

이동통신 중계기용 스마트 안테나 구조 설계 The Design of Smart Antenna Structures for RF Repeater

조 대 영*, 김 계 원*, 이 승 구*, 김 민 상*, 박 병 훈**, 고 학 립***

Dae-young Cho*, Kye-won Kim*, Seung-goo Lee*, Min-sang Kim*, Kil-yung Kim*,
Byeong-hoon Park**, Hak-lim Ko***

요약

RF 중계기의 증폭율은 제한되어 재수신되는 중계기의 출력 신호에 의해 제한된다. 따라서 제한되어 재수신되는 간섭 신호를 제거하기 위한 간섭제거용 중계기가 개발되었다. 간섭제거 중계기는 중계기의 출력 신호를 기준신호로 이용하여 증폭 후 재수신되는 제한 신호의 진폭 및 위상을 추정하여 제거한다. 하지만 간섭신호의 추정 및 제거 알고리즘의 연산량이 매우 많아 고속의 신호처리를 위한 하드웨어의 비용이 증가한다. 더욱이 간섭제거 중계기는 기지국으로부터 수신되는 다중 경로 신호에 의한 중계기 신호의 SINR 저하와 복수개의 기지국에 의한 파일럿 오염 문제를 해결할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 스위칭 빔 구조의 스마트 안테나를 구현함으로써 앞에 언급한 문제를 해결하였다. 즉, 본 연구에서는 RF단의 추가 없이 중계기용 스마트 안테나 시스템을 구현하였으며, 저가의 마이크로 프로세서를 이용하여 기지국 방향을 추정하면서도 제한되어 재수신되는 간섭 신호를 제거함으로써, 스마트 안테나의 적용에 의한 중계기 가격과 크기의 증가를 최소화 하였다.

우리는 제안된 시스템의 성능 검증을 위하여 중계기의 출력 SINR에 대한 증폭율과 중계기의 입력 SINR 대비 간섭 제거 후의 출력 SINR에 대한 성능 비교를 수행하였으며, 성능 비교 결과 같은 중계기의 출력 SINR에 대해 본 연구에서 제안한 스마트 안테나 구조를 중계기에 적용하는 경우 증폭율이 간섭제거 중계기에 비해 약 23dB 증가하였으며, 간섭 제거에 의한 출력 SINR은 약 6dB 증가함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The amplification rate of a RF repeater is limited by the feedbacked signals from the same repeater. And an ICS (Interference Cancellation System) repeater has been developed to remove the feedbacked signals. The ICS repeater estimates the amplitudes and the phases of the feedbacked signals and removes the estimated feedback signals from the received input signal of the repeater. However, it requires lots of hardware complexity and this leads to the increase the cost of the repeater. Moreover, the ICS repeater can not solve the pilot pollution problems.

To solve these problems, we have studied the implementation and adaptation of smart antenna system for RF repeaters. We have designed a smart antenna system with a switching beam structure in order to reduce the hardware and computational complexity. After analyzing the proposed smart antenna system, we found out that the amplification rate of the proposed repeater increases 23dB compare to the amplification rate of ICS repeater and the output SINR increases 6dB compare to the ICS repeater.

Keywords : Smart antenna, beamforming RF repeater, ICS

I. 서론

차세대 무선 통신 시스템에서는 고속의 데이터 서비스가 요구되고 있으며, 고속의 데이터 정보 전송시 다중경로 페이딩의 영향

을 받아 수신신호의 질이 크게 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 다중 송수신 안테나를 이용한 스마트 안테나 등의 통신 시스템의 개발 및 응용에 관심이 집중되고 있다[1][2].

또한 향후 이동통신 시스템에서 신호의 대역폭 증가 및 반송주파수의 증가 등으로 인해 다중경로 페이딩에 의한 영향이 증가하고 기지국의 서비스 반경이 축소될 수 있으며, 이 경우 셀 반경을 줄이면 초기 기지국 구축에 막대한 투자 비용이 요구된다. 따라서 현재 이러한 문제를 해결하기 위하여 중계기의 도입에 많은 관심이 집중되고 있다. 즉, 저가의 중계기를 이용하여 기지국에서 서비스 되는 셀 반경을 증가시키면서도, 사용자에게 신뢰도 높은 고속의 데이터를 전송하는 것이다.

