

# 목표물에 근접한 위치데이터를 사용한 2차원 위치추정방법

Location Determination Scheme based on Proximity Position Data of a Target

김덕기, 김승열, 이상진, 유영갑  
충북대학교 정보통신공학과

Deokki Kim(elfdooki@nate.com), Seung-Youl Kim(kimsy@hbt.cbnu.ac.kr),  
Sang-Jin Lee(sjlee@hbt.cbnu.ac.kr), Younggap You(ygyou@cbnu.ac.kr)

## 요약

본 논문에서는 목표의 위치를 결정하기 위해 사용되는 삼각법을 개선한 위치추정 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 세 원간의 교점들을 통해 목표의 위치를 추정한다. 이 방법을 통해 결정된 목표의 위치는 기존의 방법과 같이 관측지역 중심에서 높은 정밀도를 갖고 기존의 방법에서 큰 오차를 갖는 관측지점 주변에서도 높은 정밀도를 갖는다. 이 방법은 기존의 방법보다 최대오차에서 40.89%, 평균오차에서 40.30%가 줄었다.

■ 중심어 : | 삼각법 | 위치추정 | 위치추정방법 |

## Abstract

This paper describes an improved location determination scheme based on the triangulation method calculating a target position. The proposed scheme uses coordinates of intersection points of three circles each generated by measurement of an observer. The target position obtained from the proposed scheme has higher accuracy not only at the vicinity, but also at the periphery of the observation area. The maximum error and the average error with the proposed scheme are reduced by 40.89% and 40.30%, respectively, with respect to conventional methods.

■ keyword : | Triangulation | Localization | Location Determination Scheme |

## 1. 서론

최근 무선 네트워크 발전과 더불어 다양한 무선 매체가 발전하고 있다. 이 발전과 더불어 사용자 또는 목표의 위치를 찾기 위한 방법이 제안되고 있다. 특히 한정된 지역 내에서 목표의 위치를 찾기 위한 망 내에서의 위치추정 방법이 연구되고 있다. 예로서 센서네트워크와 무선통신망, GPS 등을 이용한 위치추정 방법이다 [1-3].

이와 같은 위치결정 방법은 매체를 통해 측정된 거리로 목표의 위치를 추정한다. 거리를 측정하는 방법으로는 TOA(the time of arrival), TDOA(the time difference of arrival)이 대표적이다[4][5]. 이는 매체가 관측지점에서 목표까지 신호의 지연 시간을 통해 측정한다. 이와 같이 측정된 거리는 환경에 의해 발생하는 오차로 인해 실제거리와 차이를 갖는다[3][9-14]. 목표의 위치는 이 측정거리와 삼각법을 추정되며 측정거리가 갖는 오차로 인해 추정된 위치도 오차를 갖는다[6-8].

위치측정은 삼각법을 통해 결정된 목표의 위치에 알고리즘을 적용하여 정밀함을 높인다. 삼각법은 측정거리가 오차를 가진다고 가정했을 때, 세 관측지점에서 같은 거리에 있는 목표의 위치를 추정할 때 가장 정밀하다[18]. 관측지역의 중심에 목표가 있을 때 가장 높은 정밀도를 갖으며 중심에서 멀어질수록 오차가 증가한다. 이로 인해 결정된 위치의 정밀도 향상을 위한 알고리즘을 사용하는데, 대표적인 예가 NL-LS(nonlinear square)이다[4][5].

보다 정밀한 위치정보의 획득을 위해 삼각법을 개선한 위치추정 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 세 원간의 교점을 통해 목표의 위치를 추정한다. 이 추정을 통해 결정된 목표의 위치는 관측지역의 중심과 관측지점에 근접한 부분에서도 기존의 방법보다 상대적으로 높은 정밀도를 갖는다. 이와 같이 결정된 목표의 위치는 기존에 사용된 알고리즘을 통해 보다 정밀한 목표의 위치를 갖게 할 것이다.

