

# FANET 운용환경에서의 송신 다이버시티 성능 분석

손으뜸효태, 안현준, 차윤제

한화시스템

tai0912.son@hanwha.com, hyunjun.ahn@hanwha.com

[chayj1120@hanwha.com](mailto:chayj1120@hanwha.com)

## Transmit Diversity Performance Analysis in FANET Operational Environments

Son Eutum Hyotae, Ahn Hyun Jun, Cha Yun Je

Hanwha Systems

### 요약

FANET에서는 비행체에 의한 음영지역이 발생 할 수 있어 송수신 다이버시티를 활용 할 필요가 있다. 더욱이 광대역 통신에서 주파수 선택적 채널은 해결해야 할 과제이며 송신전력 효율도 고려되어야 한다. 본 논문은 송신 다이버시티가 적용된 싱글캐리어 통신방식에서 FANET의 운용환경에서의 예상되는 성능을 분석하고 통신시스템의 설계요소에 대해서 고찰한다.

## I. 서론

군집 무인기 시스템에서 FANET 기술은 충돌방지 및 협업 관점에서 상당히 중요한 기술적 과제이다. 다수의 노드가 P2P로 통신하는 경우 상당한 수준의 통신자원이 요구되므로 FANET에서는 1:N의 링크를 시분할로 구성하여 N:N 네트워크를 구성하는 것이 효율적이다. 비행체간 무선링크는 동체에 의한 음영지역이 발생할 수 있으며, 이는 송수신 공간 부호화를 통해 해결될 수 있다.[1]-[6] 또한 다수의 노드가 고속으로 이동하므로 광대역에서 시변하는 채널의 추정정확도 확보가 필요하여[7],[8] 주파수 영역에서 채널 보상을 수행하는 싱글캐리어 방식을 적용하는 것이 효과적이다.[9],[10] 본 논문에서는 data FFT 블록단위로 Alamouti precoding이 적용된 시스템에서 FANET의 운용환경을 가정한 무선채널 조건에서의 성능을 분석하고 모델설계 시 고려해야 할 사항을 고찰한다.

## II. 본론

싱글캐리어 방식에서 주파수 영역에 송신다이버시티를 위한 파일럿을 적용하는 방식은 Localized 방식과 Distributed 방식으로 구분할 수 있으며 본 논문에서는 수식 1)~4)와 같이 Localized 방식으로 2개의 송신채널 및 부반송파 쌍이 직교하여 Hermitian 곱으로 간단히 채널을 추정 할 수 있는 파일럿을 채택하였다.

$$\exp(-j(\pi kn(n+2)/N)) \quad \text{----- 수식 1) } * Tx1 \text{ 파일럿}$$

$$\exp(j(\pi(N-k)n(n+2)/N)) \quad \text{----- 수식 2) } * Tx2 \text{ 파일럿}$$

$$P = \begin{vmatrix} p_{11} p_{12} \\ p_{21} p_{22} \end{vmatrix} = \exp(-j\pi \begin{bmatrix} k(n^2-1) & k(n^2+2n) \\ (k-N)(n^2-1) & (k-N)(n^2+2n) \end{bmatrix} / N) - \text{수식 3)}$$

$$PP^H = \exp(-j\pi \begin{bmatrix} 0 & -N(n^2-1) \\ N(n^2-1) & 0 \end{bmatrix} / N) + \exp(-j\pi \begin{bmatrix} 0 & -N(n^2+2n) \\ N(n^2+2n) & 0 \end{bmatrix} / N) = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \quad \text{--- 수식 4)}$$

주파수 선택적 채널에서는 시간영역에서의 채널이 딜레이를 포함하는

CIR 형태이기 때문에 다이버시티를 획득하기 위해서는 채널보상 필터길이에 따라 계산량이 기하급수적으로 증가한다. 그림 1과 같이 FFT 단위로 주파수 영역에 Alamouti Precoding 수행시 허수부에 -1을 곱하고 0 번 부반송파(DC)를 기준으로 순서를 뒤집으면 추가적인 블록 없이 간단히 다이버시티를 위한 송신 블록을 구현할 수 있다.

