논문 2004-41TC-6-8

애드 혹 네트워크에서 패킷 전송 비용과 경로 재설정 비용을 고려한 경로 선택 알고리즘

An Enhanced Route Selection Algorithm Considering Packet Transmission Cost and Route Re-Establishment Cost in Ad Hoc Networks

신 일 희*, 이 채 우**

(Il-Hee Shin and Chae-Woo Lee)

요 약

애드 혹 네트워크에서 수명을 연장하기 위한 방법 중 하나인 경로 재설정 기법은 일정 노드로 라우팅 기능 부담의 편중을 막기 위해 일정량의 에너지 사용 후, 새로운 경로를 다시 찾는다. 경로 재설정 기법은 라우팅 기능 분담에 의한 네트워크 수명 연장 측면에서 뛰어난 성능을 보인다. 그러나 경로 재설정은 플러딩(Flooding)에 의한 경로 탐색 과정이 포함되기 때문에 그 시그널링 오버헤드는 상당하다. 경로 재설정 기법은 라우팅 기능의 분담으로 각 노드의 수명 연장을 기대할 수 있으나, 잦은 경로 재설정이 발생할 경우 시그널링 오버헤드로 인해 그 성능 향상이 반감될 수 있다. 본 논문에서 제안하는 경로 선택 알고리즘(Enhanced Route Selection Algorithm, ERSA)은 패킷 전송 비용과 함께 시그널링 오버헤드의 정도를 나타내는 경로 재설정 비용을 계산하여 경로 선택 과정에 활용한다. ERSA는 경로의 재설정 과정에서 발생하는 시그널링 오버헤드를 줄이는 새로운 알고리즘으로, 경로 재설정 비용을 경로 선택 과정에서 고려하여 재설정 과정 발생 횟수를 줄임으로써 네트워크의 에너지 사용을 효율적으로 수행할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 성능을 비교한 결과, ERSA는 타 알고리즘보다 네트워크를 구성하는 모든 노드의 에너지 총합을 나타내는 네트워크 에너지, 경로 재설정 시그널링에 의한 에너지 소모량, 세션이 지속되었을 때의 네트워크 에너지 감소 성향 등의 측면에서 뛰어난 성능을 보인다.

Abstract

The existing route re-establishment methods which intend to extend the lifetime of the network attempt to find a new route in order not to overly consume energy of certain nodes. These methods outperforms other routing algorithms in the network lifetime aspect because that they try to consume energy evenly for the entire network. However, these algorithms involve heavy signaling overheads because they find new routes based on flooding method and route re-establishment occurs often. Because of the overhead they often can not achieve the level of performance they intend to. In this paper, we propose a new route selection algorithm which takes into account costs for the packet transmission and the route re-establishment. Since the proposed algorithm considers future route re-establishment costs when it first find the route, it spends less energy to transmit given amount of data while evenly consuming energy as much as possible. Simulation results show that the proposed algorithm outperforms the existing route re-establishment methods in that after simulation it has the largest network energy which is the total summation of remaining energy of each node, the smallest energy consumed for route re-establishment, and the smallest energy needed for maintaining a session.

Keywords : 애드 혹(Ad-hoc), 라우팅(Routing), 에너지 효율(Energy Efficiency), 경로 재설정

I. 서 론

사용자가 느낄 수 없는 컴퓨팅 혹은 네트워킹이 이루어지는 유비쿼터스 시대를 지향하면서, 애드 혹 통신망의 중요성은 한층 커지고 있다. 대부분의 기존 무선 통신망에서 무선 채널을 통해 단말과 통신하는 기지국 혹

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Ajou University)
※ 본 논문은 한국과학재단에서 지원하는 연구지원 사업(R01-2003-000-10724-0)의 연구 결과입니다.
접수일자: 2004년3월26일, 수정완료일: 2004년6월1일

은 접속점을 중심으로 유선 통신망과 연결되는 통신 인프라 기반과는 달리 애드 혹 통신망은 단말끼리의 통신이나 이를 이용하여 유선망과 연동되는 환경을 의미한다. 애드 혹 통신망은 이동 컴퓨팅 기능을 가진 호스트이자 이동 애드 혹 라우팅 기능을 가진 라우터로 동작하는 노드에 의해 구성된다. 이동 노드에 의한 통신망이기 때문에 네트워크는 동적인 토폴로지를 가지며 유선망에 비해 경로의 변경과 네트워크 구성, 해제 등이 빈번하다. 또한 통신망 구성 요소끼리의 통신을 위해 멀티 홉을 이용하여 데이터를 전송하며 여러 노드간의 협력에 의해 보안 및 라우팅 기능 등을 해결하는 분산 운영 기능을 갖는다[9].

현재 애드 혹 통신망에서의 불안정한 링크 특성 해결 방안, TCP 성능 향상 기법, QoS 보장을 위한 메커니즘, 보안과 인증 등에 관한 연구가 진행되고 있으며, 그 중에서도 저전력을 지원하는 라우팅 프로토콜 연구는 네트워크의 수명을 늘이기 위한 기법으로써 그 중요성이 점차 커지고 있다. 애드 혹 통신망에서 에너지 수준이 낮은 노드가 많은 트래픽을 라우팅하게 되면 해당 노드의 에너지 잔량이 점차 작아져서 결국 이 노드를 경유하는 모든 경로들을 사용할 수 없게 되며, 이런 노드의 증가는 네트워크 분단(network partition)을 발생시키는 원인이 된다. 또한 에너지의 편중된 소비는 비대칭적인 링크 특성을 야기한다. 따라서, 각 노드들의 에너지 상태를 고려한 경로의 선택은 보다 안정적이고 많은 데이터 전송 특성을 보일 수 있다. 에너지 효율적인 라우팅을 지원하기 위해 에너지를 경로 설정 파라미터로 사용하는 기법[3], 전송 범위를 조절하는 파워 컨트롤 기법[10], 위치정보를 이용한 경로 탐색 비용을 줄이는 기법[5], 경로 재설정에 의한 라우팅 기능 부담의 분배 기법[1] 등이 연구되었다.

