
노드의 속성을 고려한 효율적인 TICC(Time Interval Clustering Control) 알고리즘에 관한 연구

김영삼* · 두경민* · 이강환*

A Study on the Efficient TICC(Time Interval Clustering Control) Algorithm
using Attribute of Node

Youngsam Kim* · Kyoungmin Doo* · Kang-whan Lee*

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

요 약

한정된 용량의 배터리에 의존하는 MANET(Mobile Ad-hoc Network)에서는 에너지 효율을 높이기 위한 다양한 클러스터링 기법과 라우팅 알고리즘이 연구되고 있다. 일반적으로 무선 Ad-hoc 네트워크에서는 LEACH와 같은 클러스터 기반의 동적 라우팅 알고리즘이 많이 사용된다. 본 논문에서는 클러스터내의 각 노드가 가지는 속성을 고려하여 클러스터를 생성하고 노드를 관리하는 TICC(Time Interval Clustering Control) 알고리즘 기법을 제안한다. 제안한 TICC은 노드의 속성 중의 하나인 배터리 값 즉 에너지 값으로 노드의 에너지 레벨을 분류한다. 그리고 분류된 에너지 레벨에 대응하는 시간차 컨트롤 기법을 이용하여 클러스터링 과정을 수행하거나 노드들을 관리한다. 특히 제안한 TICC 알고리즘은 MANET에서 클러스터의 생성, 재생성, 진입 노드 및 이탈 노드의 검출과 관리를 통해 노드의 에너지 관리 효율을 향상시키고 클러스터의 Lifetime을 증가시키는 결과를 보여주었다.

ABSTRACT

A MANET(Mobile Ad-hoc Network) is a multi-hop routing protocol formed by a collection without the intervention of infrastructure. So the MANET also depended on the property as like variable energy, high degree of mobility, location environments of nodes etc. Generally the various clustering technique and routing algorithm would have proposed for improving the energy efficiency. One of the popular approach methods is a cluster-based routing algorithm using in MANET. In this paper, we propose an algorithm techniques which is TICC (Time Interval Clustering Control) based on energy value in property of each node for solving cluster problem. It provides improving cluster energy efficiency how can being node manage to order each node's energy level. TICC could be able to manage the clustering, re-configuration, maintenance and detection of Node in MANET. Furthermore, the results of modeling shown that Node's energy efficiency and lifetime are improved in MANET.

키워드

Ubiquitous, Ad-hoc, MANET, Clustering, Routing, Energy efficient

I. 서론

최근 무선통신기술의 발전과 다양한 센서 노드의 개발로 인해 무선 센서 네트워크와 이동 호스트로 구성된 MANET 그리고 차세대 컴퓨팅 기술인 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 대한 관심과 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로 MANET에서 각 노드들의 에너지는 한정된 용량의 배터리에 의존하는 특성을 가지고 있다. 그러므로 MANET의 구성에 있어서 에너지 효율 향상을 위한 라우팅 알고리즘과 클러스터링 기법의 연구가 중요한 부분으로 취급되고 있다[1].

라우팅 방식은 모든 센서 노드가 센싱한 데이터를 기지국으로 보내는 평면적 라우팅 방식과 센서 노드들의 클러스터를 형성하여 클러스터 내의 센서 노드가 센싱한 데이터를 클러스터 헤드 노드가 취합 후 기지국으로 전달하는 클러스터링 방식으로 구분할 수 있다[1, 5].

클러스터링 방식은 평면 라우팅 방식보다 데이터의 전송량을 줄일 수 있어 에너지 효율 측면에서 효과적이다. 하지만 클러스터링 방식은 클러스터 헤드 노드에 부하가 집중되어 에너지의 소모가 큼으로써 클러스터가 오래 유지되지 못하는 문제가 있다[1, 5].

지금까지 연구된 클러스터링 방식은 대부분 클러스터 구성에 대한 효율적인 알고리즘을 제시하고 있다. 하지만 부하의 집중을 보다 오랜 시간 견딜 수 있는 최적의 헤드 노드 선정법과 에너지 효율을 높이고 불필요한 에너지 소모를 최소화 할 수 있는 클러스터 관리에 대한 해결책을 제시하지 않았다.

