

클러스터 기반 무선 애드 hoc 네트워크에서의 효율적인 경로 탐색 지역 제어

이장수*, 김성천*
*서강대학교 컴퓨터공학과
e-mail : jangso417@sogang.ac.kr

Efficient restriction of route search area in cluster based wireless ad hoc networks

Jangsu Lee*, Sungchun Kim*
*Dept. of Computer Science and Engineering, Sogang University

요 약

애드 hoc 네트워크(MANET: Mobile Ad hoc NETWORKS)는 기본적인 내부구조(infrastructure) 없이 노드들만으로 네트워크 망을 구성한다. 경로 탐색 정책으로 리액티브(reactive) 방식과 프로액티브(proactive) 방식이 있는데, 전통적으로 리액티브 방식의 성능이 더 좋은 것으로 평가된다. 그리고 두 가지 방식의 장점을 취합한 하이브리드(hybrid) 방식의 클러스터 토폴로지(cluster topology) 도입에 관한 연구가 이루어지고 있다. 그 중, HCR(Hybrid Cluster Routing)이 제안되었는데, 이는 프로액티브 방식에 보다 중심을 둔 기법이다. HCR은 리액티브 방식 경로 탐색 방법인 플라딩(flooding)의 탐색 지역을 한정된 범위로 제한할 수 있으나, 프로액티브 방식의 전체 네트워크 구성 정보 유지에 따른 막대한 오버헤드를 발생한다.

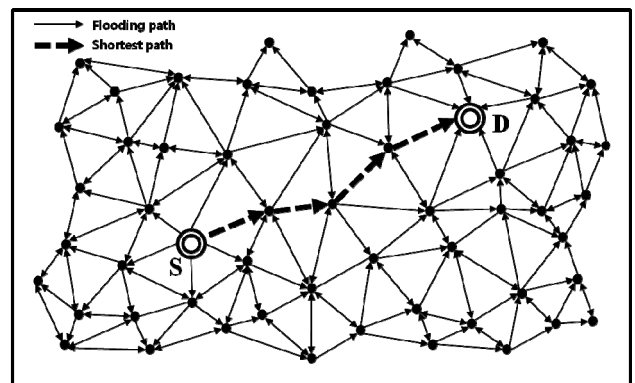
본 논문에서는 이러한 오버헤드를 줄이기 위해, 클러스터 내부 경로 탐색 기법인 MICF(Magint path based Intra Cluster Flooding)를 제안한다. MICF는 HCR을 개선한 FSRS(First Search and Reverse Setting) 기반의 기법으로서, 클러스터 내부의 마지노 패스(magint path)를 기준으로 경로 탐색 지역을 제한한다. MICF는 게이트웨이(gateway) 간 최단 거리가 항상 클러스터 헤드(cluster head)를 중심으로 원의 내각 지역에 존재함을 바탕으로 하며, 최단 경로의 보장과 플라딩 지역 제한을 동시에 만족한다. 실험 결과, MICF는 FSRS 기반의 기존 클러스터 내부 플라딩 방식보다 총 에너지의 7.79%만큼 더 에너지를 보존하였다. 결론적으로, MICF 역시 기존의 방식보다 에너지를 더 효율적으로 사용할 수 있으며, 마지노패스 설정과 이를 기반으로 한 제어 과정에 추가적인 오버헤드가 발생하지 않는다. 그리고 플라딩 면적이 작을수록 오버헤드가 줄어들게 됨을 알 수 있다.

1. 서론

리액티브 방식의 경로 탐색에서 플라딩은 RREQ 패킷을 확산시키기 위해 사용된다. 플라딩이 시작됨에 따라 RREQ 패킷은 네트워크 전체에 전달된다. 이러한 방법은 목적지 노드가 어디 있던지 찾아낼 수 있다. 그러나 이러한 과정은 큰 오버헤드가 발생하는데, 그 이유는 RREQ 패킷을 전파함에 있어서 불필요한 과정이 포함되기 때문이다. 즉, 목적지 D(Destination)는 발신지 S(Source)로부터 일정한 방향에 존재하는데, 이를 찾기 위해서는 네트워크 전체를 탐색해야 한다. 그러므로 이로 인한 오버헤드를 보다 효율적인 방법으로 제어할 필요성이 있다 (그림 1) [1, 2].

