

공중 무인이동체 네트워크 최적 경로 선택에 대한 연구

¹신경호, ¹김진우, ¹박상욱, ¹김형도, ^{2,3}송형규*

¹세종대학교 전자정보통신공학과, ²세종대학교 정보통신공학과, ³세종대학교 지능형드론융합전공
shinkh1000@naver.com, kjwccm@naver.com, share1211@naver.com, gudeh8330@naver.com,
*songhk@sejong.ac.kr

A Study on the Optimal Path Selection for Unmanned Aerial Vehicle Network Systems

¹Kyeong-Ho Shin, ¹Jin-Woo Kim, ¹Sang-Wook Park, ¹Hyoung-Do Kim and ^{2,3}Hyoung-Kyu Song*

¹Department of Electronic Information and Communication Engineering,

²Information and Communication Engineering and ³Convergence Engineering for Intelligent Drone,
Sejong University, Seoul, 209 Neungdong-ro, 05006, Korea

요약

본 논문은 기존의 멀티 홉이 존재하는 무인이동체 네트워크에서 사용하는 경로 선택 알고리즘인 Best Harmonic Mean(BHM)기법의 계산 복잡도를 줄이기 위해 Modified Singular Value Decomposition(SVD)방식의 알고리즘을 제안한다. 다중 홉 시스템에서 BHM 기반 경로 선택 기법을 사용했을 때 노드와 무인이동체 수가 증가할수록 계산량이 증가하여 높은 복잡도를 수반하게 된다. 또한, 기존 BHM 경로 선택 기법과 동일한 성능을 갖는 SVD 기반의 경로 선택 기법은 노드와 무인이동체 수가 증가할수록 계산량이 증가하는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 노드 간 CQI(Channel Quality Information)를 주기적으로 송수신 할 때, 노드 내 사용 가능한 무인이동체들에 대한 인덱스 및 정보만을 마스터로 전송하여 해당 무인이동체들에 대한 특이 값 비교 연산을 수행함으로써 낮은 복잡도를 갖는 경로 선택 기법을 제안한다. 제안되는 Modified SVD기반의 경로 선택 기법은 기존의 BHM과 SVD경로 선택 기법과 근접한 bit-error-rate(BER)와 sum rate성능을 갖는 것이 시뮬레이션 결과를 통해 확인되었다.

I. 서론

다수의 홉과 노드로 구성된 멀티 홉 무인이동체 네트워크는 기존의 기지국과 다중 무인이동체로만 구성된 네트워크에 비해 통신 시스템의 커버리지 향상과 성능 향상을 가져올 수 있다 [1]. 이에 다수의 홉과 노드가 존재하는 무인이동체 네트워크에서는 노드 내의 적절한 중계 무인이동체를 선정하여 최종 수신 무인이동체 또는 특정 목적지까지 데이터를 전송하기 위한 최적의 중계 경로 선택을 위한 기법이 요구된다.

기존의 경로 선택 알고리즘 중 우수한 성능을 보이는 Best Harmonic Mean(BHM) 기법은 네트워크 구성이 단순할 경우 최적의 기법이 될 수 있다. 하지만 본 연구에서 다루는 멀티 홉 네트워크에서는 다소 높은 계산량과 복잡도를 수반하게 된다. 따라서 본 논문에서는 다수의 홉과 노드 내에 다중 무인이동체가 존재하는 확장된 네트워크에서 기존 BHM 기법의 근접한 성능을 보장하며 효율적인 경로 선택을 위한 Modified SVD 방식의 경로 선택 기법을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서는 각 노드 내의 중계 무인이동체에서 Beamforming을 수행하기 위해 모든 무인이동체들은 다중안테나를 가정하며 노드 간의 Channel Quality Indicator(CQI)가 주기적으로 공유된다고 가정한다 [2]. 그리고 3-hop으로 구성되는 멀티 홉 다중 무인이동체 네트워크와 각 노드에서는 4대의 무인이동체를 가정하고 마스터 무인이동체로부터 최종 수신 무인이동체까지의 다운링크 전송을 가정하였다.

