

논문 2010-5-4

에드혹 네트워크에서 최대 네트워크 유지 시간을 위한 다중경로 에너지 고려 라우팅 기법

The Multi-path Power-aware Source Routing(MPSR) for the Maximum Network Lifetime in Ad-Hoc Networks

황호영*, 서효중**

Hoyoung Hwang, Hyo-Joong Suh

요약 에드혹 네트워크는 에너지 측면에서는 지속적으로 공급할 수 있는 에너지원이 노드에 연결 될 수 없기 때문에 모든 노드들이 제한된 에너지로만 동작해야하는 제약이 있다. 이러한 문제에 대해 제한된 에너지로부터 가능한 긴 네트워크 유지 시간을 이끌어 내고자 하는 많은 연구들이 진행되어 왔으며 PSR (Power-aware Source Routing), HPSR (Hierarchical Power-aware Source Routing) 등의 에너지를 고려한 네트워크 라우팅 기법들이 나타나게 되었다. 이들 기법은 패킷 전달시 마다 에너지 소비 면에서 최적 또는 그와 유사한 경로 하나를 설정하여 사용함으로써 개별 경로 규모면에서는 매우 효과적이거나 트래픽 부하가 한 경로에만 집중됨으로써 다수 노드의 고른 에너지 소모가 바람직한 네트워크 규모면에서는 특정 노드의 빠른 에너지 고갈을 유도해 효율성이 떨어진다. 본 논문에서 제시하는 MPSR(Multi-path Power-aware Source Routing)은 동시간 다중 경로 사용의 개념을 도입함으로써 최대네트워크 유지 시간을 위한 에너지 고려 라우팅 기법을 제안한다.

Abstract In Ad-Hoc Networks, the limited energy is the key issue for longer network operation time. To solve this problem, various energy-aware routing techniques have been proposed including PSR (Power-aware Source Routing), HPSR (Hierarchical Power-aware Source Routing), and etc. Those techniques generally select the most adequate route considering the energy consumption so that the energy efficiency can be improved. However, There are problems in those techniques that traffic can be concentrated in some specific area in a network. In this paper, a new energy aware routing technique called MPSR is proposed to achieve longer network lifetime and fewer rerouting attempts.

Key Words : 에드혹 네트워크, 라우팅, 다중 경로, 최대 네트워크 유지 시간

1. 서 론

무선 단말기만으로 네트워크를 구성하는 에드혹 네트워크는 시·공간적 제약으로부터 네트워크 구성이 보다 자유롭지만, 커뮤니케이션의 무선화에 따라 무선 단말기

작동을 위한 에너지 공급원이 강제적으로 단절되므로 단말기들이 자체의 제한된 에너지만으로 동작하여야 하며 형성된 네트워크 역시 제한된 에너지로 유지 할 수밖에 없는 새로운 제약을 갖는다. 쉽고 빠르며 저비용 구축의 장점을 가지고 있더라도 구축된 망의 수명이 충분히 길지 않으면 실효성이 없기 때문에 이와 관련한 많은 연구들이 에드혹 네트워크의 본격적인 등장 초기부터 다양한 방향으로 진행되어 왔다. 이러한 연구들의 목적은 제한된 에너지를 통해 통신에 이상 없이 최대한 긴 네트워크

* 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.

*정회원, 한성대학교 멀티미디어공학부

**정회원, 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 (교신저자)

접수일자 2010.8.19 수정일자 2010.9.18

게재확정일자 2010.10.15

유지 시간을 얻는 것이다.

네트워크 라우팅 기법은 네트워크 구성 단말기 개개의 동작 여부를 결정하는 지침으로, 이에 따라 에너지 소비 여부도 결정되기 때문에 에너지 관리의 근본적인 요소를 갖는다. 에너지 고려 라우팅 기법 연구는 에너지 소모가 가장 작은 경로를 찾는 것에서 시작하였으며, “Power-Aware Routing in Mobile Ad-Hoc Networks,”^[1]과 MTPR(Minimum Total Transmission Power Routing)^[2]이 대표적인 형태로써 이들 연구는 경로의 에너지 소모량을 최소화 시키는 것이 가장 긴 네트워크 유지 시간을 얻을 수 있는 방안으로 보았다.

이후에는 각 노드가 보유한 에너지량을 고려한 라우팅 기법들이 등장했다. MBCR(Minimum Battery Cost Routing)^[2]은 경로의 에너지 소모량이 아닌 노드가 보유한 에너지 잔량(Redundancy Energy)이 최대인 경로를 선택한다. 노드의 잔량 에너지를 고려하는 방식은 소모 에너지 비용이 최소인 경로라도 경로에 포함된 노드들의 잔량 에너지가 작을 경우 오래가지 못함을 인식한데서 비롯되었다. MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing)^[1], CMBCR(Conditional Max-Min Battery Cost routing)^[2] 등은 최소 에너지 소모 경로와 최대 에너지 보유 경로 사이의 관계를 에너지 잔량을 기반으로 절충하여 보다 높은 에너지 효율성을 갖도록 하였다.

에너지 고려 라우팅의 연구들은 경로 재설정 과정을 추가함으로써 라우팅이 하나의 경로에서 벗어나 또 다른 경로를 사용하도록 만들었다. 경로 재설정 과정은 네트워크에서 발생하는 세션의 길이가 경로에 속한 노드의 에너지량 이상으로 지속될 수 있도록 하였는데 큰 의미를 부여할 수 있다. PSR(Power-aware Source Routing)^[3]은 에너지를 고려한 경로 재설정 과정의 시초적인 라우팅 기법이며, HPSR(Hierarchical Power-aware Source Routing)^[4]은 보조 경로의 개념을 도입해 보다 효율적으로 재설정을 구현한 연구 기법들이다.

