

중계기가 연결된 빔포밍 기지국을 위한 새로운 RF-패스 보정절차 방법

김성만*

A New RF-path Calibration Method for BSs with Repeaters

Sung-man Kim*

요약

이동통신 시스템의 성능을 증가시키기 위해서 다중안테나 기술 중의 하나인 빔포밍(beamforming) 기술을 적용하고자 하는 노력들이 많이 이루어지고 있다. 이러한 빔포밍 기능을 수행하기 위해서는 여러 RF 안테나 패스간의 위상 및 진폭차를 주기적으로 보정해 주는 절차가 필요한데, 이를 RF-패스 보정절차(calibration) 라고 한다. 하지만, 현재 Mobile WiMAX 기지국에서 사용되고 있는 RF-패스 보정 방법은 중계기가 연결될 때에 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 기술하고 이를 해결하기 위한 새로운 보정절차 방법을 제시한다.

ABSTRACT

To increase the performance of mobile communication systems, base stations having beamforming function are released recently. For the proper beamforming function, it is required that each RF paths be calibrated periodically. However, the current calibration method has a problem when the base station is connected to a repeater. In this paper, we report the problem and propose a new calibration method to solve the problem.

키워드

beamforming, calibration, base station, repeater

1. 서론

최근에 스마트폰의 사용자가 늘면서 이동환경에서도 고속의 데이터를 전송해 줄 수 있는 차세대 이동통신 기술인 Mobile WiMAX 및 LTE (long-term evolution) 에 대한 관심이 높아지고 있다 [1, 2]. 이러한 이동통신 시스템은 셀 간 혹은 섹터 간 동일채널 간섭신호와 다중경로 페이딩, 도플러와 같은 무선 채널 특성에 의해 시스템의 성능과 용량이 제한된다. 이러한 성능 저하 요소에 대응하여 전체 시스템의 용량을 늘릴 수 있는 기술 중의 하나가 빔포밍(beamforming) 기술이다.

빔포밍 기술은 각 단말에 송신되는 하향 (downlink) 데이터에 특정한 계수를 곱하여 각 단말의 방향으로 빔을 최적으로 형성하는 기술로서, 주변의 간섭을 줄여서 신호의 SINR (signal to interference and noise ratio) 를 높여주는 기술이다 [3, 4]. 이러한 빔포밍 기술은 기지국의 안테나 개수가 4 개 이상인 기지국에서 그 응용이 확대되고 있다.

이러한 빔포밍 기술을 실제 기지국에 적용하기 위해서는 기지국의 하향링크(DL, downlink)와 상향링크(UL, uplink)의 각 RF 패스의 소자들의 특성차이로 인해 발생하는 위상 및 진폭차이를 보정하는 절차가

* 경성대학교 전자공학과(sungman@ks.ac.kr)

접수일자 : 2011. 02. 16

심사(수정)일자 : 2011. 03. 18

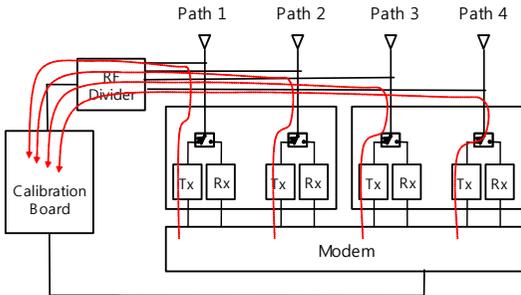
게재확정일자 : 2011. 04. 12

필요하다 [5]. 또한, 이러한 RF 소자들의 특성값들은 온도나 시간에 따라 변하기 때문에 주기적으로 보정절차가 이루어져야 한다. 이러한 절차를 RF-패스 보정절차(calibration) 라고 한다. 하지만 기존에 Mobile WiMAX 기지국 등에서 사용되는 보정절차 방식은 중계기를 연결하였을 때에 문제가 발생할 수 있다.

