수중 센서 네트워크에서 가상의 유클리디언 포인트를 이용한 멀티캐스트 전송기법

정회원 김 태 성*, 박 경 민*, 종신회원 김 영 용*

Virtual Euclidean Point based Multicast routing scheme in Underwater Acoustic sensor networks

Taesung Kim*, Kyungmin Park* *Regular Members*, Young Yong Kim* *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 수중 센서 네트워크에서 효율적인 하향링크 멀티캐스트 데이터 전송기법을 제시하였다. 기존에 센서 네트워크에서 많은 멀티캐스트 전송 기법이 제안되었지만, 배터리를 지속적으로 공급받거나 충전시키기 어려운 환경에 있는 수중 센서 네트워크에 특화된 멀티캐스트 기법은 없었다. 본 논문에서는 이를 위하여 수중 센서 네트워크에서의 멀티캐스트 두 가지 특성을 파악하여 이를 알고리즘에 적용하였다. 싱크 노드에서 목적지 노드들의 위치 정보를 가공하여서 각도 정보를 추출하였고, 이렇게 추출한 목적지 노드들의 각도 정보를 바탕으로 가상의 유클리디언 스테이너 포인트를 이용한 최적의 멀티캐스트 전송 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘은 저 계산 능력과 제한된 전송파워를 가지는 수중 센서 네트워크에서 구동하기에 알맞음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 제안한 방식은 기존의 방식들에 비하여 감소된 전송 전력과 감소된 라우팅 계산량을 보였다.

Key Words : acoustic sensor, location based, multicast, steiner point, angle information

ABSTRACT

Multicast has been a key routing service for efficient data dissemination in underwater acoustic sensor networks. In sensor networks, there are several multicast routing protocol which reflects sensor network nature. However, existing routing scheme was not targeted at underwater acoustic sensor networks which is hard to provide battery continually. Therefore, a specialized routing algorithm is essential for acoustic sensor networks. In this paper, we propose angle aided multicast routing algorithm for decreasing routing computation complexity, including virtual Euclidean Steiner point. Simulation results show better performance than exist routing Position Based Multicast, Geographic Multicast Routing. such as low computation capability and limited power consumption.

I. 서 론

최근 다양한 해양관련 산업에 IT기술을 접목한 해양 IT기술이 고부가가치 국가산업으로 육성되고 있다. 특히 해양 정보 수집 및 해양 시스템 관리를 위한 수중 센서 네트워크가 큰 관심의 대상이다. 초기 해양 센서 네트워크는 수온측정, 해양 오염 모니터링과 같은 해양 환경 데이터를 수집하는 연구를 중점적으로 하였다. 하지만, 수중 센서 네트워크가 발전함에 따라 상향링크의 데이터 수집뿐만 아니라 수집된 데이터

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2008-C1090-0801-0038)
* 연세대학교 전기전자공학부 무선 및 인터넷 연구실(xinia0214@yonsei.ac.kr, rudals419@yonsei.ac.kr, y2k@yonsei.ac.kr)
논문번호 : KICS2011-02-085, 접수일자 : 2011년 2월 6일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 13일

