

GPS(Global Positioning System) 추적 성능 분석

*노기홍1, **성태경2

¹정보통신공학과, 충남대학교 (Tel: 042-821-7607, E-mail: felove17@nate.com)

²전기정보통신공학부, 충남대학교 (Tel: 042-821-5660, E-mail: tksaint@cnu.ac.kr)

Abstract: 현재 사용되는 디지털 신호처리 방식의 GPS(Global Positioning System) 수신기는 최소의 RF 블록만을 이용하여 모든 디지털 신호 처리를 소프트웨어로 수행하고 있다. 소프트웨어 GPS 수신기의 장점으로는 디지털 신호처리 과정이 모두 소프트웨어로 구현되어 있기 때문에 새로운 구현 방식이나 알고리즘을 적용할 시, 하드웨어 변경은 필요가 없게 되고, 소프트웨어 재설계만으로 가능하다. GPS 수신기의 Tracking module 성능은 DLL discriminator function 과 FLL discriminator function 의 Algorithm 에 의해서 영향을 받게 된다. DLL discriminator function algorithm 에는 dot-product 와 normalized dot-product 방법 등이 있으며, FLL discriminator function algorithm 에는 sign(dot)(cross)-product 와 cross-product 그리고 ATAN 방법이 있다. 이러한 discriminator function 들은 algorithm 에 따라 input error 에 대한 discriminator 의 출력 값을 일정한 범위에서의 차이를 나타내게 되면서 ranging accuracy 에서 차이가 나타나게 된다.

본 논문에서는 Nordnav 소프트웨어 GPS 수신기를 이용하여 DLL discriminator algorithm 과 FLL discriminator algorithm 의 성능을 비교, 분석을 하고 Tracking accuracy, sensibility, 그리고 multipath rejection 에 대해서 알아보고자 한다.

Keywords: GPS, Reject, DOP, Correlator space.

2. GPS 수신기 신호처리

1. 서론

GPS(Global Positioning System)는 정밀한 위치 결정에 사용되고 있으며, 초기에 군사목적용을 벗어나 현재는 자동차, 선박, 비행기, 측량분야, 지각, 우주, 통신 등 매우 넓은 분야에서 활용되고 있다. 하지만 GPS 의 측위 값에는 많은 오차를 포함하고 있어서 정밀한 측위 값을 획득하기 위해서는 그 오차 값들을 제거하거나 최소화하여야 한다. GPS 오차는 위성궤도 오차나 위성시간 오차, 대류권이나 전리층에 의한 오차, 다중경로나 수신기 잡음에 의한 오차 등으로 구분할 수 있다. 특히 다중경로와 수신기 잡음에 의한 오차는 제거하거나 최소화하는데 많은 어려움이 따르는데, 다중경로에 의한 오차는 측위 당시의 수신기 주변환경에 따라 바뀌기 때문에 제거하거나 최소화하는데 어려움이 발생하고, 수신기 잡음에 의한 오차는 수신기 내부 잡음에 의해서 발생하기 때문에 제거하거나 최소화하는데 어려움이 따르게 된다. 따라서 이들의 오차 값을 판별하기 위해서 GPS 에서는 신호를 추적하는데 반송파 추적 루프와 코드 추적 루프를 사용하게 된다. 각 추적 루프에서는 오차 값을 판별하기 위해서 서로 다른 판별기를 사용하여 반송파와 코드에서 발생하는 오차 값을 판별하게 된다. 이들의 오차 값을 최소로 하기 위해서 사용되는 여러 알고리즘들이 있는데 일반적으로 사용되는 알고리즘들은 다음과 같다. 반송파 추적 루프에 사용되는 알고리즘에는 PLL(Phase Lock Loop) 판별기 방법과 Costas Loop 판별기, FLL(Frequency Lock Loop) 판별기의 방법을 사용하고 있으며, 코드 추적 루프에서 사용되는 판별기는 DLL(Delay Lock Loop) 판별기의 EML(Early Minus Late)과 dot-product 방법을 사용하고 있다.

