

<http://dx.doi.org/10.7236/IIIBC.2015.15.3.119>

IIBC 2015-3-17

스마트폰 배터리 효율성을 위한 적응적 위치 탐지 기법

An Adaptive Location Detection Scheme for Energy-Efficiency of Smartphones

김도희*, 반효경**

Dohee Kim*, Hyokyung Bahn**

요약 최근 스마트폰 앱의 위치 기반 서비스 사용이 늘어남에 따라 GPS로 인한 배터리 소모가 심각한 수준에 이르고 있다. 본 논문에서는 배터리 효율적인 위치 탐지 기법인 ALD(Adaptive Location Detection) 기법을 제안한다. ALD는 스마트폰 사용자의 이동 패턴과 실행 중인 앱의 특성, 잔여 배터리 수준 등에 따라 적절한 위치 추정 방법을 실시간으로 전환하여 위치 기반 서비스의 전력소모를 극소화한다. 다양한 실제 안드로이드 앱과 가상 시나리오 환경에서의 시뮬레이션 결과 제안한 방법이 GPS에 비해 전력소모를 평균 37% 줄임을 확인하였다. 그럼에도 각 앱이 필요로 하는 위치 정확성을 제공함을 검증하였다.

Abstract As Location-Based Services (LBSs) of smartphones increases, the power consumption of a smartphone due to Global Positioning System (GPS) is becoming increasingly serious. This paper presents a new location estimation scheme for smartphones called Adaptive Location Detection (ALD). ALD adaptively detects the location of a smartphone considering the movement pattern of a user, category of applications executed in the smartphone, and the battery level. Simulation with various real applications and scenarios show that ALD reduces 37% of energy consumption compared to GPS. Nevertheless, it satisfies the accuracy requirement of each situation.

Key Words : Location based service, Global positioning system, CBL, Power consumption, Smartphone.

1. 서 론

최근 스마트폰의 위치기반 서비스를 위한 GPS (Global Positioning System) 사용이 증가함에 따라 이로 인한 배터리 소모가 급격히 증가하고 있다^[1]. GPS는 인공위성의 시그널을 통해 현재 시각과 궤도 정보, 위치신호 등을 수신한 후 사용자의 현재 위치를 계산한다. 정확한 위치 계산을 위해 GPS 수신기는 최소 3개 이상의 위성으로부터 신호를 받아야 한다. 수신하는 위성의 수

가 증가하면 위치의 정확성은 높아지지만 스마트폰 CPU의 계산량이 많아져 전력소모가 커지게 된다. 스마트폰으로 아무런 앱을 실행하지 않고 GPS만 동작시키더라도 배터리 수명이 11시간밖에 되지 않는다는 점을 통해 GPS로 인한 배터리 소모가 심각하다는 것을 알 수 있다^[2].

이러한 문제를 해결하기 위해 GPS의 대안이 될 수 있는 위치 기반 서비스들이 연구되었다^[2]. WPS(Wifi Positioning System)는 와이파이 AP(Access Point)의 MAC(Media Access Control) 주소를 이용하여 위치를

*준회원, 이화여자대학교 컴퓨터공학과

**정회원, 이화여자대학교 컴퓨터공학과(교신저자)

접수일자 2015년 2월 17일, 수정완료 2015년 4월 28일

게재확정일자 2015년 6월 12일

Received: 17 February, 2015 / Revised: 28 April, 2015 /

Accepted: 12 June, 2015

**Corresponding Author: bahn@ewha.ac.kr

Dept. of Computer Engineering, Ewha University, Korea

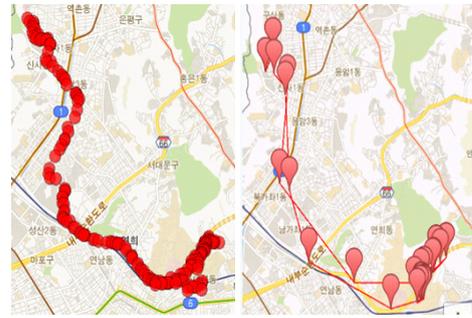
추정한다. 하지만, 이 방식은 신호의 변동에 따라 오차가 큰 특성을 가지고 있다. 스마트폰에 탑재된 센서(가속센서, 방향센서 등)를 이용하여 위치를 추정하는 방법도 연구된 바 있다. 하지만 이 또한 위치 정확성이 떨어지고 추가적인 에너지 소모가 발생한다는 문제점이 있다. GPS의 가장 큰 대안으로 논의되는 방식이 CBL (Cell-Based Localization)이다. CBL은 각 기지국이 위치 정보와 Cell ID를 송신하고 스마트폰이 이 정보를 받아 위치를 추정하는 방법이다^[3]. CBL은 다른 기법보다 전력 소모가 적고 통화 자체를 위해 사용되던 통신 전파를 그대로 이용한다는 장점이 있지만 이 역시 GPS에 비해 정확성이 떨어진다.

