DBpia

논문 15-40-07-11 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '15-07 Vol.40 No.07
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.7.1307

소형독립공간에서 실내측위 정확도를 고려한 블루투스 비컨 위치선정

안 희 준°, 잔 빈 뚜 이*, 이 예 훈**

Bluetooth Beacon Planing Considering Position Estimation Accuracy in Small and Isolated In-Door Environment

Heejune Ahn°, Tran Vinh Thuy*, Ye Hoon Lee**

요 약

최근 스마트폰에 블루투스 LE의 적용을 계기로, 블루투스 비컨의 RSSI 기반 거리측정 기법에 의한 실내 측위 방법이 실용적인 측면에서 새로운 관심을 받고 있다. 정확한 위치정보의 계산을 위해서는 RSSI 측정은 안테나 패턴의 불규칙성, 환경의 영향, 동적인 사람의 움직임 등에 따른 오차를 고려해서 비컨의 위치를 결정하여야 한다. 본 논문은 비컨 송신기의 위치에 따른 RSSI/거리 확률모델을 바탕으로, 소형 서비스 공간에서의 측정의 정확성을 예측하고 보장하는 방안을 제시하였다. 그 결과, 전체공간상에서 평균적인 정확도를 최대화하기 위해서는 서비스공간에 골고루 신호가 도달할 수 있도록 분산해서 배치하는 것이 효과적인 반면, 측위오차의 최대치를 줄기위해서는 해당공간의 가장자리에 위치하는 것이 효과적임을 보였다.

Key Words : indoor positioning, bluetooth beacon, multilateration, beacon planing, location service

ABSTRACT

The recent adoption of Bluetooth LE technology in smart phones triggered commercial interest in RSSI-based positioning technology. Estimation error in RSSI measurement due to the antenna pattern, multipath fading, environmental noise has to be considered for designing beacon systems. The paper proposes an analysis method and beacon planning rules for a small and isolated indoor service area, based on probabilistic model of RSSI estimation error. As an practically important guide, the beacons have to be installed at the boundary of the service area to minimize the maximum position error, whereas the beacons have to be evenly distributed in the service space to minimize the average estimation error.

Ⅰ. 서 론

위치정보는 환경인지형 서비스의 제공에 있어서 가장 중요한 요소로 여겨져 왔다. 이미 차량용 내비게이션 서비스를 비롯하여, 많은 인터넷 서비스들이 위치정보에 기반한 서비스를 사람에게 제공하고 있다.

이를 위한 위치정보 확보방법으로 실외에서는 GPS를 통한 위치정보의 확보가 일반화 되어 있다. 반면

※ 이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다(2015-0801).
°◆ First and Corresponding Author : SeoulTech, Department of Electrical and Information Engineering, heejune@snut.ac.kr, 종신회원
* SeoulTech, Department of Electrical and Information Engineering, tranvinhthuybk@gmail.com
** SeoulTech, Department of Electric & IT Media Engineering, y.lee@snut.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2015-06-193, Received June 22, 2015; Revised July 6, 2015; Accepted July 6, 2015

www.dbpia.co.kr

건물 안에서의 위치정보 확보에 대한 인프라의 구축에는 상당히 어려움 있다. 이는 인프라 구축에 들어가는 비용과 설치 및 관리의 어려움이 주요한 원인이다. 무선 장치들의 비컨 신호에 기반한 측위기술은 계속하여 연구되어 왔으나, 최근에 블루투스 LE 기술이 애플와 안드로이드 등 스마트장치에 기본적으로 사용되고, 응용서비스를 제공하기 위한 플래폼 API들을 제공하기 시작하면서, 대중적이고 실용적인 관심을 끌고 있다[1]. 측위방법은 거리방식, 도래각 방식 등[2,3,4,5]이 존재하지만, 현재 스마트폰의 API들이 RSSI이외에 전파의 도래각과 같은 값은 제공하기 않고 있어서, 거리 기반의 예측방식만이 사용이 가능한 상황이다.