기반의 명령 메세지를 전송하는 하향링크 데이터 전송도 늘어나게 되었다. 이때 하향링크 데이터 전송을 받는 센서 노드들의 위치 상관 관계가 높으면 라우팅 경로가 겹치게 되고, 이때 멀티캐스트 전송기법을 사용하면 개별적으로 전송하는 유니캐스트 전송기법에 비하여 전송 효율을 높일 수 있다. 이는 배터리를 지속적으로 공급받거나 충전시키기 어려운 환경에 있는 수중 센서 네트워크에서 매우 유용한 전송 방법이다. 기존에 제안된 멀티캐스트 전송 기법들을 에너지 보존이 매우 중요한 수중 센서 네트워크에서 바로 적용하기에는 많은 문제점이 있다. 기존 멀티캐스트 전송 기법들은 다수가 상태 보존형 멀티캐스트 전송 방식을 사용하였기 때문이다. 상태 보존형 멀티캐스트 전송 방식은 멀티캐스트 트리구조를 유지하기 위하여 주기적인 플러딩을 사용한다. 그러나, 트리구조를 유지하기 위하여 주고 받는 제어 신호들로 인하여 노드의 전송 수명이 급격히 감소하는 문제가 발생한다. 따라서 상태 비보존형 멀티캐스트 전송 방식이 주목 받게 되었는데, 상태 비보존형 멀티캐스트 전송방식 중에서도 자신의 전송 반경에 존재하는 이웃노드들의 위치 정보만을 이용하는 위치기반 멀티캐스트 방법이 주요한 관심을 이끌었다. 위치기반 멀티캐스트 기법을 사용하여 센서 노드 자체가 라우팅을 결정하는 분산형 알고리즘을 적용할 수 있다. 대표적인 위치정보 기반 상태 비보존형 멀티캐스트 방식으로 PBM[1]과 GMR[2]이 있다.

PBM은 로컬 정보만을 이용하여 라우팅을 결정하는 분산적인 방법을 이용하지만, 목적지 노드 수가 많아지면, 목적지 노드들을 분할하는데 계산량이 기하급수적으로 증가하는 문제점이 발생한다. GMR은 휴리스틱 알고리즘을 사용하여서 라우팅 결정 계산량이 PBM에 비하여 획기적으로 적지만, 이 역시 이웃 노드가 많은 상황이 되면 계산량이 급속도로 증가하여서 센서 노드에 적용하기에 부적합해진다.

따라서 본 논문에서는 수중 센서 네트워크의 멀티캐스트 특성을 파악하고 이 특성을 바탕으로 수중 센서 네트워크에서 구동하기에 최적인 분산적 멀티캐스트 알고리즘을 제안하였다. 여기서 최적의 멀티캐스트 알고리즘이란 멀티캐스트 메시지를 목적지 노드들에게 모두 전달할 때 최소의 전송 횟수로 전송하는 알고리즘을 의미한다. 그림 1은 센서 네트워크에서의 멀티캐스트 전송을 보여준다. 왼쪽그림은 일반적인 최소경로 전송이다. 싱크 노드로부터 목적지 노드들에게 메시지를 전송하는데 필요한 전송회수를 비교해 보면, 최소경로 전송 기법은 15회 전송이 필요한데 비하여

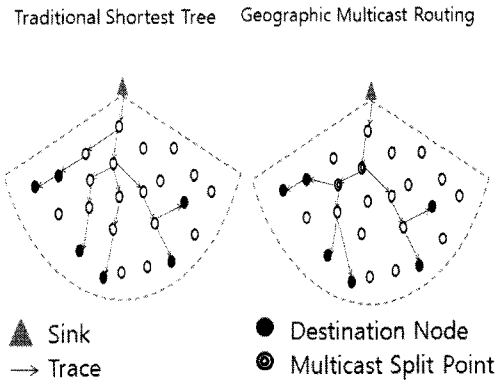


그림 1. 최소 경로 라우팅 기법 vs. 위치기반 멀티캐스트 라우팅 기법

멀티캐스트 전송 기법은 8회 전송이면 가능하다. 이는 전송 경로의 공유를 이용하는 멀티캐스트 전송 기법이 전송 효율이 높음을 보여준다.

