무선중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 영향 분석

Analysis on the Interference Effects of Radio-Relay Stations into HAPS System

김봉석*, 박상준*, 함형일*, 강영흥*

Bong-Seok Kim*, Sang-Jun Park*, Hyung-Il Ham*, Young-Heung Kang*

요 약

WRC-2000에서는 3 GHz 이상의 대역에서 성층권 통신 시스템(HAPS; High Altitude Platform Station)의 도입으로 기존의 지상 고정 서비스간의 공유 가능성을 분석하기 위한 Resolution 734를 채택하였다.

공유 가능성 연구의 하나로서 기존의 M/W 서비스 무선 중계국(Radio-relay stations)과의 간섭 분석이 선행되어야 하며, 이는 HAPS 시스템이 무선 중계국에 미치는 간섭 문제와 반대로 무선 중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 문제로 크게 나누어 분석되어야 한다. 이 중 HAPS 시스템이 무선 중계국에 미치는 간섭 분석은 연구가 진행되어 그 결과가 발표 되었으므로[1] 본 연구에서는 무선 중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 영향을 여러 파라메타에 대해 평가 하였다. 그 결과 두 시스템간의 공유를 위해서는 무선 중계국의 trendline이 HAPS 서비스와 수직이고 송신 전력이 −50 dBW/MHz 일 때 약 100 km의 조정거리가 필요하다.

ABSTRACT

High altitude platform station(HAPS) is being developed actively in some countries as well as Korea. At the same time Resolution 734 was adopted in WRC-2000 to study the sharing of HAPS into the existing fixed services in the bands above 3 GHz. As one of the sharing studies, interferences between HAPS and radio-relay stations should be analyzed by dividing into two cases, the one is the interference effects of HAPS system into radio-relay stations and on the contrary, the other that of radio-relay stations into HAPS system. Since the former case had been already studied, only the latter case will be focused on this paper. Analysis result shows that the coordination distance must be needed above 100 km when the trendline of radio-relay is located vertical to HAPS service area and the transmitting power is −50 dBW/MHz.

I. 서 론

성층권에서 HAPS(High Altitude Platform Station)를 이용하여 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 많은 새로운 기술들이 개발 되어 왔다. WRC-97에서는 HAPS를 이용한 고정서비스(FS; Fixed Service)를 위해 47.2~47.5 GHz와 47.9~48.2 GHz대역을 할당 하였고, WRC-2000에서는 27.5~28.35 GHz와 31.0~31.3 GHz대역의 사용은 비 간섭과 비 보호 근거 하에 일부 국가들에 허용되었다. 이에 지상 무선 통신 시스템에 배타적으로 할당된 3 GHz

* 군산대학교 전자정보공학부(School of Electronics and Information Eng., Kunsan Nat'l Univ.)
·논문번호 : 2002-6-2
·접수일자 : 2002년 1월 10일

이상의 대역에서 HAPS의 이용 가능성을 연구하기 위해 WRC-2000에서 Resolution 734가 채택되었다.

18-32 GHz 주파수 대역에서의 HAPS 시스템에 관한 공유 가능성 연구는 Resolution 122하에서 수행되어 왔으므로 Resolution 734에 의해 요구되는 공유 가능성에 관한 연구는 우선 3-18GHz 주파수 범위에 이루어져야 한다[2]. 그러나 3-18GHz 주파수 범위에서는 지상 무선 중계 시스템이 오래 전부터 고정 서비스로서 활발히 운용되어 왔기 때문에 지상 무선 중계 시스템과 HAPS 시스템 사이의 공유 가능성에 대한 문제 해결이 무엇보다도 중요하다. 두 시스템간의 공유 분석을 위해서는 두 가지 경우, 즉 HAPS 시스템이 무선 중계국에 미치는 간섭 분석과 이와 반대로 무선 중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 분석으로 구분되어 해석이 이루어져야 한다. 전자의 경우는 이미 그 분석 결과가 보고되어 있으므로[1], 본 연구에서는 후자의 경우에 대해서만 즉 무선 중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 분석을 행한다.

따라서, 본 논문에서는 3-18GHz 주파수 대역에서의 두 시스템 사이의 공유 가능성을 분석하고자 무선 중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 영향을 평가하기 위한 방법으로 무선 중계국 송신 전력, trendline과 HAPS nadir간의 거리, 무선 중계국 송신 전력과 HAPS nadir까지의 거리에 따른 간섭 전력에 대하여 각각 분석을 행하고자 한다.

