
기존의 2-Tx Radio Unit 을 재활용한 4-Tx 빔포밍 Radio Unit 구현 방법

김성만*

Implementation of 4-Tx Beamforming Radio Unit reusing the Existing 2-Tx Radio Unit

Sung-Man Kim*

이 논문은 2011학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

요약

이동통신 기지국의 성능을 높이기 위해 빔포밍(beamforming) 기술을 적용하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 하지만, 이러한 빔포밍 기술을 적용하기 위해서는 기존에 2x2 MIMO 용으로 제작되었던 2-Tx RU(radio unit)을 버리고 이를 4-Tx 빔포밍 RU 로 대체하여야 하는 문제점을 안고 있다. 본 논문에서는 기존의 2-Tx RU 를 재활용하여 4-Tx 빔포밍 RU 를 구현하는 방안을 제시하고, 이러한 구현에서 안테나 패스간의 보정절차 및 보정검증절차에 대해 제시하였다. 본 논문의 방법은 기존의 2-Tx RU 를 버리지 않고 재활용할 수 있어 경제적으로나 환경적으로 매우 유익한 방법으로 생각된다.

ABSTRACT

To improve the performance of mobile communication systems, beamforming technology is being considered. However, the number of antenna should be more than four to implement beamforming technology. Therefore, the existing 2-Tx RU (radio unit) for 2x2 MIMO (multiple input multiple output) should be replaced by 4-Tx RU for beamforming function. In this paper, we propose a new method to implement 4-Tx beamforming RU reusing the existing 2-Tx RU. We think that our method is very useful from the viewpoint of cost and environment because the existing 2-Tx RUs can be reused.

키워드

빔포밍, 기지국, Radio Unit, 보정절차

Key word

beamforming, base station, radio unit, calibration

* 종신회원 : 경성대학교 전자공학과 (단독저자, sungman@ks.ac.kr)

접수일자 : 2011. 01. 12

심사완료일자 : 2011. 02. 09

I. 서 론

최근에 이동통신에 대한 데이터가 폭증하면서 이동통신 시스템의 성능을 높일 수 있는 다양한 기술에 대한 요구가 증대되고 있다. 이러한 이동통신 시스템의 성능 및 용량을 증대시키기 위한 한 가지 기술로서 빔포밍 (beamforming) 기술이 있다. 빔포밍 기술은 스마트 안테나 기술의 한 방식으로서, 다수의 송신 안테나를 통해 송신되는 하향 (downlink) 데이터에 적절한 위상 및 진폭계수를 곱하여 원하는 단말의 방향으로 빔을 최적으로 형성하는 기술이다 [1, 2]. 이러한 빔포밍 기술을 이용하면 주변의 간섭을 줄이고 신호의 세기를 증가시켜 수신 신호의 SINR (signal to interference and noise ratio) 를 증가시킬 수 있다.

빔포밍 기술을 통신 시스템에 적용하기 위해서는 일반적으로 송신단에 4 개 이상의 안테나가 필요하다. 하지만, 현재 차세대 이동통신망으로 구축되어 있는 Mobile WiMAX [3] 의 경우 2x2 MIMO (multiple input multiple output) 를 구현하기 위해서 2 개의 송신안테나로 구현되어있는 상황이다. 따라서, 현 상황에서 빔포밍 기술을 구현하기 위해서는 기존에 2 개의 송신안테나로 구현되어 있는 2-Tx RU (radio unit) [4, 5] 을 모두 4-Tx RU 로 교체하여야 한다. 하지만, 기존에 설치되어 있는 2-Tx RU 를 모두 4-Tx 로 교체를 하고 나면 기존의 2-Tx RU 를 폐기처분 해야하는 상황을 야기하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 기존에 설치되어있던 2-Tx RU 를 그대로 이용하고 여기에 추가적인 2-Tx RU 를 연결하여 4-Tx 빔포밍 RU 처럼 사용할 수 있는 방법에 대해 제시하고자 한다. 본 논문의 방법을 사용한다면, 기존의 2-Tx RU 를 버리지 않고 그대로 재활용할 수 있어서 경제적으로나 환경적인 측면에서 주목할 만한 방법이라고 생각된다.

