

GPS 수신기 성능 개선을 위한 초기 동기 방식에 관한 연구

이용재, 김기두

국민대학교 전자공학부

전화 : (02) 910-4707 / 팩스 (02) 910-4449

A Study on the Acquisition Method for Improving Performance of a GPS Receiver

Yong-Jae Lee, Ki-Doo Kim

Department of Electronics Engineering, Kookmin University

E-mail : cosmos@dsp.kookmin.ac.kr

요 약

본 논문에서는 캐리어의 동기가 맞았다는 가정 하에서 초기동기 직렬탐색 방식중의 하나인 Multiple Dwell 방식을 사용하여 각각의 초기동기 평균 획득시간과 분산값을 비교하였다. 문턱값의 설정은 Maximum Likelihood 방식을 도입하여 MATLAB으로 이론값을 계산하고, 이를 SPW라는 시뮬레이션 툴로 모델링을 하여 시뮬레이션 값과 이론값을 비교 분석하였다.

신호 대 잡음비에 대한 Multiple Dwell 방식의 성능을 비교 분석한 결과, Dwell의 수가 증가할수록 성능은 개선되지만 Dwell의 수가 2일 때가 성능 개선 폭이 가장 컸고 Dwell의 수가 4이상에서는 개선 폭이 아주 작아짐을 보였다.

I. 서 론

GPS 시스템에 있어서 수신된 시퀀스와 기준 확산 시퀀스간의 동기가 이루어지지 않는다면 전송된 신호의 복구는 불가능하므로, 정확하고 빠른 동기는 매우 중요하다. 수신된 시퀀스와 기준 확산 시퀀스간의 동기는 일반적으로 다음과 같이 두 단계에 의해서 수행된다. 첫째는 초기동기(Acquisition) 부분으로 수신된 PN(PseudoNoise) 코드와 로컬 PN코드의 위상을 한 칩

또는 그 이하로 맞추는 것이고, 둘째는 동기추적(Tracking) 과정으로 수신된 PN코드와 국부 PN코드의 위상 차를 0에 가깝게 유지하는 것이다.

초기동기는 탐색 기법에 따라 Parallel Search, Serial Search, Sequential Estimation, Digital Matched Filter 방식 등이 존재한다. Parallel Search 방식은 하드웨어에 부담을 주고, Sequential Estimation 방식은 잡음과 간섭신호가 강한 환경에서는 사용이 곤란할 뿐만 아니라 다중접속 시스템에는 사용할 수 없으며, Matched Filter 방식은 얻을 수 있는 처리이득이 기술적으로 한계가 있기 때문에 구조적으로 간단한 Serial Search 방식을 채택하였다.

본 논문은 각 Dwell에서의 문턱값을 결정하기 위해 Maximum Likelihood 방식을 도입하였고, Multiple Dwell 방식을 사용할 때 C/A코드의 초기동기 획득시간이 단축되고 분산값이 작아짐을 DSP 시뮬레이션 툴인 SPW를 사용하여 이론값과 비교 검증하였다.

II. 초기동기 평균 획득시간과 분산

N 개의 적분기가 직렬로 구현된 초기동기 시스템의 동기획득시간의 평균값과 분산의 계산식은 Homes와 Chen^{[2][4]}, 그리고 Ziemer과 Peterson^[3]에서 유도된다. $q \gg 1$ 일 때의 결과는 아래와 같다.

$$\bar{T}_{ACQ} = \frac{(2 - P_D)q \sum_{i=1}^N \left[\left(\prod_{j=1}^{i-1} P_{FA(i+j-1)} \right) (T_{D_i} - T_{D_{i-1}}) + K_N P_{FA} \delta_{iN} (T_{D_N} - T_{D_{N-1}}) \right]}{2P_D} \quad (1)$$

$$\sigma_{ACQ}^2 = q^2 \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\left(\prod_{j=1}^{i-1} P_{FA(i+j-1)} \right) (T_{D_i} - T_{D_{i-1}}) + K_N P_{FA} \delta_{iN} (T_{D_N} - T_{D_{N-1}}) \right]^2 \right. \\ \left. \times \left(\frac{1}{12} + \frac{1}{P_D^2} - \frac{1}{P_D} \right) \right\} \quad (2)$$

