韓國컴퓨터情報學會 論文誌
第15卷 第6號, 2010. 6.

2010-15-6-3-4

에드 혹 네트워크에서 에너지 효율성과 네트워크 수명 연장을 위한 지역적 경로 선택 알고리즘

이 주 영*

Localized Path Selection Algorithm for Energy Efficiency and Prolonging Lifetime in Ad-Hoc Networks

Ju-Young Lee*

요 약

에드 혹 네트워크의 각 무선 단말기는 배터리 기반의 제한된 에너지로 동작하기 때문에 효율적인 에너지 사용에 관한 문제는 아주 중요하다. 시스템 수명을 연장하기 위해서는 단말 노드의 에너지 소비를 균형있게 유도하여 어느 특정 단말기의 에너지가 먼저 고갈되어 통신 단절을 초래하는 상황을 지연시켜야 한다. 또한 단말기 노드의 빈번한 이동 등으로 인해 신뢰성이 낮은 링크는 경로 설정시 고려해야 할 요소이다. 본 논문에서 제안하는 CMLR 방법은 잔여 에너지와 링크 에러율, 전송 소비 에너지를 고려한 새로운 비용 관계식을 이용하여 에너지 사용의 효율성을 증가시킨다. 이 방법은 전송 에너지 소모의 최소화와 노드 수명의 최대화 사이의 값을 절충하여 에너지 효율성을 높이고 균형있는 에너지 소비를 유도하여 네트워크 수명을 연장시키도록 하는 방법이다. 또한, 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 CMLR의 성능을 검증하였으며, 네트워크 수명과 경로의 효율성 측면에서 볼 때 기존의 알고리즘보다 우수한 결과를 보여주었다.

Abstract

In ad-hoc network, the technique to efficiently consume the limited amounts of energy is an important issue since the wireless terminal node is operated on batteries as their energy resource. In order to extend the system lifetime, through a balanced energy consumption, we must delay the situation in which a particular terminal node's energy is depleted and results in system disconnection. Also, the link, which has low reliability due to the mobility of the node, should be avoided considering the key element when setting up the route. The proposed CMLR method in this paper enables to increase the efficiency of energy consumption with a new cost function considering the residue energy of node, error rate of link, and transmission energy consumption. This method is extending the network lifetime and increasing the energy efficiency by compromising the value between the minimization of the transmission energy consumption and

• 제1저자 : 이주영
• 투고일 : 2010. 06. 12, 심사일 : 2010. 06. 12, 게재확정일 : 2010. 06. 24.
* 덕성여자대학교 컴퓨터학과 교수
※ 본 연구는 2009학년도 덕성여자대학교 자연과학연구소 연구비 지원으로 이루어졌음.

maximization of the node's lifetime. Through the simulations the proposed CMLR algorithm was verified by showing better performance over the conventional methods in terms of network lifetime and path efficiency.

▸ Keyword : 에드 혹 네트워크(ad hoc network), 네트워크 수명(network lifetime), 라우팅 알고리즘(routing algorithm), 에너지 효율성(energy efficiency)

Ⅰ. 서 론

에드 혹 네트워크는 기지국 또는 중앙 관리국 없이 주어진 영역 내에서 배터리를 에너지원으로 사용하는 휴대용 기기들이 동적으로 연결되어 자치적인 네트워크 망을 형성한다[1]. 그러므로 에드혹 네트워크는 고정된 유선 네트워크에서 생각할 수 없었던 잦은 네트워크 구성의 변화, 대역폭과 에너지 사용의 제한 등 기존의 유선 네트워크와는 다른 특성들을 갖는다. 따라서 유선 네트워크에서 제공받았던 고품질의 서비스를 에드혹 네트워크에서 제공받기 위해서는 제한된 자원을 효과적으로 이용하여야 한다. 에드혹 네트워크는 이동 호스트들이 라우터(router)의 역할을 수행하므로 이동 호스트들의 에너지 고갈은 네트워크 내의 라우터 수를 감소시키고, 전체 네트워크의 통신을 어렵게 하며, 나아가서는 네트워크 수명을 단축시킨다. 결국 제한된 에너지 자원의 효율적인 관리는 네트워크 수명(활동시간)을 좌우하는 중요한 문제가 된다[1,2,3,4,5,6,7,8].