일반적으로 중계기에서는 기지국의 신호가 미약하게 수신되는

* 호서대학교 정보통신공학과

** 인덕대학 컴퓨터전자과

*** 호서대학교 정보통신공학과 (교신저자)

투고 일자 : 2013. 1. 8 수정완료일자 : 2013. 4. 26

게재확정일자 : 2013. 4. 30

※이 논문은 2011년도 호서대학교 재원으로 학술 연구비지원을 받아 수행된 연구임.(2011-0163)

사용자의 단말에게 기지국으로부터의 신호를 증폭하여 전송하고, 또한 미약한 단말의 신호를 증폭하여 기지국으로 전송한다. 하지만 중계기에서 전송한 증폭 신호가 궤환되어 다시 수신되는 경우가 발생하며, 이 경우에는 상대적으로 큰 전력으로 수신된 궤환 신호가 재 증폭되어 전송되는 일이 반복됨으로써 발진이 일어나는 문제가 발생한다[3][4]. 따라서 이러한 궤환되어 수신되는 신호를 시간 축에서 제거하기 위한 간섭제거(ICS : Interference Cancellation System) 중계기가 개발되었다. 하지만 중계기에 간섭 제거 기능이 추가되어도 기지국으로부터 수신되는 다중 경로 신호에 의한 중계기 신호의 SINR 저하와 복수개의 기지국에 의한 파일럿 오염 문제를 해결할 수 없으며, 중계기에서 궤환되는 간섭 신호를 제거하기 위한 고가의 디지털 신호처리 칩 사용 및 이에 의한 시간 지연 문제가 있다.

따라서 위에서 언급한 문제를 해결하기 위해서 중계기에 스마트 안테나 시스템을 적용하려는 시도가 있었다[5][6]. 스마트 안테나 시스템은 복수 개의 안테나를 이용하여 원하는 방향으로 빔을 형성함으로써 원하는 방향의 신호만 수신하고, 원하지 않는 방향에서 수신되는 간섭신호를 제거하는 시스템이다. 따라서 스마트 안테나 시스템을 중계기에 적용하면 원하는 기지국 방향으로만 신호를 송수신하면서 동시에 궤환되어 재 수신되는 신호를 제거함으로써 중계기에서 보다 양질의 신호를 송수신 하면서도, 파일럿 오염을 줄이고, 궤환되는 간섭 성분을 제거함으로써 중계기의 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 그러나 현재까지 중계기에 적용하는 스마트 안테나 시스템은 단지 기지국 방향의 도너 안테나에서 원하는 기지국 방향으로 빔을 형성하거나, 복수개의 안테나 후단에 안테나 수만큼의 RF 단 등의 추가 및 원하는 기지국 방향의 추정과 궤환되는 간섭 신호 방향으로 null을 형성하기 위한 빔형성 알고리즘 처리에 의해 시스템의 크기 및 가격이 증가하는 문제가 있어 상용화되지 못했다.

본 연구에서는 중계기 전단에 스위칭 빔 구조의 스마트 안테나를 구현함으로써 위에서 언급한 문제를 해결하였다. 즉, 본 연구에서는 중계기에 안테나 후단에 RF 단 등의 추가 없이 스마트 안테나 시스템을 구현하였으며, 저가의 마이크로 프로세서를 이용하여 기지국 방향을 추정하면서도 궤환되어 재 수신되는 간섭 신호를 제거함으로써, 스마트 안테나의 적용에 의한 중계기 가격과 크기의 증가를 최소화 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 스마트 안테나 기법에 대해 설명하고, III장에서는 본 연구에서 제안한 중계기용 스마트 안테나 구조에 대해 설명하며, IV장에서는 제안한 스마트 안테나 구조를 중계기에 적용한 경우의 성능 분석 결과에 대해 설명하고, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 스마트 안테나 시스템

스마트 안테나 시스템은 복수개의 안테나를 이용하여 신호를 송수신하며, 각 안테나에 수신된 신호의 진폭 및 위상을 조절하여 줌으로써 원하는 방향의 신호만 수신하고, 원하지 않는 방향으로 부터의 신호를 제거하는 시스템이다[1]. 따라서 통신 시스템에 스마트 안테나 시스템을 적용하면, 원하는 방향으로부터만 신호를

수신함으로써 원하는 방향에 대한 빔 이득을 얻을 수 있으며, 원하지 않는 방향으로부터 수신되는 간섭 신호를 제거해줌으로써 통신 시스템의 성능 증가를 기대할 수 있다.

일반적으로 스마트 안테나 시스템은 적응 빔 안테나 방식과 스위칭 빔 안테나 방식으로 구현될 수 있다. 적응 빔 안테나 방식은 수신되는 통신 시스템의 방향을 적응적으로 추정하여 해당 빔 방향으로만 신호를 송수신 하는 방식이고, 스위칭 빔 방식은 통신 방향을 미리 복수개의 작은 빔 방향으로 나누어 놓고, 통신을 원하는 시스템이 있는 빔 방향만을 선택하여 신호를 송수신하는 방식이다.