Ⅱ. 시스템 모델

2-1 무선 중계국

무선 중계 시스템은 다수의 홉(hop)으로 구성되며, 홉의 수는 ITU-R(CCIR)에서는 50홉, AT&T시스템에서는 140개의 홉을 가정하고 있다[3],[4]. 그림 1은 HAPS 비행선 분포를 고려한 시스템 모델 개념을 보여주고 있으며, 무선 중계 시스템의 랜덤 분포 특징은 참고문헌[1],[3]에 의해서 결정된다.

만약, 무선 중계 수신 안테나 이득이 모든 평면에서 동일하다고 가정하면 HAPS 비행선 간섭 방향에서의 이득 $G(\phi)$는 ITU-R F. 699 권고안에 의해서

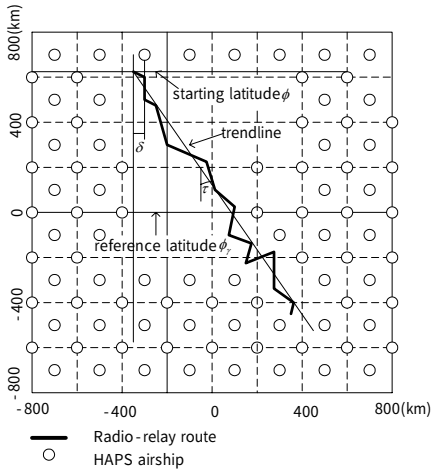

그림 1. 무선 중계국과 HAPS 비행선의 분포
Fig. 1. Radio-relay and HAPS airships distribution.

다음과 같이 가정한다[5].

$$G(\phi)=\begin{cases} G_{\max}-2.5\times10^{-3}\left(\frac{D}{\lambda}\phi\right) & \text{for } 0<\phi<\phi_m \\ G_I & \text{for } \phi_m\le\phi<100\frac{\lambda}{D} \\ 52-10\log\frac{D}{\lambda}-25\log\phi & \text{for } 100\frac{\lambda}{D}<\phi<48^\circ \\ 10-10\log\frac{D}{\lambda} & \text{for } 48^\circ\le\phi\le180^\circ \end{cases} \quad (1)$$

여기서,

ϕ : off-axis 각도

D : 안테나 직경

λ : 파장

G_I : 첫번째 사이드로브의 이득 $=2+15\log\frac{D}{\lambda}$

$$\phi_m=\frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{\max}-G_I}$$

$$g=20\log\frac{D}{\lambda}\approx G_{\max}-7.7$$

Trendline와 안테나 방향이 결정되면, 가시거리 내의 모든 HAPS 비행선으로부터 첫번째 무선 중계국에 미치는 전체 간섭을 계산할 수 있으며, 가시거리 내의 HAPS 비행선의 한계는 고도에 의해서 식

표 1. $D(h)$의 몇 가지 예
Table 1. Some examples of $D(h)$

HAPS Altitude	D(h)
20	611.2
25	677.1
30	735.0
35	786.6
40	833.1
45	875.3
50	913.9

(2)와 같이 나타낸다[6].

$$D(h) \cong (141.6 - 0.274h)\sqrt{h} \quad (2)$$

여기서 h는 HAPS 고도이며, 그 범위는 20-50 km이다. 식 (2)에 의해서 계산된, $D(h)$의 값은 표 1에 나타내었다.

HAPS 고도가 50km일 때, 가시거리는 표 1에 나타낸 것처럼 약 900km이다. 그러므로, 만약 50 홉 무선 중계 시스템의 홉 간 거리가 50km이라면, HAPS 비행선의 분포범위는 4000×4000 km^2의 지역으로서 충분히 고려해야 한다.

2-2 HAPS 시스템

한 예로서 20km고도의 HAPS 시스템을 이용하는 서비스 개념도는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 20 km의 고도의 고정점에서 각 HAPS 비행선은 367개의 스폿 빔을 이용해서 110km의 직경(elevation 각도: 20°의 정도)의 지상 서비스 지역을 커버 할 수 있다[7].