본 연구에서는 에너지 속성값을 가진 각 노드가 설정된 에너지 레벨에 따라 시간차를 가지고 클러스터의 생성, 재생성, 새로운 노드 진입 그리고 이탈 노드에 대한 처리를 하는 에너지 효율면에서 우수한 노드관리 기법인 TICC(Time Interval Clustering Control)을 제안한다.

제안한 TICC은 RODMRP[3]의 다중 계층 클러스터 구조와 CRS(Context-Aware Recognition Switch)/DOS(Dynamic and Optimal Standard)개념이 접목된 UoC(Ubiquitous system On a Chip) 시스템 구조를 기반환경으로 연구되었다[6].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구 분야에 대해 기술을 하였고, 3장에서는 제안하는 알고리즘인 TICC의 구조 및 동작에 대한 기술을 하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 검증하기 위한 실험에 대한 결

과를 기술하였고, 마지막으로 5장에서 결론을 내렸다.

II. 관련 연구

2.1 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH는 클러스터 기반 라우팅 기법으로 클러스터에 포함된 모든 센서 노드가 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다. 헤드는 데이터 병합을 통해 수집된 데이터를 모아서 싱크 노드로 전송한다. 이 방식의 특징은 네트워크 생존시간을 최대화하기 위해 에너지 소모가 높은 클러스터 헤드를 라운드(round)라는 시간 단위마다 확률적으로 선택한다. 각 라운드는 클러스터 헤드와 클러스터를 구성하는 단계인 set-up과 TDMA schedule에 따라 데이터의 전송이 이루어지는 단계인 steady-state로 구성된다. LEACH에서는 클러스터 내의 노드들이 단지 확률적으로 헤드로 선정되기 때문에 에너지 효율적이지 못할 수 있다[2, 4, 5].

2.2 LEACH-C(LEACH-Centralized)

LEACH의 클러스터 구성 알고리즘은 확률적으로 클러스터 헤드를 선정하기 때문에 에너지 효율적이지 못한 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 LEACH-C(LEACH-Centralized) 알고리즘이 나왔다. 기지국이 통제하여 클러스터를 구성하는 LEACH-C는 클러스터 구성원 노드들이 클러스터의 헤드에게 데이터를 전송하는데 있어서 에너지를 최소화하는 최적의 클러스터 헤드를 선정함으로써 효율적인 클러스터를 구성할 수 있다. 하지만 이러한 최적의 클러스터 헤드를 선정하기 위한 오버헤드가 상당히 큰 것이 LEACH-C의 단점이다[2]. 클러스터 구성에 있어 최적의 헤드 노드를 선정하고 이러한 과정에서 오버헤드를 줄일 수 있는 방안으로 본 논문에서 TICC을 제안하고 있는 것이다.

III. 제안 방식

TICC은 CRS/DOS가 접목된 System Architecture를 기반으로 한다. 즉 UoC 구조는 상황인식(Context Aware)에 따른 각 주변상황의 상태값을 시스템이 스스로 가중치

를 두고 판단하여 시스템에 가장 필요한 최적의 기준값을 유동적으로 설정해주는 구조이다. UoC구조는 그림 1과 같다.

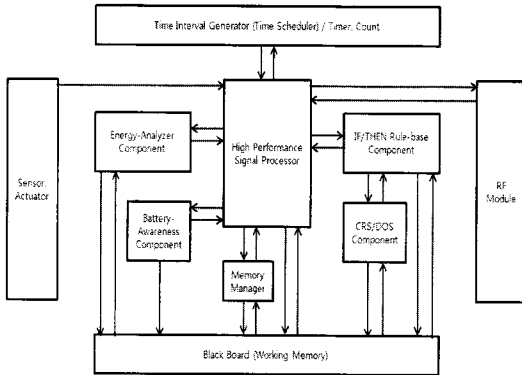


그림 1. TICC이 접목된 UoC 구조
Fig. 1. TICC in UoC Architecture

유동적으로 기준을 설정한다는 개념은 특히 노드가 지닌 환경에 따라 채집된 정보로부터 유연하고 자유도가 높은 네트워크 구성특성이 있는 MANET에서 속성 분류에 따른 클러스터의 생성과 재생성시 가장 중요시 되어야 하는 개념중의 하나이다[6].

