

무선통신 기반의 열차제어시스템 성능 향상을 위한  
Alamouti 방식 적용에 관한 연구  
The Study of Alamouti Transmission for Improvement of Wireless  
Communication Based Train Control (CBTC) System

안윤섭†                      김동호\*                      정득영\*\*  
Yun-Sub AN                  Dong Ho Kim                  Deuk Young Jenong

ABSTRACT

CBTC(Communication-Based Train Control) system which is based on wireless communication can provide high density operation of the train using location tracking between ground and onboard train. It can also reduces maintenance expense because it does not require the ground equipment for tracking circuit and signal flag and so on. Recently, research and interest have been done on CBTC system. The high-speed trains up to 300km/h experience multi-path fading channel which bring about the performance degradation of wireless CBTC system. In this paper, we consider MIMO (Multi-Input Multi-Output) antenna-based CBTC system for trains with Alamouti-type space-time diversity transmission for reliable communication. Also we model a channel considering practical environment and evaluate performance improvement of proposed CBTC system.

1. 서 론

기존의 열차제어 시스템은 궤도회로를 일정한 간격으로 분리하여 열차의 위치를 검지하는 궤도회로를 기반으로 열차를 제어한다. 이러한 시스템은 고밀도 운행 및 운전시각에 한계가 있다. 무선통신기반의 열차제어 시스템(CBTC: Communication Based Train Control)은 지상과 차상 간 양방향 무선통신을 이용해 열차의 위치 추적과 고밀도 운행이 가능하며 궤도회로 및 신호기 등의 지상설비가 필요 없기 때문에 유지보수 비용을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이러한 이유로 CBTC대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 열차의 300km/h 정도의 고속운행할 경우 페이딩 등에 의한 무선통신 채널의 영향으로 인해 CBTC 시스템의 통신 성능의 열화가 발생하고 이로 인해 열차운행에 지장을 초래하게 될 것으로 예상된다. 본 논문에서는 무선통신망 구성에 있어서는 열차의 안전운행을 위하여 반드시 2중화가 되어야 하므로, 지상의 송신기 안테나에 MIMO 방식인 Alamouti 시공간 부호 기법을 적용하여 전송품질을 향상시켜 열차의 안전운행을 도모하는 방식에 대해 연구를 수행했다. 또한 현재 고려하고 있는 CBTC 시스템의 열차 길이, 지상국과의 거리, 열차의 속도 등의 물리적 특성 및 환경을 고려하여 무선 채널을 모델링 하고 해당 채널 환경에서의 모의실험을 통해 무선통신기반의 열차제어 시스템의 성능 분석 및 타당성에 대해 논의한다.[1]

† 책임저자 : 비회원 서울산업대학교 NID기술융합대학원 석사과정,  
한국철도공사 서울전기 사업소  
E-mail : worktus@hanmail.net  
TEL : (02)3780-5553  
\* 비회원, : 서울산업대학교 NID융합기술대학원 교수  
dongho.kim@snut.ac.kr, 02-970-6417  
\*\* 비회원, : 비회원, 서울산업대학교 NID기술융합대학원 석사과정

## 2. 본 론

### 2.1 CBTC(Communication Based Train Control) 특징

CBTC는 무선통신을 기반으로 하는 열차제어시스템으로 지상과 차상의 양방향 통신을 이용하여 열차를 제어하는 시스템을 말한다. 기존의 방식에서는 열차의 위치 검지를 궤도회로 하기 때문에 궤도회로 장치의 장애시 열차운행에 지장을 초래하고, 유지보수를 위한 비용도 많이 소비되었다. 그러나 무선통신 기반의 열차제어시스템(CBTC)은 열차의 위치, 속도, 기타 차량정보를 연속적으로 양방향통신을 하기 때문에 지상에 설비되는 신호기, 궤도회로 장치등이 필요없어 초기 시설비용과 유지보수 비용의 절감을 기대할 수 있으며, 열차간격을 줄여 고밀도운행이 가능해 선로 이용율을 대폭 향상시킬 수 있다. 이러한 이유로 우리나라도 2002년~2005년 약 3년에 걸쳐 분당선에 지능형열차제어시스템 시범설비를 구축하였다. 무선통신을 기반으로 하는 열차제어시스템은 유럽방식인 ETCS Level 2에서의 GSM-R(Global System for Mobile communication-for Railways)방식이 있고, 미국의 중량전철, 경량전철을 대상으로 한 ISM밴드를 사용하는 2.4[GHz]대역으로 IEEE std 1474에서 표준화를 한 방식이 있다.[2]