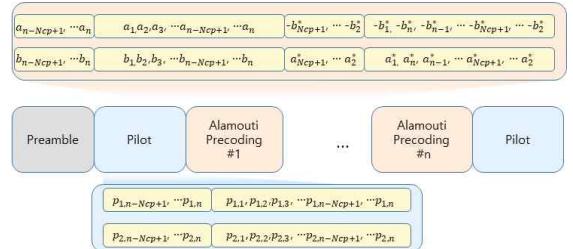


그림 1 송신 프레임 구조

그림 2는 수신부의 구조를 간단히 표현하였다. 채널 추정 및 보상에 추가적인 연산 및 지연을 통해 고도화 된 방식을 적용하면 이득을 얻을 수 있지만, 본 논문에서는 경향을 분석하는 것이 목적이므로 LS 방식의 채널 추정과  $(R, \theta)$ 로 변환된 평면에서 선형보간 통해 채널을 추정하였다. 이때  $Y_{11}$ 과  $Y_{12}$ 는 서로 다른 채널을 경험하였으므로 보간 시 가중치도 달라야 하며 잡음을 추정하여 파일럿 및 데이터 심볼에 반영하였다.

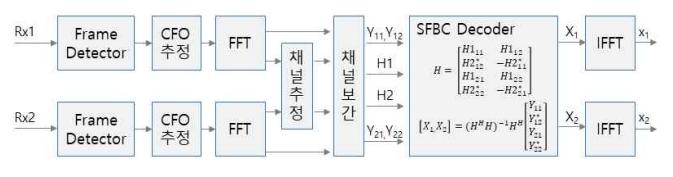


그림 2 수신부 구조

### III. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 3은 제안된 송수신 구조를 기반으로 Full diversity, AWGN에서의 이론값 및 이상적인 채널추정과 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 송수신 구조의 기본적인 검증을 수행하였다. 채널 추정의 Noise enhancement는 0.7dB 수준으로 이후 2-ray 도플러 채널의 결과와 비교해 볼 수 있다.