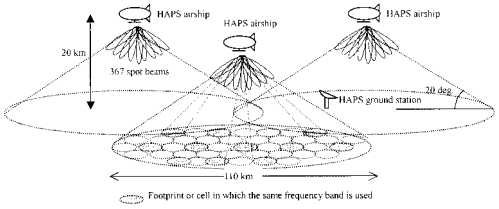

그림 2. HAPS를 이용한 고정 서비스 개념도
Fig. 2. Image of fixed service using HAPS[6].

HAPS 비행선 nadir의 위치는 서비스 지역 사이의 중복을 고려해서 그림 2와 같이 100 km간격으로 분포된다고 가정한다. 만약 HAPS 비행선의 고도가 50 km이면 동일한 앙각(=20°)에서 비행선의 간격은 250 km까지 확장 될 수 있다.

일반적으로 지구 표면에 관한 PFD의 제한 $F(\theta)$는 앙각의 함수에 의해서 식 (3)처럼 주어진다.

$$F(\Theta) = \begin{cases} pfd_{low} \\ \quad \text{for } 0° \le \Theta \le 5° \\ pfd_{low} + 0.05(pfd_{high} - pfd_{low})(\Theta - 5) \\ \quad \text{for } 5° \le \Theta \le 25° \ (dBW/m^2/4kHz) \\ pfd_{high} \\ \quad \text{for } 25° \le \Theta \le 90° \end{cases} \quad (3)$$

예로써, HAPS 비행선이 IMT-2000서비스를 제공하기 위한 기지국으로 운용되고 있을 때, 간섭으로부터 고정국을 보호하기 위해서 pfd_{low}=-189 (dBW/m^2/4KHz)와 pfd_{high}=-154(dBW/m^2/4KHz)의 값을 초과 하지 않아야 한다.

다수의 송신기에 의한 다중 entry 간섭의 경우에 Doc. ITU-R 4-9S/21-E에 주어진 HAPS 지구국의 안테나 패턴은 권고안 ITU-R F.1245에서 다음과 같다.

$$G(\Theta) = \begin{cases} G_{\max} - 2.5\times10^{-3}(\frac{D}{\lambda}\Theta)^2 \\ \quad \text{for } 0 \le \Theta < \zeta_m \\ 39 - 5\log\frac{D}{\lambda} - 25\log\Theta \\ \quad \text{for } \zeta_m \le \Theta < 48° \\ -3 - 5\log\frac{D}{\lambda} \\ \quad \text{for } 48° \le \Theta \le 180° \end{cases} \quad (4)$$

Ⅲ. 간섭 계산

3-1 HAPS 시스템이 받는 간섭

무선 중계국이 HAPS 지구국에 미치는 간섭 모델은 그림 3과 같으며, 무선 중계국은 ITU-R에서 가정하는 50홉(hop)으로 trendline을 따라 랜덤하게

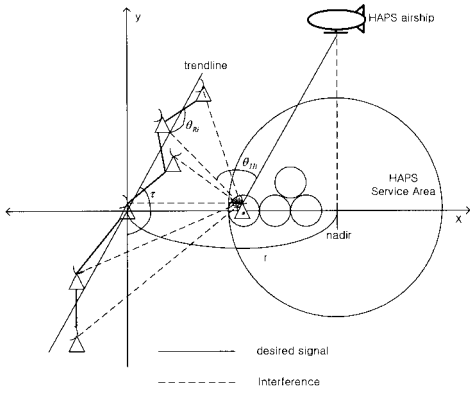

그림 3. 무선 중계국이 HAPS 지구국에 미치는 간섭 모델

Fig. 3. Interference from Radio-relay station into HAPS ground station.

±25°분포를 가지며, 홉간 거리는 50km로 가정한다. 또한 무선 중계국으로부터 간섭 영향을 받는 HAPS 지구국은 직경 110km 서비스 반경 내의 가장 왼쪽에 위치하는 것으로 하여 trendline의 y축과의 기울기 τ, trendline의 중심부와 HAPS nadir간의 거리 r, 그리고 송신 전력 등에 대한 파라메타를 도입하여 간섭분석을 행한다.

한 무선 중계국으로부터 서비스 지역 내에서 가장 왼쪽에 있는 HAPS 지구국에 미치는 간섭 전력 I (dBW/MHz)는 그림 3을 참조하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I = P_{RS} - L_f + G(\Theta_{Ri}) + G(\Theta_{Hi}) - L_e(p) \quad (5)$$

여기서,

P_{RS} : 무선 중계국의 송신 전력 밀도 (dBW/MHz)

L_f : HAPS 지구국과 무선 중계국의 피더 손실 (dB)

$G(\Theta_{Ri})$: HAPS 지구국 방향의 번째 무선 중계국의 안테나 이득(dBi)

$G(\Theta_{Hi})$: i 번째 무선 중계국 방향의 HAPS 지구국의 수신 안테나 이득(dBi)

$L_e(P)$는 HAPS 지구국과 지상국 사이의 전송 손실로써, 전파 메커니즘은 ITU-R PN.452에 주어진 것처럼 강우에 의해서 산란되어지며, 그 식은 다음과 같다.

$$L_e(p) = 92.5 + 20\log f + 20\log d + E_s(p) + A_g \quad (6)$$

여기서,

f : 동작 주파수

d : 경로 길이

$E_s(P)$: multipath와 그 focusing 효과 때문에 생기는 단기 손실

$$Es(p) = 2.6(1 - e^{-d/10})\log(p/50)\,dB,$$
$$\text{for } 0.001\% \le p \le 50\%$$

A_g : 대기 흡수

일단 무선 중계국 위치(x_i, y_i)가 정해지고, 피더 손실 L_f=0, 10 GHz, 이하의 대기 흡수 손실은 무시된다고 가정하면 식 (5)는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = cP_{RS}\sum_i r_i^{-2} f^{-2} 10^{\frac{G(\Theta_{Ri})\,G(\Theta_{Hi})}{10}} \quad (7)$$

여기서 $c = 10^{-9.2}$

$r_i = \sqrt{(x_i - r - h_r)^2 + y_i^2}$ (h_r은 HAPS 서비스 반경)

Ⅳ. 계산 결과

간섭 평가를 위하여 두 가지 형태가 고려되었으며, 각각 다른 방법을 사용한다. 한 가지는 I/N(interference-to-noise ratio)비를 사용하는 경우이고, 다른 한 가지는 C/I(Carrier-to-interference)비를 사용하는 경우이다.

본 논문에서는 간섭 전력대 시스템 잡음비인 I/N을 이용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$I/N = I - 10\log(293 \times k \times 10^{NF/10} \times 10^6)\ (dB) \quad (8)$$

여기서

k : 볼쯔만 상수 = 1.38×10^{-23} (J/K)
NF: 무선 중계 스테이션의 잡음 지수(dB)

식 (8)에서, NF값이 6 dB일 때, I/N=10 %의 기준을 만족하는 잡음 전력 N은 −166.12 dB이다. 따라서, 허용되는 간섭 전력 I는 −176.12 dB보다 작아야만 한다. 식 (8)에서 I는 HAPS 지구국의 송신 전력, 축과 단일 무선 중계국 사이의 방위각, 그리고 무선 중계국과 HAPS nadir사이의 거리에 대부분 의존하기 때문에, 이러한 파라메타에 대한 I/N의 값은 식 (8)을 사용하여 계산하였으며 그 결과를 그림 4~그림 6에 나타내었다.

그림 4는 각각의 무선 중계국의 송신 전력이 동일하다고 가정하여 무선 중계국의 trendline의 중심과 HAPS nadir간의 거리를 100 km로 가정할 때 무선 중계국의 송신 전력, P_{RS}= 0, −20, −50 dBW/MHz인 경우에 대한 I/N을 구한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이, 송신 전력이 보다 큰 경우는 trendline의 어느 각도에서나 I/N=−10 dB기준점을 초과하게 되며, 송신 전력이 0 dBW/MHz인 경우에는 평균적으로 I/N= 35dB로 나타났으며, −20dBW/MHz송신 전력의 경우에는 I/N= 10 dB정도로 평가되어 두 시스템간의 주파수 공유 가능성이 거의 없음을 알 수 있다. 그러나, 송신 전력이 −50dBW/MHz로 낮은 경우에는 trendline의 각도에 따라 I/N이 최대 −3 dW에서 최소 −30 dW정도 변화를 보이고 있으며, 40°, 140°부근 등에서 I/N= −10 dB

