

## 항공기내 무선 네트워크에서 백홀 트래픽 감소 기법

조문제<sup>1</sup> · 정방철<sup>2</sup> · 박관근<sup>3</sup> · 장우혁<sup>4</sup> · 반태원<sup>1\*</sup>

### Backhaul traffic reduction scheme in intra-aircraft wireless networks

Moon-Je Cho<sup>1</sup> · Bang Chul Jung<sup>2</sup> · Pangun Park<sup>3</sup> · Woohyuk Chang<sup>4</sup> · Tae-Won Ban<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Korea

<sup>2</sup>Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Korea

<sup>3</sup>Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National University, Korea

<sup>4</sup>Agency for Defense Development, Daejeon 34188, Korea

#### 요약

본 논문에서는 항공기처럼 초밀집 지역에 무수히 많은 AP와 무선 센서들이 존재하는 초밀집 무선 네트워크에서 백홀 트래픽 감소를 위한 효율적인 데이터 전송 방법을 제안한다. 초밀집 무선 네트워크에서는 인접 AP들간의 간섭으로 인한 성능 저하가 필수적으로 동반된다. 그러나, 각 무선 센서들이 인접 AP들에 야기하는 간섭의 양을 측정하여 스케줄링 알고리즘에 반영할 경우 이러한 성능 저하를 방지할 수 있다. 신호 대 발생 간섭 비(Signal-to-Generating Interference Ratio, SGIR) 기반 스케줄링 알고리즘이 대표적인 예이다. 그러나, 이러한 알고리즘들은 각 무선 센서들이 야기하는 간섭의 양을 측정하기 위하여 백홀을 통한 중앙의 네트워크 매니저로의 대규모 정보 교환이 필수적이다. 따라서, 본 논문에서는 각 AP들에서 중앙의 네트워크 매니저로 전송하는 정보의 양을 획기적으로 감소시킬 수 있는 기법을 제안한다. 컴퓨터 시뮬레이션결과, 기존 방식 대비 전송률의 감소 없이 백홀 트래픽을 약 27% 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we propose efficient uplink data transmission method in ultra dense wireless networks as in intra-aircraft, where large-scale APs and wireless sensors are deployed. In the ultra dense wireless networks, a performance degradation is inevitable due to the inter-AP interference. However, the performance degradation can be avoided if a scheduling algorithm can estimate the amount of interference caused by each wireless sensor and reflects it. SGIR (Signal-to-Generating Interference Ratio) based scheduling algorithms is a typical example. Unfortunately, the scheduling algorithms based on the interference caused by wireless sensors necessarily yield large scale exchange of information through backhaul which connects APs. Therefore, we, in this paper, propose a novel scheme which can dramatically reduce the amount of information which are exchanged through backhaul connection. Monte-Carlo simulation results show that the proposed scheme can reduce the amount of backhaul traffic by 27% without loss of data transmission rate.

**키워드** : 항공기내 무선 네트워크, 백홀 트래픽 감소, 신호 대 발생 간섭 비, 스케줄링

**Key word** : Intra-aircraft wireless networks, backhaul traffic reduction, SGIR, scheduling

Received 29 June 2016, Revised 29 June 2016, Accepted 15 July 2016

\* Corresponding Author Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.9.1704>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