에너지 효율적인 라우팅에 관한 연구는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 전체 전송 에너지의 소모량을 최소화하는 경로를 구하는 것이고, 둘째는 각 노드(단말 노드)의 에너지 보유량을 최대화시키는 경로를 구하여, 전체 네트워크 수명을 연장하는 것을 목적으로 하는 것이다.

만약 모든 노드들이 데이터를 전송할 때 거리에 상관없이 같은 전송 에너지를 사용하고 링크의 에러율도 0이라면, 기존의 최소 홉 라우팅 방법이 가장 에너지 효율적인 방법이 될 것이다. 그러나, 노드들의 전송 에너지 레벨이 동적으로 다르고 링크의 상태도 서로 달라서 링크 에러율도 0이 아닌 경우, 링크의 불안정한 상태로 인한 패킷 재전송 등으로 네트워크 오버헤드(overhead)를 유발시키기도 하고 네트워크의 전체적인 성능을 감소시키기도 한다. 이런 경우, 최소 홉 라우팅 방법은 그다지 효율적이지 않다.

최소 전송 에너지 라우팅으로 선택된 경로 상의 특정 노드의 에너지가 거의 고갈된 상태일 때 그 노드를 중간 노드 즉, 라우터로써 계속 사용하게 되면 에너지를 모두 소진하여 네트워크가 분할되어 전체 네트워크 수명을 단축시키거나 역 효과를 일으킬 수도 있다. 즉, 전송 소모 에너지 비용이 최소인 경로라고 하더라도 경로에 있는 노드들의 에너지 보유량이 적을 경우 그 경로는 오래가지 못한다. 반면에, 경로의 전송 에너지 소모량보다는 각 노드의 에너지 보유량을 최대화하는 라우팅 방법으로 선택한 경로는 그 경로 상의 노드들의 전송 소모 에너지 량이 최소 값을 보장하지 못하므로 높은 에너지 효율성을 제공하지 못한다. 그러므로, 에너지 효율적인 라우팅 측면에서 위 두 가지 조건은 서로 상호적으로 상반되어 동시에 둘 다 최적인 값으로 만족시키는 것은 어렵다고 할 수 있다.

기존의 에너지 관련 에드 혹 프로토콜은 주로 통신 경로 설정 시 주로 최소 홉 수, 즉 전송 에너지를 최소화하기 위한 최단거리 관점에서 최적의 경로를 구하는 것이었고[9], 그 후는 각 노드가 보유한 에너지량을 고려하여 경로를 선택하는 라우팅으로 전체 네트워크 수명을 최대한 연장하는 경로를 구하는 것이다. 이러한 경우, 경로 상의 어떤 특정 링크에서 에러가 발생한다면 전송 오류를 판별하기 위해 적어도 단방향 전송 지연 시간의 두 배 이상의 시간이 소요되며 그 시간이 지난 후에 재전송이 진행된다. 그러므로, 효율적인 라우팅 방법이 되기 위해서는 각 노드의 제한된 에너지 자원뿐만 아니라 링크의 에러율도 고려하여야 한다[10].

본 논문에서는 전송 에너지 소모의 최소화와 노드 수명의 최대화 사이의 값을 절충하여 에너지 효율성과 네트워크 수명을 개선한 CMLR(Cost-effective Maximum Lifetime Routing) 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 기존의 제안된 멀티홉 전송 프로토콜의 장점을 이용하고, 라우팅 경로 선택 시 각 노드의 잔여 에너지와 전송 에너지, 링크 에러율을 동시에 고려한 새로운 비용 관계식을 이용하여 경로를 선택하는 지역적(localized) 라우팅 방법이다. 이러한 방법은 균형된 에너지 소모를 유도하여 전체 네트워크 수명을 연장하면서 동시에 에너지 효율성을 제공하는 방법이라 하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 네트워크 모델과 관련 연구로서 에너지 관련 라우팅 프로토콜을 살펴본다. 3장에서는 잔여 에너지와 링크 에러율, 전송 에너지를 고려한 비용관계식을 이용하여 에너지 효율적이며 네트워크 수명을 최대화할 수 있는 지역적 경로 선택 알

