

# 무선센서네트워크에서 저-재전송율을 위한 효율적인 ERS 알고리즘

장영섭\*, 손남례\*\*, 장봉석\*, 정민아\*, 권장우\*\*\*, 신준우\*\*\*, 양해봉\*\*\*

\*목포대학교 정보산업연구소

\*\*목포대학교 멀티미디어공학, 컴퓨터공학

\*\*\*정보통신산업진흥원

## An Effective ERS Algorithm for Low-Retransmission in Wireless Sensor Networks

Young-Sub Jang\*, Nam-Rye Son\*\*, Bong-Seok Jang\*, Min-A Jung\*, Jang-Woo Kwon\*\*, Jun-Woo Shin\*\*\*, Hae-Bong Yang\*\*\*

\*Dept of Multimedia&Computer Engineering, Mokpo University

\*\*Information Industrial Laboratory, Mokpo University

\*\*\*National IT Industry Promotion Agency

### 요 약

최근 AODV 라우팅 프로토콜은 무선센서네트워크에서 노드 간에 데이터 전송방식을 추구하므로 테이블구동방식 중 가장 널리 사용되고 있다. AODV 라우팅 프로토콜은 목적지노드가 멀리 있거나 없는 경우엔 목적지노드를 찾기 위한 라우팅 패킷이 급격하게 증가하고 이로 인해 네트워크의 성능이 크게 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 불필요한 RREQ 메시지를 제어하는 ERS(expanding ring search)방법을 사용한다. 그러나 ERS 방법은 유선 멀티캐스팅을 기본으로 하기 때문에 무선네트워크환경의 NTT(node traversal time)를 고려하지 않았다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이동 무선 센서 노드들이 불규칙적으로 이동하는 무선센서네트워크에서 목적지 노드로부터 소스노드까지 전송되는 RREP의 소요시간, 노드간의 거리, 에너지량을 고려하여 효율적인 NTT 알고리즘을 제안한다.

### 1. 서론

최근 무선 네트워크 기술이 빠르게 향상됨으로 이동 무선 컴퓨팅에 대한 응용 범위와 빈도가 급격히 증가하고 있다. 현재 사용되어지고 있는 무선 네트워크는 두 가지로 분류된다. 첫째, 기지국이나 AP(Access Point)가 관리하는 영역 안에서 형성되는 네트워크이다. 둘째, 기존에 설치된 유선망의 도움없이 이동단말기기로 구성된 애드-혹 네트워크(Ad-hoc network)이다[1,2]. 애드-혹 라우팅 프로토콜은 테이블구동기반(table\_driven)방식과 요구기반(on-demand)방식 그리고 이 두 가지를 혼합한 하이브리드(hybrid) 라우팅 방식이 있다. 테이블 구동 방식의 라우팅 프로토콜은 다른 노드들에 대한 주기적인 라우팅 정보를 유지함으로써 전송 필요시 별도의 경로 탐색 절차 없이 라우팅 테이블의 정보를 이용하여 전송함으로써 경로탐색지연시간이 단축되는 장점을 가지고 있다. 그러나 열악한 환경의 무선대역에서 주기적인 라우팅 정보방송은 무선대역의 낭비를 가중시키는 단점이 있다. 또한 노드들이 빈번하게 이동하는 애드-혹 네트워크에서 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 위한 라우팅 정보 역시 방송해야하므로 라우팅 패킷으로 인한 오버헤드가 발생하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이동 무선 센서 노드 간에 데이터 전송방식을 추구하므로 테이블구동방식 중 가장 널리 사용되고 있는 AODV 라우팅 프로토콜을 이용한다. 이동 무선 센

서 노드들이 불규칙적으로 이동하는 무선센서네트워크에서 목적지노드로부터 소스노드까지 역경로 전송되는 RREP의 소요시간, 거리, 에너지량을 고려하여 중간노드들과 소스노드까지 각각 측정하고 소스노드와의 인접도에 따라 각 노드의 NTT에 가중치를 달리 부여하여 이를 타임아웃에 반영하는 알고리즘을 제안한다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 AODV 경로설정과정[3]

AODV의 경로 설정 절차는 전달할 데이터가 처음 발생한 소스노드와 활성 경로를 통해 데이터를 전송하던 중 링크 단절이 발생하여 경로 복구를 수행하는 중간노드에 의해 시작될 수 있으며, 이들 노드들은 RREQ 메시지를 무선네트워크 내에 플러딩(flooding) 하게 된다.