최적의 멀티캐스트 전송 경로를 찾는데 가장 어려운 문제는 어떤 센서 노드에서 이전까지 공유하던 경로를 분기할 것인가를 결정하는 것이다. 또한 이 결정을 중앙집중식 방법 구현이 아니라 해당 노드의 지역적 정보만을 이용하여 판단하는 분산적 방법을 사용하여야한다. 이를 위해 본 논문에서는 멀티캐스트 목적지 노드들의 위치 정보를 가공하여 만든 각 정보를 이용하였다. 또한 이 각 정보를 바탕으로 한 가상의 유클리디언 스테이너 포인트를 이용하여 효율적인 알고리즘을 제시하였다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. 2장에서는 에너지 효율적인 멀티캐스트 전송기법을 적용할 시스템 모델에 대해 알아보고 3장에서는 본 논문에서 제안한 멀티캐스트 목적지 노드들의 위치정보와 가상의 유클리디언 스테이너 포인트를 기반으로 한 멀티캐스트 알고리즘에 대하여 설명하고 4장에서는 시뮬레이션 환경을 소개하고 제안한 알고리즘과 기존알고리즘을 비교한 결과를 분석하여 성능을 고찰한다. 마지막으로 5장에서는 제안한 알고리즘의 성능을 바탕으로 종합적 분석을 통해 결론을 맺도록 한다.

Ⅱ. 시스템 모델

본 논문은 수중 센서 네트워크를 수식적으로 표현하기 위하여 무 방향성 그래프 모델[3]을 사용하였다. 무 방향성 그래프 모델 G=(V,E)에서, V는 노드들의 집합을 E는 무선 링크들 집합을 의미한다. 노드들의 집합 V는 2차원상에 존재한다. 센서 노드들은 자신들

의 위치를 위치 정보 시스템을 통해서 알고 있다고 가정한다. 센서 네트워크 모델은 한 개의 소스노드 {s}가 존재하며 그 주변에 균일한 분포로 센서노드가 위치한다. 센서 노드들 중에서 n개의 멀티캐스트 목적지 노드들 D={d_1,...,d_n} 가 존재한다.

수중 센서 네트워크 멀티캐스트 라우팅 문제는 다음과 같이 수식화 할 수 있다. 조건식(2)와 조건식(3)를 만족시키면서 최적의 멀티캐스트 라우팅 트리 (1)을 구하고자 한다.

$$T^* = (V^*, E^*) \subset G \tag{1}$$

$$V^* \supseteq D \cup s \tag{2}$$

$$C(T^*) = 1 + |R| \tag{3}$$

멀티캐스트 트리 집합 T는 소스 노드 s와 멀티캐스트 목적지 노드들 집합 D, 그리고 이들을 연결하는 릴레이 노드들 집합R 으로 구성된다. 조건식(2)는 T*가 멀티캐스트 트리조건을 만족시키는 것을 확인하는 식이다. 조건식(3)에서 수치함수의 값은 소스 노드가 전송하는 횟수와 중간 릴레이 노드들이 전송하는 횟수를 합한 값이다. 수치함수의 값에 목적지 노드들의 전송이 포함되지 않는 이유는 트리의 맨 하단에 있는 노드는 전송을 받기만하고 더 이상 메시지를 포워딩하지 않기 때문이다. 조건식(3)은 최적의 멀티캐스트 트리인지를 확인하는 식이다.

위의 수식은 소스노드 s와 n개의 목적지 노드들을 연결하는 수많은 멀티캐스트 트리들 중에서 무선 링크를 효율적으로 사용하는 최적의 멀티캐스트 트리를 찾는 것이다. 여기서 최적의 멀티캐스트 트리란 최소의 노드 전송횟수로 n개의 목적지 노드들에게 멀티캐스트 메시지를 전송할 수 있는 트리를 의미한다. 멀티캐스트 트리를 구성하는 노드들이 공유하는 경로가 커질수록 무선 자원의 소모는 줄어들게 된다. 그러므로 멀티캐스트 전송경로에서 언제까지 경로를 공유하고 어느 순간에 공유하던 경로를 분기하는지를 결정하는 알고리즘이 매우 중요하다. 그러나 이 멀티캐스트 라우팅 문제는 NP-hard 문제이다.

NP-hard 문제는 저계산 능력을 가지는 센서 네트워크에는 치명적이다. 그러므로 우리는 이 문제를 휴리스틱 알고리즘을 사용하여서 저계산 능력을 가지는 수중 센서 네트워크에서도 적용 가능한 알고리즘으로 구현하였다.

