

# 이동 위성 방송 시스템을 위한 협력적 전송 기법 연구

## Cooperative Transmission Scheme for Mobile Satellite Broadcasting Systems

안 도 섭 · 박 동 철\*

Doseob Ahn · Dong-Chul Park\*

### 요 약

차세대 이동 위성 시스템의 주요 서비스중 하나는 멀티미디어 방송 및 멀티캐스팅 서비스가 될 것이다. 이러한 서비스를 효과적으로 제공하기 위해 통합 위성 지상 네트워크가 고려될 수 있다. 본 논문에서는 차세대 이동 위성 시스템에 적합한 통합 위성 지상 시스템의 구조를 소개하고, 효율적인 이동 위성 멀티미디어 방송 및 멀티캐스팅 서비스를 제공하기 위한 위성과 지상 보조 장치 간의 협력적 전송 기법들을 제안하였다. 성능 분석 시뮬레이션 결과, 제안한 구조가 시스템 성능을 보다 향상시킬 수 있으며 효과적인 전송을 할 수 있음을 보여준다.

### Abstract

One of major services for the next generation mobile satellite system will be multimedia broadcasting and multicasting service(MBMS). An integrated satellite and terrestrial network can be considered to provide those services seamlessly and cooperatively. This paper presents efficient cooperative transmission architectures for integrated satellite and terrestrial network. First, an integrated satellite and terrestrial system architectures is introduced, and several cooperative transmission architectures for the integrated system are derived. Extensive performance simulation results reveal that the proposed architectures can improve the system performance and make an efficient transmission.

Key words : Space-Time Code, Integrated Satellite and Terrestrial System, Cooperative Transmission, System Architecture, Mobile Satellite System

### I. 서 론

미래의 통신 서비스에 대한 사용자 요구사항은 다양한 통신 서비스 및 어플리케이션 측면에서 지속적으로 증가하고 있다. 미래의 통신 서비스 중에서 멀티미디어 서비스는 보다 넓은 대역폭, 즉 고속의 데이터 전송율을 요구하는 주요 트래픽이 될 것이다. 또한, 멀티미디어 트래픽 증가와 함께 멀티미디어 방송 및 멀티캐스트 서비스들에 대한 요구가 유니캐스트 서비스보다 훨씬 빠르게 증가할 것으로 예

측된다. 따라서 미래의 통신 시스템에서는 이러한 멀티미디어 방송 및 멀티캐스트 서비스를 경제적, 효과적으로 제공할 수 있는지에 대한 검토가 중요한 이슈가 될 것이다.

위성 네트워크는 지상 네트워크에 비해 훨씬 넓은 서비스 커버리지와 커버리지내에서 균일한 품질의 서비스를 제공할 수 있기 때문에 이동 멀티미디어 방송 및 멀티캐스트 서비스(MBMS: Multimedia Broadcasting and Multicasting Service)를 제공하기에 가장 효과적인 방법 중 하나이다. 그러나 위성 네트

「이 연구는 정보통신연구진흥원의 IT핵심원천기술개발사업의 일환으로 수행되었음(2008-F010-02, IMT-Advanced 위성접속기술개발).」

한국전자통신연구원 위성휴대전송연구팀(Satellite Handheld Transmission Research Team, ETRI)

\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20090728-075

· 수정완료일자 : 2009년 8월 26일

워크의 경우, 대형 빌딩들이 산재해 있는 도심 지역에서는 음영 지역이 많이 발생하는 단점을 가지고 있어 이러한 점을 보완하여 서비스를 효과적으로 제공하기 위해서는 지상 보조 장치가 필수적으로 요구된다.

이러한 측면을 고려할 때, 위성과 지상 보조 장치가 상호 협력하는 형태의 통합 위성 지상 네트워크 구조에서 최적화된 이동 위성 방송 서비스 전달이 이루어질 수 있다. 통합 위성 지상 네트워크는 위성과 지상 보조 장치가 동일한 주파수 자원을 활용하면서 동일한 망 관리 시스템에 의해 제어되는 네트워크 구조를 말하는 것으로서, 서로 독립적인 위성 시스템과 지상 시스템이 상호 연동하는, 즉 서로 다른 망 관리 시스템을 가지고 상호 협력하여 운용되는 하이브리드 위성 지상 네트워크와 구분할 수 있다<sup>11)</sup>.

통합 위성 지상 네트워크에서 놓여준 등과 같은 인구 저밀도 지역에서는 위성 단독으로 서비스를 제공하고, 도심지와 같은 인구 고밀도 지역에서는 지상 보조 장치와 서로 협력하여 고효율 고품질의 멀티미디어 서비스를 끊임없이 제공한다. 이러한 측면에서 통합 위성 지상 네트워크는 위성과 지상의 장점을 최대한 활용하는 협력적 시스템이라 할 수 있다.

통합 위성 지상 네트워크의 예로 저 전력 갭필러가 위성 신호의 수신에 어려운 도심지 등에서 설치되어 있는 우리나라의 위성 DMB(Digital Multimedia Broadcasting)를 들 수 있다<sup>12)</sup>. 이와 유사한 시스템으로 유럽의 DVB-SH(Digital Video Broadcasting-Satellite service to Handheld) 시스템이 있는데, 이 시스템은 지상 보조 장치(CG: Complementary Ground Component)를 도심지에서 보다 고품질 다채널의 서비스를 경제적으로 제공하기 위해 사용한다<sup>13)</sup>.

또 다른 시스템으로 CG와 유사한 기능을 갖는 ATC(Ancillary Terrestrial Component)를 사용하는 미국 Terrestar사의 이동 위성 통신 시스템을 들 수 있다<sup>14)</sup>. Terrestar사의 ATC는 위성 DMB에서의 갭필러나 유럽 DVB-SH에서의 CG가 위성으로부터 신호를 전송 받아 그 신호를 단말에게 중계해 주는 역할을 하는데 반해, 도심지에서 인접 위성 빔의 주파수 자원을 활용하여 위성 네트워크와는 별도로 지상 이동 통신 서비스를 제공하는 역할을 한다. 미국 Terrestar사는 최근 위성을 발사하면서 ATC를 도입하기에 앞서 지상 이동 통신 사업자인 AT&T와 협력하여 도심

지와 같은 지역에서는 지상 네트워크로 서비스를 제공하고, 지상 인프라가 미비한 지역에서는 자사의 위성 네트워크를 사용하는 하이브리드 위성 지상 네트워크 형태로 변경 추진하고 있다.

