The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 15, No. 2, pp.151-156, Apr. 30, 2015. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.2.151
JIIBC 2015-2-21

실내에서 스마트폰의 글로벌 좌표 인식 시스템에 관한 연구

A Study on Global Positioning System of Smart Phone in indoor

오종택*

Jongtaek Oh*

요 약 스마트폰의 사용이 크게 활성화됨에 따라 거의 모든 사람들이 항상 휴대하고 있으며, 실외에서는 GPS 위성 시스템을 이용하여 자신의 위치를 인식하고 관련된 응용 서비스를 제공받을 수 있다. 그러나 실내에서는 스마트폰의 위치를 인식하기도 어렵고 TDOA 방식의 상대 위치를 측정하는 방식에서는 글로벌 좌표를 인식할 수 없다. 본 논문에서는 음향 신호를 이용한 TDOA 방식의 상대 위치 추정 시스템에서, GPS 수신기와 지자기 센서를 이용하여 실내에서 스마트폰의 글로벌 좌표를 인식하는 시스템이 제안되었고, 그 성능과 실험 결과가 기술되었다.

Abstract As the proliferation of smart phone, almost every user has one's own smart phone, and the user could get the global position and location based services using GPS system outdoors. But indoor positioning system using GPS does not work, and it could not detect global position using TDOA local positioning system. In this paper, a new indoor global positioning system for smart phone employing GPS receiver and electronic compass device is proposed with the TDOA local positioning system using acoustic signal, and the performance and the experimental result are described.

Key Words : indoor positioning, smart phone, TDOA, GPS, digital compass

Ⅰ. 서 론

스마트폰의 사용이 보편화됨에 따라 대부분의 사용자들이 항상 스마트폰을 휴대하게 되었다. 스마트폰에는 GPS 수신기가 내장되어 있어 실외에서는 GPS (Global Positioning System) 신호를 수신하여 쉽게 글로벌 절대 좌표 값을 인식하고 이 값을 이용하여 Google 지도나 네이버 지도상에 자신의 위치를 표시할 수 있다. 이 기술을 기반으로 차량 항법장치나 현재 위치 찾기, 주변 관심 지점 검색 등의 다양한 위치 기반 서비스가 가능하다.

그러나 실내에서는 GPS와 같은 위치 신호를 전송하는 기반시설이 없으므로 위치 기반 서비스가 불가능하였다. 최근에는 실내에 설치된 다수의 무선랜 공유기의 전파 신호 세기 정보를 실내의 각각의 위치에서 사전에 측정하여 데이터베이스를 만들고, 임의의 위치에 있는 스마트폰에서 측정된 무선랜 공유기의 신호 세기를 데이터베이스의 값과 비교하여 현재의 실내 위치를 추정하며, 또한 이 값을 별도로 제공되는 실내 지도에 표시하는 기술이 개발되어 상용화되었다[1,2]. 이 기술의 장점은 실내에서의 위치 인식을 위해서 별도의 기반 시설을 구축하

*정회원, 한성대학교 정보통신공학과
접수일자 2015년 1월 9일, 수정완료 2015년 2월 12일
게재확정일자 2015년 4월 10일

Received: 9 January, 2015 / Revised: 12 February, 2015 / Accepted: 10 April, 2015
*Corresponding Author: jtoh@hansung.ac.kr
Dept. of ICs Engineering, Hansung University, Korea

지 않아도 되는 장점이 있다. 통상적으로 실내에는 다수의 무선랜 공유기가 설치되므로 이들의 전파 신호를 이용하여 실내 위치를 측정할 수 있다. 그러나 이 방식의 경우 실내 위치 추정 오차가 평균 5 m 정도 이상이므로 정밀한 위치 측정이 어렵다는 단점이 있고, 사전에 실내의 각 지점에서 무선랜 공유기의 전파 신호 세기를 측정해야 하는 어려움이 있다. 또한 전파의 전파 특성이 주변 상황에 따라 변화하고 무선랜 공유기의 설치 위치 변동에 따라 사전 측정값이 달라지는 문제도 있다. 그리고 실내 위치 인식을 위해 측정된 무선랜 공유기의 전파 신호 세기 값을 저장하고 있는 서비스 서버가 별도로 존재하여, 스마트폰에서 측정된 무선랜 공유기의 전파 신호 세기 값을 신호 처리하여 위치를 추정하고, 추정된 실내 위치 값을 글로벌 절대좌표 값으로 변환하여 스마트폰에 제공해 주어야 한다. 사용자의 스마트폰이 해당 건물의 서비스 서버에 자동으로 접속하기 위해서는 별도의 과정이 더 필요하다.

