

GPS의 시각 응용에 따른 정밀도 개선에 관한 연구 A Study on the Accuracy Improvement Technique Using GPS Clock

채규훈 · 사카모토 켄야
G. H. Chea and K. Sakamoto

(접수일 : 2009년 12월 18일, 수정일 : 2010년 1월 12일, 채택확정 : 2010년 1월 15일)

Key Words : GPS(글로벌 포지셔닝시스템), Receiver(수신기), Micro-Controller(마이크로컨트롤러), High Accuracy (고정도)

Abstract : Both the accuracy and stability of the clock get from the GPS receiver are considered in the range of 1 pps. And we verified the system clock stability of a micro-controller system using the pps pulse supplied by the GPS receiver. In complex system of digital processing, the rack of precise timing signal may cause the serious problem or breakdown accident. To get rid of these undesirable problems, we introduced VCXO circuit to a micro-controller system to preserve high accurate clock stability.

1. 서 론

GPS는 미군이 군사목적으로 개발한 지구규모의 측위계이지만 최근에는 민간에게도 개방되어 다양한 목적으로 널리 응용되고 있다.¹⁾

GPS수신기는 4개 이상의 인공위성으로부터 수신한 위치정보를 이용하여 수신지의 좌표 및 고도를 정밀하게 계산하게 되는데, 인공위성과 지상의 상대 운동에 의해 각 기기의 시각 동기를 연음으로써 정확한 좌표를 얻을 수 있게 된다. GPS 인공위성에는 루비듐 발진기를 이용한 원자시계가 탑재되어 있으며 정밀도는 10^{-11} [s]정도이다. 이것은 300년에 1초정도의 오차범위를 갖지만 지상의 표준시계에 의해 교정이 이루어진다.

GPS 수신기에서는 루비듐 발진기가 갖는 정밀도인 1pps(pulse per second)를 얻을 수 있어 수정발진기보다 고정도의 기준시각용으로 이용되고 있다.

현재 사용되고 있는 GPS 수신기는 소비전력이 비교적 커, 이것이 휴대용으로 사용되는데 제한을 받게 되는 주요 요인이 되고 있다. 본 논문에서는 내장형 마이크로 컨트롤러 시스템으로 고정도 시각

기능을 실현하기 위하여, GPS의 초 펄스(pps)의 정도 검증과 수정발진기의 특성을 고찰하고 전력절약형 시스템을 구성하는 문제에 대해 검토하였다.

2. 계측시스템

마이크로 컨트롤러로 루비듐 발진기(EFRATOM 사 LPR 0-101)로부터의 데이터를 이용하여 GPS 수신기의 정밀도를 확인한다. 고정도 측위 계측을 위해서는 고정도 시각정밀도가 요구되기 때문에 인공위성에는 루비듐발진기를 탑재하고 있다. 뿐만 아니라 정확도를 향상시키기 위해 표준시각정보를 이용한 보정도 이루어지는데 이러한 교정으로부터 10^{-11} 에 해당하는 정밀도를 얻게 된다. 이때 루비듐 발진기의 출력은 10MHz, GPS 수신기의 출력은 1pps이기 때문에, 11자리까지 카운트하는데는 1000초가 걸리게 되는데 본 논문에서는 유효자리수를 9자리까지 하며 이때 카운팅 시간은 100초가 된다.

2-1 주파수측정

주파수측정은 카운터로 정확한 타이밍 펄스에 따라 카운트 값을 읽어 들이고 그 증분을 주파수 값으로 처리하면 된다. GPS의 초 펄스를 게이트로 하고, 마이크로 컨트롤러의 캡처 기능을 이용하여 펄

채규훈(교신저자) : 군산대학교 동력기계시스템전공
E-mail : ghchea@kunsan.ac.kr, Tell : 063-469-1847
사카모토 켄야 : 교베대학 해사과학부

스를 카운트한다.

