

# 펄토 기지국의 효과적인 타이밍 동기방안

## Effective timing synchronization methods for femtocell

신준호\*, 김정훈, 정석종

(Jun-Hyo Shin,\*Jung-Hun Kim, and Seok-Jong Jeong)

**Abstract :** Femtocells are cellular access points that connect to a mobile operator's network using residential DSL or cable broadband connections. They have been developed to work with a range of different cellular standards including CDMA, GSM and UMTS. Like legacy base station, the frequency accuracy and phase alignment is necessary for ensuring the quality of service (QoS) for applications such as voice, real-time video, wireless hand-off, and data over a converged access medium at the femtocell. But, the GPS has some problem to be used at the femtocell, because it is difficult to set-up, depends on the satellite condition, and very expensive. So, some techniques are discussed to alternate with the legacy GPS system. NTP, PTP, Synchronous Ethernet use the ethernet to synchronize distributed clocks in packet networks. AGPS support reliable position information than the legacy GPS in poor signal conditions. But, These method also have some problems. So, hybrid timing method like A-GPS+PTP and TV+GPS was developed to make up the weak point of GPS. This paper introduces the each method and compare each other and y propose much better solution for timing synchronization at the Femtocell

**Keywords:** Femtocell, GPS, NTP, PTP, Synchronous Ethernet, Packet Network, A-GPS, A-GPS+PTP, TV+GPS, Hybrid

### I. 서론

현재 펄토셀 (femtocell)이라는 명칭으로 널리 알려진 실내 설치 초소형 기지국에 대한 관심이 급격히 증가하고 있다. 이동 단말기가 무선 방식으로 최초로 접속하는 이동 통신 시스템 장비인 기지국은 보통 이동 통신 사업자 망의 제어기 등과 유선으로 연결되지만 펄토셀은 실내 설치 기지국으로서 일반 인터넷 망을 통해 사업자 망과 연결되는 특이점을 가진다. 이러한, 펄토셀은 무선표준에 있어서는 기존 이동통신표준 (CDMA, WCDMA, WIMAX)에 따른 방식을 사용하므로, 표 1에서와 같이 기존 이동통신 시스템에서 요구하는 주파수 및 위상의 정확도를 제공하여야 한다. 기존의 이동통신 시스템은 지역적으로 떨어진 기지국 사이의 주파수 및 위상을 동기 시키기 위하여 GPS (Global Positioning System) 위성으로부터 받은 타이밍 정보를 이용하였다. 하지만, 기존 GPS수신기는 낮은 수신감도, 많은 TTFF (the position-Time to First Fix) 시간소요, 높은 전력소모, 높은 가격 등의 문제점을 가지고 있다. 더욱이, 펄토셀의 경우 기존 매크로 기지국과 달리 건물 내에 위치하는 경우가 많고, 특히 건물이 밀집된 도심의 건물 내에 설치될 수도 있기 때문에 기존 이동통신 시스템에서 사용하는 GPS 위성신호 수신방안을 사용할 경우 성능 향상을 위하여 펄토셀을 창문 가까이 설치하거나 고성능의 GPS 안테나를 창문 가까이 설치해야 하는 제약사항이 발생하게 된다.

이러한 이유로 펄토셀의 타이밍 동기를 위하여 여러 방안들이 논의되고 있으며, 그 대표적인 기술로는 NTP (Network Time Protocol), PTP (Precision Time Protocol), Synchronous Ethernet 과 같이 Ethernet을 사용하는 패킷 네트워크에서 타이밍 패킷을 전송하거나 타이밍을 추출하여 동기를 맞추는

방안과 In-service Time이 빠르고 높은 수신감도를 갖는

표 1. 이동통신 표준에 따른 타이밍 요구사항

	Frequency Accuracy	Phase Accuracy
GSM	50ppb	NA
WCDMA	50ppb	NA
TD-SCDMA	50ppb	3us
CDMA2000	50ppb	3us
WIMAXDD	50ppb	NA
WIMAXDD	50ppb	1us
LTE	50ppb	TBD

A-GPS 등이 있다.

