

WiBro용 TDD 중계기 개발의 기술적 문제점과 극복 방안

정은철, 이상호, 이성춘
KT 컨버전스연구소

Implementation of TDD repeater system for WiBro

Eun Cheul Jeong, Sangho Yi, Seong Choon Lee
KT Convergence Laboratory

Abstract - WiBro는 2.3GHz 대역을 사용하는 차세대 휴대인터넷 서비스로서, 2003년 7월부터 TTA에서 표준화가 시작되어 2004년 초에 무선 접속 주요 파라미터가 완성되었다. 이 무선접속구간의 중요한 파라미터 중 하나인 시분할 복신(TDD: Time Division Duplexing) 방식의 중계기는 국내는 물론 세계적으로도 개발 및 적용 사례가 많지 않다. 본고에서는 TDD 방식의 중계기 개발 시 발생할 수 있는 기술적 문제점을 파악하고 그 해결 방안을 제시한다.

1. 서 론

중계기란 산이나 빌딩 혹은 기타 지형지물로 인한 전파 차단 지역, 터널, 지하 주차장과 같이 전파 도달이 어려운 음영지역 그리고 다수의 기지국의 신호가 중첩되는 pilot pollution 지역을 대상으로 기지국의 RF 신호를 증폭해 해당 지역을 서비스하며, 그 지역에 위치한 단말기의 신호가 기지국으로 도달할 수 있도록 연결하여 주는 장치를 의미한다.

중계기는 중계 링크에 따라 광 중계기, RF 중계기, M/W 중계기, 주파수 변환 중계기, 레이저 중계기로 분류된다.

광 중계기는 기지국의 RF 신호를 광신호로 변환한 후 광선로를 따라 원하는 원격 지역으로 전송 후 다시 RF 신호로 변환하여 앰프를 거쳐 안테나로 송신하는 방식이다. 광전송 방식에 따라 아날로그와 디지털 광 중계기로 세분될 수 있다. 장점으로는 안정된 광선로에 의하여 전송되므로 매우 안정적인 특성을 나타낸다는 점이며, 단점으로는 반드시 광선로가 인입되어야 한다는 점과 광선로 임차료가 비싸다는 점 등이다.

RF 중계기는 도너(Donor) 안테나를 통해 수신된 기지국 신호를 중간주파수로 변환하고, 스킵트(Skirt) 특성이 우수한 표면탄성파(SAW)필터를 통해 원하는 주파수대만을 통과시키고 다시 RF로 변환해 고출력 증폭기를 통해 증폭한 후 서비스 안테나로 음영 지역을 서비스한다. 장점은 소규모 빌딩 서비스에 적합하며, 시설비용이 매우 저렴하다는 점이다. 단점은 안테나의 분리도(isolation) 확보가 어려워 치국 장소가 제한된다는 점이다. 이러한 RF 중계기의 단점을 보완한 형태가 주파수 변환 중계기이다.

주파수 변환 중계기는 기지국의 RF 신호를 사용하지 않는 빈 FA 신호로 변환하여 안테나로 전송한 후 원격지에서 수신하여 다시 원래의 주파수 신호로 변환시켜 주는 방식이다. 장점으로는 분리도 확보가 용이해 치국이 쉽다는 점이며, 단점으로는 사업자에게 배정된 주파수 대역 내에 반드시 빈 주파수 대역이

필요하기 때문에 대역 내 주파수 사용률이 높은 도심 등에서는 사용이 불가능하다는 점이다.

마이크로웨이브(M/W: Microwave) 중계기는 기지국의 RF 신호를 8GHz, 18GHz 등의 M/W 주파수로 변환하여 전송 후 원격지에서 수신하여 다시 RF 신호로 변환하여 안테나로 송신하는 방식이다. 장점으로는 M/W 주파수의 넓은 대역사용이 가능하기 때문에 도시의 Multi FA를 수용 가능하다는 점이며, 단점으로는 M/W 구간에 LOS(Line Of Sight)가 확보되어야 한다는 점이다.