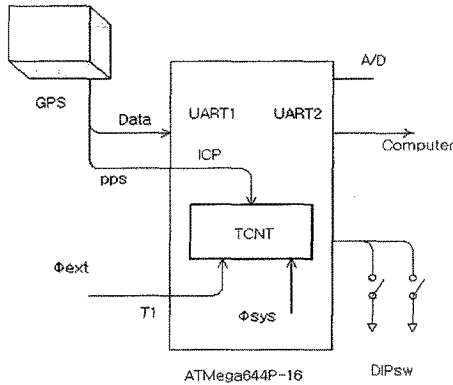


Fig. 1 A counter circuit using GPS clock

Table 1 Rubidium clock generation based on GPS 1pps

Time	Counted value	Temperature [°C]
2:03:20	500000000	18.1
2:06:40	500000000	18.1
2:10:00	499999999	18.1
2:13:20	500000000	18
2:16:40	500000001	18.1
2:20:00	499999999	18.2
2:23:20	500000000	18.2
2:26:40	500000000	18
2:30:00	500000001	18.2

Fig. 1은 주파수를 카운트하기 위한 원칩 마이크로 컨트롤러 기반의 카운터회로이다. 카운터는 16비트 길이이기 때문에 별도로 확장변수를 지정하여 32비트로 확장해서 1ppb(parts per billion) 이상의 분해능을 달성할 수 있도록 하였다. 카운터의 입력은 DIP 스위치로 외부 및 내부 클럭소스를 선택할 수 있도록 하였다. 카운터 값은 LCD로 표시하고 동시에 컴퓨터에 보내서 기록한다. 마이크로 컨트롤러의 카운터는 루비듐발진기의 주파수를 카운터하고 소요 유효 자리수를 얻는 시간 동안 계속한다. GPS의 초 펄스 신호는 기기사양에 1[μs]의 오차가 있다고 되어있지만, 실제 계측에서는 9자리의 정밀도(100초간 계측)로 관측할 수 있었다. 단, 이 값은 GPS의 초 펄스와 루비듐발진기의 총합적인 정밀도이지 각각의 정밀도를 나타내는 것은 아니다. 채용한 마이크로 컨트롤러에서 초 펄스 신호의 상승엿지(펄스 시작점)에서부터 카운터 캡처까지의 소요시간은 2/16[μs]이며, GPS안테나의 초 펄스와 동기시

켜 캡처가 수행되도록 하였다. 이렇게 하여 계측한 예를 Table 1에 나타낸다. 이것은 카운터의 응답스피드 제한 때문에 루비듐 발진출력을 1/2로 분주한 5MHz×100sec에 해당하는 카운터 값이다. 컨트롤러로 카운팅하는 동안 약 ±1비트의 오차가 발생하였는데, 200초 또는 500초 동안의 카운트 결과도 마찬가지로 ±1비트에 해당하는 오차가 발생하였기 때문에 정밀도가 1ppt(parts per trillion) 이상인 것으로 간주하였다.

2-2 발진회로의 주파수변동

수정 발진기는 절단에 따라 발진특성이 달라지게 되는데 본 논문에서는 일반적인 AT절단인 49/U나 UM-5 타입의 소형 케이스 발진기를 사용하여 발진 주파수의 온도의존성을 검토하였다. 이때 수정발진회로는 마이크로 컨트롤러의 클럭 발생회로를 그대로 사용하였다. 따라서 마이크로 컨트롤러로 자체 클럭을 카운트하면 수정발진자의 특성을 얻을 수 있게 된다. 단, 온도는 서어미스터소자 온도계를 사용하였으며 발진소자에 접촉시켜 10비트 정밀도의 A/D변환기를 이용하여 온도를 계측하였다. 계측은 루비듐 외부 발진기의 주파수를 측정할 때와 같이 카운터 캡처 기능을 이용하였다. 따라서 소프트웨어적으로 카운터 클럭소스를 외부클럭에서 내부클럭으로 전환하면 된다. 본 방법은 수정발진기의 주파수 범위가 마이크로 컨트롤러의 동작주파수에 제한되는 문제가 발생하나 부가장치가 필요하지 않으므로 장치구성이 간편해지는 장점이 있다.

Fig. 2는 경과시간과 주파수 및 온도변화 관계를 나타낸 예이다.

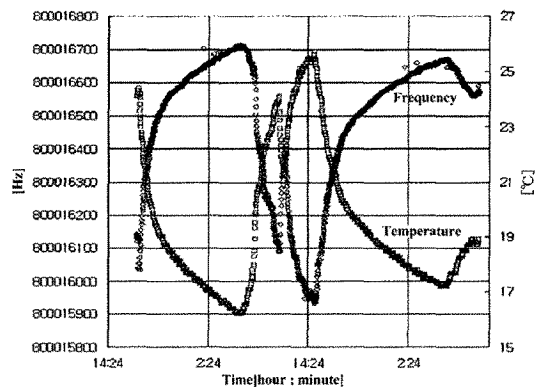


Fig. 2 Frequency variation and temperature

이것을 주파수-온도특성 관계로 나타내면 Fig. 3과 같고 거의 선형적인 관계임을 알 수 있다. Fig. 3에서 주파수 안정도는 0°C~30°C에서는 13ppm (parts per million)이고, 온도특성에서는 히스테리시스가 나타나지 않았다. 따라서 온도보상을 하게 되면 ppb단위의 정밀도를 얻을 수 있음을 예측할 수 있다.