본 논문에서는 이동 위성 방송 서비스를 제공하기 위해 갭필러와 같은 단순한 중계기가 아니라 적절한 신호 처리 능력을 가지는 지상 보조 장치를 활용하여 위성과 상호 협력 전송하는 통합 위성 지상 네트워크 아키텍처들을 제안하고 그 성능에 대해 분석하고자 한다.

이러한 협력적 전송 아키텍처의 기본적인 개념은 서로 다른 안테나 신호들로부터 다이버시티 이득을 얻기 위해 시공간 부호화를 적용하는 것인데, 시공간 부호화 기술은 총 전송 전력 또는 대역폭의 증가 없이 다이버시티 이득을 다중 경로로부터 얻을 수 있도록 하는 기술이다. 본 논문에서는 하나의 안테나를 갖는 위성과 여러 개의 지상 중계기(지상 보조 장치)가 서로 협력하여 시공간 부호화된 신호들을 전송하여 수신기에서 다이버시티 이득을 실현하는 협력적 전송 아키텍처를 소개한다.

본 논문의 2장에서는 끊임없는 이동 위성 방송 서비스를 제공하기 위한 통합 위성 지상 시스템 아키텍처를 소개하고, 3장에서 이러한 통합 시스템에서 시공간 부호화 기술을 적용한 효과적인 협력적 전송 아키텍처를 소개한 후, 끝으로 몇 가지 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 아키텍처의 성능을 검증하고자 한다.

## II. 통합 위성 지상 시스템 아키텍처

위성 시스템은 이동 방송 서비스를 제공하기 위한 가장 효과적이고 경제적인 방법 중에 하나이며, 이러한 위성 시스템에서 지상 부문과의 통합은 각 부문의 가장 강력한 면을 결합하여 끊임없이 협력하여 서비스를 제공하는 것을 의미한다.

위성 네트워크는 경제적 이유 또는 지형적 요인으로 인해 지상 네트워크 구축이 어려운 시골이나 도서벽지 같은 인구 저밀도 지역에서 경제적으로 이동 방송 서비스를 제공할 수 있고, 지상 네트워크는 고층 건물로 인해 위성 신호가 차폐될 확률이 높은 도심지와 같은 인구 고밀도 지역에서 높은 스펙트럼

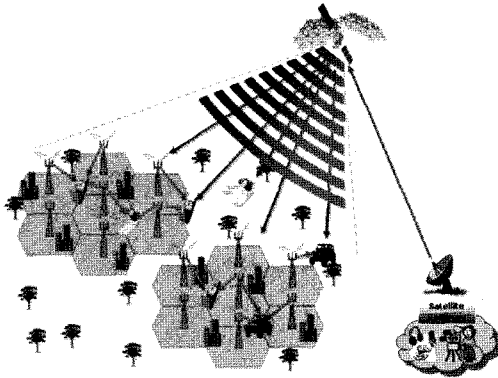


그림 1. 통합 위성 지상 네트워크 시스템 아키텍처  
Fig. 1. System architecture of integrated satellite and terrestrial network.

효율로 이동 방송 서비스를 효과적으로 제공할 수 있다.

그림 1은 끊임없는 이동 위성 방송 서비스를 제공하기 위한 통합 위성 지상 네트워크의 시스템 아키텍처를 보여준다. 통합 위성 지상 네트워크는 그림 1과 같이 정지 궤도(GEO: Geostationay Orbit) 위성과 지상 보조 장치(CGIC)를 가지는 다수의 지상 셀, 그리고 사용자 단말로 구성된다. CGIC는 도심지와 같은 인구 밀집 지역에서 주로 나타나는 위성 신호 음영 지역에서의 서비스 연속성을 보장하기 위해 위성으로부터의 방송 신호를 증폭하여 사용자 단말에 전송하는 역할을 한다. 이 시스템에서 사용자 단말은 방송 콘텐츠를 위성 링크 또는 CGIC 링크만을 통해 수신하거나 위성과 CGIC 링크 모두로부터 동시에 수신하는 것이 가능하여야 한다.

그림 1과 같은 시스템 아키텍처에서, CGIC와 위성은 시공간 부호화된 신호를 전송하기 위해 상호 협력할 수 있으며, 이때 CGIC는 단순 중계기라기보다 신호를 처리하고 부호화할 수 있는 능력을 가져야 하며, 사용자 단말은 이러한 시공간 부호화된 신호를 수신할 수 있는 능력을 가져야 한다. 3, 4장에 이러한 협력적 전송에 대한 상세한 구조 및 성능 분석을 제시하였다.

### III. 위성 방송 서비스를 위한 협력적 전송 아키텍처

#### 3-1 Alamouti 부호 개념

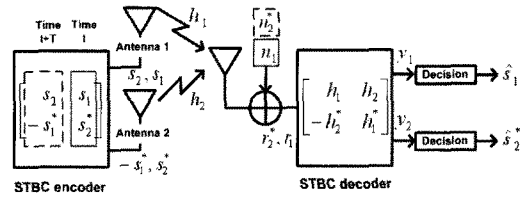


그림 2. 통합 Alamouti 부호 개념  
Fig. 2. Concept of Alamouti code.

Alamouti는 1998년 그림 2와 같은 간단한 형태의 시공간 블록 부호를 개발하였다<sup>[5]</sup>.

