

무선 센서 네트워크에서 클러스터링을 이용한 효율적인 측위

이충세* · 김장환**

요 약

최근 무선 센서 네트워크는 다양한 분야에 적용되고 있다. 무선 센서 네트워크는 안정적인 네트워크 설계 뿐만 아니라 보안이나, 군 그리고 병원의 응급 처리에도 적용되고 있다. 이러한 다양한 응용 중에서 어떤 침입자나 위기 상황이 발생했을 경우 이를 신속히 위치를 추적하는 방법이 아주 필수적인 연구 분야가 되고 있다. 이러한 방법을 측위라고 정의하고, 센서 노드의 전파범위를 기반으로 측위를 효율적으로 처리하는 기법을 제안한다. 또한 측위를 위하여 필수적인 효율적인 클러스터링 방법과 알고리즘을 제안한다.

An Efficient Clustering algorithm for Target Tracking in WSNs

Chung-Sei Rhee* · Jang-Hwan Kim**

ABSTRACT

The use of Wireless Sensor Networks in many applications require not only efficient network design but also broad aspects of security, military and health care for hospital. Among many applications of WSNs, target tracking is an essential research area in WSNs. We need to track a target quickly as well as find the lost target in WSNs. In this paper, we propose an efficient target tracking method. We also propose an efficient clustering method and algorithm for target tracking.

Key words : Clustering, Target, Attacker, Algorithm, WSN

접수일(2016년 8월 22일), 수정일(1차: 2016년 9월 22일),
게재확정일(2016년 9월 27일)

* 충북대학교 소프트웨어학과 교수
** 성결대학교 미디어소프트웨어학부 교수(교신저자)

1. 서 론

무선 센서 네트워크의 기술은 환경/생태 감시 분야는 물론, 에너지 관리 분야, 물류/재고 관리 분야, 전투 지역 관리 분야 및 의료 모니터링 등 다양한 분야에 걸쳐 연구가 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크는 계산 능력을 가진 초소형 장치 센서 노드들로 구성된 네트워크이며 주변 환경에 대한 정보(온도, 습도, 오염 정보, 위치 정보 등) 수집을 목적으로 한다. 센서 노드들은 센서 필드에 조밀하게 배치되며 미리 그 위치가 정해지지 않는다. 센서 필드에서 통신은 노드들이 스스로 네트워크의 토폴로지를 구성하고 모든 노드는 단거리 무선통신 기술을 사용한다. [1] [2]

무선 센서 네트워크의 중요한 연구 분야 중에 하나는 측위(target tracking)인데, 측위는 군, GIS 그리고 스마트폰 등의 다양한 분야에 적용하는 중요한 연구 분야이다. 측위를 효율적으로 처리 하기 위하여, 개인이나, 차량 또는 목표물은 이동하는 물표가 되며 센서 노드의 감지 능력을 가진 무선 센서 네트워크를 조사하여 추적할 수 있다. 이동하는 대상의 위치나 좌표를 지속적으로 기록하고 조사한 다음 참고하는 장소와 시간대 별로 비교하여 물표의 정확한 위치와 장소를 제시한다. 어떤 대상을 추적하고 관리하기 위하여 다음과 같은 두 가지 항목을 고려해야 한다. [3] [4]

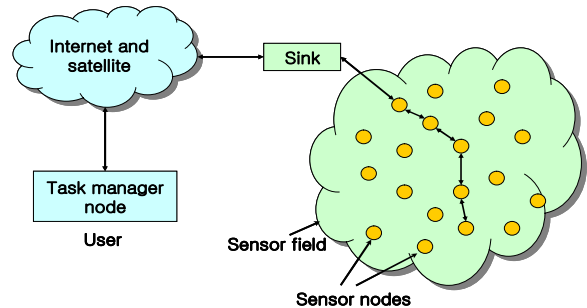
- 지속적인 감시
- Broadcasting

지속적인 감시는 움직이는 대상을 지속적으로 관리하고, Broadcasting은 이동하는 대상에 적절한 대처가 필요할 경우에 이를 보고하는 것을 나타낸다.

이 논문에서는 거리와 에너지 등을 고려한 클러스터링과 위치를 예측하는 프로토콜에 대하여 연구한다. 또한, 기지국(Base Station)에서 침입자나 이동 중인 객체를 위치를 지속적으로 추적하여 클러스터링과 위치를 효율적으로 관리한다.