본 논문은 효율적인 경로 재설정을 위한 연구의 연장선상에서 MPSR(Multi-path Power-aware Source Routing)을 제안한다. 경로 재설정이 일어나는 근본적인 이유는 하나의 경로에 집중된 트래픽 부하를 다른 경로로 돌려 에너지 소모를 분산시킴으로서 특정 노드의 에너지가 빠르게 고갈되는 것을 막기 위함이다. 만약 초기부터 변경될 경로를 미리 가지고 사용하게 된다면 경로 변경이 일어날 필요가 없으며 노드의 트래픽 부하량이

초기부터 분산됨으로 노드가 받는 에너지 압박이 현저히 줄어들게 된다. 에너지 압박이 줄게 되면 노드는 필요한 시기에 적절한 위치에서 경로에 포함될 가능성이 높아진다. HPSR은 초기에 보조 경로의 의미로 다수의 경로를 미리 획득해 놓음으로서 어느 정도 이러한 개념이 적용되었다. 그러나 보조 경로와 주경로의 노드가 겹치며, 한번에 하나의 경로만을 사용함으로써 경로 상의 노드는 경로가 변경되기 직전까지의 에너지 압박을 고스란히 받게 된다.

제안하는 MPSR은 동일 시간에 다중 경로를 사용함으로써 이러한 개념을 충실히 구현 하였다. 초기 경로 설정에서 최적인 경로를 포함한 다수의 경로를 미리 획득하고 발생하는 트래픽을 경로들의 에너지 량에 맞추어 분산시킴으로써 다른 세션의 경로 설정에서 적절한 위치에 놓인 노드가 에너지 량의 부족으로 선택에서 제외되는 현상을 최소화 한다.

본 논문은 에너지 고려 라우팅을 위한 효과적인 다중 경로 사용 기법에 필요한 요소를 구현하고 그 효과를 이전 기법들과 비교 분석해 볼 것이다. 시뮬레이션을 통한 다수의 실험에서 MPSR의 방식이 이전 기법들에 비해 보다 뛰어난 에너지 절감 효과와 증가된 네트워크 유지 시간을 보였음을 확인하였다. 2장에서는 MPSR의 구조 이해에 필요한 에드혹 네트워크의 에너지 고려 라우팅 기법들을 알아보고, 이를 바탕으로 3장에서 MPSR의 구조를 기술한다. 4장에서 시뮬레이션 실험을 통해 효율성을 검증하며 5장 결론을 기술한다.

II. 에너지 고려 라우팅 기법

1. 에너지 고려 라우팅 기법 연구의 흐름

에너지 고려 라우팅 기법에 대한 연구는 크게 두 부분으로 나누어 볼 수 있다. 하나는 라우팅의 근거에 대한 것으로 통신을 위한 경로 설정 시 에너지 효율을 위해 어떠한 요소를 어떻게 고려할 것인지에 대한 연구이다. 초기에 등장한 에너지 고려 라우팅 기법들^[1,2]은 출발지 노드부터 목적지 까지 에너지 소비량이 최소인 경로를 라우팅의 근거로 설정했다. 직관적인 시각에서 합리적인 것 같지만, 노드가 보유한 에너지량을 고려하지 않아 최적 경로에 매우 소량의 에너지를 갖는 노드가 있을 시에는 네트워크가 빠르게 붕괴될 수 있다는 문제점을 가지

고 있었다.

에너지 고려 라우팅 기법에 대한 다른 한 부분은 실제 라우팅 방식에 대한 연구로 정의 내릴 수 있다. 기존 연구들은 세션의 길이가 충분히 더 길어진 경우를 고려하게 되면 경로 설정 시 그 근거가 아무리 합리적이라도 경로가 보유한 에너지량 정도 밖에는 네트워크를 유지할 수가 없게 되는데 라우팅 방식에 대한 연구를 통해 한 경로에서 네트워크 전체로 에너지를 사용할 수 있도록 차원을 넓힐 수가 있다.

이 부분에서 비교적 시초라 할 수 있는 라우팅 기법은 PSR(Power-aware Source Routing)^[3]로서 모든 노드에 상대적인 에너지량 기준을 적용하여 주기적으로 경로를 변경하게 함으로써 네트워크 전체에 걸쳐 노드가 골고루 사용될 수 있도록 하였다. PSR의 방식은 보다 긴 세션 길이에서 획기적으로 네트워크 유지 시간을 늘렸지만 경로 변경 시 경로 설정을 위한 과정의 에너지 소비가 자주 발생하게 됨으로써 이러한 비용을 줄이기 위한 연구의 여지를 남기게 되었다. 이러한 연구 중 하나로써 HPSR(Hierarchical Power-aware Source Routing)^[4]은 경로 변경 시 소모 에너지가 훨씬 적은 소규모 경로 변경 단계를 추가하여 단계적으로 적용함으로써 보다 효율적인 경로 변경 방식을 제안하였다.

가. Power-aware Source Routing(PSR)

PSR은 기존의 에너지를 고려하지 않은 일반적인 On-Demanding 방식의 라우팅 기법을 기반으로 에너지 고려를 위한 절차들을 적용한 연구들 중 하나로써 본 논문에서 제안하는 MPSR은 PSR의 에너지 고려 방식에 기반을 두고 있다. On-Demanding 방식의 라우팅은 세 개의 제어 패킷으로 이루어진다. 이들을 각각 RREQ (Route Request), RREP (Route Reply), RERR (Route Error)라고 명하며 각각의 역할은 다음과 같다.