안테나 1, 2와 수신기 사이의 채널 페이딩을 각각  $h_1, h_2$ 로 모델링하고, 두 개의 연속된 심플 주기인  $2T$  시간 동안 채널 페이딩이 일정하다고 가정할 때, 송신 신호  $s_1, s_2$ 에 대한 시간  $t, t+T$ 에서의 수신 신호  $r_1$ 과  $r_2$ 는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} r_1 &= h_1 s_1 + h_2 s_2^* + n_1 \\ r_2 &= h_1 s_2 - h_2 s_1^* + n_2 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $n_1$ 과  $n_2$ 는 수신기 잡음 및 간섭을 나타내는 복소 랜덤 변수들이다. 그림 2의 시공간 블록 부호 복호기는 수신된 신호를 적절히 결합하여 식 (2)와 같이 두 개의 신호를 생성한다.

$$\begin{aligned} y_1 &= h_1^* r_1 - h_2 r_2^* \\ &= (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_1 + h_1^* n_1 - h_2 n_2^* \\ y_2 &= h_2^* r_1 + h_1 r_2^* \\ &= (|h_1|^2 + |h_2|^2) s_2^* + h_2^* n_1 + h_1 n_2^* \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)와 같이 생성된 신호  $y_1, y_2$ 로부터 적절한 검파를 거쳐 원래의 송신 신호  $s_1, s_2$ 를 복원한다. 본 논문에서는 이러한 시공간 부호화 규칙을 통합 위성 지상 네트워크에 적용하고자 한다.

#### 3-2 통합 위성 지상 네트워크에서의 시공간 부호화

시공간 부호화는 고속의 무선 application에서 매우 매력적인 장점을 가진다. 지상 시스템의 경우, 여러 개의 송신 안테나를 사용하면 이들로부터의 수신 신호는 서로 독립적임을 가정할 수 있어 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 반면, 하나의 위성을

사용하는 위성 시스템에서는 위성에 여러 개의 송신 안테나를 탑재하여 사용하더라도 위성과 사용자 단말간의 거리가 송신 안테나들 사이에 거리에 비해 매우 길어 각 안테나로부터의 경로가 서로 유사하게 보이기 때문에 수신 신호가 서로 독립적이라 할 수 없어서 다이버시티 이득을 얻기가 매우 어렵다.

통합 위성 지상 네트워크의 경우에는 사용자 단말에서 위성과 CGC(지상 보조 장치)로부터 수신되는 신호들은 서로 독립적이라 가정할 수 있으므로 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 즉, 시공간 부호화된 전송을 위해 지상 시스템과 같이 하나의 송신기에 여러 개의 안테나가 존재하는 것이 아니라 하나의 안테나를 가지는 위성과 CGC를 사용하여 상호 협력 전송함으로써 다이버시티 이득을 얻는다.

본 논문에서 제안하는 시나리오에서 CGC들은 단순 중계기가 아니라 전송 다이버시티를 위한 다중 안테나 구성 요소로서 고려된다. 이러한 위성과 CGC를 이용한 협력 전송 기법으로 시공간 부호화를 적용하는 방법에 따라 3가지 경우를 제안하였다.

첫 번째 협력 전송 기법은 그림 3과 같이 위성과 CGC 사이의 공간 다이버시티를 이용하는 것이다. 시공간 부호화된 신호의 전송을 위해 본 논문에서는 3GPP WCDMA 무선 인터페이스에서 사용되어진 Alamouti 시공간 부호화 기법을 적용한 신호를 고려한다<sup>[6]</sup>. 그림 3에서 위성은 안테나 1로 매핑되어 위성 안테나를 통해 2T 시간 주기 동안 연속적으로 신호 집합  $[s_1, s_2]$ 를 전송한다. 이 기법에서 위성은 수신되는 신호를 그대로 전달하기 때문에 기존의 위성 방송 시스템과 같이 어떠한 부호화 능력도 가질 필요가 없다. 이 기법에서 모든 CGC들은 안테나 2로 매핑되어 위성으로부터 신호 집합  $[s_1, s_2]$ 를 수신한 후 그것을  $[s_2^*, -s_1^*]$ 로 신호 처리한 후 2T 시간 주기 동안 연속적으로 그 신호 집합을 사용자 단말로 전송한다. 이러한 협력적 모델은 사용자 단말이 위성과 CGC로부터 신호를 모두 수신할 수 있을 때 예를 들어, CGC 셀의 경계지역에 사용자 단말이 있을 때 고려될 수 있다. 사용자 단말은 두 개의 서로 다른 신호 집합을 수신하기 때문에, Alamouti 기법을 위한 기존의 복호화 알고리즘을 사용함으로써 협력 전송 다이버시티를 얻을 수 있다<sup>[5]</sup>.

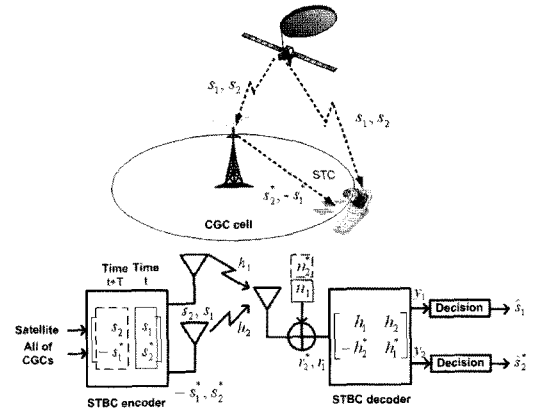


그림 3. 위성-CGC 협력 전송 기법  
Fig. 3. Cooperative transmission scheme between satellite and CGC.

전송 다이버시티 이득은 사용자 단말에서 수신되는 위성 신호와 CGC 신호들 간의 평균 전력 비와 채널 페이딩 특성에 따라 달라진다. 일반적으로, 위성 채널은 라이시안 페이딩 특성을 가지고, CGC 채널은 레일레이 페이딩 특성을 가지며, 위성 신호의 평균 전력은 CGC 신호의 전력보다 낮다. 이러한 두 개의 다른 신호들 사이의 다른 평균 전력비와 채널 특성에 따른 시스템 성능 영향은 다음 장에서 모의실험 결과를 통해 다룬다.