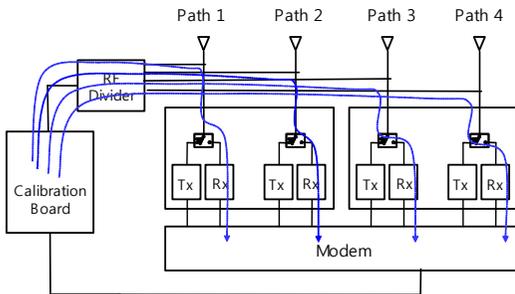
따라서, 본 논문에서는 기존의 보정절차 방식에 대해 설명하고, 기존의 방식에서 중계기를 연결하였을 때에 발생할 수 있는 문제점을 기술하고, 이를 해결하기 위한 새로운 보정절차 방식을 제안하고자 한다.

II. 기존의 보정절차 방식

일반적인 빔포밍 기지국의 하드웨어 구성 및 보정절차 방법을 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)는 하향방향의 보정절차를 나타낸 그림이고, 그림 1(b)는 상향방향의 보정절차를 나타낸 그림이다.



(a) 하향링크 보정절차
(a) downlink calibration



(b) 상향링크 보정절차
(b) uplink calibration

그림 1. 4Tx-4Rx 빔포밍 기지국의 하드웨어 구성도
Fig. 1 Block diagram of 4Tx-4Rx beamforming base station

기존의 하향링크 보정절차 방식은 그림 1(a)와 같은 하드웨어적 구성에서 모뎀이 기준신호 (reference signal) 을 각 RF 패스를 통해 순차적으로 전송함으로 이루어진다. 그러면 각 RF 패스를 거친 기준신호들은 안테나 단 앞에서 탭(tap)을 통해 RF 파워 분배기 (RF divider) 로 전해지며, 이를 통해 보정보드 (calibration board) 로 전달된다. 보정보드는 각 RF 패스단을 통해 전달된 기준신호를 분석하여 각 하향링크의 RF 패스단의 진폭 및 위상차를 상대비교하여 동일한 값이 되도록 보정값을 구한다. 그러면 이러한 보정값을 모뎀에 전달하여 추후 모뎀단에서 RF 신호를 송신할 때에는 이러한 보정값을 곱해서 송신을 하게 된다.

기존의 상향링크 보정절차 방식은 그림 1(b)에 나타나 있다. 보정보드는 기준신호를 송신하게 되며, 이러한 기준신호는 RF 파워 분배기를 거쳐 4 개의 RF 패스에 나누어져서 전송이 되고, 각각 다른 4 개의 RF 패스를 거쳐 모뎀에 수신된다. 모뎀은 각 RF 패스단을 통해 전달된 신호를 분석하여 각 RF 패스단의 위상 및 진폭의 차이를 보정하도록 보정계수를 구하게 된다. 그 후에 빔포밍을 수행하기 위해 단말에서 sounding 신호를 전송할 시에 모뎀에서는 상향링크의 보정계수를 곱해서 각 패스간의 진폭 및 위상차이를 보정하게 된다.

이러한 기존의 보정절차 방식을 수식으로 표현하면 다음과 같다. 만약, i 번째 RF 패스의 하향링크 채널 전달계수를 H_{di} , ($i = 1, 2, 3, 4$) 라고 가정하고 상향링크의 채널전달계수를 H_{ui} 라 할 때, 현재의 보정절차 방식은 식(1) 및 식(2) 를 만족하도록 하향링크의 보정계수 C_{di} 및 상향링크의 보정계수 C_{ui} 를 결정하는 방식이었다.

$$Hd1Cd1=Hd2Cd2=Hd3Cd3=Hd4Cd4 \quad (1)$$

$$Hu1Cu1=Hu2Cu2=Hu3Cu3=Hu4Cu4 \quad (2)$$

이러한 방식을 사용하면 보정계수를 곱한 후에 상향링크와 하향링크의 채널계수는 식(3) 과 같은 관계가 성립하게 된다.