표 1. 제어 패킷의 종류와 역할
Table 1. Type and role of control packets

종류	송수신 위치	역할
RREQ	S -> D	경로 탐색
RREP	D -> S	탐색된 경로 전달
RERR	E -> S	경로의 단절 통보

PSR이 기반하는 라우팅 기법은 DSR(Dynamic Source Routing)[5]로서 목적지 노드에 가장 먼저 도착

한 RREQ를 선택하여 전송이 가장 빠른 경로를 최적의 경로로 선택하는 기법이다. 이동성에 따른 네트워크 위상 변화에 적절히 대응하기 위해 경로 유지를 위한 절차를 따로 구현해 놓고 있으며 RERR이라는 새로운 제어 패킷을 추가하여 경로가 단절되었을 시 이를 출발지 노드에 통보하는 역할을 수행하도록 하였다.

PSR이 DSR에 적용한 에너지 고려 기법들은 경로 탐색과 경로 유지에 차이를 갖는다. 경로 탐색 측면에서 DSR은 RREQ의 브로드 캐스팅 시 모든 노드가 첫 번째로 전달된 RREQ만을 수용하여 재 브로드 캐스팅하고 후에 도착하는 RREQ들은 모두 버림으로써 결국은 가장 먼저 목적지에 도착한 RREQ를 경로로 선택하게 된다. 에너지 관리에 목적을 둔 PSR은 모든 노드들이 RREQ를 받을 때 일정 시간 간격을 설정함으로써 해당 기준 시간 안에 도착한 RREQ들 중 그 경로의 에너지 소모비용이 가장 적은 것을 선택하여 재 브로드 캐스팅한다. 목적지 노드에서는 결국 가장 비용이 적은 경로를 선택하게 된다. PSR이 측정하는 경로의 에너지 비용은 다음과 같다.

$$C(\pi, t) = \sum_{i \in \pi} C_i(t) \tag{1}$$

$$C_i(t) = \rho_i \cdot \left(\frac{F_i}{R_i(t)} \right)^\alpha \tag{2}$$

식 (2)의 $C_i(t)$ 는 현재 시간에 노드 i 를 사용하는 비용으로 ρ_i 는 전송 시 소모 에너지를 나타내며 F_i 는 초기 에너지, $R_i(t)$ 는 현재 시간 노드의 잔량 에너지를 나타낸다. 식 (1)의 $C(\pi, t)$ 는 경로의 비용으로 경로에 속한 모든 노드 비용의 합으로 표현된다.

DSR에는 경로가 설정된 뒤 노드의 이동으로 인해 설정된 경로가 단절되는 것에 대처하기 위해 경로 유지 절차를 시행한다. 경로 상의 노드가 경로를 이탈하게 되면 이전의 이웃 노드가 이를 파악하고 RERR(Route Error) 패킷을 출발지 노드에게 보냄으로써 경로를 재설정 하도록 만든다. PSR은 이것을 경로 상의 특정 노드의 에너지가 일정 기준 이하로 떨어졌을 때 사용함으로써 한 경로가 집중적으로 사용되는 것을 막고 네트워크 전체 노드의 에너지를 골고루 사용되도록 하였다. PSR이 RERR을 발생시키는 기준은 다음과 같다.

$$C_i(t) - C_i(t_0) \geq \delta \tag{3}$$

t 는 현재 시간이며 t_0 는 경로가 설정된 시점의 시간이다. δ 는 상수로서 경로 변경의 여부의 기준이 된다. 이 수식은 경로가 처음 설정된 후부터 노드의 현재 에너지가 일정량 떨어졌을 때 RERR을 발생하도록 만든다.

나. Hierarchical Power-aware Source Routing (HPSR)

HPSR은 PSR을 기반으로 경로 탐색시 보조 경로의 개념을 두어 경로 변경시 이를 계층적으로 적용함으로써 경로 재설정시 보다 적은 에너지를 소모가 일어나도록 만든 기법이다. HPSR은 경로 탐색 시 BRC(Backup Route Caching)이라는 경로 저장 기법을 사용한다. 이 기법은 경로 탐색 시 모든 노드가 서로 다른 경로를 통해 전달된 RREQ의 경로를 캐시에 저장한다. 후에 주 경로가 설정되어 RREQ가 목적지에서 출발지노드로 전달 될 때 RREP를 전달 받는 노드들이 자신의 경로 캐시를 검색하여 출발지 노드까지 연결되는 다른 경로가 있을 경우 이를 보조 경로로 유지하게 한다. 이러한 보조 경로 사용을 위해 HPSR은 PSR에서 RERR를 발생 시키는 형태와 동일하나 그 기준 값이 보다 작은 또 하나의 경로 재설정 절차를 만들어 이 둘을 단계적으로 적용한다.

$$C_i(t) - C_i(t_0) \geq \delta_S \quad (4)$$

$$C_i(t) - C_i(t_0) \geq \delta_L \quad (5)$$

δ_S 는 δ_L 보다 크기가 작기 때문에 먼저 작동하게 되고 이때 보조 경로로 경로가 바뀌게 된다. 이때 RERR대신 RCRE(Route Change Request)라는 패킷을 발생시킴으로써 이것이 보조 경로로의 변경임을 알린다. 후에 δ_L 이 작동하게 되면 RERR을 발생시킴으로써 기존의 경로 재설정을 진행하게 된다.