그림 1에서 보이는 적응 빔 방식은 배열 안테나 후단에서 각 안테나에 수신된 신호의 위상을 조절해줌으로써, 계속적으로 원하는 통신 시스템의 방향을 추정하고, 원하지 않는 간섭 신호가 수신되는 방향으로는 null을 형성하기 때문에 스위칭 빔 방식에 비해 성능은 우수하나 안테나 개 수 만큼의 RF 등이 요구되어 시스템의 크기가 증가하고, 원하는 신호 방향의 추정에 의한 하드웨어의 복잡도와 계산량이 증가한다.

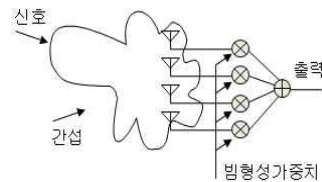


그림 1. 적응 빔 스마트 안테나
Fig. 1. Adaptive beam smart antenna

그림 2에 보이는 스위칭 빔 안테나 방식에서는 아날로그 빔형성기를 이용하여, 통신 방향을 미리 복수개의 빔 방향으로 나누어 놓고, 원하는 통신 시스템이 있는 방향을 선택하여 해당 빔 방향으로만 통신을 수행하는 시스템이다.

스위칭 빔 안테나 시스템은 빔 선택기에서 선택된 빔 방향의 신호만이 중계기의 RF 단을 통과하기 때문에 스마트 안테나의 적용에 의한 RF 단의 추가 없이도 구현 가능하지만, 미리 선택된 빔 패턴의 null 방향에서 궤환되어 재 수신되는 간섭 신호가 수신되지 않으면, 성능 향상 정도가 적응 빔 방식에 비해 매우 낮다.

예를 들어 4 x 1 선형 배열 안테나를 이용하여 스위칭 빔 안테나 시스템을 구현하는 경우, 스위칭 빔 안테나 시스템에서의 아날로그 빔 형성기를 phase shifter나 머틀리 매트릭스를 이용하여 구현할 수 있으며, 위에서 설명한 방식대로 -45도, -15도, 15도 및 45도의 빔 방향으로 빔을 형성하는 경우 빔 형성기의 출력 빔 패턴은 그림 3과 같다.

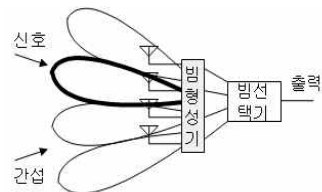


그림 2. 스위칭 빔 스마트 안테나
Fig. 2. Switched beam smart antenna

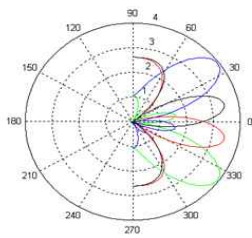


그림 3. 4 x 1 선형 배열 안테나를 사용하는 스위칭 빔 안테나 구조에서 아날로그 빔형성기의 출력 빔패턴
 Fig. 3. The output beam pattern of the analog beamformer using 4x1 linear arrayed antennas

따라서 본 논문에서는 4 x 1 배열 안테나를 이용하여 중계기용 스위칭 빔 안테나를 설계하였으며, 그림 3의 고정된 빔 패턴에서 미세 빔 조정을 통해 궤환되는 신호 중에서 상대적으로 신호 전력이 큰 간섭 신호 방향으로 null이 형성되도록 빔 패턴을 조정함으로써, 중계기용 스마트 안테나에서 기지국 방향을 추정하면서도 궤환되는 간섭 신호가 최소로 수신되도록 하였다. 또한 위에서 설명한 스마트 안테나가 RF단의 추가가 없고 빔형성 가중치 벡터를 추정하는 연산이 없게 설계함으로써 저가 및 고성능의 중계기용 스마트 안테나 시스템을 설계하였다.

III. 중계기용 스마트 안테나 구조도 설계

일반적으로 RF 중계기에서는 기지국으로부터의 신호를 무선으로 수신하고 증폭하여 기지국으로부터의 신호가 미약하게 수신되는 단말에게 전송하며, 또한 단말로 부터의 신호를 수신하여 증폭한 후에 기지국으로 전송한다. 하지만 이 과정에서 중계기의 증폭된 신호가 인근의 건물 등에 반사되어 다시 수신되는 경우가 발생하며, 재 수신되는 간섭 신호의 전력이 기지국으로부터 수신되는 미약한 신호 전력에 비해 상대적으로 매우 크다. 또한, 중계기에서는 중계기에 수신된 기지국 신호와 궤환되어 재수신된 간섭 신호를 다시 증폭하여 전송하는데 이러한 재증폭 및 전송이 반복되면 발진이 발생하게 된다. 결국 중계기에서 발진을 방지하기 위해서는 중계기의 증폭율을 낮추어야 하며, 이에 의해 중계기의 서비스 영역은 크게 줄 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위해서는 RF 중계기를 설치할 경우, 기지국 링크용 도너 안테나와 단말기 링크용 서비스 안테나간의 격리(isolation)를 확보하여야하며, 이를 위해서는 도너 안테나와 서비스 안테나 간의 거리를 크게 이격시켜야하고 이는 많은 시간과 인력이 소비되어 중계기의 설치비용을 높이는 원인이 된다.

