

협동 다이버시티 이득을 위한 위성-지상간 통합망에서의 터보 부호화된 시공간 부호

준회원 박운희*, 종신회원 김수영*, 정회원 김희욱**, 안도섭**

Turbo-coded STC schemes for an integrated satellite-terrestrial system for cooperative diversity

Unhee Park* Associate Member, Sooyoung Kim* Lifelong Member
Hee Wook Kim**, Do Seob Ahn** Regular Members

요약

본 논문에서는 위성-지상 통합(hybrid/integrated)망에서 멀티미디어 방송 서비스를 효율적으로 제공하도록 기여할 수 있는 여러 가지 다이버시티 방식에 대한 성능을 비교 분석한다. 시공간 부호(space-time codes)는 추가적인 대역폭 요구 사항 없이도 다중경로 환경에서 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 효율적인 방식이다. 위성시스템에서 시공간 부호와 오류정정부호를 적절히 결합하여 지상 중계 장치와의 협동 다이버시티 이득 구현이 가능함이 제안되어 왔다. 본 논문에서는 이러한 선행 연구 결과를 바탕으로 하여, 다양한 시공간부호 및 오류정정 부호의 결합 방식을 제안하고 이에 따른 성능 분석 결과와 장단점등을 제시하여, 향후 시스템 구현에 도움이 될 수 있도록 한다.

Key Words : Space-Time Block Code(STBC), Transmit Diversity, Cooperative Diversity, Satellite Communications, Turbo Codes

ABSTRACT

In this paper, we evaluate the performance of various diversity techniques which can contribute to provide efficient multimedia broadcasting services via hybrid/integrated satellite and terrestrial network. Space-time coding (STC) can achieve the diversity gain in a multi-path environment without additional bandwidth requirement. Recent study results reported that satellite systems can achieve high diversity gains by appropriate utilization of STC and/or forward error correction schemes. Based on these previous study results, we present various cooperative diversity techniques by combining STC and rate compatible turbo codes in order to realize the transmit diversity for the mobile satellite system. The satellite and several terrestrial repeaters operate in unison to send the encoded signals, so that receiver may realize diversity gain. The results demonstrated in this paper can be utilized in future system implementation.

I. 서론

미래의 이동 통신 시스템에서 멀티미디어 방송

멀티 캐스트 서비스(multimedia broadcast and multicast service; MBMS)는 중요한 역할을 할 것이다. 위성 시스템은 위성이 갖는 고유의 방송 능력과 광

※ 본 논문의 일부 결과는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2009-0088286)으로부터 도출되었으며, 또 다른 일부 결과는 정보통신연구진흥원 IT원천기술개발사업의 일환으로 수행되었음 [2008-F-010-02, IMT-Advanced 위성접속기술 개발]

* 전북대학교 전자공학부 디지털통신시스템 연구실 (sookim@jbnu.ac.kr), **한국전자통신연구원 위성휴대전송연구팀
논문번호: KICS2009-08-365, 접수일자: 2009년 8월 24일, 최종논문접수일자: 2010년 1월 4일

대역 통신 우수성 등의 특징으로 인하여 MBMS를 제공하는 데 매우 효과적인 방법이 된다. 최근 국제전기통신연합(International Telecommunication Union; ITU)에서는 최근의 기술적인 동향을 반영하여 통합된 이동 위성 서비스(mobile satellite services; MSS) 및 위성-지상 통합망에 대한 정의를 내리고 향후 연구 항목들을 정의하고 있다^[1].

위성-지상 통합망은 각 기술이 갖는 최대의 장점들을 효과적으로 조합하여 높은 질의 MBMS를 제공할 수 있는데, 최근 이러한 위성-지상 통합망과 관련된 기술의 발달로 인하여 적절한 신호처리 능력을 갖는 지상 중계 장치들을 사용한 여러 가지 효과적인 다이버시티 기술들이 많이 제안되었다^{[2],[5]}. 이 기술들은 역방향 링크로부터 어떠한 채널 품질 정보도 필요로 하지 않기 때문에, MBMS의 단방향성 특성에 매우 적합하다고 할 수 있다.

참고문헌 [2]에서는 지상 중계 장치에서 위성으로부터 수신되는 신호에 적절한 STC 방식을 적용하여 여러 개의 신호 수신이 가능한 단말기에서 다이버시티 이득을 취할 수 있도록 하는 방식을 제안하였다. 이 같은 방식에서 지상 중계 장치와 위성은 시공간 부호화된 신호를 협력하여 전송하고, 지상 중계 장치는 단순한 증폭기가 아닌 신호를 부호화할 수 있는 능력을 가져야 한다.

이러한 연구결과를 바탕으로 하여, 위성-지상 통합망에서 추가적인 다이버시티 이득을 얻기 위해 두 개 이상의 송신 안테나 시스템에 대해 STC 부호를 사용한 협동 다이버시티 방식이 소개 되었고^{[3],[4]}, 오류정정(forward error correction; FEC)부호로서 터보 부호와 결합된 STC 부호를 이용한 협동 다이버시티 방식도 제안 되었다^[5].

이러한 협동 기술의 성능은 송수신 가능한 모든 신호 경로에 대해 부호화 방식들을 어떻게 조합하느냐에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 FEC 부호와 시공간 부호의 다양한 방식의 결합에 의한 협동 다이버시티 기술의 성능을 분석한다.