본 논문에서는 ALD(Adaptive Location Detection)라는 새로운 위치 추정 기법을 제안한다. ALD는 스마트폰 사용자의 이동 패턴과 실행 중인 앱의 특성, 잔여 배터리 수준 등에 따라 적절한 위치 추정 방법을 실시간으로 전환한다. 사용자가 자주 머무르는 장소(“관심 장소”라 명함)를 미리 분석한 후 관심 장소로의 이동이 감지되면, 제안한 기법은 GPS 대신 CBL로 위치를 추정한다. 또한, 높은 정확성을 요구하지 않는 앱이 실행되거나 배터리 수준이 낮은 경우 제안하는 기법은 GPS 대신 전력소모가 적은 위치 추정 방식을 사용한다. 다양한 실제 안드로이드 앱과 가상 시나리오 환경에서의 시뮬레이션 결과, 제안한 방법이 GPS에 비해 전력소모를 평균 37% 줄이면서 요구되는 위치 정확성을 벗어나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

II. GPS와 CBL의 비교

GPS는 초기 구동시 인공위성의 항법 메시지를 획득하는 데에 많은 전력을 소모한다. 또한, 인공위성이 보내는 신호를 GPS 수신기가 지속적으로 받으면서 위치계산을 반복적으로 수행해야 하므로 GPS가 켜진 상태에서는 스마트폰 CPU가 슬립 상태로 들어갈 수 없어 큰 전력 손실이 발생한다^[1]. 반면, CBL은 GPS를 사용하지 않고 휴대폰 통화를 위해 기지국에서 보내는 신호를 받아 이를 위치 추정에 활용하므로 추가적인 전력 손실이 거의 발생하지 않는다.

GPS의 위치 정확성은 수신 위성의 수가 많을수록 높아지며, 일반적으로 3개 이상의 인공위성 신호를 이용할



(a) GPS 기반 위치 경로 (b) CBL 기반 위치 경로
그림 1. GPS와 CBL로 측정된 위치 경로
Fig. 1. Routes detected by GPS and CBL.

경우 높은 정확성을 제공할 수 있다^[6]. 하지만 인공위성과 스마트폰 사이에 빌딩, 터널, 산 등 장애물이 있거나 사용자가 실내에 있을 경우 GPS는 정확성이 떨어질 뿐 아니라 잘 동작하지 않는다. 반면 대부분의 실외 공간에서 GPS는 높은 정확성을 보장한다. 따라서 GPS는 내비게이션이나 여행 관련 앱 등 높은 수준의 위치 정확성을 요구하는 앱에서 주로 사용된다.

CBL 역시 다수의 기지국 신호를 받을 경우 비교적 높은 정확성을 제공할 수 있으나 셀이 넓고 수신되는 기지국 수가 적을 경우 그 정확성이 매우 떨어져 오차 범위가 100-800m에 이른다^[3]. 심지어 큰 규모의 셀에서 기지국 하나를 통해서만 신호를 받을 경우 오차는 최대 30km에 이른다^[5]. 그림 1은 본 논문의 사용자가 GPS와 CBL 방식으로 스마트폰 위치를 직접 수집한 데이터를 보여준다. 그림에서 보듯이 GPS가 CBL에 비해 정확성이 높음을 확인할 수 있다.