한편, 스마트폰에서 음향 신호를 발생하고 실내 상대 위치 측정 장치에서 이를 TDOA (Time Difference of Arrival) 방식으로 처리하여 위치를 추정하는 기술도 활발하게 연구되어 왔다[3-5]. 이 방식의 장점은 수 cm 정도의 정밀도로 스마트폰의 상대위치를 측정할 수 있다는 것이다. 또한 음향 신호 기반의 실내 측위 장치는 사전에 측정할 필요가 없으며 주변 상황에 영향을 별로 받지 않는 장점도 있다. 그러나 별도의 측정 장치가 실내에 설치되어야 하며 음향 신호를 사용하므로 측정 거리가 수 m 정도로 제한된다는 것이다. 위치 기반 서비스는 기본적으로 서비스의 종류와 목적에 따라 요구되는 위치 오차의 정밀도가 다르므로, 정밀한 실내 측위가 필요한 경우에는 지점 기반으로 음향 측위 장치가 설치되어 사용될 필요가 있다.

기존의 음향 신호 기반의 실내 위치 추정 기술은 별도의 서비스 서버가 필요 없으며 상대 위치를 추정하는 방식이다. 즉, 실내 위치 측정 장치를 기준으로 스마트폰의 상대 좌표를 추정한다. 따라서 실내에서 스마트폰의 글로벌 절대 좌표를 추정할 수 없었다.

본 논문에서는 음향 신호 기반의 실내 위치 측정 장치에서 실내 위치 장치의 글로벌 좌표 및 지자기 센서, 스마트폰의 상대 위치 좌표를 조합하여, 스마트폰의 글로벌 절대 좌표를 구하는 기술에 대해서 설명하고, 제작된 시험 장치와 측정된 값에 대해서 설명한다.

II. 실내에서의 스마트폰 상대 위치 좌표 측정[6]

음향 신호원에 대한 상대 위치를 TDOA 방식으로 추정하기 위해, 위치 측정 장치의 표면에 부착된 마이크 수신기들의 구성은 그림 1과 같다. 여기서 음향 신호원이 S에 해당되며 위치 측정 장치의 전면부 표면에 5개의 마이크 수신기가 각각 50 cm의 간격으로 십자가의 형태로 장착되어 있다. 각각의 마이크 수신기들 사이의 수신 시간 차이를 측정하기 위해 cross correlation을 사용하고 있으며, 수신 시간 차이로부터 음향 신호원의 위치를 추정하기 위한 LLMS (Linearized Least Mean Square) 알고리즘 수식은 식(1) 및 (2)와 같다. 이 때 마이크 M1, M2, M3, M4, 및 M5의 좌표를 각각 (x_1,y_1,z_1), (x_2,y_2,z_2), (x_3,y_3,z_3), (x_4,y_4,z_4), (x_5,y_5,z_5)라고 하고, 신호원 S의 좌표는 (x_s,y_s,z_s)이며, d_1은 마이크 1과 신호원과의 거리, 측정된 신호원과 마이크 센서들 사이의 거리 차이 값은 각각 d_{12}, d_{13}, d_{14} 및 d_{15}이다.

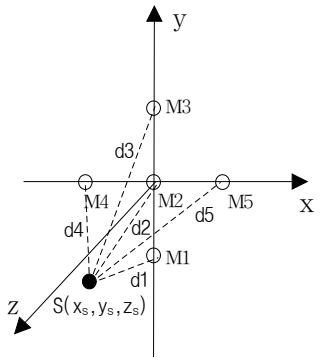


그림 1. 3 차원 공간에서의 5개의 십자 형태의 마이크들과 하나의 신호원 구성도[6]