위성과 CGC간의 협력 전송 다이버시티 이득을 얻기 위해서는 기본적으로 두 개의 다른 신호들 간의 시간 동기화가 필수적으로 요구된다. 이러한 시간 동기를 위해 우리나라의 위성 DMB는 단말로 직접 송신하는 위성 신호는 CDM(Code Division Multiplexing)으로 S 대역에서 전송하고, 갭필러로 전송하는 신호는 TDM(Time Division Multiplexing)으로 Ku 대역에서 전송한 후, 갭필러에서 TDM 신호를 CDM 신호로 신호 처리하여 S 대역으로 사용자 단말로 전송하기 때문에, 사용자 단말에 직접 전송하는 CDM 신호를 갭필러로 전송하는 TDM 신호보다 지연을 가지고 전송함으로써 갭필러에서의 CDM 신호와 위성의 CDM 신호간의 동기를 맞추는 방식을 채택하고 있다<sup>[2]</sup>. 이 경우 전파 경로에 따라 두 신호간에 약간의 지연이 발생하게 되는데, 레이크 수신기를 사용함으로써 지연 성분을 분리해 낼 수 있다. 그러나 직교 주파수 분할 다중화(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)기법을 사용하는 시스템

의 경우에는 레이크 수신기를 사용할 수 없으므로 사용자 단말에서 두 신호 간의 전파 지연은 OFDM 무선 인터페이스의 보호 구간 이내에서 수신되어야 성능 열화가 없게 된다. 이러한 OFDM 기반의 시스템에서의 위성과 CGC간 신호 동기 방법은 이동 위성 방송 서비스 제공을 위한 유럽의 DVB-SH 시스템에서 이미 구현되어 있으므로<sup>[7]</sup>, 본 논문에서는 두 신호 간의 동기가 적절히 이루어짐을 가정하였다.

또한 위성으로부터 CGC로의 신호 전송이 발생시킬 수 있는 유해한 간섭을 제거하기 위해 위성과의 링크는 위성과 사용자 단말 및 CGC와 사용자 단말간의 링크에 사용되는 주파수와 서로 다른 주파수를 사용하는 것으로 가정하였다.

두 번째 협력 전송 기법은 그림 4와 같이 CGC들 사이의 공간 다이버시티를 이용하는 것이다. 모든 CGC들은 안테나 1로 매핑되는 그룹과 안테나 2로 매핑되는 그룹으로 나뉜다. 안테나 1로 매핑되는 CGC 그룹 1은 위성으로부터 신호 집합  $[s_1, s_2]$ 를 수신한 후 그것을 사용자 단말에 단순 증폭하여 전달하는데 반해, 안테나 2로 매핑되는 CGC 그룹 2는 위성으로부터 수신된 신호 집합  $[s_1, s_2]$ 를 복호 및 신호 처리 후에 신호 집합  $[s_2^*, -s_1^*]$ 를 생성하여 두 심볼을 2T 시간 주기 동안에 사용자 단말에게 연속적으로 전송한다.

이러한 협력적 모델은 사용자 단말이 위성으로부터 신호를 수신하기가 어려운 지역인 도심지에서 두 개의 CGC 셀 경계나 세 개의 CGC 셀 경계 지역 등

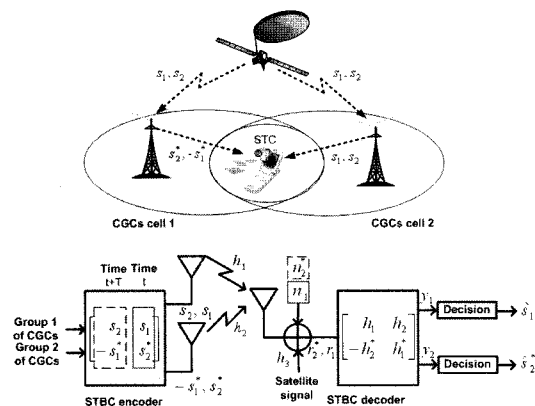


그림 4. CGC-CGC 협력 전송 기법  
Fig. 4. Cooperative transmission scheme between two CGCs.

에서 고려될 수 있다.

이러한 협력 전송 기법은 그림 3의 경우와 마찬가지로 두 CGC 그룹으로부터의 수신되는 신호들간의 시간 동기화가 적절히 이루어져야 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. CGC들 간의 하향 링크 동기는 동기식 CDMA 시스템에서와 같이 GPS 등을 이용하면 가능할 것으로 예측된다. 이 기법에서 위성 신호와 CGC 신호들 사이의 동기는 보장하지 않는다고 가정하여 위성 신호에 의한 간섭의 영향을 다음 장에서의 실험을 통해 분석하였다. 이 협력 전송 기법에서도 그림 3과 마찬가지로 위성과 CGC간의 링크는 위성과 사용자 단말 및 CGC와 사용자 단말간의 링크에 사용되는 주파수와 서로 다른 주파수를 사용하는 것으로 가정하였다.

세 번째 협력 전송 기법으로 그림 5와 같이 위성과 두 개의 CGC를 사용하는 방안이 있다. 위성은 안테나 1로 매핑되어 신호 집합  $[s_1, s_2]$ 를 2T 시간 주기 동안 두 심볼을 연속적으로 전송한다. 다음으로 CGC 그룹 1의 경우 안테나 2로 매핑되어 위성으로부터 수신된 신호 집합  $[s_1, s_2]$ 를 복호 및 신호 처리 후에 신호 집합  $[s_2^*, -s_1^*]$ 를 생성하여 사용자 단말에게 송신한다.