2.1 기존의 경로 선택 기법

A. Best Harmonic Mean

식 (1)은 기존의 경로 선택 기법 중 BHM을 나타낸다. 3-홉으로 구성된 네트워크 내에서 H 는 채널 행렬이며 N_u 는 각 노드 내의 무인이동체 수를 나타내고 $i = j = k = 1, \dots, N_u$ 를 만족한다.

$$\frac{3}{|H_i^{Node1}|^{-2} + |H_j^{Node2}|^{-2} + |H_k^{Receiver}|^{-2}} \quad (1)$$

Node 1에 α 대의 중계 무인이동체가 존재하고 Node 2에 β 대의 중계 무인이동체가 존재할 때 최적의 경로를 선정하기 위해 각 홉에서 비교를 위해 요구되는 전체 계산량은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$^1\alpha \times ({}^2\alpha \times {}^2\beta) \times {}^3\beta \quad (2)$$

식 (2)에서 각 첨자는 해당 계산량이 요구되는 각 홉의 인덱스를 나타낸다. 네트워크가 더욱 확장되어 네트워크를 구성하는 홉의 수와 노드 내 무인이동체 수가 증가할 경우 식 (2)에 나타난 계산량은 더욱 증가하여 기존 BHM기법은 다소 높은 복잡도가 갖는 것을 예측할 수 있다.

B. Singular Value Decomposition

본 논문에서는 BHM방식과 비슷한 성능을 보일 수 있는 SVD기반의 경로 선택 기법을 함께 다룬다. 각 홉에 대한 SVD를 수행하고 최적 경로를 선택하기 위해 식 (3a)와 같이 SVD를 통해 얻은 singular value에 대한 합 연산을 수행한다. 이후에 (3b)와 같이 비교를 수행한 후 최적의 경로를 선정한다.

$$\Gamma = \sum_{\alpha=1}^{\alpha} \sum_{\beta=1}^{\beta} \min(\alpha, \beta) \min(\beta, \text{Receiver}) \sum_{\gamma=1}^{\gamma} (\text{diag}(\Sigma_{Node1}^{\alpha}), \text{diag}(\Sigma_{Node2}^{\beta}), \text{diag}(\Sigma_{Receiver}^{\gamma})) \quad (3a)$$

$$\text{optimal path} = \arg \max_{\Gamma} \Gamma \quad (3b)$$

Γ 는 특이 값들의 합에 대한 합산 집합을 나타낸다.

위의 모델에서 SVD경로 선택 기법을 사용하면 식(2)에 따라 $14 \times (24 \times 24) \times 31$ 만크의 계산량이 요구된다. 앞선 BHM기법과 동일하게 네트워크가 확장되면 복잡도가 증가함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 SVD기반의 경로를 활용하여 비교 계산량을 줄인 Modified SVD기반의 경로 선택 기법을 제안한다.

2.2 제안되는 기법

각 노드 내의 중계 무인이동체가 주기적으로 CQI정보를 송수신한다고 가정한다. 각 노드 내의 CQI에 대한 정보를 토대로 전체 네트워크 내에서 해당 노드의 중계 무인이동체로 사용될 수 있는 후보군 무인이동체들에 대한 인덱스 및 정보만을 마스터로 전송한다. 이에 마스터 무인이동체에서는 대폭 줄어든 연산량을 처리한다. SVD분해를 통해 얻어진 Σ 는 내림차순 대각행렬로 나타내는 것을 가정한다.

$$\rho = \frac{N}{100} \quad (4a)$$

$$\Sigma^* = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{K \times \rho}) \quad (4b)$$

$$\Gamma^* = \sum_{\alpha=1}^{\alpha} \sum_{\beta=1}^{\beta} \min(\alpha, \beta) \min(\beta, \text{Receiver}) \sum_{\gamma=1}^{\gamma} (\text{diag}(\Sigma_{Node1}^{\alpha}), \text{diag}(\Sigma_{Node2}^{\beta}), \text{diag}(\Sigma_{Receiver}^{\gamma})) \quad (4c)$$

$$\text{optimal path}^* = \arg \max_{\Gamma^*} \Gamma^* \quad (4d)$$

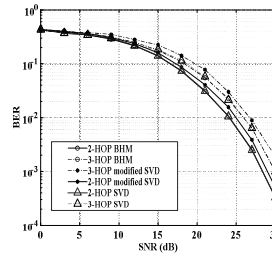
위 식 (4a)에서 ρ 는 노드 내에 존재하는 중계 무인이동체 중 후보군으로 선정될 무인이동체의 수를 결정하는 감소 인자이다. 본 논문에서는 $\rho = 0.5$ 로 가정하여 채널에서 얻어지는 특이 값들 중 상위 50%의 특이 값을 사용한다. 식 (4c)를 통해 수정된 특이 값의 합산 집합에 대한 비교 연산을 수행할 경우 감소 인자 ρ 의 설정 값에 따라 기존에 비해 더욱 낮은 연산 횟수로 최적의 경로를 선정할 수 있다. 이는 신속한 신호 처리와 경로 선정이 요구되는 공중 무인이동체 네트워크 내에서 적절히 작동할 수 있다.