고리즘을 제안한다. 4장에서는 실험을 통하여 기존의 라우팅 방법과 본 논문에서 제안하는 방법의 네트워크 수명과 경로의 효율성(path efficiency)을 비교한다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

에너지 관련 프로토콜에는 PSR(Power-aware Source Routing)[2], MTPR(Minimum Transmission Power Routing)[3], MBCR(Minimum Battery Cost Routing), MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing)[4],CMMBCR (Conditional Max-Min Battery Capacity Routing)[5], MRPC (Maximum Residual Packet Capacity)[10] 등이 있다.

PSR은 노드의 상대적인 에너지 량 기준을 적용하여 주기적으로 경로를 변경하게 함으로써 네트워크 전체에 걸쳐 노드가 균등하게 사용되도록 하며 단일 경로상의 에너지 고갈을 피할 수 있도록 한다. 이 방식은 네트워크 수명을 연장시키는 방법이지만 경로 변경 시 경로 설정을 위한 과정에서 에너지 소비가 빈번하여 발생되어 비용이 증가하게 된다.

MTPR은 경로 설정 시 데이터 전송이 가능한 경로들 중에서 전송 에너지의 합이 최소가 되는 경로를 선택하는데, 이 방법은 단말기 노드의 수명에 대한 보장이 없고, 최소 홉 우선 선택 라우팅 방법의 경우와 같이 홉 사이의 전송거리는 짧은 반면 홉 수는 증가하는 경로를 선택하여 종단 지연시간이 증가할 수 있다.

MBCR은 경로의 전송 에너지가 아닌 각 노드가 보유한 에너지 잔량이 최대인 경로를 선택한다. 노드i가 보유한 에너지 잔량을 B_i라 할 때, 노드 i의 비용 함수(cost function)는 $f(i)=1/B_i$로 정한다. 데이터 전송을 위한 최적 경로를 선택할 때, 경로 P의 비용 $C_P=\sum_{node_i \in P} f(i)$가 가장 적은 값을 갖는 경로를 선택한다. 즉, 경로에 있는 노드들의 에너지 잔량의 합이 제일 큰 경로가 최적의 경로로 선택이 된다. 이 방법은 노드들의 에너지를 효과적으로 사용하는 방법 중 하나이지만, 전체 노드의 에너지를 균등하게 사용하지 않기 때문에 문제점이 생길 수 있다. 예를 들면, 경로에 있는 어느 특정 노드의 에너지 잔량이 거의 소갈 상태인데 나머지 다른 노드들의 에너지 잔량이 아주 커서 전체 에너지 잔량들의 합이 상대적으로 커지게 되어, 이 경로가 최적 경로로 선택되는 경우를 고려해보자. 이 경로를 통해 계속 데이터 전송하다보면 곧 특정 노드의 잔여 에너지가 전부 소갈하여 수명을 다 하게 된다. 즉, MBCR은 라우팅 경로 중에 에너지 잔량이 아주 작은 노드가 경로에 포함될 수 있어서 결과적으로 경로의 수명은 짧아지게 될 수 있다.

MMBCR은 MBCR의 문제점을 해결하고자 새로운 비용 관계식(cost metric)을 사용하며, min-max 방식으로 경로를 선택한다. 경로P에 대한 비용관계식 C_P는 다음과 같다.

$$C_P = MIN_{node_i \in P}\, B_i \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, 각 경로 상에 포함되어있는 노드들 중에서 가장 잔여 에너지가 적은 노드를 그 경로의 임계 노드(critical node)라 둔다. 각 경로 P_j (j=1,2, ...)의 임계 노드들의 잔여 에너지, 즉 C_{P_j}값을 비교하여 그 값이 최대가 되는 경로를 선택한다. 경로 선택은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_{MMBCR} = MAX\{C_{P_i}\} \quad \cdots\cdots (2)$$

이 방법은 데이터 전송이 가능한 노드들 중에서 잔여 에너지가 적은 노드를 포함하는 경로를 선택하지 않게 된다. MMBCR은 MBCR에 비하여 각 노드의 잔여 에너지를 좀 더 균등하게 사용하는 방법이긴 하지만 전송 거리 및 최소 전송 에너지에 대한 비용을 고려하지 않으므로 에너지 효율성 측면에서 볼 때 그다지 효율성이 좋다고는 할 수 없다. CMMBCR은 최소 에너지 소모 경로와 최대 잔여 에너지 경로 사이를 절충하여 보다 나은 에너지 효율성을 갖도록 하였다.