그림 2는 GPS와 CBL의 오차를 비교한 그래프이다. x축은 사용자의 실제 위치와 추정 위치 사이의 오차를 뜻하며 y축은 해당 오차 비율을 나타낸다. 그림에서 GPS에

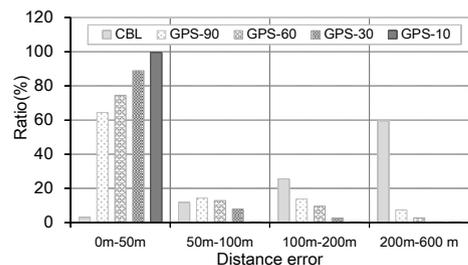


그림 2. 주기적 GPS와 CBL의 오차 범위 비교
Fig. 2. Distance error ratio of GPS and CBL

표시된 숫자는 위치 추정 주기(폴링 주기)를 나타낸다. 예를 들어, GPS-90의 폴링주기는 90초이다. 그림에서 보듯 GPS 오차의 대부분은 50미터 이하인 반면, CBL 오차의 상당 부분은 200미터 이상인 것을 확인할 수 있다. 또한, GPS 폴링주기가 짧을수록 낮은 오차범위 내에 들어갈 가능성이 높은 것을 확인할 수 있다.

III. 제안하는 위치 추정 기법

1. 관심 장소(POI)의 설정

일반적으로 한 사람이 하루에 이동하는 장소는 크게 볼 때 7-9 곳 정도인 것으로 알려져 있다^[4]. 이 때, 사람의 이동은 불규칙적으로 일어나는 것이 아니라 시간적, 공간적 편향성을 가지며, 빈번하게 방문하는 장소를 재방문할 확률이 높고, 이러한 장소의 주변 지역에 오랜 시간 머무를 가능성이 높은 것으로 알려져 있다^[4]. 본 논문에서는 이러한 장소를 관심 장소(POI: Point of Interest)라 칭하고 위치 추정에 POI의 성질을 활용한다. 주요 POI 장소로는 학교, 직장, 관광지, 쇼핑몰, 음식점 등이 있으며, 본 논문에서는 사용자가 30분 이상 200m 반경 내에 머물러 있으면 POI라고 간주하였다.

그림 3은 스마트폰 사용자의 위치데이터에서 POI를 추출한 것이다. 원의 크기가 클수록 사용자가 오랜 시간 동안 빈번하게 머물렀던 관심 장소이다. POI 지역에 진입하면 POI 내에 오랜 시간 머물 가능성이 높기 때문에 본 논문에서는 POI에 진입한 것이 탐지될 경우 GPS의 주기를 늘려 전력 소모를 줄이는 방법을 활용한다.

2. 위치 기반 앱의 정확성 요구 분류

최근 스마트폰의 위치 기반 앱이 급격히 증가하고 있으나 앱별로 요구되는 위치 정확성은 상이하다^[7]. 표 1은 위치 기반 앱의 분류와 GPS 폴링 주기의 예시를 보여주고 있다. 위치기반 서비스는 가장 요구 정확도가 높은 길 찾기, 내비게이션, 재난구조 서비스 등에서부터 우선 순위가 가장 낮은 광고에 이르기까지 다양한 스펙트럼으로 구성된다. 하지만 대부분의 위치 기반 앱이 요구정확도에 상관없이 GPS를 사용하므로 전력 소모가 매우 크다. 본 논문에서는 각 앱이 요구하는 위치 정확성이 다르므로 이에 근거하여 앱별 상황에 맞는 위치 추정 방법을 활용한다. 예를 들어 우선순위가 낮은 앱이 실행되고 있다

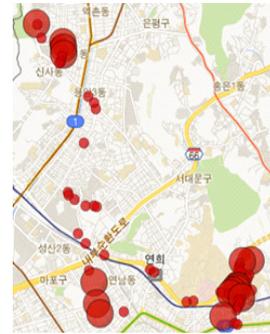


그림 3. POI 추출 예시
 Fig. 3. Examples of POIs

면 폴링 주기를 길게 하여 배터리 소모를 줄이며, 경우에 따라 GPS를 끄고 CBL을 사용한다. 상세한 알고리즘은 3절에서 설명한다.

3. ALD 기법의 위치추정 알고리즘

제안하는 ALD 기법은 2절에서 분류된 앱별 요구 정확도에 따라 GPS와 CBL을 적용적으로 활용하여 위치정보를 추정한다. 또한 1절에서 소개된 POI 내에 사용자가 있는 것이 탐지되면 기본적으로 CBL을 사용하되 60초 이상의 긴 주기로 GPS를 사용하여 오차를 보정한다.