지금까지는 그림 3과 유사하게 Alamouti 부호화 기법을 적용하였지만, 이 기법에서 안테나 3으로 매핑되는 새로운 CGC 그룹 2는 위성으로부터 받은 신호 집합  $[s_1, s_2]$ 를 복호한 후 Alamouti의 두 신호

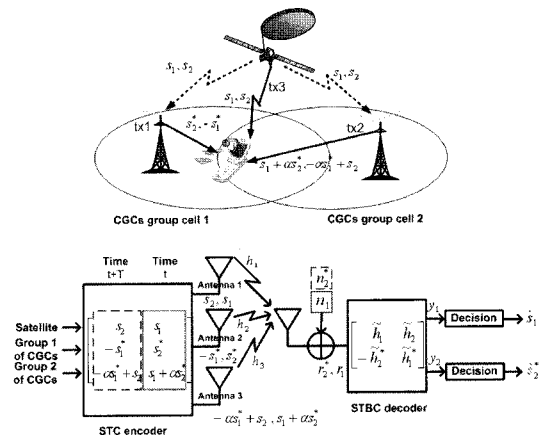


그림 5. 위성-CGC-CGC 협력 전송 기법  
Fig. 5. Cooperative transmission scheme between satellite and two CGCs.

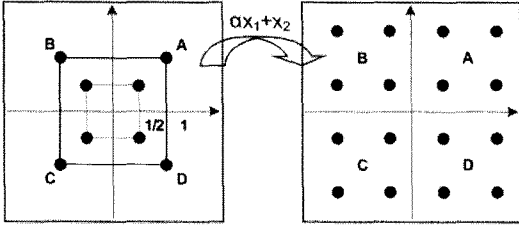


그림 6. 안테나 3으로부터 전송되는 신호의 변조  
Fig. 6. Signal modulation from antenna 3.

집합의 적절한 결합을 위한 신호처리를 통해 새롭게 부호화된 신호 집합  $[s_1 + \alpha s_2^*, -\alpha s_1^* + s_2]$ 을 2T 시간 주기 동안 사용자 단말에게 전송한다.

여기서 변수  $\alpha$ 는 실수 값이며 최적의  $\alpha$ 값을 선택이 필요하다. 예를 들어,  $\alpha$ 가 0의 값을 가질 때, 안테나 3의 기능은 안테나 1과 같기 때문에 CGC 그룹 2는 위성과 동일한 신호를 전송하게 되어 이 기법은 그림 4의 협력 기법과 같은 구조를 갖는다. 다만 여기서는 위성 신호가 CGC 신호와 동기화 되어 있다는 가정을 추가로 적용하게 된다.

또 다른 예로,  $\alpha$ 가 1/2의 값을 가지고  $[s_1, s_2]$ 가 QPSK 신호로 전송될 때, 3개의 안테나들은 각각 다른 기능을 가지며, 안테나 3에서 전송되는 신호는  $x_1$ 과  $x_2$ 가 각각 안테나 1과 안테나 2에서 전송되는 신호라고 할 때, 그림 6과 같이 16QAM으로 변조된다. 이와 같이 CGC 그룹 2는 변수  $\alpha$ 에 대해서 0 이나 1/2 대신에 전송 다이버시티 이득을 최대로 얻기 위해 가장 적절한  $\alpha$ 값을 선택할 수 있다.

그림 5의 협력 전송 기법에서도 다이버시티 이득의 양은 사용자 단말에서 위성과 CGC들로부터 수신되는 신호들 사이의 다른 평균 전력 비와 서로 다른 채널 페이딩 특성에 따라 달라지게 된다.

이 협력 전송 기법에서도 위성과 CGC 신호들 사이의 동기화를 가정하였고, 또한 위성과 CGC간의 링크는 위성과 사용자 단말 및 CGC와 사용자 단말 간의 링크와 서로 다른 주파수를 사용하는 것으로 가정하였다.

#### IV. 모의 실험 결과 분석

##### 4-1 모의 실험 환경

통합 위성 지상 시스템에서 제안된 시공간 블록

부호를 적용한 협력 전송 기법의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 위성과 CGC로부터 사용자 단말까지의 링크에 대해 각각 다른 채널 모델을 고려하고, 전송 신호는 QPSK로 변조된다고 가정하였다.

여기서 위성으로부터 사용자 단말까지의 채널 페이딩은  $K$  지수 7 dB의 값을 갖는 라이시안 분포를 가지며, CGC로부터의 채널 페이딩은 레일레이 분포를 갖는다고 가정하였다. 또한, 채널 페이딩은 두 개의 연속적인 심볼 주기 동안 일정하며, 사용자 단말은 파일럿 같은 제어 신호를 이용하여 채널 정보를 정확히 알고 있다고 가정하였다.

마지막으로 채널의 오류 정정 부호로는 디지털 오디오 방송(DAB), 디지털 비디오 위성방송(DVB-S), WLAN, mobile WiMAX 등 많은 무선 시스템에서 규격화된 그림 7과 같은 길쌈 부호(convolutional code)를 적용하였다. 부호화기는 생성 다항식  $[171\ 133]$ 을 사용하여 부호화율 1/2, 구속장 7인 길쌈 부호화된 심볼을 발생시키고, 수신된 심볼은 Viterbi 알고리즘을 통해 복호되는 것으로 가정하였다.

시공간 블록 부호를 적용한 협력 전송 기법의 성능은 사용자 단말에서 위성과 CGC들로부터 수신되는 신호들 사이의 평균 전력 비에 따라 달라지게 되는데, 이러한 영향을 분석하기 위해 수신되는 신호들 사이의 평균 신호 전력 비  $\rho$ 를 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$\rho = \frac{P_{CGC} - \text{사용자 단말 링크}}{P_{\text{위성}} - \text{사용자 단말 링크}} \quad (3)$$

본 논문에서 제안된 협력 전송 기법들의 성능 평가를 위해  $\rho$ 가 각각 0, 10, 20, 30 dB일 경우 위성과 사용자 단말 사이의 링크에 대한 전력 분포가 그림 8과 같은 누적 밀도 함수(CDF: Cumulative Density Function)에 따른다고 가정하였다. 본 전력 분포는 위성과 사용자 단말 사이의 링크가  $K$  지수 값이 7 dB인 라이시안 채널이라 가정할 경우, 사용자 단말에

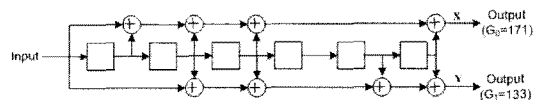


그림 7. 길쌈 부호화기(부호화율 1/2, 구속장 7)  
Fig. 7. Convolutional encoder(code rate 1/2, constraint length 7).

