

에너지 효율을 고려한 AODV 라우팅 프로토콜에 관한 연구

황태현 · 김두용[†] · 김기완

[†]순천향대학교 전자공학과

A Study on an AODV Routing Protocol with Energy-Efficiency

Tae Hyun Hwang, Doo Yong Kim[†] and Kiwan Kim

[†]Dept. of Electronic Engineering, Soonchunhyang University

Abstract

In recent years, wireless sensor networks have become an important part of data communications. Sensors provide information about the required measurements or control states over wireless networks. The energy efficient routing protocol of wireless sensor networks is the key issue for network lifetimes. The routing protocol must ensure that connectivity in a network is remained for a long period of time and the energy status of the sensor in the entire network must be in the same level in order not to leave the network with a wide difference in the energy consumptions of the sensors. In this paper we propose a new routing protocol based on AODV protocol that considers the energy efficiency when the protocol determines the routing paths, which is called AODV-EE. The proposed method prevents an imbalance of power consumption in sensors of wireless networks. From the simulation results it is shown that the proposed algorithm can be effectively used in collecting and monitoring data without concerning about the disconnection of the networks.

Key Words : Wireless Sensor Networks, AODV, Routing Protocol, Energy- Efficiency

1. 서 론

현대 사회에서 중요한 이슈 중 한 가지는 에너지 효율에 따른 기기 전력 최적화이다. 이미 대중화된 스마트폰이나 주변의 여러 가전기기에 에너지 소모량에 따른 등급이 매겨져 있고 군사, 의료, 재난 등 여러 통신 분야의 특수 목적으로 사용되는 무선 네트워크와 사물인터넷 환경에서는 제한된 배터리 용량으로 인하여 전력 소모량 문제가 더욱 중요시 되고 있다. 현재 유선 네트워크의 증가 비율보다 무선 네트워크를 바탕으로 한 센서 네트워크의 증설이 더욱 활발히 진행되고 있다. 여러 센서 기술과 저전력 전자공학 등을 바탕으로 무선 네트워크를 통해 연결될 수 있는 소형, 저가, 저전력 센서 노드의 개발이 가능하게 되었다. 또한 이 기술들을 사용하여 사물인터넷 기술, 군사 목적, 재난감지, 환경감시, 원격 관리 등에 적용을 시도하는 등 우

리의 일상 생활에 점차 스며들고 있다[1].

이러한 여러 기술들의 발전으로 무선 네트워크의 에너지 효율에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 높은 에너지 효율을 필요로 하는 애드혹(Ad-hoc) 센서 네트워크는 각각의 센서 노드들이 서로 유기적으로 경로를 설정하고 사용자에게 데이터를 전송하기 위해 자신의 이웃 노드에게 패킷을 전송하게 된다. 이 과정에서 중계 노드의 배터리가 과도하게 소모된다. 전력이 공급될 수 있는 목적지 노드를 제외한 모든 중계 노드는 에너지 자원이 정해져 있으므로 만약 하나의 중계노드가 배터리를 전부 소모할 경우 인위적으로 배터리를 교체해주기 전까지 그 노드는 경로에 참여하지 못하게 된다. 센서노드의 수명은 이와 같이 각 센서 노드가 가지고 있는 배터리에 의존하므로 될 수 있는 한 센서에서 소모하는 에너지를 줄여 모든 센서 노드가 골고루 오래 동작 할 수 있도록 하여 전체 네트워크의 수명을 늘릴 수 있는 방안이 요구된다. 그러므로 무선 네트워크 환경에서 각각의 센서 노드의 한정된 에

[†]E-mail : dooykim@sch.ac.kr

너지를 효율적으로 소모하는 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되어 왔다.

LEACH는 노드의 에너지 상태, 이웃 노드의 수를 고려하여 클러스터의 크기를 결정하고, 동시에 전송기능을 분담하는 노드를 선정하여 에너지 소모를 최소화하였고, SPIN은 경로선택에서 다음 노드의 잔존 에너지 및 전송에 필요한 에너지량을 고려하여 비정상적인 노드가 선택되지 않도록 하여 신뢰성을 향상시킨다[2-5].