레이저 중계기는 기지국의 RF 신호를 Laser 신호로 변환하여 전송 후 원격지에서 수신하여 다시 RF 신호로 변환하여 안테나로 송신하는 방식이다. 장점으로는 주파수 사용허가가 불필요하다는 점이며, 단점으로는 안개나 폭우 등의 날씨변화에 민감하게 반응을 하며, LOS 확보 및 Laser Beam Focus 유지 등이 어렵다는 점이다. 레이저 중계기는 장점보다 단점이 더 많아 현장에 더 이상 적용되지 않고 있다.

이 밖에도 건물내부 혹은 지하철 서비스를 위한 분산형 중계기가 있으며, 분산 안테나까지의 신호 전달 방식에 따라, 광 분산, RF 분산, IF 분산 방식 등으로 나눌 수 있다.

TDD 방식의 중계기는 기술적으로 지금까지 소개한 형태의 중계기가 모두 개발 가능하다. 그러나, 동일한 송수신 주파수를 사용하는 TDD 방식의 특성상 지금까지 개발된 주파수 분할 복신(FDD: Frequency Division Duplexing) 방식과 달리 추가로 고려해야 할 요소가 많이 있다. 첫째로, 동기 추출 방식이다. 상향 링크와 하향 링크가 듀플렉서로 분리되는 FDD 중계기와 달리, TDD 중계기는 상향 링크와 하향 링크의 분리를 위해 스위칭 시간을 정확히 알아야만 한다. 둘째는, 상향 링크와 하향 링크의 분리도(Isolation) 확보 방법이다. 분리도가 충분히 확보되지 않으면, 고출력 증폭기로부터 발생하는 하향 링크 신호가 상향 링크의 LNA에 입력되어 소자에 손상을 입힐 수 있다. 셋째는 광 중계기의 지연시간 극복 방안이다. WiBro 기지국과 광 중계기 사이의 거리가 멀 경우 광선로 지연이 많이 발생한다. 이 지연 시간이 보상되지 않으면, 광 중계기로 서비스 할 수 있는 서비스 반경은 매우 줄어든다. 본고에서는 이 세 가지 문제점에 대해 상세히 고찰하고 그 해결 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 동기 추출 방안

TDD 시스템에서는 하향 링크 신호와 상향 링크 신호가 주기적으로 반복하여 동일한 주파수대역을 점

유한다. 기지국 커버리지 내의 가입자 단말기들은 기지국으로부터 오는 하향 링크 프리앰블 신호를 포착하여 OFDM 프레임 동기화 및 송수신 스위칭 동기를 맞춘다. 스위칭 동기는 전체 기지국과 그에 소속된 중계기 모두가 맞아 야 되는데, 만약 각각의 중계기나 기지국의 스위칭 시간이 맞지 않다면 기지국과 단말기 그리고 중계기 간에 상호 간섭을 야기해 통신을 할 수 없는 심각한 문제가 발생된다. 본고에 소개되는 동기 추출 방법은 다섯 가지 이며, 그 중 하향 링크의 RF 수신 전력을 이용하는 방법과 상관기를 이용하는 방법에 대해 상세히 고찰한다.

2.1.1 RF Detector를 이용한 동기 추출 방법

현재 표준안에서 제시된 프레임 구조에서 다운 링크 시간영역에서 처음 2개의 OFDM 심볼은 초기 동기 확보, 셀 탐색, 주파수 오프셋 및 채널 추정에 사용되는 프리앰블 신호이다. 단말기는 초기 두 번 반복되는 프리앰블 신호를 포착하여 프레임 검출과 데이터 복조 및 동기를 맞추게 된다. 프리앰블 신호는 트래픽 데이터의 존재 유무와는 상관없이 매 프레임 시작부분에서 항상 존재하므로 RF Detector를 사용함으로써 프레임의 시작부분을 검출할 수 있게 된다. 한 개의 OFDM 심볼시간이 115.2us 이므로 프리앰블 시간은 230.4us가 된다. 일반적으로 단말기도 초기 프레임 포착은 동일한 방법으로 진행하는데, RF Detector로는 응답속도가 빠른 Shottky Diode 계열의 소자를 이용할 수 있다.