특히 TICC은 클러스터 생성 및 재생성 과정에서 기준 노드의 선정을 각 노드들이 가지는 속성 중의 하나인 노드 단위의 에너지 레벨을 기준으로 각 에너지 레벨에 따라 시간차를 두고 Flag신호를 발생함으로써 가장 에너지 레벨이 높은 노드가 기준노드가 되어 클러스터링 과정을 수행하게 한다. 이러한 과정은 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 등과 같은 동적 클러스터링 과정에서 무작위적으로 기준노드를 선정할 때 발생하던 비효율적인 에너지 낭비를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 에너지 레벨이 높은 노드에게 상대적으로 낮은 노드들을 수집하는 우선권을 부여함으로써 Family Header, Group Header 그리고 Member 노드들을 보다 효율적으로 분류하고 구분지음으로서 RODMRP와 OMM에서 제안한 단계별 클러스터의 생성시간도 줄일 수 있게 되는 효과를 얻게 된다. 그림 2와 그림 3은 단계별 클러스터의 물리적 구조도와 논리적 구조도를 보여준다[3].

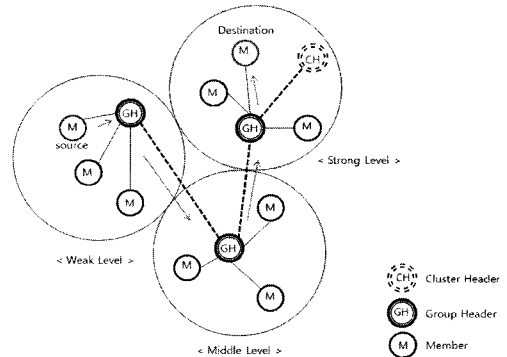


그림 2. 단계별 Cluster의 물리적 구조도
Fig. 2. Physical path of multi layer cluster

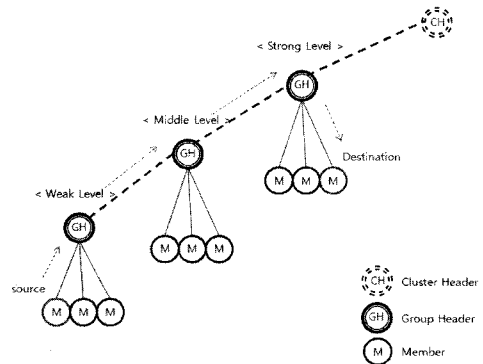


그림 3. 단계별 Cluster의 논리적 구조도
Fig. 3. Logical path of multi layer cluster

그리고 TICC기법을 통한 클러스터의 생성, 재생성, 새로운 노드 진입 그리고 이탈 노드 검출 및 관리로 클러스터의 에너지 효율성을 높일 수 있다.

3.1 클러스터의 생성

첫째, 본 연구에서 사용하는 RF transceiver인 Microchip의 MRF24J40은 노드의 배터리 상태 측정 기능을 제공한다. 이 기능을 활용하여 분산되어 있는 각 노드들의 배터리 상태를 측정한다.

둘째, 측정된 노드의 배터리 상태에 따라 에너지 레벨을 분류한다. 배터리 상태에 따른 에너지 레벨의 분류 예는 표 1과 같다.

표 1. 노드의 속성 범위에 따른 분류 예시
Table 1. Classification of node's attribute value

노드의 속성 범위	Energy Level
$9 \leq B \leq 10$	Strong
$7 \leq B \leq 8$	Middle
$B \leq 6$	Weak

셋째, 에너지 레벨을 기준으로 각 노드가 시간차를 달리하여 Flag 신호를 발생하게 된다. 에너지 레벨이 높은 노드는 Flag 신호를 자주 발생하고 반대로 낮은 노드는 Flag 신호를 적게 발생시킨다. Flag 신호 발생의 예는 그림 4와 그림 5에서 보여준다. 그림 4는 Flag 신호 발생의 개략도를, 그림 5에서는 기준 노드(BN)와 비기준 노드(Non-BN)와의 신호교환을 통해 Flag 신호 발생 과정과 시간차에 대한 상세 그림을 보여준다.