본 연구에서는 반송파 추적 루프와 코드 추적 루프에서 사용되는 판별기에 따른 추적 성능 및 정확도를 분석하기 위해서 다중경로에 의해서 발생한 오차 환경을 가정하여 실험을 수행하였다. 실험에서는 Nordnav 소프트웨어 수신기를 이용하여 다중경로가 없는 환경과 다중경로가 있는 환경에서의 판별기의 추적 성능 및 정확도를 분석하고 시뮬레이션 결과를 함께 제시하고 있다.

2.1 GPS 수신기 디지털 신호처리 구조

현재의 GPS 수신기들은 최소의 RF단을 사용하여 신호의 처리를 쉽게하기 위한 IF대역으로 주파수 변환 과 sampling 과정을 거친 후에 이 신호들을 DSP로 처리를 하고 있다. 입력된 디지털 IF 샘플 신호로부터 반송파 및 코드를 제거하여 항법 메시지 복원과 항법에 필요한 측정 값들을 생성하게 된다. 반송파 및 코드를 제거하는데 있어서, 반송파 및 코드에서 발생한 오차 신호가 반송파 및 코드 추적 루프에 제공되어야 한다. 이 오차 신호들은 각 추적 루프에서 사용되는 판별기의 종류에 따라서 달라지게 된다. 반송파 추적 루프에서는 동위위상 상관 값과 직교위상 상관 값을 사용하게 되며, 코드 추적 루프에서는 앞섬 코드에 대한 상관 값과 뒤짐 코드에 대한 상관 값을 제공하게 된다. 또한 현재 생성되는 의사 잡음 코드의 위상 정보가 제공되는데 이는 위성과 수신기 간의 의사거리 측정을 하는데 사용되게 된다. 이러한 신호 추적 과정을 통해서 항법 메시지 복원과 항법에 필요한 측정치 생성이 가능하게 된다. 지금까지 신호 추적을 하기 위해서 GPS 수신기의 디지털 신호처리기의 구조는 그림 1.과 같다.

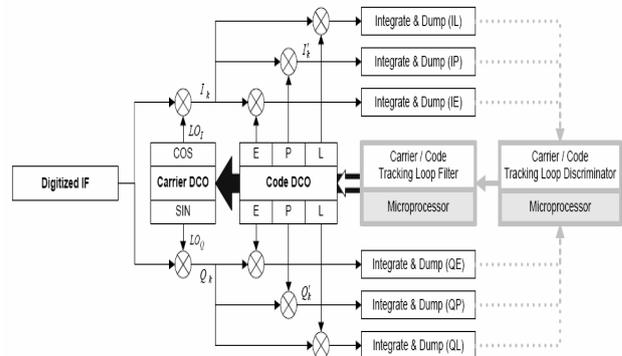


그림 1. 디지털 신호처리 구조

2.2 반송파 추적 루프 판별기 및 코드 추적 루프 판별기 특성

반송파 추적 루프 판별기의 종류에는 PLL 판별기와 Costas Loop 판별기, FLL 판별기가 있다. 먼저 PLL과 Costas Loop 판별기는 위상 오차 값을 추정 하며 정확성은 보장이 되는 장점을 가지고 있지만 동적인 특성에 대해서는 민감한 특성을 보인다는 단점을 지니고 있다. FLL 판별기는 주파수 오차 값을 추정하며 정확성이 떨어진다는 단점을 가지고 있지만 동적인 특성에 덜 민감하다는 장점을 가지고 있다. 즉, 동적인 특성이 강한 환경에서는 반송파 루프 필터의 밴드를 넓게 설정을 해줘야 하고, predetection integration 시간은 짧게 설정을 해줘야 하며, FLL 판별기를 사용해야 한다. 하지만 동적인 특성이 없는 환경에서는 반송파 루프 필터의 밴드를 좁게 설정해주고, predetection integration 시간은 길게 설정을 해줘야 하며, PLL 판별기를 사용함으로써 정확성을 보장할 수 있게 된다. 특히 PLL 판별기에서 사용되는 ATAN2 판별기의 특성을 보면 잡음이 없는 환경에서는 입력 위상 오차 값을 $\pm 180^\circ$ 의 범위에서 선형적으로 검출할 수 있는 특성을 지니고 있으며, Costas Loop 판별기에서 사용되는 ATAN 판별기의 특성은 잡음이 없는 환경에서 입력 위상 오차 값을 $\pm 90^\circ$ 의 범위에서 선형적으로 검출할 수 있는 특성을 지니고 있다.