기존의 유선망과 마찬가지로 애드혹 망에서도 라우팅 프로토콜과 데이터 트래픽에 따라 네트워크의 성능이 달라진다. DSDV와 같은 Table-Driven 방식은 각각의 노드가 네트워크의 모든 경로 정보를 유지하기 때문에 최적의 경로를 설정할 수 있으나 제어 패킷을 통해 주기적으로 정보를 갱신함으로써 많은 트래픽을 유발하는 단점을 가지고 있다. 또한, AODV, DSR과 같은 On-Demand 방식은 특정 목적지에 대한 경로를 요구 시에 만 경로 설정이 이루어지므로 지연이 발생하는 단점이 있지만 전체 에너지 소비 측면에서 상대적으로 우수한 특성을 갖고 있다[6]. 그러나, 특정 노드에 트래픽이 몰릴 경우 과도한 트래픽으로 인하여 특정 노드의 전력 소모량이 다른 노드보다 현격히 증가될 수 있으므로 특정 노드의 전원이 소진되어 사용이 불가능하게 되는 단점이 나타날 수 있다. 이와 같은 에너지 소비의 불균형 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 AODV 라우팅 프로토콜을 사용한 네트워크에서 각 노드의 처리율을 비교 분석하고 다른 노드보다 빈번하게 사용되는 노드의 문제를 해결하기 위해 경로 설정 알고리즘을 수정하여 새로운 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 AODV-EE 프로토콜은 각각의 무선 노드가 데이터의 통과 수를 측정하여 일정 수를 초과하면 데이터 전송을 제한하고 새로운 경로를 설정하여 특정 노드에 데이터가 집중되는 현상을 방지하여 에너지 소비의 불균형 문제를 해결할 수 있다.

본 연구를 위해 네트워크 시뮬레이터인 NS2에서 제공하는 AODV 라우팅 프로토콜 모델을 이용하여 분석한다[7-8]. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안한 라우팅 알고리즘의 데이터 포워딩이 전체 네트워크에 골고루 분산되는지를 확인하고 네트워크의 수명이 증가됨을 검증한다. 또한, 시뮬레이션을 통해 얻은 전체 패킷 이동경로를 노드에 따라 추출하고 경로를 효과적으로 분석하는 기법을 제시한다.

본 논문의 구성은 2장에서 NS2 네트워크 시뮬레이터를 이용해 구성된 무선 네트워크 환경의 테스트 모델에 대해 설명하고 이를 바탕으로 변경된 알고리즘을 제시하며 3장에서는 변경된 알고리즘을 적용하여 성능

을 분석한다. 그리고, 4장에서는 제시한 프로토콜의 효과적인 활용 방안을 언급한다.

2. 시뮬레이션 및 모델링

Fig. 1은 본 논문에서 사용하는 무선 네트워크의 각 노드들의 위치와 소스 노드, 목적지 노드를 보여준다. 그림과 같이 총 30개의 무선 노드가 무작위로 분포되어 하나의 애드혹 네트워크를 이루고 0번 노드는 0.01 초 간격으로 48바이트의 데이터를 내보내는 소스 노드, 29번은 목적지 노드로서 싱크 노드에 해당한다. 제안하는 알고리즘의 배터리 효율을 분석하기 위해 네트워크 안에서 무선 노드들의 이동성은 없다고 가정한다.

2.1. 시뮬레이션 결과 및 분석

앞서 언급한 표준 AODV 네트워크 모델을 이용하여 얻은 시뮬레이션 결과로부터 다음 Fig. 2는 각각의 노드에 따른 전송율과 전력 소모량을 통해 검증한 프로토콜의 효율성을 나타낸다. 기존의 AODV 프로토콜을

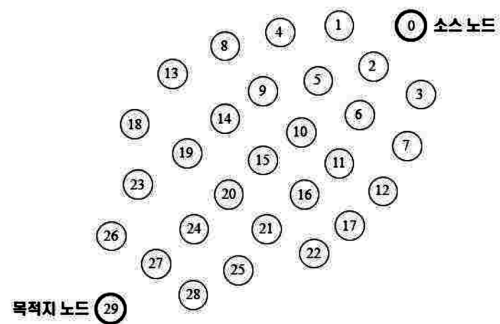


Fig. 1. Simulation Model.