이 불필요한 과정에 대한 원인은 중복성과 방향성의 두 가지 문제로 구분할 수 있다. 중복성 문제는 중복되는 RREQ 패킷에 관한 것으로, 이에 관한 오버헤드는 세 가지 형태로 분류할 수 있다. 첫 번째는 다수의 이전 노드들로부터 전송되는 RREQ 패킷에 의

한 수신 전력 소모이다. 두 번째는 업데이트된 경로 테이블에 대한 정보를 다음 노드들에게 전달할 때 발생하는 전송 전력 소모이다. 마지막으로 세 번째는 이전 노드들로부터 재 전송되는 RREQ 패킷을 수신하기 위한 수신 전력 소모이다.



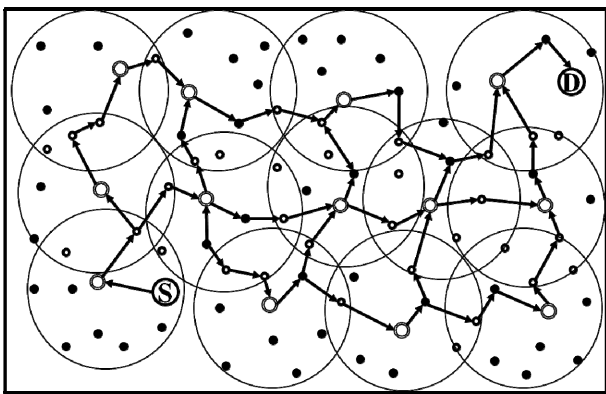
(그림 1) 플라딩 오버헤드의 개념

2. 관련 연구

HCR 은 클러스터 기반의 하이브리드 프로토콜로서 프로액티브 방식에 중점을 두었다 [3]. HCR 은 inter-cluster routing 과 intra-cluster routing 의 두 가지 기법으로 구동된다. HCR 에서는 모든 클러스터 헤드들이 주기적으로 멤버 노드들의 정보를 수집하고 교환한다. 이 정보는 tree 형태로 GCT(Global Cluster Table)에 저장되며, 전체 네트워크의 클러스터 간 연결성과 각 클러스터의 멤버 노드에 관한 것이다. 각각의 클러스터 내부에서는 local destination 까지의 경로를 찾기 위해 RREQ 패킷을 플라딩한다. 결론적으로, HCR 에서 inter-cluster routing 은 프로액티브 방식을 사용하고, intra-cluster routing 은 리액티브 방식을 사용하는 것을 의미한다.

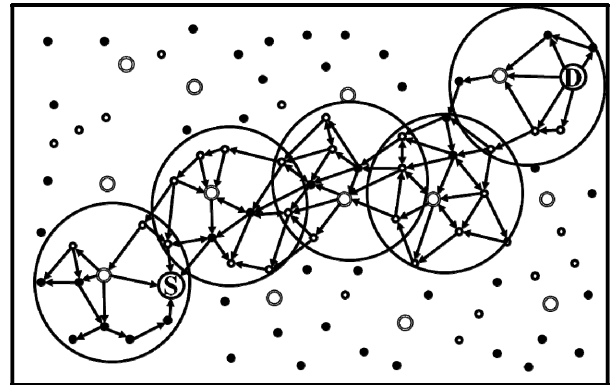
FSRS 는 inter-cluster 플라딩을 통해 S 노드가 D 노드를 가능한 한 빨리 찾도록 한다 [4]. 그 다음으로, 구체적인 경로 설정을 역 경로 설정 시의 intra-cluster 플라딩을 통해 설정한다. 노드가 목적지 노드인 D 와 연결되길 원할 때, inter-cluster 플라딩이 실행된다. 이 과정은 클러스터 단위로 진행되며 역 경로 설정 시에 사용되는 클러스터 패스를 만든다. 클러스터 패스는 S 클러스터와 D 클러스터 사이에서 확보된다.

Inter-cluster 플라딩을 통해 우리는 전방 플라딩 오버헤드를 굉장히 줄일 수가 있다. RREQ 패킷을 전체 네트워크에 전달하기 위해, 각 클러스터의 CH 에 잠시 머무르며, 구체적인 플라딩 과정이나 경로 설정 과정이 없다. 이 메커니즘의 목적은 intra-cluster 플라딩에서 사용될 아웃라인을 만드는 것이다. (그림 2) 에서 inter-cluster 플라딩 과정을 통해 발생하는 플라딩 경로를 예시로 보여주고 있다.