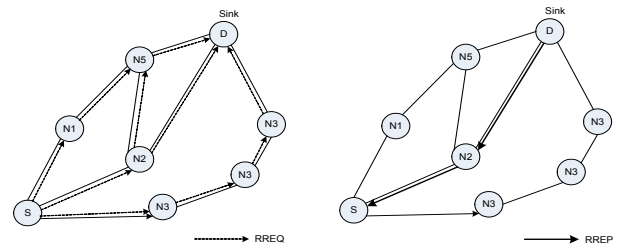


그림 1. AODV의 RREQ와 RREP

그림 1(a)은 RREQ가 플러딩 되는 과정이다. 소스노드 S

가 목적지노드 D에게 보낼 데이터가 발생하면 자신의 시퀀스 번호를 1 증가시킨 후, RREQ를 이웃 노드들에게 브로드캐스트한다. 그림 1(b)은 목적지 노드 D가 RREQ를 수신한 경우 목적지 시퀀스 번호를 1 증가하고, 도착한 RREQ에 있는 홉 수 값을 RREP에 복사하여 역 경로를 따라 소스 노드에게 유니캐스트로 전달하여 경로를 설정하는 과정을 나타낸다.

**2.2 ERS 알고리즘[4]**

ERS 알고리즘은 노드에서 RREQ를 네트워크에 플러딩하는데 있어서 RREQ를 제한한 알고리즘이다. ERS 알고리즘의 진행순서는 다음과 같다.  $TTL_{val}$ 의 초기값은  $TTL_{START}(=1)$ 로 설정하고, 인접노드에게 RREQ를 플러딩한다. 이때 식(1)과 같이 RREP 패킷 수신을 위한 최대대기 시간인  $RTT(Ring Traversal Time)$  이내에 RREP가 수신하지 못하면  $TTL\_INCREMENT(=2)$ 만큼 증가하여  $TTL\_VALUE(=3)$ 를 사용하여 RREQ 패킷을 재전송한다.

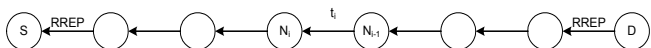
$$RTT = 2 \times NTT \times TTL_{val} \quad (1)$$

**2.3 AODV의 ERS 알고리즘[4]**

AODV의 경로 획득 단계는 송신노드를 중심으로 패킷전송범위를 점진적으로 확대해가는 핸드셰이크(handshake) 방식을 채택하고 있다. ERS 알고리즘은 전체 네트워크에 RREQ 패킷을 플러딩하는 대신 TTL(time to live) 값을 이용해 점진적으로 탐색범위(search ring)를 확장시켜가며 목적지 노드를 찾는 방법이다.  $PerHopTime(rt)$ 는 라우터 요청( $rt$ )에 따른 홉 당 평균 라운드 트립(round trip) 시간으로 식(2)와 같이 노드 간 총 지연 시간( $T_{latency}$ )이다. 보통  $PerHopTime(rt)$ 은 NTT라고 한다. 이때  $HOP_{count}$ 는 소스노드에서 목적지노드까지의 홉 수이고,  $Current_{time}$ 는 RREP를 수신한 출발지 노드의 현재시간,  $RT_{stamp}$ 는 수신한 RREP에 담긴 RREQ 전송 당시의 시간이다.

$$T_{latency} = \sum \frac{Current_{time} - RT_{stamp}}{Hop_{count}} \quad (2)$$

기존 ERS 알고리즘 연구 중 탐색횟수(search threshold) [5]와 홉 당 최대 전송지연시간인 NTT[13-16]에 관한 연구가 진행되었다. [5]는 네트워크의 토폴로지와 관계없이 탐색횟수가 3~4회가 적절하다고 제시하였다. 따라서 AODV[4]에서는  $TTL\_THRESHOLD$ 를 7로 초기화하여 최대 탐색횟수를 3으로 제한하고 있다. 또한 [6]는 라우팅 경로 설정시 RREQ 패킷에 time-stamp 필드를 추가하여 NTT를 알 수 있고, [7,8]은 홉 당 평균전달지연시간을 추정할 때 RREQ 패킷을 사용하여 노드의 이동성이 낮거나 전송지연이 전혀 발생하지 않은 경우에는 기존 AODV보다 성능이 우수하지 않은 단점을 가지고 있다.