II. 2-Tx RU 및 4-Tx 기지국의 하드웨어 구성

기존에 설치되어 있는 2-Tx RU 는 2x2 MIMO 를 위해 설치된 것으로서, Mobile WiMAX 의 2-Tx RU 는 일반적

으로 <그림 1>과 같은 구성을 가지고 있다. <그림 1>에서 CPRI 는 common public radio interface 의 약어로서 모뎀부가 들어있는 DU (digital unit) 와 안테나 및 RF 소자들이 들어있는 RU 를 연결하는 인터페이스 표준이다 [6]. 2-Tx RU 에는 이러한 CPRI framer 가 제일 먼저 연결되어 있으며, 그 이후로 RF 소자들이 연결되어 있다. RF 소자들은 송신 부분과 수신 부분으로 나뉘어져 있으며, 안테나 앞 단에서 스위치를 통해 송신과 수신이 구분된다. 이는 Mobile WiMAX 를 포함하여 TDD (time division duplex) [7] 방식을 사용하는 이동통신 RU 의 공통적인 하드웨어 구성이다.

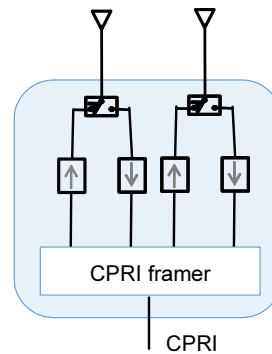


그림 1. 2-Tx RU 의 일반적인 하드웨어 구성
Fig 1. Configuration of conventional 2-Tx RU

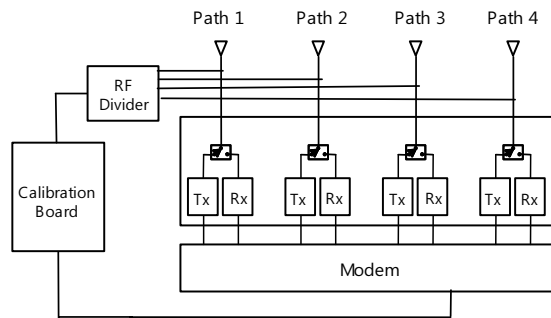


그림 2. 4-Tx 빔포밍 기지국의 일반적인 하드웨어 구성
Fig 2. Configuration of conventional 4-Tx RU

빔포밍을 수행하는 4-Tx RU 의 하드웨어 구성은 <그림 1>의 2-Tx RU 처럼 단순히 RF 패스만 4 개가 있다고 구현이 되는 것은 아니다. 2x2 MIMO 를 위해 사용되었

던 2-Tx RU 와는 달리 빔포밍을 구현하기 위해서는 여러 RF 패스간의 위상 및 진폭차를 보정하기 위해 보정 (calibration) 절차가 필요하고, 이를 위한 하드웨어 구성이 필요하다 [8]. <그림 2>는 DU 와 RU 가 일체형으로 구현된 4-Tx 빔포밍 기지국의 일반적인 하드웨어 구성이다. 이와 같이 빔포밍 기능을 하기 위해서는 일반적으로 보정절차를 위한 보정보드 및 RF 분배기와 같은 하드웨어 구성이 필요하다.

III. 4-Tx 빔포밍 RU 구현방식

4-Tx 빔포밍을 구현하기 위해서는 기존에 설치되어 있던 2-Tx RU 를 보정보드가 내장되어있는 4-Tx 빔포밍 RU 로 교체해야한다. 하지만, 이렇게 RU 를 교체하면 기존에 사용했던 2-Tx RU 는 더 이상 사용할 수 없게 되어 환경적으로나 경제적으로 상당한 피해를 가져오게 된다. 따라서, 기존에 있던 2-Tx RU 를 버리지 않고 재활용 하면서 업그레이드 할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

<그림 3>은 빔포밍 업그레이드를 위해 기존의 2-Tx RU 에 빔포밍 업그레이드용 2-Tx RU 를 덧붙여서 빔포밍용 4-Tx RU 를 구현하는 방법을 나타낸 그림이다.

<그림 3(a)>는 빔포밍 업그레이드용으로 특별히 제작된 2-Tx RU 를 덧붙이는 방식이다. 빔포밍 업그레이드용 2-Tx RU 에는 보정절차를 위한 보정보드가 들어가 있으며, 이를 기존에 사용하던 2-Tx RU 에 연결하여 4-Tx 빔포밍 RU 를 구현하는 방법이다. 그리고, 기존의 2-Tx RU 의 안테나 앞단에 안테나의 출력과워를 모니터링하기 위해 들어있던 안테나 탭(tap) 을 빔포밍 업그레이드용 2-Tx RU 에 연결하게 된다. 또한, 두 RU 간의 클럭을 일치시키기 위해서 클럭 신호선이 연결된다.