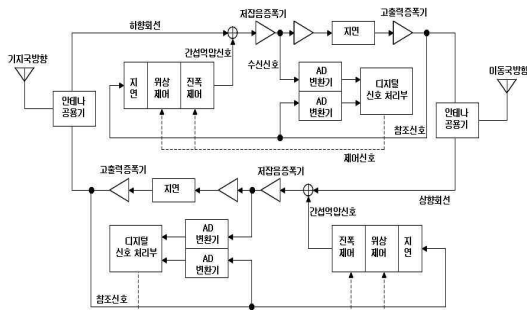


그림 4. 일반적인 간섭제거 중계기의 블록도.
 Fig. 4. ICS(Interference Cancellation System) repeater block diagram

상기의 RF중계기에서의 단점을 개선하기위해 궤환되어 재수신되는 신호를 시간 축에서 제거하는 간섭제거(ICS : Interference Cancellation System) 중계기가 개발되었다[3][7]. 그림 4에 일반적인 간섭제거 중계기의 블록도가 보여진다. 간섭제거 중계기에서는 중계기의 출력 신호를 기준신호로 이용하여 증폭 후 재수신되는 궤환 신호의 진폭 및 위상을 추정하고 LMS, RLS 및 N-LMS 알고리즘 등을 이용하여 중계기에 재수신된 간섭 신호를 제거한다. 하지만 중계기의 허용 시간지연이 매우 짧기 때문에, ICS 중계기에서는 복수개의 신호처리 프로세서를 이용하여 궤환되는 간섭 신호를 고속으로 제거하여야하며, 특히 중계기 주변의 차량 등의 이동에 의해 궤환 신호에 페이딩이 발생하는 경우, 이를 정확하게 추정하여 제거하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 중계기에 ICS 기능을 추가하는 경우 하드웨어의 복잡도가 증가하고 중계기의 가격이 상승한다.

더욱이 ICS 중계기의 기능은 궤환되는 간섭 신호의 제거이기 때문에 원하는 기지국의 신호가 다중경로로 수신되는 경우, 수신된 모든 다중경로 신호 성분을 증폭하여 재전송하기 때문에 중계하는 신호의 SINR이 낮으며, 복수개의 기지국으로부터의 파일럿 오염 문제도 해결할 수 없다.

하지만 중계기에 스마트 안테나 기능을 결합하면 원하는 기지국 방향으로 빔을 형성함으로써 인근의 건물 등에서 반사되어 수신되는 다중경로 신호 성분을 줄여 중계기에 수신되는 기지국 신호에 대한 SINR을 향상시킬 수 있으며, 궤환되어 재수신되는 간섭 신호의 방향에 대해 null을 형성함으로써 궤환된 간섭 신호를 제거할 수 있으면서도, 원하는 기지국 방향으로만 빔을 형성시킴으로써 타 기지국에 의한 파일럿 오염 문제를 해결할 수 있다. 하지만 이러한 스마트 안테나 기능은 그림 1구조의 적응 빔 안테나 방식으로 가능하며, 이 경우 각 안테나 후단에 RF 단 등이 추가되고, 기지국 방향의 추정과 궤환되는 간섭 신호 방향의 제거에 의한 연산량과 하드웨어가 증가되어 중계기의 크기와 가격이 증가한다. 따라서 본 연구에서는 최소의 추가 비용으로 중계기에 스마트 안테나 기능이 포함되게 하는 빔형성 구조도를 설계하고 그 성능을 검증하였다. 그림 5에 본 연구에서 제안한 중계기용 스마트 안테나의 구조도가 보인다.