특히 경로 재설정 기법에 의한 라우팅 기능 부담의 분배(Distribution of Routing Load)는 경로 선택에서뿐만 아니라 경로 유지 단계에 있어서도 자신의 에너지 관련 요소를 확인하여 일정 수준 라우팅 기능 비용의 소비 후 다시 최적의 경로를 찾기 위한 과정에 돌입한다. 특정 노드를 라우팅 노드로 계속 사용할 경우 네트워크 분단의 가능성이 높아지므로 이를 막기 위해 최적 경로를 재설정한다. 그러나 이 기법은 계속적인 라우팅에 의해 특정 노드의 에너지 소비를 방지하는 대신 경로 재설정에 의한 시그널링 오버헤드가 단점으로 제시된다. 네트워크를 구성하는 노드의 수가 많을수록, 세션의 길이가 길수록 플러딩(flooding)을 통한 경로 재설정 오버헤드는 커지며, 결국 경로 재설정 오버헤드는 네트워크 수명 연장을 방해하는 요인으로 작용할 수 있다.

경로 재설정 기법에서의 라우팅 기능 부담 분배를 지원함과 동시에 시그널링 오버헤드를 줄이기 위한 방법으로, 본 논문에서는 전시 군 통신망이나 센서 네트워크처럼 필드에 뿌려진 노드의 수가 수백, 수천을 넘는 고밀도, 대규모 애드 혹 네트워크 망에서 저전력을 지원하는 경로 선택 라우팅 프로토콜(Enhanced Route Selection Algorithm, ERSA)을 제안하고, 그 성능을 타 알고리즘과 비교한다. ERSA에서는 저전력 지원 경로를 선택하기 위해 노드의 상황을 패킷 전송 비용과 함께 경로 재설정 비용을 고려하여 경로를 선택한다. 경로의 재설정 비용은 노드의 패킷 전송 비용의 증가 속도를 이용하여 계산되며, 계산된 비용을 이용한 경로 선택은 재설정 과정에 의한 시그널링 오버헤드를 줄인다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 노드의 여러 가지 상황과 경로 재설정 비용을 예측하여 경로 선택 과정에 이용함으로써 네트워크 분단 시점을 연장하는 저전력 라우팅을 실현한다.

본 논문의 나머지 부분에서는 Ⅱ장에서 기존의 저전력을 위한 경로 선택 알고리즘과 경로 유지 기법을 설명하고, Ⅲ장에서는 경로 재설정 비용을 고려한 새로운 저전력 경로 선택 라우팅 프로토콜을 제안한다. Ⅳ장에서 시뮬레이션을 이용한 성능 분석을 하고 Ⅴ장에서 논문을 마무리한다.

Ⅱ. 기존 경로 선택 프로토콜과 경로 유지 기법

본 장에서는 Ⅲ장에서 경로 재설정 비용을 고려한 최적 경로 선택 알고리즘을 제안하기에 앞서 애드 혹 통신망에서 기존의 경로 선택 프로토콜과 경로 유지 기법을 소개하도록 한다. 경로 선택에 있어서 가장 기본적인 방법으로 경로의 홉 수를 이용한 기법이 제시되었고[8], 에너지를 고려하는 방법으로 각 노드의 에너지 잔량과 에너지 소모율을 이용한 경로 선택 알고리즘이 제시되었다[3]. 또한 선택된 경로가 세션이 끝나거나 중간 노드의 링크 실패가 일어날 때까지 계속적으로 사용되는 것을 막아 네트워크의 수명을 늘리기 위한 방법으로 일정량의 에너지가 소모되면 경로 에러 패킷을 보내는 경로 유지 기법이 소개되었다[1]. 경로 유지 기법이란 경로의 선택 과정 후, 선택된 경로를 어떻게 운영하는지에 대한 정책이라 할 수 있으며, 크게 경로의 계속적인 유

지 방법과 재설정에 의한 최적 경로를 변환하는 방법으로 나눌 수 있다. Ⅱ장 1절에서 기존의 최적 경로 선택 프로토콜을 소개하고 Ⅱ장 2절에서 경로 유지 기법에 대한 구체적인 설명을 한다.

1. 최적 경로 선택 프로토콜의 연구동향

가. 최소 홉 경로 선택 프로토콜 (MHRP)

최소 홉 경로 선택 프로토콜(Minimum Hop Routing Protocol, MHRP)은 후보 경로(Candidate Route)들 중에서 송신 노드와 수신 노드 사이에 홉 수가 최소인 경로를 최적 경로로 선택하는 기법이다[8]. 이 방법은 최소 홉 수를 갖는 경로를 이용하여 데이터 전송을 하기 때문에 비교적 지연이 짧고 단말의 이동성과 링크 절단(link fail)과 같은 극단적인 네트워크 환경 변화가 없는 경우 최적 경로의 변화가 없으며, 비교적 안정적으로 경로를 유지한다. 그러나 후보 경로들의 홉 수가 모두 동일할 경우 경로 선택에 있어서 우선순위가 없어지며, 계속적으로 홉 수가 최소인 경로만을 이용하기 때문에 경로상의 노드에게만 라우팅 부담이 가중되어 네트워크 분단 시점을 앞당길 수 있다. [그림 1]은 각 경로 선택 프로토콜에 의해 선택된 경로들이 어떻게 다른지에 대한 예를 들기 위해 제시한 간단한 애드 혹 네트워크를 보이고 있다. [그림 1]에서 MHRP에 의해 선택된 경로는 "송신 노드(S)-Node_D-수신노드(D)"이다.

나. 최대 에너지 경로 선택 프로토콜 (MERP)

최대 에너지 경로 선택 프로토콜(Maximum Energy Routing Protocol, MERP)은 경로 선택 과정에서 후보 경로들 중 각 노드의 에너지 잔량의 총합이 최대가 되는 것을 최적 경로로 정하여 트래픽을 전송한다[2]. 즉 MERP는 현재 남아 있는 에너지의 총합이 큰 경로를 이용하여 데이터를 전송함으로써 에너지의 잔량이 비교적 부족한 노드의 패킷 전송 부담을 줄인다. 이 기법은 패킷 전달 역할을 하는 중간 노드의 기능을 수행함에 있어서 그 부담이 특정한 노드로 편중되는 것을 막고, 네트워크 전반에 걸쳐 공평하게 에너지 소모가 발생하도록 한다.

[그림 1]에서 경로 "송신 노드(S)-Node_B-Node_C-수신 노드(D)"는 MERP에 의해 선택된 경로이다.

