

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.6.155>

IIBC 2015-6-22

실내 위치 추정 시스템에서의 동적 트리거 임계값에 관한 연구

A Study on Dynamic Trigger Threshold in Indoor Positioning System

오종택*

Jongtaek Oh*

요 약 스마트폰의 이용이 크게 활성화됨에 따라 실내에서의 스마트폰의 위치 추정에 관한 연구 개발이 매우 활발하다. 스마트폰에서 발생된 음향 신호를 여러 개의 마이크로 수신하여 스마트폰의 상대 위치를 추정하는 연구가 진행되어 왔으며, 음향 신호의 전파 다중 경로 문제를 완화시키기 위한 트리거 신호가 제안되어 효과가 검증되었다. 그러나 단순한 트리거 방식의 경우 스마트폰과 측정 장치 사이의 거리 차이나, 주변 소음이 있는 경우에 오차가 발생하는 문제가 있다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위한 동적 트리거 임계값 기술이 제안되었고 실험으로 검증되었다.

Abstract As the popularity of the smartphone becomes increase, indoor smartphone positioning technology has been actively studied. The acoustic signal generated from the smartphone is received from the several microphones at the relative positioning system, and the trigger signal is proposed to mitigate the multipath effect and the effect is verified. But for the simple trigger method, there would be error occurred according to the variation of the distance or surrounding noise. In this paper, in order to resolve the problems, the dynamic trigger threshold technology is proposed and its effect is verified by the experiment.

Key Words : trigger, threshold, indoor positioning, TDOA, smartphone

I. 서 론

실외에서 GPS(Global Positioning System)를 이용한 차량항법장치가 보편화되고 그 편리함이 인식됨에 따라, 복잡한 실내에서도 유사한 서비스를 제공하기 위한 기술 개발이 진행되고 있다. 특히 실내에서의 위치 인식 기술과 3차원 지리정보 구축 및 활용 기술이 그 대상이다. 또한 실내에서의 사용자 위치 인식 방법에 있어서 GPS와 같이 대규모의 기반 시설 구축이 어려우므로 비용과 방법이 저렴하고 간단한 방법이 실용적이다.

최근 들어 무선랜 공유기들의 전파신호 세기를 사전에 측정하고 데이터베이스를 구축하여 사용자 스마트폰의 실내 위치를 추정하는 기술이 개발되었고 일부 지역에서 상용화되었다^{1,2)}. 이 방식은 별도의 기반 시설 구축이 필요 없지만 사전에 각 지점에서의 신호 세기 측정 작업이 필요하고 시설물의 변경에 따른 추가적인 측정이 지속적으로 필요하다는 단점이 있다. 또한 위치 측정 오차도 약 5m 정도로 알려져 있어, 정밀한 위치 기반 서비스에는 한계가 있다.

스마트폰에 내장된 자이로 센서와 가속도 센서, 지자

*정회원, 한성대학교 정보통신공학과
접수일자: 2015년 10월 5일, 수정완료: 2015년 11월 5일
게재확정일자: 2015년 12월 11일

Received: 5 October, 2015 / Revised: 5 November, 2015 /
Accepted: 11 December, 2015

*Corresponding Author: jttoh@hansung.ac.kr
Dept. of ICs Engineering, Hansung University, Korea

기 센서를 활용한 PDR(Personal Dead Reckoning) 기술도 개발되고 있으며 이 방식은 외부 장치의 도움이 없어도 사용자의 움직임을 감지하여 상대적인 이동 궤적을 추정하는 방식이다. 이 방식의 단점은 초기 위치를 알 수 없다는 것과 이동 거리가 커짐에 따라 오차가 누적되어 증가된다는 것이다^[3].

한편, 영상 카메라를 이용한 위치 인식 방식은 비교적 정확하고 수집된 정보를 활용하여 다른 용도로도 활용할 수 있지만 개인 정보가 노출될 수 있는 가능성이 커서 활용에 한계가 있다.

스마트폰에서 음향 신호를 발생하고 실내 상대위치 측정 장치에서 이를 TDOA(Time Difference of Arrival) 방식으로 처리하여 위치를 추정하는 기술도 활발하게 연구되어 왔다^[47]. 이 방식의 장점은 수 cm 정도의 정밀도로 스마트폰의 상대위치를 측정할 수 있다는 것이다.