제 2장에서는 기존의 방법에 대한 방법을 설명하며, 제 3장에서는 제안하는 방법에 대해 설명한다. 제 4장에서는 시뮬레이션 방법과 그 결과를 마지막으로 제 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 기존의 위치결정 방법

기존의 위치결정 방법은 삼각법이 대표적이다. 이 삼각법은 세 관측지점과 관측지점에서 측정한 목표점까지의 거리를 통해 구성된 원간의 교선을 통해 목표의 위치를 추정하는 방법이다[15]. 이는 [그림 1]와 같이 각 관측지점을 중심으로 하고, 관측지점에서 목표까지의 측정거리를 반지름으로 하는 세 원의 교선을 통해 목표의 위치를 결정한다. 각 관측지점의 좌표를 관측지점1은  $A(a_1, b_1)$ , 관측지점2는  $B(a_2, b_2)$ , 관측지점3은  $C(a_3, b_3)$ , 측정된 거리를 각각  $r_1, r_2, r_3$ , 그리고 추정된 목표의 위치가  $T(x, y)$ 라고 했을 때 식(1)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} (x-a_1)^2 + (y-b_1)^2 &= r_1 \\ (x-a_2)^2 + (y-b_2)^2 &= r_2 \\ (x-a_3)^2 + (y-b_3)^2 &= r_3 \end{aligned} \quad (1)$$

세 원은 각각의 원으로 구성된 교선을 갖는다. 이 교선은 한 점에서 만나게 되어있다. 이는 식(1)의 연립을 통해 한 점을 찾을 수 있으며, 식(2)의 해와 같다.

$$\begin{bmatrix} a_1 - a_2 & b_1 - b_2 \\ a_2 - a_3 & b_2 - b_3 \\ a_3 - a_1 & b_3 - b_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 - r_2^2 + a_1^2 - a_2^2 + b_1^2 - b_2^2 \\ r_2^2 - r_3^2 + a_2^2 - a_3^2 + b_2^2 - b_3^2 \\ r_3^2 - r_1^2 + a_3^2 - a_1^2 + b_3^2 - b_1^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

이 방법은 [그림 1]과 [그림 2]를 통해 표현된다. [그림 1]은 이상적인 측정거리를 통해 적용된 삼각법이며, [그림 2]는 오차를 갖는 환경에서 측정된 측정거리를 통해 표현했다.

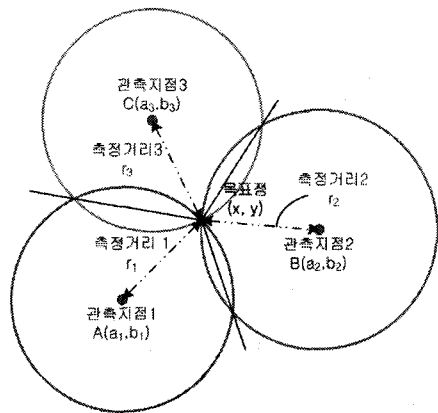


그림 1. 이상적인 삼각법

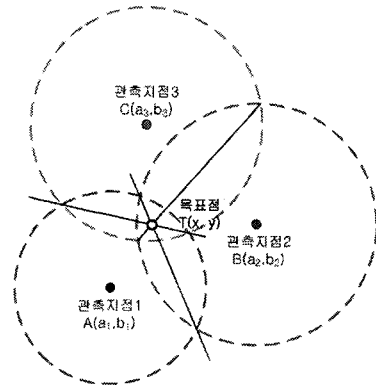


그림 2. 오차환경에서 삼각법

식(2)를 오차를 갖는  $r_1$ 에 대해 정리하면 식(3)과 식(4)와 같다[18]. 식(3)과 식(4)는 관측지점의 좌표와 같이 고정된 값의 연산을 임의의 값  $C$ 로 두고, 오차를 갖은 항  $r$ 에 대해 정리하였다.