하지만 이러한 방안 역시 단독으로 사용될 경우 여러 문제가 발생할 수 있으며, 따라서 향후에는 NTP, PTP, Synchronous Ethernet, A-GPS가 가진 각각의 단점을 보완할 수 있도록 이들 방안을 서로 결합한 TV+GPS, A-GPS+PTP, A-GPS+Synchronous Ethernet과 같은 하이브리드 방안이 적용될 것으로 보고 있다. 본 논문에서는 현재까지 제시된 여러 방안들이 가지는 특성 및 장, 단점 등에 대해 비교 분석하며, 각 방식들이 가지는 단점들을 상쇄하고 효율적이고 정확한 타이밍 동기 및 위치 정보를 제공할 수 있는 특히, 펄토셀에 가장 적합한 하이브리드 타이밍 동기방안을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 펄토셀에 적용할 수 있는 새로운 타이밍 동기 방안 필요성에 대해서 알아보고, 제 III장에서는 패킷 망에서 사용되는 타이밍 동기 방안에 대해서 알아본다. 제 IV장에서는 A-GPS에 대한 타이밍 동기방안에 대해서 알아보고, 제 V장에서는 각 동기방식들이 가지고 있는 문제점들을 극복하고 효율적이고 정확한 타이밍 동기 및 위치정보 제공이 가능하도록 제안한 하이브리드 타이밍 동기방안에 대해 기술한다. 마지막 제 VI장에서는 본 연구에 대한 결론을 맺는다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 7. 24., 채택확정 : 2008. 8. 1.

신준호, 김정훈, 정석종: LG-NORTEL Mobile Network H/W Team  
([fi2estyle@nortel.com](mailto:fi2estyle@nortel.com), [jhunkim@nortel.com](mailto:jhunkim@nortel.com), [jsj@nortel.com](mailto:jsj@nortel.com))

### II. 새로운 타이밍 동기방안의 필요성

GPS 신호는 지표면에서 최소 -130dBm, 일반적으로는 -127dBm의 신호레벨을 가지도록 설계되었다. GPS 신호를 사용함에 있어서 GPS로부터의 Navigation message를 디코딩 할 수 있는 최소수신레벨은 -142dBm이며, GPS 신호를 감지한 후 추적할 수 있는 최소 레벨은 -160dBm이다. 따라서, GPS의 경우 30dB 정도의 Positioning Link Margin을 가지게 된다. 하지만, GPS 신호가 일반 주택으로 들어오는 경우 그림 1과 같이 지붕 및 천장에서 20dB, 층간에 약 10dB의 감쇄가 발생된다. 또한, 외벽을 통해서 10dB, 내벽이 증가함에 따라 5dB의 감쇄가 발생된다. 또한, 아파트와 같은 집합건물의 경우 그림 2에서 보는 바와 같이 지붕을 통해서 30dB, 층간에 약 30dB의 감쇄가 발생한다. 또한, 외벽을 통해서 20dB, 내벽이 증가함에 따라 5dB의 감쇄가 발생한다.

하지만, 펌토셀의 경우 기존 매크로 기지국과 달리 건물 내에 위치하는 경우가 많으며, 특히 건물이 밀집된 도심의 건물 내에 위치할 수도 있다. 그림 1, 2에서 보는 바와 같이 기존 GPS 방식을 사용할 경우 일반주택, 집합건물 모두 지붕 및 외벽에 의한 GPS 신호 감쇄로 인해 GPS 신호 수신에 어렵게 된다. 따라서 펌토셀의 경우 GPS 수신성능을 향상시키기 위해 펌토셀을 창문 가까이 설치하거나, 고성능의 GPS 안테나를 창문에 설치해야만 하는 제약사항이 생긴다. 이와 같이 낮은 수신감도, 많은 TIFF 시간소요, 높은 전력소모, 높은 가격 등의 문제로 인하여 펌토셀의 타이밍 동기방안으로서 기존 GPS 방식보다는 새로운 방안들이 제시되고 있다.