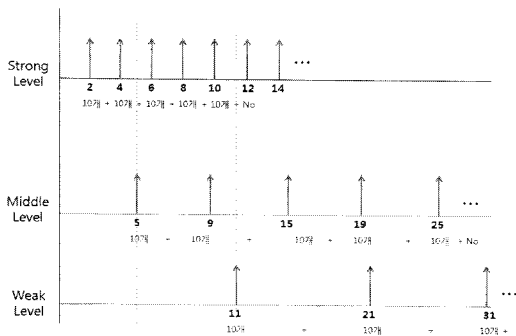


그림 4. 계층구조의 TICC에서 클러스터링을 위한 Flag 신호 발생
Fig. 4. Generate the Flag signal for clustering

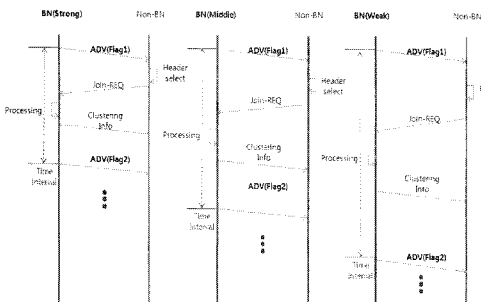


그림 5. 계층구조의 TICC에서 클러스터링을 위한 Flag 신호 전달 체계도
Fig. 5. Detail description a Flag signal

넷째, 각 에너지 레벨의 기준 노드들이 Flag 신호를 발생하여 단계별 클러스터의 구조에 맞게 Grouping 과정을 수행한다. 각 기준 노드들은 한정된 메모리 용량을 가지고 있기 때문에 그룹에 소속되는 노드의 수가 제한되게 된다. 그리고 기준 노드에 응답하는 소속 노드들의 수에 따라 그룹의 에너지 레벨의 값은 유동적으로 변화하게 된다.

그림 6는 기준노드의 제한된 메모리 용량에 따른 노드 수집에 관한 메모리 구조를 보여주고 있다.

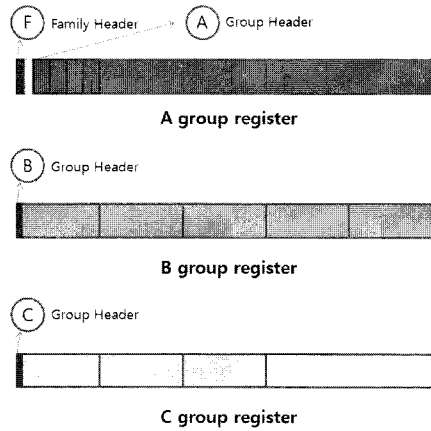


그림 6. 기준 노드 메모리 구조
Fig. 6. Architecture of Base Node

그룹별 기준 노드의 메모리에 저장된 노드의 순서대로 Family Header, Group Header 그리고 Member 노드가 분류된다. 가장 먼저 응답하여 레지스터에 저장된 첫번째 노드가 Group Header 가 된다. 예외로 A group 즉 Strong Level의 경우 가장 먼저 응답하여 레지스터에 저장된 첫번째 노드는 Family Header가 된다. 그 밖의 노드들은 자연스럽게 Member노드가 된다. 클러스터링된 노드들은 소속을 나타내는 제어비트를 Set하여 다른 Flag 신호에 응답을 하지 않는다.

다섯째, Grouping 과정을 수행한 후 Family Header와 각 Group Header가 결정이 되면 Family Header의 제어 신호를 통해 Group Header들의 정보를 모으고 Strong 에서 Weak Group까지의 경로를 설정하여 Group Header들에게 통보를 한다. 이로써 클러스터링 과정이 완료가 된다.

3.2 클러스터의 재생성

Group Header와 Member 노드의 데이터 전송과정에서 Group Header가 에너지 소모로 인해 소속되어 있던 Member 노드보다 에너지 레벨이 낮아졌을 때 Header 교체 작업이 이루어지게 된다. 최초 클러스터 형성 과정에서 에너지 레벨이 가장 높은 노드가 Group Header가 되고 다음으로 에너지 레벨이 높은 노드가 RODMRP의 SP(Step Parent)처럼 Header를 대체 할 수 있는 노드로 선정된다. 물론 평시에는 Member 노드로 역할을 한다.

3.3 새로운 노드 진입

기존 클러스터에 새로운 이동성 노드가 출연하였을 때 TICC 기법을 사용한 처리 과정은 다음과 같다.

첫째, 클러스터를 가지고 있지 않은 새롭게 출연한 진입 노드는 클러스터 생성과정시 기준 노드와 동일한 시간차를 가지고 클러스터를 생성하기 위한 Flag 신호를 요청한다. 하지만 이미 클러스터가 생성되어 있는 영역 내에서 어떠한 노드도 Flag 신호에 응답을 하지 않게 된다.