특히, 실내에서 소수의 (예를 들어 3개-10개 정도) 블루투스 비컨을 설치하여 위치서비스를 제공하려는 개인이나 기관이 많이 존재할 것으로 예측된다. 비컨의 설치 위치에 따라 계산된 위치에는 오차양이 차이가 있을 수 있다. 그러므로, 최적의 비컨 설치 위치를 선정하기 위한 방안이 필요하나, 저자들이 아는 바로는 이에 대한 구체적인 연구나 가이드가 없는 것으로 보인다. 학술적으로 비컨의 위치 선정은 이동통신망의 셀-설계(기지국 위치선정)에 대한 연구와 유사한 문제로 볼 수 있으나, 이동통신망에서의 셀-설계는 넓은 공간에 다수의 기지국을 설치하는 것을 목적으로 하고 있으며, 위치정보와는 달리 셀의 신호감도에 목적이 있다는 점에서 차이가 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2절에서 특정 영역에 위치서비스를 제공하려고 할 때, 비컨의 설치 위치에 따른 정확도의 차이를 수학적인 방법과 시뮬레이션에 의하여 분석한다. 3절에서 이 모델에 사용될 측정오차에 대한 모델에 대한 기존의 결과와 실측결과를 살펴본 후, 이를 바탕으로 대표적인 구성에서의 시뮬레이션 결과를 살펴본다. 4절에서 실험결과를 분석하고, 일반적인 경우에 적합한 위치 선정방법을 제안한다.

Ⅱ. 거리기반 위치 측정시스템의 오차분석

2차원 평면상에서 거리에 기반한 위치측정시스템을 설명하면 다음과 같다. 블루투스 송신기는 통신 인프라를 알리기 위하여 주기적으로 전송하는 비컨신호에 자신의 고유아이디인 UUID와 송신전력 (TXPWR)를 전송한다. 수신기 (예, 스마트폰)은 이 측정된 수신전력과 비컨 메시지에 포함된 송신전력의 차를 바탕으로 송신기와 떨어진 거리를 예측한다. 이때 안테나 패턴, 환경적인 요인, 시간적 변화 요인 등으로 인하여 측정치에 변동이 존재한다. 기존의 대표적인 거리-손실 모델인 Hata 모델[6]은 이러한 경향을 다음 식 (1)을 사용하여 모델링하였고, 많은 연구들이 이를 바탕으로 하고 있다.

$$P(d) = P(d_0) - 10n\log(d/d_0) + X \quad (1)$$

여기서 $P(d)$와 $P(d_0)$는 거리 d와 d_0에서의 수신전력을, n은 감쇄상수이고, X는 확률변수로 일반적으로 정규분포로 알려져 있다. d_0는 손실계수 n값을 캘리브레이션에 사용되는 임의의 기준 위치이다.

이 측정된 수신세기의 오차는 거리측정의 오차로 전환되는데, 이러한 거리 측정오차는 보정이나 필터를 사용하더라도 여전히 남게 된다. Rachmadurai 등[7]은 무선 신호 감도에 따른 거리 측정 오차의 분포가 가우시안으로 근사화가 가능하며, 거리에 따라 분산이 커지는 것을 실험적으로 증명하였다. 본 연구에서도 RSSI의 측정에 따른 거리측정 정확도의 오차는 가우시안으로 가정하였으나, 다른 모델을 사용한 경우에도 시스템의 특성 면에서 크게 차이가 발생하지 않는다.

본 연구에서 고려하는 시스템의 모델은 다음과 같다. 우선, 본 연구는 소규모 실내의 경우를 대상으로 하고 있으므로 2차원 위치정보만을 고려하여 이론과 실험을 전개하나, 3차원 위치정보의 경우에도 동일한 방법으로 확장이 가능하다. 일반적으로 비컨과 수신기의 거리가 측정되어졌을 때 (비컨의 공간상의 위치 (x_i, y_i), $i = 1, 2, \cdots N$ 는 구성 정보의 입력에 의하여 알고 있다고 가정한다), 이를 바탕으로 수신기의 위치는 삼각측위 기법 또는 다중 측위기법에 의하여 구해진다.

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2, \quad i = 1, 2, \cdots N \quad (2)$$

여기서 i에 대한 식과 i+1식을 뺄셈을 하여 2차항을 제거하면 N-1개의 독립적인 1차방정식 되는데, 일반적으로 N은 최소 2보다 크거나 같아야 하며, 특히 N이 2보다 큰 경우에는 미지수보다 방정식이 많은 과결정(over-determined) 2원 1차 선형방정식이 된다. N이 2이상인 경우 (x, y)는 다음 식과 같은 형태로 주어진다.