HPSR이 갖는 주요한 특징은 추가적인 경로를 획득함으로써 이를 RREQ의 브로드 캐스팅 과정 없이 사용하는 것이다. HPSR은 초기 경로 탐색에서 다수의 경로를 얻어 사용하는 형태로 기존 방식보다 에너지 소모량을 줄임으로써 이러한 방향이 해법이 될 수 있음을 검증하였다.

2. MPSR (MultiPath Power-aware Source Routing)

가. 다중 경로 설정

EQ패킷 브로드 캐스팅을 통해 RREQ패킷이 목적지에

도달하게 되면 기록된 경로를 RREP패킷으로 출발지노드에게 전달함으로써 경로를 설정한다. 에너지를 고려한 단일 경로 라우팅 기법들은 여러 개의 경로들 중 자신의 에너지 관리 방법면에서 최적인 경로 하나를 선택해야 한다. 이를 위해 목적지 노드에 일정 시간 간격을 두어 해당 시간 동안 다수의 RREQ로부터 경로를 받은 후 최적으로 적절한 하나를 선택하게 된다. 지나치게 많은 홉수를 갖는 긴 길이의 경로는 경로에 포함된 다수의 노드들에 불필요한 에너지 소모를 일으켜 네트워크 전체의 에너지 효율성을 떨어뜨리게 된다. 시간 간격은 홉수가 많을 수록 패킷이 지연되는 원리를 이용하여 이러한 경로들이 경로 선택과정에 포함되지 않도록 방지하는 역할을 수행한다.

MPSR에서는 목적지 노드에서 최적이지 아닌 적당한 경로들을 선택함으로써 다수의 경로를 얻는다. 적당한 경로는 다음 두 가지 조건을 만족해야 한다. 첫 번째는 경로 비용 측정 함수를 통해 일정치 이상의 에너지량을 가져야 하는 것이며 두 번째는 먼저 들어온 경로와 중복된 노드를 가지고 있지 않아야 하는 것이다. 이 두 가지 조건은 다수의 경로를 얻기 위한 목적을 갖는다. 첫 번째 조건은 지나치게 작은 에너지량으로 충분한 역할을 수행할 수 없어 존재가 무의미한 경로 사용을 방지한다. 이러한 경로는 라우팅 테이블의 자리만 차지하게 되므로 다수의 경로를 얻고자 하는 취지에 어긋난다. 두 번째 조건은 MPSR의 경로 사용 방식의 특성에 따른 것이다. MPSR은 경로의 수에 따라 트래픽량을 분배하여 경로를 사용하는 방식으로 동작하게 된다. 이때 경로끼리 노드가 중복되면 해당 노드에서는 나누어진 트래픽양이 다시 합쳐지게 되어 하나의 경로를 사용하는 것과 동일하게 된다. 이 역시 다수의 경로를 얻으려는 취지에 어긋나므로 방지해야 한다.

목적지에서 다수의 경로를 수령하기위해 각 노드들은 목적지 경로 버퍼를 가지고 있게 되며 특정 라우팅의 목적지가 되었을 때 이를 사용하게 된다. RREP를 출발지노드로 전송할 때는 목적지 경로 버퍼에 저장된 모든 경로들을 포함하게 함으로써 출발지가 목적지까지 이용할 수 있는 다중 경로를 넘겨주게 된다. 이때 RREP는 한 경로를 통해 한 개만 전송된다. 출발지 노드에서는 이 경로들을 라우팅 테이블에 저장하여 패킷전송 시 사용하게 된다.

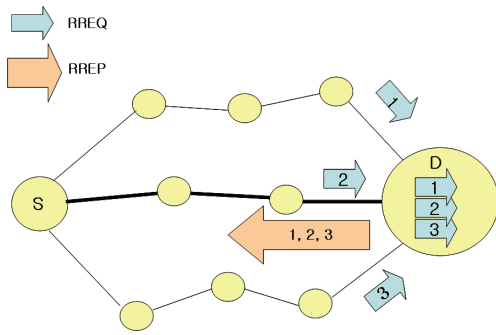


그림 1. 다중 경로 설정
Fig. 1. Multiplier Path Routing

나. 경로 비용 측정 함수

에너지 고려 라우팅에서 에너지에 대한 경로의 비용 측정은 효율적인 에너지 관리를 위해 필수적이다. 대부분의 에너지 고려 라우팅 기법들은 개별적인 경로 비용 측정 함수 또는 절차를 가지고 있어 이를 통해 얻어진 경로들의 비용을 측정하게 된다. 이러한 비용은 기법 나름의 최적 경로와 그렇지 않은 경로를 판단하는 근거로 작용하여 에너지 절감 효율성에 영향을 주게 된다.

MPSR은 경로상의 최소 에너지를 갖는 노드의 에너지량을 해당 경로의 비용으로 측정한다. 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Cost(P) = \frac{1}{\min(e(N_0), e(N_1), \dots, e(N_{i-1}) : \forall N \in P)} \quad (6)$$

Cost()함수는 경로 비용을 얻어 내는 함수이다. p는 경로 안에 속하는 노드들의 집합으로 경로를 나타내며 N은 경로 P에 속한 노드이며 e()는 노드의 에너지량을 나타낸다. i는 경로상 노드들의 순차를 나타낸다.