$$\begin{aligned}
 x &= C_1 \times r_1^2 + C_2 \times r_2^2 + C_3 \times r_3^2 + C \\
 &\cong r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \\
 \text{where,} \\
 C &= -(a_1^2 - a_2^2 + b_1^2 - b_2^2)C_1 + (a_2^2 - a_3^2 + b_2^2 - b_3^2)C_3 \\
 C_1 &= (b_2 - b_3) / C_4 \\
 C_2 &= C_1 + C_3 \\
 C_3 &= (b_1 - b_2) / C_4 \\
 C_4 &= a_1(b_2 - b_3) + a_2(b_1 - b_3) + a_3(b_2 - b_1)
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 y &= C'_1 \times r_1^2 + C'_2 \times r_2^2 + C'_3 \times r_3^2 + C' \\
 &\cong r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \\
 \text{where,} \\
 C' &= CC_6 + \frac{(a_2 + a_3)C_5}{2} + \frac{b_2^2 - b_3^2}{2(b_1 - b_2)} \\
 C'_1 &= C_1 C_5 \\
 C'_2 &= C_2 (C_5 - C_6) \\
 C'_3 &= C_3 (C_5 + C_6) \\
 C_5 &= \frac{a_2 - a_3}{b_1 - b_2} \\
 C_6 &= 1 / (a_2 - a_3)(b_1 - b_2)
 \end{aligned} \tag{4}$$

이 방법으로 추정된 목표의 위치는 관측지역의 중심에서 높은 정밀도를 갖으며 중심에서 멀어질수록 오차가 증가할 것이다. 추정된 목표의 위치에서 오차는 각 측정거리의 제곱의 합으로 표현가능하다. 측정거리가 같은 관측지역의 중심에서 오차가 낮을 것이며, 중심을 벗어날수록 오차는 증가할 것임을 알 수 있다.

### III. 제안하는 방법

제안하는 방법은 삼각법과 같이 구성된 세 원간의 교점을 통해 목표의 위치를 추정한다. 측정거리가 정확한 경우 원들의 교점은 [그림 3]과 같이 3개 또는 4개이다. 그 외의 교점을 갖는 경우는 측정된 거리가 오차를 갖는 경우이며 3개 이내의 경우는 그림 5와 같이 측정된 거리가 심한 오차를 갖는 경우이다.

제안하는 방법은 [그림 4]와 같이 최소 3개의 교점을 갖는 경우에 적용한다. [그림 5]의 (a)와 (d)는 측정거리가 오차를 포함하는 경우이다. 목표의 위치는 세 원의

안쪽에 분포한 세 교점을 꼭지점으로 하는 삼각형의 외심을 통해 구한다. [그림 5]의 (b)와 (c)는 측정거리가 정확한 경우이다. 목표의 위치는 세 원이 만나는 교점이다.

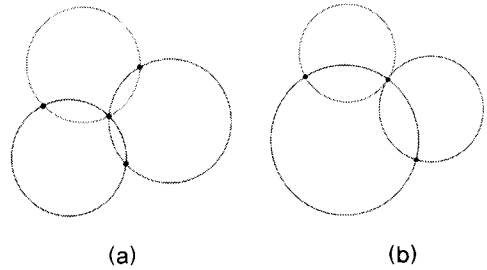


그림 3. 오차가 없는 거리측정의 목표위치추정

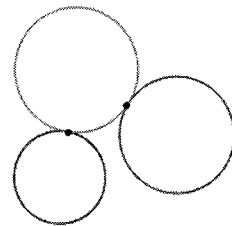
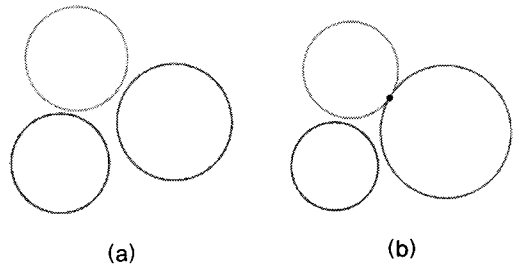
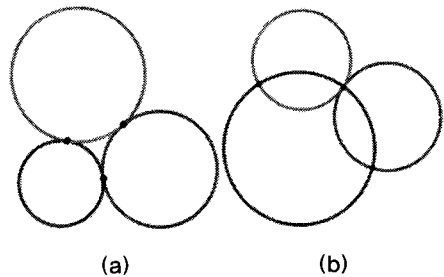