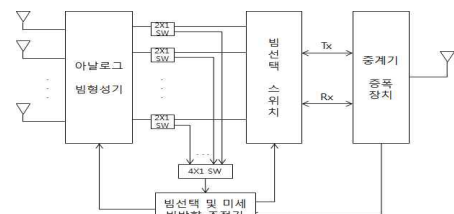


그림 5. 본 논문에서 제안한 중계기용 스마트 안테나의 구조도
 Fig. 5. The block diagram of for repeater smart antenna proposed in this paper

그림 5에서 보이는 바와 같이 본 연구에서 제안한 스마트 안테나 기능이 포함된 중계기의 블록도에서는 배열 안테나와 배열 안테나 후단에 아날로그 빔형성기로 구성된다. 아날로그 빔형성기는 버틀러 매트릭스의 구조나 phase shifter로 구성 가능하며, 만약 4개의 안테나 소자로 구성된 배열 안테나를 사용하는 경우 아날로그

그 빔 형성기의 출력 빔 패턴은 그림 3과 같다. 따라서 이러한 스위칭 빔 구조의 스마트 안테나를 중계기에 적용하고, 복수개의 고정된 빔 방향 중에서 원하는 기지국이 속한 빔 방향을 중계기로 전송하면 RF단의 추가 없이도 원하는 기지국 방향으로의 빔을 형성하여 중계기 수신 신호의 SINR을 향상 시키고, 타 기지국에 의한 파일럿 오염 문제를 해결할 수 있다.

하지만 스위칭 빔 방식의 스마트 안테나 시스템은 빔 패턴이 고정이 되어 있어서, 궤환되어 재 수신되는 중계기의 출력 신호를 줄일 수는 있어도 항상 완전하게 제거할 수 없는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 미세 빔 방향 조정을 통해 궤환되는 간섭 신호 성분을 제거한다. 즉, 4 x 1 배열 안테나를 사용하여 네 개의 빔 패턴을 생성한 경우, 초기에 네 개의 빔 방향 중에서 원하는 기지국이 있는 빔 방향을 선택한 후에, 선택된 빔 방향을 미세 조정함으로써 궤환되는 간섭 신호 방향으로 null이 형성되게 하여 간섭 신호를 제거한다.

예를 들어 기지국으로부터 수신되는 신호의 방향이 20도이고, 궤환되는 신호가 -25도 방향에서 수신되는 경우, 초기에는 그림 6에서 보이는 바와 같은 빔 패턴을 갖는 빔 방향을 선택하고, 이에 대한 미세 빔 방향 조정을 통해 그림 7과 같은 빔 패턴을 형성시킴으로써 궤환되는 간섭 신호를 제거한다. 본 연구에서의 미세 빔 방향 조정은 아날로그 빔 형성기의 phase shifter 값을 미세 빔 방향 조정장치의 마이크로 프로세서에 저장시키고, 선택된 빔 패턴을 기준으로 좌우로 빔 폭의 반 까지 일정 각도씩 빔 방향을 조정한 후에 중계기로 부터의 증폭을 정보를 수신 받아 저장하고, 이 중에서 중계기의 증폭율이 가장 크게 되는 빔 방향을 선택함으로써 수행된다. 예를 들어, 스위칭 빔에서의 빔 폭이 30도 이면, 선택된 빔 방향을 기준으로 좌측 방향으로 1도씩 15도까지, 그리고 우측 방향으로 1도씩 우측 15도 방향까지 빔 패턴을 이동 시키면서, 각 빔 방향에 대한 증폭율 정보를 중계기로부터 수신하여 마이크로 프로세서에 저장한 후에, 이 중에서 가장 증폭율이 큰 빔 방향을 선택한다. 일반적으로 중계기에서는 궤환되어 재 수신되는 간섭 신호의 전력이 기지국으로부터 수신되는 신호 전력에 비해 일정 비율 이상으로 증가하면 중계기에서는 증폭율을 줄임으로써 발진을 방지한다. 따라서 중계기의 증폭율이 가장 큰 빔 패턴이 궤환되는 간섭 신호가 가장 적게 수신되는 빔 패턴이 되기 때문이다.

이 경우, 기지국으로 송수신되는 신호의 방향이 빔 패턴의 정 중앙에 위치하지 않을 수도 있으나, 원래 선택된 기준 빔 패턴의 중앙에서 좌우로 최대 이동하는 방향까지의 빔 패턴의 차이가 3dB 이하이며, 궤환되는 간섭 신호가 크게 제거되기 때문에 중계기에서의 성능향상이 예상된다.

또한, 위에서 설명한 방식의 스마트 안테나 시스템을 중계기에 적용하는 경우, 빔형성에 의한 하드웨어의 증가가 최소로 되며, 기지국으로 부터의 신호 방향 추정 및 궤환되는 간섭 신호의 nulling을 위한 빔형성 가중치 벡터를 계산하지 않기 때문에 이에 의한 연산량 증가도 없어 최소의 추가 비용으로 중계기용 스마트 안테나 시스템을 구현할 수 있다.

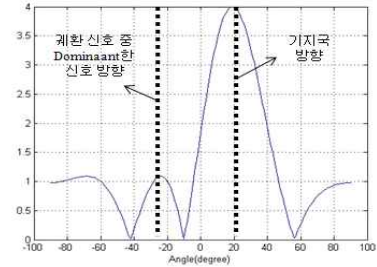


그림 6. 미세 빔 방향 조정 전
Fig. 6. Before fine-tuning.