이상에서와 같이 실내 위치를 추정하는 기술은 한 가지 기술만으로는 정확도나 효율성면에서 충분하지 않다. 따라서 서비스 요구사항과 서비스 환경에 따라서 몇 가지 방식을 결합하여 사용하는 것이 최적이라고 할 것이다.

TDOA 방식을 스마트폰에 적용하기 위해서는 특별히 고려해야 할 요소들이 있다. 스마트폰의 경우 실내 위치 인식을 위해 단말기를 별도로 제작할 수 없으며 범용 단말기를 사용해야 하므로 그 기능과 성능을 사전에 자세하게 분석해야 한다. 또한 무선랜 공유기와 같은 범용 통신기기를 활용할 때도 동일한 분석이 필요하다. 무선랜의 경우 CSMA(Carrier Sensed Multiple Access) 방식을 사용하므로 데이터의 전송 시간이 주변 환경에 따라 일정하지 않다. 따라서 무선랜 신호를 장치사이의 시간 동기를 위한 기준 신호로 사용할 수 없다.

스마트폰에서 발생된 음향 신호를 여러 개의 마이크로 수신하여 경로 전달 시간차이를 측정하는 TDOA 측정 장치의 경우 스마트폰의 상대 위치 좌표를 정확히 계산하기 위해 신호의 샘플링 속도가 빨라야 하며, 따라서 실시간 신호처리가 불가하고 메모리에 저장한 후에 일괄적으로 신호 처리해야 한다. 또한 데이터를 저장하기 위한 메모리의 크기에 한계가 있으므로 신호를 샘플링하는 기간에 제한이 있게 된다. 측정 장치의 입장에서는 언제 스마트폰의 음향 신호가 수신될지 모르므로 스마트폰에서는 짧은 주기로 반복적으로 음향 신호를 발생해야 한다.

스마트폰에서 발생된 음향 신호가 측정 장치의 마이

크에 수신되기 까지 직진 경로뿐만 아니라 여러 곳에서 반사되고 지연되어 수신되는 전과 다중 경로가 발생하게 된다. 따라서 지연되고 크기가 다른 여러 개의 신호가 중첩되므로 마이크에 수신된 신호의 왜곡이 심해지며 정확한 시간 지연 차이를 측정할 수 없게 된다.

따라서 이 문제를 해결하기 위해 이전 논문^[8]에서 위치 측정을 위해 발생하는 고주파수의 음향 신호 이전에, 주파수가 낮은 트리거 신호를 사용하는 방법이 제안되었다. 즉, 그림 1에서와 같이 스마트폰에서 짧은 주기로 음향 신호를 반복하여 발생하지 않고, 낮은 주파수의 트리거 신호를 먼저 발생하는 것이다. 이 트리거 신호의 주파수는 충분히 낮아서 측정 장치에서의 샘플링 주기도 길고 이 주기 내에 트리거 신호를 검출하기 위한 신호 처리가 충분히 가능하다. 즉, 트리거 신호를 검출하기 위해 측정 장치의 메모리에 수신된 신호 데이터를 저장할 필요가 없다.

그림 1. 스마트폰에서 발생된 트리거 신호와 위치 추정을 위한 고주파 음향 신호

Fig. 1. A trigger signal and high frequency acoustic signal generated from the smartphone for indoor positioning

측정 장치 주변에는 여러 대의 스마트폰이 있을 수 있으므로, 특정 스마트폰의 위치를 추정하기 위해서는 스마트폰과 측정 장치와의 데이터 통신이 필요하다. 위치 추정을 원하는 스마트폰은 측정 장치와의 메시지 교환을 통해 준비 작업을 수행하며 위치 추정을 위한 음향 신호의 발생 바로 직전에 무선랜 공유기를 통해 측정 장치로 음향 신호의 발생 메시지를 통지한다. 그러나 앞에서 기술한대로 무선랜 방식에서는 시간 지연이 일정하지 않아 기준 시간 정보로는 사용하지 못하고 측정 장치에서는 참고용 신호 정도로 사용할 뿐이다.