Ⅲ. 제안 알고리즘

본 논문에서 제안하고자 멀티캐스트 전송 알고리즘은 유클리디언 스테이너 트리를 기반으로 한다. 일반적으로 최적의 유클리디언 트리를 구하는 문제는 계산량이 많이 발생한다. 따라서 많은 휴리스틱 알고리즘[4-6]과 근사 알고리즘[7,8]이 존재한다. 비록 이 알고리즘들이 모든 경우의 트리를 찾아보는 것보다는 비용적인 효율이 있지만, 센서 네트워크에 적용하기에는 여전히 계산량이 많다. 따라서 본 논문에서는 수중 센서 네트워크에서의 멀티캐스트 특성을 반영하여 수중 센서 노드에도 적용 가능한 계산량이 적은 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다.

수중 센서 네트워크에서의 멀티캐스트 전송은 다음의 두 가지 특징을 가진다.

첫째, 소스 노드와 목적지 노드들의 분포 모양이 방사형인 경우 멀티캐스트 전송 효율이 높다. 따라서 목적지 노드들이 소스 노드를 중심으로 원형으로 분포할 때에는 멀티캐스트 전송 이득을 높이기 위해서 목적지 노드 분할전송을 통해서 부채꼴 모양의 전송을 만들어준다.

둘째, 현재 노드와 목적지 노드들의 위치를 대표하는 노드들 사이의 각도가 좁으면 라우팅 경로를 공유할 가능성이 매우 높다. 또한 그 각도가 일정각도 120도 이상 벌어지면 경로 분할이 전송 효율이 높다.

위의 두 가지 특징에 유클리디언 스테이너 트리 문제에서 노드가 단 3개인 경우에는 스테이너 포인트를 쉽게 계산해 낼 수 있다[9]는 것을 이용하여 휴리스틱 알고리즘을 만들었다.

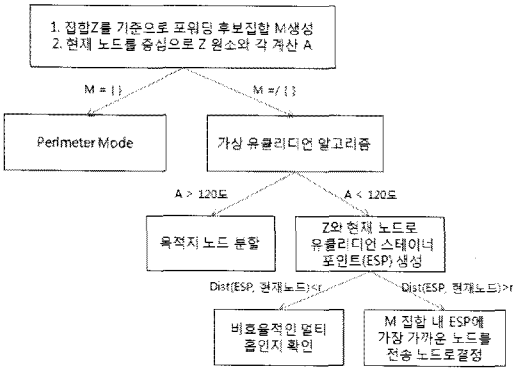
멀티캐스트 목적지 노드들의 위치 상관 관계가 멀티캐스트 전송 효율과 직접적으로 관계가 있기 때문에 목적지 노드들의 위치를 대표하는 노드 선정이 중요하다. 이를 위해서 처음 멀티캐스트 데이터를 전송하는 싱크 노드에서 목적지 노드들의 위치정보를 가공하여 각도 정보를 생성한다. 이 각도 정보를 이용하여서 멀티캐스트 전송 효율을 높이기 위해 목적지 노드들을 분할한다.

싱크 노드 :

1. 멀티캐스트 목적지 노드들의 위치정보를 이용하여 각도 정보를 생성.
2. 이 각도 정보를 이용하여 120도 간격으로 목적지 노드들 분할하여 그룹화.
3. 목적지 노드들을 각도를 기준으로 정렬하여서 멀티캐스트 데이터 패킷의 헤더에 싣는다.

멀티캐스트 전송 메시지를 이전 노드로부터 전달받아서 다시 전송 결정을 내려야 하는 노드를 현재노드라고 한다.