(그림 2) Inter-cluster 플라딩에서의 플라딩 경로

RREQ 패킷이 목적지에 도달하면, 역 경로 설정을 위해 intra-cluster 플라딩이 실행된다. 이 과정에서는 클러스터 패스를 따라가며 구체적인 경로를 설정하게 된다. 이러한 경로 설정 방법은 각 클러스터의 관리에 소요되는 부담을 분산시킬 수 있는 장점을 가질 수 있다. 특히 각각의 클러스터가 지역적으로 다양한 환경에 존재할 경우 그에 적합한 서로 다른 독립적인 내부 플라딩 정책들을 정의하거나 적용할 수 있다 (그림 3).

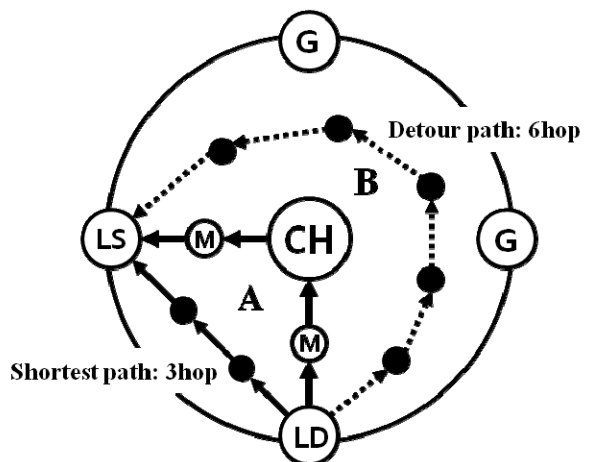


(그림 3) Intra-cluster 플라딩에서의 플라딩 경로

3. 제안 기법

본 연구에서는 개별적인 클러스터 내부에 초점을 맞춘 경로 탐색 기법인 MICF(Maginot path based Intra Cluster Flooding)를 제안하고자 한다. 이 기법은 FSRS 를 기반으로 동작하는 것으로, 전방 경로 탐색 시에 각각의 클러스터 내부에 마지노 패스를 설정하고, 이를 통해 역 경로 탐색 시 경로를 안전하고 효율적으로 확보할 수 있게 한다. 마지노 패스는 경로 요청에 따른 탐색 시, 기본적인 경로를 보장해 주는 역할을 하며, 보다 효율적인 경로를 찾기 위한 기준을 제시한다. 이러한 기준을 통해 플라딩 지역을 제한하고 불필요한 패킷 전송을 막아 오버헤드를 줄일 수 있다.

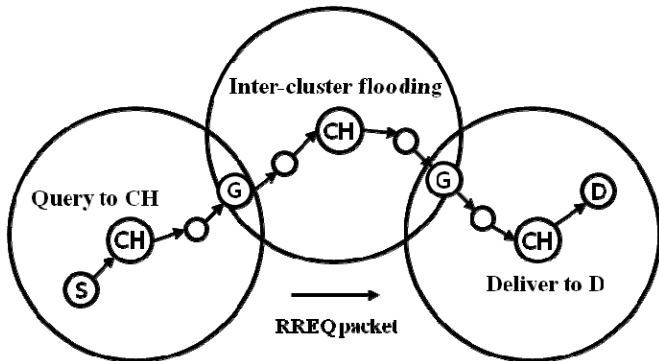
우리는 마지노 패스보다 긴 거리의 경로는 효율적이지 않으며 또한 필요치 않다는 것을 알 수 있다. (그림 4)의 A 와 B 지역은 각각 최단 경로와 우회 경로가 존재하는 플라딩 지역을 나타낸다. 이 경우를 살펴보면, 최단 경로는 클러스터의 LS 에서 클러스터 헤드를 지나 LD 까지 이어지는 직선을 기준으로 내각 지역에 반드시 위치한다는 것을 알 수 있다. 따라서 우리는 마지노 패스의 외각 지역으로 경로를 탐색하는 것은 절대적으로 불필요하다는 것을 알 수 있다.