따라서 측정 장치에서는 스마트폰으로부터 무선랜 공

유기를 통해 음향 신호 발생 메시지를 통보 받고 즉시 트리거 신호의 검출 작업을 시작한다. 메시지 수신으로부터 트리거 신호의 검출 시간까지는 약 수십 msec의 변동이 있다. 트리거 신호는, 단지 트리거 신호가 수신된 이후, 사전에 정의된 일정 시간 후에 위치 측정을 위한 고주파 음향 신호가 수신된다는 것을 측정 장치에 알리기 위한 것이므로, 트리거 신호의 검출 시간이 매우 정확할 필요는 없다.

트리거 신호를 도입함으로써 전파 다중 경로에 의한 왜곡이 대폭 줄어들어 스마트폰의 위치 추정 정확도가 비약적으로 향상되었다^[8]. 그러나 단순한 트리거 방식으로는 스마트폰과 측정 장치의 거리에 따라 또는 주변의 생활 잡음에 따라 위치 추정 오차가 발생하는 문제가 발견되었다.

본 논문에서는 트리거 신호를 검출하기 위한 임계값을 상황에 따라 동적으로 변경하는 방법을 제안하고, 트리거 신호를 설계하는 것에 있어 고려해야 할 요소들을 제시하였다. 제안된 방식에 대해 실험 데이터를 수집하였고 결과가 분석되었다.

II. 단순 트리거 방식의 문제점 및 개선 방안

기존의 단순한 트리거 방식에서는 수신된 신호에 대해 새로운 값이 샘플링되어 입력 될 때마다, 수신된 신호와 사전에 정의된 트리거 신호 파형을 상호 상관시키고 그 결과 값이 고정된 임계값보다 커지는 시간을 검출되는 순간으로 판정하였다.

고정된 임계값을 정하기 위해서는 여러 번의 실험을 거쳐서 트리거 신호를 검출하는 경우에 대해 값을 구했다. 임계값이 너무 작으면 배경 잡음 신호나 트리거 신호의 시작 부분에서 임계값에 도달하여 너무 빠른 시간에 검출로 판단하는 오차가 발생하며, 임계값이 너무 높으면 트리거를 전혀 검출하지 못하게 된다. 따라서 트리거 신호의 검출을 위한 임계값의 설정은 매우 중요하다.

이와 병행하여 상호 상관 결과 값은 메인 로브와 사이드 로브로 구성되므로, 결과 값의 크기에 변동이 있어 정확한 검출 시점을 결정하기 어렵다. 따라서 상호 상관 결과 값에 대한 이동 평균값을 구하고, 이 값이 최대값에서 작아지는 때를 트리거를 검출하는 순간으로 판정한다.

그림 2는 그림 1의 트리거 신호가 검출되는 과정을 보이고 있다.

그림 2. 트리거 신호의 검출 과정 (a: 트리거 신호, b: 상호 상관값, c: b의 이동 평균값)

Fig. 2. The detection process of the trigger signal (a: trigger signal, b: cross-correlated result, and c: moving average result)

그러나 스마트폰과 측정 장치 사이의 거리가 멀어지면 측정 장치에 수신된 음향 신호의 크기가 작아지므로 트리거 신호에 대한 상호 상관 값의 크기도 작아진다. 따라서 고정된 트리거 검출을 위한 임계값이 고정된 경우에는 거리에 따라 트리거 신호의 검출에 오차가 생기게 되며, 뒤에 수신되는 스마트폰의 위치를 정확하게 추정하기 위한 고주파 음향신호의 수신 시간을 놓쳐서 측정 장치의 메모리에는 잡음만 샘플링되어 저장된다. 이 경우에는 스마트폰의 위치를 추정할 수 없게 된다.