위에서 언급한 방법들은 에너지를 고려한 경로 선택하는 방법으로, 링크의 에러율에 대한 고려는 하고 있지 않다. MRPC는 MMBCR와 비슷한 개념이지만, 노드 사이의 거리를 기반으로 동적으로 전송 에너지를 조정하고 링크 에러율에 따른 패킷 재전송도 반영하는 방법이다. 각 노드의 잔여 에너지와 링크의 에러율을 고려한 새로운 비용 관계식을 사용하여 경로를 탐색한다. 링크(i,j)에 대한 노드-링크 비용 관계식 $C_{i,j}$는 다음과 같이 나타낸다.

$$C_{i,j} = \frac{B_i}{E_{i,j}} \quad \cdots\cdots (3)$$

여기서, B_i는 노드 i의 잔여 에너지이며, $E_{i,j}$는 노드 i에서 노드j로 패킷을 전송할 때 사용되는 전송 에너지로서 링크 에러율을 감안한 성공적인 패킷 전송시 소모되는 에너지를 나타낸다. 어떤 경로에서 경로의 수명이란 경로를 이루는 링크들의 $C_{i,j}$값들 중에서 최소 값을 의미한다. MRPC의 경로 선택은 이러한 가능한 경로들 중에서 경로의 수명이 최대가 되는 경로를 선택한다. 하지만, MRPC 경로 선택 방법은 경로의

총 전송 에너지는 고려하지 않은 방법으로 에너지 효율성은 다소 떨어진다 할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 CMLR(Cost-effective Maximum Lifetime Routing) 라우팅 경로 선택 방법은 MRPC 방법에서와 같이, 전송 에너지 계산시 링크 에러율에 따른 패킷 재전송을 반영하며 각 노드의 잔여 에너지와 링크의 에러율을 고려한 비용 관계식을 사용한다. 경로 선택 시에는 임계 노드(critical node)의 수명이 가장 긴 경로를 선택하여 네트워크 수명 시간을 최대한 연장시킨다. 반면, MRPC와는 달리, 경로의 총 전송 소비 에너지의 합을 비용 관계식에 반영하여 에너지 효율성을 높이는 라우팅 방법이다.

III. 제안하는 알고리즘

본 장에서는 2장에서 설명한 MRPC 라우팅 알고리즘을 기반으로 좀 더 향상된 네트워크 수명과 에너지 효율성을 제공하는 CMLR 알고리즘을 제시한다. CMLR은 수정된 Dijkstra's shortest path algorithm [11] 개념을 기본으로 하며 기존의 제안된 멀티 홉 전송 프로토콜의 장점을 이용하면서, 새로운 비용 관계식을 사용한다.

제안하는 알고리즘이 사용하는 경로의 비용 관계식이 고려하는 사항은 다음과 같다.

① 수신노드와 송신노드 간의 거리
② 패킷을 전송하는데 필요한 전송 소비 에너지
③ 각 링크의 에러율
④ 각 노드의 잔여 에너지

네트워크에 있는 각 노드들은 자신의 잔여 에너지 량에 대한 정보를 가지고 있고 위치 정보를 알 수 있다고 가정한다. 이웃 노드들 i와 j 사이의 거리를 d_{ij}라 두고, 노드i에서 노드j로 1개의 데이터 패킷을 주어진 대역폭(bandwidth)으로 전송할 때 소모되는 전송 소비 에너지 e_{ij}는 다음과 같다[12].

$$e_{ij} = \frac{Packet_{size} \times P_{tx}}{bandwidth} \quad \cdots\cdots (4)$$

패킷 송신 시, 거리를 기반으로 동적으로 에너지 제어가 가능한 경우 다음과 같은 식으로부터 패킷 전송에 필요한 전송 소비 에너지 값을 구할 수 있다[13].

$$e_{ij} = k \times d^{\alpha} \text{ [Joule]} \quad \cdots\cdots (5)$$

여기서, k는 환경에 따른 감쇄율, d는 거리, α는 환경에 따른 인자(factor)로써, 실험에서는 α는 3 (도시 및 주거 환경)으로 두었다.