www.dbpia.co.kr

$$A\begin{bmatrix}x\\y\end{bmatrix}=B$$

$$A=2\begin{bmatrix}x_1-x_2 & y_1-y_2\\ x_2-x_3 & y_2-y_3\\ \vdots & \vdots\\ x_{N-2}-x_{N-1} & y_{N-2}-y_{N-1}\\ x_{N-1}-x_N & y_{N-1}-y_N\end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B=\begin{bmatrix}d_1^2-d_2^2+x_1^2+y_1^2-x_2^2-y_2^2\\ d_2^2-d_3^2+x_3^2+y_3^2-x_3^2-y_3^2\\ \vdots\\ d_{N-1}^2-d_N^2+x_N^2+y_N^2-x_{N-1}^2-y_N^2\end{bmatrix}$$

이때 위치정보의 특성을 분석하기위하여 비컨이 3개인 경우에 닫힌 형태의 계산식을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix}x\\y\end{bmatrix}=A^{-1}\begin{bmatrix}d_1^2-d_2^2+x_1^2+y_1^2-x_2^2-y_2^2\\ d_2^2-d_3^2+x_3^2+y_3^2-x_3^2-y_3^2\end{bmatrix} \quad (4)$$
$$\left(A=\begin{bmatrix}2(x_1-x_2) & 2(y_1-y_2)\\ 2(x_2-x_3) & 2(y_2-y_3)\end{bmatrix}\right)$$

여기서 거리 d_i는 (독립) 확률변수이고 위치 값 (x_i,y_i)들은 상수이다.

$$\begin{aligned}Var(x)&=(Y_{2,3}Var(d_1^2)+Y_{2,1}Var(d_2^2)\\ &\quad+Y_{1,2}Var(d^2))/Det(A)\\ Var(y)&=(X_{2,3}Var(d_1^2)+X_{2,1}Var(d_2^2)\\ &\quad+X_{1,2}Var(d^2))/Det(A)\end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $X_{i,j}=x_i-x_j$, $Y_{i,j}=y_i-y_j$이다. 따라서 오차율은 일반적으로 거리제곱의 오차의 합에 비례하는 특성을 보임을 확인할 수 있다.

$$Var(x\text{ or }y)\propto\sum_{i=1}^{N}Var(d_i^2) \quad (6)$$

즉, 총 오차정도는 하나의 거리의 확률적 특성에 의존하지 않고 이들의 총합에 의하여 정해지는 것이 증명된다. 따라서 오차를 줄이기 위해서는 이 총합을 줄이도록 하여야한다.

Ⅲ. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 구체적인 환경에서의 특성을 확인하기위하여 비컨을 4개를 사용하는 열린 공간을 가정하고 이 비컨의 위치에 따른 결과를 시뮬레이션을 통하여 확인하도록 하였다.

3.1 실험 모델

그림과 같이 일반화를 위하여 중심에서 d만큼 떨어진 위치에 4개의 비컨을 배치한다고 가정한다. 이때 전체 공간은 비컨의 신호가 미치는 공간으로 일반적으로는 블루투스의 경우 10 미터를 사용하지만, 세팅에 따라 100미터까지도 가능하다. 본 연구에서는 최대 20미터로 가정하고 이에 따라 실험결과를 보였다.

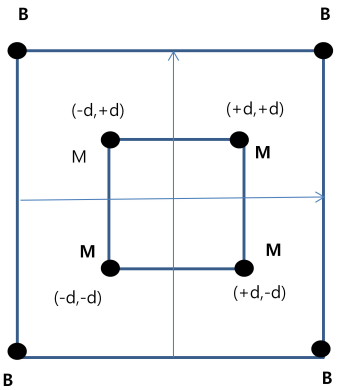


그림 1. 비컨의 위치와 위치 서비스 공간
Fig. 1. Topology of Beacons, and Positioning Service Area

3.2 오차 모델

무선 전파 손실 모델은 이동통신망과 같이 실외에서의 모델에 대한 연구가 좀 더 잘되어 있는 편이다. Hata의 모델의 경우도 블루투스 비컨, 특히 상용시스템에 대한 특성에 대한 조사는 현재 진행 중인경우가 많다. 따라서 본 연구에 들어가기에 앞서 자체적으로 전파 손실 모델에 대한 조사와 실험을 실시하였다.

그림 2는 Aruba Network 사의 Peter Thornycroft[8]가 2015에 발표한 데이터를 수정한 내용이다. 실제 시스템에서 측정한 결과 20cm에서 5cm, 1m에서 15cm, 10m에서 2-3m의 차이를 보이는 것이 보고되었다. 대략 20%정도의 오차를 보인다는 사실과 실거리에 비례한 정도의 오차를 보이며, 절대치로 환산하면 먼 거리에서 차이가 커진다는 것으로 해석된다.

