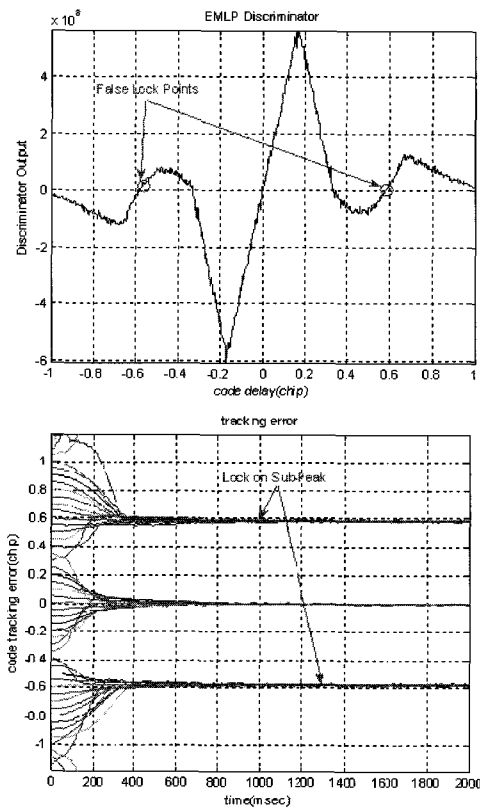


그림 4. EMLP 제거기와 ambiguous 추적.
Fig. 4. EMLP discriminator and ambiguous tracking.

를 적절히 검출할 수 없으므로 보다 많은 개수의 추적 암이 필요하다[4]. 본 논문에서 구현한 상관기는 5개의 추적 암을 사용한다.

2. GPS/Galileo 동시모드 상관기의 설계

GPS/Galileo 동시 모드 수신기의 구현을 위하여 그림 5와 같은 24 채널의 GPS/Galileo 동시모드 상관기를 설계하였다.

그림을 참조하면 상관기는 16.384MHz의 샘플 클럭(SAMPCLK)을 사용하며 샘플 래치(sample latch), 타임베이스 생성기(timebase generator), 24개의 추적 모듈(tracking module), 레지스터 블록, 마이크로 프로세서 인터페이스 블록 등으로 구성된다. 항법 SW가 포팅되는 ARM 프로세서는 AMBA I/F를 통하여 상관기 내부의 레지스터 블록에 액세스하여 상관기 제어 및 상관값 및 상태값의 읽기를 수행한다.

그림 6의 GPS/Galileo 추적 모듈은 반송파 발생기(carrier DCO), 반송파 혼합기(carrier mixer), 칩 비율 펄스 혼합기(chip rate pulse mixer), 코드 클럭 발생기(code DCO), 코드 혼합기(code mixer), 적분기(accumulator), 코드 생성기(code generator), 코드 지연 계수기(code slew counter), 에폭 카운터(epoch counter), 코드 위상 계수기(code phase counter), 캐리어 주기 계수기(carrier cycle counter) 등으로 구성된다. 각각의 추적 모듈은 5개의 추적 암을 가지며 추적 모듈의 초기화는 시스템 리셋과 채널 리셋에 의해서 이루어진다.

각각의 추적 모듈은 GPS와 Galileo를 선택적으로 추적할 수 있어야 하므로 각 블록은 모드 선택에 따라 상이하게 동작하여야 한다. 이를 위하여 레지스터 블록에는 CHx_GAL_nGPS라는 모드 선택 레지스터가 있으며 이 값이 '0'일때는 GPS 모드를, '1'일때는 Galileo 모드임을 나타낸다.

특히 코드 발생기는 다음 그림 7과 같이 GPS와 Galileo 코

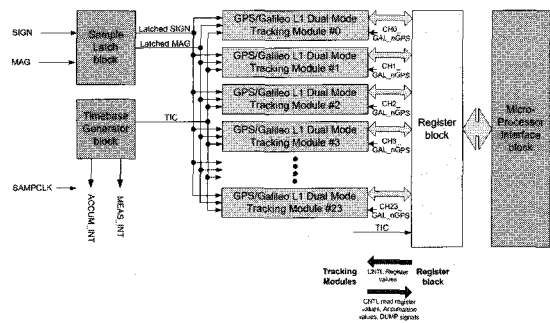


그림 5. GPS/Galileo 동시모드 상관기의 블록도.
Fig. 5. Block diagram of GPS/Galileo dual mode correlator.