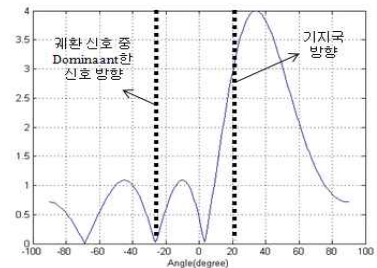


그림 7. 미세 빔 방향 조정 후
Fig. 7. After fine-tuning.

IV. 성능 분석

본 연구에서 제안한 미세빔 조정 기능이 있는 스위칭 빔 기능의 스마트 안테나를 적용한 중계기의 성능을 검증하기 위해, 우리는 적응빔 방식의 스마트 안테나 기법이 적용된 중계기 및 간섭 제거 중계기와 본 연구에서 제안한 중계기의 성능을 비교 분석하였다. 성능 비교는 같은 출력 SINR에 대한 중계기의 증폭율과 중계기의 입력 SINR 대비 간섭 제거 후의 출력 SINR의 두 가지 관점에서 수행되었다.

우선 중계기의 출력 SINR이 같은 환경에서의 증폭율에 대한 성능 비교를 위해서 기지국으로부터의 신호는 서로 다른 진폭 및 시간 지연이 다른 네 개의 다중 경로 신호로 중계기에 수신되게 하였으며, 각 다중 경로의 도달각은 랜덤하게 하였고 각 경로 신

표 1. 브라질 A 간섭 모델

Table 1. The Brazil A interference model

Path #	Delay(us)	Power(dB)
1	0	0
2	0.15	-13.8
3	2.22	-16.2
4	3.05	-14.9
5	5.86	-13.6
6	5.93	-16.4

호의 페이딩 특성은 K=9인 라이시안 분포를 갖는다고 가정하였다. 또한, 궤환 신호의 간섭모델은 브라질 A 모델[8]을 적용하였고, 각 경로 신호는 레일리 페이딩 특성으로 수신되게 하였다. 표 1에 시뮬레이션에 사용된 브라질 A 모델의 시간 지연 및 전력 특성

이 보인다.

또한, 간섭제거 중계기에서의 간섭제거 알고리즘은 LMS 알고리즘을 사용하였다. 성능 검증 시뮬레이션에서는 중계기의 초기 입력 SINR이 같은 채널 환경에서 중계기에서 계속적으로 신호가 증폭되어 재 전송되고, 재 전송된 신호가 표 1과 같은 채널 모델로 케환되어 수신되게 하였으며, 중계기에서 미리 정해진 출력 SINR을 유지할 때까지의 각 방식에 대한 증폭율을 비교하였다. 본 연구의 중계기 성능평가에서 증폭율을 기준으로 비교한 이유는 중계기 특성상 케환 신호 유입에 의해 발진이 일어나지 않은 상태에서 증폭율이 최대가 되어야 하기 때문이다. 케환신호의 영향이 크면 중계기에서의 출력 SINR이 저하되고, 이에 의해 발진이 발생할 수 있기 때문에, 중계기의 증폭율은 자동으로 낮게 설정된다.

그림 8에 본 연구에서 제안한 스마트 안테나의 구조를 갖는 중계기와 적응 빔 방식의 스마트 안테나를 적용한 중계기 및 ICS 중계기의 출력 SINR에 대한 증폭율이 보인다.

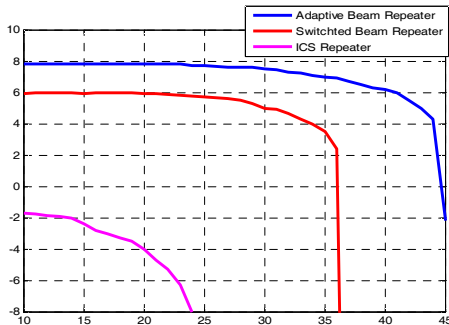


그림 8 스마트 안테나 중계기와 ICS 중계기의 증폭율 대비 SNR 비교

Fig. 8. The input SNR contrast output SNR comparison of the smart antenna repeater and ICS repeater.