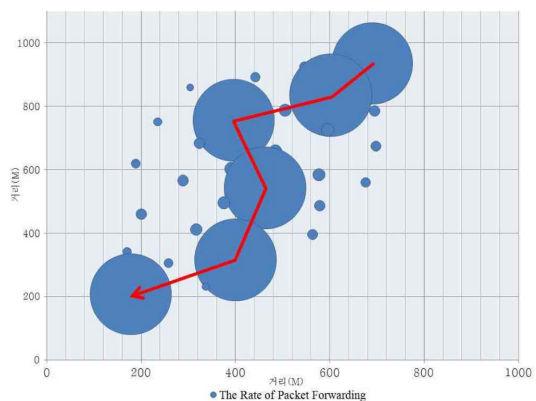


Fig. 2. Number of Data Forwarding.

```

./ns-2.35/aodv/aodv.cc
void AODV::rt_resolve(Packet *p) {
...
if(rt->rt_flags == RTF_UP) {
  if(rt->rt_packet_e_cost >= limit_e_cost) { //초과시
    ...
    sendError(rerr, false); // 에러메시지를 보내고
    drop(p, DROP_RTR_NO_ROUTE); // 드롭
  } else { //초과하지 않았다면
    assert(rt->rt_hops != INFINITY2);
    forward(rt, p, NO_DELAY); //포워딩
    rt->rt_packet_e_cost += 1; //카운터 변수 증가
  }
}
}

```

Fig. 3. Additional Conditions in `rt_resolve()`.

적용할 때 경로 설정 과정에서 노드의 에너지 효율을 고려하지 않고 경로 설정을 하므로 많은 양의 패킷이 특정 노드로 집중되는 것을 볼 수 있다. 그래프는 모든 데이터 패킷을 추적하여 각 노드 별 송,수신 데이터의 개수를 추출하고 크기로 나타낸 결과다.

Fig. 2에서 원의 크기는 각 노드의 데이터 포워딩 횟수를 카운트하여 차트로 나타낸 결과이다. Fig. 2를 보면 데이터 패킷의 경로가 1개 경로로 한정되어 있다는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 통해 에너지 소모가 불균형하다는 것을 볼 수 있고 만약 기존의 경로 설정을 그대로 사용하면 4개의 중계 노드는 다른 노드보다 배터리 수명이 빠르게 감소한다. 따라서 경로설정 알고리즘에 에너지 효율을 고려한 경로 분산이 가능하도록 하여 특정 노드의 데이터 집중 현상을 해결하는 방법이 필요하다.

2.2. 제안하는 AODV 라우팅 기법

기존의 AODV 라우팅 프로토콜 방식은 라우팅 테이블 상에서 자신이 전송한 데이터 패킷의 수를 인지할 수 있는 기준점이 없기 때문에 노드의 배터리 소모율을 고려하지 않고 경로를 계속 쓰게 된다. 따라서 각각의 노드가 몇 개의 데이터를 송, 수신했는지 카운트하는 변수를 추가하고 패킷이 일정 수 이상 넘어갔을 때 대체 경로로 재설정할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

본 논문에 제안하는 알고리즘을 구현하기 위해 NS2 네트워크 시뮬레이터에서 제공하는 AODV 라우팅 프로토콜에서 데이터 패킷이 들어왔을 때 패킷의 처리 과정이 기술되어 있는 `rt_resolve()` 함수와 경로 탐색을 위해 보내진 RREQ 메시지가 들어왔을 때 처리되는 `recvRequest()` 함수에 필요한 조건을 추가한다.

위의 알고리즘에서 `rt_packet_e_cost`는 각각의 노드가 가지고 있는 포워딩 횟수를 카운트하는 값으로 사용되고 이 값을 미리 설정한 `limit_e_cost` 값과 비교하여 포워딩의 여부를 결정한다. `limit_e_cost` 값은 시물

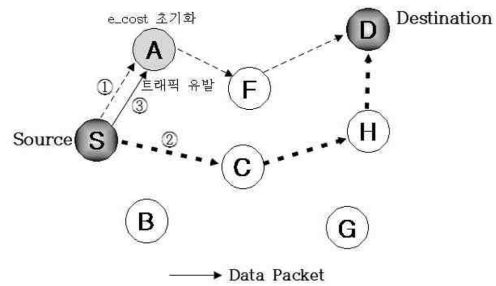


Fig. 4. The Modified Route Determination.

```

./ns-2.35/aodv/aodv.cc
#define PERIOD_IN_SECOND 5
...
void AODV::rt_resolve(Packet *p){
  if(rt->rt_flags == RTF_UP){
    if(rt->rt_packet_e_cost >= limit_e_cost){ //초과시
      NodeTimer *t; //타이머 생성
      t=new NodeTimer(PERIOD_IN_SECOND);
      ...
      sendError(rerr,false); // 에러메시지 전송
      drop(p,DROP_RTR_NO_ROUTE);
      t->start(); //타이머 가동
    } else { //초과하지 않았다면
      assert(rt->rt_hops != INFINITY2);
      forward(rt,p,NO_DELAY); //포워딩
      rt->rt_packet_e_cost += 1; // 카운터값 증가
    }
  }
}

```

Fig. 5. Timer Setting in `rt_resolve()`.