본 서론에 이어 II장에서는 송신 다이버시티 이득을 기대할 수 있는 위성-지상 통합망의 시스템 구성도를 살펴본다. III장에서는 협동 다이버시티 이득을 얻기 위한 다양한 적용 방식들을 살펴보고, IV장을 통해 III장에서 제시된 방식들에 대한 성능의 결과를 제시하고 분석한다. 마지막으로 V장에서 이 논문의 결론을 정리한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 오류정정 부호와 결합된 STC 부호를 사용하여 협동 다이버시티 기술을 구현할 수 있는 위성-지상간 통합망의 구성도를 나타낸 것이다. 이 망에는 하나의 정지궤도 위성과 다수의 지상 중계 장치들이 존재하는데, 위성 게이트웨이로부터 전송된 신호는 위성을 통과하여 f_s 주파수 대역으로 사용자 단말기를 포함한 지상의 각 중계 장치들로 전달된다. 위성으로부터 데이터를 받은 각 지상 중계 장치들은 각 정해진 부호화 방식에 따라 데이터를 변형하고, 적용된 다이버시티 방식에 따라 같은 주파수 혹은 다른 주파수 대역을 통해 사용자 단말기로 신호를 재전송한다. 이 때 사용자 단말기는 지상 중계 장치들과 위성에서 전송된 신호를 함께 수신하게 된다.

지상 중계 장치와 위성은 STC 부호 또는 부호화를 호환 가능(rate compatible ; RC) 오류정정 부호와 결합된 신호를 전송하기 위해 서로 협력적으로 운영되는데, 여기서 지상의 중계 장치들을 단순히 증폭기의 역할이 아닌 송신 다이버시티 기술을 실현하기 위해 부호화 능력을 갖는 각각 하나의 안테나로 간주될 수 있다. 사용자 단말기는 STC 부호화된 신호를 수신할 수 있는 능력을 갖는다고 가정한다. 그러므로 사용자 단말기가 위성 그리고 지상의 각 중계 장치들로부터 다양한 시공간 부호화된 신호를 수신함으로써 협동 다이버시티 이득을 기대할 수 있다.

이와 같은 위성-지상 통합망 기술의 실현을 위해서는 위성과 지상 중계 장치들의 신호가 사용자 단말기에 동시에 수신되어야 하는데 이를 위해 신호 지연에 대한 보상 알고리즘이 필요하다. 이는 위성 게이트웨이나 각 지상 중계 장치에서 적절한 지연

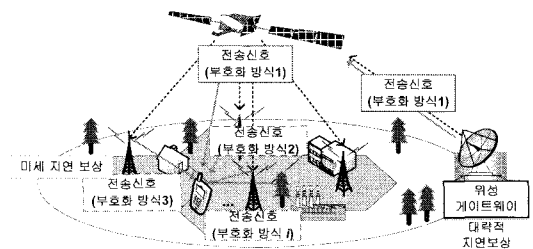


그림 1. 협동 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 위성-지상간 통합망 구성도
Fig. 1. Integrated satellite-terrestrial network incorporating cooperative diversity schemes

보상 알고리즘을 수행하여 처리가 가능하다. 왜냐하면, 지상 중계 장치에서 수행해야 하는 신호처리에 필요한 시간과 위성과 지상 중계 장치 링크 사이에 발생하는 전파 지연의 시간차는 미리 추정이 가능하기 때문이다. 예를 들어 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 위성 게이트웨이와 각 지상 중계 장치에 대략적인 또는 미세 보상 알고리즘을 구현함으로써 사용자 단말기에서 동기화된 신호 수신이 가능하도록 할 수 있다.

III. 적용 모델

3.1 STC 부호와 오류정정 부호에 의한 다이버시티 이득 비교

본 장에서는 STC 부호와 FEC 부호를 이용한 협동 다이버시티 이득을 비교한다. 여기서, FEC 부호로서 시스터매틱(systematic) 정보 S와 친공 가능한 패리티(parity) 정보 P1, P2로 구성된 RC 터보부호를 사용한다. 터보 부호를 이용하여 생성된 모부호는 그림 2-(a)과 같다. 모부호는 [S P1 P2]로 구성되어 있고 이를 [S P1] 또는 [S P2]로 구성할 수 있는 RC 부호로 가정하였다. 또, S와 P1, P2는 서로 동일한 길이로 구성되어 있다고 가정하는데, 이로써 모부호 [S P1 P2]의 부호화율은 1/3이 되며, 개별적인 RC 부호 [S P1] 또는 [S P2]의 부호화율은 1/2이 된다.

STC 부호에 의한 다이버시티 이득에 대해 살펴보기 위해, 먼저 부호화율이 1/2인 터보부호를 사용하여 2×1 STC 부호로 전송하는 예가 그림 2-(b)에 나타나 있다. 여기서 STC 부호로서 Alamouti 부호를 사용한다⁶⁾. 또, 각 두 개의 송신 안테나는 1/2 부호, 즉 [S P1]로 구성된 신호를 전송한다.