또한, 그림 3은 Hata모델의 정규분포 가정을 검증하기 위한 실험으로 (삼성 갤럭시 스마트폰과

www.dbpia.co.kr

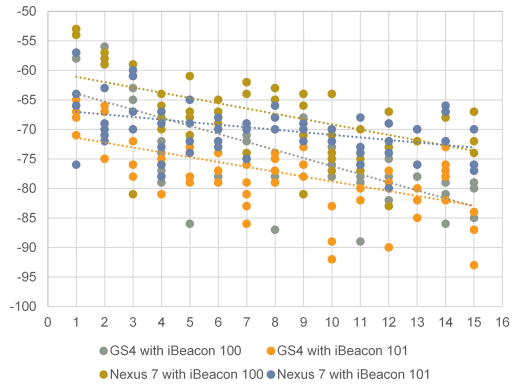


그림 2. 거리에 따른 RSSI 값과 그 분포도
Fig. 2. IBeacon RSSI value and variations varying the distance[8]

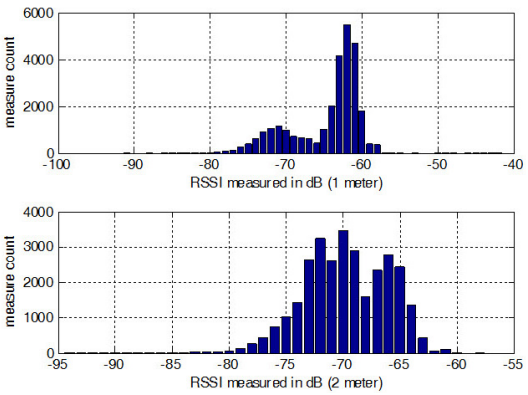


그림 3. RSSI 측정 분포, 1m 거리(위), 2m(아래)
Fig. 3. measured RSSI distribution (top at 1 m, bottom at 2 m)

Estimote 비컨[9]을 사용), 근 거리에서는 정규분포와는 다른 모습을 보이지만 거리가 멀어지면서 정규분포에 가까워지는 형태를 보임을 확인하였다.

3.3 거리에 따른 오차 모델간의 차이

오차 모델에 따라서 결과가 다르게 나타날 수 있는 것을 고려하여 대표적인 두 가지 경우를 실험하였다. 첫 번째 모델은 측정 거리 오차가 거리에 따라 변하지 않는 경우이고, 두 번째 모델은 거리에 따라 측정거리 오차가 비례하여 증가하는 경우를 가정하였다. Hata의 식에서 RSSI값은 데시벨이므로 RSSI자체는 'Log-normal 분포'가 되며, 거리값은 다시 정규 분포가 된다. 따라서 시뮬레이션에서는 거리오차를 정규분포로 하였으나, 실제 다른 확률 모델을 사용하더라도 크게 다르지 않는 특성을 보인다. 분포의 형태보다도 본 연구에서 중요한 요인은 오차의 크기가 거리에 따라 차이가 있는가하는 사항이다. 이 차이를 확인하기 위하여 오차 모델은 다음과 같이 두 가지 경우를 모두 고려하였다.