2. 관련 연구

무선 센서 네트워크는 (그림 1)과 같이 1개 또는 그 이상의 싱크 노드와 수백 수천 개의 센서 노드로 구성된다. 싱크 노드는 외부의 네트워크와 연결되어 센서 네트워크에서 수집된 정보들을 외부로 제공하여 주는 역할을 수행하고, 센서 노드는 초소형 저가격 저전력을 요구하며 기본적으로 마이크로프로세서 트랜시버 컨버터, 그리고 다양한 센서로 구성된다. 센서 노드는 감지 센서를 통하여 감지된 정보를 주변 노드를 통하여 싱크 노드에 전송하고, 또 다른 센서 노드들의 정보를 중계해주는 역할도 수행한다. 싱크 노드는 센서 노드로부터 감지된 환경정보를 수집하여 외부 네트워크에 전달하거나 외부 네트워크에서 보내는 컨트롤 정보를 센서 노드에 전달해 주는 게이트웨이 역할을 한다. [5]



(그림 1) 무선 센서 네트워크의 구조

계층적 라우팅 프로토콜은 클러스터라는 작은 영역들로 센서 네트워크를 분할하고, 각 클러스터에는 클러스터 헤더가 존재하여 클러스터 멤버로부터 데이터를 수집하고 이를 모아서 목적지노드에 전달하는 라우팅기술이다. 이러한 네트워크에서 제일 위에 있는 노드들은 베이스 스테이션이 되고 아래쪽의 노드들은 센서 노드들이 된다. 노드들의 주변에 있는 사건들을 발견할 수 있고 노드들에 의해 싱크 노드들에 전달되고 싱크 노드를 이용하여 랩-톱이나 모바일 폰들과 통신할 수 있다.

P2P(Peer to Peer) 네트워크는 멀티-홉 전과 연결을 이용한 메시 구조 대신에 무선 노드들 사이에 싱글-홉 전과 연결 구조를 갖는 네트워크이다. P2P 또는 점 대 점 네트워크는 무선 네트워크에서 정적인

라우팅 방식을 사용한다. 모든 노드는 이웃한 노드들과 통신할 수 있고 이웃 노드들은 정보를 교환할 수 있다. [1] [2] [6]

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)에서는 네트워크에서 인접한 센서 노드들의 데이터 유사성 특성으로 인한 정보의 중복 전달로 낭비되는 에너지를 줄이기 위해 클러스터 헤드는 데이터 병합(data aggregation)을 수행한다. [5] [6] LEACH는 데이터 병합을 수행한 다음 싱크 노드로 직접 전송하여 에너지 소비가 큰 클러스터 헤드를 라운드(round)라는 시간 단위 마다 균등하게 교체하여 네트워크 수명을 연장한다.

3. 클러스터링 기법과 측위

제안 클러스터링 기법은 전파범위를 기반으로 하며 주로 클러스터 헤더선정, 싱크 레벨링, 클러스터 헤더 레벨링, 그리고 클러스터 형성 등 4개 단계로 나누어 동작한다.

3.1 클러스터 헤더 선정

제안 기법에서는 헤더 선정은 LEACH을 기반으로 노드의 잔존 에너지, 연결도 그리고 마지막 라운드 수등을 고려한다. 즉 전체 네트워크에 배치된 노드들 중에서 클러스터 헤드가 선출될 확률이 높은 노드는 주기적으로 클러스터에 참여하여 노드의 잔존 에너지와 연결도를 높게 한다. 모든 노드들을 자발적으로 클러스터 헤더 선정에 참여하게 함으로써 전체 네트워크에서 사용되는 에너지 효율을 높이는 효과를 얻을 수 있다.

클러스터 헤더를 선출하기 위해 필요한 에너지는 각 노드 자신의 잔존 에너지(E_{resi})와 초기 에너지(E_{init}) 비율로 나타낸다. 클러스터 헤더 노드 선정을 위한 임계값(T)은 계층적 네트워크를 위해 (식 1)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 p 는 전체 노드에 서 클러스터 헤더 노드의 비율을 의미하고 E_{resi} 는 i

번째 노드의 잔존 에너지 비율을 의미한다.

$$T(i) = \frac{p}{1 - p \left(r \bmod \frac{1}{p} \right)} \times \frac{E_{resi}}{E_{init}} \quad (\text{식 1})$$

T 는 (식 1)을 통해서 0과 1사이의 범위에 있는 임계값을 계산한다. 각 노드는 T 의 임계값을 계산한 후에, 0과 1사이의 난수와 비교한다. 이 때, T 의 임계값이 생성된 난수보다 크면 노드는 스스로 현재 클러스터의 헤더가 된다. 그리고 인접 노드들에게 자신이 클러스터 헤더라는 사실을 알리게 된다.