둘째, Flag 신호에 응답하지 않는 이러한 무응답 시간 동안 TICC에서 정의한 시간차에 따라 유동적으로 수집하는 노드의 배터리 상태값을 낮춰가면서 Flag 신호를 송출한다.

셋째, Flag 신호 송출 횟수를 계산하여 정해진 횟수 동안 타 노드로부터 응답 신호가 없다면 Flag 신호를 보내지 않고 기존 망에 소속되기 위한 모드 변경을 통하여 Group Header의 Flag 신호를 기다린다. 지금까지의 진입 노드의 Flag 신호 처리 예는 표 2 와 같다.

표 2. 진입 노드 Flag 신호 처리 예
Table 2. Execution of Flag signal processing

순서	노드의 속성 범위	Flag 호출횟수	제한 횟수
1	9 ≤ B ≤ 10	5	15
2	7 ≤ B ≤ 8	5	
3	B ≤ 6	5	

넷째, 기존 클러스터의 Group Header는 소속된 Member 노드를 관리하기 위해 일정 시간차의 관리 신호 및 진입 노드를 탐색하기 위한 탐색신호를 송출한다.

다섯째, 진입 노드는 에너지 레벨에 적합한 Group의

탐색신호에 응답하게 된다. 이로서 클러스터에 소속되게 된다.

3.4 이탈 노드 검출 및 관리

새로운 진입 노드의 처리 과정에서 Header가 Member 노드를 관리하기 위해 관리신호를 송출한다고 했다. 이탈 노드 검출 및 관리 과정은 다음과 같다.

첫째, 각 에너지 레벨의 Group Header들은 에너지 속성에 맞는 시간차를 기준으로 자신의 Group에 소속된 Member 노드들을 호출하는 신호를 보낸다. Strong Level의 Group Header는 Member 노드를 관리하기 위한 신호 발생 주기가 짧고, 반대로 Weak Level에 있는 Group Header는 신호의 발생 주기를 길게 하여 보낸다.

둘째, Group Header들은 자신에게 소속된 Member 노드들의 Neighbor List를 가지고 있다. 이것은 RODMRP에 정의되어 있다. Group Header는 관리 신호에 응답하는 Member 노드와 Neighbor List를 비교하여 Group 또는 클러스터에서 노드가 이탈하였는지 여부를 검출할 수 있다. 단순히 한번의 무응답으로 노드의 이탈을 판정하는 것이 아니다. 에너지 레벨을 기준으로 정해진 시간차에 의한 관리 신호에 정해진 횟수 동안 응답하지 않는다면 노드의 이탈로 판정한다. 그리고 Group Header의 Neighbor List에서 노드 정보를 삭제 한다.

IV. 실험 및 고찰

제안한 TICC 기법을 통한 클러스터의 에너지 효율성에 대한 증명을 하기 위해 에너지 레벨이 다른 각 노드를 무작위로 30개를 추출하여 TICC기법을 적용하지 않은 클러스터와 TICC기법을 적용한 클러스터의 Lifetime을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하여 보았다. TICC기법을 적용하지 않은 클러스터의 Lifetime은 식(1)과 같다.

$$T_L = \sum \left(\frac{E_B}{(T_D \div T_{FIX}) \times E_{SP}} \right) \quad (1)$$

여기서 TL 은 Lifetime, TD 는 하루를 초단위로 변환한 시간, TFIX 는 신호를 처리하는 고정된 시간 간격, ESP 는 하나의 신호를 처리 할 때 소모되는 에너지 그리고 EB 는 노드의 배터리 잔량을 나타낸다. TICC기법을

적용한 클러스터의 Lifetime은 식(2)와 같다.

$$T_L = \sum \left(\frac{E_B}{(T_D \div T_{INT}) \times E_{SP}} \right) \quad (2)$$

여기서 TINT 은 TICC기법에 의해 노드의 에너지 레벨에 따라 유동적으로 변하는 신호처리 시간 간격이다. 이러한 식을 이용하여 두 클러스터의 Lifetime을 비교한 결과 그림 7 과 같은 결과를 확인 할 수 있었다. 그림 7 을 보면 TICC기법을 적용하지 않은 클러스터에서는 동작 후 25일째에 첫 노드가 수명을 다하게 되고 마지막 노드는 39일째에 수명을 다함으로써 클러스터가 사라지게 된다.