현재 노드(c) :



현재 노드는 이전노드로부터 전송받은 목적지 노드들의 각 정보를 바탕으로 목적지 노드들 중 최외각 노드 두 개의 집합 Z={z1, z2}를 만든다. 현재 노드의 이웃 노드들 중에서 현재 노드와 집합 Z내 두 원소와 이루는 각도 사이에 존재하는 노드들을 포워딩 후보 집합 M이라 한다. 그림 2의 경우 M={N3, N4, N5}가 된다. 포워딩 후보 집합M이 존재 하지 않을 경우 효율적인 공유 경로가 존재 하지 않는 경우 이므로 주변 경로 포워딩[10] 방법을 이용하여 경로를 찾는다. 또한 현재노드와 목적지 노드들의 최외각 노드 Z={z1, z2}와 이루는 각도A가 120도 이상인 경우 경로 분할이 더 효율적이므로 목적지 노드들을 분할한다. 각도A가 120도 이하인 경우에는 현재 노드와 목적지 노드들의 위치를 대표하여 표시하는 노드 z1, 노드 z2를 이용하여 가상의 유클리디언 포인트 VESP (Virtual Euclidean Steiner Point)를 구한다. 이때 구한 VESP

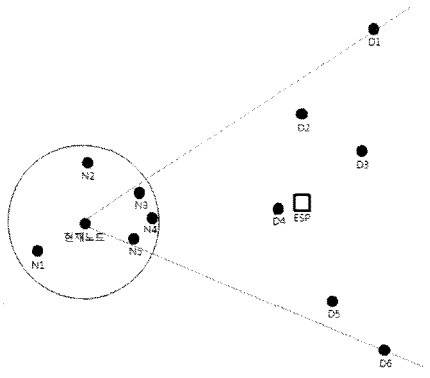


그림 2. 현재 노드(c)의 전송 노드 결정 개념도

가 현재 노드의 반경 밖에 존재하는 경우에는 포워딩 후보 노드 집합M의 원소 중에서 VESP와 가장 가까운 원소를 찾아서 멀티캐스트 전송 노드로 결정한다. VESP가 현재 노드의 반경 내에 존재하는 경우에는 중복적인 전송만 발생하고 전송이득이 안 생기는 경우가 있기 때문에 식(4)과 비교하여서 전송 노드로 결정할지 안할지를 판단한다.

$$1+\frac{d(esp,w1)+d(esp,w2)}{r}<\frac{d(c,w1)+d(c,w2)}{r} \qquad (4)$$

식(4)에서 좌표(w1, w2)는 포워딩 후보 집합 M의 원소들 가운데 VESP포인트에 가장 가까운 노드의 좌표이다. 식(4)를 만족 하지 않을 경우에는 전송 이득이 발생하지 않기 때문에 VESP포인트를 사용하지 않고 기존 GMR방식을 이용하여서 경로를 결정한다. 식이 만족할 경우에는 VESP가 반경 내에 존재하더라도 전송이득이 발생하기 때문에 멀티캐스트 전송 노드로 결정한다.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 결과 고찰

우리의 제안한 알고리즘은 matlab을 이용하여 성능을 확인하였다. 제안한 알고리즘과의 성능 비교를 위하여 PBM[1], GMR[2]을 사용하였다. PBM의 경우 λ 값에 의하여 성능이 많이 달라졌다. 우리는 λ값을 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0 으로 각각 실험하여 보았고 그 중에서 우리의 실험 환경에서 가장 좋은 성능을 보인 λ =0.5를 기준으로 비교하였다.

시뮬레이션 환경은 1000개의 노드를 랜덤하게 1000 m × 1000 m의 공간에 배치시켰다. 센서 노드의 전송 반경은 고정시킨 채 이웃 노드의 밀도를 조절하기 위하여 전체 시뮬레이션 공간을 늘리고 줄였다. 이웃 노드의 평균 밀도는 6~20으로 변화 시키면서 진행하였다. 멀티캐스트 목적지 노드들은 일정 각도 내에서 랜덤하게 뿜았으며 시뮬레이션은 각 환경 당 100번씩 수행하였다.