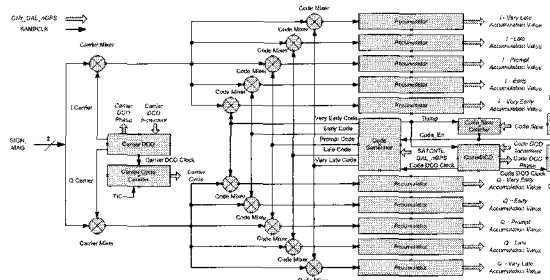


그림 6. 추적 모듈의 블록도.
Fig. 6. Block diagram of tracking module.

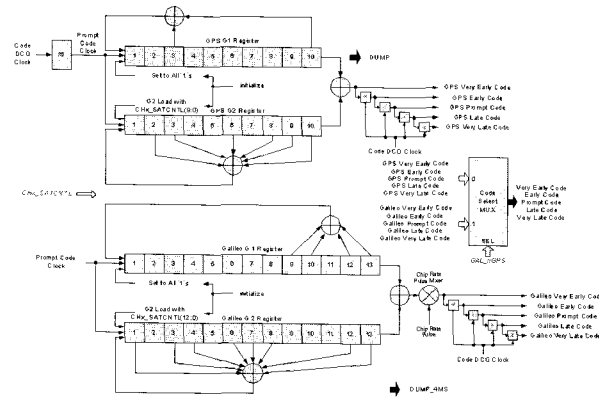


그림 7. 코드발생기의 블록도.
Fig. 7. Block diagram of code generator.

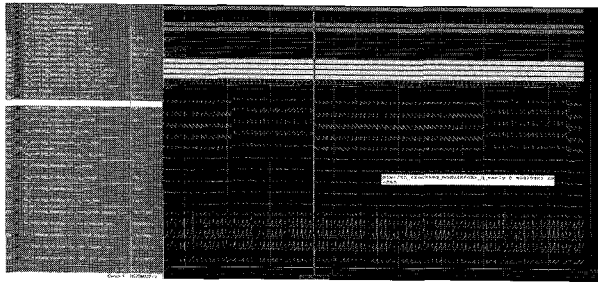


그림 8. GPS 모드에서의 추적 모듈의 모의 실험결과.
Fig. 8. Simulation of tracking module in GPS mode.

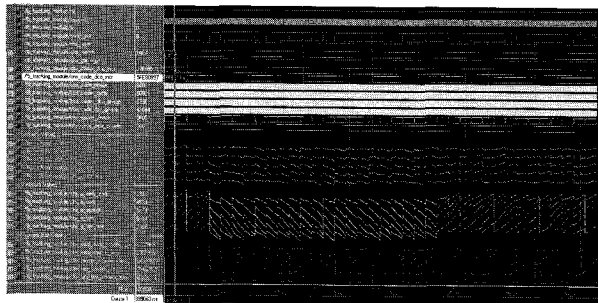


그림 9. Galileo 모드에서의 추적 모듈의 모의 실험결과.
Fig. 9. Simulation of tracking module in Galileo mode.

드의 생성을 위한 독립적인 G1/G2 레지스터를 가진다. 생성된 GPS 및 Galileo 코드는 1/6 간격의 코드 클럭에 의해서 지연되어 5개의 추적 압을 위한 코드가 생성되며 CHX_GAL_nGPS값에 의해 선택된 값이 코드 혼합기로 출력된다.

어떠한 추적 모듈의 모드를 GPS와 Galileo 사이에서 변환해야 할 때는 3단계의 시퀀스를 통하여 이루어진다. 첫 번째 단계로 G2 초기화 값, 반송파 발생기 및 코드 클럭 발생기의 위상 증가치를 새로 적는다. 두 번째 단계로 CHX_GAL_nGPS 모드 레지스터의 값을 '1'에서 '0'으로(Galileo → GPS), 또는 '0'에서 '1'(GPS → Galileo)로 바꾼다. 마지막으로 채널 리셋을 인가하여 해당 추적 모듈만 초기화 시킨다.

그림 8과 9는 GPS 모드와 Galileo 모드에서 추적 모듈의 모의 실험 결과이다. 그림을 참조하면 10개의 적분값과 수신 전력을 확인할 수 있다.