또한 조용한 환경에서는 트리거 신호의 검출이 양호

그림 3. 저잡음 전력 환경에서의 트리거 신호의 검출 (a: 트리거 신호, b: 상호 상관값, c: b의 이동 평균값)

Fig. 3. The detection process of the trigger signal in low noise environment (a: trigger signal, b: cross-correlated result, and c: moving average result)

하지만, 사람의 목소리나 라디오의 음악 소리가 있는 환경에서는 트리거 신호에 잡음이 더해져서 트리거 신호의 검출이 불가능해지는 문제가 있다. 다음 그림 3은 작은 크기의 잡음이 있는 환경에서의 트리거 신호 검출 과정을 보이고 있는데, 잡음 신호의 간섭이 커서 간신히 트리거 신호가 검출되는 것을 확인할 수 있다. 잡음의 전력이 일정 신호대 잡음비 이상으로 커지면 트리거 신호의 검출이 불가해 진다.

그림 3에서 확인한 바와 같이, 잡음이 있는 환경에서는 잡음 신호에 대한 상호 상관 결과 값도 무시할 수 없을 정도로 커진다. 따라서 트리거 신호 검출 임계값을 조용한 환경에서의 값과 동일하게 유지하면 트리거 신호가 없는 경우에도 트리거 신호의 검출로 판단되는 오류가 발생한다. 따라서 트리거 신호의 검출 임계값을 주변 잡음의 크기에 따라 동적으로 변경시켜줄 필요가 있다.

본 논문에서는 다양한 잡음 환경에서 여러 차례의 실험을 통해 동적 트리거 신호 검출 임계값을 구하는 수식을 (1)과 같이 개발하였다.

$$\text{동적 임계값} = \text{기준 임계값} * (1 + k * \text{잡음 전력}) \quad (1)$$

여기서 k는 비례 상수이며 트리거 신호의 파형에 따라, 또한 잡음 전력에 따라 실험적으로 구해진다. 잡음 전력은 트리거 신호 이전의 신호를 일정 시간동안 제공하고 적분하여 구한다.

동적 임계값은 잡음 전력에 비례하도록 설계되었다. 따라서 잡음 환경에서 동적 임계값이 기준 임계값보다 증가되어 오검출 (false alarm)의 가능성이 낮아지는 효과가 있다.

III. 트리거 신호 설계의 고려사항

스마트폰에서 발생하는 트리거 신호를 설계함에 있어 다음과 같이 반드시 고려해야 할 요소들이 있다.

- 스마트폰에서 발생이 가능한 음향 신호의 주파수 대역의 확인이 필요하다. 스마트폰의 오디오 앰프와 스피커 회로의 주파수 특성에 따라 원하는 음향 신호가 출력되지 못할 가능성이 있다. 실험적으로 확인한 바로는 200Hz 이하나 10kHz 이상의

음향 신호는 발생되지 않았다. 그림 4는 200Hz와 500Hz의 tone 신호에 대한 스마트폰이 발생한 음향 신호의 파형이다. 200Hz의 경우에 음향 신호가 거의 출력되지 않는 것을 확인할 수 있다.

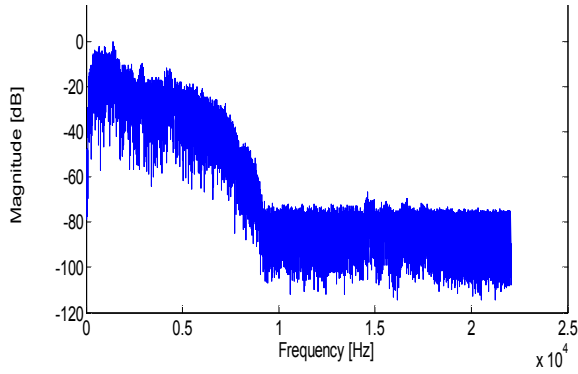
- 트리거 신호를 검출하는 과정에서 메모리에 저장하지 않고 실시간으로 신호 처리를 해야 하므로, 측정 장치에서 사용하는 마이크로프로세서에서의 신호 처리에 소요되는 시간을 산정하고, 이에 따라 최대 샘플링 주파수를 추정해야 한다. 사용 가능한 트리거 신호의 최대 주파수는 샘플링 주파수의 1/2 이하이어야 한다.