반면에 두 개의 송신 안테나에서 각각 서로 다른 패리티 신호를 전송함으로써 얻을 수 있는 이득을 조사하기 위해 먼저 그림 2-(c)에 제시한 바와 같이, 두 개의 송신 안테나 중에 하나의 안테나를 통해 [S P1] 신호를 전송하고, 다른 하나의 안테나는 [S P2] 신호를 전송한다. 이 방식에서는 어떠한 STC 부호도 쓰이지 않는다. 이러한 방식으로 신호를 전송하게 되면, 위성과 각 지상 중계 장치에서는 부호화율이 1/2인 오류정정 부호를 전송하는 것과 같게 되나, 사용자 단말기에서는 위성과 지상 중계 장치에서 오는 서로 다른 패리티 정보들을 결합하여, 부호화율이 1/3인 수신 신호를 생성해 낼 수 있고 이를 복호함으로써 추가적인 부호화 이득을 얻을 수

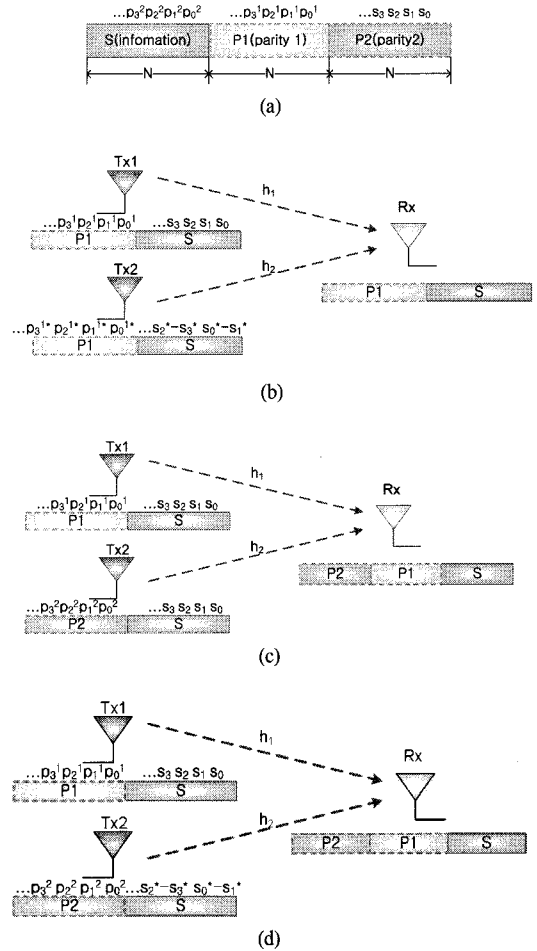


그림 2. STC 부호 또는 오류정정 부호를 사용한 2×1 시스템에 대한 다이버시티 방식
 Fig 2. 2×1 diversity schemes using STC and FEC coding schemes

있게 된다.

그러나 이 방식을 적용하기 위해서는, 사용자 단말기에서 P1과 P2를 식별하기 위한 방법이 필요하다. 지상시스템에서는 이와 유사한 연구 결과로 사용자 단말기들끼리 서로 협력적으로 상대방의 정보에 대해 서로 다른 패리티 정보를 전송해 줌으로써 기지국에서 이를 결합하여 이득을 취할 수 있도록 해주는 부호화된 협동 다이버시티 방식 (coded cooperation)을 제안한 바 있다⁷⁾. 이 방식에서는 서로 다른 패리티를 구분하기 위하여 시분할 다중화 (time division multiplexing; TDM) 방식을 사용하였다. 비슷한 예로, 위성 시스템에서 적용한 이진 연구에서는 주파수 분할 다중화(frequency division multiplexing; FDM) 방식을 가정하였다⁵⁾.

마지막으로, 그림 2-(d)는 STC 부호와 FEC 부호를 함께 결합하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 경우이다. 그림에서 보는 바와 같이, 시스터메틱 정보만 Alamouti 부호로 전송한다. 그러므로 첫 번째 송신 안테나에서는 [S' P1], 두 번째 송신 안테나에서 [S' P2]의 신호가 각각 전송되는데, 여기서 S'은 시스터메틱 정보 S에 대해 STC 부호화 된 버전이다. 그림 2-(c)의 경우와 마찬가지로, 각 송신 안테나는 1/2 부호화율의 신호를 전송하고 수신단에서는 1/3 부호에 대한 복호를 통해 신호를 검출함으로써 추가적인 부호화 이득을 기대 할 수 있다.

3.2 위성-지상 통합망에 대한 다양한 협동 다이버시티 기술의 응용

이 장에서는, 위성-지상간 통합망에 적용 가능한 여러 가지 협동 다이버시티 기술을 제안한다. 그림 3은 시공간 부호로서 Alamouti 부호를 사용한 방식으로, 사용자 단말기가 한 개 이상의 지상 중계 장치로부터 신호를 수신할 수 있는 경우이다. 이 때 각 지상 중계 장치들은 위성에서 수신된 신호에 STC 부호화를 수행하고, 사용자 단말기는 여러 경로로부터 수신된 신호에 STC 복호를 수행함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 한다.