<그림 3(b)>는 기존과 동일한 하드웨어의 2-Tx RU 를 연결하고 별도의 보정박스 (calibration box) 를 연결하는 방식이다. 이러한 경우에는 각 RU 의 안테나 앞단에서 커플링된 신호를 보정 박스로 연결시키게 되고, 클럭 신호를 각 RU 및 보정박스가 공유하게 된다.

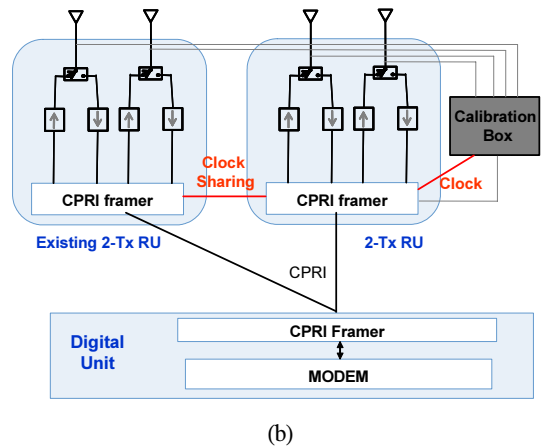
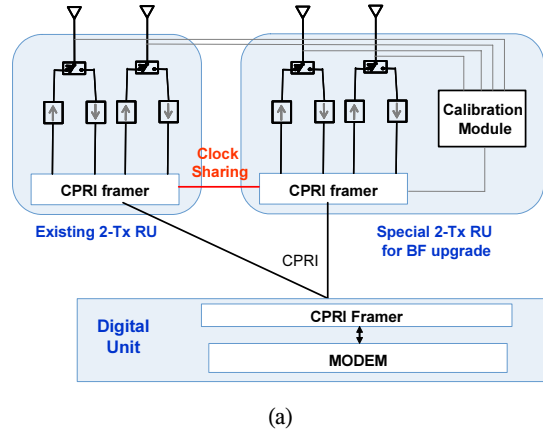


그림 3. 기존의 2-Tx RU 를 재활용한 4-Tx 빔포밍 RU 구현방법 (a) 빔포밍 업그레이드용 2-Tx RU 를 덧붙이는 방법 (b) 별도의 보정박스를 설치하는 방법
 Fig 3. implementation of 4-Tx beamforming RU reusing the existing 2-Tx RU (a) Method with a special 2-Tx RU for beamforming upgrade (b) Method with a calibration box

IV. 보정절차 방법

2x2 MIMO RU 에 비해 4-Tx 빔포밍 RU 가 가지는 가장 큰 차이점은 안테나 개수가 늘어나는 것 이외에 보정절차가 필요하다는 점이다. 본 절에서는 <그림 3>의 방법처럼 구현되었을 때의 보정절차 방식에 대해 설명하도록 하겠다.

보정절차는 크게 하향링크 보정절차와 상향링크 보정절차로 나눌 수 있다. <그림 3>과 같은 구조에서 하향링크 보정절차의 경우에는 보정 기준신호가 DU 단의 모뎀단에서 송신된다. 이 신호는 CPRI 인터페이스를 통해 RU 로 전달되며, RU 에서 하향링크의 RF 소자들을 거치고 마지막으로 안테나 앞단의 커플링패스를 통해 RU 단의 보정모듈 이나 보정박스에서 수신된다. 상향링크 보정절차의 경우에는 보정 기준신호가 보정모듈이나 보정박스에서 송신된다. 이 신호는 하향링크 보정절차와는 반대의 경로를 거쳐 DU 단의 모뎀단에서 수신된다.

RU 에 들어있는 RF 소자의 특성은 시간 및 온도에 따라 변화하기 때문에 보정절차는 기지국의 동작중 주기적으로 이루어진다. 이러한 보정절차를 위해서는 TDD 통신신호의 한 프레임임을 이용하여 이루어진다. 즉, Mobile WiMAX 의 경우에는 통신으로 사용되는 WiMAX 한 프레임을 사용하여 보정절차를 수행하게 된다. <그림 4>는 이러한 상/하향 보정 기준신호 프레임의 구성을 보여주고 있다. TDD 의 한 프레임은 DL 서브프레임(subframe)과 UL 서브프레임으로 이루어지며, <그림 4>에서 보여주듯이, DL 서브프레임에서 안테나의 개수에 해당하는 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 심볼을 사용하여 하향 보정기준신호를 실게 된다. 나머지 부분들은 아무런 신호도 실지 않은 빈 OFDM 심볼이 된다. UL 서브프레임에서도 <그림 4>에서 보는 바와 같이 안테나의 개수에 해당하는 OFDM 심볼을 사용하여 상향 보정기준신호를 실게 된다.

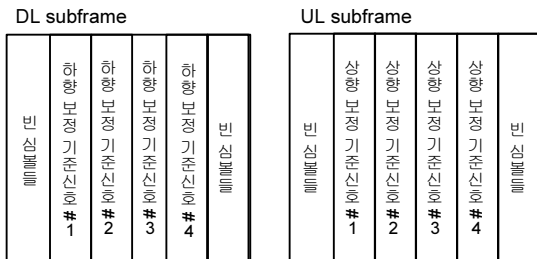


그림 4. 상/하향 보정 기준신호 프레임
Fig 4. up/down link calibration reference frame

상/하향 보정기준신호는 RU 의 상/하향 RF 소자들의 패스를 지나 각각 DU 의 모뎀부 및 보정모듈에서 수신

되며, 이렇게 약속된 기준신호를 송신하여 각 RF 패스별로 수신하면 각 RF 패스별로 가지고 있는 위상차나 진폭차를 알 수 있게 된다. 이러한 정보를 DU 의 모뎀단으로 보내면 위상차나 진폭차를 계산하여 각 RF 패스별로 이를 보정하기 위한 각 RF 패스별 보정계수를 구할 수 있게 된다.

V. 검증절차 방법

보정계수는 빔포밍에 있어서 매우 중요한 계수들이며, 이 계수들이 잘못되었을 때에는 오히려 빔포밍을 수행하였을 때에 통신성능이 떨어지기 때문에 보정계수를 실제 데이터에 적용하기 전에 이를 검증하는 절차가 필요하다. 검증절차는 보정절차 후에 바로 시행되며, 이러한 검증신호는 <그림 5>와 같이 구성된다. 검증신호도 보정절차와 마찬가지로 TDD 의 한 프레임을 사용하여 이루어진다.

하향링크의 검증신호들은 [RF 패스 1, RF 패스 2, RF 패스 3, RF 패스 4] 의 순서로 [1, 0, 0, 0], [1, 1, 1, 1], [a, -a, b, -b], [a, b, -a, -b], [a, b, -b, a] 의 신호로 구성되어 있다. 하향링크 검증절차의 경우, 검증신호는 보정절차에서 구해진 보정계수들과 곱해진 후, 위에서 기술한 5 가지의 검증신호로 변조되어 CPRI 및 RF 하향소자들을 통과한 후 보정박스나 보정모듈에 수신된다.

이 때, 첫 번째로 송신된 [1, 0, 0, 0] 은 한 패스의 파워를 측정하기 위해 송신된 검증신호이다. 다음번의 하향링크 검증신호 [1, 1, 1, 1] 을 보내면 보정모듈에 들어있는 RF 분배기를 통해 보강간섭된다. 보정절차를 통해 구해진 보정계수들이 정확하다면, [1, 1, 1, 1] 의 검증신호를 수신했을 때의 수신신호는 [1, 0, 0, 0]을 수신하였을 때의 크기보다 4 배가 되어있을 것이다. 따라서, 수신신호가 얼마나 크게 수신되느냐에 따라 보정계수의 정확도를 검증할 수 있다. 예를 들어, 임계값을 3.9 배 정도로 정해놓고, [1, 1, 1, 1] 을 수신하였을때에 [1, 0, 0, 0] 을 수신했을 때보다 3.9 배 이하로 수신된다면, 검증결과를 실패로 판별할 수 있을 것이다.

하향링크 검증신호 [a, -a, b, -b], [a, b, -a, -b], [a, b, -b, a] 의 경우에는 각각 서로 두 패스 사이에 상쇄간섭이 얼마나 잘 일어나는지를 확인하는 절차이다. a 는 -a 와, b 는 -b 와 서로 상쇄간섭을 일으키게 되는데, 보정계수가

얼마나 정확히 구해졌느냐에 따라 상쇄간섭의 양이 달라질 것이다. 예를 들어, 임계값을 0.01 배 정도로 정해 놓고, [a, -a, b, -b], [a, b, -a, -b], [a, b, -b, a] 를 수신했을 때의 신호의 크기가 [1, 1, 1, 1] 을 수신하였을때에 [1, 0, 0, 0] 을 수신했을 때보다 0.01 배 이상으로 수신된다면, 검증결과를 실패로 판별할 수 있을 것이다. 이러한 검증 절차를 통해 빔포밍 계수가 제대로 구해졌는지 검증하게 된다.