배터리 잔량이 적을 경우, 스마트폰 사용자는 전력소모를 최소화하기 위해 꼭 필요한 기능만이 실행되기를 원할 것이다. 이러한 이유로 배터리 잔량이 일정 수준(15%) 이하인 경우, ALD는 CBL로 위치를 추정하거나 앱을 중지함으로써 전력소모를 줄인다.

그림 4는 ALD 알고리즘을 의사코드로 나타낸 것이다. 먼저 ALD는 현재 수행 중인 앱 분류에 해당하는 GPS 주기(표 1)와 CBL 방식 사용 여부를 결정하여 사용자의 위치를 추정한다. 우선순위가 높은 앱과 낮은 앱이 함께 사용된다면, 우선순위가 높은 앱의 폴링주기에 맞춰 동작한다. 우선순위가 가장 낮은 5로 분류된 앱의 경우 정확

표 1. 우선순위에 따른 앱의 위치 정확성과 GPS측정주기.
 Table 1. Required accuracy of app and polling period.

우선 순위	분 류	요 구 정확도	폴링 주기
1	재난 구조, 내비게이션, 지도 앱	10m	5초
2	노약자 안전 등 위치 조회 앱	50m	10초
3	위치기반 SNS, 주변 정보(상가)	100m	30초
4	엔터테인먼트 앱	300m	60초
5	광고, 기상, 환경 정보 앱	500m	90초

한 위치를 제공하지 않아도 되므로 GPS를 끄고 CBL만으로 위치를 추정한다. 우선순위가 1-4인 앱은 GPS를 사용한다. 사용자가 POI 안에 있는 것이 감지되면, 시스템을 저전력 모드로 전환한다. 즉, GPS와 CBL로 측정한 위치 간의 거리차가 해당 앱의 요구정확도를 초과하면 GPS를 계속 동작시키고, 그렇지 않으면 적절한 정확성이 제공되는 것으로 판단하여 GPS를 끄고 60초 동안 CBL로 위치를 추정한다. 60초 후 GPS를 켜고 CBL 추정치와의 편차를 다시 구한 후 요구정확도를 넘어서는지에 따라 이러한 과정은 반복된다.

배터리 수준이 낮은 상태에서 GPS로 위치를 업데이트하게 되면, 급격한 에너지 소모를 초래하여 전원이 꺼질 수 있으므로 배터리 수준이 15% 이하인 경우 저전력 모드로 실행하며, 우선순위가 5인 앱의 경우에는 앱 자체를 정지시킨다.

IV. 실험

앞서 소개된 5가지 우선순위의 앱이 실행되는 경우 ALD의 성능을 GPS, CBL과 비교하였다. 또한, 다양한 환경에서 제안한 기법의 성능을 확인하기 위해 실제 상황과 유사한 6개의 시나리오를 설정하였다. 표 2는 실험을 위한 시나리오를 요약해서 보여주고 있다.

시나리오 1: 음악을 들으며 주변의 카페 정보를 웹 서핑으로 알아본 후 해당 카페로의 길 찾기 앱을 실행하여 카페로 이동한다. 카페에서 커피를 주문한 후 카메라 앱으로 사진을 찍어 SNS에 올린다.

시나리오 2: 지하철에서 화재가 발생하여 119에 신고를 하고 재난 구조요청 앱을 실행하여 현재 위치를 GPS로 알린다. SNS에 재난 상황 글을 올린다.

시나리오 3: 위치기반 게임을 실행한다. 게임 중 배가고파 음식점 배달 앱을 이용하여 음식점을 찾고 주문을 한 후 다시 게임을 실행한다.

시나리오 4: 내비게이션을 실행하며 운전하던 중 기름이 떨어져 주변 주유소와 교통상황을 검색한다. 목적지에 도착하여 주변 정보를 검색하고 카메라 앱으로 사진을 촬영하여 SNS에 올린다.