그림 10은 GPS 모드에서 코드의 위상 지연에 따른 상관값

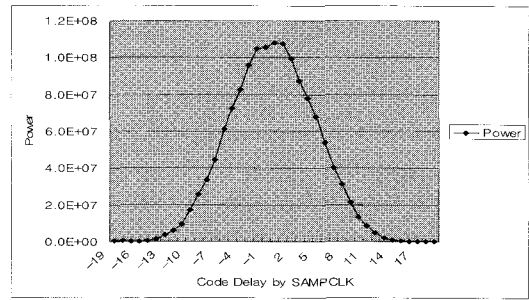


그림 10. GPS 모드에서 코드의 위상 지연에 따른 상관값 변화.
Fig. 10. Change of correlation value according to code phase error in GPS mode.

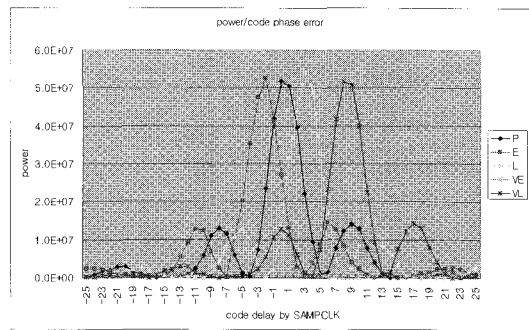


그림 11. Galileo 모드에서 코드의 위상 지연에 따른 상관값 변화.
Fig. 11. Change of correlation value according to code phase error in Galileo mode.

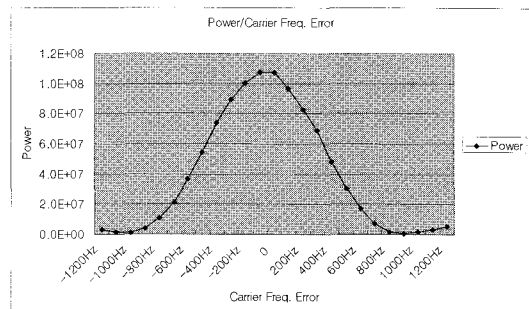


그림 12. GPS L1 모드에서 반송파 주파수 오차에 따른 수신 전력의 변화.
Fig. 12. Change of correlation value according to carrier frequency error in GPS L1 mode.

의 변화를 모의 실험한 결과로 코드의 위상차가 1칩 이내일 때만 큰 상관값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 Galileo 모드에서 코드의 위상 지연에 따른 상관값의 변화의 모의 실험 결과이다. 5개의 그래프는 각 추적압의 수신 전력을 나타낸 것으로 BOC(1,1) 변조된 코드의 자기 상관함수와 유사한 곡선이 됨을 확인할 수 있다.

그림 12는 반송파 주파수 오차에 따른 수신 전력인 $P^2 + Q^2$ 값을 구한 모의 실험 결과이다. 반송파 발생기의 위상 증가치를 100Hz 단위로 변화시키면서 상관값을 구한 것이며 반송파의 주파수 오차가 0일 때 수신 전력은 최대이고 1000Hz 이상의 차이가 발생하면 수신 전력이 거의 0이 됨을 확인할

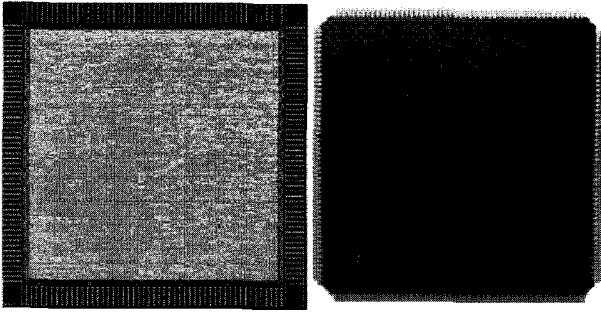


그림 13. 동시모드 상관기의 레이아웃과 제작된 칩.
Fig. 13. Layout and chip of dual mode correlator.

수 있다.

모의실험을 통하여 검증된 GPS/Galileo 동시모드 상관기는 Magnachip 반도체 0.25 μ m@5mm \times 5mm 공정을 이용하여 제작되었다. 그림 13은 레이아웃 결과와 제작된 칩이다.