그림 4. 불충분한 수의 교점이 발생한 예



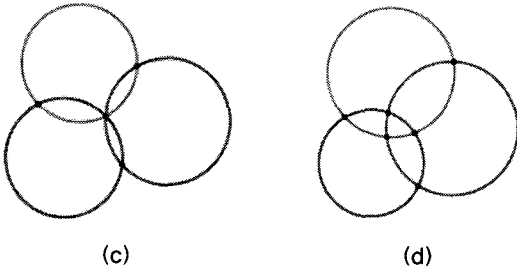


그림 5. 위치추정이 가능한 거리측정 결과

이 방법은 [표 1]과 같이 표현이 가능하다. 이와 같이 구해진 점을 목표의 위치로 한다. 각 관측지점의 좌표를 관측지점1은 A(a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>), 관측지점2는 B(a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>), 관측지점3은 C(a<sub>3</sub>, b<sub>3</sub>), 측정된 거리를 각각 r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub>, 그리고 추정된 목표의 위치가 T(x, y)라고 했을 때 [표 1]과 같이 표현된다.

[표 1]에서 두 원간의 교점은 식(5)와 같고, 식(5)의 x 점은 식(6)과 같이 다시 표현할 수 있다. 안쪽에 분포하는 교점을 선택하고 선택된 교점들의 외심을 통해 목표의 위치를 추정한다.

$$\begin{aligned}
 x &= -\frac{C_2}{C_1} \pm \frac{\sqrt{4(C_2^2 - C_1^2(r_1^2 + C^2))}}{2C_1} \\
 y &= \sqrt{r_1^2 - (x - a_1)^2} - b_1 \\
 \text{where,} \\
 C &= r_1^2 - r_2^2 - C_3 \\
 C_1 &= C_4^2 + 1 \\
 C_2 &= CC_4 - a_1 \\
 C_3 &= (a_1^2 - a_2^2) + (b_1^2 - b_2^2) - b_1 \\
 C_4 &= \frac{a_1 - a_2}{b_2 - b_1}
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 x &= C'(r_1^2 - r_2^2 + C_3) \pm \sqrt{2(C_1r_1^2 + C_2r_2^2 - r_1^2r_2^2)} \\
 &\cong r_1^2 + r_2^2 \pm (r_1 + r_2) \\
 \text{where,} \\
 C' &= \frac{C_4}{C_4^2 + 1} \\
 C_1' &= 4C_4^2r_1^2 + 2C_1 + C_3 - 8Aa_1 \\
 C_2' &= 4C_4^2r_2^2 - C_3 - 8Aa_1
 \end{aligned} \tag{6}$$

표 1. 목표의 위치를 결정하는 방법

$$\begin{bmatrix} 1-2a_1 & 1-2b_1 \\ 1-2a_2 & 1-2b_2 \\ 1-2a_3 & 1-2b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^2 \\ x \\ y^2 \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 - (a_1^2 - b_1^2) \\ r_2^2 - (a_2^2 - b_2^2) \\ r_3^2 - (a_3^2 - b_3^2) \end{bmatrix}$$

for  $i = 1:8$ ,  
 $size[i] = function(select[i])$   
end  
 $center(three\ POINT\ of\ Min(size))$

where,  
 $function(a,b,c) = \overline{ab} + \overline{bc} + \overline{ac}$   
 $select[i] : for\ i = 1:2,$   
 $\quad POINT[i];$   
 $\quad for\ m = 1:2,$   
 $\quad\quad POINT[m];$   
 $\quad for\ n = 1:2,$   
 $\quad\quad POINT[n];$   
 $POINT: (x,y)\ axis$   
 $center(POINT\ A, POINT\ B, POINT\ C)$   
 $= \frac{AB \times C + BC \times A + AC \times B}{AB + BC + AC}$