코드 추적 루프 판별기의 종류에는 EML과 dot-product 판별기가 있다. EML 판별기는 앞섬 코드의 동위상(Inphase) 값과 직교 위상(Quadra-phase) 값과 뒤짐 코드에 대한 동위상(Inphase) 값과 직교 위상(Quadra-phase) 값의 상관 값을 이용하여 현재 코드의 값을 알아내는 방법이다. EML 방법은 잡음이 없는 환경과 1-chip 범위의 Correlator space에서 입력 오차에 대한 출력을 $\pm 0.5chip$ 의 범위에서 안정적으로 나타내게 된다. 하지만 $\pm 1.5chip$ 의 범위에서는 입력 오차에 대해서 불안정한 출력을 나타내게 된다. Dot-product 방법은 EML 방법에서 앞섬 코드의 위상 값을 사용하는 것과 달리, 앞섬 코드의 동위상 값, 직교 위상 값, 뒤짐 코드의 동위상 값, 직교 위상 값, 현재 코드의 동위상 값, 직교 위상 값을 이용하여 오차의 값을 판별하게 된다. 즉, EML 방법에서는 2개의 상관기를 사용하는 반면, dot-product 방법에서는 3개의 상관기를 사용하게 된다. Dot-product에서도 EML과 마찬가지로 잡음이 없는 환경과 1-chip 범위의 correlator space에서 입력 오차에 대한 출력을 $\pm 0.5chip$ 의 범위에서 출력을 나타내게 된다. 특히 코드 추적 루프 판별기에서는 Normalization을 하게 되는데, Normalization을 함으로써 신호의 진폭에 대한 민감도를 줄일 수 있으며, 또한 SNR(Signal to Noise Ratio)의 변화에 대해서도 좋은 성능을 나타내는 장점을 지니고 있다.[2]

3. 다중경로

다중경로의 영향들은 GPS 위성배열 기하의 변화에 따라서 주파수나 위상의 값들이 변하기 때문에 측위점을 둘러싼 주위 환경에 의해서 결정된다. 즉, 다중경로는 반사된 신호들의 간섭으로 인하여 위상 관측 값의 왜곡을 발생시키게 된다. 다중경로의 영향들에는 먼저 여러 GPS 수신기를 사용할 경우 GPS 안테나 들이 가까이 있을 때 발생하게 되는데 다중경로에 의해서 발생된 신호들이 안테나들과의 동일한 경로로 입사되기 때문이다. 다음으로 GPS 안테나들이 멀리 떨어졌을 때 발생하는 경우인데 이는 위성과 안테나 사이의 기하학적 관계가 작은 이유로 안테나 주위의 반사체에 의해서 다중경로가 발생하는 경우이다. 또 다른 다중경로의 영향으로는 수신기의 고정 및 이동에 의한 영향을 들 수가 있다. 만일 수신기가 고정식이라면 다중경로의 오차는 안테나 부근의 반사표면에 따른 주기를 가진 매우 낮은 주파수로 나타내게 될 것이며, 이동식이라면 주위의 건물들이나 이동체, 다른 주위 사물들, 이동체 자체에서의 신호 반사로부터 다중경로의 영향이

발생할 수 있으며, 또한 수신기의 작동, 위성, 반사체, 안테나의 기하학적 관계의 빠른 변화에 따른 신호 회절에 의한 다중경로의 영향이 발생할 것이다. 즉, 다중경로 오차는 위성에서 송출된 신호가 주변의 반사물질들을 통하여 수신기에 도달한 신호와 위성으로부터 직접 도달한 신호가 수신기에서 서로 상호 작용을 하여 발생하는 오차요인이다. 이는 GPS와 같은 전파 항법을 수행하는데 있어서 큰 오차 요인으로 작용하게 된다. 다중경로에 의하여 발생하는 의사거리 측정오차는 오차 검출이 어려운 난점이 있기 때문에 검출되지 못한 다중경로는 큰 의사거리의 오차를 유발하며 이는 다시 위치 오차를 증폭하는 결과로 나타나게 된다.