각 노드 i에서 이웃노드 j 사이의 링크를 $(i,\ j)$로 나타내고, 링크 $(i,\ j)$의 에러율 $linkerr_{i,j}$는 링크 $(i,\ j)$를 통해 데이터를 전달할 때 성공적으로 전달되지 못할 확률을 말한다. 만약, $linkerr_{i,j} = 0$이면 링크 $(i,\ j)$는 안정성 있는(reliable) 링크라고 말하며, $linkerr_{i,j} = 1$이면 링크 $(i,\ j)$는 연결이 끊어져 통신이 불가능한 링크이다. 링크 $(i,\ j)$를 통해 데이터를 보낼 때, 성공적으로 데이터가 전송되기 위해서 전송을 시도해야 하는 예상 전송 회수(재전송도 포함)는 $N(i,j) = \frac{1}{(1-linkerr_{i,j})^L}$ 가 된다. 여기서, L값은 hop-by-hop retransmission 모델에서는 1이 되고, end-to-end retransmission 모델에서는 {3,4,5} 중 하나가 된다[10].

하나의 데이터 패킷을 링크 에러율 $linkerr_{i,j}$인 링크 $(i,\ j)$를 통해 전송할 때 하나의 홉 사이에서 성공적으로 데이터가 전송되기까지 소요되는 전송 소비 에너지 $E_{i,j}$는 링크 에러로 인한 패킷 재전송이 필요한 회수 $N(i,j)$를 예상하여 계산한 값으로 추정할 수 있다. 즉, $E_{i,j}$는 노드i에서 노드j까지의 전송 에너지 $e_{i,j}$와 성공적인 데이터 전송까지의 예상 전송 회수를 곱한 값으로써 다음과 같다.

$$E_{i,j} = e_{i,j} \times N(i,j) \quad \cdots\cdots (6)$$

노드 i의 잔여 에너지가 B_i이고 노드 i에서 노드 j로 링크 에러율 $linkerr_{i,j}$인 링크 $(i,\ j)$를 통해 패킷을 전송할 때 성공적으로 전송할 수 있는 패킷의 최대 수는 노드 i의 잔여 에너지로 전송 소비 에너지 $E_{i,j}$인 패킷을 전송할 수 있는 횟수로서 다음과 같이 링크 $(i,\ j)$에 대한 노드-링크 비용(metric) $C_{i,j}$로 정의한다[4].

$$C_{i,j} = \frac{B_i}{E_{i,j}} \quad \cdots\cdots (7)$$

링크 $(i,\ j)$에 대한 노드_링크 비용 $C_{i,j}$는 i의 잔여 에너지가 클수록 비례하여 커지며, 노드 i에서 노드 j로의 링크를 통한 전송 소비 에너지가 클수록 반비례하여 작아진다. 즉, $C_{i,j}$ 값은 노드의 잔여 에너지와 링크를 통한 성공적인 전송 소비 에너지를 동시에 반영한 값이다. 따라서, 데이터 전송 시 노드_링크 비용 값이 큰 노드와 링크들을 선택하는 것이 전체 시스템의 수명을 연장시키는 경로가 된다.