이 방법으로 추정된 목표의 위치는 관측지역의 내부에서 고른 오차를 갖는다. 추정된 목표의 위치에서 오차는 각 측정거리의 제곱의 합에 측정거리의 합 또는 차로 표현가능하다. 기존의 방법과는 두 측정거리의 합 또는 차만큼 오차가 감소될 수 있다. 이를 통해 관측지역의 중심과 관측지점 주변에 있는 목표에 대해 낮은 오차를 가질 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 방법과 결과

위치측정은 다수의 관측지점을 통해 넓은 지역에서 목표의 위치를 찾기 위해 사용된다. 이를 위해 위치추정을 위한 관측지역을 관측지점으로 둘러싸인 삼각형 형태로 구분을 한다. 시뮬레이션은 2장과 3장의 식(3,4)와 식(5,6)에서 [표 2]와 같이 2가지를 추측하고 시작하였다.

시뮬레이션은 300(m<sup>2</sup>)의 공간 안에 세 BS(base station)이 있고, BS<sub>1</sub>=(0m,0m), BS<sub>2</sub>=(300m,0m)에서 y 축을 50m씩 이동하며 위치하고, BS<sub>3</sub>=(0m,300m)에서 x 축을 50m씩 이동하며 위치하며, 이 BS의 안테나가 지

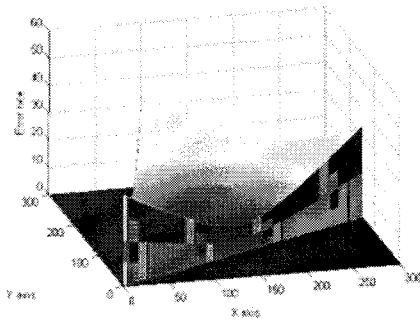
상 10m에 있다고 가정한다[4][5][16][17]. 이 때 안테나는 최상위 루프는 아니지만 microcellular와 같은 통신이 가능하다고 가정한다. 실제의 위치가  $T(x, y)$ 이고, 측정된 위치가  $T'(x', y')$  일 때, 오차( $e$ )는 식(7)과 같이 측정하였다[16][17]. 이 결과는 시뮬레이션 조건 중 가장 일반적인 BS의 위치를 갖는 경우는  $BS1=(0m,0m)$ ,  $BS2=(300m,100m)$ ,  $BS3=(100m,300m)$ 이며 [그림 6]과 같다. 시뮬레이션에서 구해진 최대오차와 평균오차는 [표 3]과 같다.

$$e = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (7)$$

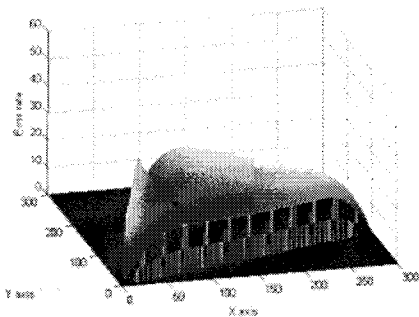
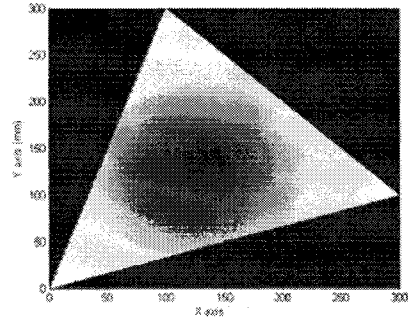
표 2. 시뮬레이션을 위한 추측

추측 1	기존 방법은 관측지역에서 관측지점간 거리가 같은 지역에서 가장 높은 정밀도를 갖고 이 점에서 거리가 멀어질수록 오차가 커진다.
추측 2	제안하는 방법은 관측지점간의 거리가 같은 지역과 관측지점에 가까울수록 높은 정밀도를 갖는다.