4. 실험

4.1 GPS 시뮬레이터를 이용한 다중경로 환경에서의 데이터 획득

이번 실험에 대한 정보는 다중경로가 없는 환경에서의 시나리오와 다중경로가 있는 시나리오를 작성하여 시뮬레이터로 IF 정보를 수집하고, 이 IF 정보를 이용하여 Nordnav 소프트웨어 수신기에서의 다중경로 환경에서의 추적 성능을 분석한다. 시나리오는 8개의 위성에 대해서 작성되었으며, 특히 다중경로가 있는 시나리오는 4개의 위성에 대하여 다중경로가 없는 신호의 power 값에 대해서 3dB, 5dB 낮은 값을 설정해 준 시나리오와 의사거리 값도 100m, 200m 차이가 나도록 설정을 해준 시나리오로 작성이 되었다. 그림 2.에서는 power값을 3dB 낮춘 위성들의 현황을 보여주고 있으며, 그림 3.에서는 power값을 5dB 낮춘 위성들의 현황을 보여주고 있다. 또한 그림 4.에서는 8개의 위성들의 배치 상태를 보여주고 있다. 다중경로 영향을 설정한 위성은 9, 15, 26, 28번 위성이다. 각각의 시나리오를 이용하여 여러 다중경로 환경에서의 위성정보, 위치정보 등의 자료를 통하여 Nordnav 소프트웨어 수신기의 추적 성능을 분석한다. 다중경로에 의해서 위상 오차 및 주파수 오차가 발생하게 되는 상황에 대해서 각각의 다중경로 환경에서의 위성에 대한 Reject 수와 각각의 환경에서의 DOP(Dilution of Precision)의 변화 값, 상관기에서의 Correlator space 값을 수집된 정보에서 산출하여 위치 정확도를 분석하였다.

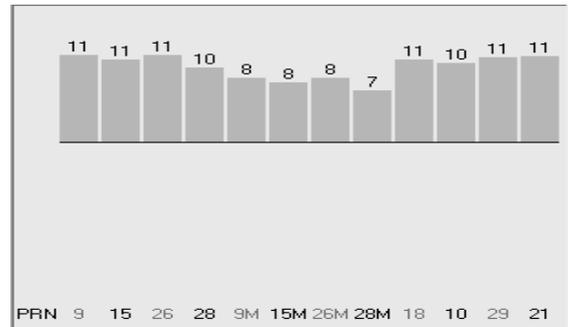


그림 2. 다중경로에 의한 위성별 Power 값(3dB)

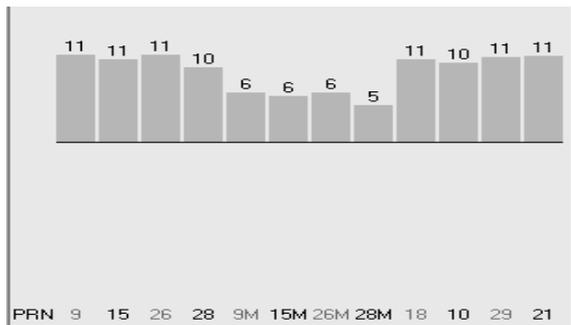


그림 3. 다중경로에 의한 위성별 Power 값(5dB)