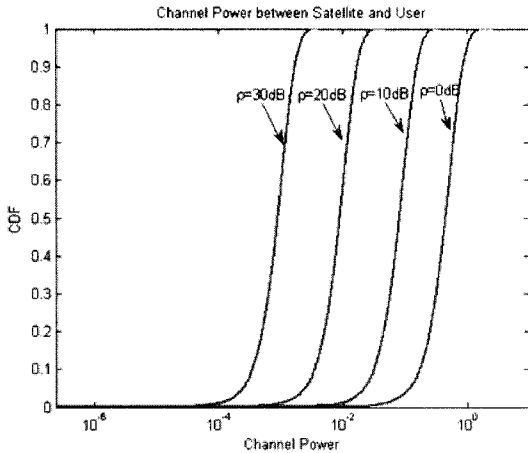


그림 8. 위성-사용자 단말 링크의 전력 분포  
Fig. 8. Power distribution of satellite-user terminal link.

서의 위성 신호 수신 전력 분포를 나타낸 것이다.

4-2 모의 실험 결과

그림 9는 평균 전력 비  $\rho$  가 0, 10, 20, 30 dB 값을 가질 때, 그림 3과 같은 위성과 모든 CGC간의 협력 전송 기법에 대해 오류 정정 부호를 적용하지 않았을 경우의 비트 오류율(BER) 성능을 보여준다.

그림 9에서 보듯이, 위성과 CGC 링크의 평균 수신 전력 비  $\rho$  가 클수록 유효 채널 모델에서의 한성분에 대한 값이 작아지므로 성능 곡선의 기울기가

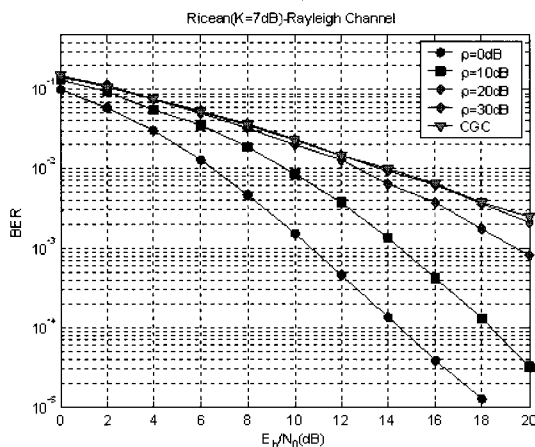


그림 9. 위성-CGC 협력 전송 기법의 BER 성능(오류 정정부호가 없는 경우)  
Fig. 9. BER performance of cooperative transmission scheme between satellite and CGC(without error correction code).

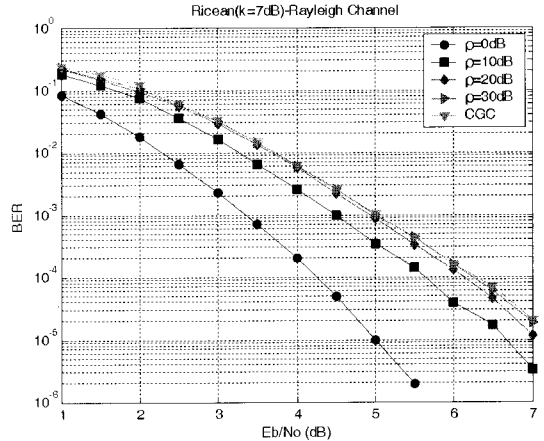
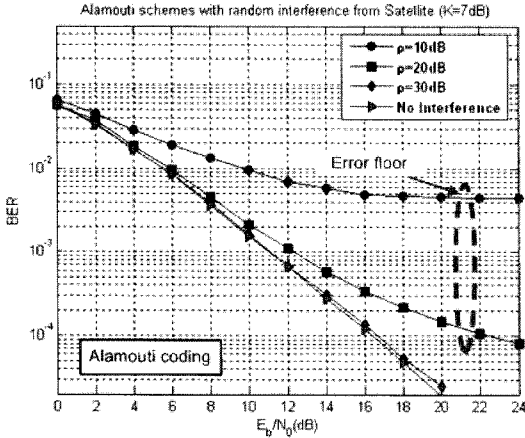


그림 10. 위성-CGC 협력 전송 기법의 BER 성능(오류 정정 부호 적용)  
Fig. 10. BER performance of cooperative transmission scheme between satellite and CGC(with error correction code).

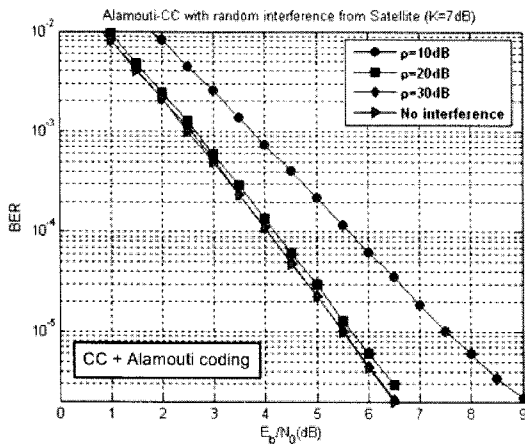
작아진다. 이는 위성과 사용자 단말 링크의 전력이 감소하므로 사실상 다이버시티 이득이 감소하고, 이에 따라 수신 성능이 열화됨을 의미한다. 그림 9에서  $\rho$  가 20 dB 이상이면 다이버시티 이득이 거의 없음을 알 수 있다.