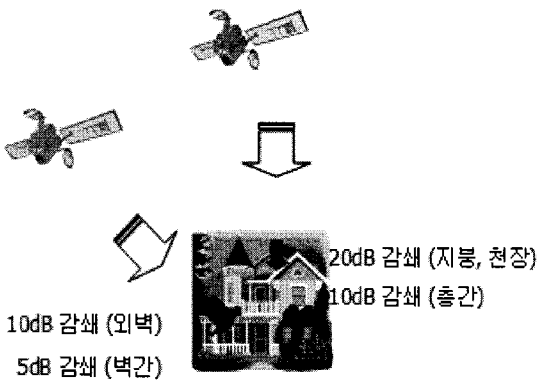


그림 1. GPS 신호의 감쇄 (일반주택)

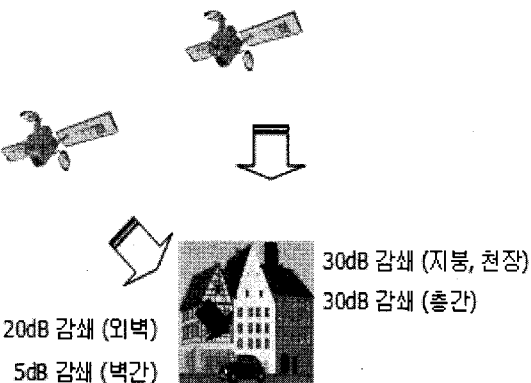


그림 2. GPS 신호의 감쇄 (집합건물)

### III. 패킷망에서의 타이밍 동기방안

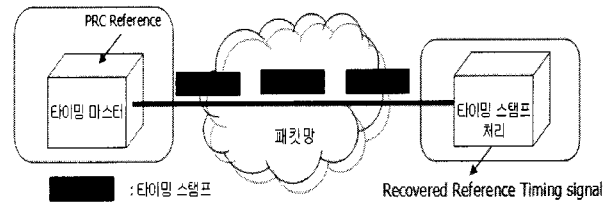


그림 3. 패킷망에서의 타이밍 동기방안

패킷스위칭은 기본적으로 ATM, Ethernet 같은 비대칭 데이터를 전송하기 위하여 고안되었다. 하지만 이동통신 수요가 증가함에 따라 기존 서킷망에서 제공되던 음성 및 실시간 서비스들이 ATM, IP, Ethernet과 같은 패킷망을 이용하여 서비스됨에 따라 패킷망에서도 정밀한 타이밍 동기가 요구되고 있다. 패킷망에서의 타이밍 동기를 위한 연구는 현재 활발히 진행되고 있으며, 대표적으로 NTP, PTP, Synchronous Ethernet 와 같은 방안들이 논의되고 있다.

패킷망에서의 타이밍 동기방안은 그림 3과 같이 서버-클라이언트 (마스터-슬레이브) 구조에 기초를 두고 있다. 서버는 주파수 및 시각정보를 클라이언트에 공급해주고 클라이언트는 수신한 타이밍 정보를 분석하여, 원하는 출력 클럭을 만들어 낸다. 이와 같이 패킷망에서의 타이밍 동기방안은 GPS와는 달리 건물 내에서 GPS 신호의 수신 상태에 영향을 받지 않아도 된다는 장점을 가지고 있다.

먼저, Synchronous Ethernet의 경우, 기존 SDH, SONET, PDH 등의 서킷망에서 사용하는 타이밍 동기방안과 유사한 방법을 패킷망에서 사용하는 방법이다. Synchronous Ethernet의 타이밍 동기방법은 그림 4와 같이 L1에서 수신된 데이터로부터 클럭을 추출하므로 상위계위에는 영향을 주지 않는다. 따라서, Synchronous Ethernet의 경우 NTP 및 PTP와 달리 망의 부하에 영향을 받지 않는 반면, Synchronous Ethernet를 지원하기 위해서는 망의 모든 각 노드들이 Synchronous Ethernet를 지원하는 칩셋을 사용해야 하며, 마스터의 주파수만 추출할 수 있고, 위상정보는 추출할 수 없다는 문제점이 있다.