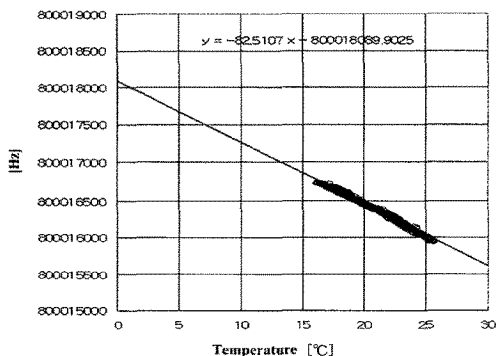


Fig. 3 Frequency vs temperature

마이크로 컨트롤러의 클럭소스는 몇 가지를 선택할 수 있다. 예를 들어 내장 CR발진기, 외장 수정발진기, 외장 세라믹발진기 등이 있다. 일반적으로 내장 CR발진기의 정도는 1%, 외장 세라믹발진기의 정도는 0.1% 정도이다. Fig. 4는 카운트 시간에 따른 주파수와 온도변화를 나타내고 있는데 이때 게이트간격은 100초이다. Fig. 5로부터 세라믹 발진기는 -20ppm/°C의 온도 의존성이 있다는 것을 확인할 수 있고, 따라서 0°C~50°C의 범위 내에서의 정밀도는 0.1%임을 알 수 있다. 또한 히스테리시스 특성이 관측되므로 동일 온도 조건에서도 30ppm 정도의 변동이 있으므로 온도보상을 하더라도 그 정밀도는 30ppm 정도임을 알 수 있다.

Fig. 6은 내장형 CR(세라믹) 발진회로의 주파수 특성을 나타내고 있다. 두점계 연속적으로 나타낸 선은 온도변화를 나타낸 것인데, 주파수가 온도 의존성은 거의 없고, 그림에 나타난 범위 안에서는 0.5% 정도의 정밀도가 보장된다. 내장형 CR 발진기는 발진교정 레지스터를 가지고 있고, 발진 주파수 변동을 0.1%까지 억제할 수 있으나, 아주 짧은 시간 동안에 주파수 변동을 발생시키기 때문에 발진교정을 위한 레지스터로 안정화 시키는 방법으로는 정밀도 향상을 기대하기 어렵다.

3. 시각 정밀도의 응용

GPS수신기는 지상으로부터의 장애가 없을 때 이용 가능하고, 차량 운행시스템에서는 신호수신 불능시에 보상이 필요 하다. 또, 수신기는 소비전력이 크고, 휴대기기일 경우 소비전력을 줄이기 위해 GPS수신기의 구동을 간헐적으로 작동시킬 필요가 있다.

GPS신호가 이용 가능한 경우의 응용 예로서 마이크로 컨트롤러 시스템 클럭을 고 정밀화 하는 방법에 대하여 고찰하였다. 또, GPS신호가 장시간 동안 차단되는 경우에 GPS의 초 펄스 신호를 등가적으로 발생하는 방법을 제안하였다.

이상의 결과로부터 수정발진에서 온도보상을 하게 되면 1ppb의 주파수 정밀도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

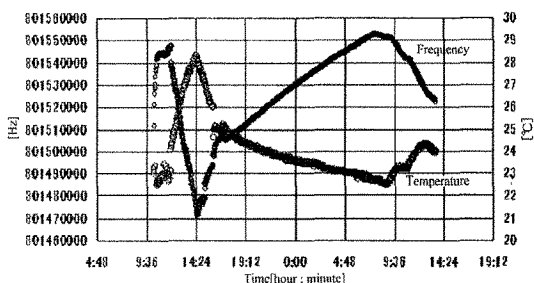


Fig. 4 Frequency and temperature variations of ceramic clock generator

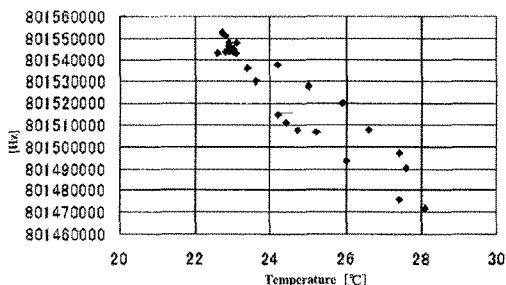


Fig. 5 Temperature characteristics of ceramic clock generator(CR)