III. 신호처리 및 항법 소프트웨어

신호처리 및 항법해 S/W는 ARM 프로세서에 포팅된다. S/W 부분의 전체 블록도는 다음 그림 14와 같다. 그림을 참조하면 S/W 부분은 추적 루프와 항법해 산출 모듈, UART 컨트롤 모듈 등으로 구성된다. ARM 프로세서는 상관기 내부의 레지스터를 액세스 함으로써 상관기를 제어하고 이에 따라 상관결과를 획득한다.

ARM 프로세서에 구현되는 S/W의 가장 핵심적인 부분은 위성 신호를 획득 및 추적하는 부분과 항법해를 구하는 부분으로 나눌 수 있다. 신호획득을 통하여 수신된 신호에 위성 신호가 존재하게 된다는 것을 감지하면 필요한 정보를 추적 루프로 전달하게 된다. 추적루프는 입력 신호를 처리하여 항법데이터, 의사거리와 같은 정보를 제공하게 된다.

본 논문에서는 GPS/Galileo의 신호 획득을 위해 일반적인 GPS 수신기에서 사용하는 2차원 신호 검색방법을 사용하였다. 반송파의 경우 ± 500 Hz씩 이동하며 신호를 검색하며, 코드의 경우 0.1chip/ms 단위로 검색하게 된다.

Galileo 신호 추적은 반송파의 경우 2차 FLL(Frequency Lock Loop) 추적루프를 사용하였다. 2차 FLL은 Zero steady state error를 가지므로 상수 변화를 보이는 도플러를 보상하는 반송파 추적에 적합하며 PLL(Phase Lock Loop)보다 강한 동적 특성을 가진다. 코드의 경우 1차 DLL(Delay Lock Loop)를 사용하였으며, GPS 추적시에는 EMLP 변별기를, 그리고 Galileo BOC(1,1) 신호의 추적시에는 2중 변별기를 사용하였다.

I장에서 설명한 바와 같이 Galileo BOC(1,1) 코드는 사이드 피크로 인해 일반적인 EMLP 변별기를 사용하면 위성의 올바른 추적을 수행할 수 없는 모호함을 가지고 있다. 이를 해결하는 방법으로 범프 도약(bump jumping), 2중 변별기, BOC/PRN 변별기, 사이드 대역 상관기 등이 사용된다[5]. 본 논문에서는 다음과 (1)과 같은 변형된 이중 2중 변별기를 사용하였다.

$$D = (I_E^2 + Q_E^2) - (I_L^2 + Q_L^2) + \frac{1}{3} \{ (I_{VE}^2 + Q_{VE}^2) - (I_{VL}^2 + Q_{VL}^2) \} \quad (1)$$

다음 그림 15는 일반적인 EMLP 변별기와 (1)의 2중 변별

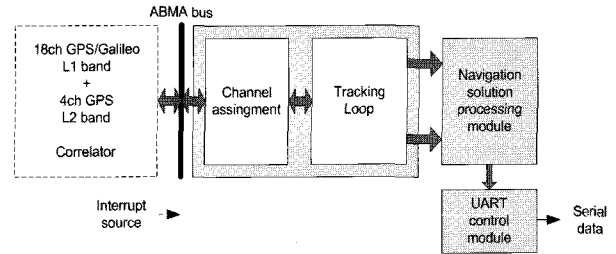


그림 14. 신호처리 및 항법해 S/W 부분의 블록도.
Fig. 14. Block diagram of signal processing and navigation S/W.

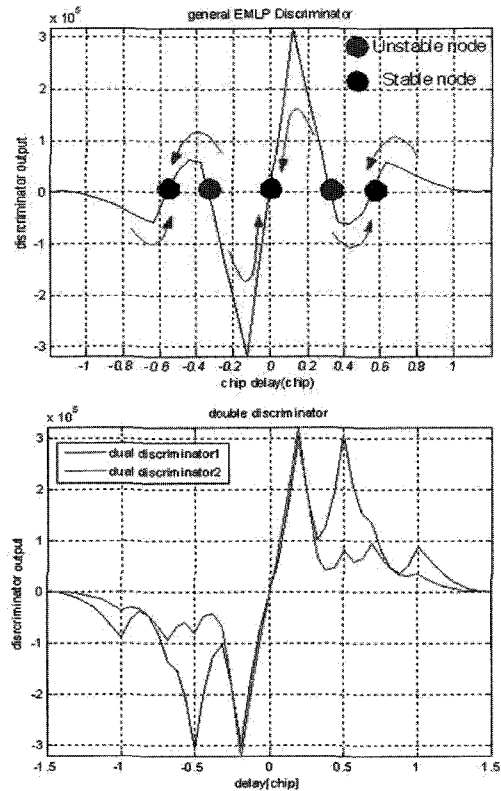


그림 15. EMLP 변별기와 2중 변별기.
Fig. 15. EMLP discriminator and double discriminator.