MPSR은 위 함수를 통해 얻어진 값이 작을수록 최적의 경로로 선정하게 된다. MPSR의 비용 함수는 경로를 통해 패킷을 전송할 때 경로 상의 모든 노드들에 동일한 에너지 소모가 일어나게 되므로 최소 에너지량을 갖는 노드가 가장 먼저 에너지를 고갈시킬 일어난다는 것에 근거한다. 즉 최소 에너지량을 갖는 노드에 따라 경로의 수명이 결정된다는 것에 근거한다. 다른 경로에 비해 상대적으로 홑 수가 많은 긴 길이의 경로는 아무리 함수의 값이 좋아도 패킷 전달시 각 노드에서 소모되는 에너지량의

총합이 크기 때문에 전체 네트워크 에너지량의 측면에서는 비효율적일 수밖에 없다. MPSR에서 선택된 모든 경로들은 경로들의 길이가 경로들 간 상대적인 허용치 안에 존재하게 되므로 지나치게 긴 경로들은 비용측정에서 제외된다.

MPSR에서 비용함수를 통한 경로 비용 측정은 목적지 노드가 적절한 길이의 경로들을 선정하였을 때 해당 경로들에 대하여 진행된다. 측정된 값들은 RREP에 담은 경로 정보에 포함되어 출발지 노드로 전달되고 출발지 노드에서는 이를 패킷 전송 시 이용하게 된다.

다. 패킷 전송 절차

단일 경로 라우팅 기법에서는 최적의 경로 하나만을 사용하기 때문에 출발지 노드에서는 해당 경로를 통해 패킷을 전송하기만 하면 된다. 그러나 다수의 경로를 갖는 MPSR에서는 효율적으로 다수의 경로를 사용하기 위한 특별한 절차가 요구된다. MPSR이 추구하는 가장 큰 목적 중 하나는 다수의 경로에 트래픽량을 분산함으로써 노드들의 개별 에너지 부하량을 줄여 다른 세션의 경로 설정 시 노드 선택에 최적의 위치로서 고려될 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해서는 패킷 전송 시 출발지 노드에서 다수의 경로들에 트래픽량을 경로 비용에 따라 적절히 분산시켜야 한다. MPSR은 한 세션에 속한 경로들의 총 수와 경로 비용 함수를 통한 개별 경로 비용에 따라 트래픽량을 다음 함수를 통해 분배한다. 다음에 제시한 Traffic()함수는 세션에 속한 개별 경로의 트래픽량 할당 비율을 얻는 함수이다. Pa는 값을 얻고자 하는 경로를 나타내며 n은 경로의 수를 나타낸다.

$$Traffic(P_a) = \frac{1}{Cost(P_a)} \times 100 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{Cost(P_i)}$$

출발지 노드에서는 RREP에서 경로들을 얻자마자 Traffic()함수를 통해 각 경로들에 대한 트래픽 비율을 결정하게 되고 비율과 동일한 패킷 할당 수를 정수 단위로 갖게 된다. 이후 발생하는 패킷들은 1단위로 각 경로에 할당되어 해당 경로를 따라 전송되며, 전송될 때마다 패킷 할당 수를 하나씩 감소시킨다. 계속된 전송으로 특정 경로의 패킷 할당수가 제로가 되면 더 이상 패킷을 할

당하지 않고 다음 경로로 순서를 넘긴다. 위와 같은 방식으로 100개의 패킷이 전송되면 세션의 모든 경로들은 패킷 할당 수가 제로에 도달하게 되며 이때 다시 패킷 할당 수를 초기와 같이 충전하여 과정을 반복하게 된다.

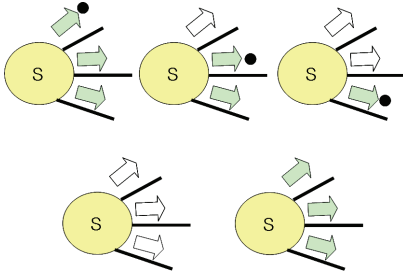


그림 2. 패킷 전송 절차
Fig. 2. Packet Transmission Procedure

라. 경로 재설정 절차

경로 재설정은 초기 설정된 경로를 통해 경로상의 노드가 어느 정도 에너지 소비를 일으켰을 때 경로를 다시 설정 하는 것으로 지속된 경로 사용으로 소속된 특정 노드들의 에너지가 초기에 고갈되는 것을 방지하는 절차이다. 아무리 우수한 비용 함수와 라우팅 방식을 갖춘 에너지 고려 라우팅 기법이라도 경로 재설정 절차가 존재하지 않게 되면 초기 선택된 경로가 갖는 에너지량 정도밖에는 네트워크가 유지될 수밖에 없다.

MPSR 역시 경로 재설정 절차가 존재하며 이는 PSR의 것과 유사하다. PSR에서는 경로에서 사용되는 노드들이 에너지를 소비할 때 마다 노드의 초기 에너지량에 비례한 경로 시작 시 에너지량과 현재 에너지량 값을 얻어 전자에서 후자를 감한 값을 일정 기준치와 비교하게 한다. 기준치 보다 값이 크게 되면 출발지 노드로 RRER 패킷을 보내 경로를 재설정할 시기임을 알리게 된다. MPSR에서 경로가 RRER을 발생시키는 시기 까지는 PSR과 동일하다. RRER 발생 시기를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{I}{e_{t(0)}(N_a)} - \frac{I}{e_{t(c)}(N_a)} > \delta \quad (8)$$

I 는 초기 노드가 갖는 에너지량을 나타낸다. $t(0)$ 는 세션에 따라 경로가 형성되고 경로가 사용되기 직전의 시간을 나타내며 $t(c)$ 는 현재시간을 나타낸다. δ 는 기준값

이다.