2.3 시뮬레이션 결과

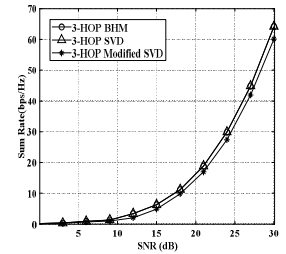
본 논문의 시뮬레이션은 16개의 안테나가 장착된 마스터 무인이동체 1개, 4개의 안테나를 갖는 노드 내 중계 무인이동체 4개, 수신 무인이동체 개가 있는 멀티 홉 다중 무인이동체 시스템을 가정한다. 데이터 스트림 수는 4로 가정하였으며, 안테나 간 간격은 0.5λ , 변조 방식은 QPSK, 서브캐리어 개수는 2048개를 가정했다. 멀티 홉으로 구성된 공중 무인이동체의 현실적인 통신 환경을 고려하기 위해 Rician 채널을 고려하여 Line-of-Sight(LOS) 성분이 존재하는 환경을 설정했다. 다운링크 전송 시 모든 송신 단은 서로간의 간섭 성분을 제거하기 위해 Zero-Forcing(ZF)프리코딩을 채택한다.

[그림 1]의 시뮬레이션 결과는 다운링크 통신이 수행 될 때 2-홉과 3-홉을 거쳐 데이터 전송 시에 각 경로 선택 기법에 따른 BER성능을 SNR의 증가에 따라 나타내고 있다. Modified SVD가 BHM과 SVD와 근접한 성능을 보여주며 감소 인자 ρ 를 0.5로 설정하였으므로 Modified SVD를 적용하면 기존 SVD기법에 비해 0.0625배의 비교 연산 횟수만을 요구하여 계산량이 대폭 줄어든다. 최종 단계까지의 전송이 불필요할 경우를 고려하여 자체적인 데이터 디코딩을 수행하는 것으로 가정되었기 때문에 거치는 홉이 증가할수록 낮아지는 BER 성능을 보이게 된다.

[그림 2]의 시뮬레이션 결과는 3-hop 네트워크에서 다운링크 전송을 통해 최종 단의 수신 무인이동체에서 나타나는 sum rate 성능을 각 경로 선택 기법에 따라 나타내고 있다. [그림2]의 경향과 동일하게 제안된 Modified SVD가 BHM과 SVD기반의 경로 선택 기법과 거의 유사한 sum rate성능을 보이는 것이 확인되었다.



[그림 1] SNR에 따른 세 기법의 BER 측정 결과



[그림 2] SNR에 따른 세 기법의 sum rate 측정 결과

III. 결론

본 논문에서는 멀티 홉 다중 무인이동체 시스템에서 기존 BHM 및 SVD 기반 경로 선택 기법의 근접한 성능을 보장하며 합리적인 연산 횟수를 갖는 Modified SVD 알고리즘을 제안하고 있다. 제안되는 기법은 빠른 연산과 적절한 경로 선택이 요구되는 공중 무인이동체 통신에서 적절한 경로 선택 기법으로 적용될 수 있는 것이 시뮬레이션 결과를 통해 확인되었다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2021R1A2C2005777)

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2017-0-00217, Development of Immersive Signage Based on Variable Transparency and Multiple Layers). 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00217, 투명도와 레이저 가변형 실감 사인지 기술 연구).

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2020R1A6A1A03038540) 이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03038540)

*교신저자: 송형규

참 고 문 헌

- [1] L. Gupta, R. Jain and G. Vaszkun, "Survey of Important Issues in UAV Communication Networks," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1123-1152, Secondquarter 2016, doi: 10.1109/COMST.2015.2495297.
- [2] Z. Xiao, L. Zhu and X. -G. Xia, "UAV communications with millimeter-wave beamforming: Potentials, scenarios, and challenges," in China Communications, vol. 17, no. 9, pp. 147-166, Sept. 2020, doi: 10.23919/JCC.2020.09.012.