레이션 결과를 토대로 최적의 값으로 설정하였으며 네트워크 상태 및 토폴로지를 고려하여 조절 가능한 값이다. 무선 네트워크 환경상에서 제안한 알고리즘을 시뮬레이션 하기 위해 `limit_e_cost` 값은 100으로 설정하였다.

위와 같은 알고리즘을 적용한 AODV 라우팅 프로토콜을 가진 네트워크는 노드의 포워딩 수가 100개가 넘을 때마다 새로운 경로 탐색을 위해 경로 설정 메시지가 보내진다. Fig. 4의 ①번 과정에서 A노드가 과소비된 노드라고 판단되면 카운터를 초기화하고 ②번 경로로 재설정한다. 그러나 일정 포워딩을 넘기면 ②번 경로의 노드 또한 제한된다. 그리고 다음 경로를 찾는 ③번 과정에서 A노드를 재사용할 경우 해당 노드의 배터리 소모율을 낮추지 못하게 된다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 포워딩 수가 100개를 넘은 노드는 충전 시간 등으로 이용 가능한 타임아웃 이전엔 경로 참여를 제한하는 타이머 조건이 필요하다. 그러므로, 데이터 포워딩 수를 카운트하는 `e_cost`의 값을 초기화할 때 타이머 조건을 추가하여 타이머가 만료된 후에 경로를 재설정하기 위해 초기화를 시킨다.

2.3. 에너지 효율을 고려한 AODV 라우팅 프로토콜

본 논문에서 제안하는 AODV 경로설정 알고리즘을 AODV-EE라 정의하고 Fig. 6에 도식화하여 나타내었다. 각 노드에서 트래픽을 제어하는 목적을 가진 $limit_e_cost$ 변수는 데이터 패킷이 노드로 들어올 때 현재 포워딩 수와 비교하여 패킷의 포워딩 유무를 결정하는 역할이다. 송신 노드에서 실제로 패킷의 생산량이 많다고 가정한다면 $limit_e_cost$ 변수 값을 줄여서 트래픽을 조절하고 `handle()` 함수에 타이머를 추가한다.

AODV-EE의 구체적인 경로 설정 알고리즘 동작과정은 다음과 같다.

- 1) 데이터 패킷이 중계 노드로 들어왔을 때 e_cost 변수를 하나 증가시키고 미리 설정된 $limit_e_cost$ 값과 비교한다.
- 2) e_cost 값이 $limit_e_cost$ 값보다 작으면 기존의 AODV 포워딩 방식과 동일하게 데이터 패킷을 포워딩하고, 비교한 값이 클 경우 현재 노드의 사용량이 많다고 여겨 경로를 초기화하고 재탐색한다.

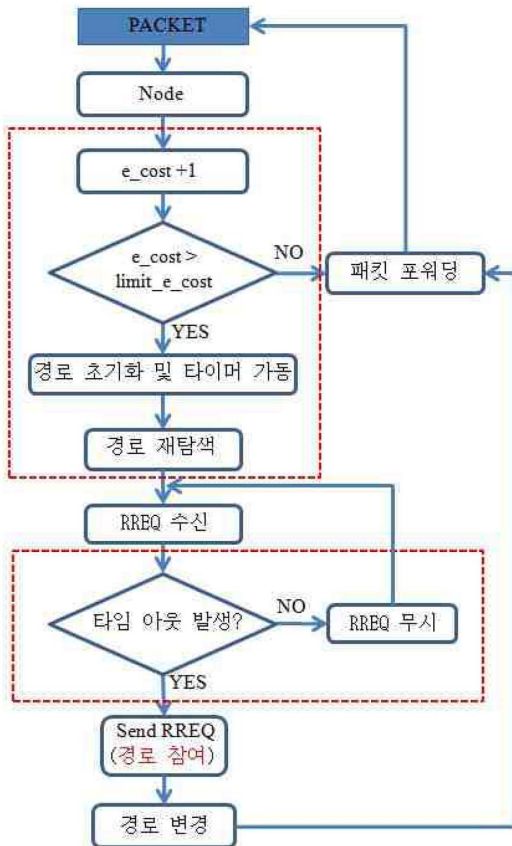


Fig. 6. Algorithms of AODV-EE.