3.2 싱크노드 기반의 레벨링

싱크 노드기반 레벨링은 우선 (그림 2)에서 보여주는 패킷 구조로 싱크노드 정보를 이용하여 싱크 레벨링 메시지를 생성한다. DataType은 "00"으로, NID와 CH_ID는 싱크노드 식별자로, 잔존 에너지 값, SL 값, CHL 값 그리고 Link 값은 모두 0으로 초기화 한다. 그다음 (그림 2)에서와 같이 싱크 노드 기반 레벨링을 수행한다. 이 과정에 네트워크의 모든 노드는 싱크 레벨 값을 획득하며 또 자신과 인접해 있는 노드들의 정보를 수집하여 (표 1)에서 보여주는 속성정보로 라우팅 테이블을 구성한다.

DataType	NID	E_residue	SL	CH_ID	CHL	Link
----------	-----	-----------	----	-------	-----	------

(그림 2) 레벨링 패킷 구조

<표 1> 라우팅 테이블의 속성

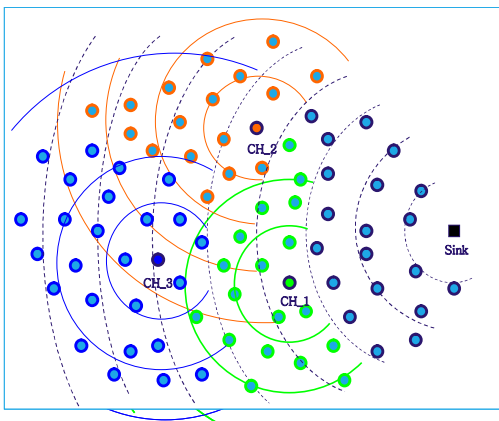
속성필드	설 명
NID	유일한 노드 식별자
SL	SL(Sink_Level)싱크노드 기반의 레벨 값
CH_ID	클러스터헤더노드의 ID 자신일 경우 Null값
CHL	위 클러스터헤더를 기반으로 한 레벨 값
Link	전파범위내의 노드 수
E_residue	노드의 잔여 에너지 값

3.3 클러스터 헤더기반 레벨링

클러스터 헤더기반 레벨링은 싱크 레벨링이 끝난 후 시작한다. 헤더 레벨링 메시지 구조는 싱크 레벨링 메시지 구조와 같으며 단 메시지 내용에서 DataType 값만 "01"인 것이 구별되며 헤더 기반 레벨링에서는 클러스터 헤더 식별자 및 레벨 값을 중심으로 레벨링을 수행하며 이 과정에 각 노드의 라우팅 테이블을 갱신한다.

3.4 클러스터 범위 선정

모든 일반 노드는 자신의 라우팅 테이블, 헤더 레벨, 싱크 레벨, 연결도 등을 이용하여 소속 클러스터 헤더에 멤버로 가입한다. 우선 싱크 노드도 하나의 클러스터 헤더로 간주한다. 헤더 레벨이 가장 작은 클러스터 헤더의 멤버로 가입하고 만일 가장 작은 헤더레벨이 중복이 있으면 헤더 중에서 싱크레벨을 낮은 클러스터 헤더의 멤버로 첨가한다. 헤더의 싱크레벨도 동일할 경우, 헤더 레벨 메시지를 먼저 받은 클러스터 헤더의 멤버로 된다. (그림 3)과 같이 클러스터링 과정을 끝난 다음의 네트워크 클러스터링 상황을 보여 주고 있다.