기의 출력을 비교하여 도식한 것이다. 신호 획득 및 추적을 통하여 얻어진 위성 코드는 최소 자승법(least square method)을 이용하여 항법해를 산출하는데 사용된다.

IV. GPS/Galileo 동시모드 수신기의 구현 및 검증

1. GNSS 신호 생성기

Galileo 위성의 경우 아직 정상 서비스가 되지 않으므로 GPS+Galileo 복합 신호 추적의 검증을 위하여 다음 그림 16과 같은 구조의 소프트웨어 기반 신호 생성기를 구현하였다.

신호 생성기 S/W는 궤적을 설정하고, 이에 따른 GNSS 신호를 생성한다. 그림 17은 가속도 및 각속도 모델을 이용하여 생성된 궤적이다.

생성된 사용자 궤적을 이용하여 GNSS 신호를 생성하기 위해서, 우선 현재 고도각(elevation angle)이 차단각(mask angle)보다 위에 존재하는 GNSS 위성을 선별한 후 사용자와 위성의 거리를 계산한다. 거리를 계산하는 방법은 다음 (2)와

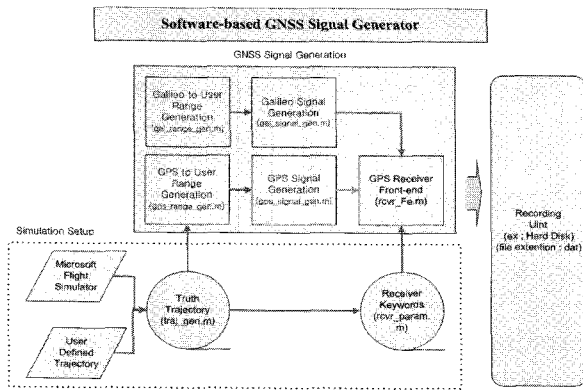


그림 16. GNSS 신호생성기의 구조.
Fig. 16. Structure of GNSS signal generator.

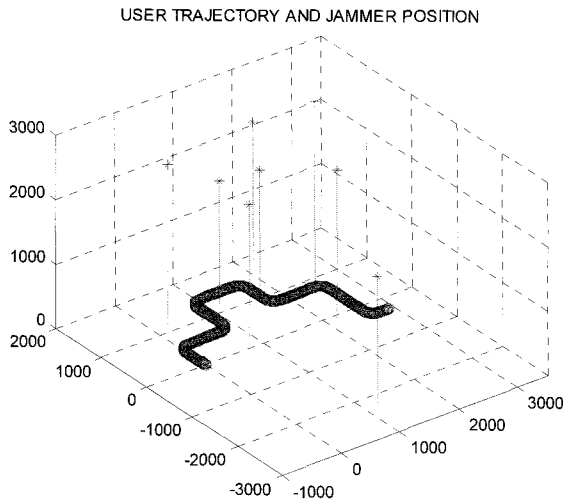


그림 17. 가속도 및 각속도 모델을 이용하여 생성된 궤적.
Fig. 17. Generated trajectory using acceleration and angular rate model.

같다.

$$r(t) = \|\bar{P}_{SV}(t) - \bar{P}_{USER}(t)\| \quad (2)$$

여기에서, $r(t)$ 는 시각의 거리이고, $\bar{P}_{USER}(t)$ 와 $\bar{P}_{SV}(t)$ 는 각각 기준 좌표계에 대한 사용자의 위치 벡터와 위성의 위치 벡터이다. $\|\cdot\|$ 는 벡터의 크기를 나타낸다. 실제로는 위성과 사용자의 상대적인 움직임으로 인하여 한번의 계산으로 거리를 구할 수 없으며, 반복법을 이용하여 근사화하여 구하면 무시할 수 있는 오차($\ll 0.000001$ meter)의 거리정보를 구할 수 있게 된다.