오늘날 항공기에는 최고 수준의 안전성을 도모하기 위하여 최첨단 항공전자장비가 탑재되어 있으며, 이러한 항공전자 장비는 유선 네트워크로 연결되어 관련 정보들을 주고 받는다[1]. 최근, 항공 산업 선진국을 중심으로 항공기내 항공전자장비들을 연결하는 기존의 유선 네트워크대신에 무선 네트워크를 구축하여 항공기의 무게 및 유지비용을 절감 시키고, 안전성과 신뢰성을 증대 시키고자하는 연구 및 표준화가 빠르게 진행되고 있다 [2-5]. 이러한 항공기내 무선 네트워크는 단순한 인포테인먼트뿐만 아니라 엔진 제어, 운항 제어, 항공기 건전성 모니터링과 같은 안전성과 직결되는 매우 중요한 분야들에 적용될 수 있다. 특히, 국제전기통신연합 (ITU: International telecommunication union)은 항공기에 탑재된 다양한 항공전자장비들을 항공기내 무선 통신 (WAIC: Wireless Avionics Intra-Communications) 시스템으로 대체하기 위하여 다양한 연구를 진행하고 있다 [4, 5]. 최근 선진 항공 산업체의 요구에 따라 2015년 세계전파통신회의에서 항공기내 무선 네트워크를 위하여 4.2 - 4.4 GHz의 주파수를 국제적으로 할당하였다[6].

항공기 내부의 수많은 무선 센서들은 관련 정보를 백홀망에 연결된 수많은 AP(Access Point)를 통하여 중앙의 네트워크 제어기 및 파일럿에 전달하거나 수신 받는다[7]. 일반적으로 항공기내 무선 네트워크는 응용 분야의 요구 사항 및 항공기 기체의 형태를 비롯하여 전송률, 신뢰도, 지연, 확장성, 통신 거리를 종합적으로 고려하여야 한다. 특히, 항공기 제어와 같은 경우 고신뢰성을 만족하는 것이 매우 어려운 과제이다. 따라서 한정된 주파수(4.2 - 4.4 GHz)를 보다 효율적으로 사용하기 위하여 수천 개에 달하는 무선 센서로 구성된 초밀집 셀룰러 네트워크를 구성하여야 한다. 그러나 다수 셀에서의 동일한 무선 주파수 재사용으로 인하여 셀 간 상호간섭이 심각하게 발생 할 수 있으며, 이로 인하여 신뢰성에 치명적 문제를 야기 할 수 있다.

따라서, 이러한 셀 간 간섭의 영향을 최소화하기 위한 스케줄링 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적인 예가 SGIR (Signal-to-Generating Interference Ratio) 기반 스케줄링 알고리즘이다[8]. SGIR 기반 스케줄링 알고리즘은 각 AP에서 서비스하고 있는 무선 센서 중에서 자기신호대비 인접 셀에 야기하는 간섭신

호세기의 비율이 가장 높은 무선 센서를 선택하는 방식으로, 자기 신호의 세기가 높을수록 또는 인접 셀에 야기하는 간섭 신호의 세기가 낮을수록 선택될 확률이 높아진다. 다시 말해, 자기 신호의 세기가 높더라도 인접 셀에 높은 간섭을 야기하는 무선 센서의 경우 SGIR 지수가 낮아짐으로써 선택될 확률이 낮아진다. 이렇듯, 각 무선 센서가 인접 셀에 야기하는 간섭 신호의 정보를 스케줄링에 반영할 경우 성능 개선 효과는 뚜렷하지만, 각 무선 센서가 인접 셀들에 야기하는 간섭 신호의 세기를 추정하기 위해서는 주변의 모든 AP들로부터 간섭 신호의 정보를 취합해야하며 통상 네트워크 매니저에서 이러한 역할을 담당한다. 따라서 AP의 수와 무선 센서의 수가 증가할수록 각각의 AP에서 중앙의 네트워크 매니저로 전달해야하는 정보의 양이 급격히 증가하여 추가적인 백홀 용량을 필요로 하며 이로 인해 기체의 무게가 증가하는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 항공기내 무선 네트워크에서 각 무선 센서가 인접 셀에 야기하는 간섭의 양을 측정하기 위하여 필요한 백홀 트래픽을 줄이기 위한 효율적인 방법을 제안한다. II장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템과 채널 모델에 대하여 설명하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 백홀 트래픽 감소 기법에 대하여 기술한다. IV장에서 제안 방식의 성능을 데이터 전송율과 백홀 트래픽 감소율의 측면에서 분석한 후 기존 방식과 비교한다. 마지막으로, V장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

## II. 시스템 및 채널 모델

본 논문에서는 그림 1과 같은 무선 네트워크의 상향 링크를 고려하며, 네트워크 매니저에  $N_{AP}$ 개의 AP들이 연결되어 있으며,  $N_{AP}$ 개의 AP가  $N$ 개의 무선 센서들을 서비스하고 있다.