(그림 3) 클러스터링 결과

위의 클러스터링 방법을 이용하여 목표물을 찾아낸다. 다음 가능한 목표물의 위치는 측위 모델을 이용하여 계산할 수 있다. 전 단계의 정보는 다음 단계의 위치를 결정하는데 도움이 되기 때문에 전 단계의 정보를 이용하여 다음 목표물의 위치를 찾아낸다. [7]

[8]

3.5 측위

다음 가능한 표적의 위치는 예측 알고리즘을 이용하여 계산할 수 있다. 표적의 위치를 예측하는 것을 측위라고 정의한다. 사전 지식을 이용하여 다음 위치를 결정할 수 있는데, 이러한 방법을 이용하여 표적의 다음 위치를 계산한다. 예측은 선형 형태를 이용하여 추측한다. i 번째의 표적의 위치가 좌표 (x_i, y_j) 로 나타난다면 $i+1$ 번째의 좌표는 (x_{i+1}, y_{i+1}) 로 이동하는데, 이러한 계산은 중요한 두 개의 인수 즉, 표적의 속도와 방향을 사용하여 계산한다. 만일 예측한 표적이 현재 클러스터 안에 있으면 현재의 클러스터를 기지국에 보고하고, 현재의 클러스터 안에 존재하지 않으면 예측한 표적의 좌표에 가장 인접한 클러스터 헤더를 기지국에 보고한다. 이러한 과정을 통하여 표적의 위치를 찾고, 탐색이 끝나면 현재의 클러스터는 가능한 한 에너지를 절약하기 위하여 휴면(sleep) 모드로 변환한다.

이 논문에서는 다음과 같은 시스템을 제안한다. 먼저, 임의로 선택한 무선의 센서 노드들을 이용하여 선택한 모든 노드를 사이의 평균 차이(dissimilarity)를 구한 다음, 평균 차이가 가장 작은 노드를 구한다. 이 값을 이용하여 동적으로 클러스터를 생성한다. 클러스터를 생성한 다음 클러스터 헤더와 기지국은 대상이 되는 표적의 위치를 공유한다. 정보를 공유한 후에, 표적이 되는 객체의 헤드들로부터 기지국까지의 정보를 수집하여 표적 대상을 만든다.

표적의 위치를 전송하는 범위의 제한성 때문에 표적물을 성공적으로 측위 하는 것이 불가능할 경우가 발생한다. 표적이 클러스터의 경계 밖으로 이동하게 되면 일반적인 방법으로 표적과 노드들 사이의 거리를 계산할 수 없다.

정의 1 : 메도이드(medoid)는 객체들의 집합에 속하는 객체들에 대하여 집합에 속하는 모든 다른 원소들과의 평균 차이가 최소가 되는 객체를 나타낸다.

앞에서 정의한 알고리즘에 의하여 표적의 추적이 불가능할 경우 기존의 평균과 중심 대신에 메도이드

를 이용하여 범위 밖에 있는 표적을 찾아낸다. 클러스터링 알고리즘을 적용하여 클러스터와 클러스터 헤드들을 이용하여 k 개의 메도이드들을 생성하여 범위 밖에 있는 객체를 나타낸다. 따라서, 메도이드는 항상 객체들의 집합에 속하게 된다. 이러한 정의를 이용하여 추적 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

1. Read Number_of_Nodes
2. Perform **CLUSTERING**

Step 1 : CASE of CLUSTERING

Target Detected : Prediction

Target Lost : Target Recovery

Prediction (using medoids)