그림 3은 GMR과 가상 유클리디언 스테이너 포인트 이용 알고리즘 모두 노드의 밀도가 낮을 때는 성능이 떨어짐을 보여준다. 이는 밀도가 낮은 경우 목적지 노드로 전송하는 최적의 경로가 끊어져서 근처 대체 경로로 전송 하는 경우가 발생하기 때문에 저하된 성능을 보인다. 하지만, 적용하는 센서 네트워크의 노드 밀도가 대개 높기 때문에 실제에 적용 시 큰 문제가 발생하지는 않을 것이다. 노드의 밀도가 높아질수록

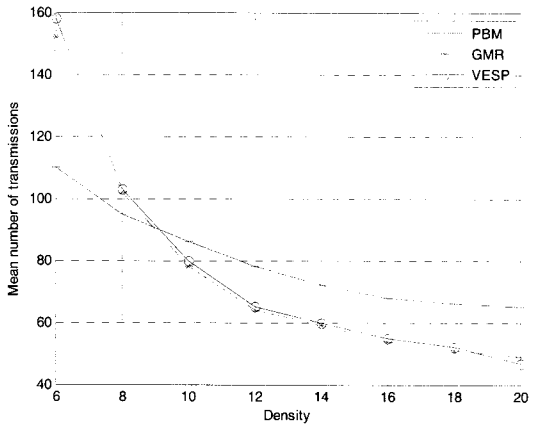


그림 3. 10개의 목적지 노드들에게 멀티캐스트 데이터 전송을 위한 노드 밀도에 따른 평균 전송 횟수

제안 알고리즘의 성능이 좋아짐을 보여주었다.
그림 4는 노드의 밀도에 따른 멀티캐스트 라우팅 경로 계산량을 비교한 결과이다. PBM[1]의 경우 노드의 밀도가 늘어날 때 계산량이 기하급수적으로 증가함을 보여준다. 또한 GMR 역시 이웃 노드들의 밀도가 증가할 때 계산량이 증가하는 데 이는 포워딩 노드 합병 알고리즘이 이웃 노드가 증가할수록 계산량이 크게 증가함에 있다. 하지만, 본 논문에서 제안한 방식은 이웃 노드의 밀도가 늘어나도 계산량이 선형적으로 증가한다. 따라서 본 두가지 실험 결과를 통하여 제안하는 알고리즘은 GMR과 비교할때 비슷한 멀티캐스트 효율을 보이면서, 라우팅 계산량은 획기적으로 줄일 수 있음을 확인하였다.