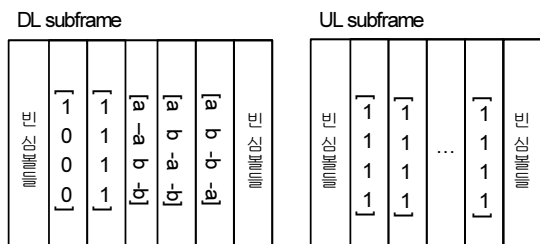


그림 5. 상/하향 보정 검증신호 프레임
Fig 5. up/down link calibration verification frame

하향링크와는 달리 상향링크 검증절차의 경우에는 검증신호를 [RF 패스 1, RF 패스 2, RF 패스 3, RF 패스 4]의 순서로 [1, 1, 1, 1] 만 여러 번 송신하게 된다. 상향링크 검증신호는 보정박스나 보정모듈에서 송신하며, 안테나 커플링 포트를 통해 RF 상향소자를 거치고 CPRI 인터페이스를 거쳐 DU 단의 모뎀부에 수신된다. 상향링크 검증신호를 수신한 모뎀부는 수신된 신호들을 수신 보정계수들로 나눈 후, 하향링크에서 사용되었던 상쇄간섭 및 보강간섭의 결과를 이용하여 검증절차를 수행한다. 즉, 수신된 신호들을 하향링크의 경우와 비슷하게 보강간섭 시키거나 (모든 RF 패스로 수신된 신호들을 더함) 상쇄간섭을 일으켜 (각 RF 패스로 수신된 신호들에 [a, -a, b, -b], [a, b, -a, -b], [a, b, -b, a] 를 곱해 더함) 이상적인 수치에 얼마나 가까운지를 판별하여 검증절차를 수행하게 된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 기존에 설치되어있던 2x2 MIMO 용 2-Tx RU 를 재활용하여 빔포밍 4-Tx RU 로 업그레이드 하는 두 가지 방법을 제시하였다. 하나는 보정모듈이 내

장된 2-Tx RU 를 추가하는 방식이고, 또 다른 하나는 기존과 동일한 2-Tx RU 를 추가한 후에 외부에 보정박스를 설치하는 방식이다. 본 논문에서 제시한 방법을 이용하면 기존의 2-Tx RU 를 버리지 않고 그대로 재활용할 수 있어 환경적으로나 경제적으로 매우 우수한 방법이라고 할 수 있겠다.

또한, 본 논문에서는 이렇게 구현된 4-Tx 빔포밍 RU 에서 구현할 수 있는 보정절차방법 및 보정검증절차의 방법을 제시하였다. 이러한 방법을 이용하면 2x2 MIMO 용 2-Tx RU 를 재활용한 빔포밍 4-Tx RU 에서도 보정절차를 구현할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] Christian B. Peel, Bertrand M. Hochwald, and A. Lee Swindlehurst, "A Vector-Perturbation Technique for Near-Capacity Multiantenna Multiuser Communication-Part I: Channel Inversion and Regularization", IEEE Trans. Communications, vol.53, no.1, pp.195-202, Jan. 2005.
- [2] Jeffrey G. Andrew, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed, Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking, Prentice Hall, ISBN 0-13-222552-2, 2007.
- [3] IEEE Standard 802.16e-2005, Feb. 2006.
- [4] Jung-Hwan Choi, Yong-Sun Shin, Seong-Ook Park, "Performance evaluation of 2 X 2 MIMO handset antenna arrays for mobile WiMAX applications", Microwave and Optical Technology Letters, vol. 51, no. 6, pp. 1558-1561, June 2009.
- [5] http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2010122202010531742001
- [6] <http://www.cpri.info/>

- [7] Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum white paper, Mar. 2006.
- [8] Andreas Kortke, "A new calibration algorithm for smart antenna arrays", Proc. of IEEE semiannual Vehicular Technology Conference, pp. 1030-1034, Jeju, Korea, April 2003.

저자소개



김성만 (Sung-Man Kim)

1999년 KAIST 전기및전자공학과
공학사

2001년 KAIST 전자전산학과
공학석사

2006년 KAIST 전자전산학과 공학박사

2009년~현재 경성대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야: 이동통신, 광통신, 무선광통신, WiBro