### 2.2 Alamouti 시공간 부호 기법

Alamouti 부호화기의 출력은 2개의 송신 안테나로부터 2번의 전송 구간 동안 전송된다. 첫 번째 전송 구간에서는 1번 송신 안테나에서  $x_1$ , 2번 송신 안테나에서  $x_2$ 가 전송되고, 두 번째 전송 구간 동안에는 1번 송신 안테나에서  $-x_2^*$ , 2번 송신 안테나에서  $x_1^*$ 을 전송한다. 1번, 2번 안테나에서 전송되는 신호는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} T_X1: X^1 &= [x_1 \quad -x_2^*] \\ T_X2: X^2 &= [x_2 \quad x_1^*] \end{aligned} \quad (1)$$

부호 행렬은 식 (2)와 같다.

$$XX^H = \begin{bmatrix} |x_1|^2 + |x_2|^2 & 0 \\ 0 & |x_1|^2 + |x_2|^2 \end{bmatrix} = (|x_1|^2 + |x_2|^2) \cdot I_2 \quad (2)$$

$I_2$ 는  $2 \times 2$  단위행렬이다.

1번 송신 안테나와, 2번 송신 안테나의 채널 계수 값은  $h_1(t)$ ,  $h_2(t)$ 라 하고, 채널 계수 값은 식 (3)을 만족한다고 가정한다.

$$\begin{aligned} h_1(t) &= h_1(t+T) = h_1 = |h_1|e^{j\theta_1} \\ h_2(t) &= h_2(t+T) = h_2 = |h_2|e^{j\theta_2} \end{aligned} \quad (3)$$

수신 안테나에서  $t$  시간과  $t+T$  시간 동안  $y_1$ 과  $y_2$ 를 수신하며, 수신 값은

$$\begin{aligned} y_1 &= h_1x_1 + h_2x_2 + z_1 \\ y_2 &= h_1x_2^* + h_2x_1^* + z_2 \end{aligned} \quad (4)$$

이다. 여기서,  $z_1$ 과  $z_2$ 는  $t$ 와  $t+T$  시간의 AWGN을 의미한다.

자승 Euclidian 거리를 계산하여 가장 짧은 거리를 가지는 심볼 벡터를 송신 심볼 벡터로 검출할 수 있다.

$$d^2(y_1, h_1\hat{x}_1 + h_2\hat{x}_2) + d^2(y_2, -h_1\hat{x}_2^* + h_2\hat{x}_1^*) = |y_1 - h_1\hat{x}_1 - h_2\hat{x}_2|^2 + |y_2 + h_1\hat{x}_2^* - h_2\hat{x}_1^*|^2 \quad (5)$$

위와 같은 심볼을 검출하면, ML 추정치는 식 (6)과 같다.[3]

$$\hat{x}_1 = Q\left(\frac{\tilde{x}_1}{|h_1|^2 + |h_2|^2}\right) \quad (6)$$

$$\hat{x}_2 = Q\left(\frac{\tilde{x}_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2}\right)$$