하지만 TICC기법을 적용한 클러스터에서는 동작 후 37일째에 첫 노드가 수명을 다하고 마지막 노드가 47일째에 수명을 다하여 클러스터가 사라지게 된다.

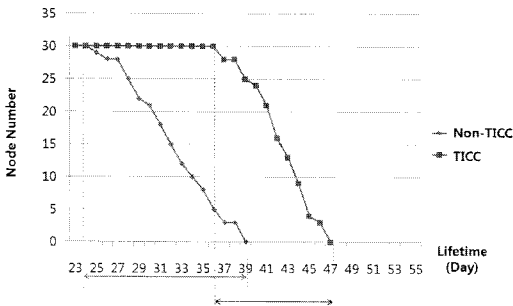


그림 7. 클러스터 Lifetime 비교

Fig. 7. Comparison between TICC and Non-TICC

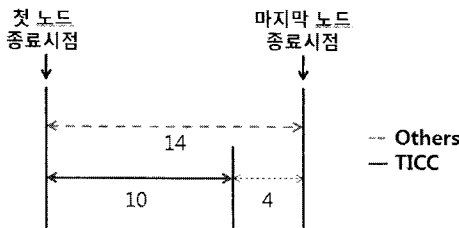


그림 8. 클러스터 에너지 효율성
Fig. 8. Energy efficiency of cluster

그림 7 의 결과로 TICC기법을 적용하게 되면 클러스터의 Lifetime이 상당 수준 높아지게 되는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 그림 8. 은 전체 노드가 수명을 다하기까

지의 간격을 나타낸다. 이것을 통해서 TICC기법을 적용한 클러스터가 에너지 레벨이 높은 노드와 낮은 노드가 처리하는 신호의 양을 달리함으로써 클러스터 전체 에너지 효율성을 높이는 효과를 가져왔음을 확인 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서 제안한 TICC 기법은 각 노드의 속성 중 배터리 전원 즉 에너지 값을 기준으로 에너지 레벨을 분류한다. 그리고 이에 대응되는 시간차 컨트롤 기법을 이용하여 클러스터링 과정을 수행하거나 노드들을 관리한다. 30개의 노드를 이용한 실험을 통해 각 노드의 에너지 효율성 및 전체 클러스터의 Lifetime이 약 20% 향상되는 결과를 입증하였다. 하지만 TICC 기법은 현재 특정 환경을 고려하여 설계되었기 때문에 모든 환경에서 에너지 효율적이라고 할 수 없다. 앞으로 TICC기법을 다양한 구조, 상황 그리고 환경에 적용시키기 위한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Do-Hyun Nam, "An Energy-Efficient Clustering Using Load-Balancing of Cluster Head in Wireless Sensor Network," Korea 05.2007.
- [2] Uk-pyo Han, "An Energy Efficient Cluster Formation Algorithm for Wireless Sensor Networks," Korea 02.2007.
- [3] Sun-guk Kim, "A study on Inference Network Based on the Resilient Ontology-based Dynamic Multicast Routing Protocol," The Korea Institute of Maritime Information and Communication Sciences, 2007.
- [4] Wendi Rabiner Heinzelman, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000
- [5] do-hyun nam, "An Efficient Ad-Hoc Routing Using a Hybrid Clustering Method in a Wireless Sensor Network," Third IEEE International Conference on

Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2007

- [6] Kyoung-min Doo, "A study on the Context-Aware Architecture for Ubiquitous on Computing System," The Korea Institute of Maritime Information and Communication Sciences, 2007.

저자소개



김 영 삼(Youngsam Kim)

2008년 한국기술교육대학교 정보기술공학부 컴퓨터공학 학사
2008년~ 한국기술교육대학교 전기전자공학과 석사과정

※관심분야: USN, Ad-hoc network, 차세대이동통신기술, SoC



두 경 민(Kyoungmin Doo)

2007년 한국기술교육대학교 정보기술공학부 컴퓨터공학 학사
2007년~ 한국기술교육대학교 전기전자공학과 석사과정

※관심분야: USN, Ad-hoc network, 차세대이동통신기술, SoC



이 강 환(Kangwhan Lee)

1983년 한양대학교 전자공학과 학사
1989년 중앙대학교 전자공학 석사
2002년 중앙대학교 전자공학 박사
1989년 한국전자통신연구원 선임연구원

2004년 특허청 서기관

2005년~ 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

※관심분야: USN, Ad-hoc network, 차세대이동통신기술, Wireless SoC