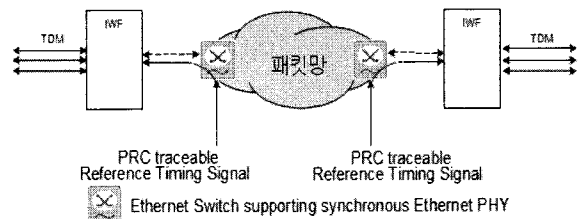


그림 4. Synchronous Ethernet의 타이밍 동기방법

다른 방안으로서, IEEE 1588로 대표되는 PTP가 있다. IEEE 1588은 측정 및 제어 시스템 클럭들의 시각 동기를 맞추기 위하여 제정된 표준으로서 현재 버전 2의 표준화가 진행되고 있다.

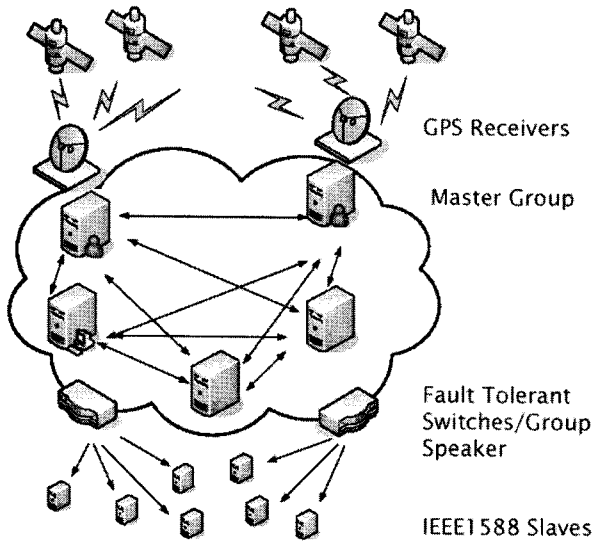


그림 5. IEEE1588 구성

그림 5와 같이 IEEE 1588은 타이밍 마스터와 슬레이브로 구성된다. 마스터 및 슬레이브는 BMC (Best Master Clock) 알고리즘에 의해 네트워크상의 각 클럭의 포트상에서 외부마스터 (Foreign Master)와 현재마스터, 그리고 자신의 데이터베이스를 서로 비교하여 이루어진다. BMC 알고리즘에 의해 선택된 마스터는 그림 6과 같이 주기적인 멀티캐스팅으로 Sync 및 Follow-Up 메시지를 슬레이브에 전송하며, Sync 및 Follow-Up 메시지를 받은 각 슬레이브는 전송지연을 고려하지 않고서 단순히 현재 시간정보를 마스터의 시간에 일치시킨다. 마스터와 슬레이브의 시간이 일치하면, 슬레이브는 마스터와 슬레이브간의 전송지연을 측정하기 위하여 마스터로 Delay-Req (Delay Request) 메시지를 전송하게 된다. 마스터에서는 Delay-Req 메시지를 수신한 시간을 측정후, 이를 Delay-Resp (Delay Response) 메시지를 통해 슬레이브로 전송한다. 슬레이브에서는 Delay-Req 메시지를 보낸시간과 Delay-Resp 메시지를 수신한 시간을 비교함으로써 마스터와 슬레이브간의 전송지연을 측정하여 그 전송지연만큼 현재 시간정보를 조정한다.