그림 4. 500Hz와 200Hz tone 신호에 대한 스마트폰의 음향 신호 (a: 500Hz, b: 200Hz)
Fig. 4. The signal wave forms of 500Hz and 200Hz generated from the smartphone

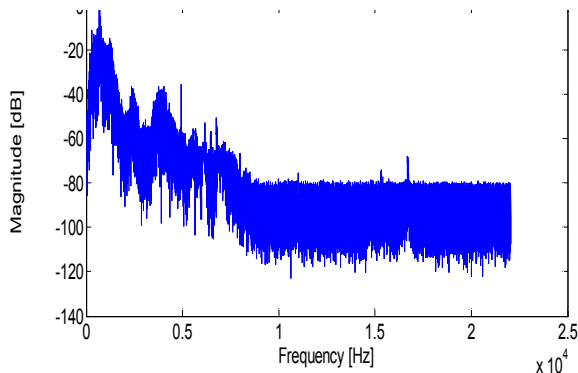
- TDOA 방식의 실내 위치 추정 시스템에서 전파 다중 경로의 시간을 추정하고 이를 고려하여 트리거 신호의 발생 기간을 정해야 한다. 트리거 신호가 너무 짧으면 잡음에 대한 신호대 잡음비가 작아져서 트리거 신호 검출이 어려워지고, 너무 길게 되면 다중 경로 신호들이 더해져서 트리거 신호가 왜곡되어 검출이 부정확해 진다^[9].
- 사람 목소리나 라디오의 음악 소리와 같은 주변 생활 잡음의 주파수 특성을 분석하여, 가능하면 트리거 신호의 주파수 대역과 중복되지 않도록 해야 한다. 주파수 대역이 중복되면 상호 상관 과정에서 큰 결과 값이 산출되어 트리거 신호 검출 오류의 원인이 된다. 그림 5는 전형적인 생활 잡음에 대한 주파수 특성이다.

이상의 고려 사항을 반영하여 본 논문에서는 300Hz이고 시간 길이는 20msec인 트리거 신호를 설계하였다. 즉,

생활 잡음의 주파수 대역이 주로 200Hz부터 1kHz까지이므로 이 주파수 대역을 가능한 피하고, 실시간 신호 처리를 고려하여 샘플링 주기는 0.5msec(즉, 샘플링 주파수는 2kHz)로 하였다. 신호대 잡음비와 전파 다중 경로를 고려하여 트리거 신호의 길이는 20msec로 정하였다.



(a)



(b)

그림 5. 전형적인 생활 잡음의 주파수 특성 (a: 음성 잡음, b: 음악 잡음)

Fig. 5. Typical noise frequency pattern for the living environment (a: vocal noise, and b: musical noise)

그림 6은 설계된 트리거 신호에 대한 검출 과정이다. (a)는 조용한 환경에서 검출한 것으로 트리거 신호에서의 최대 이동 평균값은 450,000이고 잡음에 의한 이동 평균 값들은 약 150,000 정도이다. 이에 비해 (b)는 라디오 음악 잡음 환경에서 트리거를 검출한 경우로, 트리거 신호에서의 최대 이동 평균값이 657,438까지 증가하였다. 잡음에 의한 이동 평균 값들도 300,000 정도로 크게 증가하였다.

(a)

(b)

그림 6. 300Hz, 20msec의 트리거 신호에 대한 검출 과정 (a: 조용한 환경에서, b: 잡음이 있는 환경에서)

Fig. 6. The detection process of the trigger signal of 300Hz and 20msec duration (a: calm environment, b: noisy environment)

IV. 제안된 트리거 방식의 성능 분석

실내에서의 스마트폰의 상대 위치를 추정하기 위한 TDOA 방식의 시스템이 그림 7과 같이 제작되었다. 스마트폰에서는 그림 1과 유사하게, 20msec 동안 300Hz의 tone 신호를 사용하는 트리거 신호와 100msec 후에 3msec 동안 200Hz~6kHz 구간을 선형으로 변화하는 chirp 음향 신호를 발생한다. TDOA 측정 장치에서는 트리거 신호는 2kHz로 샘플링 및 신호처리를 수행하고, chirp 신호는 100kHz로 샘플링하여 메모리에 저장하고 신호처리를 수행한다. 측정 장치에는 5개의 마이크가 십자 형태로 배치되어 있으며 마이크 사이의 간격은 70cm이다. 스마트폰의 상대 위치는 LLMS (Linearized Least Mean Square) 방식으로 계산된다^[7].