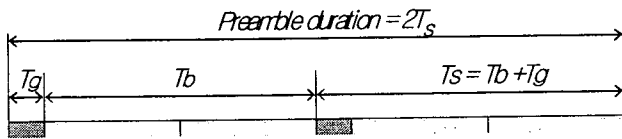


그림 1. WiBro 프리앰블 심볼 구조

이 방법을 RF 중계기에 적용하면, 기지국 신호를 수신하는 도너 안테나로부터 기지국 신호만 입력되는 것이 아니라 다경로에 의해 지연된 기지국 신호, 타 사업자의 신호, 단말기 신호 등 원치 않는 신호도 섞여 있어서 정확한 프레임 동기 포착이 어렵다. 그러나 광 중계기는 RF 중계기와는 달리 도너의 입력포트를 통하여 유선으로 기지국 신호를 수신하므로, 무선 인터페이스 조건보다는 훨씬 깨끗한 신호를 수신할 수 있어 RF Detector 만으로도 정확한 프레임 동기 포착이 가능하다. 아래 블록도 에서 Process 과정은 이렇게 얻어진 프레임 동기신호를 몇 번에 걸친 비교 검증과정과 약간의 클럭 보정 과정을 거쳐 정확한 프레임 동기를 생성해 내는 곳이다.

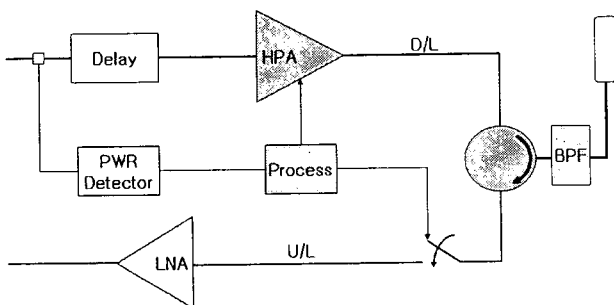


그림 2. RF 전력 검출기

2.1.2 상관기를 이용한 동기 추출 방법

이 방법은 TDD 프레임 구조에 대한 정보만을 이용하여 프리앰블을 검출하는 방법이다. 프리앰블 검출 장치로 입력된 신호를 프레임 단위의 프리앰블 주기만큼 시간 지연 시킨 신호와 복소 상관 관계를 구하고 복소 상관 관계의 절대값에서 주기적으로 반복되는 최대값의 위치를 찾아서 프리앰블을 검출하는 방식이다. 앞서 설명한 RF Detector를 이용한 방법보다 정확하고, 모델칩을 이용한 방식보다 간단하게 구현이 가능하다.

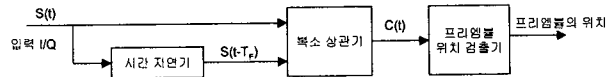


그림 3. 상관기를 이용한 동기 추출기

2.1.3 기타 동기 추출 방법

위에서 언급한 두 가지 동기 추출 방법 이외에 다음과 같은 세 가지 방법을 더 생각할 수 있다. 첫째로, 기지국의 동기 방식과 같이 GPS를 이용하는 방법이다. 이 방식은 제조 비용의 증가, 설치 장소의 제약, locking시 걸리는 시간 등이 추가된다는 단점이 있다. 둘째로, 기지국에서 직접 동기 신호를 제공하는 방법이다. 광 중계기 또는 M/W 중계기와 같이 기지국사에 도너가 설치되는 형태의 중계기는 기지국으로부터 동기 신호를 받아 전송 링크에 다중화 하는 것이 가능하다. 이 방법은 가장 효율적이지만, 기지국에서 동기 신호를 제공해야 한다는 전제 조건을 갖고 있다. 마지막으로, 모델칩을 이용하는 방법이다. 하향 링크 신호를 복조해 동기 신호를 추출하는 방식으로, WiBro 상용화 초기에는 모델 칩의 수급 문제 등으로 FPGA 또는 ASIC으로 모델을 구현해야 하기 때문에 하드웨어가 복잡해지고 경제성이 없지만 추후에는 RF 중계기에서 가장 효과적이며 정확한 동기 추출 방법이 될 것이다.