MERP 기법에서 주의할 점은 또 다른 후보 경로를 포함하고 있는 후보 경로는 고려대상에서 제외시킨다는 점이다. 다른 후보 경로를 포함하는 경로는 경로상의 에너지 잔량의 합이 최대가 되어도 그 경로가 반드시 최적이라 할 수 없기 때문이다. 또한 MERP는 단순히

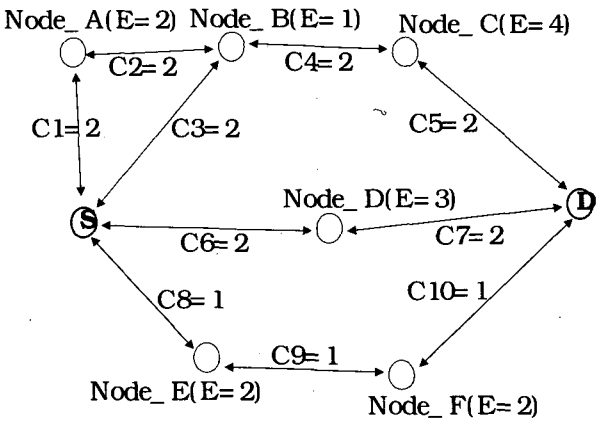

그림 1. 네트워크 토폴로지 (S는 송신노드, D는 수신노드, E는 노드의 에너지 잔량, C는 패킷전송비용)

Fig. 1. The network topology (S is a transmitter, D is a destination, E is the remaining energy of a node, and C is packet transmission cost.).

에너지 잔량의 총합이 최대가 되는 경로를 선택할 경우 수신 노드까지 많은 홉을 이용하여 돌아 온 경로가 선택될 수 있기 때문에 최적 경로를 선택하기위해서는 추가적인 고려가 필요하다. [그림 1]의 예에서 경로 "송신 노드(S)-Node_A-Node_B-Node_C-수신 노드(D)"는 경로 상 모든 노드의 에너지 총합이 최대가 된다. 그러나 이 경로는 또 다른 경로인 경로 "송신 노드(S)-Node_B-Node_C-수신 노드(D)"를 포함하기 때문에 최적 경로로 볼 수 없다. 따라서 다른 경로를 포함한 경로를 후보 경로에서 제외하며, 최적 경로는 경로 "송신 노드(S)-Node_B-Node_C-수신 노드(D)"가 선택된다.

다. 최소-최대 에너지 경로 선택 프로토콜 (MMERP)

최소-최대 에너지 경로 선택 프로토콜(Min-Max Energy Routing Protocol, MMERP)은 앞서 설명한 MERP와 같이 각 노드의 에너지 잔량을 경로 설정 비용으로 이용하여 최적 경로를 선택한다[2]. MMERP는 각 후보 경로 상의 중간 노드들 중 가장 에너지 잔량이 적은 노드들끼리 에너지 잔량을 비교하여 그 값이 최대인 노드가 속한 경로를 이용한다. 이 기법은 선택된 경로가 다른 후보 경로들의 최소 에너지 잔량 노드보다 높은 최소 에너지 잔량 노드를 보유하고 있기 때문에 낮은 에너지를 보유한 노드가 중간 노드로 먼저 사용되는 것을 막을 수 있다. MMERP는 이런 경로 선택 기법을 이용하여 조기에 네트워크가 분단되는 것을 막는다. [그림 1]의 예에서 경로 "송신 노드(S)-Node_D-수신 노드(D)" 는 MMERP에 의해 선택된 최적 경로이다.

라. 최소 전송 비용 경로 선택 프로토콜 (MTPR)

최소 전송 비용 경로 선택 프로토콜(Minimum Total Transmission Power Routing, MTPR)은 데이터 패킷을 송신 노드에서 수신 노드로 전송하기 위해 전송 비용을 가장 적게 소비하는 경로를 선택하는 알고리즘이다[7]. 실질적으로 패킷을 전송하는데 필요한 에너지가 적게 요구되는 경로를 선택함으로써 타 알고리즘에 비해 패킷 당 에너지의 소비량은 작은 값을 갖는다. 그러나 패킷의 전송 에너지만을 고려하여 라우터 기능을 제공하는 노드의 상황을 경로 선택 과정에 적용하지 못하는 단점이 있다. 이 기법에 의해 [그림 1]에서 선택된 최적 경로는 경로 "송신 노드(S)-Node_E-Node_F-수신 노드(D)"이다. MTRP의 단점인 노드 상황을 고려하기 위해 전송 비용의 결정에 관한 연구가 진행 중이며, 현재 에너지의 잔량뿐 만아니라 노드 간 거리에 따라 결정되는 패킷 전송에 필요한 에너지 량, 에너지 소모 속도, 전송 지연 시간, 트래픽 양, 그리고 각종 경계 값을 넘을 때마다 추가로 더해지는 일정 비용 등을 이용하여 전송 비용을 계산하는 기법들이 소개되고 있다[3].

2. 경로 유지 기법

경로 선택 과정 후, 애드 혹 통신망에서는 선택된 경로는 크게 다음 두 방법을 이용하여 유지된다. 경로 유지 기법은 크게 1) 세션이 완료될 때 까지 선택된 경로를 계속 사용하는 CRM(Continuing Route Mainte-nance) 기법과, 2) 기준량 이상의 패킷 전송 비용이 증가되었을 때 경로를 재설정하는 RERM(Re-Establish Route Maintenance) 기법으로 나눌 수 있다. CRM은 처음 경로가 선택된 후, 라우터 기능을 하는 중간 노드의 이동으로 인해 경로 사용이 불가능한 경우와 중간 노드의 에너지 고갈로 인하여 더 이상 라우터 기능을 수행하지 못할 경우를 제외하고는 선택된 경로를 계속적으로 사용한다. 이 기법은 세션 생성 당시 처음 선택된 경로를 계속 사용하기 때문에 구현이 비교적 간단하고, 트래픽의 지연 변화가 크지 않은 장점이 있다. 그러나 라우팅 부담이 선택된 경로의 중간 노드들로만 가중되어 편중된 에너지 소모에 의한 네트워크 분단을 앞당길 수 있다.

라우팅에 의한 편중된 에너지 소모는 RERM 기법에 의해 해결될 수 있다. RERM 기법은 중간 노드의 이동과 라우터 기능 상실의 경우뿐만 아니라 경로를 일정 기준 이상 사용한 경우에 경로 재설정 과정을 통하여 최적의 다른 경로를 찾고 라우팅 부담을 분담하는 방법이다. 여기서 경로의 재설정 기준은 경로 사용 시간이나 각 노드에서의 패킷 전송 비용의 증가 등이 적용된다. 특히 세션의 길이가 길 때 경로를 계속적으로 사용하는 것은 네트워크 분단을 빨리 발생시킬 수 있으며 RERM 기법을 사용하여 이와 같은 문제를 해결할 수 있다. RERM에서 경로를 재설정하기 위해 크게 다음과 같은 두 종류의 기법이 제시되고 있다[1].