3-1 전력 절약형 고정밀도 타임베이스

고정밀도 수정발진기에는 온도 보상형 (TCXO, 1ppm) 및 항온 제어형 (OCXO, 1ppb)가 있지만 통신기기에서는 전압 제어형 (VCXO, 10ppm)을 마이크로 컨트롤러의 시스템 클럭으로 자주 적용한다.

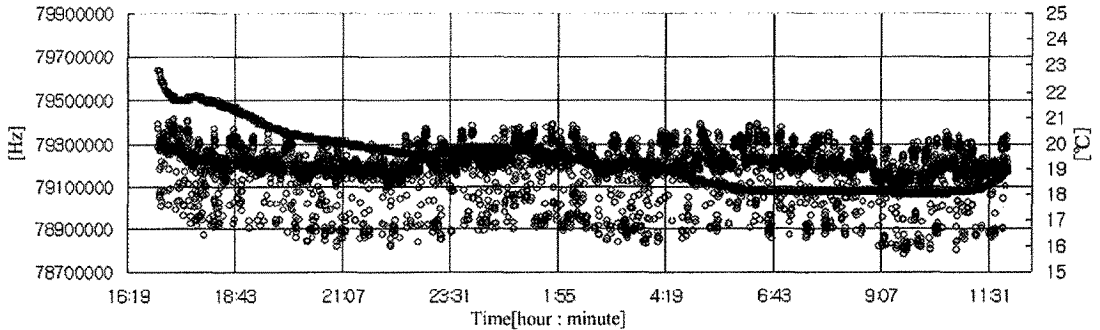


Fig. 6 Frequency response of a built in CR(left axis : frequency, right axis : temperature)

이 경우에 시스템 클럭의 정밀도는 GPS의 pps 신호와 동등하게 되므로, Fig. 1의 회로가 그대로 주파수 카운터가 된다.

또, 시스템 클럭은 10[MHz]를 선택하면 표준 발진기 출력으로 이용 가능하다.

전압제어형 수정발진회로의 기본회로는 Fig. 7과 같다. 마이크로 컨트롤러에서는 하나의 인버터와 수정진동자, 2개의 셉트 커패시터 C1 및 C2가 접속되어지고 그 용량은 15[pF] 정도가 이용된다.

전압제어 수정 발진회로는 CD의 동기재생이나 디지털 오디오 및 영상 분야 등에서 널리 응용되고 있는데 그 등가 회로는 Fig. 8과 같다. 이때 발진주파수 F_0 는 다음과 같다.

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \sqrt{\frac{C_s + C_p + CL}{C_s + CL}} z \quad (1)$$

단, Cst를 인버터의 부유용량 이라고 하면 이것은 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$CL = Cst + C1/C2 \quad (2)$$

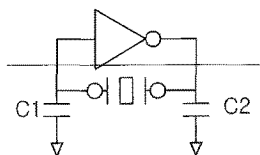


Fig. 7 Inverter circuit

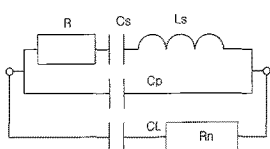


Fig. 8 Equivalent circuit of the voltage control type CR

대표값을 이용하여 해당 발진회로의 특성을 C2에 대해 나타내면 Fig. 9와 같이 된다.

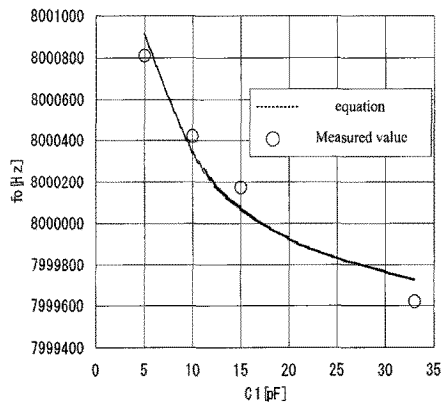


Fig. 9 Comparison results between calculation and measurement on Cv-Fo

이때 $C_s=0.0059[pF]$, $C_p=0.9[pF]$, $L_s=67.12[mH]$, $Cst=4[pF]$, $C2 =15[pF]$ 이다.

이 결과는 외부 커패시터 C2로 수정발진자 주파수를 제어할 수 있다는 것을 의미하며 C2에 버랙터(varactor : 가변용량다이오드)를 적용하면 전압제어형 수정발진기(VCXO)도 구성할 수 있음을 알 수 있다. VCXO용의 버랙터로 1SV323(도시바)을 사용하였다. 역전압 $VR=1\sim 5 [V]$ 에 대해, $Cv=30\sim 6[pF]$ 의 특성을 갖고 있으며, Fig. 9에서 Cv의 변화는 마이크로프로세서를 이용하면 전압을 가변시킴으로써 실현 가능하다. 제어범위가 150ppm이고, 50°C의 온도변화에 대한 주파수 변화는 20ppm 정도이기 때문에 이것은 충분한 제어범위에 해당함을 알 수 있다. 이 결과를 토대로 마이크로프로세서를 내장 VCXO로 적용한 예를 Fig. 10에 나타낸다. 버랙터

다이오드의 제어전압은 마이크로프로세서의 PWM 출력을 필터를 통과시켜 얻는다. PWM은 8비트 분해능이라면 0-5[V] 직류전압에 대해 256단계의 분해능이 얻어지므로, GPS의 pps에 의한 타이머 카운트 값과 설정 주파수를 비교하여 PWM 출력을 결정한다.

Fig. 11에 $F_0 = 8[\text{MHz}]$ 로 한 경우의 실측결과를 나타내고 있다. 이 결과로부터 안정도가 1ppm 정도임을 확인하였다. 정밀도는 목표치에 이르지 못하였지만 8[MHz]를 GPS의 1pps의 신호로 처리하고 있기 때문이며, 게이트 간격을 넓히게 되면 정도를 개선할 수 있다.

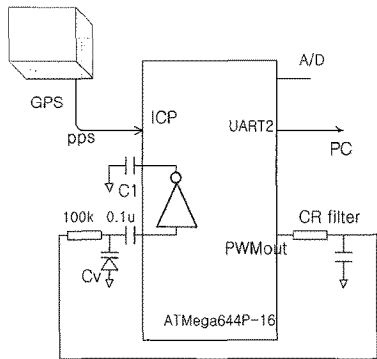


Fig. 10 A simplified VCXO circuit

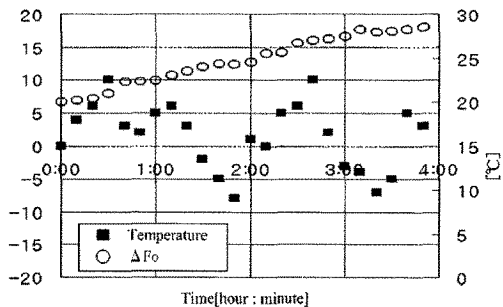


Fig. 11 Test results of VCXO (left axis : frequency variation ΔF , right axis : temperature)

3-2 동기 펄스 발생

GPS의 초 펄스는 국제표준시계에 동기하고 있으며, 본 논문에서 이용한 GPS수신기의 초 펄스 정밀도는 1[μs]이다. GPS의 동기펄스를 응용한 예로는 전력조류를 넓은 범위에서 측정할 수 있다.²⁾ 상용 전력 회로망은 저항분이 거의 없는 리액턴스 성분만의 분포정수 회로망이며, 전압이나 전류의 동요

가 발생하면 좀처럼 안정화되지 않는 특성이 있다. 이것은 전력조류현상으로 연구되고 있지만 실측하는 것이 용이하지 않은 현상 중 하나였다. 그러나 GPS의 시간펄스 동기법을 이용하면 같은 시각에서 여러 지점에서의 정현파 전압전류 파형의 순시값과 위상차를 얻을 수 있으므로 전력조류의 동시계측이 가능하게 된다. Fig. 1의 회로에서 서미스트가 부착되어 있는 A/D 변환포트에 전압과 전류파형을 인가하게 되면 전력조류현상을 동시 계측할 수 있는 계측시스템이 구성된다.

GPS 신호가 시간단위로 차단되는 경우에는, 3-1절에 기술한 VCXO에 의한 주파수조정 불가하기 때문에 온도계측을 통해 온도보상이 이루어져야 한다. 수정발진소자의 온도특성을 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서는 선형적인 특성을 취하지만 일반적인 AT커팅 수정진동자의 주파수는 25°C를 중심으로 온도에 대한 3차함수로 나타난다. 이것을 일반적으로 $Ff = f(T)$ 로 표시한다. 이때 온도 T 는 마이크로컨트롤러온도이며, Ff 는 현재의 발진주파수 F_0 의 예측값이다.

Fig. 12는 GPS 초 펄스 등가발생회로이다. 여기에서 ICPR은 GPS의 초 펄스가 유효할 경우의 카운트 캡처 레지스터이며, 그 값에 1초에 해당하는 주파수를 평가한 주파수 예측값 Ff 를 더하여 출력 비교 레지스터 OCR에 넣어 둔다. 1초 후에 카운트 값이 OCR 값과 일치할 경우, 해당하는 포트 핀으로부터 초 펄스가 발생하고 이것은 GPS의 초 펄스와 동기하게 된다.

Fig. 13은 초 펄스의 동기특성을 측정할 것이다. 시각 0에서 GPS의 초 펄스를 차단하고 별도의 장치로 GPS 초 펄스에 대한 초 펄스와의 시간차를 나타낸 것인데, 온도 변화가 5°C정도임에도 불구하고 적절한 등가 초 펄스 정밀도가 얻어지지 않았다.

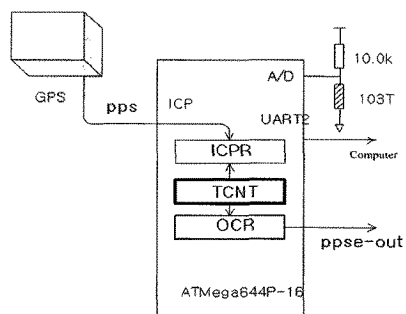


Fig. 12 OCR/ICPR/pps circuit

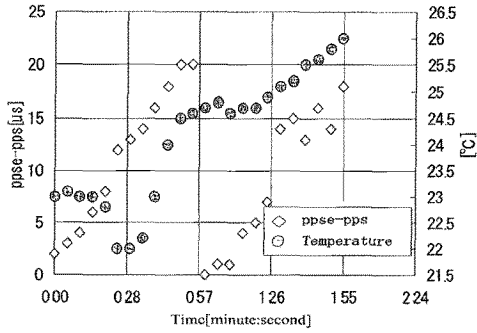


Fig. 13 Clock accuracy with temperature compensation

3. Texas Instruments Application Note SBAA065
4. 8ビットRISCプロセッサカタログ, 2006, アトメル社 ATMega644P-16.

4. 결론

본 논문에서는 내장형 마이크로 컨트롤러 시스템으로 고정도 시각기능을 실현하기 위하여, GPS의 초 펄스(pps)에 대한 정도를 검증하고, 수정발전기의 특성을 고찰하여 전력절약형 시스템을 구성하는 문제에 대해 검토하였다. 특히 수정발전기의 경우에는 온도보상을 통해 1ppb의 주파수 정밀도를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 전력절약형 간이 VCXO 회로를 구성하여 PS수신기의 동기펄스 정도를 검증하고, 마이크로 컨트롤러의 시스템 클럭의 정밀도 향상 및 GPS신호를 획득할 수 없는 경우의 정밀도 유지에 대해서도 고찰했다. 이 결과로부터 내장형 마이크로 컨트롤러 시스템의 안정도가 1ppm 정도임을 확인하였다. 정도가 목표치에 이르지 못하였는데, 이것은 8[MHz]를 GPS의 1pps의 신호로 처리하였기 때문이며, 게이트 간격을 확장하면 정도를 개선할 수 있을 것으로 사료된다. 결론적으로 소프트웨어적인 개선을 통해 충분한 주파수 안정도를 달성할 수 있다면 본 논문에서의 연구결과가 GPS수신기의 평균소비전력저감에 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 日本測地學會編著, 1998, GPS-人工衛星による精密測位システム、日本測量協會.
2. 三谷康範, 佐伯修, 北條昌秀, 鶴飼裕之, 2002, "多地点同期フェーズ量計測に基づく西日本60Hz 시스템의動特性オンライン觀測システム", 電氣學會電力技術電力系統技術研究會資料, PE-02-60, PSE-02-70.