2.2 상하향 링크간 분리도 확보 방안

TDD 방식의 중계기는 장비의 안테나 포트부에서의 하향 링크와 상향 링크 사이의 분리도(Isolation) 특성이 문제가 된다. 분리도 특성이 좋지 않으면 하향 링크의 HPA에서 발생된 잡음전력이 상향 링크 경로로 유입되어 결과적으로 역방향 SNR 을 저하시키는 결과를 초래한다. SNR의 저하에 따라 기지국의 데이터 Throughput 저하와 단말기 출력상승에 따른 간섭 문제도 야기시킨다. 분리도 확보를 위해서 RF 스위치 및 Circulator 등의 소자를 사용한다.

2.2.1 Circulator와 RF 스위치 조합에 의한 방법

현재 출시되어 있는 기계적인 방식의 RF 스위치는 스위칭 시간이 느리고, 내구성이 좋지 않기 때문에 TDD 중계기에는 적합하지 않으며, 반도체 방식의 스위치는 스위칭 시간과 내구성은 만족하나, 대전력 스위칭 할 수 없기 때문에 대형 중계기에는 사용이 불가능하다. 이에 따라 TDD 방식의 대형 중계기는 아래의 블록도와 같이 방향성을 갖는 circulator를 사용하여 기본적인 상호분리도를 확보한다. Circulator의 포트간 상호분리도는 20dB정도 이상이기 때문에, 상향 링크의 RF 스위치는 기존의 반도체로 구현된 제

품을 이용할 수 있다. 단 중계기 운용시 안테나가 포트가 open 되어 있을 경우 circulator의 분리도가 보장되지 않으므로, 이에 대한 별도의 대책이 필요하다.

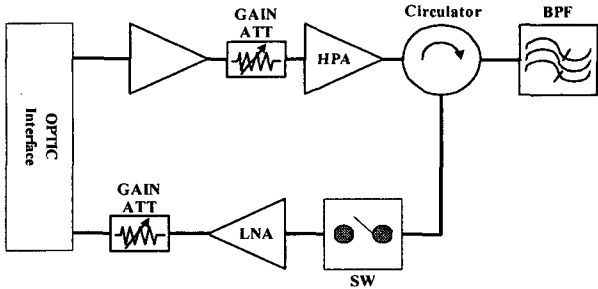
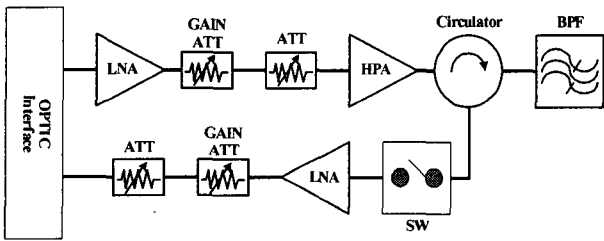


그림 4. Circulator와 RF 스위치 조합 구성도

2.2.2 최소 이득 설정에 의한 방법

아래 그림과 같이 순방향과 역방향에 이득 조절용 감쇄기외에 별도의 감쇄기를 삽입하여 스위칭이 되는 순간에 사용되지 않는 경로를 최소 이득으로 설정함으로써 귀환되어 입력되는 신호가 중계기의 전체 이득보다 적게 되어 귀환에 의한 발진 및 잡음 증가를 억제할 수 있다.



GAIN ATT: 중계기 이득 조절용 감쇄기
ATT: 중계기 최소 이득용 감쇄기

그림 5. 최소 이득 설정법 구성도

2.2.3 전원 ON/OFF에 의한 방법

역방향 LNA 입력단에 구현된 RF 스위치 분리도의 한계로 인해 순방향의 HPA의 잡음이 단말기 신호보다 높은 레벨로 유입될 가능성이 많고, 반대로 역방향 출력 신호가 순방향에 의해 재증폭되어 다시 역방향으로 유입되는 발진 현상이 일어날 가능성이 있으므로 증폭기의 전원을 차단함으로써 이러한 현상을 미연에 방지한다.