**그림 2. RREP를 이용한 방법**

[9]는 그림 (2)과 같이 NTT의 가변성과 관련하여 RREQ보다는 재전송과 시간적으로 보다 가까운 RREP의 전송시간을 이용하는 방법으로 식(3)과 같이 지수적 가중치 배분( $NTT_e$ ) 및 식(4)와 같은 선형적 가중치 배분( $NTT_l$ )을 통한 NTT를 적용하였다.

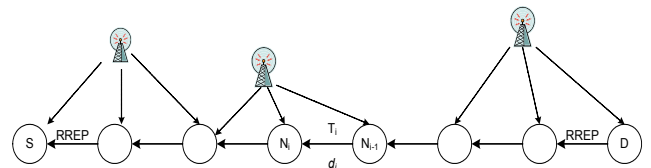
$$NTT_e = \frac{t_1 + \sum_{i=1}^{n-2} 2^{i-1} t_{i+1}}{2^{n-2}} \quad (3)$$

$$NTT_l = \frac{2 \sum_{i=1}^n i \times t_1}{n(n+1)} \quad (4)$$

식(3)와 식(4)에서  $t_i$ 는  $N_{i-1}$ 노드와  $N_i$ 노드간의 전송시간이고,  $n$ 는 노드의 개수이다. 이 방법은 전체 패킷 발생량 및 에러발생 측면에서 기존 AODV의 ERS[4]나 KERS10]보다 약 5%정도의 성능을 보인다. 하지만 이 방법은 노드간의 일정한 간격(거리)에 발생한 전송지연시간을 고려하였지만, 이동 무선 센서네트워크와 같은 노드간의 거리가 일정하지 않은 경우를 고려하지 않았다. 따라서 제안한 방법은 이동 무선 센서네트워크 환경에 적합한 노드간의 불규칙한 거리와 에너지를 고려하여 NTT를 제안한다.

**3. 제안한 방법**

기존 연구에서 보여지듯 NTT는 그림 (3)와 같이 이동 무선센서네트워크 환경에 적합하게 사용하지 못하므로 노드간의 거리에 따라 신호강도의 값이 다르게 된다. 따라서 본 논문에서는 NTT의 가변성을 고려할 때 센서노드의 에너지, 센서노드간의 거리를 고려한 NTT를 제안한다. 이때 RREQ가 목적지 노드로 전송중이거나 도착한 이후에도 센서노드들이 이동할 수 있으므로 NTT의 변화를 고려하여 RREQ보다는 재전송과 시간적으로 가까운 RREP의 전송시간을 이용한다.



**그림 3. 노드와 임의의 radio propagation 위치**

**step 1. 노드의 에너지량 측정**

소스노드는 RREQ를 인접 센서노드에게 최대 송신 전력( $E_{max}$ )으로 브로드캐스팅 한다. RREQ 메시지를 받은 인접 센서노드는 식(5)의 방법으로 최소 송신 전력( $E_{min}$ )을 계산해서 라우팅 테이블에 저장한다.  $E_{min}$ 은 어떤 센서노드가 송신한 신호가 수신 센서노드에서 정상적으로 받아들여지기 위한 송신전력의 최소 한계 값을 말한다. 그리고  $E_r$ 은 수신 센서노드가 수신한 신호의 전력 세기이고,  $R_{thresh}$ 는 수신 노드에서 요구하는 수신 신호전력의 최소

한계 값이다.

$$E_{\min} = \frac{E_{\max}}{E_r} \times R_{\text{thresh}} \quad (5)$$

**step 2. 신호강도계산**

RREQ 메시지를 수신한 목적지 노드는 자신의 잔여 에너지량을 포함하여 RREP 메시지를 소스노드에게 전송한다. RREP 메시지를 수신한 소스노드는 자신과 RREP을 수신한 노드들의 거리( $d_i$ )를 아래 식(7)과 같이 신호강도를 이용하여 계산한다.

$$P_r(d_i) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d_i^4 L} \quad (6)$$

본 논문에서는 각각  $G_t$ ,  $G_r$ ,  $L$ 는 1로 설정한다. two-ray reflection model를 사용함으로써 물리적인 계층에서 발생할 수 있는 에러율을 최소화 하였다.