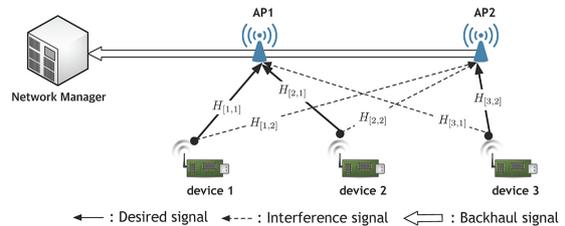


Fig. 1 System model and signal flow from user to server

일반적인 항공기 내의 AP들은 특정 구역 내에서 일정 거리를 두고 배치되지만, 본 논문에서는 특정 구역 내에서 랜덤하게 배치된다. 먼저, 모든 무선 센서들은 네트워크에서 정해진 셀 선택(Cell Selection) 절차에 의해서 특정 AP와 연결된다.  $H_{[i,j]}$ 는 무선 센서  $i$ 에서 AP  $j$ 에 연결된 상향 채널 정보를 나타내며,  $G_{[j,i]}$ 는 AP  $j$ 에서 무선 센서  $i$ 로 연결된 하향 링크 채널 정보를 나타낸다. 여기서,  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$  이며  $j \in \{1, 2, \dots, N_{AP}\}$ 이다.  $U = \{1, 2, \dots, N\}$ 는 전체 무선 센서 집합을 나타내며, 셀  $k$ 에 연결되어 있는 무선 센서들의 집합을 다음과 같이 정의한다.

$$U_k = \{i \mid \arg \max_{j \in \{1, \dots, N_{AP}\}} |G_{[j,i]}|^2 = k\} \quad (1)$$

즉, 각 무선 센서들은 자신과의 채널 이득이 가장 높은 AP에 연결된다. 스케줄링 후에 무선 AP  $j$ 가 수신하는 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y_j = \sqrt{P_T} H_{[S_j,j]} x_{[S_j,j]} + \sum_{k=1, k \neq j}^{N_{AP}} \sqrt{P_T} H_{[S_k,j]} x_{[S_k,j]} + z_j \quad (2)$$

여기서  $P_T$ 는 각 센서의 송신 전력이고,  $S_j$ 는 셀  $j$ 에 연결된 센서 중 상향링크 통신을 위해 선택된 센서를 의미하며  $S_j \in U_j$ 이다.  $x_{[S_j,j]}$ 는  $S_j$  센서가 AP  $j$ 로 송신하는 신호를 나타낸다.  $H_{[S_j,k]}$ 는 셀  $j$ 에  $S_j$  센서와 AP  $k$  간의 상향링크 채널을 나타낸다. 그리고 채널은 다음과 같이 구성된다.

$$H_{[S_j,k]} = \sqrt{L_{[S_j,k]} \times h_{[S_j,k]} \times \Psi_{[S_j,k]}} \quad (3)$$

여기서  $L_{[S_j,k]}$ ,  $h_{[S_j,k]}$ ,  $\Psi_{[S_j,k]}$ 는 경로 손실, 음영 효과(Shadowing), 페이딩 효과를 각각 나타낸다. 경로 손실은 항공기내 객실간 모델을 고려하여 다음과 같이 정의한다[5].