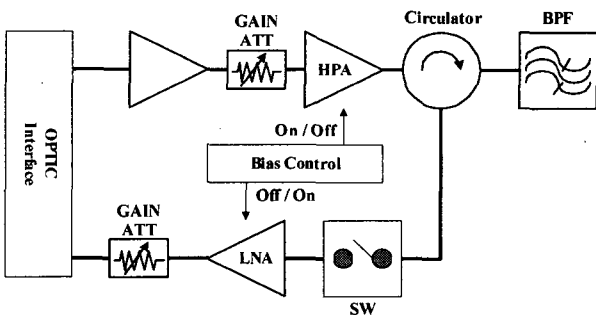


그림 6. 전원 ON/OFF에 의한 분리도 확보 방법 구성도

2.3 지연시간 극복 방안

TDD 시스템에서 모든 기지국과 중계기는 동시방사(Simulcasting)를 해야 한다. 그러나 자유공간상의

전파지연은 3.3usec/km, 광케이블은 5usec/km 의 지연 특성을 갖고 있으며 중계기도 약 5usec의 시스템 지연을 갖고 있으므로 Round Trip 지연을 감안한다면 중계기가 적용 가능한 지역은 FDD 시스템에 비해 제한적이 된다. 특히 지하 공간이나, 제한적인 옥외 커버리지를 갖는 RF 중계기 보다는, 커버리지 확장용으로 많이 사용되는 광 중계기가 더욱 지연 시간에 민감하다. 따라서 본고에서는 광 중계기만을 가지고 지연 시간에 대해 논의 하고자 한다.

WiBro 규격에서 허용되는 지연 시간은 OFDM의 Guard Interval (GI) 또는 Cyclic Prefix (CP)에 해당한다. 그러나 광 중계기 사용에 필요한 지연 시간은 이 범위를 쉽게 넘어서므로, 반드시 기지국에서 시간 조절 기능을 구현해야 한다. 기지국의 시간 조절 기능은 두 가지로 구현될 수 있다. 첫째는, 기지국에서 직접 방사되는 신호의 경우 IF-RF 구간에서 Delay Line, SAW 필터 등의 아날로그 지연 모듈(ADM: Analog Delay Module)을 삽입하여 기지국의 안테나에는 지연된 신호를 방사시키고, 광 중계기에는 지연되지 않은 신호를 전달하는 방식이다. 둘째는, WiBro 모델 카드 상에서 D/A 변환이 이루어지기 전에, 디지털 지연 모듈(DDM: Digital Delay Module)을 삽입하는 방식이다. DDM은 대용량의 메모리를 이용해 간단히 구현될 수 있다. 모델 카드 내에서 지연된 신호는 기지국 안테나로 방사되며, 지연되지 않은 신호는 광 중계기에 공급된다.

이상 언급한 두 가지 방법 중 ADM을 이용한 방법은 기지국 자체의 변경 없이, 외부 모듈 장착 만으로도 구현 가능하나, 이득 보상이 필요하며 지연 시간 조절 기능의 구현이 힘들다는 단점이 있다. 그러나, 기지국 모델 카드에서 DDM을 기능을 구현하면, 이러한 단점을 극복할 수 있으므로, 다음 절에서는 DDM을 이용한 극복 방안에 대해 더욱 구체적으로 살펴보기로 한다.

2.3.1 디지털 지연 모듈

휴대인터넷 서비스 표준에서 셀커버리지와 관계되는 항목이 Guard Time 이다. WiBro 표준에서는 TTG (Tx/Rx Transition Gap : 기지국이 송신을 마치고 수신모드로 전환하는 시간)가 121.2us 이고, RTG(Rx/Tx Transition Gap : 기지국이 수신모드를 마치고 송신모드로 전환하는 시간)가 40.4us 이다. 일반적으로 기지국이나 단말기의 Switch 절체시간은 수 us 이하이고, 나머지 대부분의 여유시간은 상/하향 링크 신호의 Air 전송시간과 중계기 사용시 기지국과 중계기 사이의 전송시간에 할애된다.