N-dwell의 초기동기 획득시간이 Single Dwell의 경우보다 짧기 위해선 아래의 조건을 만족해야 한다.

$$\sum_{i=1}^N \left(\prod_{j=1}^{i-1} P_{FA(i+j-1)} \right) (T_{D_i} - T_{D_{i-1}}) < T_D \quad (3)$$

III. Optimal Threshold의 결정

캐리어의 동기가 맞았다는 가정 하에서, 베이스밴드에서의 문턱값을 결정하기 위한 방법은 다음과 같다. 그림 1은 직렬 탐색의 전단부 처리 과정을 나타낸다.

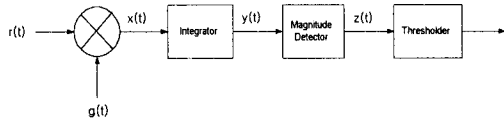


그림 1. 직렬 탐색의 전단부 처리

이산영역에서의 신호는 샘플의 시퀀스가 되고, 적분의 표현은 다음과 같다.

$$x_i = r_i g_i \quad (4)$$

$$x_i = (g_{i+k} + n_i)g_i = g_{i+k}g_i + n_i g_i \quad (5)$$

여기서 i 는 임의의 샘플이고, k 는 수신기 PN코드와 송신기 PN코드사이의 초기 불일치를 나타낸다. 우선 동기가 맞은 경우의 PDF를 구하기 위해 $k=0$ 일 때의 경우를 고려한다.

시퀀스 g 는 ± 1 이고 잡음의 평균은 0이므로 x_i 는 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_i = 1 + n_i \quad (6)$$

적분기의 출력 y 는 M 개의 샘플을 사용하므로 식(7)과 같이 표현된다.

$$y = \sum_{i=1}^M (1 + n_i) \quad (7)$$

n_i 는 백색 가우시안 잡음이라고 가정하고, 각 잡음의

샘플값은 독립적인 값으로 간주한다. 그러므로 y 는 평균 M , 분산 $M\sigma_n^2$ (σ_n^2 는 잡음 샘플 n_i 의 분산)을 갖는다.

y 의 평균값은 원하는 신호이고 분산은 샘플 당 잡음 전력을 나타내기 때문에 적분기 출력부의 신호 대 잡음비는 다음과 같다.

$$SNR_{out} = \frac{M}{\sigma_n^2} \quad (8)$$

진폭 검파기의 출력의 PDF는 아래의 변수치환에 의해 구할 수 있다.^[3]

$$z = g(y) = |y| \quad (9)$$

$$f(z) = \sum_{i=1}^N f(y) \left| \frac{dy}{dz} \right|_{y=g_i^{-1}(z)} \quad (10)$$

$$g_1^{-1}(z) = z, \quad y \geq 0 \quad (11)$$

$$g_2^{-1}(z) = -z, \quad y < 0 \quad (12)$$

$$\left| \frac{dy}{dz} \right| = 1 \quad (13)$$

정규 랜덤 변수의 절대값의 PDF 표현은 다음과 같다.

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(-z-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad z \geq 0 \quad (14)$$

여기에 실제 파라미터를 동기가 맞은 경우에 대입한다.

$$\mu = M \quad (15)$$

$$\sigma = \sqrt{M}\sigma_n \quad (16)$$

진폭 검파기의 출력에서 잡음이 포함된 동기가 맞은 신호의 실제 PDF에 대치하면 된다.

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(z-M)^2}{2\sigma^2}} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(-z-M)^2}{2\sigma^2}}, \quad z \geq 0 \quad (17)$$

상호 상관의 분산은 또 다른 잡음이 된다. 이 분산은 잡음의 통계적 특징을 계산하기에 앞서 잡음 분산에 보태질 수 있다. 잡음이 상호 상관 신호의 분산보다 더 클 때 이 값은 무시될 수 있다. 적분기전의 상호 상관의 PDF는 동일 확률을 가진 독립 Bernoulli 랜덤 변수로써 모델링 시킬 수 있다.

$$f(x) = \frac{1}{2} \delta(x+1) + \frac{1}{2} \delta(x-1) \quad (18)$$

이산 적분기는 랜덤과정의 M 개의 샘플을 누적한다.