시나리오 5: 버스 앱을 실행하여 주변 버스정류장을 찾아 버스를 탄 후 음악을 들으며 웹 서핑과 위치기반 게임을 실행한다.

```

procedure ALD
  if (priority = 5) then turn off GPS;
  while (battery_level ≥ 15%) do
    update the location by CBL;
  end while
  suspend the application;
  else turn on GPS;
  while (POIs || battery_level < 15%) do
    error := Calculate_error(GPS, CBL);
    while (error ≤ threshold) do
      turn off GPS;
      update the location by CBL;
      if (time since last GPS check > 60s)
        then turn on GPS;
        error := Calculate_error(GPS, CBL);
      end if
    end while
  end while
  if (error > threshold)
    then turn on GPS;
  end if
end while
end if
end procedure
    
```

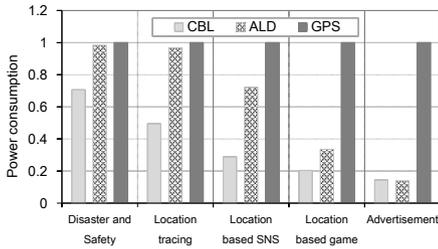
그림 4. ALD 알고리즘의 의사 코드
Fig. 4. pseudo-code of ALD

시나리오 6: 공항에서 지도 앱을 사용하여 숙소의 위치를 파악한 후 버스노선을 검색하여 탑승한다. 버스에서 내려 길 찾기 앱으로 숙소까지 이동한다. 숙소에 도착한 후 웹 서핑과 이메일 확인을 한다. 여행 계획을 짜며 지도 앱을 실행시킨다. 여행지에 도착해서 카메라 앱으로 사진을 찍고 SNS에 올린다.

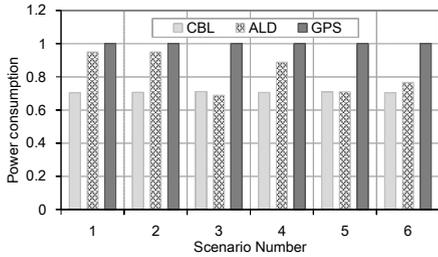
그림 5(a)는 5종류의 위치기반 앱 실행 후 GPS 사용시의 전력소모를 1이라고 했을 때, CBL과 ALD의 상대치를 나타내었다. ALD는 GPS보다 평균 37%, 최대 86%의 전력소모를 줄였다. 이는 각 우선순위에 적합한 수준의 위치 추정 방식을 사용했기 때문에 얻게된 결과이다.

표 2. 시나리오
Table 2. Scenarios

번호	앱 실행순서(우선순위)	앱 실행시간 (분)	POI (머문 시간)
1	광고(5)-위치 추적서비스(2)-위치기반 SNS(3)	10-20-60	카페 (60분)
2	안전 및 구조 서비스(1)-위치기반 SNS(3)	20-70	대피장소 (70분)
3	위치기반 게임(4)-광고(5)-위치기반 게임(4)	50-10-30	집 (90분)
4	내비게이션 앱(1)-위치 추적서비스(2)-위치기반 SNS(3)	30-10-50	여행지 (60분)
5	위치 추적서비스(2)-위치기반 게임(4)	10-80	정류장 (40분)
6	지도 앱(1)-위치 추적서비스(2)- 지도 앱 (1)-위치기반 SNS(3)	5-20-5-60	여행지 (60분)



(a) 위치 기반 앱



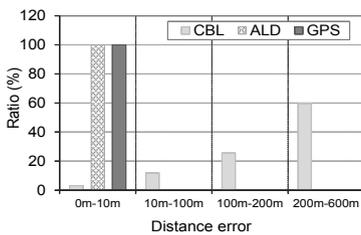
(b) 시나리오

그림 5. 전력소모량 비교

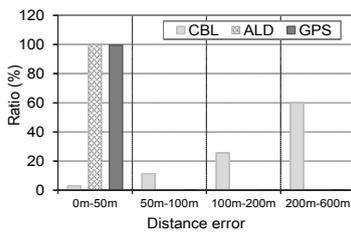
Fig. 5. Power consumption comparison

그림 5(b)는 시나리오 별 전력소모를 비교한 결과이다. 앞선 결과와 유사하게 ALD는 GPS보다 4-31% 전력소모를 줄였다.