MPSR이 PSR과 다른 점은 RRER 패킷을 받았을 때 경로 재설정 절차를 시작하는 시기이다. 단일 경로를 사용하는 PSR에서는 RRER의 출발지 노드 도착이 곧 경로 재설정의 시작이 되지만 MPSR에서는 하나의 경로에서 RRER을 발생했다 하더라도 다른 경로들이 여전히 여유로운 상태에 있으므로 모두 RRER을 발생시키기 전까지는 경로 재설정을 기다려야 한다. 모든 경로에서 RRER이 발생했을 때에 비로서 MPSR은 출발지노드에서 새로운 경로 탐색 절차를 시작한다. 경로 재설정 절차는 RREQ 브로드 캐스팅 등에 대한 에너지 소모비용이 요구되기 때문에 가능한 발생하지 않게 하는 것이 좋으나 지나치게 적은 횟수로 발생하게 되면 사용하는 경로에 과도한 부하를 일으켜 빠르게 네트워크를 붕괴시키므로 적당한 수위 조절이 필요하게 된다. 다수의 세션이 존재하는 상황에서 특정 노드가 여러 세션의 경로에 소속될 경우 예상보다 에너지 소비가 빠르게 진행되어 경로 재설정 시기를 앞당기게 되는데, 이때 위와 같은 경로 재설정 시기는 에너지가 부족한 해당 경로만을 사용하지 않게 함으로써 경로에 부담을 주지 않으면서 재설정 시기를 어느 정도 늦출 수 있기 때문에 매우 효과적이라 할 수 있다.

특정 경로에서 RRER이 발생 하게 되면 경로 재설정 절차가 발생하기 전까지는 경로를 사용하지 않게 되므로 해당 경로의 할당된 트래픽량을 나누어 동일 세션의 다른 경로들에게 분배하는 것이 필요하다. MPSR은 이를 위해 RRER이 발생할 때마다 전체 트래픽 할당량을 재계산하여 부과하게 된다.

III. 실험 및 결과

본 논문의 최대 관심사는 네트워크가 유지 되는 시간이며 이것을 에너지 고갈로 네트워크를 이탈하여 네트워크를 붕괴시키는 노드가 발생하기 직전까지로 정의한다. 본 논문에서는 하나의 세션과 다수의 세션, 고정된 지역에서 노드 수의 변화, 세션의 위치 변화 등의 환경적 요인을 바꾸어 가며 성능을 측정하였다. 성능 평가를 위해 본 논문에서는 Network Simulation-2(NS-2)를 사용하여 각 라우팅 기법들을 구현하고 측정하였다.

가. 실험 방법 및 실험 환경 고정 요소

본 실험에서 고정된 요소들은 표2와과 같다. 제어 패킷들이 갖는 라우팅 정보는 일반 데이터에 비해 그 크기가 작기 때문에 1:4의 비율로 패킷 크기에 대한 차이를 두었다. 따라서 패킷의 송·수신 시 소모되는 에너지량 역시 1:4의 비율을 갖는다. 성능 비교를 위해 사용되는 라우팅 기법들은 DSR, PSR, HPSR이며 본 논문에서는 이들 라우팅 기법에 의해 네트워크가 종료되는 시점을 에너지가 고갈된 노드들 중 최초로 발생된 것의 발생 시점으로 정한다. 출발지 노드는 하나의 세션을 가지며 세션은 네트워크가 종료 될 때까지 지속적으로 트래픽을 발생 시키도록 하였다.

표 2. 네트워크 환경 값
Table 2. Network environment attributes

종류	설정 값
지역 공간 크기	500m ²
전송 범위	반지름 200m
패킷 발생 빈도	1/0.1s
발생 하는 패킷 크기 비율	제어: 1, 데이터: 4
노드의 초기 에너지량	10000(고정)

각 실험에서 얻어진 결과들은 네트워크 유지 시간, 경로 탐색을 위한 RREQ 브로드 캐스팅 횟수, 제어 패킷과 데이터 패킷의 수로 표시하였다. 일반적으로 네트워크 유지 시간이 길수록 에너지 관리 효율 면에서 높은 성능을 보인다고 할 수 있으나 각 라우팅 기법 마다 라우팅 설정 및 유지에 소모 되는 시간들이 다르므로 단지 이것만으로는 절대적이라 할 수 없다. 확실한 성능의 우위는 해당 시간 동안 전송된 패킷들 중 실제 통신에 대한 정보를 전달하는 데이터 패킷의 수를 측정하여 두 데이터를 비교함으로써 정의가 가능하다.

브로드 캐스팅의 횟수와 제어 패킷의 수는 각 라우팅 기법들의 소모되는 에너지량의 차이를 상대적으로 보여주는 지표가 된다. 각 요소들이 클수록 네트워크 제어에 소모되는 에너지량이 증가하므로 에너지 효율은 떨어진다고 할 수 있다. 제어 패킷과 데이터 패킷의 수는 성공적으로 송·수신 된 것으로만 측정되었다. 노드 자체에서 생성되고 소멸된 것들은 포함되지 않는다.

나. 실험 결과 및 분석

첫 번째 실험은 고정된 50개의 네트워크 전체 노드 수

에서 출발지 노드 수를 5단위로 증가시켜가며 시행 되었다. 측정된 각 수치는 네트워크 위상에 따라 어느 정도 차이를 보이기 때문에 이를 극복하기 위해 실험 시 노드의 위치를 불규칙하게 분포하도록 하고 각각 5회씩 측정하여 평균값을 사용하였다.

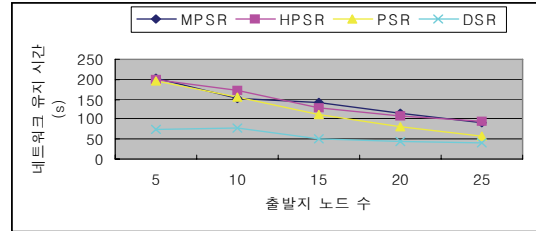


그림 3. 출발지 노드 수에 따른 네트워크 유지 시간
Fig. 3. Network Lifetime

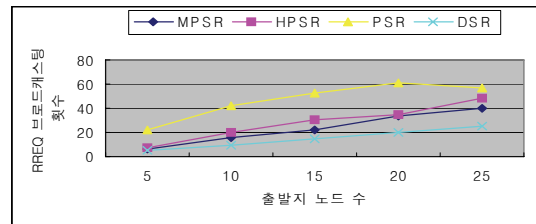


그림 4. 출발지 노드 수에 따른 브로드 캐스팅 횟수
Fig. 4. No. of Broadcasting

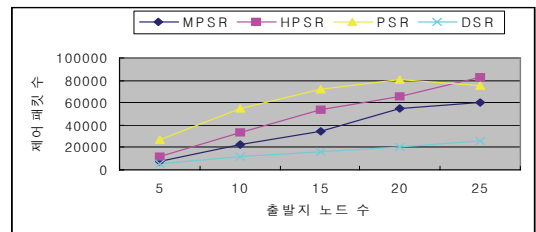


그림 5. 출발지 노드 수에 따른 제어 패킷 수
Fig. 5. No. of Control Packets

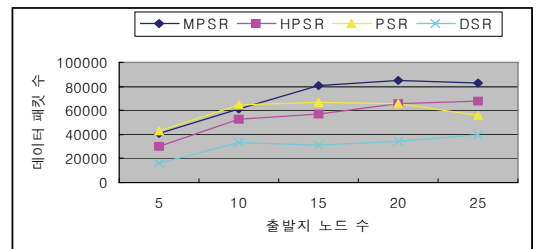


그림 6. 출발지 노드 수에 따른 데이터 패킷 수
Fig. 6. No. of Data Packets

네트워크 유지 시간에서 MPSR은 다른 기법들과 비슷하거나 보다 긴 유지 시간을 나타내었지만 전송된 데이터 패킷의 양에서는 확연한 차이로 보다 많은 패킷들을 전송하였다. 이것은 다른 라우팅 기법에 비해 MPSR이 매우 에너지 효율적인 라우팅을 했음을 의미한다.

브로드 캐스팅 수는 PSR에 비해서는 절반 이하이며 보조 경로를 사용하는 HPSR 보다도 적은 횟수를 나타냄으로써 MPSR의 동 시간 다중 경로 사용이 재설정 횟수를 줄이면서도 네트워크 유지 시간과 데이터 패킷 전송량을 보다 증가시켰음을 보였다. 이것은 3.2.1에서 이론적으로 검증한 MPSR의 긍정적인 측면이 실제로도 정확히 작용하였음을 의미한다.

동시에 전체적인 성능은 향상시키는 DSR을 제외하면 제어 패킷의 수에서도 HPSR, PSR에 비해 낮은 수치를 나타내었다. 제어 패킷 수에서 DSR은 가장 낮은 수치를 보이지만, DSR의 네트워크 유지 시간이 매우 짧으며 데이터 패킷의 수에서도 가장 낮은 수치를 보이므로 효율성이 있다고 보기 어렵다. 이것은 성능의 차이로 인해 패킷 발생량 자체가 적기 때문에 나타난 현상으로 봐야 할 것이다. 에너지 소모량에 대한 단적인 성능의 차이는 발생된 제어 패킷 수를 네트워크 유지 시간으로 나눔으로써 파악 할 수 있다.

두 번째 실험은 고정된 10개의 출발지 노드 수에서 전체 노드 수를 10개 단위로 증가하며 실험하였다. 역시 5번 측정된 값의 평균을 사용한다.

전체적으로 출발지 노드의 수를 증가하였을 때와 유사한 형태를 보여주었으나 각 라우팅 기법의 차이가 보다 현저히 나타났다. 보다 뚜렷해진 차이를 통해 출발지 노드의 수를 증가 할 때 보다 전체 노드 수를 증가 했을 때 각 라우팅 기법의 특징이 더욱 두드러짐을 의미한다. 출발지 노드 수를 증가하였을 때와 전체 노드 수를 증가 했을 때의 차이는 브로드 캐스팅에 대한 비용 증가로 볼 수 있다. 경로를 탐색하기 위한 브로드 캐스팅은 네트워크를 구성하는 노드의 수가 증가 할수록 RREQ의 송·수신 량이 증가하므로 크게 상승하게 된다. 대부분의 그래프에서 PSR의 변화가 비교적 두드러지는 이유는 경로 탐색 횟수가 가장 많기 때문인 것으로 볼 수 있다. 이론상으로도 PSR은 경로 탐색은 횟수가 증가 할수록 여러 노드들의 에너지를 사용하여 네트워크의 성능을 높이기 때문에 구성 노드 수가 일정 수 이상 증가하여 브로드 캐스팅 비용이 상승하게 되어 성능이 낮아 질 수 있다.