Fig. 1. The 3D configuration of cross type 5 microphones and 1 signal source[6]

$$\mathbb{A}=2\begin{bmatrix}(x_2-x_1)\ (y_2-y_1)(z_2-z_1)\ d_{12}\\(x_3-x_1)\ (y_3-y_1)(z_2-z_1)\ d_{13}\\(x_4-x_1)\ (y_4-y_1)(z_2-z_1)\ d_{14}\\(x_5-x_1)\ (y_5-y_1)(z_2-z_1)\ d_{15}\end{bmatrix},\ \vec{x}=\begin{bmatrix}x_s\\y_s\\z_s\\d_1\end{bmatrix},$$

$$\vec{b}=\begin{bmatrix}(x_2^2-x_1^2)+(y_2^2-y_1^2)+(z_2^2-z_1^2)-d_{12}^2\\(x_3^2-x_1^2)+(y_3^2-y_1^2)+(z_2^2-z_1^2)-d_{13}^2\\(x_4^2-x_1^2)+(y_4^2-y_1^2)+(z_2^2-z_1^2)-d_{14}^2\\(x_5^2-x_1^2)+(y_5^2-y_1^2)+(z_2^2-z_1^2)-d_{15}^2\end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\hat{x} = (\mathbb{A}^T\mathbb{A})^{-1}\mathbb{A}^T\vec{b} \quad (2)$$

실제로는 스마트폰과 마이크 사이의 거리 차이 값을 측정할 때에 여러 가지 원인으로 오차가 발생하므로, 이 오차에 대한 추정된 위치 좌표의 오차의 비율을 의미하는 Dilution of Position (DOP)를 이용하여 위치 추정의 정확도를 시뮬레이션 할 수 있다. 그림 2에서는 거리 측정 오차를 가우시안 잡음으로 모델링하고 측정된 거리 차이 값의 오차에 대한 표준 편차는 0.1로 가정하였다[7].

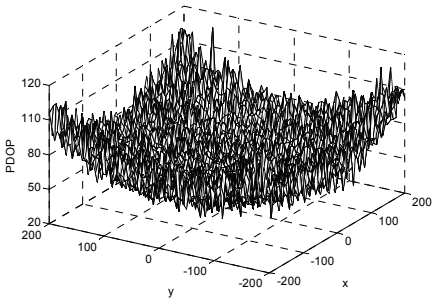


그림 2. 거리 측정 오차의 표준 편차가 0.1 일 때의 PDOP[7]
Fig. 2. The PDOP pattern with distance measurement error of 0.1[7]

그림 2는 상대 위치 측정 장치의 기준면으로 부터 거리 3 m의 평면에서 원점에서 상하-좌우 각각 2 m 거리에 대해서 스마트폰의 상대 위치 측정 오차를 표시한 것이다. 원점에서 벗어날수록 상대 위치 추정 오차가 증가하는 것을 확인할 수 있고, 기준면으로 부터 거리가 멀수록 즉 스마트폰과 상대 위치 측정 장치의 거리가 멀수록 상대 위치 추정 오차는 증가한다.

Ⅲ. 스마트폰의 글로벌 절대 좌표 인식 기술

그림 3은 본 논문에서 제안된 스마트폰 글로벌 좌표 인식 시스템의 구조이다. IPSGP (Indoor Positioning System for Global Positioning)가 스마트폰에서 발생된 음향 신호를 수신하여 스마트폰의 상대 위치를 추정하고, 자신의 글로벌 좌표 값과 설치 방향각을 이용하여 스마트폰의 절대 좌표를 추정한다.

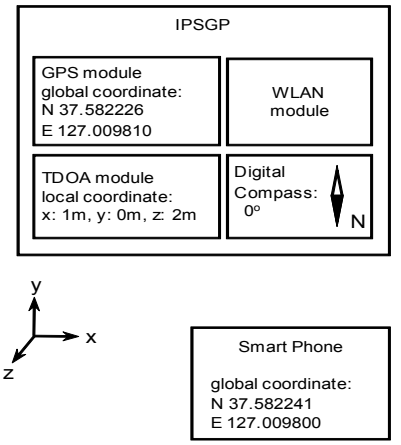


그림 3. 본 논문에서 제안된 스마트폰 글로벌 좌표 추정 시스템 구조
Fig. 3. The proposed system architecture of the global positioning system for smart phone