3) 노드는 비교 값이 클 경우, NodeTimer를 가동하여 타이머가 만료되기 전까지 경로에 참여하지 못하도록 e_cost 값을 초기화 하지 않는다.

4) 타임아웃이 발생하지 않았을 때, RREQ 메시지의 포워딩은 자연스럽게 거부된다. 시간이 지난 후 타임아웃이 발생했을 때 그 노드의 $limit_e_cost$ 값을 초기화하여 다음 경로 설정부터 경로에 다시 참가할 수 있도록 한다.

5) 만약 타임 아웃이 발생하여 e_cost 가 초기화된 노드로 RREQ 메시지가 들어왔을 경우 기존의 AODV 방식과 동일하게 RREQ 메시지를 주변 노드에 전송한다.

6) 경로 설정이 완료되면 데이터 패킷을 포워딩한다.

7) 각각의 노드의 포워딩 수와 $limit_e_cost$ 값을 비교하여 위와 같은 과정을 되풀이 한다.

3. 성능 분석 및 비교

AODV와 AODV-EE의 노드 전력 소모량을 비교하기 위해 각각의 노드의 처리율을 Fig. 7에 나타낸다. 가로축은 노드 번호를, 세로축은 초당 패킷 처리율을 나타낸다.

Fig. 7에서 기존 AODV 프로토콜은 싱크 노드를 제외한 총 29개 노드 중 경로에 참여한 특정 노드에 데이터가 집중되는 현상을 보이고 있다. 그러므로 기존의 AODV 방식으로 전송했을 때 각 노드들의 전력 소모량의 불균형 문제가 심각한 것을 볼 수 있다. Fig. 8은 시뮬레이션 시간에 따른 미사용 노드의 수를 나타낸다. 그림을 통해 시뮬레이션이 늘어날수록 AODV-EE를 적용한 네트워크에서 사용되지 않은 노드의 수가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 네트워크를 구동하는 시간이 길어질수록 분산 효과가 증가한다는 것을 나타낸다.

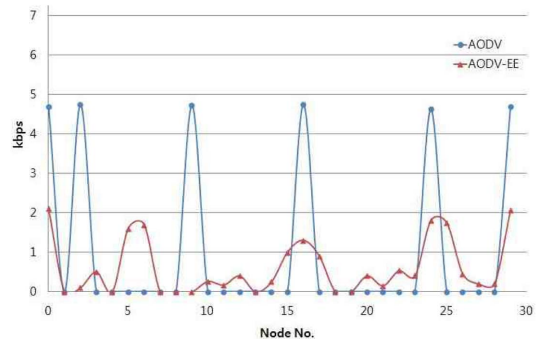


Fig. 7. Throughput per Node.

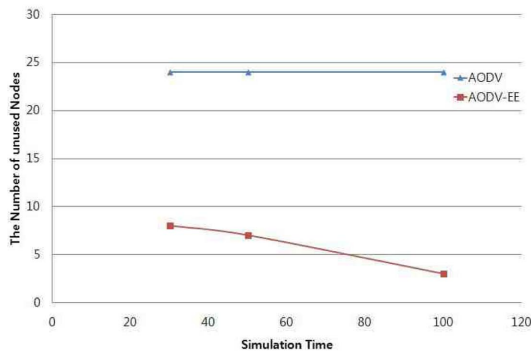


Fig. 8. The Number of unused Nodes.

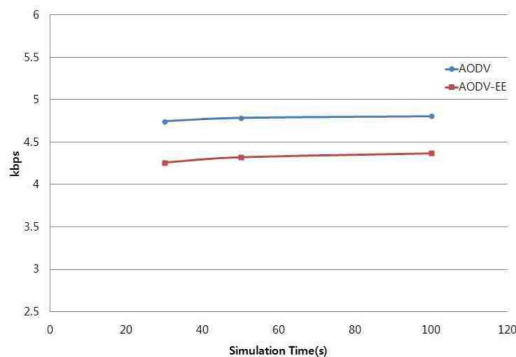


Fig. 9. Transmitted Data.