- Semi-Global Approach(SGA): SGA는 송신 노드가 주기적으로 경로상의 모든 노드들의 에너지 잔량이나 패킷 전송 비용을 묻고 일정량의 비용이 증가했을 때 경로 탐색 과정을 통하여 라우팅 캐쉬를 갱신하는 기법이다. 이 방법은 많은 송신 노드와 중간 노드들 사이의 정보 교환을 위한 시그널링 패킷을 사용해야 하기 때문에 오버헤드가 높다는 단점이 있다.
- Local Approach(LA): 경로상의 모든 중간 노드는 경로 설정 시간부터 자신의 에너지 잔량 혹은 패킷 전송 비용을 계속적으로 확인하여 자신의 전송 비용의 증가가 일정 경계점 이상이 되면 그 노드는 송신 노드로 경로 에러(Route Error) 패킷을 전송한다. 경로 에러 패킷은 자신을 중간 노드로 사용하고 있는 세션이 더 이상 그 경로를 사용할 수 없음을 알려준다. 이 패킷을 받은 송신 노드는 경로 재설정 과정에 들어가 수신 노드까지의 최적 경로를 다시 찾는다. 각 중간 노드 i의 경로 에러 패킷 전송은 다음과 같은 조건일 때 t 시간에 발생한다. δ는 경로가 설정된 후 각 노드에서 사용할 수 있는 최대 경로 유지비용 증가량을 의미한다.

$$Cost_i(t) - Cost_i(t_0) \geq \delta \quad (1)$$

(단, t : 현재 시간, t_0 : 경로설정시간)

LA는 경로를 유지하는 각 중간 노드에서 자신의 현재 상황을 송신 노드 방향으로 즉시 알려 경로 유지 관점에서 능동적인 네트워크 상황에 대응하는 적절한 방법이다. 중간 노드의 에너지 잔량이 감소하거나, 자신을 중간 노드로 사용하는 링크 수가 증가하는 경우, 전송 비용은 증가하며 증가량이 δ 이상이 될 때 경로를 재설정하기 위한 에러 패킷을 보내게 된다. 즉, 중간 노드에서의 비용 증가가 δ 이상이 되지 않는 한 경로를 재설정하지 않고 처음 설정된 경로를 계속 사용한다.

그러나 LA는 비용의 증가 속도가 빠른 노드가 선택된 경로에 포함되어 있을 경우 경로 재설정 과정이 즉시 이루어져 재설정 과정의 오버헤드가 빈번히 발생할 위험이 있다. 특히 비용의 계산에 있어서 노드의 수명 시간이 경과할수록 패킷 전송 비용 값의 증가가 비선형

(non-linear)한 경우 재설정의 빈도수는 급속히 커지게 된다. 즉, 비용의 증가 속도를 고려치 않은 경로 선택은 재설정 과정의 시그널링에 의한 부담이 많은 경로를 선택할 수 있다. 시그널링에 의한 오버헤드는 네트워크를 구성하는 노드의 수가 많아질수록 커지며, 이로 인해 네트워크 전반에 걸친 에너지 소비가 발생하게 된다.

이와 같은 경로 재설정 오버헤드 문제를 해결하기 위해 3절에서는 노드의 다양한 환경을 고려한 패킷 전송 비용과 함께 경로 재설정 비용을 사용하여 저전력 라우팅을 실현한 ERSA 알고리즘을 소개한다.

III. 제안된 경로 선택 알고리즘 (ERSA)

본 논문에서는 on-demanding 방식의 DSR(Dynamic Source Routing)을 기반으로 하는 경로 선택 알고리즘(Enhanced Route Selection Algorithm, ERSA)을 제안한다. ERSA는 경로의 재설정 과정에 의한 시그널링 오버헤드를 감소시켜 전반적인 네트워크 수명을 연장시킨다. 즉, 경로 선택 과정에 있어서 패킷의 전송 비용뿐만 아니라 경로 재설정에 관한 시그널링 오버헤드 비용을 고려한다. 패킷 전송 비용과 경로 재설정 비용을 동시에 고려하는 새로운 라우팅 프로토콜은 기존의 패킷 전송 비용만을 고려한 라우팅 기법보다 에너지 효율적인 경로를 선택하는데 효과적이다. ERSA는 목적지까지의 경로를 찾는 경로 탐색 과정, 목적지까지 여러 개의 후보 경로들 사이에서 최적의 경로를 결정하는 경로 선택 과정, 그리고 각 링크 비용의 증가로 인해 경로를 다시 설정하기위한 경로 재설정 과정으로 이루어진다. 본 절에서는 ERSA의 단계별 세부과정을 구체적으로 살펴본다.

1. 경로 탐색 과정

ERSA에서 수신 노드까지의 경로를 찾는 과정인 경로 탐색은 기존의 DSR 방식과 유사하다. 전송할 데이터가 있는 송신 노드는 수신 노드로의 경로를 찾기 위해 RREQ(Route Request) 패킷에 송신 노드의 주소, 수신 노드의 주소, 그리고 중복된 RREQ 패킷의 재전송을 방지하기위한 RREQ_ID(IDentification)을 삽입하여 플러딩 방법으로 이웃 노드에게 전송한다. RREQ 패킷을 받은 이웃 노드는 자신의 주소와 경로 설정에 필요한 비용을 RREQ에 추가하여 브로드 캐스팅한다. 이때 각 노드는 RREQ 패킷의 RREQ_ID를 확인하여 처음 RREQ 패킷을 받고 일정 시간 동안 동일한 ID의 RREQ 패킷을 수집한 후 최적의 경로를 선택하여 브로드 캐스팅한다. RREQ_ID의 사용은 과도한 후보 경로 발생을 막고 보다 빠른 경로를 후보 경로로 설정하는 역할을 하며, 네트워크 전반적인 경로 설정 오버헤드를 줄인다. 다음은 각 후보 경로 중에서 최적 경로 선택에 사용되는 비용에 대한 설명이다. 비용은 패킷 전송 비용(Packet Transmission Cost)과 경로 재설정 비용(Re-Establish Route Cost)으로 나뉜다.