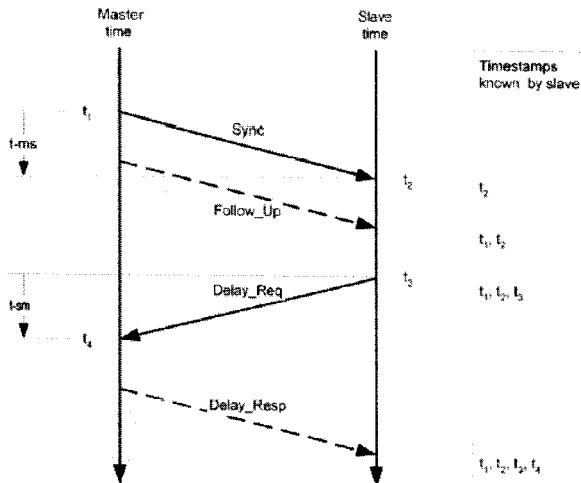


그림 6. IEEE1588 타이밍 메시지 전송절차

이러한 메커니즘에서 주의해야 할 사항은 정확한 타이밍 정보를 전송하기 위해서 Sync 및 Follow-up 메시지 및 Delay\_Req 메시지를 얼마의 주기로 전송해야 할 지를 신중히 판단해야 한다. 타이밍 패킷을 자주 전송했을 경우 슬레이브에서 정확한 주파수 및 위상을 추출할 수 있지만, 반대로 네트워크의 부하가 증가하여 효율이 감소될 수 있다. 또한, 타이밍 패킷이 3-4 개 이상의 서브넷을 경유할 경우 라우터에서의 버퍼링 시간이 지터로 발생되어 결국 슬레이브에서는 마스터의 정확한 타이밍을 추출할 수 없게 된다.

또 다른 방안으로서 NTP(network time protocol)가 있는데, 이는 1985년에 네트워크를 이용한 컴퓨터간 시스템의 시간을 동기화 시키기 위해서 사용하는 프로토콜로서, 오랜 기간 동안 인터넷 환경 아래에서의 시간 동기 표준으로 자리 잡아왔다. 하지만 NTPv4는 인터넷 상에서 대략 10ms, 지역 네트워크 상에서 200us 정도의 오차 내에서 동기화를 달성할 수 있기 때문에 높은 정밀도를 요구하는 이동 통신 시스템의 시간 동기 기법에는 적합하지 않는 것으로 보인다.

이와 같이 패킷망에서 타이밍 정보를 추출할 수 있는 여러 타이밍 동기방안은 표 2에서 보는 바와 같은 특징을 가지고 있다. 가장 중요한 타이밍 정확도 면에서는 NTP의 경우 수 us의 정확도를 가지는 반면, PTP, Synchronous Ethernet의 경우 ns의 정확도를 가진다. 하지만 Synchronous Ethernet의 경우 주파수만 동기를 시킬 수 있고, 위상에 대해서는 보정할 수 없으며, 반드시 Synchronous Ethernet을 지원하는 디바이스를 연결한 망을 통해서 구성이 되어야 한다. NTP는 기존 인터넷 망을 통해서 타이밍 패킷을 전송할 수 있지만, PTP의 경우 타이밍 정확도를 위해 34 개의 서브넷을 거칠 경우 심각한 에러가 발생할 수 있는 문제점이 있다. 이러한 이유로 패킷망에서의 타이밍 동기방안은 PTP가 가장 유효한 방안으로 여겨지고 있다. 하지만 이 역시 34 개의 서브넷을 경유할 경우 심각한 타이밍 에러가 발생할 수 있다는 단점을 안고 있다.

표 2. 패킷망에서의 타이밍 동기방안 비교

	NTP	PTP	SyncE
Spatial extent	Wide area	a few sunnet	syncE domain
commnication	Internet	Network	Network
Target accuracy	few milisecond (frequency+phase)	sub microsecond (frequency+phase)	sub microsecond (frequency only)
Network Load	High	High	No
Cost	very low	low	low
H/W requirement	No+processor	PTP PHY+processor	SyncE PHY
Style	Peer ensemble	Master/slave	Master/slave

#### IV.A-GPS 에 의한 타이밍 동기방안

GPS위성은 현재 시간, 위성의 현재 위치 및 보정 데이터를 계속해서 전송한다. GPS수신기는 이러한 정보를 이용하여 위성과 수신기의 거리를 계산하며, 최소 3개의 GPS위성으로부터 신호를 수신할 수 있어야 위치를 계산할 수 있다. 이때, TTFF (The position-Time to First Fix)는 GPS수신기의 RF감도, 신호 수신 가능한 위성의 개수, 각 위성의 신호강도 등에 영향을 받으며, 수 분이 걸릴 수 있다. 이는 911과 같은 긴급진