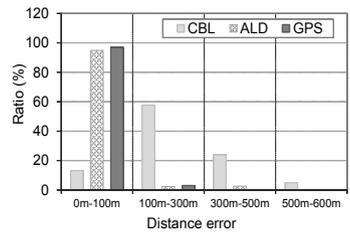
그림 6은 앱별 오차분포를 나타낸 것이다. 그림에서 x축의 가장 왼쪽 부분이 각 앱이 요구하는 정확성을 만족하는 오차 범위를 나타낸다. ALD는 전체 오차 중 평균 98%가 각 앱이 요구하는 정확성을 만족하였다. 예를 들어 재난구조 앱은 10m 이내의 정확성이 요구되는데,



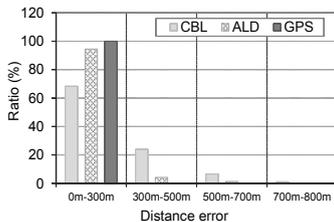
(a) 재난 구조 앱



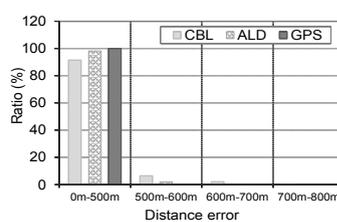
(b) 위치 추적 앱



(c) 위치 기반 SNS



(d) 위치 기반 게임



(e) 광고 앱

그림 6. 앱별 거리 오차

Fig. 6. Error distribution of location based applications

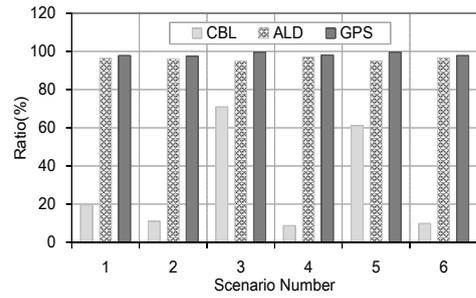


그림 7. 요구하는 정확성을 만족하는 비율

Fig. 7. Satisfaction ratio of required accuracy.

CBL은 최대 600m까지 오차가 발생한 반면 ALD은 모든 경우 이 수준을 만족하였다.

그림 7은 각 시나리오 별로 요구되는 정확성을 만족하는 비율을 보여준다. 그림에서 보는 것처럼 모든 시나리오에서 ALD는 GPS 수준의 정확성 만족 비율을 나타낸 것에 비해 CBL은 상당히 낮은 만족 비율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 스마트폰에서 GPS에 의한 전력소모를 줄이기 위한 새로운 위치 추정 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 사용자의 이동 패턴과 실행 중인 앱의 특성,

잔여 배터리 수준 등에 따라 적절한 위치 추정 방법을 실시간으로 전환하여 위치 기반 서비스의 전력소모를 평균 37% 줄이면서 각 앱이 필요로 하는 수준 이상의 정확성을 제공함을 확인할 수 있었다.

References

- [1] A. Carroll, G. Heiser, "An Analysis of Power Consumption in a Smartphone," USENIX ATC, pp.21-21, 2010.
- [2] F. Abdesslem et al., "Less is more: energy-efficient mobile sensing with SenseLess," ACM Mobiheld, pp.61-62, 2009.
- [3] E. Trevisani et al., "Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study," IEEE WMCSA, pp.51-60, 2004.
- [4] N. Klepeis et al., "The National Human Activity Pattern Survey," Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, vol.11, no.3, pp.231-252, 2001.
- [5] B. Prem et al., "A Survey of Positioning Algorithms on Mobile Devices in Location Based Services," Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 3, no. 6, pp. 1779-1784, 2013.
- [6] S. Kim, "Bus Information System based on Smart-Phone Apps using GPS Information," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol. 11.No. 3, pp. 169-174, 2011.
- [7] B. Kim et al., "Design of a Smart Phone Panoramic Photograph Support System Using Sensor and Camera Technology," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 12, pp. 7187-7192, 2014.

저자 소개

김도희 (준회원)



- 2012년 2월 : 이화여자대학교 대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2012년 3월 ~ : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 통합과정

반효경 (정회원)



- 1997년 2월 : 서울대학교 계산통계학과 학사
- 1999년 2월 : 서울대학교 전산학과 석사
- 2002년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학부 박사.
- 2002년 9월 ~ : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 교수.

<주관심분야 : 운영체제, 스토리지시스템, 임베디드시스템>

※ 이 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단(No.2011-0028825)의 지원을 받아 수행된 연구임.