이렇게 나온 PDF는 델타 함수의 합으로 표시되고 각각은 평균이 0인 가우시안 포락선을 나타낸다. 잡음에 이 랜덤변수를 보태면 랜덤 변수는 서로 독립이기 때문에 그 결과는 이 두 PDF의 컨벌루션이 된다. M이 충분히 커서, 합쳐진 PDF의 영향이 무시될 수 있다고 가정한다. 만일 이 효과가 무시되지 않는다면 리플된 진폭을 가진 가우시안에 대해 이산 PDF를 풀어야한다. 이 과정에서부터 M샘플의 합의 분산은 다음과 같다.

$$\sigma_{ocor}^2 = M \quad (19)$$

따라서 동기가 맞지 않았을 때의 분산은 아래와 같다.

$$\sigma_{tot}^2 = M(\sigma_n^2 + 1) \quad (20)$$

σ_n^2 이 1보다 클 때 상호 상관 신호 잡음의 영향은 무시된다. 잡음이 가미된 상호 상관된 신호의 PDF는 다음 식과 같이 표현된다.

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{tot}^2}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_{tot}^2}} \quad (21)$$

동기가 맞지 않는 경우, 랜덤변수 적분기의 출력은 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수이기 때문에 식(17)에 $\mu=0$ 을 대입해서 구할 수 있다. 진폭 검파기의 출력에서 마지막 신호의 PDF는 아래와 같다.

$$f(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\sigma_{tot}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma_{tot}^2}}, z \geq 0 \quad (22)$$

문턱값은 Maximum Likelihood, Minimum Probability, Neyman-Pearson 등의 기준에 의해서 결정된다. 본 논문에서는 Maximum Likelihood 기준을 사용하므로 식(17)과 식(22)의 방정식을 z에 대해 풀고, 근사화를 거치면 식(23)의 문턱값이 나온다.

$$T \approx \frac{M^2 - \frac{2}{SNR} \ln(2)}{2M} \quad (23)$$

SNR이 $2 \ln(2)$ 보다 훨씬 크면 문턱값은 예상대로 $M/2$ 이 나옴을 알 수 있다. 앞의 결과들을 가지고 P_d, P_{fa} 는 아래와 같다.

$$P_d = 1 - Q\left(\frac{M-T}{\sqrt{M\sigma_{tot}}}\right) \quad (24)$$

$$P_{fa} = 2Q\left(\frac{T}{\sqrt{M\sigma_{tot}}}\right) \quad (25)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (26)$$

식(1), 식(2)에 지금까지 유도된 식을 대입하여 시뮬레이션 한다.

IV. 시뮬레이션 결과

한 칩 당 3번의 샘플링을 하고 동기가 맞을 때까지 1/2칩씩 지연을 시킨다. 초기동기 획득시간과 분산의 표현은 $q\Delta$ 으로 스케일링하였다. Δ 은 한 칩의 시간을 나타낸다. 표 1은 각 Dwell에서의 적분시간을 Δ 로 스케일링한 것이다. 단위는 칩의 수이다.

표 1. 각 Dwell에서의 적분시간

N \ i	1	2	3	4	5
1	1023	361	243	208	139
2		945	382	243	208
3			903	382	278
4				903	413
5					903

그림 2, 그림 3의 결과에서 보듯이 Dwell의 수에 비례하여 초기동기 평균 획득시간이 단축되고 분산값이 작아짐을 알 수 있고, Dwell 수가 3이상에는 성능개선 정도가 아주 작음을 알 수 있다. 그림 4는 각 -10dB, -20dB, -30dB에서의 SPW상의 결과인데 연속적분 방식이 리셋적분 방식보다 초기동기 평균 획득시간이 개선됨을 알 수 있다.