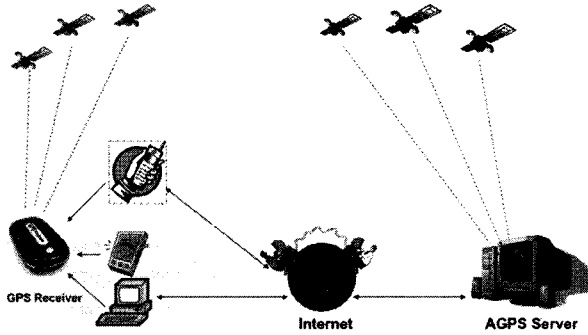


그림 7. A-GPS 구성

화가 걸려왔을 때, 즉시 위치를 파악해야 하는 상황에서는 큰 문제점이 될 수 있다. 하지만 A-GPS (Assisted-GPS)는 GPS 위성으로부터 다운로드 받아야만 하는 데이터인 *almanac*과 *ephemeris* 정보를 그림 7과 같이 A-GPS 서버에서 제공받음으로써 TTFF시간을 줄일 수 있으며 수신성능을 향상시킬 수 있다.

하지만, A-GPS 역시 기존 GPS 수신기와 마찬가지로 RF 수신환경에 영향을 많이 받는다. 따라서, 도시의 건물 밀집지역의 경우 GPS 위성으로부터 신호감쇄로 인하여 정확한 타이밍 및 위치의 동기가 어려워 창문 가까이 설치하거나 고감도 안테나를 창문 가까이 설치해야 하는 제약 사항이 있다.

V. 하이브리드 타이밍 동기방안

위에서 언급한 각각의 타이밍 동기방안은 독자적으로 사용할 경우 이동통신망에서 요구하는 타이밍 정확도나 적절한 위치 정보를 얻기 위해서는 몇 가지 제약사항들이 있다. 이러한 이유로 인해 이들 각각의 방안이 가진 단점을 상쇄할 수 있도록 이들을 결합한 하이브리드 방안이 소개되고 있다.

먼저, A-GPS+PTP 하이브리드 방안은 기존 A-GPS와 PTP의 장점을 결합한 타이밍 동기방안이다. 이러한 A-GPS+PTP 방안은 AGPS 수신기, PTP 지원 PHY, 프로세서, FPGA의 하드웨어 구성을 가진다. 여기서 제안하는 A-GPS+PTP 하이브리드 방안의 동작 메커니즘은 다음과 같다.

이 방안이 운용되기 위해서는 몇 가지 전제조건이 필요하다. 첫째, 각 펌토셀의 타이밍 동기는 A-GPS가 Primary, PTP가 Secondary 방법이다. 즉, 우선순위는 A-GPS > PTP 이다.

둘째, 펌토셀은 A-GPS로부터 타이밍 동기를 맞추고 있을 때에도 PTP를 이용하여 다른 펌토셀과 동기를 맞춘다. 이는 A-GPS로부터의 타이밍정보를 놓치는 경우가 발생할 때 PTP로부터 동기된 클럭으로 빠르게 전환하기 위함이다.

셋째, PTP의 BMC알고리즘은 같은 서브넷의 펌토셀과 이루어지며, 동일 서브넷에서 마스터를 찾을 수 없을 경우는 A-GPS의 타이밍 서버 혹은 네트워크 운영을 위해 필요한 OAM서버로부터 가장 가까운 마스터를 지정 받는다.

이는 PTP의 문제점인 3~4 개의 서브넷을 경유할 경우 발생하는 타이밍 에러를 없애기 위함이다.

넷째, 각 A-GPS가 다시 GPS에 동기를 맞추는 경우, 펌토셀의 타이밍은 A-GPS로부터 추출된 타이밍에 맞춘다.