**step 3. 제안한 NTT 계산**

시간은 거리에 비례하고 에너지는 반비례하므로 식(7)과 같이 RREQ를 수신한 송신노드의 최소 에너지량( $E_{\min}$ )과 노드 간의 거리( $d_i$ )를 이용하여 NTT를 계산한다.

$$PT_{\text{latency}} = \sum \left( \frac{\text{Current}_{\text{time}} - RT_{\text{stamp}}}{\text{Hop}_{\text{count}}} \times \frac{P_r(d_i)}{E_{\min}} \times \alpha \right) \quad (7)$$

이때 식(7)에서 사용한  $\alpha$ 는 가중치로 노드의 개수가 작거나 노드를 임의로 배치하였을 때 0.25로 사용하였고, 반면에 노드의 개수가 많을 때는  $\alpha$ 는 0.5로 실험하였다.

**4. 실험환경 및 결과**

**4.1 실험환경**

모의실험을 위하여 시뮬레이터는 미국 버클리 대학에서 개발한 ns-2를 사용하였다. 모의실험 환경은 잠음유입이 없는 이상적인 환경에서 모든 센서노드들이 양방향 링크에 전방향 송수신과 불규칙 수신 모드를 사용하여 이동 무선 네트워크 환경을 설계하였다. 다음 표 1은 실제 시뮬레이션에서 사용한 파라미터이다.

**표 1. 시뮬레이션에서 사용되는 주요 파라미터**

분류	내용
ns-2 버전	2.34
MAC 계층 프로토콜	802.15.4 MAC
네트워크 대역폭	250kbps
라우팅 프로토콜	AODV, 제안한-AODV
Grid 간격	50mx50m=2,500m <sup>2</sup>
노드간 거리	10m(고정시뮬레이션)
전송거리	15m
Hop size	3m
초기에너지 값	1J
rxPower	0.3J
txPower	0.3J
성능 측정 지표	평균수신율, 평균지연시간, 평균잔여에너지량, RREQ, RREP, 드롭 패킷수

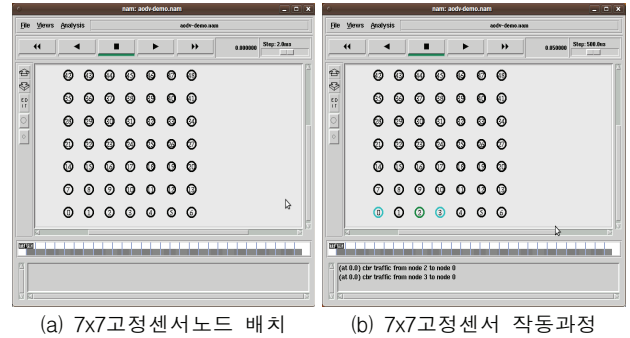
또한 각 노드는 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽 모델을

사용한다. 이때 시뮬레이션은 총 30초로 이루어져있으면 트래픽은 2초부터 발생하여 17초에 정지한다.

**4.2 시뮬레이션 시나리오 및 실험결과**

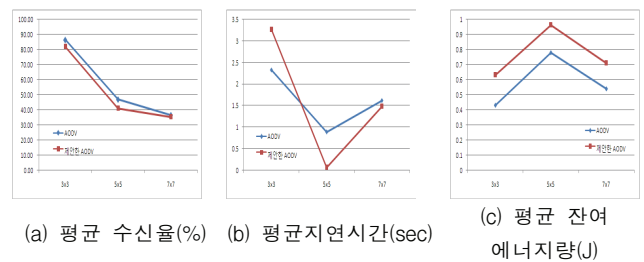
**(1) 센서노드 고정 시뮬레이션**

제안한 AODV 방법을 평가하기 위한 시나리오는 그림 6(a)과 같고, 그림 5(b)는 실제 ns-2에서 작동되는 과정을 보여주고 있다.



**그림 4. 센서노드 고정 배치**

제안한 AODV 라우팅 프로토콜의 성능을 측정하기 위하여 아래 그림 (5)와 같이 전체 노드간의 전체적인 데이터 평균 수신율, 평균지연시간과 평균 잔여 에너지량을 비교하였다. 평균수신율측면에서 제안한 AODV방법은 기존 AODV보다 평균수신율이 노드수의 증가에 따라 4.47%, 5.95, 1.16% 감소하나, 평균지연시간은 기존 AODV방법보다 제안한 AODV 방법이 0.94sec, 0.82sec, 0.14sec 감소하였다. 그리고 노드들의 평균 잔여 에너지량이 기존 AODV 방법보다 제안한 AODV보다 20%, 18%, 17% 증가하여 에너지의 사용 손실을 감소하였다.