시뮬레이션 결과는 [표 3]과 같이 나타났다. 제안하는 방법이 다양한 관측지역에 대해 기존의 방법보다 낮은 최대오차와 평균오차를 갖는다. 기존의 방법이 관측지점에 대해 높은 오차를 갖는 반면 제안하는 방법은 관측지점 근처에서 높은 정밀도를 보여준다.



(a) 기존 방법의 시뮬레이션 결과



(b) 제안하는 방법의 시뮬레이션 결과

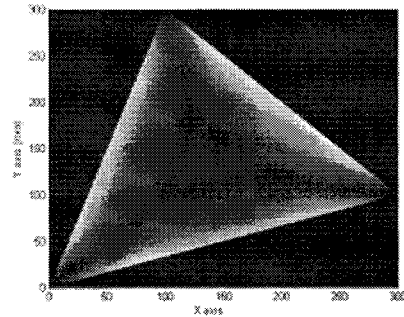


그림 6. 시뮬레이션

표 3. 시뮬레이션 결과 (단위 : m)

		최대오차	평균오차	표준편차
기존 방법	일반	34.02	14.83	9.32
	전체	45.54	17.94	9.98
TOA[17]		-	25	14
제안하는 방법	일반	20.44	8.80	7.27
	전체	24.17	9.65	7.54

V. 결론

본 논문에서는 목표의 위치를 결정하기 위해 사용되는 삼각법을 개선한 위치추정 방법을 제안한다. 기존의 삼각법은 세 원의 교선을 통해 목표의 위치를 결정한다. 이 방법은 관측지역의 중심에서 높은 정밀도를 갖지만 관측지점에 주변에서는 높은 오차를 갖는다. 제안하는 방법은 세 원간의 교점들을 통해 목표의 위치를 추정한다. 이 방법을 통해 결정된 목표는 관측지역 중심에서 높은 정밀도를 갖고 관측지점 주변에서도 높은 정밀도를 갖는다. 이 방법은 기존의 방법 보다 최대오차는 40.89%, 평균오차는 40.30%가 줄었다. 이 방법을 통해 삼각법을 사용하는 위치추정 시스템에 적용할 경우 보다 정밀한 위치추정이 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] G. P. Yost and S. Panchapakesan, "Automatic location identification using a hybrid technique," *IEEE 48th Vehicular Technology Conf., VTC98*, Vol.1, pp.264-267, 1998(5).

[2] T. Klenine-Ostmann and E. A. Bell, "A data fusion architecture for enhanced position estimation in wireless networks," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.5, No.8, pp.343-345, 2002(7).

[3] S. Venkatraman and J. Caffery, Jr. "Hybrid TOA/AOA techniques for mobile location in non-line-of-sight environments," *IEEE Wireless Commun. Networking Conf.*, Vol.1, 21-25, pp.274-278, 2004(3).

[4] J. J. Caffery and G. L. Stuber, "Overview of radiolocation in CDMA systems," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.36, No.4, pp.38-45, 1998(4).

[5] J. J. Caffery, *Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems*, Norwell, MA : Kluwer, 1999.

[6] C. D. Wann and Y. M. Chen, "Position tracking and velocity estimation for mobile positioning systems," *The 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Commu. Conf. 2002*, Vol.1, pp.239-244, 2005(10).

[7] P. J. Voltz and D. Hernandez, "Maximum likelihood time of arrival estimation for real-time physical location tracking of 802.11a/g mobile stations in indoor environments," *IEEE Position Location and Navigation Symposium 2004*, pp.585-591, 2004.