제한한 경로 설정 알고리즘과 타이머를 활용 하면 Fig. 7, 8과 같이 특정 노드에 트래픽이 몰리는 현상과 미사용 노드의 수가 줄어든다. 그러므로 제안하는 알고리즘이 노드 간 전력 소모 격차를 평균적으로 줄이는 효과가 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 전체 전송된 데이터의 전송량을 나타낸다. 그림에서와 같이 제안하는 알고리즘은 데이터를 전송하는 동안 새로운 경로 탐색을 위해 할당된 시간이 추가됨으로써 데이터 전송 지연이 생기므로 기존 AODV보다 처리율은 감소하지만 노드들간의 에너지 효율이 증가된다. 그러므로 실시간 데이터를 처리하는 무선네트워크 환경에선 데이터의 처리율이 좋은 기존의 AODV 방식을 사용하고, 모니터링이 필요한 환경에서는 본 논문에서 제안하는 AODV-EE 방식을 사용하여 무선 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다. 따라서, 위의 두 가지 방식을 동일한 무선 센서 노드에 적용하여 필요에 따라 스위치가 가능하게 적응형 라우팅 프로토콜로 구현하여 네트워크의 목적에 맞도록 사용할 수 있다.

4. 결 론

최근 스마트 폰과 유비쿼터스 네트워크상에서의 센서 노드를 활용한 통신의 비중이 폭발적으로 늘어나면서 기존의 통신 프로토콜의 성능 개선 및 배터리 효율 문제가 대두되고 있다. 이로 인해 프로토콜의 비효율적인 부분의 성능을 개선하려는 노력이 많이 시도되고 있다. 따라서 무선 통신간의 배터리 효율 문제를 얼마나 개선하였는가에 따라 프로토콜의 실용 여부를 판단할 수 있다.

본 논문의 시뮬레이션 결과를 통해 일상생활 및 특수 목적으로 쓰이는 AODV 라우팅 프로토콜의 무선 환경에서의 배터리 효율이 어떠한가를 알아보고 특정 노드로 몰리는 현상을 해결하였다. 제안하는 AODV-EE 라우팅 프로토콜은 패킷 전송 중에 경로를 수정하는 과정에서 일부 지연 현상이 생기고 Fig. 9와 같이 전체 전송 데이터의 수가 상대적으로 줄어든다. 그러나 모니터링 및 감지를 목적으로 하는 네트워크는 데이터의 양이 상대적으로 많지 않아 전체 전송량 보다 각 노드의 배터리 수명이 중요하다. 이와 같은 특성을 고려할 때, 특정 노드에 데이터가 집중되어 노드가 빠르게 방전되는 현상을 막고 배터리 교체 주기를 늦추어 전체적인 네트워크의 수명을 늘릴 수 있을 것이라 기대된다.

따라서 본 논문에서 제안한 방법으로 AODV 프로토콜을 적용한다면 배터리를 수시로 교체하기 어려운 환경, 예를 들어 해양 생태계 감지기, 재난 경보용, 군사용 등에서 센서 노드들의 배터리 수명을 늘리는데 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. W. Mark, "Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing", Communications of the ACM (CACM), Vol.36, No.7, pp.74-84, 1993.
2. W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the 33rd International Conference on System Sciences(HICSS), Vol.2, pp. 1-10, 2000.
3. Lee Sung-Ju, and Kim Sung-Chun, "An Energy Efficient Unequal Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", The KIPS Transactions, Vol.16-C, No.6, pp.783-790, 2009.
4. J. Kulik, W. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks Kluwer Academic

- Publishers, vol. 8, Mar. 2002.
5. Jang Sik Bae, Young-Ho Sohn, and Wookhyun Kim, "Research on Security Routing Protocol Based on Trust System in Wireless Sensor Networks", JKIIIT, Vol.11, No.2, pp. 111-117, 2013.
 6. Charles E. Perkins, "AD HOC NETWORKING", Addison Wesley, December 2000
 7. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
 8. Teerawat Issariyakul and Ekram Hossain, "Introduction to Network Simulator NS2", Springer, 2009.
 9. Young-Jun Jo, Seong-Chul Kim, Yong-Bum Cho, and Sung-Joon Cho, "AODV Protocol with Load Distribution for Ubiquitous Sensor Networks", The Journal of Korea navigation institute, Vol.11, No.4, pp. 461-472, 2007.
-
- 접수일: 2015년 5월 21일, 심사일: 2015년 6월 3일,
게재확정일: 2015년 6월 22일