그림 3에서 제시한 방식은 위성을 포함한 각 지상 중계 장치들로부터 동일한 오류 정정 부호가 전송된다. 즉, 각 안테나들은 부호화율이 1/2인 부호 [S P1]을 전송하거나, 1/3인 [S P1 P2] 부호를 전송한다. 일반적으로 위성에서 지상 중계 장치로의 채널은 오류가 거의 없는(quasi-error free) 채널로 간주된다. 각 지상 중계 장치들은 위성으로부터 전달된 신호 [S P1 (P2)]를 수신한 후, 주어진 Alamouti

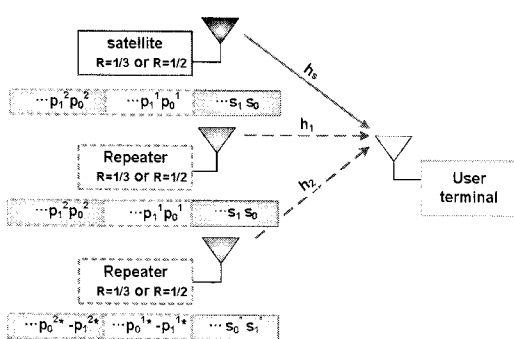


그림 3. 위성-지상 통합망에서 하나의 수신 안테나를 갖는 단말기에 대해 STC 부호를 적용한 협동방식
Fig 3. Cooperation with the satellite and two repeaters using STC for a single antenna at the terminal

부호화 방식에 따라 신호를 변형하여 사용자 단말기로 재전송한다. 그러면 사용자 단말기는 수신된 신호를 복호함에 따라 신호를 검출하게 되는데, 이 방식은 단일 주파수 네트워크(single frequency network; SFN)에 적용될 수 있다.

그림 4와 같이, 만일 사용자 단말기가 두 개의 수신 안테나를 사용한다면, MRRC(maximum ratio receiver combining)을 통한 추가적인 수신 다이버시티 이득을 기대할 수 있다⁶⁾. 이 경우는 위성과 지상 중계 장치는 서로 다른 주파수 대역을 사용하여 신호를 전송하게 되는 시스템에 해당되는 것이다. 두 개의 수신 안테나를 사용하는 사용자 단말기는 지상 중계 장치로부터 전송된 시공간 부호화된 신호를 STC 복호를 통해 검출한 후에 추가적인 이득을 위해 위성 신호를 효과적으로 결합할 수 있다.

다음 그림 5는 참고문헌 [5]에서 제시된 위성-지상 통합망에 적용된 부호화 협동 기술의 응용 사례를 제시하기 위한 것으로, 이 방식은 앞 장의 그림 2-(d)에서 제시한 부호화 협동 방식을 응용한 것이라고 할 수 있다. 이 방식에서 위성은 부호화율 1/2인 RC 부호 [S P1]을 전송하고, 이를 수신한 각 지상 중계 장치들은 먼저 수신된 시스터메틱 정보 S를 이용하여 모부호 중 위성으로부터 전달되지 않은 나머지 패리티 정보 P2를 생성한다. 이제 각 중계 장치는 [S P2]를 이용하여 서로 다른 STC 부호를 생성하여 사용자 단말기로 재전송한다. 이 방식에서도 부호화율이 1/2인 오류정정 부호를 전송하나, 사용자 단말기에서는 부호화율이 1/3인 모부호에 대한 복호를 수행하여 추가적인 부호화 이득을 얻을 수 있다.

다음으로는 협동 다이버시티 방식에 사용된 STC

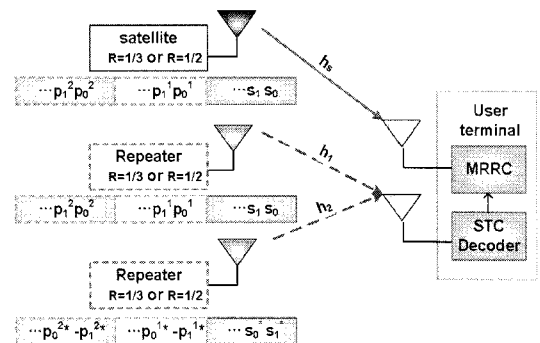


그림 4. 위성-지상 통합망에서 두개의 수신 안테나를 갖는 단말기에 대해 STC 부호를 적용한 협동방식
Fig 4. Cooperation with the satellite and two repeaters using STC for two antennas at the terminal

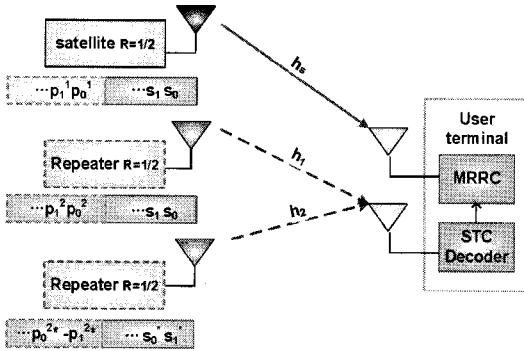


그림 5. 위성 과 두 개의 지상 중계기가 존재하는 위성-지상 통합망을 위한 부호화된 협동방식
Fig 5. Coded cooperation with the satellite and two repeaters for two antennas at the terminal

방식으로써 Alamouti 부호 대신에 다른 STC 방식을 적용한 시스템을 제안한다. 기존의 연구결과로써 두 개 이상의 송신 안테나 시스템에서 간단한 선형 계산만으로 신호 복호가 가능한 방식을 제안한 바 있다^[4]. 즉, 위 참조 문헌 [4]에 제시된 방식은 부호 화율이 1이고, 채널 행렬이 완전한 직교성을 갖기 때문에 복호 시 간단한 선형 계산만으로 신호를 검 출 할 수 있는 장점을 갖는 준직교 시공간 부호화 (quasi-orthogonal space-time block coding; QO-STBC) 방식이다. 본 논문에서는, 이를 선형 복호 준직교 시공간 부호화(linear-decoding quasi-orthogonal space-time block coding; LD-QO-STBC) 방식이라 정의한다.