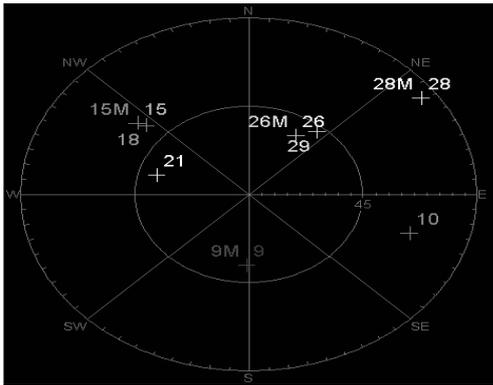


그림 4. 위성 배치도

4.2 Nordnav 소프트웨어 수신기를 이용한 다중경로 환경에서의 실험 결과

Nordnav 소프트웨어 수신기를 이용하여 다중경로가 없는 환경에서와 다중경로가 있는 환경에서의 위성에 대한 Reject 수와 DOP의 변화 값을 보면 다중경로가 없는 상황에서는 위성에 대한 Reject 수가 처음 얼마 시간 동안에만 1~2개의 위성에 대해서 발생한 반면, 다중경로가 있는 환경에서는 최대 4개의 위성에 대해서 Reject가 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 5.에서는 다중경로가 있는 환경과 다중경로가 없는 환경에서의 Reject된 위성의 수를 나타내고 있는데, 특히 의사거리의 값을 100m로 설정하였을 경우에는 최대 3개의 위성에 대해서 Reject가 발생한 반면, 의사거리의 값을 200m로 설정하였을 경우에는 최대 4개의 위성에 대해서 Reject가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

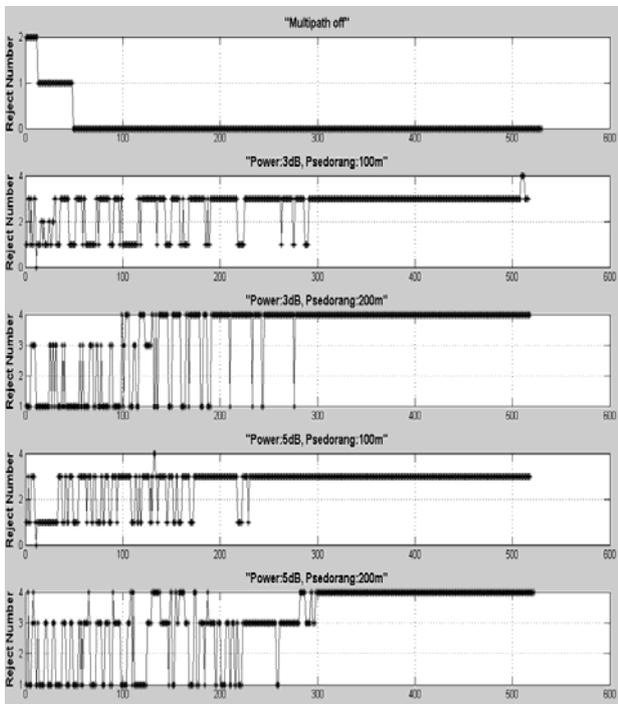


그림 5. 다중경로가 있는 환경과 다중경로가 없는 환경에서 위성의 Reject 수

위성에 대한 Reject 수에 대해서 DOP의 값을 보면 Reject 수가 많아 질수록 DOP의 값이 나빠지게 되는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 DOP의 값이 나쁜 환경에서는 좋은 DOP 환경에서

보다 더 많은 위치 오차 값이 발생하게 된다. 그림 6.에서는 다중경로가 있는 환경과 다중경로가 없는 환경에서의 DOP 값을 나타내고 있는데, 다중경로가 없는 환경에서의 DOP 값은 2.55의 값을 나타내고 있는 반면에 다중경로가 있는 환경에서는 3.5 이상의 값을 나타내고 있다.

Very good	1-3
Good	4-5
Fair	6
suspect	> 6

표 1. DOP의 값에 따른 성질

표 1.에서는 DOP의 값에 따른 성질을 나타내고 있다. 그림 6.에서 나타나는 바와 같이 Nordnav 수신기를 이용하여 다중경로가 있는 환경에서의 DOP의 값은 4이하의 값을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 7.에서는 다중경로가 있는 환경과 없는 환경에서의 위치 값을 나타내고 있다. 그림 7.에서는 위성의 Reject 수가 많이 발생한 경우인 의사거리의 값을 200m 설정한 환경과 다중경로가 발생하지 않은 환경에 대해서 위도, 경도의 값을 나타내고 있다. 그림 7.에서 보듯이 다중경로가 발생하지 않은 환경에서는 위도, 경도의 값이 $\pm 0.00001^\circ$ 의 범위에서 오차 값이 발생하는 반면에 다중경로가 발생한 환경에서는 $\pm 0.0005^\circ$ 의 범위에서 오차 값이 발생하는 것을 볼 수 있다.