그림 10은 그림 9와 같은 조건에서 채널의 오류 정정 부호로 길쌈 부호를 적용했을 때 BER 성능을 보여준다. 오류 정정 부호로 인해 그림 9에 비해 약 10 dB 이상 성능이 개선됨을 알 수 있고, 이 경우도  $\rho$  가 20 dB 이상의 값을 가지면 다이버시티 이득이 거의 없음을 알 수 있다. 또한,  $\rho$  가 0 dB일 때와  $\rho$  가 20 dB일 때의 성능 차가 BER=10<sup>-4</sup>에서 약 2 dB 정도 있음을 알 수 있다. 그림 9의 경우는  $\rho$  값에 따른 성능 차가 BER 10<sup>-4</sup>에서 10 dB 이상인데 반해, 오류 정정 부호를 적용함으로써 통합 위성 지상 네트워크에서 위성과 CGC 사이의 전력 불균형으로 인한 성능 열화가 오류 정정 부호화에 의해 어느 정도 극복될 수 있음을 알 수 있다.

그림 11은 그림 4와 같이 두 개의 CGC 그룹들 사이의 협력 전송 기법에 대한 BER 성능을 보여준다. 여기서 위성으로부터 사용자 단말에 전송되는 신호는 사용자 단말 관점에서 CGC 신호와 동기화되어 있지 않다고 가정하였으므로, K 지수 값이 7 dB인 라이시안 채널을 거쳐 평균 수신 전력비  $\rho$  에 따라 사용자 단말에 간섭을 주게 된다.



(a) 오류 정정 부호 미적용 시  
(a) Without error correction code



(b) 오류 정정 부호 적용 시  
(b) With error correction code

그림 11. CGC-CGC 협력 전송 기법의 BER 성능  
Fig. 11. BER performance of cooperative transmission scheme between two CGCs.

그림 11(a)는 오류 정정 부호를 적용하지 않았을 경우의 BER 성능을 보여준다. 그림으로부터  $\rho$  값이 클수록 위성으로부터의 간섭 성분이 줄어들게 되므로  $\rho$ 가 30 dB 값을 가질 때 위성 신호로부터의 간섭을 무시할 수 있으며 협력 기법은 다이버시티 이득을 최대로 얻을 수 있다. 반면,  $\rho$ 가 20 dB 미만의 값을 가질 때 오류 마루(error floor) 현상이 일어남을 알 수 있다.

한편, 그림 11(b)는 길쌈 부호를 적용하였을 때의 두 개의 CGC 그룹들 사이의 제안 협력 모델의 BER 성능을 보여준다. 그림에서 보듯이  $\rho$ 가 20 dB 미만

일 경우에도 오류 마루 현상이 발생하지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 간섭이 있는 환경에서도 시공간 부호와 오류 정정 부호를 적절히 활용하면 어느 정도 간섭을 줄이는 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

그림 10과 그림 11로부터 위성과 CGC사이의 협력 전송 기법이 두 CGC 그룹들 사이의 협력 전송 기법에 비해 우수한 성능을 나타내는데, 이는 위성과 사용자 단말 사이의 링크가 가시경로가 있는 라이시안 채널로서 CGC와 사용자 사이의 레일레이 채널에 비해 훨씬 좋은 특성을 가지고 있기 때문이다.

그림 12는 그림 5와 같은 위성 및 두 CGC 그룹들 사이에서의 협력 전송 기법에 대해 오류 정정 부호를 고려하지 않았을 경우의 BER 성능을 보여준다. 앞의 다른 협력 기법에 비해서 세 번째 협력 기법의 경우  $\rho$ 에 상관없이 거의 일정한 성능을 유지할 수 있는 장점이 있다. 이는 두 CGC 그룹들로부터의 수신 신호가 항상 존재하므로,  $\rho$  값이 커져서 위성 신호가 거의 없는 경우에도 CGC 그룹들간의 다이버시티 이득을 얻을 수 있고,  $\rho$  값이 작아 위성 신호가 있는 경우에는 두 CGC 그룹들로부터의 수신 신호와 위성 신호를 적절히 결합함으로써 거의 일정하게 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

$\alpha=0$ 일 경우, 위성과 CGC 그룹 2로 부터의 수신

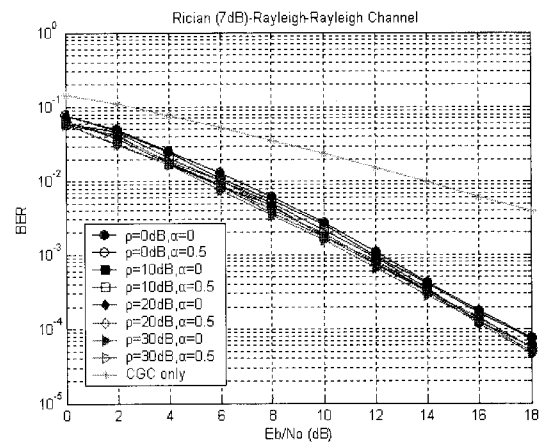


그림 12. 위성-CGC-CGC 협력 전송 기법의 BER 성능(오류 정정 부호 미적용)

Fig. 12. BER performance of cooperative transmission scheme between satellite and two CGCs(without error correction code).



신호 집합  $[s_1, s_2]$ 와 CGC 그룹 1로부터의 수신 신호 집합  $[s_2^*, -s_1^*]$ 들간의 수신 전력 비가  $\rho$  값이 증가함에 따라 1에 가까워지게 되므로,  $\rho=30$  dB 일 때  $\rho=0$  dB 보다 약 1 dB 정도 더 나은 성능을 나타낸다.  $\alpha=0.5$ 인 경우는 위성과 CGC 그룹들로부터의 신호를 적절히 조합함으로써  $\rho$  값에 따른 성능 변화폭은 약 0.5 dB 정도로 작아지지만, 두 수신 신호 집합들간의 전력비가  $\alpha=0$ ,  $\rho=0$  dB인 경우보다는 작고, 항상 1 이상의 값을 가지므로,  $\alpha=0.5$ 인 경우의 BER 성능 그래프는  $\alpha=0$ 인 경우의 BER 성능 변화폭 안쪽에 존재한다.