그림에서 보이는 바와 같이 중계기에서의 출력 SINR을 -2dB로 유지하는 경우, 본 연구에서 제안한 스마트 안테나 구조가 적용된 중계기의 증폭율이 ICS 중계기의 증폭율에 비해 약 23dB 증가함을 알 수 있다. 이는 적응 빔 방식의 스마트 안테나를 적용한 경우에 비해서는 약 8dB 낮은 값이지만, 본 연구에서 제안한 구조의 중계기가 빔 형성에 의한 연산량과 하드웨어의 복잡도가 크게 감소하여 중계기 전체 시스템의 크기 및 가격 증가가 최소가 되는 것을 고려하고, ICS 중계기에 비해서도 연산량과 시간 지연이 매우 작은 것을 고려하면 매우 우수한 성능이 나옴을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제안하는 스마트 안테나 구조도를 중계기에 적용하는 경우에, 기지국 방향의 빔 이득과 중계기에서의 미세 빔 방향 조절에 의해 케환되는 간섭신호가 제거되기 때문이다.

그림 9에 중계기의 입력 SINR 대비 간섭 제거 후의 중계기 출력 단에서의 출력 SINR에 대한 성능 비교가 보인다.

그림 9에서의 채널 환경은 그림 8의 채널 환경과 같게 가정하였으며, 입력 SINR은 케환된 신호에 의한 간섭의 영향이 없는 순

수 기지국으로부터 수신된 신호 성분에 대한 SINR이며(즉, 성능 검증 시뮬레이션에서 초기 중계기 입력 신호의 SINR), 출력 SINR은 케환 신호가 포함된 중계기의 신호에서 케환된 성분이 제거된 중계기의 출력 신호에 대한 SINR이다. 또한, 그림 9는 10번의 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

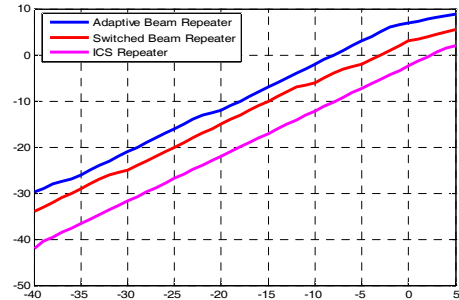


그림 9 스마트 안테나 중계기와 ICS 중계기의 입력 SINR 대비 출력 SINR 비교

Fig. 9. The input SINR contrast output SINR comparison of the smart antenna repeater and ICS repeater.

그림 9에서 ICS 중계기의 출력 SINR은 입력 SINR에 비해서 약간 낮은 값을 갖는데 이는 ICS 중계기에서 케환되는 간섭 신호의 상당부분이 제거됐기 때문이며, 간섭 제거 후에도 약간의 케환 간섭 성분이 남아 있음을 알 수 있다. 또한, 적응 빔 방식의 스마트 안테나와 스위칭 빔 구조도를 중계기에 적용한 경우에는 케환되는 간섭 성분뿐만 아니라 기지국으로부터 중계기에 수신되는 다중경로 간섭 성분이 함께 제거되어 중계기 출력에서의 SINR이 입력 SINR 보다 향상 되었으며, 이를 통해 중계기에 스마트 안테나 구조를 적용하면 중계기의 증폭율과 성능이 향상됨을 알 수 있다. 다만, 적응 빔 방식의 스마트 안테나를 중계기에 적용하는 경우에는 기지국 방향을 추정하고, 케환되는 간섭 방향으로 null을 형성하기 위한 복소 가중치 벡터의 추정에 의한 연산량과 하드웨어의 복잡도가 증가하는 반면에, 본 연구에서 제안한 미세 빔 방향 조정 기능이 있는 스위칭 빔 구조의 스마트 안테나를 중계기에 적용하면 중계기의 성능을 향상 시키면서도 저가로 스마트 안테나의 구현이 가능함을 알 수 있다.

또한 적응 빔 방식의 스마트 안테나를 중계기에 적용하는 경우에는 기저대역에서 빔형성을 수행해야하기 때문에 중계기에서 시스템 전체를 수정해야하는 반면에, 본 연구에서 제안한 구조의 스마트 안테나 기법을 적용하는 경우에는 그림 5에서 보이는 바와 같이 RF 단에서의 빔 형성 및 미세 빔 방향 조절이 가능하므로 기존 RF 중계기의 안테나 단만을 수정하여 적용이 가능하며, 비록 본 논문에서의 성능 검증에는 제외되었지만 원하는 기지국 방향으로의 빔 형성에 의해 파일럿 오염 문제도 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 미세 빔 방향 조정 기능이 있는 스위칭 빔 안테나 구조를 제안하고, 이를 중계기에 적용할 때의 성능 향상 정도

를 분석하였다. 본 연구에서 제안한 중계기용 스마트 안테나 구조도에서는 RF 단에서 스위칭 빔 구조의 빔형성에 의해 원하는 기지국 방향을 추정하고, 미세 빔 방향 조정을 통해 궤환되어 재수신되는 간섭 성분 및 기지국으로부터의 다중경로 간섭을 제거함으로써, 중계기에서의 같은 입력 SINR에 대해 출력 SINR이 ICS 중계기에 비해 평균 약 6dB 향상되었다. 또한, 궤환되어 재수신되는 간섭 신호의 제거에 의해 도너 안테나와 서비스 안테나 간의 간격을 이격시키지 않으면서도 중계기의 증폭율이 향상되었으며, 성능 검증 결과 본 연구에서 제안한 구조도를 사용하는 경우, 중계기에서의 출력 SINR을 -2dB 기준으로, 본 연구에서 제안한 스마트 안테나 구조가 적용된 중계기의 증폭율이 ICS 중계기의 증폭율에 비해 약 23dB 증가함을 알 수 있었다.