다음의 X_{L4} 는 4×1 LD-QO-STBC 방식의 부호 화 행렬을 나타낸다^[4].

$$X_{L4} = \begin{bmatrix} x_1 + x_3 & x_2 + x_4 & x_3 - x_1 & x_4 - x_2 \\ -(x_2 + x_4)^* & (x_1 + x_3)^* & -(x_4 - x_2)^* & (x_3 - x_1)^* \\ x_3 - x_1 & x_4 - x_2 & x_1 + x_3 & x_2 + x_4 \\ -(x_4 - x_2)^* & (x_3 - x_1)^* & -(x_2 + x_4)^* & (x_1 + x_3)^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

행렬 X_{L4} 의 행은 각 타임 슬롯, 열은 송신 안테나를 의미한다. 위 (1) 행렬에서 4개의 송신 안테나 중 하나 또는 두개의 안테나를 제거하면 3개 또는 2 개의 송신 안테나에 적용할 수 있는 LD-QO-STBC 부호화 행렬을 아래와 같이 얻을 수 있다.

$$X_{L3} = \begin{bmatrix} x_1 + x_3 & x_2 + x_4 & x_3 - x_1 \\ -(x_2 + x_4)^* & (x_1 + x_3)^* & -(x_4 - x_2)^* \\ x_3 - x_1 & x_4 - x_2 & x_1 + x_3 \\ -(x_4 - x_2)^* & (x_3 - x_1)^* & -(x_2 + x_4)^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$X_{L2} = \begin{bmatrix} x_1 + x_3 & x_2 + x_4 \\ -(x_2 + x_4)^* & (x_1 + x_3)^* \\ x_3 - x_1 & x_4 - x_2 \\ -(x_4 - x_2)^* & (x_3 - x_1)^* \end{bmatrix} \quad (3)$$

이제 앞에서 언급한 협동 다이버시티 기술에 Alamouti 부호 대신에 LD-QO-STBC 방식을 적용한 방식을 제안한다. 그림 6은 위성을 포함한 세 개의 송신 안테나와 한 개의 수신 안테나에 대해 (2)의 3×1 LD-QO-STBC 방식을 적용한 것이다. 단, 그림 3과 그림 5의 방식에서 위성은 마치 STC 부호화와 무관한 것처럼 전송하면서도 지상 중계 장치와의 협동을 통하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있었으나 이 방식은 위성 노드에서 전송되는 신호도 시공간 부호화한다는 특징을 갖는다.

그림 7은 그림 5에서 지상 중계 장치로부터 전송되는 RC 부호 [S P2]에 대해 두 개의 송신 안테나에 대한 식 (3)의 LD-QO-STBC 방식을 적용한 것이다.

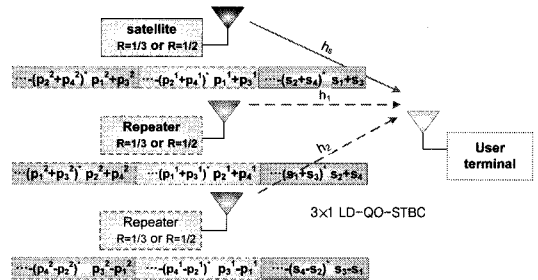


그림 6. 위성 과 두 개의 지상 중계기가 존재하는 위성-지상 통합망에 3×1 LD-QO-STBC를 적용한 방식
Fig 6. Coded 3×1 LD-QO-STBC scheme with the satellite and two repeaters for integrated satellite-terrestrial network

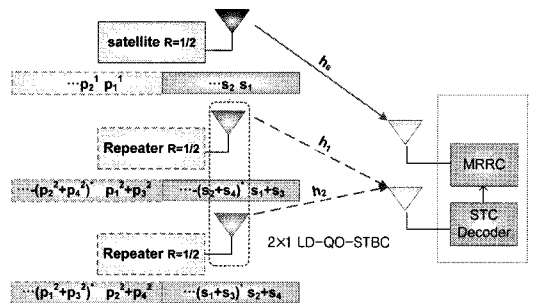


그림 7. 2×1 LD-QO-STBC가 적용된 협동방식
Fig 7. Coded cooperation applied to 2×1 LD-QO-STBC scheme