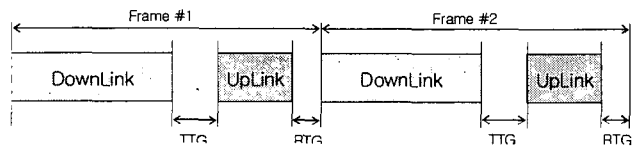


그림 7. WiBro 프레임 구조

TTG와 RTG 의 용도는, TTG가 주로 기지국, 단말기의 상/하향 링크 전환 시간과 커버리지 내 신호 전송 지연을 수용하기 위한 시간이고, RTG는 프레임과 프레임 사이의 충돌을 막기 위한 보호시간이다. 2.3GHz 휴대인터넷 표준안에서는 상향 링크에 레인징 기능이 있어 기지국과 단말기 사이에 발생하는 전송지연을 측정하여 단말기에서 예상되는 지연시간만

큼 빨리 상향 링크에 데이터를 전송해 이 데이터가 기지국 도착 시에는 기지국의 프레임 동기에 일치되도록 하였다.

한편, 기지국에 광 중계기가 연동되어 사용될 경우 기지국 커버리지와 중계기 커버리지의 접경에서는 단말기 신호가 기지국으로 직접 수신되는 경우와 중계기를 거쳐 수신되는 경우가 모두 가능하다. 이와 같이 기지국에서 동일한 단말기 신호가 Multipath에 따라 시간차를 갖고 수신될 때, OFDM 시스템의 특성상 OFDM 심벌의 Cyclic Prefix (CP) 보다 더 큰 시간 지연이 발생하면 신호 복원을 할 수 없게 된다. 따라서 CP 시간인 12.8us 범위 안에서만이 중계기를 이용한 셀 확장이 가능하다고 볼 수 있다. 이와 같이 시스템의 지연 시간 제한으로 중계기를 사용하기 곤란한 문제를 해결할 수 있는 방안 중 하나가 DDM이다.

[6] C&S 마이크로웨이브사, <http://www.cnsmicro.co.kr>

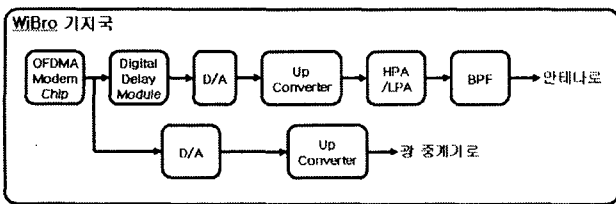


그림 8. DDM을 적용한 기지국 구성도

DDM의 기본적인 원리는 기지국에 연결되어 있는 중계기들 중에서 최대 지연시간 값만큼 기지국의 하향 링크 신호를 지연시키고, 다수의 리모트 중계기들은 모두 동일한 시간에 각 중계기의 안테나에서 전파방사가 되도록 개별적으로 지연 시간을 부가한다. 이렇게 동시 방사를 하면 결국 기지국 Transceiver에는 기지국 신호와 중계기 신호가 모두 동일한 시간에 도착하게 된다. DDM 기능은 기지국 채널 카드 설계시부터 고려되어야 하며, 소프트웨어상에서 보정된 지연 시간 값을 지정할 수 있어야 한다.

3. 결 론

유연한 상/하향 링크의 비율 배분은 TDD 방식의 시스템이 갖는 큰 장점의 하나로서 서비스의 발전에 따른 서비스 사업자의 유연한 대응을 가능하게 한다는 장점을 갖고 있으나, 반면 FDD 방식에서 경험하지 못했던 다양한 문제점이 중계기 개발 과정에서 표출되었다. 본고에서는 TDD 방식의 중계기 개발 시 발생할 수 있는 동기 검출, 분리도 확보 및 광 중계기의 지연시간에 대한 문제점을 파악하고 그 해결 방안을 제시하였다.

WiBro 용 중계기 개발은 신속한 망 구축은 물론 저렴한 비용을 바탕으로 비수요 지역의 커버리지 제공이 가능하게 되어 2.3GHz 휴대인터넷 사업의 조기 정착에 기여할 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] TTA, Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service - Physical Layer
- [2] 슐리테크사, <http://www.st.co.kr>
- [3] 에이스테크놀로지사, <http://www.acetech.co.kr>
- [4] 이스텔시스템즈사, <http://www.eastelsystems.com>
- [5] 네오텔레콤사, <http://www.neotelecom.com>