$$L_{[S_j,k]} = C_1 d_{[S_j,k]}^{-n} f^{-k} \quad (4)$$

여기서,  $C_1$ 는 상수 오프셋,  $d_{[S_j,k]}$ 는 송수신기간 거리,  $f$ 는 송신 주파수,  $n$ 은 송수신기간 거리에 대한 지수,  $k$ 는 송신주파수에 대한 지수를 각각 나타낸다. 송신 주파수 4.4GHz 대역에서 항공기 객실 간 모델을 적용하여  $n$ 은 3.46,  $k$ 는 2.09, 그리고  $C_1$ 은 167.5를 사용하였다[5]. 음영 효과는 평균이 0이고 표준 편차가 4.8dB인

로그 정규 분포를 따르고, 페이딩은 평균이 1인 지수 분포를 따른다.  $z_j$ 는 AP  $j$ 에서의 열잡음을 나타내고, 열잡음 밀도는 -174dBm/Hz, 대역폭은 10MHz로 가정한다. 그리고 주파수 분할 듀플렉스(FDD:Frequency Division Duplex)를 고려하여 상향 및 하향링크 통신 채널을 주파수로 구분한다.

### III. 백홀 트래픽 감소를 위한 스케줄링 기법

본 장에서는 백홀 트래픽을 획기적으로 줄일 수 있는 효율적인 상향 링크 스케줄링 기법에 대해 설명한다. 수식 (1)이 나타내듯이,  $U_k$ 가 AP  $k$ 에 연결된 센서 집합을 나타낸다면,  $\tilde{U}_k = U \setminus U_k$ 는 AP  $k$ 에 연결된 무선 센서를 제외한 나머지 센서들의 집합을 나타낸다. 즉 AP  $k$ 에 간섭을 야기하는 모든 무선 센서들의 집합을 나타낸다. AP  $k$ 에 간섭을 야기하는 무선 센서들 중에서 특정 임계치( $\gamma$ ) 보다 큰 간섭을 야기하는 무선 센서들의 집합은 다음과 같이 정의된다.

$$\tilde{U}_k^{th} = \{i \mid |H_{[i,k]}|^2 > \gamma, i \in \tilde{U}_k\} \quad (5)$$

AP  $k$ 가 중앙 네트워크 매니저로 전달하는 정보는 AP  $k$ 에 연결되어서 서비스를 받고 있는 무선 센서들의 자기 신호 정보와 인접 AP들로부터 서비스를 받으면서 AP  $k$ 에게 간섭을 야기하는 무선 센서들로부터 수신하는 간섭 신호 정보들로 구분된다. 기존 방식에서는 AP

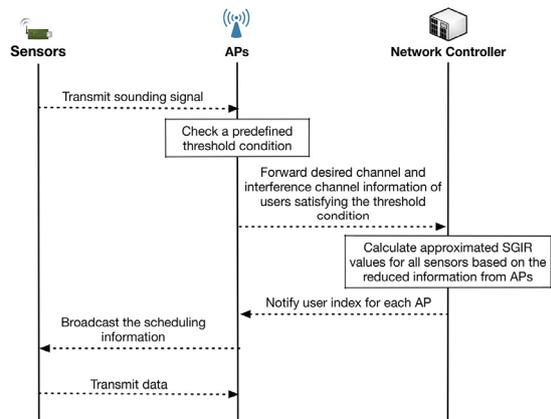


Fig. 2 Signaling procedure for the proposed scheme

$k$ 가  $\tilde{U}_k$ 에 속하는 모든 무선 센서들로부터의 간섭 정보를 네트워크 매니저로 전달하는 반면에, 제안 방식에서는  $\tilde{U}_k^h$ 에 속하는 무선 센서들의 간섭 정보만을 네트워크 매니저로 전달한다.