다음 표 1은 다양한 잡음 환경에서 기존의 트리거 방식과 본 논문에서 제안된 트리거 방식에 대한 상대 위치

측정 오차이다. 기존의 방식에 비해 제안된 트리거 방식이 훨씬 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.



그림 7. 제작된 트리거 신호 검출 및 스마트폰 상대 위치 추정 시스템

Fig. 7. The implemented smartphone relative positioning system for the trigger signal detection

표 1. 기존 트리거 방식과 제안된 동적 트리거 방식의 성능 비교

Table 1. The performance comparison between the existing trigger method and the proposed dynamic trigger method

(a) 기존의 트리거 방식

거리	잡음 없음		잡음 있음	
	1m	3m	1m	3m
잡음전력	5526	3823	1,0441	1,1320
임계값	400,000	400,000	400,000	400,000
이동평균 최대값	472,290	451,107	840,244	894,441
추정 거리	1.0m	2.6m	불가	불가

(b) 제안된 트리거 방식

거리	잡음 없음		잡음 있음	
	1m	3m	1m	3m
잡음전력	5,636	5,652	16,927	31,735
동적 임계값	422,544	422,608	467,708	526,940
이동평균 최대값	436,625	431,993	513,346	530,773
추정거리	1.0m	2.7m	1.0	3.1

잡음이 크지 않은 경우에는 기존 방식이나 제안된 방식이나 모두 비슷한 성능을 보이고 있다. 그러나 음악 소리와 같이 의도적인 잡음이 있는 환경에서는 잡음 전력이 2배 이상으로 커지게 되고, 이런 경우 기존의 방식은

트리거 검출 임계값에서 잡음을 고려하지 못하여 트리거를 검출하지 못한다. 이에 비해 제안된 방식은 잡음 전력에 비례하여 동적으로 트리거 검출 임계값을 상향 조정하므로 이동 평균 최대 값보다 약간 작게 자동으로 설정되므로 트리거 신호를 검출할 수 있고, 따라서 스마트폰의 위치를 정확하게 추정할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 실내에서의 스마트폰 위치 추정 시스템에서 동적 트리거 임계값 방식을 제안하여 기존 방식에 비해 향상된 성능을 확인하였다. 따라서 시끄러운 실내에서도 위치 추정의 정확도가 향상되었다. 트리거 신호의 검출에 따라 위치 추정을 위한 고주파 음향 신호의 샘플링과 신호처리가 가능하므로, 향후에는 트리거 신호를 사용하지 않고 고주파 음향 신호도 반복하여 발생하지 않는 기술의 개발이 필요하다.

References

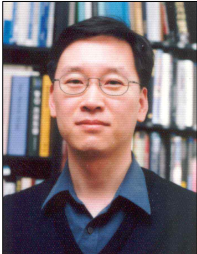
- [1] S.Son, Y.Park, B.Kim, and Y.Baek, "Wi-Fi Fingerprint Location Estimation System Based on Reliability," J. KICS, vol.38C, no.6, pp.31-539, June 2013.
- [2] A.Sayed, A.Tarighat, and N.Khajehnouri, "Network Based Wireless Location," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 22, no. 4, pp. 24-40, July 2005.
- [3] A.Pratama, Widyawan, and R. Hidayat, "Smartphone-based Pedestrian Dead Reckoning as an Indoor Positioning System", Int. Conf. System Engineering and Technology, Bandung, Indonesia, Sept. 2012.
- [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] 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.
- [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] 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.
- [9] L.Scharf, Statistical Signal Processing: Detection, Estimation, and Time Series Analysis, Addison-Wesley Pub. Co., 1991.

저자 소개

오 종 택(정회원)



- 2000.3. ~ 현재 한성대학교 정보통신 공학과 교수
- 1993.12. ~ 2000.2. 한국통신 무선통신 연구소 선임연구원
- 1989.3. ~ 1993.2. 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사 졸업

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

※ 본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제 임