[8] C. D. Wann, Y. M. Chen, and M. S. Lee, "Mobile location tracking with NLOS error mitigation," *IEEE Global Telecommunications Conf. 2002*, pp.1688-1692, 2002.

[9] S. -S. Woo, H. R. You, and J. -S. Koh, "The NLOS mitigation technique for position location using IS-95 CDMA networks," *IEEE VTC-Fall 2000*, Vol.4, pp.2556-2560, 2000(9).

[10] Y. Qi, H. Kobayashi, and H. Suda, "Analysis of wireless geolocation in a non-line-of-sight environment," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.5, No.3, pp.672-681, 2003(3).

[11] S. Al-Jazzar and J. J. Caffery, "NLOS mitigation method for urban environments," *IEEE 60th Vehicular Technology Conf. 2004*, Vol.7, pp.5112-5115, 2004.

[12] S. Venkatraman, J. Caffery, and H. -R. You, "A novel TOA location algorithm using LOA range estimation for NLOS environments," *IEEE trans. Veh. Technol.*, Vol.53, No.5, pp.1515-1524, 2004(9).

[13] S. Al-Jazzar, J. J. Caffery, and H. -R. You, "Scattering model based methods for TOA location in NLOS environments," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.56, No.2, pp.583-593, 2007(3).

[14] C. Ma, R. Klukas, and G. Lachapelle, "A non-line-of-sight error mitigation method for TOA measurements," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.56, No.2, pp.641-651, 2007(3).

[15] J. J. Caffery, "A new approach to the geometry of TOA location," *IEEE Conf. Veh. Technol. Conf. 2000*, pp.1943-1949, 2000.

[16] M. Porretta, P. Nepa, G. Manara, F. Giannetti, M. Dohler, B. Allen, and A. H. Aghvami, "A novel single base station location technique for microcellular wireless networks: Description and validation by a deterministic propagation model," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.53, No.5, pp.1502-1514, 2004(9).

[17] M. Porretta, P. Nepa, G. Manara, and F. Giannetti, "Location, location, location," *IEEE Trans. Veh. Technol. Mag.*, Vol.3, No.2, pp.20-29, 2008(6).

[18] H. J. Kim, G. T. Kang, and W. C. Lee, "Indoor location estimation and navigation of mobile robots based on wireless sensor network and fuzzy modeling," *Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol.18, No.2, pp.163-168, 2008(4)

**저자 소개**

**김 덕 기(Deokki Kim)**

정회원



- 2006년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)
- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신 공학과 석사 과정 수료

<관심분야> : 암호, 디지털 시스템 설계, ASIC 설계

**김 승 열(Seung-Youl Kim)**

정회원

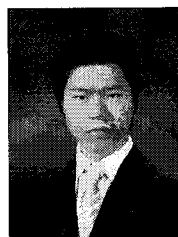


- 2002년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2004년 8월 : 충북대학교 정보통신 공학과(공학석사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신 공학과 박사과정

<관심분야> : 암호, 디지털 시스템 설계, ASIC 설계

**이 상 진(Sang-Jin Lee)**

준회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 화학공학과(공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 암호, 디지털 시스템 설계

**유 영 감(Younggap You)**

정회원



- 1975년 8월 : 서강대학교 전자공학과(공학사)
- 1975년 ~ 1979년 : 국방과학연구소 연구원
- 1981년 8월 : Univ. of Michigan, Ann Arbor 전기전산학과(공학 석사)

- 1986년 4월 : Univ. of Michigan, Ann Arbor 전기전산학과(공학 박사)

- 1986년 ~ 1988년 : 금성반도체(주) 책임 연구원
- 1993년 ~ 1994년 : 아리조나 대학교 객원 교수
- 2000년 ~ 2001년 : 오레곤 주립대학교 교환교수
- 2007년 ~ 2008년 : 일리노이 주립대 객원 연구원
- 1988년 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> : VLSI 설계 및 Test, 고속 인쇄회로 설계, Cryptography