IPSGP에는 TDOA 모듈이 내장되어 있어 2장에서 설명된 방법으로 스마트폰의 상대 위치를 추정한다. 또한 추가적으로 GPS 모듈이 있어 IPSGP가 실내에 설치된 경우라도 창가와 같이 GPS 신호를 수신할 수 있는 위치에 있는 경우에는 IPSGP 장치가 스스로 글로벌 좌표를 인식할 수 있다. 그리고 지자기 센서가 내장되어 있어 IPSGP가 설치된 방향 각도를 스스로 인식할 수 있다. 즉, TDOA 모듈에는 5개의 마이크가 사용되는데, 이들 마이크가 설치된 전면부가 지향하는 방위각이 설치 방위각이다. IPSGP에는 무선랜 모듈이 내장되어 무선랜 공유기를 경유하여 스마트폰과 데이터 통신을 수행한다.

IPSGP가 GPS 모듈을 이용하여 글로벌 좌표를 스스로 인식하던지 또는 설치 담당자가 Google 맵을 이용하여 실내에서의 IPSGP 위치를 추정하여 글로벌 좌표 값을 IPSGP에 저장한다. 결과적으로 IPSGP는 자신의 글로벌 좌표를 인식하고 있으며, TDOA 모듈을 이용하여 스마트폰과의 상대 위치 좌표 값을 추정할 수 있다.

또한 IPSGP는 설치 방위각을 스스로 인식하고 있으므로, IPSGP의 글로벌 좌표와 설치 방위각, 스마트폰의 상대 위치 좌표를 합산하여, 스마트폰의 글로벌 좌표를 아래 식 (3)과 같이 계산할 수 있다[8].

$$latitude_{smart\ phone} = latitude_{IPSGP} + (z\cdot\cos\theta_{inst} + x\cdot\sin\theta_{inst})\cdot\alpha,$$
$$longitude_{smart\ phone} = longitude_{IPSGP} + (z\cdot\sin\theta_{inst} - x\cdot\cos\theta_{inst})\cdot\beta,$$
$$\alpha \approx 9.0\times10^{-6},\ \beta \approx \alpha/\cos\theta_{latitude\ of\ IPSGP} \quad (3)$$

여기서 $latitude_{IPSGP}$와 $longitude_{IPSGP}$는 각각 IPSGP의 위도와 경도이고, θ_{inst}는 IPSGP의 설치각도, α와 β는 각각 위도와 경도를 직선거리로 환산해주는 일종의 비례 상수이다. 지구 표면의 위치에 따라 비례 상수가 다르지만, 실내에서와 같이 측정 거리가 짧은 경우에는 오차를 무시할 수 있다.

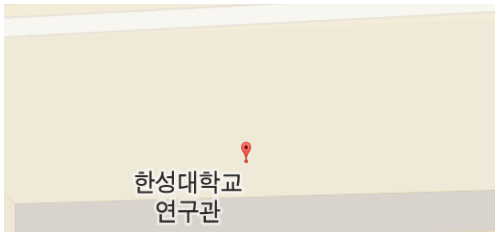
그림 3을 예로 들면, IPSGP의 글로벌 좌표는 북위 37.582226도이고 동경 127.009810도이다. 또한 IPSGP의 전면이 북쪽을 향하도록 설치되어 있다. 이 예에서는 스마트폰이 IPSGP의 가운데 마이크를 기준으로 북쪽으로 2 m의 거리에 있으며, 서쪽으로 1m 벗어나 있다.(z: 2 m, x: 1 m) 또한 IPSGP의 가운데 마이크와 같은 높이에 스마트폰이 고정되어 있다(즉, y 값은 동일함).

TDOA 모듈을 통해 IPSGP가 스마트폰의 상대 위치를 정확하게 추정하였다고 가정하고, 식(3)에 추정된 값들을 대입하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} latitude_{smartphone} &= 37.582226 + (2 \cdot \cos 0^o + 1 \cdot \sin 0^o) \cdot 9.0 \times 10^{-5} \\ &= 37.582241 \\ longitude_{smartphone} &= 127.009810 + (2 \cdot \sin 0^o - 1 \cdot \cos 0^o) \cdot (9.0 \times 10^{-6} / \cos(37.582226^o)) \\ &= 127.009800 \end{aligned} \quad (4)$$