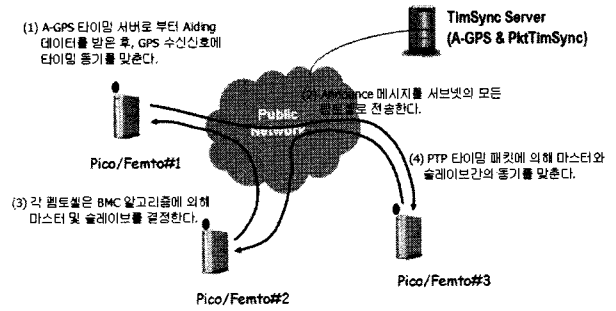


그림 8. A-GPS+PTP 타이밍 동기 구성

이러한 A-GPS+PTP 하이브리드 타이밍 방안은 A-GPS가 가진 GPS위성으로부터의 RF수신상태에 민감한 단점을 PTP에 의해 보완하고자 하는 목적으로 제안되었다. 이 때, 가장 중요한 점은 그림 8에서 나타난 바와 같이 PTP의 성능을 보장하기 위하여 동일 서브넷의 모든 펌토셀은 PTP 마스터 및 슬레이브가 될 수 있다는 것이다. 따라서, A-GPS가 수신되는 모든 펌토셀은 멀티캐스팅으로 *Announce* 메시지를 동일 서브넷으로 전송하고, 각 클럭의 포트상에서는 외부마스터 (Foreign Master)와 현재마스터, 그리고 자신의 데이터베이스를 서로 비교하여 포트의 상태를 결정하게 된다.

다음 방안은 Rosum사에서 개발한 TV+GPS 하이브리드 방안으로서, 기존 TV신호에 포함된 타이밍 정보를 활용하는 방안이다. TV+GPS는 건물이 밀집된 도심지역에서는 TV 신호를 사용하여 타이밍 동기를 얻고, TV송신타워가 부족한 번두리 지역에서는 A-GPS를 통해서 타이밍 동기를 얻도록 고안된 방안이다. TV신호를 이용한 타이밍 동기 시키는 방법은 그림 9에 보이는 바와 같이 크게 3가지 구성요소로 이루어져 있다. TV Reference monitor는 TV+GPS가 사용되는 지역에 설치되어 TV aiding Data를 수집하고, Location & Timing Server 는 TV Reference monitor와 TV+GPS로 TV aiding Data를 전송하는 역할을 하며, 기존 TV 송신타워는 TV신호를 송신한다. 이때, Location & Timing Server 에서 TV+GPS 수신기로 전송되는 aiding Data는 펌토셀이 TV 및 GPS신호를 정확하게 감지할 수 있도록 하며, TV 채널의 주파수, 타이밍 정보, 위치를 파악할 수 있도록 한다.