가. 패킷 전송 비용(PTC)

패킷 전송 비용(Packet Transmission Cost, PTC)은 하나의 패킷을 전송하는데 요구되는 비용을 의미한다. 각 중간 노드 i에서 PTC 계산은 다음의 수식을 따른다.

$$PTC_i = C_1(E_{RX} + E_{TX}) + C_2/E_{remain} + C_3E_{waste-rate} + C_4N_{link} + C_5T_{RX} \quad (2)$$

수식 (2)에서 E_{RX}, E_{TX}는 패킷의 전송, 수신 시 소모되는 에너지 량을 나타내며, E_{remain}은 각 노드의 에너지 잔량, $E_{waste-rate}$는 각 노드의 에너지 소모율, N_{link}은 중간노드로 사용하는 링크의 수, T_{RX}은 단위시간 당 전송되는 트래픽 양으로 정의된다. C_i (i=1,2,3,4,5)는 각 구성 요소의 가중치이며 애플리케이션 및 네트워크 상황에 따라 최적 값이 달라진다. PTC는 기존의 에너지 잔량을 이용한 패킷 전송 비용보다 정확한 노드 환경을 비용 계산에 적용한다.

나. 경로 재설정 비용 (RREC)

기존의 연구에서는 최적 경로를 선택하기 위해 후보 경로의 비용을 계산하는데 있어서 앞 절에서 언급했던 패킷 전송 비용만을 이용했다. 그러나 기존 기법에서는 패킷 전송 비용의 First-Moment만을 고려하여 경로를 선택하는 한계를 보였다. 이런 한계는 네트워크 분단을 앞당기는 결과를 가져온다. 본 논문에서는 경로 선택 과정에서 패킷 전송 비용의 Second-Moment 까지 고려하는 경로 유지 시간(Route LifeTime, RLT)과 경로 재설정 비용(Route Re-Establishment Cost, RREC) 개념을 제안한다. RLT은 각 노드에서 개별적으로 계산되는 파라미터로 경로의 중간 노드 역할을 수행할 수 있는 최대 시간이다. 선택된 경로의 최대 경로 유지 시간은 모든 중간 노드에서 계산된 RLT 중 최소 값에 해당한다. 각 중간 노드에서 지원하는 라우터 기능은 자신의 RLT까지 지속될 것으로 예측하며 RLT 이후 경로 에러 패킷을 전송해 재설정 과정을 요청한다.

중간 노드 i에서 RLT는 경로 탐색 과정에서 RREQ를 브로드캐스트 할 당시의 PTC 증가속도가 지속된다

고 가정할 경우 PTC가 경로 재설정 기준인 δ만큼 증가할 때까지의 추정된 시간이다. 따라서 RLT는 다음과 같이 표현된다.

$$RLT = \delta \cdot \left(\frac{d(PTC)}{dt} \right)^{-1} \quad (3)$$

(단, δ 는 최대 경로 유지비용 증가량)

RREC은 경로가 선택되고 패킷 전송 비용의 증가로 인한 경로 재설정이 얼마나 급속히 진행되는지에 대한 비용을 나타낸다. 따라서 RLT가 큰 값을 가질수록 RREC는 작은 값을 갖는다. 즉, 라우터 기능을 지원할 수 있는 시간인 RLT의 역수로 정의한다.

$$RREC = \frac{1}{RLT} = \frac{1}{\delta} \cdot \frac{d(PTC)}{dt} \quad (4)$$

다. 최종 경로 설정 비용(Cost)의 계산

중간 노드에서는 앞서 설명되었던 두개의 경로 설정 비용을 이용하여 RREQ 패킷에 삽입할 최종 경로 설정 비용(*Cost*)을 계산한다. PTC는 패킷 전송이 요구되는 비용을 나타내며, RREC는 경로 재설정 비용을 의미한다. RREC의 계산은 경로 설정 후 경로 유지 시간을 의미하는 RLT의 역수로 계산된다. 최종 경로 설정 비용에서 PTC 성분은 패킷을 전송하는데 있어서 노드에 부가되는 비용을 각 경로별로 비교하는 파라미터가 되며, RREC 성분은 경로 유지 시간이 긴 경로를 선택하여 경로 재설정 오버헤드를 줄이도록 한다. 최종 경로 설정 비용은 노드 i에서 다음 식으로 계산된다.

$$Cost_i = C_6 \cdot PTC_i + (1 - C_6) \cdot RREC_i \quad (5)$$

(단, $0 \leqq C_6 \leqq 1$)

수식 (5)에서 C_6은 PTC와 RREC에 대한 가중치 값으로, 세션의 평균 시간과 애드 혹 네트워크의 크기에 의해 결정된다. 경로 재설정에 의한 오버헤드는 세션의 평균 시간이 길수록, 네트워크 크기가 커질수록 증가된다. 따라서 C_6는 네트워크 환경에 따라 결정되며, 0과 1 사이의 값을 갖고 0값에 가까울수록 경로 재설정 오버헤드를 고려하지 않는 경로 선택이 이루어진다. 반대로 C_6이 1에 가까울수록 패킷 전송 비용만을 고려하는 기존 알고리즘의 특성을 갖는다.

2. 각 노드에서의 경로 선택 과정

중간 노드와 수신 노드는 RREQ 패킷을 처음 받은 후, 다른 후보 경로를 알려주는 동일한 ID의 RREQ 패킷을 수집하기 위해 후보 경로 수집 시간을 기다린다. 후보 경로 수집 시간 동안 중간 노드 혹은 수신 노드는 몇 개의 RREQ 패킷으로부터 후보 경로들을 제시 받는다. 수집 완료 후에 각 노드는 후보 경로들 중 가장 에너지 효율적이고 네트워크의 전체 수명이 최적이 되는 경로를 선택하게 된다. 최적 경로 선택은 RREQ 패킷에 포함된 최종 경로 설정 비용(*Cost*)을 비교하여 최소가 되는 것으로 한다. j개의 후보 경로들 중 최적 경로($Route_{optimum}$)는 다음과 같이 선택된다.

$$Route_{opimum} = \min\{\sum_i Cost_i^1, \sum_i Cost_i^2, .., \sum_i Cost_i^j\} \quad (6)$$

수식 (6)에서 i는 각 경로 상의 모든 노드를 의미한다. 즉, $\sum_i Cost_i^j$ 는 j경로상의 모든 노드의 *Cost*의 합을 의미하며, 최적 경로는 *Cost*의 합이 가장 작은 경로로 선택된다.