이렇게 구해진 거리로부터 거리의 변화율을 구할 수 있으며, 이 거리 값과 거리의 변화율에 GPS C/A코드와 L1 반송파 주파수의 관계(또는 Galileo L1 BOC 와 Galileo L1 반송파 주파수의 관계)를 적용하면, L1 반송파의 위상과 위상의 변화율을 구할 수 있으며 이렇게 구해진 정보를 바탕으로 (3)과 같은 신호를 생성하게 된다.

$$\dot{r}(t) = \frac{r(t) - r(t-1)}{\Delta t} \quad (3)$$

여기에서, $\dot{r}(t)$ 는 거리의 변화율을 나타내며, Δt 는 두 시점의 시간간격이며, 이 값의 크기에 따라서 운동모델의 정확성에 차이가 발생한다. 일반적으로 0.001초로 설정하면 고기동의 항체 운동의 모델링도 가능하며 모델오차는 무시할 수 있다. 위의 식을 바탕으로 반송파 위상과 도플러 정보는 (4)와 같이 쉽게 구해진다.

$$C_{phase}(t) = \frac{r(t)}{\lambda_{L1}} \quad (4)$$

$$\dot{f}(t) = \frac{\dot{r}(t)}{\lambda_{L1}}$$

여기에서, $C_{phase}(t)$ 는 시각의 반송파 위상이고, $\dot{f}(t)$ 는 도플러 주파수, 그리고 λ_{L1} 는 L1 반송파의 한 파장 길이이다.

위성의 위치와 위성의 데이터 비트는 알마낙(almanac) 또는 천문력(ephemeris) 정보를 이용하여 생성한다. 특히, 데이터 비트의 코딩은 GPS의 경우 ICD-GPS-200에서 규정한 코딩에 맞도록 데이터 비트를 생성한다. 생성된 위성의 데이터 비트는 실제 수신기의 위성 데이터(프레임 디코딩)처리 프로그램을 이용하여 검증한다.

2. GPS+Galileo 동시모드 수신기 구현 및 테스트

동시모드 상관기 칩과 ARM9 프로세서 보드를 이용하여 GPS/Galileo 동시모드 수신기를 구현한다. 이의 검증은 샘플링되어 저장된 I/F 대역의 실제 GPS 위성 신호 또는 신호 발생기 S/W를 사용하여 생성된 GPS 및 Galileo I/F 데이터를 이용하여 동작이 검증되었다. 수신기의 항법해 및 추적 정보는 구현된 모니터 프로그램으로 확인하였다.

그림 18은 동시모드 수신기의 테스트 환경을 나타낸 것이다. 그림을 참조하면 참조하면 데이터 획득 보드를 사용하여 저장된 데이터 또는 생성된 I/F 데이터를 가진 데이터 전송 서버에 저장하며 이를 Nallatech사의 Extreme DSP™ 보드를 사용하여 GNSS 수신기로 전송한다.

그림 19에서 GPS/Galileo 동시 모드 수신기의 동작을 모니터 프로그램을 통하여 확인할 수 있다. 12 채널의 추적 모델

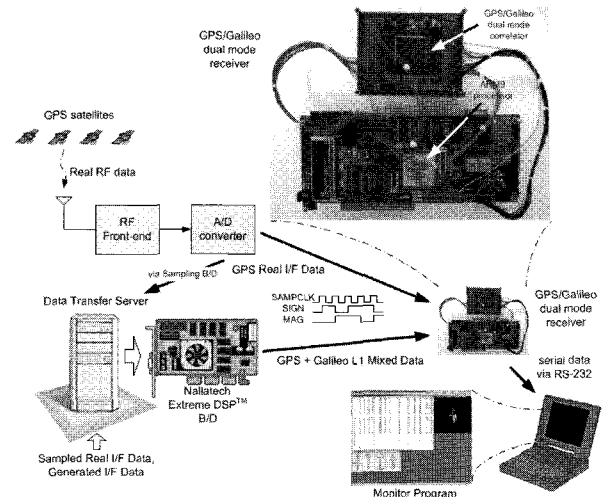


그림 18. 동시모드 수신기의 테스트 환경.
Fig. 18. Test environment of dual mode receiver.