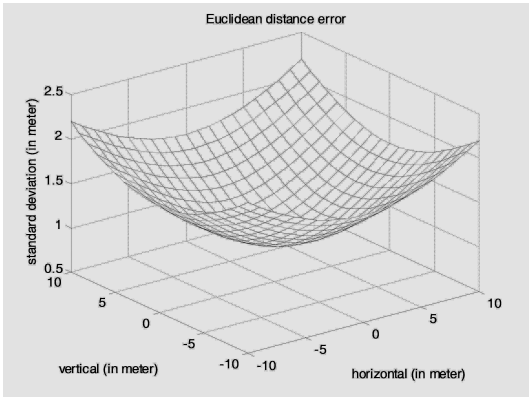
거리에 의존하지 않는 측정 오차를 갖는 경우

$$d \sim G(m = d_{true}, \sigma = 0.2\, d_{true})$$

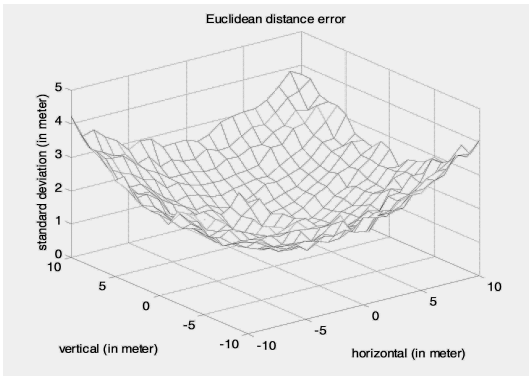
거리에 의존하는 거리 측정 오차를 갖는 경우

$$d \sim G(m = d_{true}, \sigma = 0.1\, d_{true})$$

이 두 가지 경우를 모두 실험하는 이유는 앞서 실측 실험에서 거리에 따라 오차율이 증가하는 것으로 확인되었지만, 오차 모델에 대해서는 추가 연구의 필요성이 있으며, 샘플을 필터링하고 예측하는 방식에 따라서도 차이가 발생할 수 있다고 판단했기 때문이다.



(가) 거리에 따른 오차율 차이가 없는 경우



(나) 거리에 따른 오차율 차이가 있는 경우

그림 4. 거리오차 모델에 따른 측위오차의 정도 (Euclidean 오차)
Fig. 4. Position errors: distance dependent/independent error model.

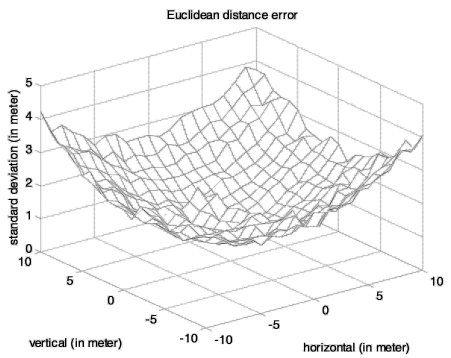
www.dbpia.co.kr

그림 4는 비컨의 위치는 $(\pm 5, \pm 5)$ 미터로 설정한 경우의 측정오차 결과이다. 그래프에서 표현되는 바와 같이 두 오차 모델의 경우 모두 중심점에서 가장 오차가 작으며 중심으로부터 거리가 멀어짐에 따라 오차율이 커지는 형태를 보인다. 그러나 거리와 상관없이 일정한 오차분포를 가정한 경우 거리에 따라 오차를 크게 한 경우에 가장자리에서 오차가 더 큰 것으로 확인 할 수 있다. 이는 외부로 갈수록 오차가 가중되는 것으로 가정했기 때문이다.

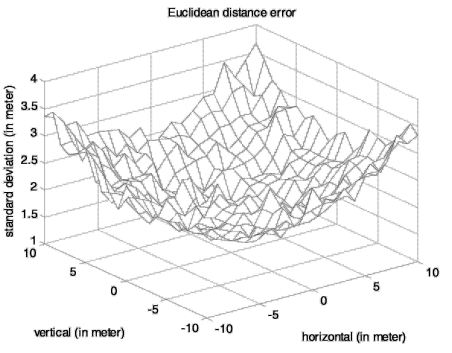
3.4 비컨 위치에 따른 오차율

비컨의 위치를 위치서비스를 제공하고자하는 영역의 중앙에 위치시킨 경우 (그림 1의 M으로 표시한 위치)와 서비스공간의 가장자리에 위치시킨 경우(그림 1의 B로 표시한 위치)를 비교하였다. 후자의 경우는 일반적으로 현재 상용화되는 비컨[1]의 서비스 구성에 가깝다고 볼 수 있다.

그림 5에서는 비컨의 위치를 위치서비스를 제공하고자하는 영역의 중앙에 위치시킨 경우로 서비스공간의 가장자리에 위치시킨 경우를 비교하였다. 전체적인 경향은 앞서 실험과 동일 한 형태를 보였으나, 차이점은 가장자리에 위치시킨 경우 최대 오차를 보이는 경계지역의 오차가 3.5 미터 정도로 적게 나온 반면, 중앙에 비컨을 위치시킨 경우는 전체적인 오차가 상당히 개선되었지만, 가장자리에서의 오차가 상대적으로 크게 설계된다는 문제점을 보이고 있다.



(가) 서비스 중앙에 비컨을 위치한 경우



(나) 서비스 영역 가장 자리에 위치한 경우

그림 5. 비컨의 위치에 따른 측위오차의 정도 (Euclidean 오차)
Fig. 5. Position errors (beacons at middle of service area or boundary of service area).