특히, 중계기에 적응 빔 구조의 스마트 안테나 시스템을 적용하면 각각의 배열 안테나 후단에 배열 수 만큼의 RF단이 추가되고, 빔형성 복소 가중치 벡터의 추정에 의한 연산량이 증가되어 하드웨어의 복잡도가 증가하고 이에 따라 중계기의 크기 및 가격이 증가하지만, 본 연구에서 제안한 스마트 안테나 구조는 빔형성에 의한 하드웨어의 복잡도 증가가 최소화되어, 저가 및 고성능 중계기의 구현이 가능할 것으로 사료된다. 따라서 향후 본 연구에서 제안한 중계기용 스마트 안테나의 구조도를 인빌딩용 저가의 일체형 중계기나 펠토셀 기지국 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Liberti, J., and T. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, Prentice Hall, New York, 4, 1999.
- [2] 홍인기, "차세대 이동통신 기술 동향 및 전망," *한국정보통신학회지*, 제13권, 제1호, pp.21-26, 6, 2012.
- [3] 이규범, 최지훈, "MIMO RF 중계기를 위한 적응 신호처리 기법의 간섭제거," *한국통신학회논문지*, 제35권, 제9호, pp. 735-742, 9, 2010.
- [4] 주지한, 이상주, "간섭제거기를 적용한 디지털 RF 시스템에 관한 연구," *한국전자과학회논문지*, 제20권, 제12호, pp. 1252-1263, 12, 2009.
- [5] C. H. Lee, H. K. Jwa, J. Chun, and J. W. Kim, "Use of minimum-variance beamforming algorithms for a smart antenna applied to a repeater," *Proc. SPIE*, Vol. 4395, pp. 84-92, Aug. 2001.
- [6] 백승준, *스마트안테나를 적용한 휴대인터넷용 지능형 중계장치 개발*, 에어포인트, 5, 2007.
- [7] 박학세, 고대식, "LMS 알고리즘을 이용한 ICS중계기의 성능 개선에 관한 연구," *한국정보기술학회지*, 제7권, 제3호, pp.31-37, 6, 2009.
- [8] 이계경, 김정근, "DTV 방송 시스템 환경에서 동일 채널 중계기를 위한 다중 레벨 상관 LMS 기법," *방송공학회논문지*, pp.63-75, 1, 2010



조 대 영 (Dae-young Cho)

2009년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2011년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2011년~현재 호서대학교 정보통신공학과 박사과정

※주관심분야 : smart antenna, DSP



김 계 원 (Kye-won Kim)

1997년 2월 호서대학교 정보통신공학 (공학사)
 1999년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2011년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학박사)

1999년 3월 ~ 2003년 2월 (주)텔웨이브 전임연구원
 2003년 8월 ~ 2009년 8월 코라텍(주) 전임연구원
 2009년 9월 ~ 현재 호서대학교 산학협력단

※주관심분야 : smart antenna, MIMO, 차세대이동통신



이 승 구 (Seung-goo Lee)

2005년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2007년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2012년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학박사)

2012년 1월~현재 한림포스텍 전임연구원

※주관심분야 : smart antenna, MIMO, 차세대이동통신, 수중통신



김 민 상 (Min-sang Kim)

2008년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2010년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2010년~현재 호서대학교 정보통신공학과 박사과정

※주관심분야 : smart antenna, MIMO, 수중통신



박 병 훈 (Byeong-hoon Park)

正會員
 1986년 2월 연세대학교 전기공학과(공학사)
 1992년 2월 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 2000년 2월 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)

1992년 3월~1994년 2월 삼성 종합기술원 전임연구원
 2000년 3월~현재 인덕대학 컴퓨터전자과 부교수

※주관심분야 : 스마트 안테나 시스템, 이동통신



고 학 립 (Hak-lim Ko)

正會員

1983년 2월 숭실대학교 전자공학과(공학사)

1986년 8월 Fairleigh Dickinson Univ. 전기
및 컴퓨터공학과(공학석사)

1995년 8월 North Carolina state Univ.
전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1996년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 정교수

※주관심분야 : 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중
통신, 해양통신