(그림 4) 플라딩을 통한 클러스터 내부 경로 탐색에 대한 분석

MICF 에서 마지노 패스를 설정하는 과정은 FSRS 의 전방 경로 탐색 과정인 inter-cluster 플라딩 단계에

서 이루어진다. FSRS 에서는 이웃 클러스터로부터 개별 클러스터에 RREQ 패킷이 전달되면, 게이트웨이 노드가 이를 수신한 후 바로 클러스터 헤드에게 전달한다. 클러스터 헤드는 RREQ 패킷의 목적지 노드를 클러스터 멤버 테이블에서 검색한 후, RREQ 패킷을 inter-cluster 플라딩 할 것인지 현재 클러스터 내의 목적지 노드에 전달할 것인지를 결정한다. (그림 5)은 이 과정에 대한 구체적인 예를 보여주고 있다.



(그림 5) Inter-cluster 플라딩을 통한 RREQ 패킷 전달

Inter-cluster 플라딩 과정을 통해서 RREQ 패킷이 클러스터 헤드를 거쳐 또 다른 게이트웨이로 전달되면서 LS 와 LD 게이트웨이간에 기본적인 경로를 확보할 수 있는 것을 보았다.

여기서는 클러스터를 2 홉으로 구성하였기 때문에 게이트웨이와 클러스터 헤드 간의 거리가 2 홉임을 알 수 있으며, 또한 게이트웨이와 게이트웨이 간의 거리가 4 홉임을 알 수 있다. 그리고 이웃 클러스터와 연결된 게이트웨이의 숫자만큼 LD 가 선언되고 LS 와 LD 간의 경로가 확보되는 것을 알 수 있다.

이 경로들은 intra-cluster 플라딩과 같은 역 경로 설정 시의 세부적인 경로 설정 과정에 있어서, 다른 경로를 찾지 못할 시에 최소한 하나의 경로를 반드시 보장해 주는 역할을 한다. 본 논문에서는 이를 마지노 패스라고 정의하며, 이 특징을 바탕으로 역 경로 설정 시 사용할 수 있는 유용한 사전 장치 및 기능들을 도출하고 개발한다.

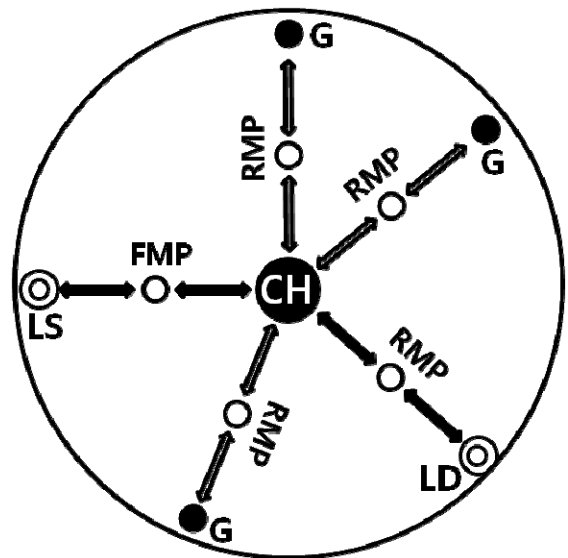
마지노 패스 설정에 관한 구체적 설명에 앞서, 이에 관한 기본 개념에 관해 설명하도록 하겠다. 앞서 언급했듯이 3 장에서 제안한 FSRS 기법의 inter-cluster 플라딩을 통해 RREQ 패킷이 전달되는 과정에서 LD 게이트웨이까지의 경로인 마지노 패스를 확보할 수 있다. 그 후 역 경로 설정 과정에서 LD 게이트웨이에 RREP 패킷이 전달되면 LS 게이트웨이까지 세부적인 최적 경로를 클러스터 내부에서 설정하게 된다. 그런데 FSRS 에서는 클러스터 내부 전체에서 플라딩을 하여 경로를 설정하는데, 이는 최종적으로 생성되는 경로를 비교하였을 때 비효율적인 면이 있다.

즉, 플라딩을 통해 실제 설정되는 경로는 클러스터의 내각 지역을 지나가게 되며, 이는 사전에 설정된 마지노 패스보다 짧은 거리를 가진다. 그런데, 이보다 넓은 지역인 외각 지역은 반드시 마지노 패스보다 긴 거리의 경로만이 존재한다. 따라서 플라딩을 통해 외

곽 지역을 탐색하는 것은 완전히 불필요한 작업이라 말할 수 있다 (그림 4). 본 논문에서는 이와 같은 점에 착안하여 마지노 패스를 기준으로 내각 지역에서만 경로 탐색 패킷을 플라딩하여 최적 경로를 탐색하는 MIF 기법을 제안하고자 한다.