Ⅳ. 결과 분석 및 결론

본 연구에서는 실내의 작은 공간에서 비컨 신호기를 사용하여 측위 서비스를 제공하는 경우에 비컨의 위치에 따른 측정오차를 고려한 비컨 위치 선정 방안을 제공하였다.

현재 시장에서 판매되는 비컨신호기 제품들의 광고나 가이드에서 데모하는 경우에 주로 사용되는 구성 형태인 전체 공간의 가장 자리에 비컨을 위치시키는 방법을 사용한다. 본 연구에 비쳐서 분석하면, 이러한 가장자리 배치 방식은 측위오차의 최대치를 최소화하는 목적으로는 적합하다고 분석된다. 반면, 일반적인 경우에는 위치서비스를 제공하는 공간의 중간되는 지점에 비컨을 위치시키는 것이 전체 공간의 오차를 최소화 하는 효과가 있음을 보인다.

본 연구 결과는 2차원에 국한하여 수행 되었지만, 이를 바탕으로 3차원의 경우에도 어려움 없이 확장할 수 있을 것으로 판단된다. 실제 측위시스템의 설계에는 시간적으로 환경에 의하여 변화하는 영향을 고려한 측정 방법도 포함되어야 할 것이다. 예를 들어 다수의 측정 신호 중 신호의 신뢰도를 고려한 가중치를 두는 방식 등에 대한 연구가 진행 중이다.

References

[1] N. Newman, “Apple ibeacon technology briefing,” *J. Direct, Data and Digital Marketing Practice*, vol. 15, no. 3, pp. 222-225, Mar. 2014.

[2] Z. Boukerche, “Localization systems for wireless sensor networks,” *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 6, pp. 6-12, 2007.

[3] H. C. Lee and D. M Lee, “The 3-dimensional localization system based on beacon expansion and coordinate-space disassembly,” *J. KICS*, vol. 38, no. 1, pp. 80-86, Jan. 2013.

www.dbpia.co.kr

[4] H. C. Lee and D. M Lee, "A study on localization system using 3D triangulation algorithm based on dynamic allocation of beacon node," *J. KICS*, vol. 36, no. 4, pp. 378-385, Apr. 2011.

[5] S. K. Kwon and D. M Lee, "A design and implementation of compensation algorithm for radio determination error using determination coordinator value of equivalent distance rate," *J. KICS,* vol. 35, no. 9, pp. 852-858, Sept. 2010.

[6] M. Hata, "Empirical formulae for propagation loss in land mobile radio service," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-29, no. 3, pp. 317 -325 Mar. 1980.

[7] V. Ramadurai and M. L. Sichitiu, "Localization in wireless sensor networks: A probabilistic approach," *Int. Conf. Wirel. Netw.*, 2003.

[8] P. Thornycroft, "Location technology," *Atmosphere,* Las Vegas, Nevada, Mar. 2015.

[9] Estimote, online: Retrieved June 5, 2015, from http://estimote.com/

안 희 준 (Heejune Ahn)

2000년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업 (박사)
1997년~2002년 : LG전자 차세대단말연구실(선임)
2002년~2004년 : Tmax 소프트 (책임/팀장)
2004년~현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 (교수)
<관심분야> 인터넷 프로토콜, 데이터 마이닝, 임베디드 SW 개발, IT 융합, 게이밍 소프트웨어

잔빈뚜이 (Tran Vinh Thuy)

2012년 : 하노이공대 전산학과 졸업 (학사)
2012년~2014년 : 베트남 하노이 삼성 모바일센터 (연구원)
2014년 9월~현재 : 서울과학기술대학교, 전기정보공학과 (석사과정)
<관심분야> IoT, 모바일 컴퓨팅, 게이밍 소프트웨어

이 예 훈 (Ye Hoon Lee)

1992년~2000년 : KAIST 전기 및 전자공학과(공학박사)
2000년~2001년 : LG전자 차세대단말 연구소 (선임연구원)
2001년~2002년 : 미국 뉴저지 공과대학 (NJIT) (박사후 과정)
2003년~2004년 : 삼성전자 종합기술원 (전문연구원)
2015년~현재 : 서울과학기술대학교, 전자IT미디어공학과 (교수)
<관심분야> 차세대 이동통신, 통신 이론 및 설계

www.dbpia.co.kr