**그림 5. 센서노드 고정 배치의 평균수신율, 평균지연시간, 평균 잔여 에너지량**

또한 본 논문에서는 패킷 전송율을 비교하기 위하여 아래 그림 (6)과 같이 RREQ, RREP 및 드롭 패킷수를 기존 AODV방법과 제안한 AODV방법을 비교하였다. RREQ 패킷 생성수를 비교하면 기존 AODV방법과 제안한 방법은 거의 비슷하게 생성하였지만, RREP 패킷 생성수는 노드수의 증가에 따라 37%, 32% 감소하였다. 그리고 드롭 패킷 수 측면에서 제안한 AODV방법이 기존 AODV방법보다 21% 및 20% 감소하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 기존 AODV방법보다 전체적으로 RREQ 및 RREP 패킷 생성수가 작으므로 이동 무선네트워크에 전송하는 데이터 패킷의 오버헤드를 줄일 수 있었다.

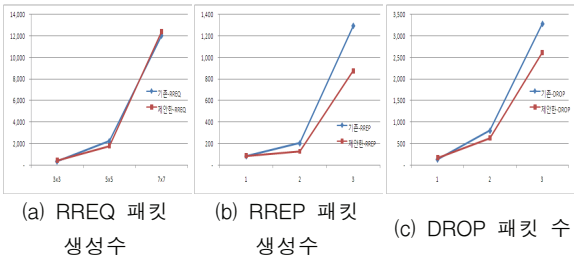


그림 6. 센서노드 고정 배치의 RREQ, RREP, DROP 패킷수

(2) 센서노드 랜덤 시뮬레이션

센서노드를 랜덤하게 시뮬레이션하기 위하여 그림 7(a)과 같이 센서노드를 랜덤하게 배치하고, 그림 7(b)와 같이 실제 ns-2에서 작동되는 과정을 보여주고 있다.

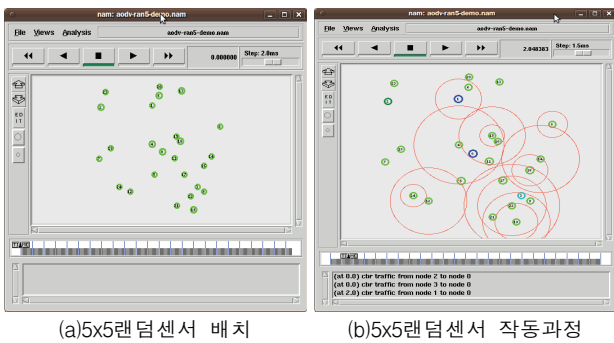


그림 7. 센서노드 랜덤 배치

제안한 AODV 방식의 성능을 측정하기 위하여 그림 (4)의 센서노드고정과 같이 전체 노드간의 전체적인 데이터 평균 수신율, 평균지연시간과 평균 잔여 에너지를 비교하였다. 그림 8(a)의 평균수신율측면에서 제안한 AODV방법은 기존 AODV방법보다 평균수신율이 노드수의 증가에 따라 12.5%, 25.83%, 36.92%가 증가하였다. 평균지연시간은 기존 AODV방법보다 제안한 방법이 0.9sec, 3.46sec, 0.05sec 감소하였다. 그리고 노드들의 평균 잔여 에너지가 기존 AODV방법보다 제안한 AODV가 4%, 5%, 11% 증가하여 에너지의 사용 손실을 감소하였다.

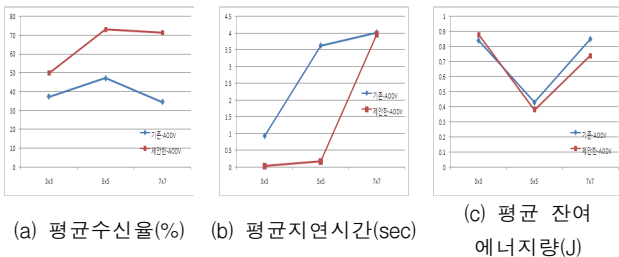


그림 8. 센서노드 랜덤 배치의 평균수신율, 평균지연시간, 평균잔여 에너지량

또한 본 논문에서는 패킷 전송율을 비교하기 위하여 아래 그림 (9)과 같이 RREQ, RREP 및 드롭 패킷수를 기존 AODV방법과 제안한 AODV방법을 비교하였다. RREQ 패킷 생성수를 비교하면 기존 AODV방법은 제안한 AODV방법에 비해 각각 117%, 242%, 18%증가하여 생성하였고, RREP 패킷 생성수는 각각 140%, 444%, 13% 증가하였다.