IV. 성능 시뮬레이션 결과

본 절에서는 이전 장에서 제안된 다양한 협동 다이버시티 기술에 대한 비트 오류율(bit error rate ; BER) 성능 시뮬레이션 결과를 제시한다. 시뮬레이션에서는 QPSK 변조 방식을 사용하고, 총 송신 전력은 송신 안테나 수에 따라 균일하게 나뉜다고 가정한다. 위성과 사용자 단말기 사이의 채널은 라이시안(rician) 분포를 가지며, 시뮬레이션에서는 라이시안 인자(rician factor) $K=10$ dB로 가정하였다^{14,15}. 또, 각 지상 중계 장치들로부터 사용자 단말기 사이의 채널은 레일리(Rayleigh) 채널로 가정하였다. 뿐만 아니라, 사용자 단말기에서는 채널 상태를 완벽하게 추정 할 수 있으며, Alamouti 부호화를 수행하는 두 연속되는 심벌 간격 동안에는 채널 상태가 변하지 않고, LD-QO-STBC 부호화를 수행하는 경우에는 연속적인 전송 심벌 네 주기 동안의 채널 페이딩이 일정하다고 가정하였다.

오류정정 부호 방식으로는 N 개의 심벌에 대해 $3N$ 개의 부호화된 심벌을 출력하는 부호화율 $1/3$ 인 duo-binary 터보 부호를 사용하고¹⁸, 본 논문의 시뮬레이션에서는 한 번에 터보 부호에 입력되는 심벌의 개수 N 이 212인 터보부호를 사용하였다.

그림 8은 레일리 페이딩 채널에 대한 그림 2에서 제시된 다양한 방식의 성능을 보여준다. 그림 2-(b),(c),(d)에서 두 송신 안테나는 모부호로부터 전송되어 생성된 부호화율이 $1/2$ 인 $2N$ 개의 심벌 신호를 전송한다. 그림 (c)의 FEC 부호만을 이용한 부호화 협동 방식은 그림 (b)의 Alamouti 부호를

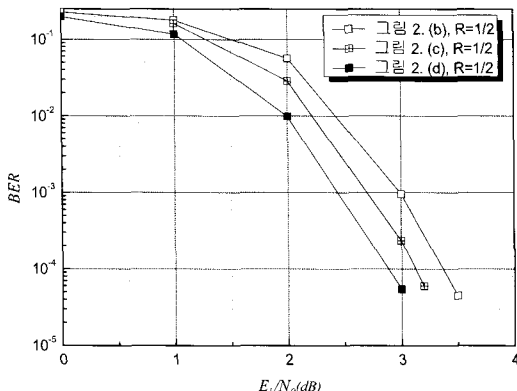


그림 8. 레일리 채널에서 시공간, 오류정정 부호를 사용한 2×1 다이버시티 방식에 대한 성능 비교

Fig 8. Performance comparison of 2×1 diversity schemes using STC and FEC coding schemes over a Rayleigh channel

사용한 송신 다이버시티 방식과 비교하여 약 0.3 dB 정도의 성능 이득을 나타냄을 볼 수 있다. 만일 그림 (c)에서 시스템에 추가적으로 Alamouti 부호를 적용하여 전송하면, 즉, 그림 (d)와 같은 방식이 되는데 이에 대한 성능은 (b) 방식에 비해 약 0.2-0.3 dB 정도의 이득을 추가적으로 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 그러므로 그림 2-(d)의 부호화된 협동 기술은 그림 2-(b)에서의 Alamouti 부호를 사용한 송신 다이버시티 이득과 비교하여 약 0.5 dB의 이득이 있다고 할 수 있다.

위성-지상 통합망에 대하여 제안된 다양한 협동 기술에 대한 BER 성능을 비교하기 위해, 그림 9를 제시한다. 이 결과를 통해 그림 3의 방식에서와 같이 추가적인 오류정정 부호에 대한 이득 없이 STC 부호를 사용하는 것보다 그림 5에서 제안된 방식의 성능이 더 나은 것을 확인할 수 있다. 그러나 사용자 단말기가 두 개의 수신 안테나를 사용한다면, 오류정정 부호에 대한 추가적인 이득이 없어도 그림 5의 방식과 비교하여 약 2.2 dB의 이득을 기대할 수 있다.

그림 5에 제시된 협동 다이버시티 방식에서는 사용자 단말기로 수신되는 심볼들의 평균 에너지가 S , $P1$ 및 $P2$ 에서 매우 큰 차이를 보이게 된다. 다음 그림 10은 그림 5의 방식에서 사용자 단말기로 수신되는 정보의 각 심볼 에너지의 평균을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 패리티 정보 $P1$, $P2$ 의 심볼 에너지는 위성과 지상 중계 장치 모두로부터 전송되는 시스템에 비해 상대적으로 작다. 이는 위성과 지상 중계기들은 모두 S 를 동일

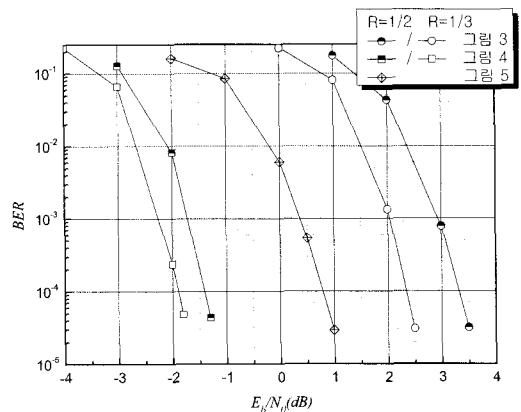


그림 9. 위성-지상 통합망에서의 다양한 다이버시티 방식의 BER 성능

Fig 9. BER performances of various cooperative diversity schemes for the hybrid/integrated satellite systems