3. 경로 유지 과정

제안된 ERSA은 국소 접근법의 경로 유지 기법을 사용한다. 선택된 경로를 사용하여 패킷의 전달이 이루어지면서, 각 중간 노드에서 패킷 전송 비용인 PTC는 증가하게 된다. 경로상의 어느 중간 노드 PTC의 증가량이 최대 경로 유지비용 증가량(δ) 이상이 될 경우 그 노드는 송신 노드로의 역방향으로 경로 에러 패킷을 전송한다. 이 패킷을 받은 수신 노드 사이의 중간 노드는 자신의 경로 캐쉬에 수신 노드로의 경로가 존재하면 그 경로를 그대로 사용하며, 존재하지 않는다면 송신 노드 쪽으로 다시 포워딩한다. 경로 캐쉬에 저장된 각 노드로의 경로는 일정 시간 이내의 정보에 의한 것으로 캐쉬 내 경로는 실시간 경로 정보를 갖고 있는 것으로 가정한다. 따라서 네트워크 상황이 능동적일수록 캐쉬 내 경로 유지 시간은 짧아진다. 경로 에러 패킷을 받은 송신 노드가 수신 노드로의 또 다른 경로를 알지 못할 경우, 수신 노드는 RREQ 패킷을 이용한 경로 탐색 과정으로 들어가 최적 경로를 다시 찾기 시작한다.

Ⅳ. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 시뮬레이션을 이용해 본 논문에서 제안한 경로 재설정 오버헤드를 줄이는 ERSA와 타 알고리

증과의 성능을 비교, 분석 한다. 알고리즘의 성능 분석을 위해 네트워크를 구성하는 노드의 에너지 총합을 의미하는 네트워크 에너지 비교, 경로 재설정에 의한 에너지 소비량의 비교, 시간에 따른 네트워크 에너지 존재량을 비교한다.

1. 시뮬레이션 시나리오

성능 분석을 위해 사용된 시나리오는 비교적 간단한 네트워크 토폴로지를 이용하여 구성한다. [그림 2]는 $N\times N$의 정형화된 네트워크 토폴로지를 보여준다. 실제 애드 혹 네트워크에서는 시뮬레이션에서 가정한 $N\times N$의 정형화된 토폴로지로 반드시 구성되지는 않지만, 정형화된 토폴로지의 이용만으로도 본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘과의 성능 확인 및 비교가 가능하다. 각 노드는 네트워크 형성 당시 모두 동일한 초기 에너지를 보유한다. 한 쌍의 송, 수신 노드가 존재하고, 송신 노드는 5 (packets/s)의 전송 속도를 갖는 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 이용하여 수신 노드로 패킷을 전송한다. 후보 경로는 RREQ 패킷에 의해 만들어지며, 각 노드에서 동일한 ID의 RREQ를 수집하는 시간은 동일한 홉을 거친 패킷이 수집되는 시간으로 가정한다. 또한 한번만 RREQ를 브로드캐스트한다. 각 알고리즘은 경로 유지 기법으로 RERM의 Local Approach 기법을 사용한다. 경로 재설정 비용을 고려했을 때와 그렇지 않은 경우, 성능 차를 분명히 하기 위해 노드에서 보유하고 있는 라우팅 캐쉬의 정보 유지시간은 0으로 한다. 라우팅 캐쉬의 사용은 경로 재설정 자체를 줄이는 역할을 할 뿐, 이는 알고리즘들의 성능 차에 영향을 미치지 않는다. 각 노드에서 경로 유지 시간(RLT)의 계산은 초기 평균 115(s)인 Exponential distribution을 따르는 것으로 설정하고 최소 크기는 5(s)로 한다. PTC는 각 노드의 에너지 잔량만을 이용하여 계산하며, PTC의 증가률의 증가에 따라 평균적인 경로 유지 시간은 점차 감소한다. <표 1>에 시뮬레이션에서 사용된 환경을 정리했다.

2. 결과 분석

시뮬레이션을 통한 성능 분석은 앞서 언급한 기존의 프로토콜 중 에너지가 고려된 경로 선택 알고리즘인 MERP와 MMERP와의 비교를 이용한다.

가. 네트워크 크기에 따른 에너지 잔량 분석

송신 노드가 500개의 세션을 열어 수신 노드로 데이터를 전송했을 경우 네트워크 내에 존재하는 에너지 잔량을 비교해 본다. 세션의 평균 길이는 300(s)이고, Exponential distribution을 따른다. [그림 3]은 500개의 세션 완료 후 네트워크 에너지 잔량비(Network Energy Ratio)를 네트워크 크기에 따라 비교한 그래프이다. 네트워크 에너지 잔량비는 다음처럼 계산된다.

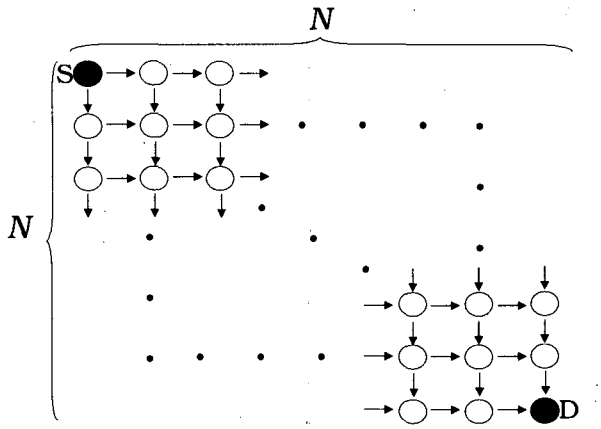

그림 2. 시뮬레이션을 위한 N×N 네트워크 토폴로지 (화살표: 패킷 전송 방향, S:송신 노드, D:수신 노드)

Fig. 2. N×N network topology for simulation. (The arrow means packet transmission direction, S is a transmitter, and D is a destination.)

표 1. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터 값

Table 1. The parameter values for simulation environments.