이러한 위성 및 두 CGC 그룹들 사이에서의 협력 전송 기법에 적용할 최적의  $\alpha$  값을 찾기 위해  $\alpha$  값에 따른 성능 변화를 그림 13과 같이 분석하였다.

그림 13은  $E_b/N_0=12$  dB일 때,  $\alpha$ 가 0에서 1까지 변화함에 따라  $\rho$  값에 따른 BER 성능 변화를 보여준다.  $\alpha$  값이 작을 경우  $\rho$  값이 커지면 성능이 개선되고,  $\alpha$  값이 클 경우  $\rho$  값이 작아지면 성능이 개선되므로, 최적의  $\alpha$  값 선정이 필요하게 되는데, 그림 13의 분석 결과에 따르면  $\alpha$  값이 0.65일 때,  $\rho$  값의 변화에 따른 성능 변화가 거의 없어 사용자에게 항상 일정한 품질의 서비스를 제공할 수 있으므로, 이 값이 적절할 것으로 판단된다.

그러나  $\alpha=0$ 이 아닌 다른 값을 가질 경우 앞 절에서 기술한 바와 같이 그림 5에서 안테나 3에 해당하는 CGC 그룹 2의 송신기는 기존의 변조 신호를 변경해야 하는 단점이 있다.

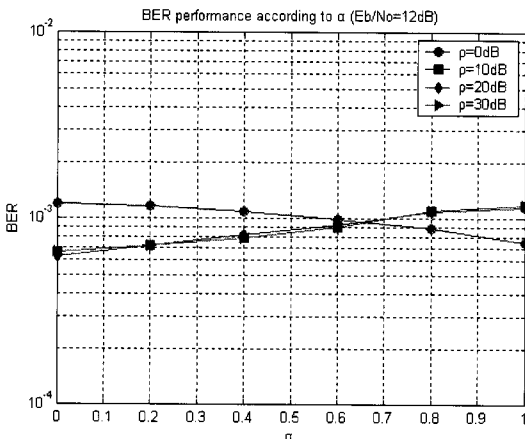


그림 13.  $\alpha$ 에 따른 BER 성능( $E_b/N_0=12$  dB)  
Fig. 13. BER performance versus  $\alpha$  ( $E_b/N_0=12$  dB).

## V. 결 론

본 논문에서는 통합 위성 지상 시스템 아키텍처와 시공간 부호의 기본 개념을 소개하고, 이동 위성 방송 서비스의 전송 성능 향상을 위한 통합 위성 지상 시스템에서의 협력 전송 기법들을 제안하였다. 이어서 제안된 협력 전송 기법에 대한 성능 분석 모의 실험 결과에서, 협력 전송 기법들은 기존의 전송 방법에 비해 충분한 다이버시티 이득을 가지고 BER 성능을 향상시킬 수 있었으며, 특히 위성 및 두 개의 CGC 그룹들간의 협력 전송 기법의 경우 위성 신호와 CGC 신호 간의 평균 수신 전력 비에 상관없이 일정한 성능을 보임을 알 수 있었다.

이러한 성능 이득을 얻기 위해, CGC는 기존의 이동 위성 방송 시스템에서의 단순 중계기로서의 역할이 아닌 부가적인 부호화 및 신호 처리 능력을 보유하고 있어야 한다. 또한, 제안한 협력 전송 기법의 성능 향상은 사용자 단말에서 수신되는 신호들 사이에 동기화가 전제가 되어야 한다. 수신 신호 사이의 동기는 우리나라의 위성 DMB 시스템 및 유럽의 DVB-SH 시스템에서도 운용을 해 고려되고 있기 때문에 기술적으로 해결 가능할 것으로 예측된다.

결론적으로 통합 위성 지상 네트워크에서 제안한 협력 전송 기법은 위성을 통한 전송은 현행과 같이 유지하면서, 지상 CGC 그룹들에서의 신호 처리만을 도입하면 적용 가능한 기술이므로, 현재 우리나라에서 제공되고 있는 위성 DMB에도 갱신퍼들만 수정한다면 바로 도입이 가능한 기술일 뿐만 아니라 이동 위성 방송 시스템의 성능 향상을 가져올 수 있는 유용한 기술이 될 것이라 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Annex 12 to Working Party 4B Chairman's Report on the twenty sixth meeting, Document 4B/85, May 2009.
- [2] Sang-Jin Lee, SangWoon Lee, Kyung-Won Kim, and Jong-Soo Seo, "Personal and mobile satellite DMB services in Korea", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 179-187, Mar. 2007.
- [3] ETSI TS 102 585, *System Specifications for Sa-*

*tellite Services to Handheld Devices below 3GHz*, 2007.

- [4] D. Karabinis, Santanu Dutta, and William W. Chapman, "Interference potential to MSS due to terrestrial reuse of satellite band frequencies", *23th International Communications Satellite Systems Conference(ICSSC)*, Sep. 2005.
- [5] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE Jour-*

*nal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1258, Oct. 1998.

- [6] 3GPP TS 25.101 v.6.7.0, *Technical Specification Group Radio Access Network; User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception(FDD)*, Release 6.
- [7] ETSI EN 301-790, *Digital Video Broadcasting(DVB); Interaction channel for satellite distribution systems*, V1.4.1, Sep. 2005.

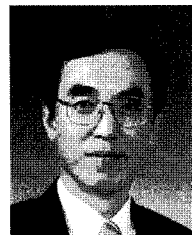
### 안 도 섭



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1990년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 팀장 책임연구원  
 2002년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 위성통신, 성층권통신(HAPS) 등

### 박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
 1984년 2월: 미국 University of California, Santa Barbara (공학박사)  
 1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson  
 1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson  
 2000년~2001년: 한국전자파학회 학회장  
 2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장  
 1976년~현재: 충남대학교 전자공학과 교수  
 [주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC