

실내 환경에서 RSSI 차이를 이용한 AOA 기반 위치 추정 알고리즘

Location Estimation Algorithm Based on AOA Using a RSSI Difference in Indoor Environment

정 용 진¹ · 전 민 호¹ · 안 정 길² · 이 정 훈² · 오 창 현^{1*}

¹한국기술교육대학교 전기전자통신공학과

²(주)파인텔레콤

Young-Jin Jung¹ · Min-Ho Jeon¹ · Jeong-Kil Ahn² · Jung-Hoon Lee² · Chang-Heon Oh^{1*}

¹Department of Electrical, Electronics and Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Chungcheongnam-do 31253, Korea

²Pinetelecom Co.,LTD., Daejeon 34016, Korea

[요 약]

최근 실내 위치추위 기술을 이용하여 다양한 서비스가 이루어지고 있다. 실내 위치추위 방식에는 대표적으로 fingerprinting 방식과 삼변측량 방식이 있으나 활용의 제한성 및 위치추정 오차 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존의 측위 방식인 AOA, TOA, TDOA 등의 측위 기술을 응용한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 실내 환경에서 RSSI 차이를 이용한 AOA 기반 위치 추정 알고리즘에 대해 연구한다. 4개의 안테나를 가지는 하나의 AP를 가정하여 연구를 진행하며, RSSI를 기반으로 도래각을 추정 후 AOA 알고리즘에 적용한다. RSSI의 보정을 위해 재귀식 평균 필터를 이용하며, 도래각 추정을 위해 보정된 RSSI와 피타고라스 정리를 이용한다. 실험 결과 좁은 간격으로 배치된 4개의 무지향성 안테나의 방사 패턴으로 인하여 18%의 오차를 보였으며, 지향성 안테나를 이용할 경우 실내 환경에서 AOA 알고리즘을 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

[Abstract]

There have recently been various services that use indoor location estimation technologies. Representative methods of location estimation include fingerprinting and triangulation, but they lack accuracy. Various kinds of research which apply existing location estimation methods like AOA, TOA, and TDOA are being done to solve this problem. In this paper, we study the location estimation algorithm based on AOA using a RSSI difference in indoor environments. We assume that there is a single AP with four antennas, and estimate the angle of arrival based on the RSSI value to apply the AOA algorithm. To compensate for RSSI, we use a recursive averaging filter, and use the corrected RSSI and the Pythagorean theorem to estimate the angle of arrival. The results of the experiment, show an error of 18% because of the radiation pattern of the four non-directional antennas arranged at narrow intervals.

Key word : Angle of arrival, Indoor location estimation, Recursive averaging filter, Received signal strength indicator, Location based service.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.6.558>



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.

Received 17 November 2015; Revised 25 November 2015
Accepted (Publication) 10 December 2015 (30 December 2015)

*Corresponding Author; Chang-Heon Oh

Tel: +82-41-560-1215

E-mail: choh@koreatech.ac.kr

I. 서론

스마트 디바이스의 대중화가 이루어짐에 따라 많은 분야에서 사용자들에게 다양한 서비스를 제공하기 위한 위치 기반 서비스(LBS; location based service)가 적용되고 있다. 위치 기반 서비스는 GPS (global positioning system), Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi, UWB (ultra wide band) 통신망을 기반으로 AOA (angle of arrival), TOA (time of arrival), TDOA (time difference of arrival), fingerprinting, 삼변측량 기법 등을 이용하여 스마트 디바이스 사용자들의 긴급구조, 광고 마케팅, 사람 또는 사물 등의 위치 추적, 운송시스템, 이동 통신을 위한 고용량 데이터 정보 전송에서 사용되고 있다 [1],[2].

실내 환경에서 사용자의 위치를 추정하기 위해 대표적으로 사용되는 측위 기술의 파라미터는 실내의 많은 공간에 Wi-Fi AP (access point)가 설치되어 있어 별도의 인프라 구축이 필요 없는 RSSI (received signal strength indicator)를 주로 이용한다. RSSI를 이용하는 대표적인 실내 측위 기술은 fingerprinting, 삼변측량 기술이 있다 [3]. 그러나 RSSI는 실내 공간의 구조, 온도, 습도 등의 다양한 환경요소에 영향을 받아 불규칙적으로 변하여 높은 신뢰성을 가지기 힘들다는 단점이 있다 [4]-[6]. 이러한 단점으로 인해 RSSI와 기존의 측위 기술들을 응용하여 신뢰성을 높이는 실내 환경에서 위치 측위 기술이 연구되고 있다.

다양한 측위 기술 중 대표적으로 AOA 기술과 응용하는 연구가 진행되고 있다. AOA 측위 방식에서 요구되는 도래각 추정 방식에 따라 크게 두 가지로 구분되며, 고정된 안테나를 이용하여 도래각을 추정하는 방식과 안테나를 회전시켜 도래각을 추정하는 방식이 있다 [7]-[9].

본 논문에서는 실내 환경에서 위치추위를 위해 RSSI기반의 AOA 기술의 적용에 대한 연구를 진행하였다. 4개의 안테나를 가지는 하나의 AP를 가정으로 진행하였으며, RSSI를 이용하여 도래각을 추정함으로써 AOA 기술을 적용한다.

본 논문의 구성으로 II장에서는 관련 연구에 대해 설명하고, III장에서는 RSSI의 보정과 도래각 추정을 통한 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 알고리즘의 성능을 평가한다. 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

RSSI를 사용한 위치 측위 기술들은 RSSI가 다양한 환경요소에 영향을 받아 불규칙적인 특성을 가지기 때문에 부정확한 위치 추정의 문제점이 존재한다. 이에 기존의 RSSI를 이용한 위치 추정의 문제점을 보완하기 위해 다양한 기술들과 응용되어 연구되고 있으며, 대표적으로 AOA 기술을 이용한 방식이 있다. AOA 기술을 이용하기 위한 도래각 추정의 방식은 크게 고정된 안테나를 사용한 방식과 안테나를 움직이는 방식으로 구분된다.

고정된 안테나를 사용하는 방식은 AP별로 직각으로 배치된 지향성 안테나를 사용한다. 최소 2개 이상의 AP를 이용하여 각 AP의 각도와 거리에 따른 RSSI의 값을 사전에 측정하며, 측정된 RSSI를 기반으로 사용자의 위치를 추정한다 [7]. 그러나 지향성 안테나의 종류에 따라 RSSI 측정을 위한 사전 작업이 필요한 단점이 있다.

안테나를 움직이는 방식은 부여된 펄스 수에 따라 비례한 각도 만큼 회전하는 스텝모터를 이용한다. 4개 이상의 안테나가 부착된 모터가 회전 중 RSSI가 크게 수신되는 각도를 도래각으로 추정하여 사용자의 위치를 추정한다 [8],[9]. 그러나 환경의 변화에 따라 불규칙적인 특성을 가지는 RSSI로 인해 도래각 추정이 정확하지 않다는 문제점이 있다.

이와 같은 단점들을 보완하기 위해 본 논문에서는 재귀적 평균 필터를 이용하여 RSSI를 보정 후, 보정된 RSSI의 차이를 기반으로 도래각을 추정하여 AOA 기반의 위치 측위 알고리즘을 연구한다.

III. RSSI를 이용한 AOA 알고리즘

3-1 재귀적 평균 필터를 이용한 RSSI 보정

RSSI는 주변의 환경에 따라 불규칙하게 변하는 성질을 가진다. 이러한 성질로 인해 실내 측위에 필요한 RSSI의 보정이 필요하다 [4],[5]. 불규칙적인 RSSI 값을 잡음이라 할 수 있으며, 잡음을 제거하기 위해 식 1의 재귀적 평균 필터를 이용하였다. 이때 \bar{x}_n 은 현재 평균값, \bar{x}_{n-1} 은 이전 평균값, x_n 은 현재 입력 RSSI이다. 재귀적 평균 필터는 배치식 평균 필터와는 달리 앞선 결과의 값을 이용하기 때문에 계산 과정에서 메모리를 효율적으로 사용할 수 있다 [10].

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n}x_n + \frac{n-1}{n}\bar{x}_{n-1} \quad (1)$$

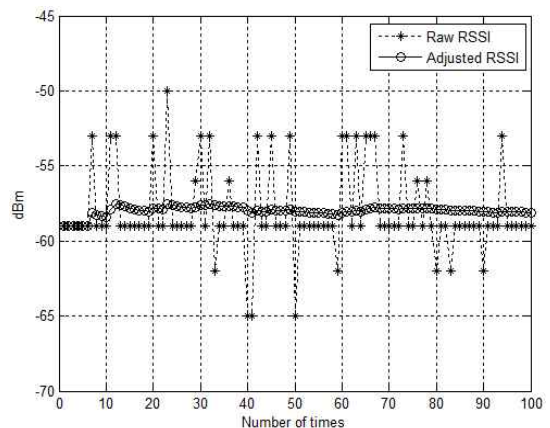


그림 1. 재귀적 평균 필터를 이용한 RSSI 보정
Fig. 1. Adjusted RSSI using recursive averaging filter.

그림 1은 임의의 한 지점에서 측정된 RSSI를 재귀식 평균 필터에 적용한 결과를 나타낸다. 재귀식 평균 필터를 적용하기 전의 RSSI는 불규칙적으로 변화하는 것을 볼 수 있으며, 적용 후의 RSSI는 잡음이 제거된 것을 확인할 수 있다.

3-2 보정된 RSSI를 이용한 도래각 추정

AOA 알고리즘은 도달하는 신호의 각도를 이용하여 사용자의 위치를 추정하는 방법으로 신호의 도래각 추정이 이루어지지 않는다면 위치를 추정할 수 없다. RSSI를 기반으로 도래각 추정 후 AOA 기반의 측위 방식은 그림 2와 같다.

그림 2에서 r_1 과 r_2 는 위치 추정의 대상인 MS(mobile station)와 RSSI를 수신하는 BS(base station)간의 거리이며, $dist$ 는 BS_1 와 BS_2 간의 거리이다. MS와 BS간의 거리 값은 식 2의 Friis 공식을 이용해 계산한다.

$$L = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) [dB] \tag{2}$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \times 10^{\frac{L}{20}}$$

여기서 L 은 RSSI를 의미하며, d 는 RSSI를 이용하여 측정된 거리를 의미한다. 삼각함수로 도래각 추정을 위해 x 와 y 의 값이 필요하다. x 와 y 의 값을 변 z 를 가지는 두 직각삼각형의 피타고라스 정리를 이용하여 구하며, 식 3과 같이 표현된다.

$$x = \frac{r_1^2 + r_2^2 + dist^2}{2dist} \tag{3}$$

$$y = dist - x$$

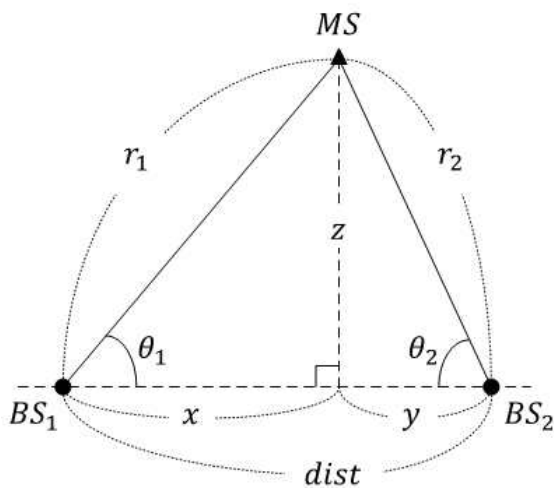


그림 2. RSSI를 이용한 도래각 추정 방법
 Fig. 2. Method of estimating the angle of arrival using RSSI.

최종적으로 AOA 측위 방식을 위해 요구되는 도래각 θ_1, θ_2 는 식 4와 같이 표현된다.

$$\theta_1 = \cos \frac{x}{r_1}, \theta_2 = \cos \frac{y}{r_2} \tag{4}$$

r_1 과 r_2 는 식 2에서 구한 MS와 BS간의 거리이며, x 와 y 는 식 3을 이용해 구한 값이다.

3-3 실내 환경에서의 AOA 기반 위치 측위 알고리즘

본 논문에서 제안하는 실내 환경에서 RSSI 차이를 이용한 AOA 기반의 위치 측위 알고리즘은 그림 3과 같이 4개의 안테나가 탑재된 하나의 AP를 가정으로 연구를 진행하였다.

알고리즘의 순서는 그림 4와 같다. 초기 MS로부터 BS의 역할을 하는 안테나가 RSSI를 수신한다. 수신된 RSSI는 주변 환경에 따라 불규칙적인 특성을 가지며, 실내측위에 필요한 RSSI 값을 얻기 위해 보정의 단계를 거친다. RSSI의 보정은 재귀식 평균 필터를 이용한다.

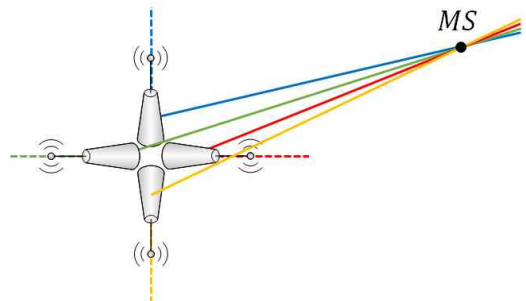


그림 3. 4개의 안테나가 탑재된 AP
 Fig. 3. AP to which 4 antennas are attached.

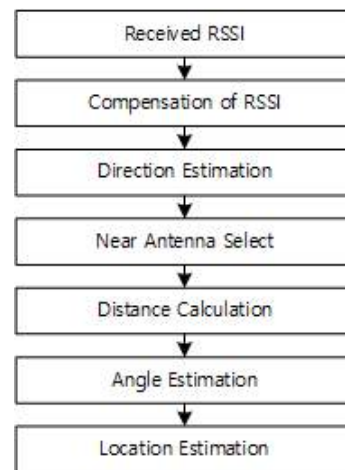


그림 4. 알고리즘 순서도
 Fig. 4. Algorithm flow chart.

보정된 RSSI의 크기를 비교하여 MS의 1차 방향을 추정한다. 1차 방향 추정의 이유는 MS가 위치한 방향과 근접한 안테나를 선택하기 위함이며, 선택된 안테나를 기준으로 재귀식 평균 필터를 통해 보정된 RSSI를 이용하여 거리를 계산하는 friis 공식으로 BS와 MS간의 거리를 계산한다. 계산된 거리와 피타고라스의 정리를 이용하여 도래각 θ_1, θ_2 를 추정한다. 추정된 도래각을 이용하여 최종 MS의 위치를 추정한다.

IV. 실험 및 결과

4-1 실험 환경

본 연구에서는 4개의 안테나가 탑재된 하나의 AP를 가상으로 구성하여 실내 환경에서 RSSI의 차이를 이용한 AOA 위치 추위 알고리즘을 연구하였다. 알고리즘의 성능평가를 위해 그림 5의 환경에서 실험을 진행하였다.

그림 6은 실험을 진행하기 위한 기기의 구성이다. RSSI를 수신하기 위한 기기는 무지향성 안테나를 기반으로 하는 ㈜한백전자의 HEB-Zigbex를 이용하였고 알고리즘의 처리부로 ATMega128을 이용하였다.



그림 5. 실험 환경
Fig. 5. Test environment.



그림 6. 실험 구성
Fig. 6. Test composition.

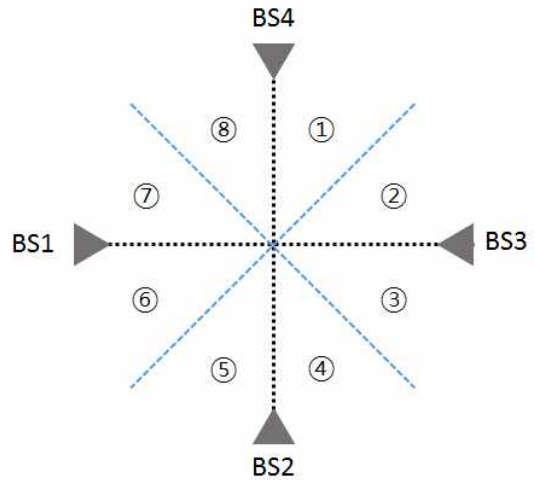


그림 7. 실험 방법
Fig. 7. Test method.

기존의 AOA 측위 기술은 지향성 안테나를 기반으로 이루어지는 반면, 본 연구의 실험은 무지향성 안테나로 진행되어 평가의 기준을 거리를 제외한 방향을 중점으로 진행하였다. 방향은 그림 7과 같이 AP를 기준으로 8개의 방향으로 나누어 한 방향당 100회 측정하여 오차율에 대한 실험을 진행하였다.

4-2 성능 평가

4개의 안테나로부터 수신되는 RSSI를 기반으로 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 이용하여 실험을 진행하였다. 그림 7과 같이 8개의 방향을 추정하는 것으로 방향 당 100회 측정하여 총 800회의 추정을 진행하였다. 표 1은 8방향에 대한 오차율 실험의 결과이다. 실험 결과, 13% - 21%의 오차율을 보이며 평균 18%의 오차율을 확인하였다. 평균 18%의 오차율의 원인은 지향성 안테나와 무지향성 안테나의 방사패턴 차이로 인해 발생된다.

표 1. 실험 결과

Table 1. Result of test.

Direction	Number of Success	Number of Error	Error Factor(%)
1	81	19	19
2	87	13	13
3	85	15	15
4	79	21	21
5	81	19	19
6	82	18	18
7	84	16	16
8	80	20	20
Total	659	141	18

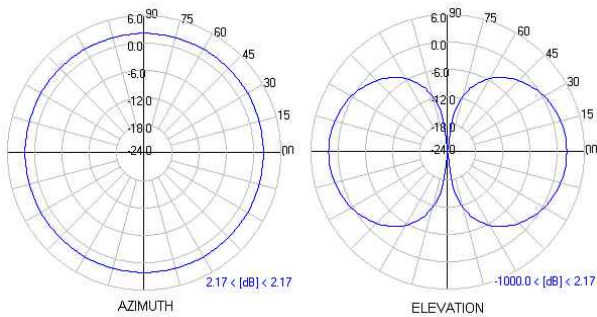


그림 8. 무지향성 안테나의 방사 패턴
 Fig. 8. Radiation pattern of nondirectional antenna.

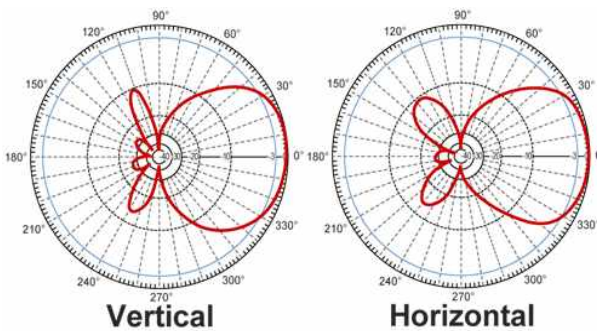


그림 9. 지향성 안테나의 방사 패턴
 Fig. 9. Radiation pattern of directional antenna.

본 논문에서 가정된 AP의 안테나 방사 패턴은 그림 8과 같이 무지향성 안테나의 방사 패턴을 가진다. 이러한 방사 패턴을 가지는 4개의 안테나를 좁은 공간에 배치할 경우 한 지점에서 4개의 안테나가 수신하는 RSSI가 서로 근사한 값을 가진다. 이러한 문제점으로 좁은 공간에 4개의 안테나가 탑재된 AP를 이용하여 측위 할 경우 의도하지 않은 오차가 발생한다. 따라서 그림 9와 같은 방사 패턴을 가지는 지향성 안테나를 사용하여 RSSI를 기반으로 보다 정확한 거리 및 방향의 추정이 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 실내 환경에서 AOA 알고리즘을 적용하기 위해 RSSI 차이를 이용한 AOA 기반의 위치 측위 알고리즘을 제안하였다. 주변 환경에 따라 불규칙적으로 변하는 RSSI를 재귀식 평균 필터를 이용하여 보정하였으며, 보정된 RSSI를 이용하여 수신 신호의 도래각을 추정하였다. 추정한 도래각을 이용하여 실내 환경에서 AOA 기반의 위치 측위 알고리즘을 실험한 결과, 평균 18%의 오차율을 확인하였다. 오차율의 원인은 4개의 안테나 간격이 좁은 환경에서 무지향성 안테나의 방사 패턴에 의한 것이다. 4개의 RSSI가 근사한 값을 가지기 때문에 의도치 않은 오차가 발생하게 된다.

향후 연구 계획은 본 실험 결과를 바탕으로 지향성 안테나를

이용하여 실내 환경에서의 AOA 알고리즘 적용에 대한 연구를 진행할 예정이며, 정확한 위치 측위를 위해 송신되는 신호의 도달 시간을 이용하여 거리를 측정 후 도래각을 추정하는 알고리즘을 설계할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 및 산업기술평가관리원의 산업기술 혁신사업 개발사업의 일환으로 수행하였음. [10048057, 스마트폰 LBS를 위한 고정밀 실내측위시스템의 SoC 개발]

참고 문헌

- [1] K. W. Cho, M. H. Jeon, and C. H. Oh, "Development of lighting control system based on location positioning for energy saving," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 12, pp. 2968-2974, Dec. 2014.
- [2] H. J. Kwon, TOA estimation and AOA estimation for wireless location, M. S. theses, Sejong University, Seoul, Korea, 2007.
- [3] D. Y. Lee, and Y. H. Kang, "Smart phone sensor-based indoor location tracking system for improving the location error of the radio environment," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 74-79, Feb. 2015.
- [4] Y. G. Kim, H. J. Shin, Y. H. Chon, and H. J. Cha, "Smartphone-based Wi-Fi tracking system exploiting the RSS peak to overcome the RSS variance problem," *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 9, No. 3, pp. 406-420, Jun. 2013.
- [5] C. Laoudias, R. Piche, and C. G. Panayiotou, "Device self-calibration in location systems using signal strength histograms," *Journal of Location Based Services*, Vol. 7, No. 3, pp. 165-181, Jun. 2013.
- [6] C. P. Yoon, and C. G. Hwang, "Efficient indoor positioning systems for indoor location-based service provider," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 6, pp. 1368-1373, Jun. 2015.
- [7] J. R. Jiang, C. M. Lin, F. Y. Lin, and S. T. Huang, "ALRD: AoA localization with RSSI differences of directional antennas for wireless sensor networks," in *2012 International Conference on Information Society (i-Society)*, London: UK, pp. 304-309, 2012.
- [8] M. Malajner, P. Planinsic, and D. Gleich, "Angle of arrival estimation using RSSI and omnidirectional rotatable

antennas,” *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12, No. 6, pp. 1950-1957, Jun. 2012.

- [9] M. I. Jais, P. Ehkan, R. B. Ahmad, I. Ismail, T. Sabapathy, and M. Jusoh, “Review of angle of arrival (AOA) estimations through received signal strength indication (RSSI) for wireless sensors network (WSN),” in *2015*

International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT), Kuching: Malaysia, pp. 354-359, 2015.

- [10] J. M. Kim, A study on the indoor location estimation algorithm using wireless networks, M. S. theses, Korea University, Seoul, Korea, 2015.



정 용 진 (Yong-Jin Jung)

2014년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 석사과정
 2014년 2월 공주대학교 전기전자제어공학부 전자공학·나노정보공학전공 전자공학트랙 공학사
 ※ 관심분야 : 무선통신, 실내 위치 측위, Wireless Sensor N/W



전 민 호 (Min-Ho Jeon)

2009년 8월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 석박사통합과정
 2009년 2월 극동대학교 게임디지털컨텐츠학과 공학사
 ※ 관심분야 : 무선통신, Wireless Sensor N/W, 빅데이터, 사물지능통신, 상황인지



안 정 길 (Jeong-Kil Ahn)

2012년 2월 ~ 현재 (주)파인텔레콤 기술연구소장
 2003년 4월 ~ 2008년 6월 (주)세니온 개발본부장
 1998년 1월 ~ 2001년 3월 (주)산텔레콤 선임연구원
 1993년 8월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학석사
 ※ 관심분야 : 무인항공기 데이터링크, 무선통신, 실내 위치 측위

2008년 7월 ~ 2011년 12월 (주)휴메이트 연구소장
 2001년 9월 ~ 2003년 3월 (주)신영텔레콤 수석연구원
 1993년 4월 ~ 1997년 12월 (주)금경계전 전임연구원
 1991년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사



이 정 훈 (Jung-Hoon Lee)

2013년 3월 ~ 현재 (주)파인텔레콤 기술연구소 연구원
 2011년 2월 충북대학교 정보통신공학과 공학사
 ※ 관심분야 : 무인항공기 데이터링크, 무선통신, 실내 위치 측위



오 창 현 (Chang-Heon Oh)

1999년 2월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수
 1993년 10월 ~ 1999년 2월 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원
 1996년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학박사
 1988년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과 공학사
 ※ 관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR

2006년 8월 ~ 2007년 7월 방문교수(University of Wisconsin-Madison)
 1990년 2월 ~ 1993년 8월 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원
 1990년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학석사