Parameters	Values
경로 캐쉬 유지 시간(s)	0(s)
패킷 전송 속도(packet/s)	CBR, 5(packets/s)
Network Size	$N\times N$
경로 유지 시간(s)	min_time:5(s), Initial_Average_Time:115(s)
PTC	C_2 = 1, others = 0
Cost	C_6 = 0.5

$$Network\ Energy\ Ratio = \frac{Total\ Current\ Energy}{Total\ Initial\ Full\ Energy} \quad (7)$$

[그림 3]에서 성능 비교를 위한 에너지 관련 비용을 적용한 경로 선택 알고리즘 중 본 논문에서 제안한 ERSA가 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 경로 재설정 오버헤드는 플러딩에 의한 시그널링 비용에 의한 것으로 네트워크 크기가 커질수록 그 성능 차는 분명해 진다. 주목해야 할 점은 본 시뮬레이션에서 송, 수신 쌍이 한 개로 설정되었기 때문에 그 성능차가 그리 크게 나타나지 않은 점이다. 네트워크의 송, 수신 쌍이

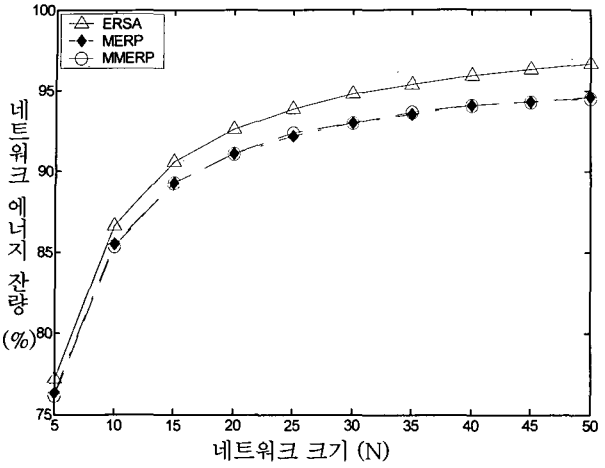

그림 3. 통신 완료 후 네트워크 크기에 따른 네트워크 에너지 잔량 비

Fig. 3. The remaining network energy ratio and network size after communications.

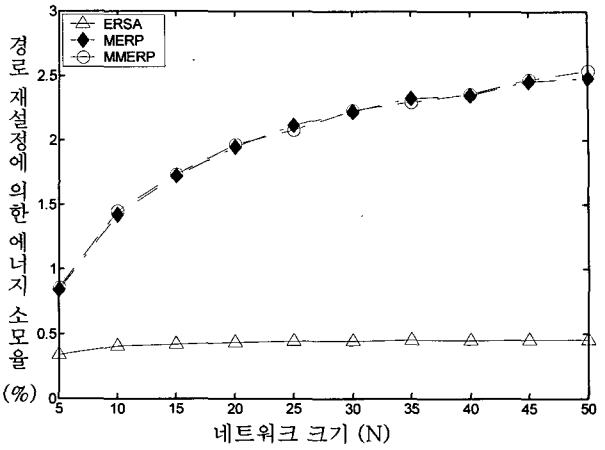

그림 4. 통신 완료 후 네트워크 크기에 따른 경로 재설정에 의한 에너지 소모율

Fig. 4. The energy attrition ratio by RRE phase and network size after communications.

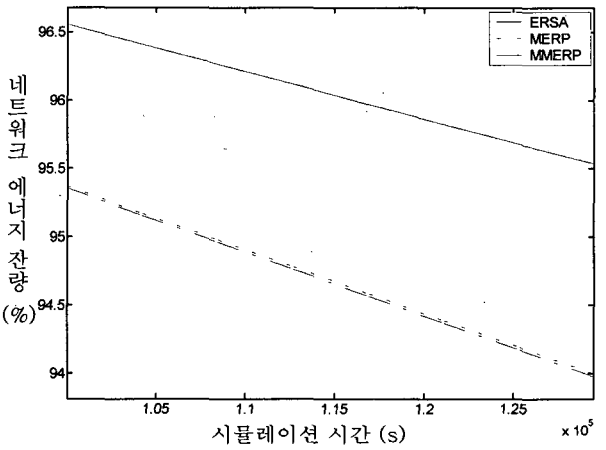

그림 5. 통신 중 네트워크 크기에 따른 네트워크 에너지 잔량 비

Fig. 5. The remaining network energy ratio and simulation time during a communication.

많아질수록, 그리고 네트워크 형성 시간이 길어질수록 에너지 잔량 차는 더욱 커지게 된다.

나. 경로 재설정 오버헤드 분석

경로 재설정 오버헤드 분석을 위해 송신 노드는 500개의 세션을 열어 수신 노드로 데이터를 전송한다. 각 세션은 평균 300(s)를 갖는 Exponential distribution을 따르며, 송신 노드는 5packets/s의 전송속도로 CBR을 유지한다. [그림 4]는 500개의 세션이 완료된 후 중간 노드로 사용된 노드에서 경로 재설정에 의한 노드 당 평균적인 에너지 소모량을 나타낸다. 경로 재설정 오버헤드가 고려된 제안된 알고리즘인 ERSA는 시그널링에 의한 에너지 소모가 가장 작은 것으로 나타나며, 타 알고리즘은 비슷한 경로 재설정 오버헤드를 나타낸다. 네트워크의 크기가 커질수록 모든 알고리즘에서 에너지 소모량은 커지나 증가률이 점차 줄어드는 것은 네트워크 구성 노드의 수가 많을수록 동일 량의 트래픽을 전송하는데 노드 하나가 부담해야 하는 평균적인 시그널링 오버헤드로 인한 에너지 소모량이 줄기 때문이다.

다. 시간에 따른 네트워크 에너지 잔량 분석

시뮬레이션 시간에 따른 네트워크 에너지 잔량을 확인하기 위해 송신 노드는 5packets/s의 전송 속도를 갖는 CBR 트래픽을 수신 노드로 계속 전송한다. 네트워크 크기를 30×30(nodes)로 고정시켰을 때, [그림 5]는 시뮬레이션 시간이 계속됨에 따라 정형화된 네트워크 에너지 잔량을 알고리즘 별로 나타낸 것이다. 제안된 ERSA는 타 알고리즘 보다 네트워크 에너지 소모가 작고 다른 두개의 알고리즘에서 거의 비슷한 성능을 보임을 알 수 있다. 시뮬레이션 시간이 지속될수록 ERSA와의 성능 차는 점차 커진다. 그 이유는 타 알고리즘에서의 경로 재설정 과정은 ERSA에서 보다 빈번히 일어나며, 그에 따른 시간당 에너지 소모가 커지기 때문이다.

본 논문에서 수행한 시뮬레이션에서 패킷 전송 비용과 경로 재설정 비용을 함께 고려한 ERSA는 타 알고리즘 보다 세션 완료 후 네트워크 에너지 잔량, 시그널링에 의한 에너지 소모량, 세션 수행 중 시간에 따른 네트워크 에너지 잔량 측면에서 우수한 성능을 보였다. 시뮬레이션의 결과는 제시된 알고리즘이 경로 재설정에 의한 최적 경로를 다시 찾는 경로 유지 기법을 사용하여 특정 노드의 편중된 에너지 소모를 막는 장점을 살림과 동시에, 타 알고리즘보다 재설정 시그널링에 의한 오버헤드를 줄여 저전력 라우팅을 실현함을 보여준다.