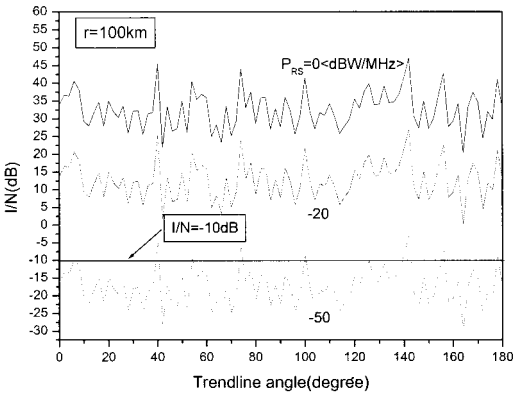

그림 4. 송신전력에 따른 간섭 전력
Fig. 4. I/N with the transmitting power.

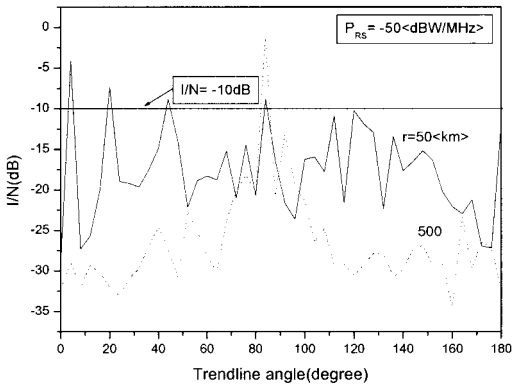

그림 5. Trendline과 HAPS nadir 간의 거리에 따른 간섭 전력
Fig. 5. I/N with distance between Trendline and HAPS nadir.

기준을 초과하지만 평균적으로 약 I/N=−14 dB 정도로 −50 dBW /MHz 송신 전력에서는 주파수 공유 가능성이 크다고 할 수 있다.

그림 5는 무선 중계국의 송신 전력 P_{RS}= −50 dBW/MHz로 고정할 때 trendline중심과 HAPS nadir간의 거리에 따른 간섭 전력을 나타낸 것이다. 거리가 50 km일 경우에도 trendline의 특정 각도에서 간섭 기준 I/N=−10dB를 초과하고 있지만 평균적으로는 I/N=−15dB이하라 할 수 있다. 한편, 두 서비스간의 거리를 500 km로 크게 하더라도 특정 각도 즉, τ = 82°근방에서는 간섭 영향이 I/N= −10 dB정도로 높다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 무선 중계국 시스템의 한 루트(route)가 2,500 km정도로 길기 때문으로, 두 시스템간 주파수 공유를 위해서는 시스템간의 거리를 조절하는 방법보다는 trendline의 각도 설정이 매우 중요하다는 것을 나타낸다.

그림 6은 무선 중계국이 trendline 각도, τ=0°로하여 HAPS 서비스 에어리어와 수직으로 위치할 때 trendline과 HAPS nadir간의 거리에 따른 간섭 전력을 구한 결과이다. 송신 전력 PRS=−20dBW/ MHz 이상에서는 거리 500 km정도까지 I/N=−10 dB 기준을 초과하고 있지만, −15 dBW/MHz로 송신 전력이 낮아지면, 100 km이상의 거리에서는 간섭 기준인 I/N=−10 dB를 초과하지 않으므로 두

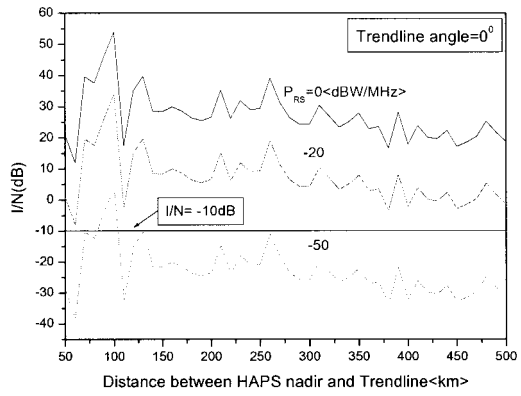

그림 6. 송신전력과 거리에 따른 간섭 전력

Fig. 6. I/N with transmitting power and distance between HAPS nadir and Trendline.

