

항공기 무선 통신망을 위한 최적의 전송전력 분석

김승환, 김동성*

금오공과대학교 ICT융합특성화연구센터

ksh001@kumoh.ac.kr, *dskim@kumoh.ac.kr

Analysis of Optimal Transmitted Power for Aircraft Wireless Sensor Network

Kim Seung Hwan, Kim Dong Seong*

kit, ICT Convergence Research Center.

요약

본 논문은 항공기 무선 통신망을 위해 채널의 상태에 따라 단일 홉, 다중 홉, 그리고 협력통신 기법을 사용하여 최적의 전송전력을 분석하는 연구를 하였다. 시스템 모델은 고정된 소스노드, 중계노드, 목적노드로 구성하여 채널 상태에 따른 불능상태를 고려하여 최적의 전송전력을 계산하였다. 최적의 전송전력은 NoS와 LNoS에 따라 차이를 가지며 NoS와 NLoS 채널 상태에서 협력 통신 기법의 전송전력이 가장 효율적인 것을 확인하였다.

I. 서론

과학기술이 점차 발전함에 따라 항공기 내의 전자장비도 첨단화 되어지고 있으며 유선으로 연결된 기존 전자장비는 항공기의 규모에 따라 여러 가지 단점을 발생시킨다. 이는 유선을 통해 여러 종류의 센서와 기계장치에 연결되어 항공기에 규모에 따라 증가되는 센서와 장치 비례하여 항공기의 무게가 증가함으로 항공기의 연비 효율을 낮추고 이에 대한 유지보수와 전선의 노후화로 인해 안전사고 문제점을 야기 시킬 수 있다. 따라서 이에 대한 단점을 보완하기 위해 항공기 내 무선 통신망 구축에 대한 연구가 진행되고 있다. 하지만 무선 통신의 경우 항공기가 운행 시 번개와 눈과 같이 가혹한 기상환경 뿐만 아니라 항공기의 운항정보 시스템, 위성 통신 시스템과 같이 여러 종류의 무선기기로 인한 간섭이 발생함으로 무선 통신에 대한 엄격한 설계 요구조건이 요구되어 진다. 항공기에 적용되는 무선 센서노드는 배터리를 사용함에 따라 사용되는 전송전력이 작을수록 수명이 증가된다. 본 논문에서는 항공기 내 무선 통신망에서 사용되는 센서노드의 배터리 수명을 향상시키기 위해 3가지 기법에 대한 효율적인 전송전력을 분석하였다.[1-2]

II. 시스템 모델

시스템 모델은 항공기 내 3곳에 임의의 공간에 배치를 하였고 중계노드는 소스노드와 목적노드 중앙에 위치하며 모든 노드 간에 채널 경로손실 계수(pathloss exponent)는 동일한 것으로 가정하였다. 여기서 LoS(Line of Sight)와 NLoS(None LoS) 채널 상태에 대해 각각 고려하였다. 적용된 안테나 이득은 0 dBi, 사용된 주파수는 4300MHz, 채널 대역폭은 10 kbps, 채널 마진은 20 dB, 잡음지수는 10 dB, 그리고 각 노드의 캐리어 변조는 8-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)을 사용하였다.

III. 최적의 전송전력

항공기 내 단일 홉 무선 통신의 경우 목적노드에서 수신된 패킷은 다음

과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{SD} = \sqrt{P_{SH} \gamma_{SD}} h_{SD} x + n. \quad (1)$$

여기서 P_{SH} 은 단일 홉 전송전력, γ_{SD} 는 소스노드에서 목적노드 간의 경로손실, h_{SD} 는 소스노드와 목적노드 간의 채널 계수, x 는 전송된 패킷 그리고 n 은 백색 부가 가우시안 잡음이다. 각 노드 간의 채널에서 경로손실은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma_{ij} = \frac{G\lambda^2}{(4\pi)^2 d_{ij}^\alpha M_t N_f}. \quad (2)$$

여기서 G 는 송수신 안테나 이득, λ 는 파장, d_{ij} 는 노드 간의 거리, α 는 경로 손실 계수, M_t 는 링크 마진, N_f 는 수신단 잡음지수를 나타낸다. 최적의 전송전력은 불능확률에 따라 결정되어 짐으로 불능확률에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_{sd}^{SH} = P_r(SNR_{SD} < \epsilon_{th}) \simeq \frac{1}{\Gamma(m+1)} \left(\frac{m N \epsilon_{th}}{P_{SH} \gamma_{SD}} \right)^m. \quad (3)$$

여기서 $\Gamma(\cdot)$ 는 완전한 감마함수를 의미하고 m 은 나카가미 파라미터 N 은 노이즈 전력 밀도 N_0 와 대역폭 B 의 곱을 의미하며 γ_{SD} 는 소스노드와 목적노드 간의 경로손실을 의미하고, 그리고 ϵ_{th} 는 불능확률 임계값을 의미한다. 불능확률에 따른 단일 홉 최적의 전송전력은 다음과 같다.

$$P_i = \frac{m N \mu \left(\Gamma(m+1) \rho_{sd}^{SH} \right)^{-\frac{1}{m}}}{\gamma_{sd}}. \quad (4)$$

다중 홉과 협력통신기법의 각 채널 불능확률은 다음과 같다.