마지노 패스는 경로 탐색 시 최소한의 경로 보장과 함께 클러스터 내부의 플라딩 지역을 제한하여 효율적인 경로 탐색이 가능하게 하기 위한 것이다. 그런데 최소한의 경로 보장은 앞서 언급했듯이 inter-cluster 플라딩 시에 확보할 수 있으나, 실제로 패킷이 플라딩되는 지역의 제한은 확보된 마지노 패스만을 가지고 수행할 수는 없다. 이를 위해 마지노 패스 지역(MPA)을 설정해 플라딩 지역을 실효적으로 제한하고자 한다. MPA 는 마지노 패스 노드의 1 홉 거리가 된다. 역 경로 설정 시 플라딩을 통해 경로가 탐색되는 지역은 MPA 내부로 제한된다.

마지노 패스의 설정은 inter-cluster 플라딩 과정에서 자연스럽게 설정이 된다 (그림 6). 먼저 LS 게이트웨이인 G1 노드에 RREQ 패킷이 전달되면, G1 은 이를 CH 에게 전달한다. 이 과정에서 RREQ 패킷이 지나간 LS 와 CH 사이의 경로가 마지노 패스의 전방 경로(FMP: Front Maginot Path)가 되며, 이 경로는 추 후 해당 클러스터에 RREP 패킷이 전달되었을 시에 반드시 사용된다.

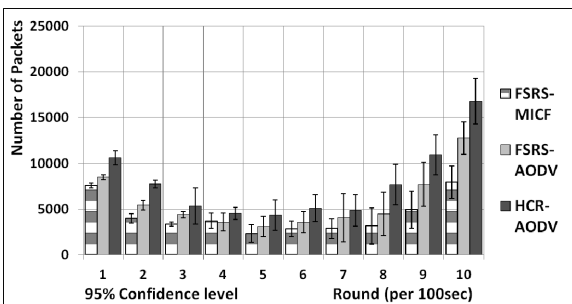


(그림 6) 마지노 패스 설정

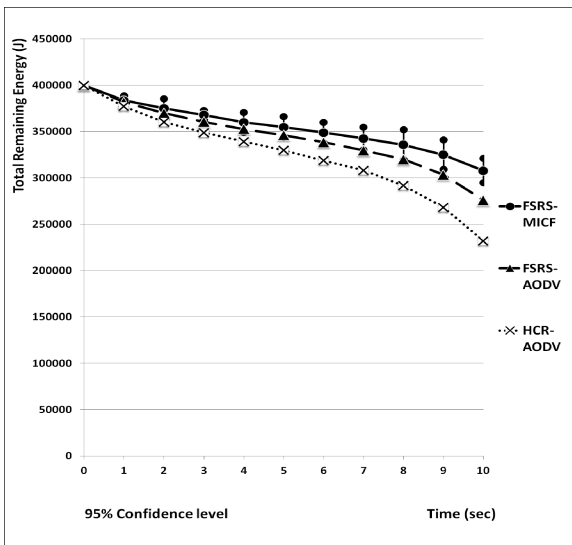
RREQ 패킷을 받은 CH 는 현재 클러스터에 목적지 노드가 없을 시, 게이트웨이 노드를 통해 이웃 클러스터에게 RREQ 패킷을 전달하고자 한다. 이 과정에서는 RREQ 패킷이 클러스터 내의 LS 게이트웨이인 G1 노드를 제외한 게이트웨이 노드들에게 전달된다. 이 때 CH 와 각각의 게이트웨이 노드들 간에는 마지노 패스의 후방 경로(RMP: Rear Maginot Path)가 설정되는데, RMP 는 역 경로 설정 시에 반드시 하나만 사용되고 나머지 RMP 들은 일정 시간이 지나면 삭제된다.

4. 실험 결과

합리적인 실험을 위해 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 사용하였다. 이동 노드를 설정하기 위해 CMU Monarch Project[5]에서 제안한 setdest 와 cbrgen 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램들은 NS-2 에 포함되어 있으며 랜덤 시나리오를 만들기 위해 사용된다. Setdest 프로그램은 노드의 이동, 속도, 방향 등을 설정하는데 사용되며, cbrgen 은 네트워크 트래픽을 생성하는데 사용된다. 구체적인 네트워크와 실험 환경에 관한 설정은 Lucent IEEE 802.11 interface 모델을 바탕으로 하였다[6]. 또한 실험의 비교 요소는 클러스터 내부 기법이기 때문에 비교 대상을 (클러스터 토폴로지 기법-클러스터 내부 기법)으로 표현했다.