시스템간의 주파수 공유가 가능하다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 중계국에 배타적으로 할당된 3~18 GHz주파수 대역에서 무선 중계국과 HAPS 시스템간의 공유 가능성 분석을 위해서 이미 HAPS 시스템이 무선 중계국에 미치는 간섭 분석은 이루어졌으므로[1], 무선 중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 영향에 대해서만 평가를 행하였다.

무선 중계국이 HAPS 시스템에 미치는 간섭 영향을 평가하기 위한 방법으로 무선 중계국의 송신 전력, trendline과 HAPS nadir간의 거리, 무선 중계국 송신 전력과 HAPS nadir까지의 거리에 따른 간섭 전력에 대하여 각각 분석을 행하였다. 분석 결과 두 시스템 간의 조정 거리는 무선 중계국의 trendline이 HAPS 서비스와 수직으로 놓일 때(즉, τ =0°), 송신 전력이 −50dBW/MHz이면 약 100 km 정도가 필요함을 알 수 있었으며 이는 HAPS 시스템이 무선 중계국에 미치는 간섭의 경우의 같은 조건하의 60km[1]일 때 보다 더 큰 조정 거리가 필요함을 알 수 있다. 따라서, 무선 중계국과 HAPS 시스템의 주파수 공유를 위해서는 두 시스템간의 조정 거리를 멀리하기 보다는 무선 중계국의 trendline과 HAPS 서비스가 이루는 각도의 설정이 보다 중요하다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 박종민, 구본준, 안도섭, 김봉석, 강영흥, "주파수 공유를 위한 HAPS 시스템이 무선 중계국에 미치는 간섭 영향 분석" 한국통신학회 논문지 투고 중

[2] Doc. ITU-R. 98B/J-8, Preliminary Study or Feasibility of High Altitude Platform Station (HAPS) in the Fixed and Mobile Services in the Frequency Bands Above Allocated Exclusively for terrestrial Radiocommunication, March 2001.

[3] A.S. May and M.J. Pagones, “Model for computation of interference to radio-relay systems from Geostationary satellites", *The Bell system Tech. Journal*, PP. 81-101, Jan. 1971.

[4] Rec. ITU-R F.1107, Probabilistic Analysis for Calculating Interference into the Fixed Service from Satellites Occupying the Geostationary Orbit, 1994.

[5] Rec. ITU-R F.699-2. Reference Radiation Patterns for Line-of-sight Radio-relay System Antenna for Use in Coordination Studies and Interference Assessment in the Frequency Range from to about, 1994.

[6] Doc. ITU-R 4-9S/11-E, Coordination Distance for High Altitude Platform Stations, Feb.1998.

[7] Doc. ITU-R 9B/18-E, Methodology for Impact Evaluation and Operational Procedure of the Fixed Service Using High Altitude Platform Stations (HAPS) for Frequency Sharing with Other Co-primary Services Across the International Border in the Band and, Sept. 2000.

김 봉 석(金峰奭)

1993년 2월 : 군산대학교 정보통
신공학과 졸업(공학사)
1994년 10월~1998년 2월 : 군산대학교 정보통신공학과 조교
1997년 2월 : 군산대학교 정보통신공학과 대학원 (공학석사)
1999년 3월~현재: 군산대학교 정보 통신공학과 대학원 박사과정
관심분야 : 이동통신 및 위성통신 시스템, HAPS 시스템, IMT-2000 시스템

박 상 준(朴 尙 準)

2001년 2월 : 군산대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
2001년 3월~현재 : 군산대학교 전자정보공학부 석사과정
관심분야 : 이동통신 및 위성통신 시스템, 전파간섭, HAPS 시스템

함 형 일(咸 炯 一)

1998년 2월 : 호원대학교 정보통신과 졸업(공학사)
2001년 3월~현재 : 군산대학교 전자정보공학부 석사과정
관심분야 : 이동통신 및 위성통신 시스템, 전파간섭, HAPS 시스템

강 영 흥(姜 榮 興)

1984년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과 졸업(공학사)
1986년 2월 : 한국항공대학교 대학원전자공학과 (공학석사)
1988년 3월~1990년 2월 : 한국항공대통신정보공학과 조교
1995년 8월~1996년 8월 : 일본 오사카대학 객원교수
1990년 4월~현재 : 군산대학교 전자정보공학부 교수
관심분야 : 전자공학, 통신공학, 광통신 공학