$$\rho_{ij}^{MH} = P_r(SNR_{ij} < \epsilon_{th}) \simeq \frac{1}{\Gamma(m+1)} \left(\frac{mN\epsilon_{th}}{P_{MH,CR}\gamma_{ij}} \right)^m. \quad (5)$$

여기서 ϵ_{th} 는 다중 홉의 불능확률 임계값이다. 다중 홉 기법의 불능확률에 따라서 최적의 전송전력은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho(P_{MH})^{2m} - (a_1 + a_2)(P_{MH})^m + a_1a_2 = 0. \quad (6)$$

여기서 a_1 과 a_2 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_1 = \frac{(mN\epsilon_{th})^m}{\Gamma(m+1)(\gamma_{SR})^m}. \quad (7)$$

$$a_2 = \frac{(mN\epsilon_{th})^m}{\Gamma(m+1)(\gamma_{RD})^m}. \quad (8)$$

협력통신 기법에 대한 최적의 전송전력은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho(P_{DF})^{3m} - (a_1a_3 + a_2a_3)(P_{DF})^m + a_1a_2a_3 = 0. \quad (9)$$

여기서 a_3 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_3 = \frac{(mN\epsilon_{th})^m}{\Gamma(m+1)(\gamma_{SD})^m}. \quad (8)$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 시뮬레이션은 Matlab 2018a 프로그램을 사용하였으며 단일 홉, 다중 홉 그리고 협력통신 기법에 대한 최적의 전송전력에 대한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션을 위한 파라미터 설정은 아래 표와 같다.

표 1 파라미터 설정

Parameter	Parameter value
8-QAM modulation	$M = 2$
Center frequency	$f_c = 4.3\text{GHz}$
Bandwidth	$B = 10 \text{ Kbps}$
Target outage	$\rho_0 = 10^{-3}$
Packet size	$\kappa = 1024 \text{ bit}$
Path loss exponent(NLoS)	$\alpha_{NLoS} = 6.5$
Path loss exponent(LoS)	$\alpha_{LoS} = 2.5$
Link margin	$M_l = 20 \text{ dB}$
Noise figure	$N_f = 10 \text{ dB}$
Antenna gain	$G = 0 \text{ dBi}$

그림1은 NLoS 채널 환경에서 3가지 기법에 대한 최적의 전송전력을 나타내었다. 시뮬레이션 결과에 따라 다중 홉 기법을 사용하였을 때 가장 큰 전송전력을 사용하며 협력통신 기법이 가장 낮은 전송전력을 사용한다.

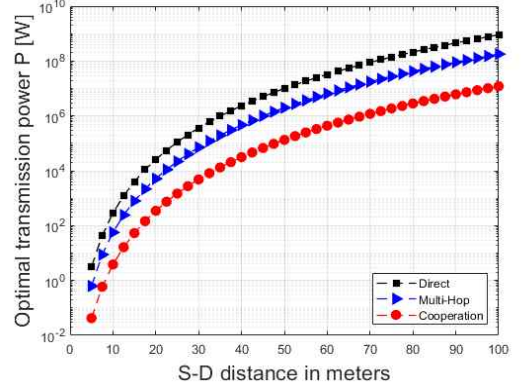


그림 1 NLoS 채널 환경에 대한 최적 전송전력

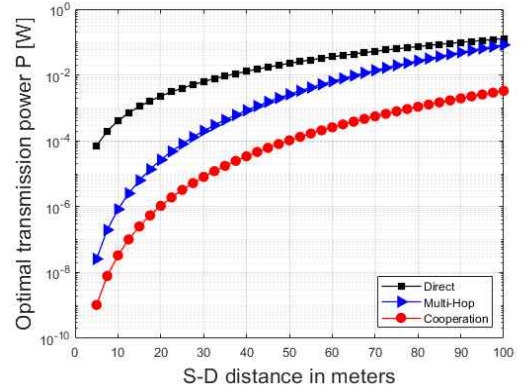


그림 2 LoS 채널 환경에 대한 최적 전송전력

이는 단일 홉 보다 다중 홉 기법이 소스노드에서 중계노드로 거쳐 목적노드로 패킷을 전송하기 때문이다. 그림2는 LoS 채널 환경에서 최적의 전송 전력 결과를 나타내었으며 거리가 증가할수록 단일 홉과 다중 홉의 최적 전송전력의 차이는 유사하게 되는 것을 볼 수 있다. 이는 정해진 불능확률에 따른 필요한 전송전력이 같아지기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 항공기 내 채널 상태에 따른 단일 홉, 다중 홉 그리고 협력통신 기법에 대한 최적의 전송전력에 대한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과에 따라 협력통신 기법이 가장 최적의 성능을 가짐을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2018R1A6A1A03024003).

참고 문헌

- [1] S. H. Kim, J. W. Kim and D. S. Kim "Energy Consumption Analysis of Beamforming and Cooperative Schemes for Aircraft Wireless Sensor Networks", Applied Sciences, vol. 10, no. 12, pp. 4374-4391, June 2020.
- [2] S. H. Kim, J. W. Kim and D. S. Kim "Performance analysis of Cooperative Schemes for Wireless Sensor Network of Aircraft", In Proceedings of 2019 ICUFN, pp. 642-645, Jul. 2019.