어떤 경로 P에 있는 노드 i와 링크 $(i,\ j)$들 중에서 노드-

링크 비용 $C_{i,j}$가 가장 작은 값을 가지는 노드와 해당 링크를 경로의 임계 노드-링크(critical node-link)라고 둔다. 경로 P의 수명은 $Life(P)$로 나타내며, 경로에서 임계 노드-링크의 $C_{i,j}$값으로 정의하며 다음과 같다[4]. 즉, 경로 상에 있는 각 노드 i에서 링크 에러율 $P_{i,j}$인 링크 $(i,\ j)$를 통해 노드 j로 성공적으로 전송할 수 있는 패킷 수들 중 가장 작은 값을 말한다.

$$Life(P) = \underset{link(i,j)\in P}{\mathrm{MIN}} \{C_{i,j}\} \quad \cdots\cdots (8)$$

CMLR 알고리즘은 Dijkstra 최단경로 알고리즘을 수정하여 구한 경로들의 수명과 경로의 전송 소비 에너지 값으로 계산된 비용 관계식을 사용한다. 수정된 Dijkstra 최단경로 알고리즘(Modified Dijkstra Shortest Path Algorithm)에서 노드 s에서 u까지의 경로 $P(s,u)$의 수명 $Life(P(s,u))$은 (위 식 $Life(P)$에 해당하는 것으로, 소스 노드와 목적지 노드를 명시한 표현) 경로가 한 홉씩 더해질 때마다 합산되는 것이 아니라 값들 중에서 가장 작은 값으로 저장되어 정보를 유지하고, 경로의 전송 소비 에너지 값은 홉을 지날 때마다 반복적으로 합산하면서 값이 $PathE$에 저장이 된다. 수정된 Dijkstra 최단경로 알고리즘은 표 1과 같다.

표 1. 수정된 Dijkstra 최단경로 알고리즘
Table 1. Modified Dijkstra Shortest Path Algorithm

Modified Dijkstra Algorithm

$T(v) \leftarrow \varnothing$
$Life(P(s,v)) \leftarrow \varnothing$
$Life(P(s,u)) \leftarrow \infty$
$S \leftarrow \{s\}$
$u \leftarrow s$
while $S \neq V(G)$ **do**
  for each node $v \in V(G) - S$ **do**
    if $Life(P(s,v)) < \mathrm{minLife}(P(s,u)), C_{u,v}$
      $T(v) \leftarrow T(v) \cup \{(u,v)\}$
      $Life(P(s,v)) \leftarrow \min\{Life(P(s,u)), C_{u,v}\}$
      $PathE(s,v) \leftarrow PathE(s,u) + e_{u,v} \times N(u,v)$
  $u \leftarrow v \in V(G) - S$ such that $Life(P(s,v))$ is maximum
  $S \leftarrow S \cup \{v\}$

CMLR의 경로 선택 방법은 수정된 Dijkstra 알고리즘을 이용하며, 다음과 같이 수행된다. 소스 노드 A에서 목적지 노드 D까지 데이터 전송을 위해 라우팅을 설정할 때, A의 이웃 노드 i (여기서, A의 이웃 노드들의 집합을 $Neighbor_A$ 라 두면 $i \in Neighbor_A$)중에서 최적의 노드를 선택하여 데이터를 전달한다. 송신 노드 A에서 이웃 노드 i까지의 노드-링크 비용 $C_{A,i}$와 노드 i에서 D까지 경로 P'의 수명 $Life(P')$ 중에서 더 작은 값을 소스 노드 A에서 목적지 노드 D까지 전체 경로 P의 수명으로 정의한다. 소스 노드 A에서 목적지 노드 D까지 전체 경로 P의 전송 소비 에너지 값은 노드 A에서 이웃 노드 i로의 전송 소비 에너지인 $E_{A,i}$에 경로 P'의 전송 소비 에너지 $\sum_{(i,j)\in P'} E_{i,j}$를 더한 값이 된다. 에너지 효율성을 높이기 위해 전송 소비 에너지가 가능하면 적은 경로를 선택하도록 비용관계식에서 고려하여 다음과 같이 정의한다.

$$Cost(i) = \min\{C_{A,i},\ Life(P')\} \times \frac{1}{E_{A,i} + \sum_{(i,j)\in P} E_{i,j}} \quad \cdots\cdots (9)$$

정의한 비용 관계식은 전송 에너지 소모의 최소화와 노드 수명의 최대화 사이의 값을 절충하여, 에너지 효율적인 방법으로 네트워크 수명의 최대한 연장하는 것이다.