$$HdiCdi/HuiCui = a \quad (3)$$

($i = 1, 2, 3, 4$ 이고, a 는 알 수 없는 복소수)

따라서, 기존의 보정절차를 거치면 각 RF 패스간의 진폭 및 위상의 차이는 보정이 되지만, 상향링크와 하향링크 사이에는 알 수 없는 어떠한 위상 및 진폭의 차이가 존재하게 된다. 하지만, 이러한 보정절차 방식을 사용해도 중계기가 없는 빔포밍의 기지국의 경우에는 아무런 문제가 없는데, 이를 설명하면 다음과 같다. 그림 2와 같이 4 개의 안테나를 사용하여 단말기로 빔포밍을 할 때, 단말기의 안테나로 수신되는 신호 r 을 수식으로 표현하면 식(4) 과 같이 주어진다.

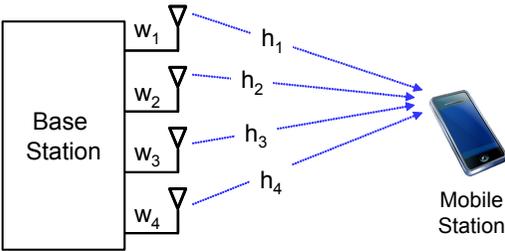


그림 2. 4-Tx 빔포밍 기지국
Fig. 2 4-Tx beamforming base station

$$r = [h_1 \quad h_2 \quad h_3 \quad h_4] \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} s + n \quad (4)$$

여기서 h_i 는 i 번째 기지국 안테나에서 단말기까지의 채널 계수를 나타내고, w_i 는 i 번째 기지국 안테나에 곱해지는 빔포밍 계수를 나타내며, n 및 s 는 각각 잡음 및 송신신호를 나타낸다. 만약, 빔포밍 방식으로 Transmit-MRC 빔포밍 방식[6]을 사용한다고 가정하면, 빔포밍 계수 w_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$w_i = \frac{h_i^*}{\sqrt{|h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2}}, \quad t=1,2,3,4 \quad (5)$$

식(5)를 식(4)에 대입하면 다음과 같은 수신신호를 얻

을 수 있다.

$$r = \sqrt{|h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2} \cdot s + n \quad (6)$$

만약, 기존의 보정절차 방법을 통해 각 패스별로는 보정이 되어있지만, 상향링크와 하향링크 사이에 α 만큼의 진폭 및 위상차이가 있다고 가정하면 i 번째 패스의 빔포밍 계수가 다음의 식처럼 구해지게 된다.

$$w_i = \frac{\alpha h_i^*}{\sqrt{|h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2}} \quad (7)$$

그러면, 빔포밍을 통해 수신된 수신신호는 아래와 같이 표현되게 된다.

$$r = \alpha \sqrt{|h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2} \cdot s + n \quad (8)$$

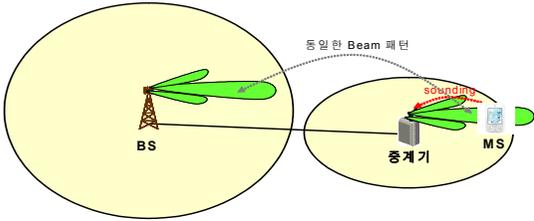
수신단에서는 이러한 신호를 수신하여 수신신호의 SNR 이 최대가 되도록 위상을 자동으로 맞추어주므로 수신신호는 (6)의 경우와 비교하여 진폭차만 존재하게 되고, 빔포밍의 성능은 제대로 발휘하게 된다. 따라서 기존의 보정절차 방식을 사용하여도 중계기가 없는 기지국에서는 정상적으로 동작을 하게 된다.