위의 계산 결과를 Google의 지도 위에 표시한 것이 그림 4이다. (a)와 (b)의 두 개의 그림에서, 빨간 풍선 밑의 빨간점 위치가 각각 IPSGP와 스마트폰의 위치를 표시한다. 또한 (a)에서 검은 선의 길이가 5 m에 해당된다. 그림 2의 예제에서는 스마트폰이 IPSGP의 북쪽으로 2 m 그리고 서쪽으로 1 m의 위치에 있으므로, 그림 (a)에서 검은 선의 길이를 고려하면 스마트폰의 상대 위치는 검은 별의 위치가 된다. 이 검은 별의 위치는 그림 (b)에서의 추정된 스마트폰의 글로벌 좌표 위치와 일치하는 것을 확인할 수 있다.

(a)



(b)

그림 4. 그림 3의 예제에 대한 글로벌 좌표 변환 결과 (a) IPSGP 위치와 스마트폰의 상대 위치, (b) 계산된 스마트폰의 글로벌 좌표 위치 (위쪽이 북쪽)

Fig. 4. The transformed global coordinate for the case of Fig. 3 (a) the position of IPSGP, (b) the estimated global coordinate of the smart phone (Upper side points north.)

이상에서 본 논문에서 제안된 실내 위치 추정 장치의 글로벌 좌표와 설치 방위각, 스마트폰의 상대 좌표를 합산한 스마트폰의 글로벌 좌표 추정 기술의 계산 방법과 그 결과에 대해서 기술하였으며, 제안된 방법의 정확성이 확인되었다. 스마트폰의 실내에서의 글로벌 좌표 추정 값의 정확도를 높이기 위해서는 IPSGP가 TDOA 방식으로 스마트폰의 상대 위치를 추정하는 정확도가 높아야 하며, IPSGP의 글로벌 좌표 값도 정확해야 한다. IPSGP가 이동하지 않는 경우라면, 설치 담당자가 IPSGP의 글로벌 좌표를 실내 지도와 비교하여 정확하게 입력시키는 것이 효과적이다.

Ⅳ. 스마트폰 글로벌 절대 좌표 인식 장치 개발 및 시험 결과

그림 5는 제작된 실내에서의 스마트폰 글로벌 좌표 인식 시스템이다. 그림 1에서와 같이 십자가 모양으로 배치된 5개의 마이크가 있으며 마이크의 간격은 50 cm 이다.

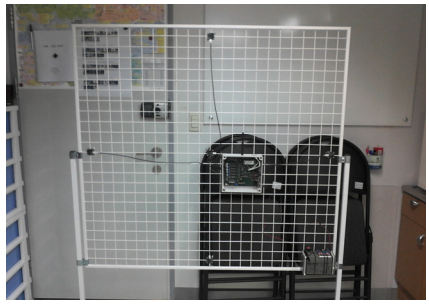


그림 5. 제작된 실내에서의 스마트폰 글로벌 좌표 추정 시스템

Fig. 5. Developed indoor global positioning system for smart phone

스마트폰 음향 신호는 시간길이가 5 msec인 5~10 kHz의 선형 chirp 신호가 사용되었고, 샘플링 속도는 100 kHz이다. 스마트폰의 위치를 추정하는 알고리즘은 2장에서 설명한 방법과 같다.

다음 표 1은 제작된 시험 시스템을 이용하여 측정된 결과 값이다. 4개의 장소에서 스마트폰의 글로벌 좌표를 추정하였으며, 2가지의 IPSGP 설치 방향각에 대해서 시험하였다. IPSGP와 스마트폰의 수직 거리가 2 m인 경우에, TDOA 방식의 상대 좌표의 위치 추정 오차가 20 cm 정도 발생한다.