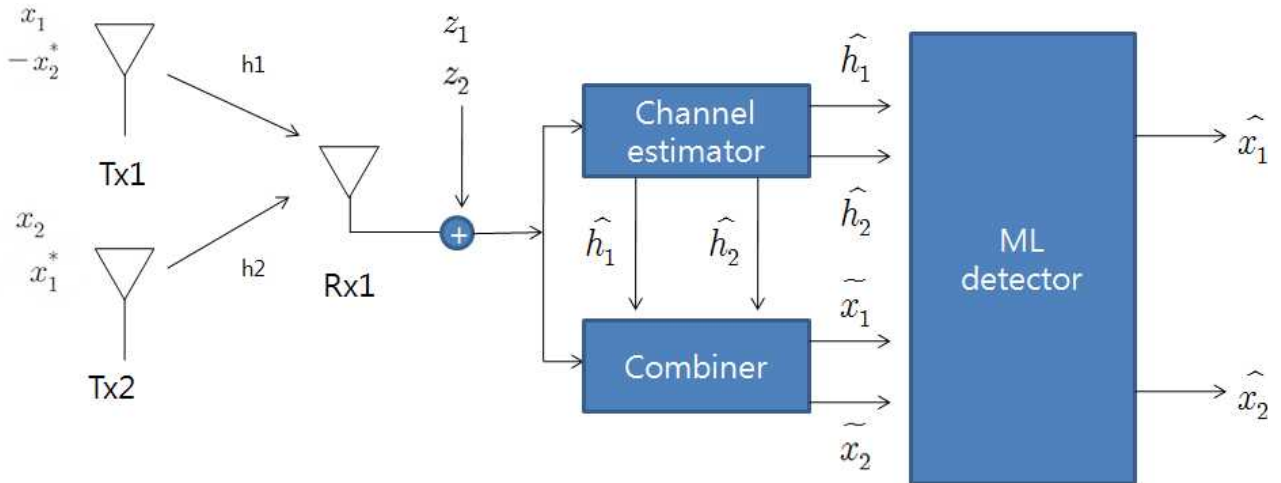


그림 1 Alamouti 2×1 시공간 부호

### 2.3 무선통신 기반 열차제어 시스템에 적용한 Alamouti 시공간 부호 기법

무선통신의 신뢰성과 안전성을 확보하기 위하여 셀은 항상 2중화가 되어야 한다. 이러한 2중화로 인하여 송신기 2개, 수신기 2개가 필요로 하게 되므로 그림2와 같이 2×2 Alamouti 기법을 적용하였다.

그림에서의 수신 신호는 식(7)와 같다.

$$\begin{aligned} y_{11} &= h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + z_{11}, \\ y_{12} &= h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + z_{12}, \\ y_{21}^* &= h_{12}^*x_1 - h_{11}^*x_2 + z_{21}^*, \\ y_{22}^* &= h_{22}^*x_1 - h_{21}^*x_2 + z_{22}^*, \end{aligned} \quad (7)$$

ML(Maximum likelihood)의 입력 신호  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2$ 는 식(8)와 같다.

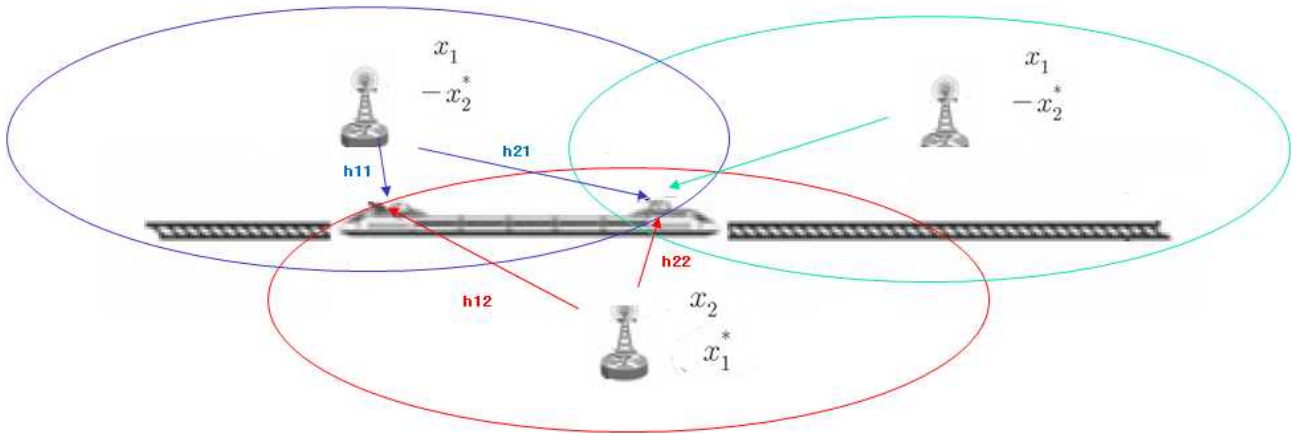


그림 2 Alamouti 시공간 부호 기법을 적용

$$\tilde{x}_1 = h_{11}^* y_{11} + h_{21}^* y_{12} + h_{12} y_{21}^* + h_{22} y_{22}^*$$

$$\tilde{x}_2 = h_{12}^* y_{11} + h_{22}^* y_{12} - h_{11} y_{21}^* - h_{21} y_{22}^*$$