III. 기존 보정방식의 문제점

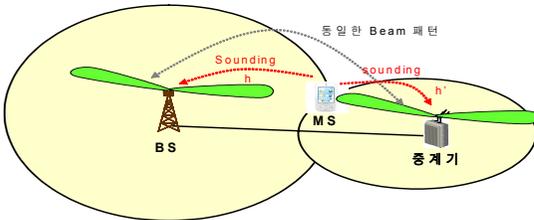
기존의 보정절차 방식이 중계기를 사용하지 않는 경우에는 아무런 문제가 없지만, 그림 3 과 같이 중계기를 사용하는 빔포밍 기지국에서는 문제가 발생할 수 있다. 단말기는 자신과 기지국 사이의 채널정보를 기지국이 알 수 있도록 sounding 이라고 불리는 일종의 기준신호를 기지국으로 송신하게 되는데, 그림 3(a)처럼 단말기에서 보낸 sounding 신호가 기지국이나 중계기 둘 중에서 한 군데에만 수신된다면 현재 상태와 동일하여 별다른 문제가 발생하지 않으나, 그림 3(b)처럼 단말기에서 보낸 sounding 신호가 기지국과 중계기에 동시에 도달하게 되면 문제가 발생하게 된다.

그림 3(b)와 같은 경우에 이상적으로 동작한다면

그림에서 보는 바와 같이 단말의 방향으로 빔포밍이 이루어질 수 있으나, 현재의 보정절차 방식을 사용하면 기지국의 상/하향링크의 위상 및 진폭차 α 와 중계기의 상/하향링크의 위상 및 진폭차 β 가 서로 다른 값을 가질 수 있으므로 문제가 발생되게 된다.



(a) 단말의 sounding 신호가 기지국이나 중계기 중 한 곳에만 전달될 때
 (a) when sounding signal of mobile station reaches either a base station or a repeater



(b) 단말의 sounding 신호가 기지국과 중계기 모두에게 전달될 때
 (b) when sounding signal of mobile station reaches both a base station and a repeater

그림 3. 중계기가 있는 빔포밍 기지국
 Fig. 3 beamforming base station with repeaters

현재의 보정절차를 이용하면 그림 3(b)와 같이 단말기의 sounding 신호가 기지국과 중계기에 모두 수신되었을 때, t 번째 패스의 빔포밍 계수는 다음과 같이 구해지게 된다.

$$w_t = \frac{(\alpha h_t + \beta h'_t)^*}{\sqrt{|h_1 + h_1'|^2 + |h_2 + h_2'|^2 + |h_3 + h_3'|^2 + |h_4 + h_4'|^2}} \quad (9)$$

여기에서 α 는 기지국의 상/하향링크의 위상 및 진폭차이고, β 는 중계기의 상/하향링크의 위상 및 진폭차이다. 또한, h_t 는 t 번째 기지국 안테나에서 단말기

까지의 채널 계수를 나타내고, h'_t 는 t 번째 중계기 안테나에서 단말기까지의 채널 계수를 나타낸다. w_t 는 t 번째 기지국 안테나에 곱해지는 빔포밍 계수를 나타낸다. 이러한 경우에, 단말기에 수신되는 수신신호는 식(10)과 같이 계산된다.

$$r = \frac{\sum \{|h_1|^2 \alpha^* + |h_1'|^2 \beta^* + h_1^* h_1' \alpha^* + h_1 h_1'^* \beta^*\}}{\sqrt{|h_1 + h_1'|^2 + |h_2 + h_2'|^2 + |h_3 + h_3'|^2 + |h_4 + h_4'|^2}} \cdot s + n \quad (10)$$

따라서, 기지국의 상/하향링크의 위상 및 진폭차 α 와 중계기의 상/하향링크의 위상 및 진폭차 β 에 따라 수신신호의 SNR 의 값이 다르게 되며, 빔포밍의 성능이 제대로 나오지 않게 된다.