그림 2는 제안 기법의 신호 흐름도를 나타낸다. 각각의 무선 센서는 AP로 하여금 상향 링크 채널 정보를 추정케하기 위하여 사운드 신호를 송신한다. 각각의 AP는 무선 센서들이 송신하는 사운드 신호를 바탕으로 채널 정보를 추정한다. 각 AP는 자신이 서비스하고 있는 무선 센서들의 자기 신호 정보는 모두 중앙 네트워크 매니저로 전달한다. 반면에, 인접 AP에서 자기에게 간섭을 야기하고 있는 무선 센서들의 간섭 채널 중에서 특정 임계치 ( $\gamma$ )보다 큰 간섭 정보만을 중앙 네트워크 매니저로 전달한다. 중앙 네트워크 매니저는 모든 AP들로부터 전달된 정보들을 바탕으로 각각의 무선 센서들이 인접 셀로 야기하는 간섭의 총 세기를 계산할 수 있다. 이후, 정해진 스케줄링 절차를 진행한다. 일례로 SGIR의 경우 각 무선 센서가 발생시키는 간섭 정보를 바탕으로 각 무선 센서들에 대한 SGIR 값을 계산할 수 있으며, 각 셀에서 가장 큰 SGIR 값을 가지는 무선 센서를 선택하여 데이터를 전송케 한다.

#### IV. 성능 분석 및 결과

본 장에서는 Monte-Carlo기반의 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 방식의 성능을 분석한다. Max SGIR 스케줄링 알고리즘을 기본으로 하여 모든 간섭 정보를 전달하는 기존 방식과 본 논문에서 제안하는 방식의 성능을 분석하고 비교한다. MaxSGIR은 자기 신호뿐만 아니라 인접 APs로 발생하는 간섭까지 고려하여 센서들의 SGIR 지수 중 가장 큰 센서를 선택하는 방법이다. 먼저, Shannon 공식을 바탕으로 전체 AP들에서 얻을 수 있는 전송률의 합을 분석한다. 그리고, 두 방식에서 백홀을 통해서 전달하는 정보 양을 비교한다. AP들이 중앙 네트워크 매니저로 전달하는 자기 신호 정보의 양은 기존의 전체 피드백(full feedback) 방식과 제안한 부분 피드백 방식이 동일하며, 다음과 같이 계산된다.

$$F_{full}^{sig} = F_{prop}^{sig} = \sum_{j=1}^{N_{AP}} |U_j| = N \quad (6)$$

여기서  $|A|$ 는 집합  $A$ 의 원소의 개수를 나타낸다. 실제 정보량은 양자화 레벨 등을 고려하여 계산하여야 하지만, 본 논문에서는 수학적 단순화를 위하여 개수로 정의하며, 이는 향후 두 방식의 정보 양의 비율로 성능을 비교할 것이므로 합리적이다. 반면에, 간섭 신호의 세기에 관계없이 모든 간섭 정보를 전달하는 기존 방식에서 AP들이 네트워크 매니저로 전달하는 간섭 신호 정보의 양은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} F_{full}^{int} &= \sum_{j=1}^{N_{AP}} |\tilde{U}_j| = \sum_{j=1}^{N_{AP}} (N - |U_j|) \quad (7) \\ &= \sum_{j=1}^{N_{AP}} N - \sum_{j=1}^{N_{AP}} |U_j| = NN_{AP} - N \\ &= N(N_{AP} - 1) \end{aligned}$$

그리고, 본 논문에서 제안하는 방식에서 AP들이 네트워크 매니저로 전달하는 간섭 신호 정보의 양은 다음과 같이 계산된다.

$$F_{prop}^{int} = \sum_{j=1}^{N_{AP}} |\tilde{U}_j^h| \quad (8)$$

식 (6)~(8)을 바탕으로, 기존 방식 대비 제안 방식에서 AP들이 네트워크 매니저로 전달하는 정보 양의 비율을 다음과 같이 정의한다.

$$\rho = \frac{F_{prop}^{sig} + F_{prop}^{int}}{F_{full}^{sig} + F_{full}^{int}} \quad (9)$$