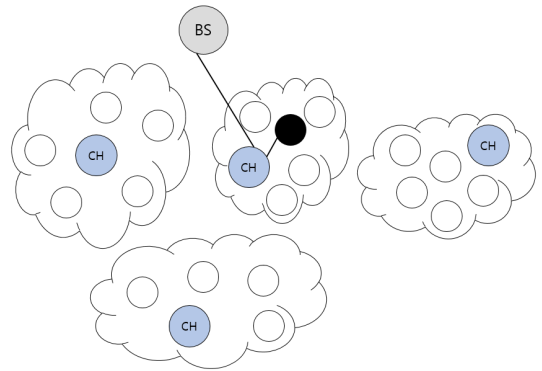
Determine exact location

Send **location** to Base Station

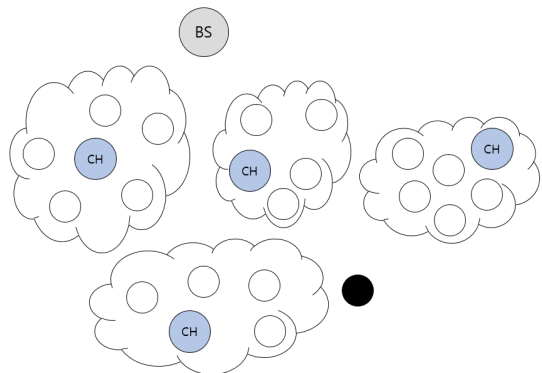
(그림 4) 측위 및 회복 알고리즘

클러스터 네트워크에서 측위를 다음 그림들을 이용하여 설명한다. 네트워크 토폴로지는 노드들과, 클러스터 헤드 그리고 기지국으로 구성되어 있다. 검은 원은 표적물을 나타낸다. 클러스터 헤드는 지역 정보를 수집한 후에 기지국이 있는 서버에 정보를 보낸다. 그림에서 검게 나타낸 원은 표적이 된다. (그림 6)은 표적이(검은 원) 클러스터의 경계 밖에 있을 경우를 나타낸다. 이런 경우에, 위에서 정의한 메도이드들을 이용하여 새로운 클러스터를 만들어 표적을 클러스터 안에 포함시키도록 (그림 7)과 같이 변형한다. 이런 방법으로 사라진 표적을 클러스터 안에 포함시켜 표적을 측위할 수 있다.

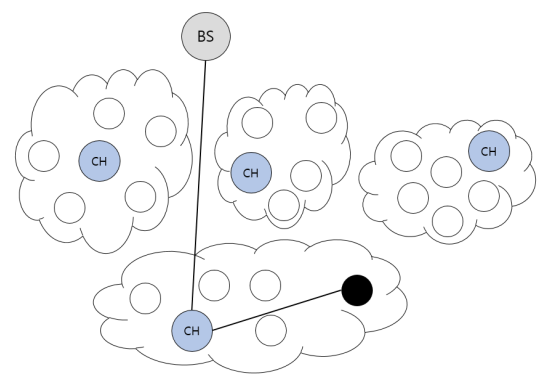
측위는 다양한 분야에 적용할 수 있다. 특히, 군이나, 항공 교통 제어 그리고 자연 재해 등에 무선 통신을 이용하여 활용할 수 있다.



(그림 5) 클러스터 내의 표적 추적



(그림 6) 표적이 클러스터 밖으로 이동

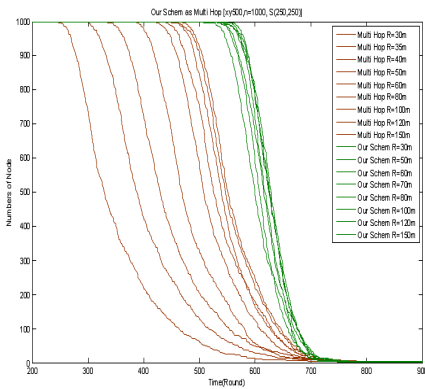


(그림 7) 새로운 클러스터와 클러스터 헤드를 이용하여 표적 추적

4. 실험 및 성능 평가

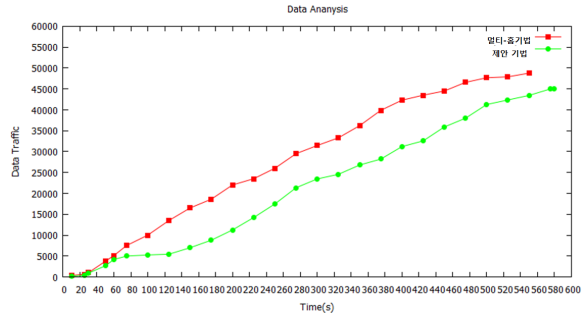
4.1 시뮬레이션 환경설정

이 논문에서는 제안 기법에 대한 성능을 평가하기 위한 도구로 MATLAB R2008b를 사용하였다. 제안 기법에서는 새로운 클러스터 헤더 선정, 클러스터링 기법 및 이를 기반으로 라우팅 기법을 새롭게 제안하고 LEACH를 비롯한 멀티 홉 기법 등 기존 기법들과 비교분석 하였다.