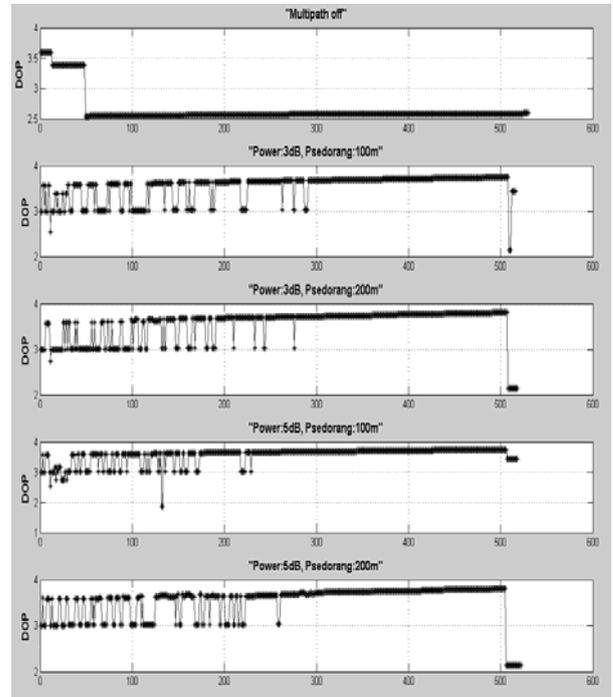


그림 6. 다중경로가 있는 환경과 다중경로가 없는 환경에서 DOP

지금까지 살펴 본 바에 의하면 다중경로가 발생한 환경에서는 위성의 Reject 수가 발생하며 그에 따라서 DOP의 값이 나빠지게 되어 위치 오차 값이 더 발생하게 된다. 이처럼 다중경로에 의한 영향으로 발생하는 오차 값을 줄이기 위해 narrow Correlator space의 값을 사용하는 방법이 있다. 지금까지의 결과는 Correlator space 값을 0.75로 설정하여 실험한 내용이며, 그림 8.에서는 Correlator space 값을 0.375로 설정하여 실험하여 Reject된 위성의 수를 나타내고 있다. 결과를 보면 0.75의 Correlator space 값을 설정했을 경우, 의사거리의 값을 200m 설정하였을 경우에 대해서는 Reject된 위성의 수가 최대 4개까지 발생한 것에 비해서, 0.375의 Correlator space 값을 사용함으로써 최대 3개까지의 Reject된 위성의 개수가 발생하여 Reject된 위성의 수가 감소된 것을 확인할 수 있다.