ML(Maximum likelihood)의 추정치  $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ 는 식(9)와 같다.[4]

$$\hat{x}_1 = Q \left[ \frac{\tilde{x}_1}{|h_{11}|^2 + |h_{22}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2} \right] \quad (9)$$

$$\hat{x}_2 = Q \left[ \frac{\tilde{x}_2}{|h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 + |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2} \right]$$

#### 2.4 성능평가

실험은 Rayleigh 페이딩 채널 환경과, 수신단은 완벽하게 채널 정보를 알고 있다고 가정하여 무선통신을 기반으로 하는 열차제어시스템에 MRC(Maximal Ratio Combining) 1×2와 Alamouti 2×2를 적용하였다. 그림3에서 보듯이 Alamouti 2×2가 BER 성능곡선이 더 좋은 것을 확인할수 있다.

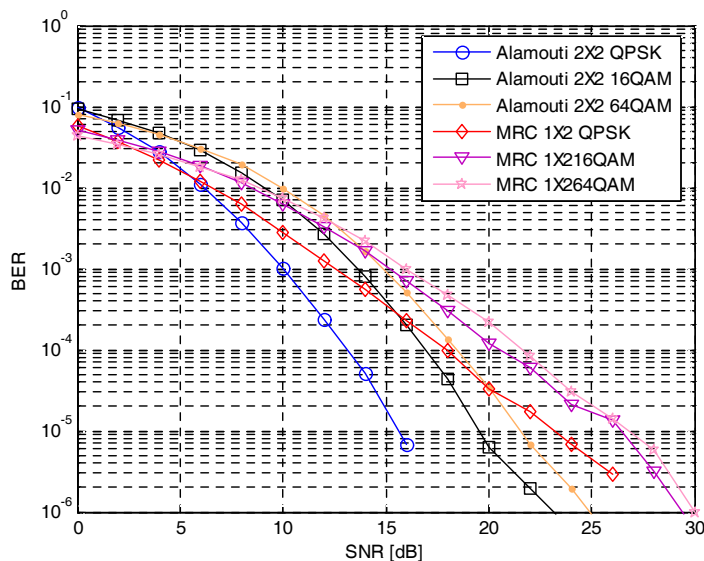


그림 3 MRC, Alamouti 실험 결과

### 3. 결 론

무선통신을 기반으로 하는 열차제어 시스템은 무선통신의 신뢰성을 확보하기 위하여 망을 2중화해야 한다. 그러므로 다중 송수신 안테나를 가지는 열차제어시스템을 가정하여 Alamouti 시공간 부호 기법을 적용하여 모의실험을 수행하였다. Alamouti 시공간 부호 기법은 2개의 송신 안테나에서 생성된 신호가 직교성이 성립되기 때문에 Maximun likelihood 복호가 가능하다. 본 논문에서 제안한 Alamouti 시공간 부호 기법은 다수의 송수신 안테나를 가지는 열차운행제어시스템에서 BER 성능이 향상된 것을 알 수 있다.

### 참고문헌

1. 김용상, 고동환, 은창수, 김백현, 윤용기, “CBTC를 위한 상용 WCDMA망의 적용 가능성 연구” 한국철도학회 추계학술대회 논문집 2008년 pp. 1138~1144
2. 한국철도기술연구원, “무선통신기반 열차제어를 위한 통신시스템 구축방안에 관한 연구” 한국철도학회논문집 2006년 pp. 257~263
3. 조용수, 김재권, 양원영 “MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB” 2008년 pp. 391-394
4. Arogyaswami Paulraj, Rohit Nabar, Dhananjay Gore “Space-time Wireless Communications” 2003년 pp. 97-98