

단일주파수망에서 송신기 전송신호간 주파수 일치

음호민, 김홍묵
한국전자통신연구원

hmeum@etri.re.kr, hmkim@etri.re.kr

Frequency Synchronization among Transmitters in Single Frequency Network

Homin Eum Heungmook Kim

Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문에서는 단일주파수망에서 다수의 송신기로부터 전송되는 방송신호 간의 주파수를 일치시키기 위한 방법을 제안한다. 다수의 송신기로 동일한 송신채널을 통해 콘텐츠를 전송하는 경우 신호가 중첩되는 지역에서 주파수를 정확히 일치시키지 않으면 도플러효과가 야기되어 수신성능이 현저히 저하된다. 일반적으로 GPS 기준신호를 송신시스템의 참조주파수로 사용함으로써 방송신호 간의 주파수를 일치시킨다. 이 경우 GPS 기준신호로부터 복원된 참조주파수를 주파수 상하향 변환에 사용하면 위상지터가 증폭되어 방송신호 간의 순간적인 주파수 차이가 크게 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 GPS 참조주파수보다 위상지터가 작은 송신기 자체의 국부발전기 주파수를 주파수 상하향 변환에 사용하는 한편 국부발전기 자체의 주파수 오차를 상쇄함으로써 방송신호 간의 주파수를 일치시킨다.

1. 서론

일반적으로 다수의 송신기로 구성되는 단일주파수망에서는 각 송신시스템으로부터 송출되는 전송신호간의 주파수 일치 성능이 매우 중요하다. 이때, 서비스망 내 모든 송신기의 주파수 기준이 되는 공통의 기준신호가 필요하며, GPS 신호가 대표적인 기준신호이다[1].

GPS 기준신호는 10MHz, 1PPS 등이 있으며, 각 송신기는 이 기준신호를 복원하여 참조주파수를 생성한다[2]. 생성된 참조주파수는 아날로그-디지털 변환, 디지털-아날로그 변환, 주파수 상하향 변환 등에 사용되어 서로 다른 송신기 전송신호간의 주파수가 평균적으로 일치된다.

GPS 기준신호를 사용하여 서비스망 내의 주파수를 일치시키는 대표적인 예로는 지상파 방송망이 있다. ATSC 및 DVB-T 등의 지상파 방송망은 단일주파수망을 구축하여 주파수 이용 효율을 높일 수 있다[3]. 단일주파수망은 동일한 콘텐츠를 전송하는 다수의 송신기들이 동일한 전송채널을 사용하는 방송망으로서 다중주파수망에 비해 주파수 이용효율이 뛰어나고 이동방송 서비스에 유리하다.

서로 다른 송신기로부터 송출된 방송신호들이 2 개 이상 수신되는 중첩지역에서 방송신호 간의 주파수가 일치하지 않으면 도플러 효과가 야기되어 수신기의 수신성능을 현저히 저하시킨다. 반대로 방송신호 간의 주파수가 완벽히 일치하게 되면 일반적인 다중경로신호처럼 인식되어 수신기의 성능에 미치는 악영향이 적어질 수 있다.

GPS 의 기준신호 자체는 주파수 품질이 매우 좋으나, GPS 수신기로부터 생성된 참조주파수의 품질은 상대적으로 떨어질 수 밖에 없다. 즉, 생성된 참조주파수는 기준신호에 비해 위상지터가 증가하며, 서로 다른 GPS 수신기로부터 생성된 주파수간의 순간적인 주파수 차이가 커지게 된다[4]. 따라서, GPS 참조주파수로 주파수 변환되어 전송되는 신호들 간의 순간적인 주파수 차이 또한 커지게 되며, 이는 중첩지역에서 수신기의 수신성능을 현저히 저하시킨다.

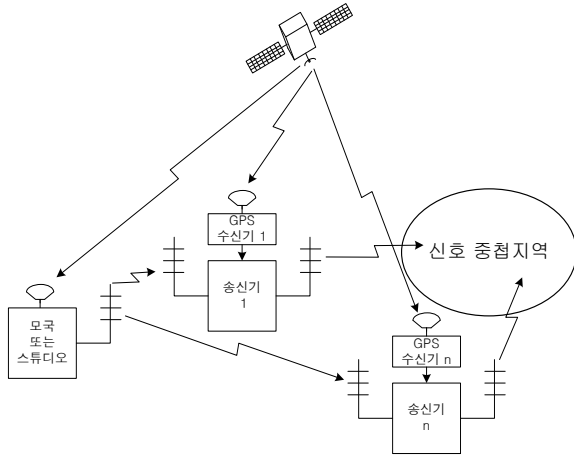
본 논문에서는 위와 같은 문제를 해결하고자 GPS 참조주파수는 기저대역 신호처리에만 사용하고, 주파수 변환에는 주파수 품질이 우수한 국부발전 주파수를 사용하는 한편 국부발전기 고유의 주파수 오차를 각각의 송신기 내에서 상쇄하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 단일주파수망의 구성에 대해 살펴본 후, 3 절에서는 일반적인 지상파방송 송신시스템에 대해 살펴본다. 4 절에서는 본 논문에서 제안하는 단일주파수망을 위한 송신시스템에 대해 설명하고, 5 절에서는 제안한 방법을 수식화 한다. 마지막으로 6 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 단일주파수망의 구성

<그림 1>은 n 개의 송신기로 구성된 일반적인 단일주파수망의 구성도이다. 서비스하고자 하는 콘텐츠는 모국(또는 스튜디오)로부터 다수의 송신기로 전송되어 변조된 후 무선으로 전송된다. 각각의 송신기는 GPS 기준신호를 수신하여 참조주파수

를 생성하고, 참조주파수를 송신기의 동작주파수로 사용한다. 서비스망 내의 모든 송신기가 동일한 기준신호를 사용하므로 각 송신기로부터 전송되는 무선신호의 중심주파수는 평균적으로 동일한 값을 가진다. 이때, GPS 로부터 생성된 참조주파수의 위상지터는 각 송신기 전송신호의 주파수 품질에 영향을 미친다. 위상지터가 크면 중첩된 신호들 간의 순간적인 주파수 오차가 크게 발생하여 도플러효과가 야기되며, 수신기의 수신성능을 현저히 저하시킨다. 따라서, 중첩된 방송신호 간의 중심주파수는 순간적인 주파수 오차도 최소화되어야 한다.

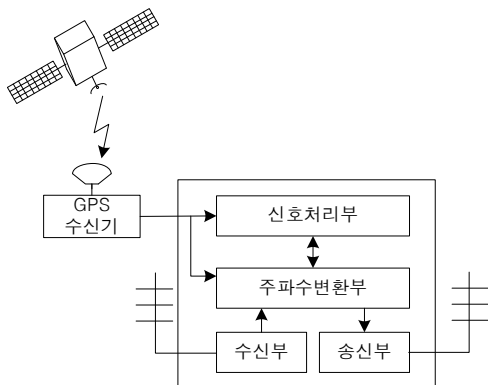


<그림 1> 단일주파수망의 구성

3. 지상파방송 송신시스템

<그림 2>는 GPS 기준신호를 이용하는 일반적인 지상파방송 송신기의 구성도이다. 위성으로부터 GPS 기준신호를 수신하여 참조주파수를 생성한 후 신호처리부와 주파수변환부에 사용한다. 이때, 참조주파수는 PLL(Phase Locked Loop) 등을 사용하여 GPS 기준신호로부터 생성되는데, PLL의 특성상 기준신호에 비해 위상지터가 증가하게 되어 주파수 품질이 저하된다.

일반적인 송신시스템은 <그림 2>에서와 같이 참조주파수를 신호처리부는 물론 주파수변환부에도 모두 사용하기 때문에 주파수변환의 크기가 클수록 그에 비례하여 전송신호의 위상지터도 커지게 된다. 따라서, 위상지터의 증가에 따라 서비스망 내의 방송신호간 순간적인 주파수 차이가 커지게 된다.



<그림 2> GPS 를 이용한 지상파방송 송신시스템

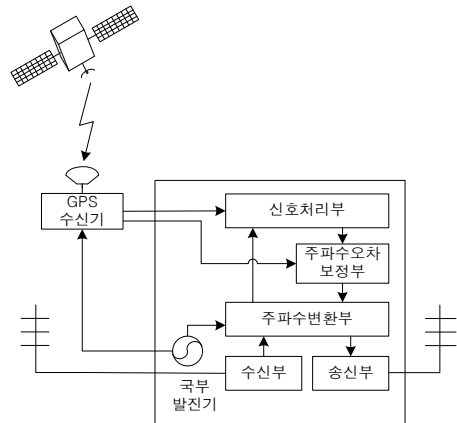
4. 단일주파수망을 위한 송신시스템

본 장에서는 전송신호의 위상지터를 최소화하기 위해 <그림 3>과 같은 송신시스템을 제안한다.

제안된 송신시스템에서는 GPS 수신기로부터 생성된 참조주파수는 신호처리부에만 사용하고, 주파수변환부에 필요한 주파수는 국부발진기로부터 생성한다. 주파수 품질이 낮은 GPS 참조주파수는 기저대역 신호의 타이밍 클럭 등을 일치시키기 용도로 사용을 최소화 하고, 주파수 품질이 높은 국부발진 주파수는 주파수 상하향 변환에 사용하는 것이다.

이로써 각 송신기 전송신호 자체의 주파수 품질은 향상시킬 수 있지만, 국부발진기 고유의 주파수 오차는 송신기마다 서로 다르므로 이로 인해 서비스망 내의 전송신호간 주파수 오차가 크게 발생할 수 있다. 따라서, 국부발진기의 주파수 오차는 각 송신기의 전송신호로부터 반드시 제거되어야 하며 본 논문에서는 다음과 같은 방법을 제안한다.

GPS 기준신호로부터 참조주파수를 생성하기 위한 PLL은 국부발진기의 주파수로 구동되며, 이때 얻어진 주파수오차정보는 주파수오차보정부로 전달된다. 주파수오차보정부는 국부발진기의 주파수오차 성분이 포함되어 있으며, 주파수오차보정부는 송신부를 통해 전송되는 전송신호로부터 국부발진기의 주파수오차 성분을 제거한다. 보다 자세한 수식은 다음 장에서 살펴본다.



<그림 3> 방송신호간 주파수 일치를 위한 송신시스템

5. 방송신호간 주파수 일치

<그림 3>의 보다 상세한 주파수 일치 방법은 구성도 상의 신호 흐름을 주파수 성분 측면에서 모델링하여 다음과 같이 수식화할 수 있다.

국부발진기 주파수와 GPS 기준신호의 주파수는 각각 수식 (1)과 수식 (2)로 표현할 수 있다.

$$f_{LO} + \Delta f_{LO} \quad \text{수식 (1)}$$

$$f_{sat} + \Delta f_{sat} \quad \text{수식 (2)}$$

주파수 성분 중 Δ 가 붙어 있는 성분은 주파수오차 성분으로서 알지 못하는 값이며, Δ 가 붙어 있지 않은 성분은 이차적인 주파수 값으로서 알고 있는 값이다.

GPS 수신기는 국부발진기로 구동되는 PLL 을 사용하여 GPS 기준신호로부터 참조주파수를 생성한다. 이때, PLL 로부터 주파수오차정보를 얻어낼 수 있으며, 수식 (2)로부터 수식 (1)에 f_{sat} / f_{LO} 를 곱한 값을 빼주어 수식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$\Delta f_{sat} - \Delta f_{LO} \cdot \frac{f_{sat}}{f_{LO}} \quad \text{수식 (3)}$$

또한, 주파수변환부에서 이상적인 주파수 상하향 변환의 총량을 f_{total} 이라고 하면 국부발진기에 의해 실제로 변환된 주파수의 총량은 수식 (4)로 표현할 수 있으며, 최종적으로 전송되는 방송신호의 주파수 성분이 된다.

$$\frac{f_{total}}{f_{LO}} \cdot (f_{LO} + \Delta f_{LO}) = f_{total} + \Delta f_{LO} \cdot \frac{f_{total}}{f_{LO}} \quad \text{수식 (4)}$$

결과적으로 송신부에서 전송되는 방송신호의 주파수성분에는 국부발진기 고유의 주파수오차 성분인 $\Delta f_{LO} \cdot (f_{total} / f_{LO})$ 이 포함되어 있으며, 이 주파수 성분은 각 송신기마다 서로 다르므로 전송신호로부터 제거해야 방송신호간의 주파수가 일치될 수 있다.

국부발진기 고유의 주파수오차 성분을 제거하기 위한 과정은 다음과 같다. PLL 에서 획득한 주파수오차정보인 수식 (3)에 f_{total} / f_{sat} 를 곱하면 수식 (5)를 얻을 수 있다.

$$\Delta f_{sat} \cdot \frac{f_{total}}{f_{sat}} - \Delta f_{LO} \cdot \frac{f_{total}}{f_{LO}} \quad \text{수식 (5)}$$

수식 (5)는 주파수오차보정부에서 계산하며, 이 주파수 성분만큼 미리 주파수변환을 한다. 즉, 수식 (4)와 수식 (5)를 더하면 전송신호의 주파수 성분은 수식 (6)으로 계산되어 국부발진기의 주파수오차 성분을 제거할 수 있다. 수식 (6)에 잔존하는 주파수 성분은 단일주파수망 내의 모든 전송신호들에 공통된 값이므로 방송신호들 간의 주파수가 일치된다.

$$f_{total} + \Delta f_{sat} \cdot \frac{f_{total}}{f_{sat}} \quad \text{수식 (6)}$$

6. 결론

본 논문에서는 GPS 기준신호를 이용하는 단일주파수망에서 전송신호간의 순간적인 주파수 차이를 최소화하는 방법을 제안하였다. 송신시스템 전체에 GPS 기준신호로부터 생성한 참조주파수를 사용하는 기존의 방법과 달리 주파수변환에는 고품질의 국부발진기 주파수를 사용하고, 위상지터가 상대적으로 큰 GPS 참조주파수는 신호처리부 등 일부에만 사용함으로써 전송신호의 주파수 품질을 향상시켰다. 결과적으로 서비스망 내의 전송신호들 간의 주파수를 일치시키면서도 각 전송신호의 주파수 품질을 향상시킴으로써 전송신호들 간의 순간적인 주파수

차이를 최소화 하였다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2014 년 정보통신 · 방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

- [1]Elliot D. Kaplan and Christopher Hegarty, Understanding GPS : Principles and Applications, Artech House, 2006.
- [2]김찬모, 조용범, “ GPS 를 이용한 정밀 동기 클럭 발생기 설계,” 전자공학회지 SD 편 제 38 권 제 6 호, pp. 64-73, 2001.6.
- [3]ATSC, “ Standard A/110B: Synchronization Standard for Distributed Transmission,” Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., December 2007.
- [4]F.Cordara, V.Pettiti, “ Short - Term Characterization of GPS Disciplined Oscillator and Field Trial for Frequency Italian Calibration Centers[C]”, 1999 Joint Meeting EFTF IEEE IFCS.