(그림 7) 각 라운드에서의 패킷 오버헤드



(그림 8) 시간에 따른 총 에너지 감소

실험 결과, 라운드 초기에는 클러스터 토폴로지와 네트워크 구성 과정이 일어나기 때문에 부가적인 오버헤드가 발생한다. 특히 HCR-AODV 는 모든 CH 가 네트워크 전체의 클러스터 구성 정보를 수집 및 전달함에 따라 매우 큰 오버헤드가 발생한다. FSRs-MICF 와 FSRs-AODV 는 이에 비해 상대적으로 적은 오버헤드만이 발생한다. FSRs-MICF 는 FSRs 에 기반하기 때문에, 개별 클러스터의 구성 오버헤드만이 발생한다. (그림 7)에서 각각의 라운드에서 패킷 오버헤드가 어떻게 변하는지를 볼 수 있다. FSRs-MICF 는 이와 같은 FSRs-AODV 기반의 환경에서 한 차원 더 플라

당을 제어하였다. 실험 결과에서도 보여지듯이 FSRs-MICF 의 라운드 당 패킷 오버헤드는 모든 라운드에서 제일 적다. (그림 8)은 동일 실험의 결과를 에너지 소모의 변화로 표현한 것이다. 결론적으로 FSRs-MICF 는 FSRs-AODV 의 성능을 한 차원 더 높였다. 실험 결과 FSRs-MICF 는 FSRs-AODV 보다 총 에너지의 7.79% 에너지를 더 절약하였으며, HCR-AODV 보다 18.71% 에너지를 더 절약하였다.

5. 결론

본 논문에서는 기존에 기법들의 오버헤드를 줄이기 위해, 내부 경로 탐색 기법인 MICF 를 제안하였다. MICF 는 FSRs 기반의 클러스터 내부에서의 플라딩 지역 제어 기법이다. MICF 는 전방 경로 탐색 과정인 inter-cluster 플라딩 시에 새롭게 제안한 마지노 패스를 설정하고 이를 중심으로 한 MPA 를 설정하도록 하였다. 이러한 설정은 기존의 과정에 포함하여 진행되며, 부가적인 패킷 오버헤드가 발생하지 않는다. MICF 에서는 역 경로 탐색 과정인 intra-cluster 플라딩 시에 MPA 내에서 플라딩을 하여 최적 경로를 찾게 되며, 플라딩 지역을 보다 효율적으로 제한하였다. 실험 결과, FSRs-MICF 는 FSRs-AODV 보다 총 7.79%의 에너지를 더 절약하였다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2009558)

참고문헌

- [1] Meysam Zargham, Davood Shamsi, and Mohammad R. Pakravan, "Maximum Angle Based (MAB) Flooding for Ad-Hoc Sensor Networks," in *Proc. IST 2005*, pp. 999-1004, Sep. 2005.
- [2] Larry Hughes and Ying Zhang, "Self-limiting, adaptive protocols for controlled flooding in ad hoc networks," in *Proc. Communication Networks and Services Research 2004*, pp. 33-38, May. 2004.
- [3] Xiaoguang Niu, Zihua Tao, Gongyi Wu, Changcheng Huang and Li Cui, "Hybrid Cluster Routing: An Efficient Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," in *Proc IEEE ICC 2006*, Vol. 8, pp. 3554-3559, June. 2006.
- [4] Jangsu Lee and Sungchun Kim, "FSRS Routing Method for Energy Efficiency through the New Concept of Flooding Restriction in Wireless Ad-Hoc Networks," *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E94-B, No. 11, pp. 113-135, Nov. 2011.
- [5] The CMU Monarch Project's Wireless and Mobility Extensions to ns, CMU Monarch Project, Available: <http://monarch.cs.cmu.edu/cmu-ns.html>.
- [6] Fotis Diamantopoulos and Anastasios A. Economides, "A Performance study of DSDV-based CLUSTERPOW and DSDV routing algorithms for sensor network application," in *Proc. IEEE International Symposium on Wireless Pervasive Computing 2006*, pp. 1-6, Jan. 2006.