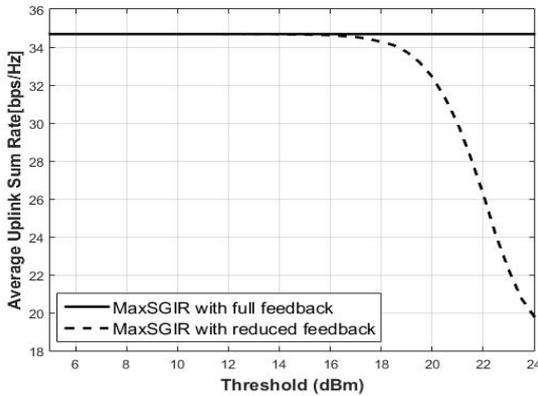
식 (6)~(8)을 식 (9)에 대입하면  $\rho$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\rho = \frac{N + \sum_{j=1}^{N_{AP}} |\tilde{U}_j^h|}{N + N(N_{AP} - 1)} = \frac{N + \sum_{j=1}^{N_{AP}} |\tilde{U}_j^h|}{NN_{AP}} \quad (10)$$

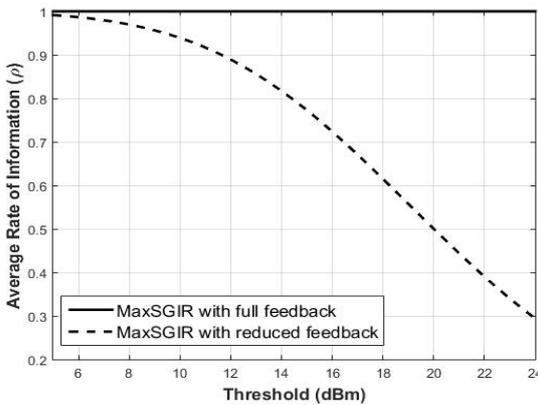
표 1은 성능 분석을 위한 시뮬레이션용 파라미터를 나타낸다. 그림 3과 그림 4는 가로 세로 각각 20m, 30m 사각 영역에 100개의 무선 센서가 10개의 AP에 연결되어 있을 때 기존 방식과 제안 방식의 전송률의 합과 정보 양의 비율을 각각 나타낸다. 임계치 ( $\gamma$ )가 높아질수록 기존 방식 대비 제안 방식의 전송률은 낮아지는 반면, 백홀을 통해서 전달되는 정보량이 획기적으로 감소함을 확인할 수 있다. 또한, 적정 임계치를 설정할 경우 전송률의 감소 없이 백홀 정보 양을 감소시킬 수 있다.

**Table. 1** Simulation Parameters

Parameters		Value
Transmit power ( $P_T$ )[dBm]	APs	46
	Sensors	23
Carrier frequency[MHz]		4400
Network dimension (width) $\times$ (height)[m]		20 $\times$ 30
Number of APs		10



**Fig. 3** Average sum-rates for varying threshold when  $N_{AP} = 10, N = 100$



**Fig. 4** Average rate of backhaul traffic for varying threshold when  $N_{AP} = 10, N = 100$

구체적으로 임계치를 16dBm으로 설정할 경우, 기존 방식 대비 제안 방식의 데이터 전송률의 감소없이 백홀 트래픽을 약 27% 절감할 수 있다. 다시 말해서, 전체 간섭 정보 중 약 27%가 성능에 영향을 주지 않는 정보인 것을 알 수 있다.

## V. 결론

최근, 항공기처럼 좁은 영역에 많은 AP와 무선 센서들이 존재하는 초밀집 무선 네트워크에서 AP간 간섭으로 인한 성능 저하를 방지할 수 상향 링크 스케줄링 알고리즘에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 초밀집 네트워크에서 각 무선 센서들이 주변 AP들에 야기하는 간섭 정보를 추정하기 위해서 필요한 백홀 트래픽을 획기적으로 줄일 수 있는 기법을 제안하였다. 각 AP에서는 주변의 모든 무선 센서들로부터 수신하는 간섭 신호 정보 중에서 특정 임계치보다 큰 정보만을 네트워크 매니저로 전달한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과, 제안한 방식은 기존 방식 대비 전송률의 감소 없이 약 27%의 백홀 트래픽을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development under Implementation Technology on High Reliability Wireless Networks for an Aircraft (UD150027JD).