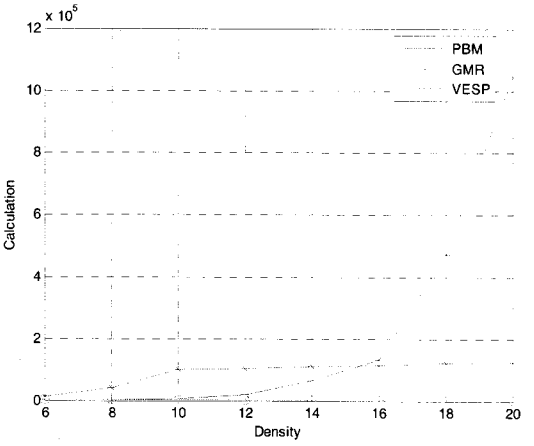


그림 4. 10개의 목적지 노드들에게 멀티캐스트 데이터 전송을 위한 노드 밀도별 라우팅 계산량

V. 결 론

본 논문은 수중 센서 네트워크에서 효율적인 하향 링크 멀티캐스트 데이터 전송기법을 제시하였다. 우선 수중 센서 네트워크에서의 멀티캐스트 두 가지 특성을 파악하여서 이를 휴리스틱 알고리즘에 적용하였다. 싱크 노드에서 목적지 노드들의 위치 정보를 가공하여서 각도 정보를 추출하였고, 이렇게 추출한 목적지 노드들의 각도 정보를 바탕으로 가상의 유클리디언 스테이너 포인트를 이용하여 최적의 멀티캐스트 전송 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 센서 노드가 균일하게 분포되어 있는 환경에서 멀티캐스트 목적지 노드들을 다양하게 분포시켜 보면서 성능을 확인하였다. 기존에 제안된 최소경로 멀티캐스트 기법, PBM[1], GMR[2]들과 이웃 노드들의 밀도 변화에 따른 전송 전력과 라우팅 계산량을 비교하였다. 이를 통해 본 알고리즘이 저 계산 능력을 지니고 제한된 전송파워를 가지는 수중 센서 네트워크에서도 구동하기에 적당함을 확인하였다. 또한 .제안한 방식은 기존의 방식들에 비하여 감소된 전송 전력과 감소된 라우팅 계산량을 보였다. 따라서 저전력 수중 네트워크의 명령 메시지 전송에 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] M. Mauve. H. Fübler et al. "Position based Multicast Routing for Mobile Ad-hoc Networks" ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Vol.7 Issue 3, July 2003.

[2] J. Sanchez, P. Ruiz, X. Liu, and I. Stojmenovic, "GMR: Geographic Multicast Routing for Wireless Sensor networks," in Proc. of IEEE SECON, 2006

[3] S. Wu and K. S. Candan, "Gper: Geographic power efficient routing in sensor netwroks," in ICNP. pp.161-172, 2004

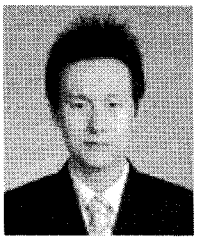
[4] J. E. Beasley, "A heuristic for euclidean and rectilinear steiner problems," EJOR. 58:284-292, 1992

[5] M. Minoux, "Efficient greedy heuristics for steiner tree problems using reoptimization and supermodularity," INFOR, 28:221-233, 1990

[6] M. Zachariasen and P. Winter, "Concatenation-based greedy heuristics for the euclidean steiner

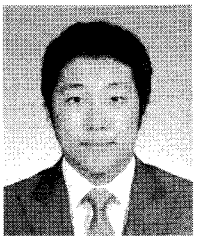
tree problem," Algorithmica, 25: 418-437, 1999
[7] G. Robins and A. Zelikovsky, "Improved steiner tree approximation in graphs," In Proc. Symposium on Discrete Algorithms, 2000
[8] A. Zelikovsky, "Better approximation bounds for the networks and euclidean steiner tree problems," In Technical Report, 1996
[9] R. Hwang, D. Richards et al, "The steiner tree problem," Annals of Discrete Mathematics, 53, 1992
[10] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, and J. Urrutia, "Routing with guaranteed delivery in ad-hoc wireless networks," Wireless Netw., Vol.7, No.6, pp.609-616, 2001

김 태 성 (Taesung Kim) 정회원



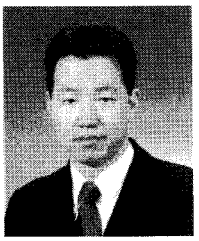
2004년 2월 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업
2004년 3월 연세대학교 전기전자공학부 통합 과정
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 차세대 인터넷

박 경 민 (Kyungmin Park) 정회원



2005년 2월 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업
2005년 3월 연세대학교 전기전자공학부 통합 과정
<관심분야> 무선통신, Self-Organized Network

김 영 용 (Young Yong Kim) 종신회원



1991년 2월 서울대학교 전자공학과 학사 졸업
1993년 2월 서울대학교 전자공학과 석사 졸업
2000년 2월 University of Texas at Austin 전기 컴퓨터공학과 박사 졸업
1998년~2000년 Telcordia Technologies 연구원
2000년~2005년 연세대학교 전기전자공학부 조교수
2005년~현재 연세대학교 전기전자공학부 부교수
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 차세대 인터넷