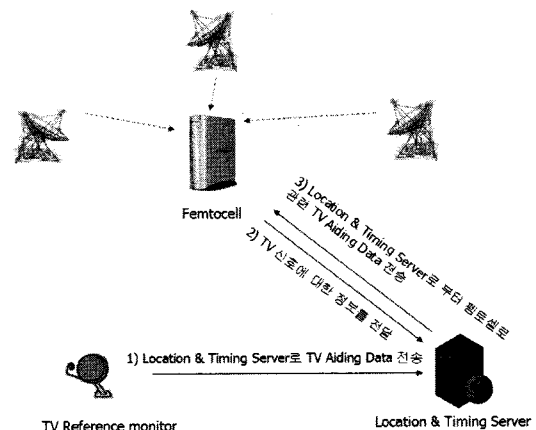


그림 9. TV+GPS 구조

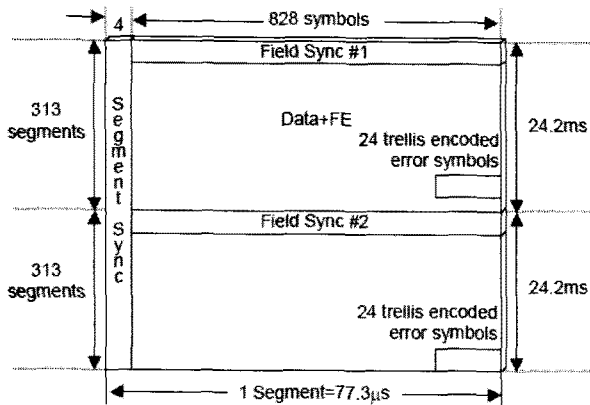


그림 10. ATSC Synchronization information

표 3. 건물에 의한 RF신호 감쇄

	Residential		Apartment	
	Wall	Floor	Wall	Floor
500 Hz (UHF TV)	8dB	16dB	20dB	22dB
900 Hz (Cellular)	11dB	22dB	22dB	27dB
1.6Ghz (GPS)	10dB	20dB	26dB	29dB
3Ghz (WIMAX)	29dB	59dB	46dB	50dB

모든 TV신호는 타이밍 정보를 가지고 있다. 이는 ATSC 디지털 TV신호가 대표적이며, 그림 10과 같이 6Mhz 대역에 반복적으로 Field Sync 및 Segment Sync 신호를 포함하고 있다. TV+GPS에서는 이러한 TV신호에 포함된 타이밍 정보를 이용하여 펌토셀에서 원하는 클럭을 추출할 수 있으며, TV 타워로부터 오는 신호를 분석하여 위치정보를 얻을 수 있다. 또한, TV신호는 고출력, 광대역 신호로 건물을 기존 GPS신호보다 훨씬 잘 통과한다. 이런 이유로 TV 신호는 약 80dB의 Positioning Link Margin을 가지게 된다. 이는 GPS가 가진 30dB의 Positioning Link Margin보다 50dB가 크며, 따라서 TV 신호가 GPS신호에 비해 10,000배의 이득을 가지고 있음을 의미한다. 하지만, TV 신호를 사용할 경우, 그림 13에서 보는 바와 같이 80dB의 positioning link margin을 가질 수 있다. 50dB의 이득은 TV신호가 건물 내에서 GPS보다 훨씬 잘 수신될 수 있다는 것을 의미한다. 또한, TV신호는 표 3에 보이는 바와 같이 건물에 의한 감쇄에 있어서 기존 GPS에 비해 탁월한 성능을 발휘한다. 따라서, TV 신호는 기존 GPS 신호에 비해 모든 경우에 있어서 27dB 정도의 신호이득을 얻을 수 있다. 이러한 모든 결과를 종합했을 때, TV+GPS 신호는 펌토셀과 같은 건물 내에 설치되었을 경우 기존 GPS에 비해 탁월한 성능을 발휘할 수 있다.

VI. 결론

향후 타이밍 동기방안은 기술, 서비스 유형, 기지국 사용 환경 및 각 나라의 상황에 맞게 여러 방안이 제안되고 또 지금까지 노출된 문제점들을 해결하기 위한 활발한 연구가 진행

될 것으로 보인다. 특히 맥내 및 건물 내에 설치됨으로 인하여 기존 GPS방안으로는 여러 가지 한계점에 부딪힐 것으로 보이는 펌토셀의 경우는 더욱더 그러하다. 따라서, 기존 GPS 위성을 이용한 방안이 가진 설치의 제약 및 위성 수신상태에 의존적이고, 가격이 비싸다는 단점으로 인하여 향후에는 이를 보완할 수 있는 A-GPS+PTR, TV+GPS 등과 같은 하이브리드 방안이 대세를 이룰 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] Timing and synchronization aspects in packet networks, G8261/Y.1361, May, 2006
- [2] IEEE P1588-2.2 Draft Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, March, 2008
- [3] The study on effective operation of ToP (Timing over Packet), Aug, 2007
- [4] Rosum FemtoSynch In-Building Timing and Location for Femtocells, June, 2008
- [5] A New Positioning System Using Television Synchronization Signals, by Matthew Rabinowits, Ph.D and James J. Spilker, Jr., Ph.D
- [6] AssistNow™ GPS Solution, July, 2006
- [7] Assisted GPS (A-GPS) Services, March, 2008
- [8] Combining Synchronous Ethernet and IEEE-1588™ for use in Telecom, by Zalink