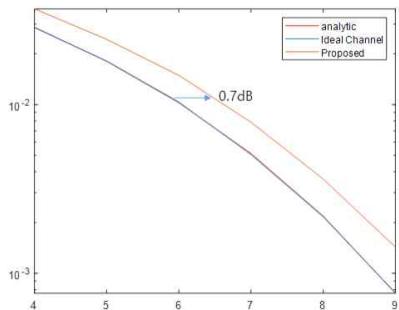


그림 3 시뮬레이터 기본 검증

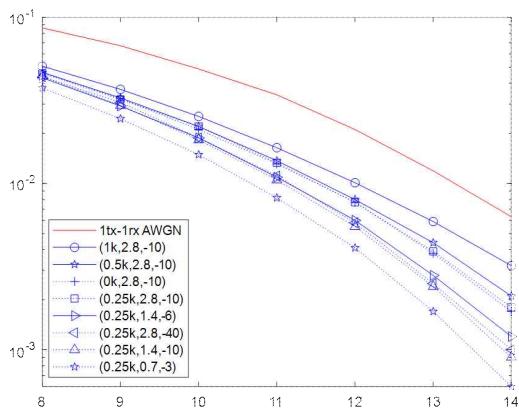


그림 4 2-ray 시변채널 성능

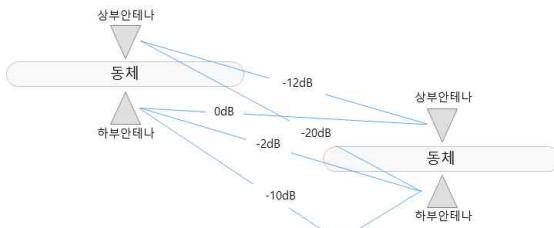


그림 5 동체 음영지역 및 지면반사 모델링

그림 4는 2-Ray 채널을 기반으로 10MHz 대역폭에서 도플러 주파수를 반영하여 시뮬레이션 한 결과이다. 범례는 (고의로 발생시킨 잔여 CFO(Hz), 지면반사 지연시간 상대값(us), 지면반사 신호크기 상대값(dB))이다. 2km 수준의 통달거리에서 지면반사에 의한 지연은 고도 1km에 대해 2.8us 수준이며 안테나 배치를 상/하부로 가정할 때, 시뮬레이션은 그림 5와 같이 Diversity를 가정하였다. 하부송신-상부수신 채널(A)은 LOS 채널이며. 하부송신-하부수신의 경우 채널(A)에 비해 2dB 작게 수신됨을 가정하였다. 지면반사 신호크기는 반사계수, 안테나 이득 및 경로손실을 고려하여 -10dB 수준의 감소값을 적용하였다. 시험결과는 고도가 감소하여 지연시간 감소 및 지면반사 신호크기의 증가하면 성능을 향상 시켰으며, 지면반사 신호만 감소하거나 지연시간만 감소하여도 성능은 향상 되었다. 단, CFO 추정오차 증가에 대해서는 성능이 열화 됨을 확인 할 수 있었다. 만약에 10khz의 추정범위가 요구된다면 25us 간격으로 위상추정 시 10MHz

에서 250개를 초과하는 심볼이 요구되며, 5us 간격은 위상이 18도 수준으로 1도 오차로도 0.5kHz 이상의 오차를 가지게 되므로 요구되는 CFO 추정범위에 따라 적절한 Preamble 길이를 확보할 필요가 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 FANET을 운용환경을 고려하여 송신 Diversity를 가진 Waveform으로 열화가 예상되는 비행체 위치에서 효과적으로 작동함을 확인하였다. 시험결과에서 확인 할 수 있듯이 CFO는 성능을 감소시키므로 프레임 초기 CFO 추정오차를 최소화하기 위해 프리앰블 길이에 여유를 두고, CP 구조등을 활용하여 잔여 CFO를 제거하기 위한 노력이 필요하다. 실제 운용환경에서는 동체 fading 및 프로펠러 간섭 등 본 논문에서 가정하지 못한 여러 가지 열화 요소들이 있겠지만 안테나 배치가 적절하다면 송수신 Diversity 및 주파수영역에서 채널 보상하는 싱글캐리어 방식으로 넓은 커버리지를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] S. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications", IEEE J. Select. Areas Communications, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [2] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. Calderbank, "Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs", IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, no. 5, pp. 1456-1467, July 1999.
- [3] J. Jang, H. Won, and G. Im, "Cyclic Prefixed Single Carrier Transmission with SFBC over Mobile Wireless Channels", IEEE Signal Processing Letters, vol. 13, no. 5, pp. 261-264, May 2006.
- [4] M. Im and H. Kim, "Comparisons on Diversity Techniques for SC-FDE Systems", the Journal of KICS, vol. 33, no. 10A, pp. 964-971, Oct. 2008.
- [5] N. Al-Dhahir, "Single-Carrier Frequency-Domain Equalization for Space-Time Block-Coded Transmission over Frequency-Selective Fading Channels", IEEE Communications Letters, vol. 5, no. 7, pp. 304-306, July 2001.
- [6] H.G. Ryu and D.G. An, "Reduction of Phase Noise Influence in MISO SFBC SC-FDMA System", International Journal of Future Generation Communication and Networking, vol. 5, no. 2, pp. 5-42, June 2012.
- [7] F. Pena-Campos, R. Carrasco-Alvarez, O. Longoria-Gandara, and R. Parra-Michel, "Estimation of fast time-varying channels in ofdm systems using tow-dimensional prolate," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 12, no. 2, pp. 898-907, 2013.
- [8] H. Hijazi, E. P. Simon, M. Lienard, and L. Ros, "Channel estimation for mimo-ofdm systems in fast time-varying environments," 2010 IEEE ISCCSP, pp. 1-6, 2010.
- [9] R. Van Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications. p.33-51, Artech House Publishers, 2000.
- [10] D. Falconer, S. Ariyavasitakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, "Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems", IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp. 58-66, April 2002.