IV. 새로운 보정절차 방식

앞 장에서 설명한 대로 기존의 보정절차 방식이 중계기를 사용하지 않는 경우에는 아무런 문제가 없지만, 중계기를 사용하는 빔포밍 기지국에서 단말의 sounding 신호가 기지국과 중계기 모두에게 전송되는 경우에는 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 모든 상/하향 RF 패스들의 진폭 및 위상차가 존재하지 않도록 보정해 주는 방식을 제안한다.

제안하는 새로운 보정절차 방식을 수식으로 표현하면 다음과 같다. 만약, i 번째 RF 패스의 하향링크 채널전달계수를 H_{di} , ($i = 1, 2, 3, 4$) 라고 가정하고 상향링크의 채널전달계수를 H_{ui} 라 할 때, 새로운 보정절차 방식은 식(11) 을 만족하도록 하향링크의 보정계수 C_{di} 및 상향링크의 보정계수 C_{ui} 를 결정하는 방식이다.

$$\begin{aligned} H_{d1}C_{d1} &= H_{d2}C_{d2} = H_{d3}C_{d3} = H_{d4}C_{d4} = H_{u1}C_{u1} = H_{u2}C_{u2} \\ &= H_{u3}C_{u3} = H_{u4}C_{u4} \end{aligned} \quad (11)$$

이러한 방식을 사용하면 식(12) 처럼 상/하향링크의 진폭 및 위상차가 전혀 존재하지 않게 된다.

$$H_{di}C_{di}/H_{ui}C_{ui} = 1 \quad (12)$$

따라서, 기지국과 중계기에서 각각 보정절차를 거치더라도, 기지국과 중계기에서 서로 다른 위상 및 진폭차가 존재하지 않게 되어 빔포밍 계수 w_i 및 단말기의 수신신호는 식(5) 및 식(6) 처럼 주어지게 되어 중계기가 존재하는 빔포밍 기지국에서도 빔포밍 성능이 정상적으로 발휘되게 된다.

이러한 새로운 보정절차를 수행하기 위해서는 기존의 보정절차와는 다른 보정절차 순서가 필요하다. 즉, 그림 1(a)의 하향링크 보정절차 시, 보정모드는 각 하향링크의 채널값만을 추출하여 이를 모뎀단으로 전달해 주어야 한다. 그 이후에 그림 1(b)와 같은 상향링크 보정절차 시, 상향링크의 채널값을 추출하여 이전에 수신한 하향링크의 채널값을 상호비교하여 모든 상/하향링크의 진폭 및 위상차가 존재하지 않도록 하향링크의 보정계수 C_{dl} 및 상향링크의 보정계수 C_{ul} 를 결정하여야 한다.

정확한 이해를 위하여 기존의 보정절차 방식의 알고리즘을 그림 4에 요약하여 나타내었고, 새로운 보정절차 방식의 알고리즘을 그림 5에 나타내었다.