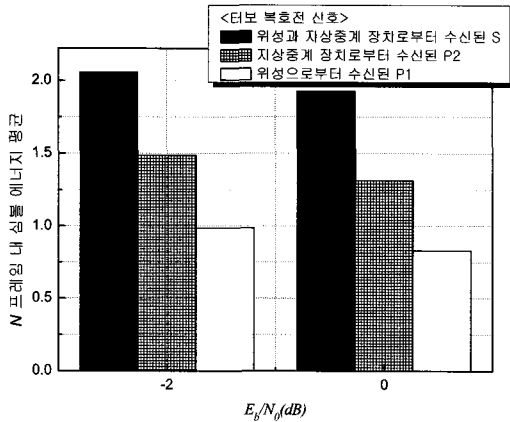


그림 10. 협동다이버시티 (그림 5) 방식에서 터보 복호되기 전 신호의 평균 심볼 에너지 비교
Fig 10. The average symbol energy before turbo code decoding

하게 송신하지만 패리티 정보 P1은 위성에서만 P2는 중계기에서만 송신하기 때문이다.

이러한 사실을 보다 명확히 살펴보기 위하여, STBC 복호 후 터보 부호에 대한 복호기로 들어가는 신호들의 BER 성능을 나타낸 것이 그림 11이다. 그림에서 보는 바와 같이, 시스터매틱 정보 S와 패리티 정보 P1, P2 사이의 성능 차이가 매우 크다는 것을 확인할 수 있다. 원래 터보 부호는 성능이 우수한 비트들은 그 신뢰도를 더 크게 반영하고 열등한 비트들의 신뢰도는 낮춰주는 방식을 취한 것이다. 이와 같은 터보부호의 복호 방식에 대한 성질을 고려하여, 시스터매틱 정보에 비해 상대적으로 성능이 열등한 패리티 정보의 신뢰도를 더 낮게 반

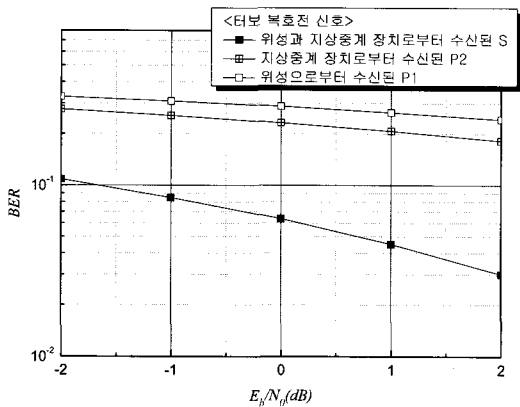


그림 11. 그림 5 방식에서 터보 복호되기 전 신호의 BER 성능
Fig 11. The BER performance of signals before turbo code decoding

영함으로써, 터보부호에 대한 성능 향상을 기대할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 방식을 신뢰도 조정방식으로 명명하기로 한다.

그림 12는 위 여러 가지 시스템에 LD-QO-STBC를 적용한 기술에 대한 시뮬레이션 결과이다. 참고 문헌 [4]에서는 레일레이 페이딩 채널에서 FEC를 사용하지 않은 여러 가지 STBC 방식에 대한 성능 시뮬레이션 결과를 제시한 바 있으며, LD-QO-STBC 방식이 Alamouti 방식에 비해 약 3 dB 정도의 이득을 얻을 수 있음을 보였다.

그러나, 식 (1)-(3)에 제시된 바와 같이 LD-QO-STBC 방식의 부호화 특성상 한 심볼 구간 T 동안 두 개의 심볼에 대한 선형 조합을 전송하게 되므로 Alamouti 방식을 포함한 기존의 STBC 방식에 비하여 2배의 심볼 에너지를 사용하게 된다. 따라서, 동일한 심볼 에너지를 사용하도록 정규화하게 되면 Alamouti 방식과는 거의 동일한 성능을 보이게 된다.

이러한 성능 결과는 그림 12에서도 유사하게 나타남을 알 수 있다. 첫 번째로 FEC와 STC를 동시에 결합하여 협동 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 하는 방법에 대한 성능 비교로써, 위성으로부터 STC 부호화가 되지 않은 신호가 전송되고, 나머지 지상 중계 장치들에서 전송되는 신호에 그림 5의 Alamouti 방식 대신에 식 (3)의 LD-QO-STBC 방식을 적용한 그림 7과 같은 경우이다. 이 경우 Alamouti 부호를 사용한 그림 5의 경우와 거의 동일한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 두 방식이 FEC와 결합되어도 동일한 이득을 얻는데

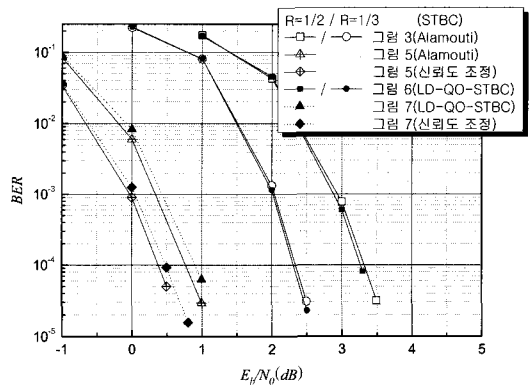


그림 12. 위성-지상 통합망에서의 LD-QO-STBC방식을 적용한 사례의 BER 성능
Fig 12. BER performances applied to LD-QO-STBC schemes for the hybrid/integrated satellite systems

서로 변함이 없음을 의미한다.