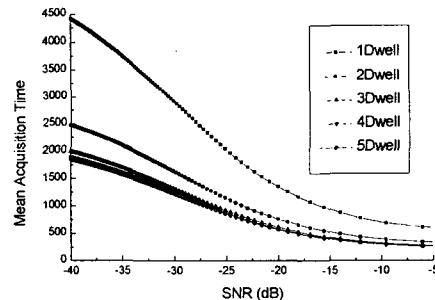


그림 2. 초기동기 평균 획득시간

V. 결론

문턱값을 결정하기 위해 Maximum Likelihood 방식을 제안하고, 연속적분 방식을 사용하여 GPS 수신기의 초기동기 직렬 탐색 방식에 적용하였다. Single Dwell과 Multiple Dwell에서의 초기동기 평균 획득시간과 분산을 이론값과 모델링을 하여 시뮬레이션 한 결과 Multiple Dwell이 Single Dwell보다 더욱 좋은 성능을 보였다. 또한 연속적분 방식이 리셋적분 방식보다 초기동기 평균 획득 시간이 단축되었다. Dwell 수에 비례하여 성능이 개선되었지만, Dwell의 수가 2일 때가 가장 많은 성능 개선 폭을 보였고 그 이상에서는 성능개선의 폭이 줄어드는 것을 검증하였다.

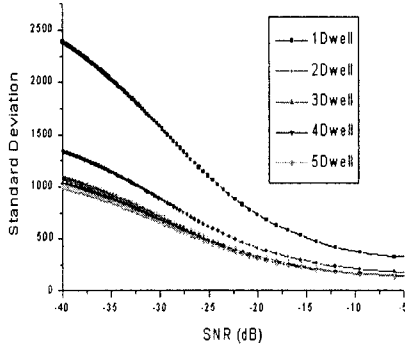
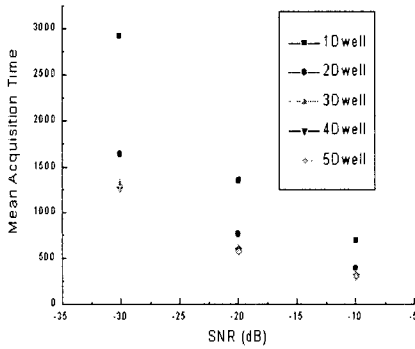


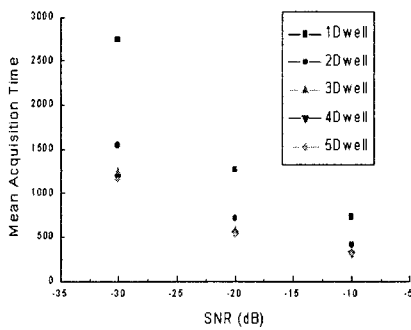
그림 3. 초기동기 획득시간의 표준 편차

참고 문헌

- [1] A. Polydoros, C. L. Weber, "A Unified Approach to Serial Search Spread-Spectrum Code Acquisition - Part I: General Theory," IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-32, No. 5, May 1984.
- [2] J. K. Holmes, Coherent Spread Systems, Robert E. Krieger Publishing Company, 1990.
- [3] R. E. Zimer, R. L. Peterson, Digital Communications and Spread Spectrum Systems, Macmillan Publishing Company, 1985.
- [4] J. K. Holmes, C. C. Chen, "Acquisition Time Performance of PN Spread Spectrum Systems", IEEE Transactions on Communications, Vol Com-25, No.8, pp. 778-784, August 1977.
- [5] W. K. Alem, C. L. Webber, "Acquisition Techniques of PN Sequences", NTC '77 pp. 35:2-1 - 35:2-4, 1977.
- [6] D. M. Dicarilo, C. L. Weber, "Multiple Dwell Serial Synchronization of Pseudonoise Signals", IEEE Transactions on Communications, Vol Com-30, No. 5, pp. 34.4.1-34.4.5, May 1981.
- [7] D. M. Dicarilo, C. L. Weber, "Multiple Dwell Serial Search : Performance and application to Direct Sequence Code Acquisition", IEEE Transactions on Communications, Vol Com-31, No. 5, May 1983.



(a) 리셋적분 방식



(b) 연속적분 방식

그림 4. SPW 상에서의 초기동기 평균 획득시간