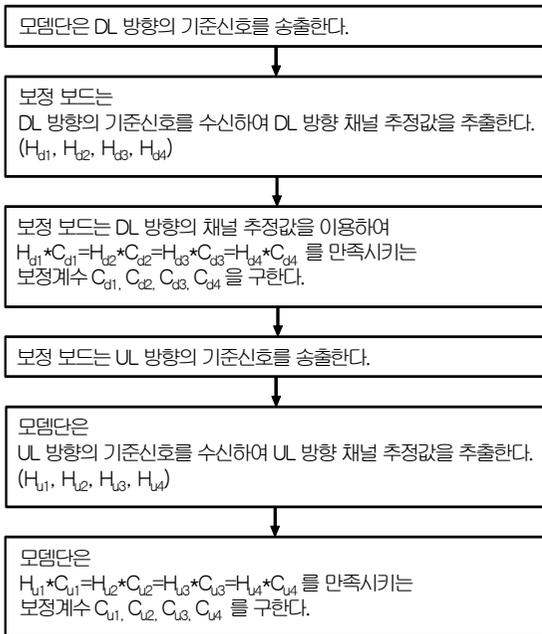


그림 4. 기존 보정절차 방식의 알고리즘
Fig. 4 The current calibration algorithm

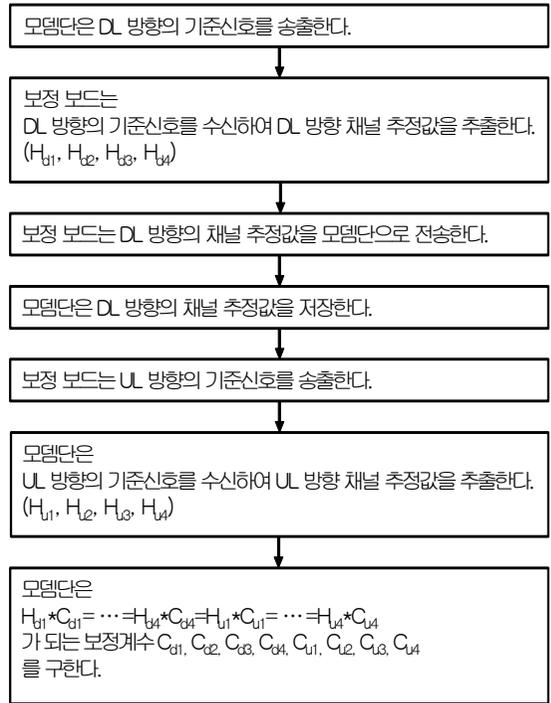


그림 5. 새로운 보정절차 방식의 알고리즘
Fig. 5 Proposed calibration algorithm

V. 결론

본 논문에서는 이동통신 기술에서 사용되는 빔포밍 기술을 위해 사용되는 RF 패스의 보정절차에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 단말기의 sounding 신호가 기지국과 중계기에 모두 수신되었을 때, 기존의 RF 패스 보정절차 방식으로는 빔포밍 성능이 제대로 나오기가 어렵다는 문제점을 기술하였으며, 이를 해결하기 위해 새로운 방식의 RF 패스 보정절차를 제안하였다.

본 논문에서는 4 개의 RF 패스를 가지는 빔포밍 기지국에 대해서 설명을 하였지만, 본 논문의 방법은 어떠한 개수의 RF 패스를 가지는 빔포밍 기지국에도 적용될 수 있으며, Mobile WiMAX 나 LTE 등 이동통신의 기술에 상관없이 적용될 수 있는 방식이어서 많은 이동통신 기술에 널리 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Jeffrey G. Andrew, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed, Fundamentals of WiMAX, Ch.1, pp.3-32, Prentice Hall, 2007.
- [2] Amitava Ghosh, Rapeepat Ratasuk, Bishwarup Mondal, Nitin Mangalvedhe, and Tim Thomas, "LTE-Advanced: Next-Generation Wireless Broadband Technology", IEEE Wireless Communications, vol.17, no.3, pp.10-22, June 2010.
- [3] Sung-Man Kim, "Synchronization Method of Broadcast Messages for Beamforming Performance in Mobile WiMAX Networks", International Journal of Maritime Information and Communication Sciences, Vol.8, No.3, pp.277-280, June 2010.
- [4] 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.
- [5] Andreas Kortke, "A new calibration algorithm for smart antenna arrays", Proc. of IEEE semiannual Vehicular Technology Conference, pp. 1030-1034, Jeju, Korea, April 2003.
- [6] Seok-Hwan Park, Heunchul Lee, Sang-Rim Lee, and Inkyu Lee, "A New Beamforming Structure Based on Transmit-MRC for Closed-Loop MIMO Systems", IEEE Trans. Communications, vol.57, no.6, pp.1847-1856, June 2009.

저자 소개



김성만(Sung-man Kim)

1999년 KAIST 전기및전자공학과 졸업 (공학사)

2001년 KAIST 전자전산학과 졸업 (공학석사)

2006년 KAIST 전자전산학과 졸업 (공학박사)

2009년~현재 경성대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : WiMAX, 광통신, LED 무선 광통신