시뮬레이션에서 시나리오는 $N \times N$의 정형화된 네트워

크 토폴로지를 갖는다. 실제적인 애드 혹 네트워크에서는 정형적인 토폴로지를 갖기는 힘들며 노드의 이동이 빈번하고 면적 당 노드 수를 나타내는 노드 밀도가 고르지 않다. 그러나 재설정에 의한 오버헤드 비교를 중심으로 수행된 시뮬레이션에서 보여준 결과는 플러딩에 의한 시그널링 부담이 모두 동일한 것으로 가정했기 때문에 실제 네트워크에서의 결과와 비교적 동일할 것으로 예상된다. 또한 노드의 이동이 빈번한 네트워크에서는 경로의 재설정이 패킷 전송 비용의 증가와 이동으로 인한 링크 패일로 발생하며, 라우팅 캐쉬의 갱신 주기가 짧아지는 상황으로 가정할 수 있다. 따라서 이동성이 가미된 환경에서도 본 시뮬레이션의 결과에서 보여주는 경로 재설정 기법을 사용하는 프로토콜의 성능 차가 비슷할 것으로 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 에너지를 고려한 경로 선택 알고리즘 소개와 함께 경로 선택 과정을 최적화 할 수 있는 패킷 전송 비용과 기존 알고리즘에서 고려치 못했던 시그널링 오버헤드에 의한 경로 재설정 비용을 추가하여, 경로 재설정 단계를 줄임으로써 에너지 효율을 높인 경로 선택 알고리즘(Enhanced Route Selection Algorithm)을 제안하였다. ERSA는 기존 알고리즘에서 고려하지 않았던 경로 재설정에 의한 시그널링 오버헤드에 대한 비용을 추가하여 오버헤드가 최소가 되는 경로를 선택하여 조기의 네트워크 분단을 막는다. 특히 제안된 알고리즘은 시그널링 오버헤드가 비교적 큰 고밀도, 대규모 애드 혹 네트워크일수록 뛰어난 성능을 보인다. 또한 경로 재설정 과정이 여러 번 요구되는 비교적 긴 세션일 때 에너지 효율적인 경로를 찾음과 동시에 네트워크의 부담을 줄인다.

본 논문에서는 시그널링 오버헤드를 줄이기 위해 새로운 비용 계산 파라미터인 경로 유지 시간(Route LifeTime) 개념을 도입했다. 경로 유지 시간은 경로 선택 과정 당시 각 노드에서 라우터 기능 지원 시간을 현재 노드 상황을 적절히 적용하여 추정한다. 경로 선택 과정에서 추정된 경로 유지 시간을 이용한 경로 재설정 비용의 사용은 재설정 과정에서 요구되는 네트워크의 부담을 줄인다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 이용하여 타 알고리즘과의 성능을 비교하였다. 알고리즘 간의 성능 차를 확연히 구분하기 위하여 시뮬레이션 환경을 비교적 간단하게 하였으며, 시뮬레이션 결과에서 송, 수신 노드가 한 쌍일 때를 감안한 것으로 그 수가 늘어날수록 성능 차는 확연함을 보여주었다. 시뮬레이션 결과, 경로 재설정 비용을 감안한 경로 설정 알고리즘에서 네트워크 에너지 효율성이 높은 것으로 나타났다. 또한 그 성능 차는 네트워크 크기가 커질수록 세션이 계속 진행 될수록 커진다.

본 논문에서는 저전력을 지원하는 경로 선택에 있어서 경로 재설정 비용에 대한 개념과 프로토콜 성능 확인에 중점을 두고 서술하였다. 앞으로의 연구에서 세션 길이, 네트워크 크기 등의 각 네트워크 상황에 맞는 최대 경로 유지비용 증가량(δ)의 결정 방법, 실시간으로 요구되는 비용의 캐쉬 갱신 및 활용 기법, 비용을 결정하는 가중치 요소의 설정 방법 등이 계속적으로 고려되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Morteza Maleki, Karthik Dantu and Massoud Pedram, "Power-aware Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. ISLPED 2002, pp:72-75.

[2] Dongkyun Kim, J.J. Garcia-Luna-Aceves and Katia Obraczka, "Performance Analysis of Power-Aware Route Selection Protocols in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. IEEE Networks 2002, Aug. 2002.

[3] Moustafa A. Youssef, Mohamed F. Younis and Khaled A. Arisha, "Performance Evaluation of an Energy-Aware Routing Protocol for Sensor Networks," Proc. ICWN 2002, Jun. 2002.

[4] Xiaoyan Hong, Kaixin Xu and Mario Gerla, "Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," Network, IEEE, vol:16, Jul.-Aug. 2002, pp:11-21.

[5] Martin Mauve and Jorg Widmer, "A Survey on Position-Based Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Network, IEEE, vol:15, Nov.-Dec. 2001, pp:30-39.

[6] Elizabeth M. Royer and Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," Personal Communications, IEEE, vol:6, Apr. 1999, pp:46-55.

[7] C.-K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks," Communications Magazine, IEEE, vol:39, Jun. 2001, pp:138-147.

[8] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasu

-bramaniam and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," Communications Magazine, IEEE, Aug. 2002, pp:102-114.
[9] 권혜연, 신재욱, 이병복, 최지혁, 남상우, 임선배, "이동 Ad Hoc 네트워크 기술 동향," 전자통신동향 분석 제18권 제2호 2003년 4월.
[10] Kentaro Tsudaka, Masanobu Kawahara, Akira Matsumoto and Hiromi Okada, "Power Control Routing for Multi Hop Wireless Ad-hoc Network," GLOBECOM01, vol:5, Nov. 2001, pp:2819-2924.

저 자 소 개

신 일 희(학생회원)
2003년 아주대학교 전자공학과 학사 졸업.
2003년 3월~현재 아주대학교 대학원 전자공학과 석사과정.

<주관심분야: Internet QoS, Ubiquitous network -ing. Mobility Management>

이 채 우(정회원)
1985년 서울대학교 제어계측 학사 졸업.
1988년 한국과학기술원 전자공학과 석사 졸업.
1995년 University of Iowa 박사졸업.
1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies Korea 이사.
2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수.
2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과 조교수.
<주관심분야: 광대역 통신망, Ubiquitous network -ing, Traffic Engineering>