또한, 앞서 언급한 바와 같이 그림 5의 협동 다이버시티 방식에서 S와 P1 및 P2의 수신 심볼 에너지 크기가 서로 다르다는 점을 고려하여 신뢰도를 조정하였을 경우, Alamouti 및 LD-QO-STBC 방식에서 약 0.4 dB 정도의 추가적인 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

두 번째는 STC 방식들로만 협동 다이버시티 이득을 얻는데에 대한 성능 비교로써, 그림 6과 같이 위성에도 부호화 방식을 적용한 신호를 전송할 수 있게 하여 각 지상 중계 장치들과 함께 식 (2)의 3×1 LD-QO-STBC 방식의 부호화 행렬에 의해 전송되는 경우이다. 그림 12에 나타나 있는 바와 같이 그림 3의 Alamouti 부호를 사용한 경우와 거의 동일한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 위성-지상간 통합망에 적용 가능한 시공간 부호와 오류정정 부호의 적절한 결합으로 이루어진 다양한 협동 다이버시티 방식에 대해 제시하였다. 시뮬레이션 결과를 확인함에 따라 오류정정 부호로부터 얻는 다이버시티 이득이 시공간 부호 방식에 비해 더 크다는 것을 확인할 수 있었으나, 오류정정 부호로부터 다이버시티 이득을 얻기 위해서는 다른 두 패리티 신호를 구별하기 위한 방법이 필요하다는 단점이 있다. 본 논문에서 제안된 여러 가지 협동 다이버시티 방식은 향후 차세대 이동멀티미디어 위성 서비스를 제공함에 있어서 위성-지상 통합망의 여러 가지 주어진 조건에 따라 가장 적합한 방식을 선택하는데 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Annex 12 to Working Party 4B Chairman's Report on the twenty sixth meeting, Document 4B/85, 27 May. 2009.
- [2] Sooyoung Kim, Hee Wook Kim, Kunseok Kang, and Do Seob Ahn, "Performance enhancement in future mobile satellite broadcasting services," IEEE Communication Magazine, vol. 46, no. 7, July. 2008, pp. 118-124.
- [3] Sooyoung Kim, Unhee Park, Heewook Kim, Do

Seob Ahn, "Evaluation of cooperative diversity techniques using STC for future S-DMB services", to be published in IEICE Transactions on Communications on Nov. 2009.

- [4] 박운희, 이정, 김수영, "위성과 지상 중계 장치와의 협동 다이버시티를 위한 효율적인 STBC 방식," 한국통신학회논문지, 33(10), pp. 997-1005, 2008
- [5] 김수영, 김희욱, 박운희, 안도섭, "휴대형 이동위성방송 서비스를 위한 효율적인 협동 다이버시티 기법," 한국통신학회논문지, 34(3), pp. 258-264, 2009.
- [6] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 8, Oct. 1998, pp. 1451-1458.
- [7] T. E. Hunter, and A. Nosratinia, "Diversity through coded cooperation," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 5, no. 2, Feb. 2006, pp. 283-289.
- [8] ETSI EN 301-790: "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems"

박 운 희 (Unhee Park)

준회원



2008년 2월 전북대학교 전자정보공학부 학사
 2008년 3월~현재 전북대학교 전자공학 석사과정
 <관심분야> 시공간블록부호, 이동/위성통신

김 수 영 (Sooyoung Kim)

정회원



1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1990년 2월~1991년 9월 ETRI 연구원
1992년 10월 Univ. of Surrey, U.K 공학석사
1995년 2월 Univ. of Surrey,

U.K 공학박사

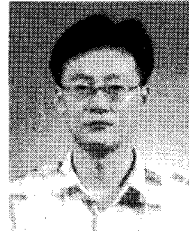
1994년 11월~1996년 6월 Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K

1996년 8월~2004년 2월 ETRI 광대역무선전송연구팀장

2004년 3월~현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수
<관심분야> 오류정정부호화방식, 이동/위성통신

안 도 섭 (Do Seob Ahn)

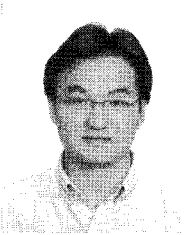
정회원



1988년 2월 경북대학교 공학사
1990년 2월 경북대학교 공학석사
2010년 2월 충남대학교 공학박사
1990년 2월~현재 한국전자통신연구원 위성무선융합부장 (책임 연구원)
<관심분야> 위성통신, 성층권통신

김 희 욱 (Hee Wook Kim)

정회원



2001년 8월 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
2004년 2월 한국과학기술원 전자공학과 석사
2004년 3월~현재 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성휴대전송연구팀

<관심분야> 위성통신, OFDM, 동기, MIMO