## REFERENCES

- [1] C. Furse and R. Haupt, "Down to the wire[aircraft wiring]", *IEEE Spectrum*, vol. 38, no. 2, pp.34-39, Feb. 2001.
- [2] M. Pantiz, et al, "The opportunities and challenges associated with wireless interconnects in aircraft," *Proceedings of the institution of mechanical engineers part G-Journal of aerospace engineering*, vol. 224, no. 4, pp.459-470, 2010.
- [3] D. Hope, "Towards a Wireless Aircraft," Ph. D. dissertation, University of York, UK, 2011.
- [4] ITU-R M.2197, *Technical characteristics and operational objectives for wireless avionics intra-communications (WAIC)*, ITU, 2010.
- [5] ITU-R Report M.2283, *Technical characteristics and spectrum requirements of Wireless Avionics Intra-Communications systems to support their safe operation*, ITU, 2013.
- [6] ITU World Radiocommunication Conference 2015(WRC-15)

-Agenda and relevant resolutions [Internet]. Available: <http://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/2015>.

[7] R. K. Yedavalli, R. K. Belapurkar, "Application of wireless sensor networks to aircraft control and health management systems", *Journal of Control Theory and Applications*, vol.

9, no. 1, pp.28-33, February 2011.

[8] B. Lee, H. Je. O.S. Shin, and K. B. Lee, "A novel uplink MIMO transmission scheme in a multicell environment," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 8, no. 10, pp. 4981-4987, October 2009.



**조문제(Moon-Je Cho)**

2012년 8월 경상대학교 정보통신공학과 학사  
2012년 9월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 석박사통합과정  
※ 관심분야 : 이동통신, 신호처리, 다중안테나, 사용자 스케줄링



**정방철(Bang Chul Jung)**

2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사  
2004년 8월 KAIST 전자전산학과 석사  
2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사  
2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT융합연구소 팀장  
2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT융합연구소 연구교수  
2010년 3월~2014년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
2014년 3월~2015년 8월 경상대학교 정보통신공학과 부교수  
2015년 9월~현재 충남대학교 전자공학과 부교수  
※ 관심분야 : 무선통신시스템, 통계적 신호처리, 정보이론, 압축센싱



**박관근(Pangun Park)**

2005년 8월 아주대학교 전자공학부 학사  
2007년 11월 Royal Institute of Technology 무선시스템공학과 석사  
2011년 3월 Royal Institute of Technology 정보통신공학과 박사  
2011년 3월~2011년 9월 Royal Institute of Technology 박사후 연구원  
2011년 9월~2013년 8월 University of California, Berkeley 박사후 연구원  
2013년 9월~2015년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원  
2015년 3월~2016년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
2016년 3월~현재 충남대학교 전파정보통신공학과 조교수  
※ 관심분야 : 무선 센서 네트워크, 사이버물리시스템, 네트워크 제어시스템



**장우혁(Woohyuk Chang)**

2001년 2월 아주대학교 전자공학부 학사  
2003년 2월 KAIST 전자전산학과 석사  
2010년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
2009년 12월 ~ 2010년 11월 KAIST IT 융합연구소 선임연구원  
2010년 12월 ~ 2012년 1월 Massachusetts Institute of Technology 박사후 연구원  
2012년 ~ 현재 국방과학연구소 선임연구원  
※ 관심분야 : 신호처리, 정보이론, 부호이론, 무선통신시스템, 항공전자시스템



**반태원(Tae-Won Ban)**

1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사  
2000년 2월 경북대학교 전자공학과 석사  
2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사  
2000년 2월 ~ 2012년 8월 KT 네트워크부문  
2012년 9월~현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수  
※ 관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유