그리고 드롭 패킷 수 측면에서 제안한 AODV방법이 기존 AODV방법보다 11%, 5%, 33% 감소하였다.

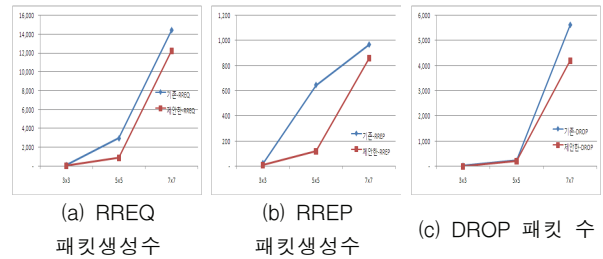


그림 9. 센서노드 랜덤 배치의 RREQ, RREP, DROP 패킷 수

5. 결론

본 논문에서는 이동 무선센서네트워크를 기반으로 하는 AODV 라우팅 프로토콜의 경로 설정시 패킷의 과다한 낭비를 방지하고자 효율적인 ERS 알고리즘을 제안한다. 즉, 목적지노드에서 소스노드로 전달하는 RREP의 경로로 전달되는 NTT를 노드간의 소요시간, 거리, 에너지를 고려하여 제안한다. 실험결과, 센서노드를 임의로 배치한 것보다 일정하게 배치한 노드들의 평균수신율, 평균지연시간, 평균 에너지량이 우수하였다. 하지만 RREQ, RREP, DROP 패킷 수는 센서노드를 일정하게 배치하였을 때보다 센서노드를 임의로 배치하였을 때 패킷 수가 감소하였다.

참고문헌

- [1] 권혜연, 신재욱, 이병복, 최지혁, 남상우, 임선배, "이동 Ad-hoc 네트워크 기술동향," 전자통신동향분석, 제18권, 제2호, 2003
- [2] 권혜연, 신재욱, 이병복, 최지혁, 남상우, "이동 Ad-hoc 네트워크 서비스," 전자통신동향분석, 제18권, 제4호, 2003
- [3] C.E.Perkins, "D HOC NETWORKING," ADDISONWESLEY, 2001
- [4] K. Carlberg and J. Crowcroft, "Building Shared Trees using a One-to-Many Joining Mechanism," ACM computer A ommunication Review, Vol.27, No.1, 1997
- [5] Hassan J. and Jha S., "Optimizing expanding ring search for multi-hop wireless networks," GLOBECOM, pp.1061~1065, 2004
- [6] S. M. Tripathi and R. K. Ghosh, "An implementational study of certain heuristics for the performance enhancement of AODV," Proc. of the 10th Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network based Processing, pp.395~402, 2002
- [7] 이재석, 박혜련, 이기현, 석정봉, "Timestamp를 이용한 AODV 라우팅 알고리즘의 성능 개선, 한국통신학회논문지, Vol. 31, No.8, 2006
- [8] Park In-cheon and Pu. Ida, "Energy Efficient Expanding Ring Search," 1th ASIA Int. Conf. on Modeling & Simulation(AMS), pp.198~199, 2007
- [9] 선창윤, 강승호, 임형석, "AODV 라우팅 프로토콜에서 재전송률을 낮추기 위한 ERS 알고리즘의 노드순회시간계산방법," 정보처리학회논문지, 제13-C권, 제4호, pp.447~454, 2006G4
- [10] 김현창, "Ad-hoc 네트워크에서 Timestamp를 이용한 AODV 프로토콜의 최적화," 연세대학교 대학원 전기전자공학과 석사학위논문, 2002
- [11] T. A. ElBatt, S. V. Krishnamurthy, D. Connors, and S. Dao. "Power Management for Throughput Enhancement in Wireless Ad-Hoc Networks." In IEEE International Conference on Communications, pp. 1506-1513, 2000.