표 1. IPSGP의 글로벌 좌표, 설치 방위각, TDOA 상대 위치 좌표를 합산한 스마트폰의 글로벌 좌표 추정 시험값

Table 1. The estimated smart phone global position with IPSGP global position, the azimuth of IPSGP, and TDOA relative position

Global coordinate of IPSGP			N37.582226, E127.009810
Azimuth of IPSGP	Local coordinate of the smart phone [m]		Estimated global coordinate of the smart phone
	Real position	Estimated position by TDOA	
0° (north)	x:0, y:0, z:2	x:0, y:0, z:1.8	N37.582241, E127.009810
	x:1, y:0, z:2	x:1.2, y:0.1, z:1.9	N37.582241, E127.009800
270° (west)	x:0, y:0, z:2	x:0.1, y:0, z:1.8	N37.582226, E127.009800
	x:1, y:0, z:2	x:1, y:0, z:1.7	N37.582218, E127.009800

스마트폰의 IPSGP에 대한 상대 좌표 값과 IPSGP의 설치 방위각, IPSGP의 글로벌 좌표 값을 합산하여 스마트폰의 글로벌 좌표 값을 추정한 결과를 분석해 보면 적절한 결과를 확인할 수 있다. 즉, IPSGP의 설치 각이 0°인 경우에는(즉 북쪽을 향하는 경우) 첫 번째 시험 결과를 보면, 스마트폰의 거리가 IPSGP으로부터 수직으로 2 m이므로 북쪽 방향으로만 2 m 앞에 있는 것이고, 따라서 경도는 변화가 없고 위도만 증가한 것을 확인할 수 있다. 두 번째 시험 결과에서는 스마트폰의 위치가 북쪽으로 2 m, 왼쪽(서쪽)으로 1 m 떨어져 있으므로, 위도가 증가하고 경도가 감소한 것을 알 수 있다.

IPSGP의 설치 각이 270°, 즉 서쪽을 바라보는 경우에는, 세 번째 시험 결과에서 스마트폰이 서쪽으로 2 m 떨어져 있으므로 위도는 변동이 없고 경도만 감소하였다. 네 번째 시험에서는 스마트폰이 서쪽으로 2 m, 왼쪽(남쪽)으로 1 m 떨어져 있으므로, 위도와 경도가 모두 감소하였다. 따라서 본 본문에서 제안된 수식 (3)이 정확한 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 실내에서 스마트폰의 글로벌 좌표를 인식하기 위해, TDOA 방식의 상대 위치 추정 장치의 글로벌 좌표, 해당 장치 기준으로 스마트폰의 상대 위치 좌표, 해당 장치의 설치 방향각 정보를 합산하는 기술이 제안되었으며, 시험을 통해 정확하게 동작하는 것이 확인되었다. 제안된 기술을 적용하여 실내에서 스마트폰의 글로벌 절대 좌표를 추정할 수 있으므로, Google이나 네이버의 지도에 현재의 위치를 바로 표시할 수 있고, 이를 이용하여 다양한 실내에서의 위치 기반 서비스가 가능하다.

References

[1] S.Son, Y.Park, B.Kim, and Y.Baek, “Wi-Fi Fingerprint Location Estimation System Based on Reliability, J. KICS, vol.38C, no.6, pp.31-539, June 2013.

[2] S.Zekavat and R.Buehrer, Handbook of position location: Theory, practice, and Advances, IEEE Press, 2012.

[3] Y.Lu and A.Finger, “Ultrasonic beacon-based local positioning system using broadband PN -chirp codes,” in proc. Int. Conf. Wireless Optical Comm., Banff, Canada, July 2009.

[4] H.Kim and N.Kim, “Multiple Access Control Method for Distance Measurement Using Radio and Ultrasonic Wave,” J. Korean Inst. Info. Tech., vol. 11, no. 1, pp.1-7, Jan. 2013.

[5] B.Li, A.G.Dempster, and J.Wang, “3D DOP for positioning applications using range measurements,” Wireless Sensor Network, vol. 3, pp.334-340, Oct. 2011.

[6] J.Oh, “A Study on Multipath Effect Mitigation using Trigger Signal in the 3D TDOA Positioning

System," J. IIBC, vol. 14, no. 4, pp.149-155, Aug. 2014.
[7] J.Oh, "A Study on PDOP due to the Position Error of Acoustic Sensors in the 3D TDOA Positioning System," J. IIBC, vol. 15, no. 1, pp.199-205, Feb. 2015.
[8] Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points, http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html

저자 소개

오 종 택(정회원)

- 2000년 3월 ~ 현재 : 한성대학교 정보통신공학과 교수
- 1993년 12월 ~ 2000년 2월 : 한국통신 무선통신연구소 선임연구원
- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사 졸업

<관심 분야: 지능형 무선통신 네트워크, Personal Environment Service>

※ 본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제 임