브로드 캐스팅 횟수가 낮은 MPSR과 HPSR은 100개의 노드에서도 안정적인 형태를 보였으며, HPSR과의 차이가 더욱 두드러짐으로써 다중 경로 사용이 보조 경로의 형태보다 효율적임을 나타내었다.

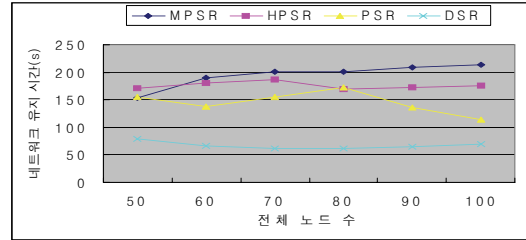


그림 7. 전체 노드 수에 따른 네트워크 유지 시간
Fig. 7. Network Lifetime

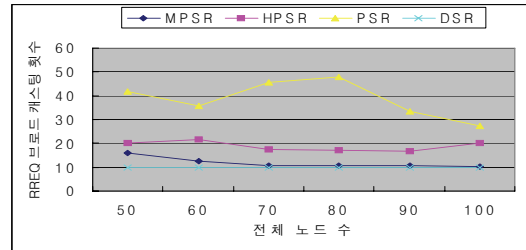


그림 8. 전체 노드 수에 따른 브로드 캐스팅 횟수
Fig. 8. No. of Broadcasting

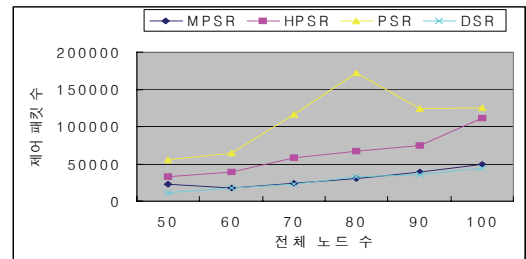


그림 9. 전체 노드 수에 따른 제어 패킷 수
Fig. 9. No. of Control Packets

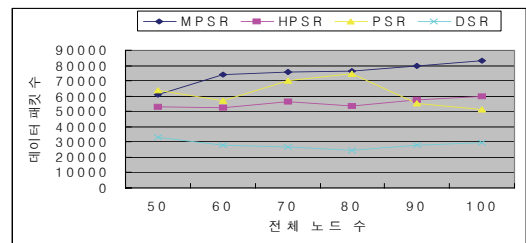


그림 10. 전체 노드 수에 따른 데이터 패킷 수
Fig. 10. No. of Data Packets

V. 결론

본 논문에서는 애드혹 네트워크의 에너지 제한 문제에 관심을 두고, 이를 극복하기 위한 에너지 고려 라우팅 기법들에 대해서 알아보았으며 이를 토대로 보다 에너지 효율적인 라우팅 기법인 MPSR을 제안하였다. MPSR은 동일 시간에 다수의 경로를 병렬적으로 사용함으로써 네트워크 유지 시간을 늘리기 위한 경로 재설정 과정에서 소모되는 에너지들을 효과적으로 감소 시켰다. 뿐만 아니라 한 경로에 집중된 트래픽 양을 분산함으로써 경로에 포함된 노드들이 보다 긴 시간 동안 트래픽 압력으로 부터 벗어나 또 다른 경로 설정에 최적의 위치로 사용될 수 있도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 출발지 노드와 네트워크 전체 노드 수를 변경시켜가며 측정된 성능 평가에서는 다른 기법들에 비해 비슷하거나 보다 긴 네트워크 유지 시간을 갖으면서도 실질적인 데이터 패킷의 전송량은 훨씬 많은 결과를 이끌어 냄으로써 보다 효율적인 에너지 고려 라우팅 기법임을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Suresh Singh, Mike Woo, C. S. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile AdHoc Networks" Proceedings of Mobicom 98 Conference, Dallas, October 1998
- [2] C.K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile computing in Wireless Ad hoc Networks", IEEE Communication Magazine, June 2001.
- [3] M. Maleki, K. Dantu, M. Pedram, "Power-aware Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," The Int'l Symp on Low Power Electronics and Design - ISLPED 2002, pp. 72-75, 2002.
- [4] Se-Won Jung, Chae-Woo Lee, "Energy-Aware Routing Algorithm Using Backup Route for Ad-Hoc Networks" International conference on computational science and its applications - ICCSA 2006, pp. 837-846, 2006.
- [5] C. Perkins and P. Bhagwat. "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers". Proc. of ACM SIGCOMM, October 1994.
- [6] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu and Jorteta G. Jetcheva. "The Dynamic Source Routing for Mobile Ad Hoc Wireless Networks" <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-06.txt>, IETF Internet Draft, Nov. 2001
- [7] Charles E. Perkins, Elizabeth M. Belding-Royer and Samir Das. "Ad hoc On-demand Distance Vector(AODV) Routing" IETF Internet draft, draft-ietfmanet-aodv-09.txt, November 2001

저자 소개

황 호 영(정회원)



크, 센서네트워크, 통방융합기술>

- 학위
 - 서울대학교 컴퓨터공학 학사
 - 서울대학교 컴퓨터공학 석사
 - 서울대학교 전기컴퓨터공학 박사
- 경력
 - 한성대학교 멀티미디어공학과 조교수

서 효 중(정회원)



<주관심분야 : 컴퓨터구조, 내장형시스템, 이동무선통신, >

- 학위
 - 서울대학교 컴퓨터공학 학사
 - 서울대학교 컴퓨터공학 석사
 - 서울대학교 전기컴퓨터공학 박사
- 경력
 - 지씨티리서치(주) 선임연구원