(그림 8) 전파범위기반의 제안 기법과 멀티 홉 기법의 통합결과

(그림 8)을 보면 멀티 홉 기법과 제안 기법을 통합하여 분석하여보면 멀티 홉 기법은 전파범위 변화에 네트워크 수명이 큰 차이를 보이지만 제안기법에서는 약 10라운드 안팎으로 멀티 홉 기법처럼 차이가 크지 않다. 다만 전체적으로 제안 기법이 멀티 홉 기법보다 50라운드에서 100라운드 시간정도의 네트워크 수명이 늘어났음을 알 수 있다. 센서 노드의 생존 시간은 FND(First Node Dies)와 LND(Last Node Dies)을 이용하여 판단한다. 여기서 FND값은 크게 벌어지지만 LND는 모두 서로 비슷하다. 즉 제안 기법이 멀티 홉 기법보다 전파범위 기반 변화 실험에서 에너지 효율성이 10%정도 향상되었음을 (그림 9)에서 보인다. 제안한 클러스터링에 의해 (그림 5)에서 (그림 8)까지 무선 네트워크를 이용하여 표적을 추적하는 과정을 설명하였다.



(그림 9) 제안 기법과 멀티-홉 기법 비교

5. 결론

최근 저-전력 통신과 관련된 무선 센서 네트워크는 다양한 센서들과 접목하여 저 비용(low-cost)을 목적으로 개발되고 있으며, 그 응용 범위가 군사적인 목적에서부터 환경/생태 감시 분야, 에너지 관리 분야, 물류 관리 분야, 전투 지역 관리 분야, 의료 모니터링 분야, 보안, 헬스 케어 등의 응용 분야까지 크게 확장되고 있다.

이 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터링 방법을 제시하고 이를 이용하여 효율적으로 측위 하는 방법을 제시하였다. 제안 기법은 노드들의 에너지 소모량을 예측하여 에너지 소비의 최적화가 가능하며 또한 실제 무선 센서 네트워크 구축과 실현에 활용이 가능하다.

참고 문헌

- [1] V. Loscri, S. Marano, G. Morabito, "A Two-Levels Hierarchy for Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (TL-LEACH)." Proceedings "VTC2005", Dallas (USA), pp.1809-1813, Sept., 2005.
- [2] L. Ying, Y. Haibin, "Energy Adaptive Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks," Proceedings of the Sixth International Conference on Parallel and

Distributed Computing Applications and Technologies, p.634-638, December, 05-08, 2005.

[3] S. Bhatti, J. Xu, "Survey of Target Tracking Protocols using WSN:", In Proc 5th International Proc on Wireless and Mobile Communications, IEEE, 2009

[4] J. W. Bakal, "Simulation of Target Tracking in Wireless Sensor Network", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering Vol. 4, Feb 2014

[5] Kyoung Choi, Myung-Jun Yoon, "ECS", Energy Efficient Cluster Head Selection Algorithm In WSN", Journal of the KICS, vol. 32, pp.342-349, Jun. 2007

[6] C. Intanagonwiwat et al., "Directed diffusion for wireless sensor networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.11, No.1, pp.2-16, Feb., 2003.

[7] J. Kulik, W. R. Heinzelman, H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," Wireless Networks, Vol.8, No. 2/3, pp.169-185, 2002.

[8] W. B. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," Ph.D. dissertation, Mass. Inst. Tech., Cambridge, 2000.

[9] Z. Wang et al, "Predicting Moving Targets in Hierarchical Sensor Networks", Network Sensing and Control, IEEE International Conference, 2008

[10] G. Mohini et al, "Cluster based Target Tracking and Recovery algorithm", IJASCSE, Issue 1, Vol. 4, Dec 2012

[11] I. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 8, pp. 102 - 114, Aug. 2002..

[저자 소개]



이 충 세 (Chung-Sei Rhee)

1979년 Univ. of South Carolina
컴퓨터과학과 석사
1990년 Univ. of South Carolina
컴퓨터 과학과 박사
Univ. of North Dakota
전산학과 조교수
1991년~현재 충북대학교
소프트웨어학과 교수

email : csrhee@cbu.ac.kr



김 장 환 (Jang-Hwan Kim)

1980년 서울대학교 경제학학사
1997년 한국과학기술원 전산학석사
2003년 충북대학교 전산학박사
1984년~1988년 쌍용정보통신 연구원
1988년~1993년 Qnix Data System
연구원
1993년~1998년 SK Telecom
중앙연구원 연구원
1998년~2005년 대덕대 교수
2005년~현재 성결대 공대 미디어소
프트웨어학부 교수
2011년 9월~2012년 8월 University
of California, Los
Angeles / Visiting
Professor

email : jhkim@sungkyul.ac.kr