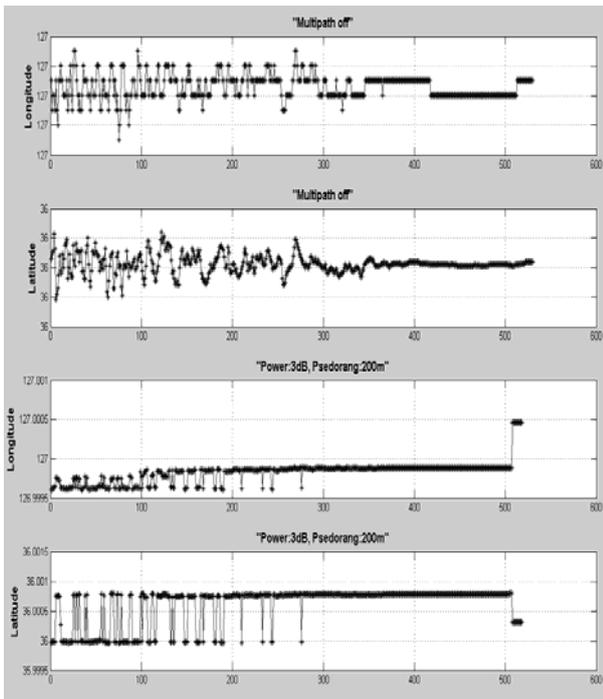


그림 7. 다중경로가 있는 환경과 PWR: 3dB, PSR: 200m 환경에서 측정된 경도, 위도

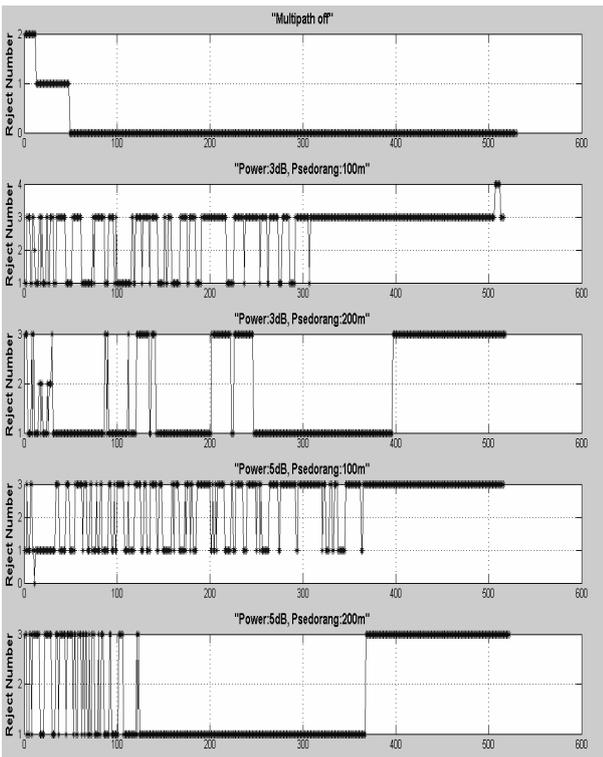


그림 8. Narrow correlator space에 의한 위성의 Reject 수

이는 지금까지의 살펴본 내용과 같이 narrow Correlator space 값을 사용함으로써 위성에 대한 추적 성능을 향상 시킴으로써 다중경로의 영향을 줄일 수 있는 결과를 보여주고 있다. 따라서 다중경로의 영향에 의한 위치 오차에 대한 범위도 줄어들어 위치 측정에 좋은 결과를 나타내게 될 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 다중경로가 발생하는 환경을 가정한 시나리오를 작성하여 시뮬레이터를 이용하여 IF 데이터를 작성하고 Nornav 소프트웨어 수신기를 이용하여 다중경로가 발생한 환경에서 power 감소와 의사거리의 변화에 따른 위성의 Reject 수의 발생, 그에 따른 DOP의 변화, 그리고 위치 오차 범위에 대해서 알아보고 다중환경이 없는 환경과 비교 실험을 하였다. 실험 결과 다중경로가 발생하는 경우에 위성의 Reject 수가 증가하여, DOP 상태가 나빠지는 것을 볼 수 있는데 특히 의사거리의 값이 200m 이상에서는 Reject된 위성이 4개가 되어 DOP의 값이 더욱 나빠지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, DOP의 값이 좋은 경우에는 위치 오차의 값이 적게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, narrow Correlator space를 이용함으로써 다중경로의 영향을 줄일 수 있는 것을 확인하였다

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음

참고문헌

1. Pratalp Misra and Per Enge, "Global Positioning System, Signals, Measurements, and Performance," , 2001.
2. Elliott D. Kaplan and Christopher J. Hegarty, " Understanding GPS principles and applications," , second edition, 2006.
3. James Bao-Yen Tsui, "Fundamentals of Global Positioning System Receivers A Software Approach," , 2000.
4. Bradford W. Parkinson and James J. Spilker Jr., " Global Positioning System: Theory and Applications Vol.1," , 1996.
5. Jay Farrell and Matthew Barth, "The Global Positioning System and Inertial Navigation," , 1999.