각 이웃 노드들 $i \in Neighbor_A$에서 비용관계식 $Cost(i)$를 구하여 그 값이 최대가 되는 노드 i를 다음 중간 노드로 선택한다. 즉, 송신 노드 A는 이웃 노드들 중에서 이웃 노드에서 목적지 노드까지의 경로의 총 전송 소비 에너지 값은 작으면서, 노드의 잔여 에너지는 많고 링크 에러율은 작은 노드를 선택하여 전체 시스템의 수명을 최대화 하도록 한다.

노드 선택 = $\{i \mid Cost(i)$ is maximum for $i \in Neighbor_A\}$

CMLR은 잔여 에너지와 이웃 노드들 간의 링크 에러율, 홉 간의 전송 소비 에너지를 고려한 비용 관계식을 사용하며, 경로를 선택할 때 잔여 에너지가 거의 없는 노드와 불안정한 링크, 그리고 전송 소비 에너지가 많은 것은 가능한 선택에서 제외시켜서 에너지를 균형있게 사용하며 에너지가 고갈되는 노드가 생기는 것을 지연시켜 네트워크 수명을 연장시키는 에너지 효율적인 라우팅 방법이라 할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

본 장에서는 에드 혹 네트워크에서 시스템 수명의 최대화와 에너지 효율적인 전송을 위해 제안한 CMLR 방법을 모의실험해 보고 그 성능을 네트워크 수명(활동시간)과 경로의 효율성으로 평가한다. 실험에서 비교 대상 모델은 최소 홉 라우팅 방법인 min-hop, 최소 에너지 라우팅 방법인 min-energy, 그리고, MRPC를 선정했다. 시뮬레이션 프로그램은 Windows XP / Microsoft Visual C++6.0을 기반으로 대상 프로토콜을 실험 요소에 맞게 구현하였다.

본 논문에서 수행한 실험에서는 네트워크 전체 크기를 1000m×1000m로 하고 노드들은 100개의 x, y 좌표를 무작위로 추출하여 생성하였고 라우팅에 참여하는 소스 노드와 목적지 노드들의 쌍도 한 개 이상의 값으로 무작위로 선택된다. 한 홉으로 직접 전송이 가능한 거리를 나타내는 $range$는 300m로 두었으며, 하나의 데이터 패킷을 1024 bytes로 두었다. 각 노드가 가진 초기 에너지 값은 0~3000 Joule로 무작위로 부여된다. 각 링크의 에러율은 구간 [0, 0.5]의 값으로 무작위로 주어진다.

실험에서 송신 노드 i에서 이웃노드 j로 하나의 데이터 패킷을 전송할 때, 송신 노드 i에서 소모되는 에너지는 e_{ij} Joule로서 3장에서 언급한 값을 사용하였다. 수신 노드 j에서 데이터를 수신하여 처리하는데 필요한 에너지는 비교적 작은 값이므로 실험에서는 무시하였다. 또한 에너지가 완전히 고갈되는 노드가 생길 때까지 데이터 전송은 계속하여 수행한다. 전체 네트워크 수명(활동시간)은 에너지를 완전히 고갈하는 노드가 생기고 네트워크가 분할되어 더 이상 패킷 전송을 못하는 경우가 발생될 때까지의 시간으로 하였다.

실험 결과, 그림 1은 네트워크의 수명을 나타낸 것이다. CMLR이 min-hop과 min-energy 보다는 월등히 높은 네트워크의 수명을 보였고 MRPC와는 비슷한 결과를 보였다. min-hop과 min-energy 방법은 단지 홉 수 혹은 전송 에너지의 최소화를 목표로 하고 있으므로, 링크의 에러율을 고려하지 않아서 재전송에 소비되는 전송 에너지가 높아지고 노드의 잔여 에너지를 고려하지 않아서 에너지를 균형있게 소모하지 못하여 네트워크의 수명이 짧게 된다. MRPC 경우도 노드의 잔여 에너지와 링크 에러율을 고려한 비용 관계식을 사용하여 경로를 선택하기 때문에 높은 네트워크의 수명을 보인다. 하지만, 경로 상에 노드가 많이 참여하는 등으로 전송 소비 에너지 값이 커지는 경우에는 궁극적으로는 MRPC이 CMLR 보다 열등한 결과를 보이게 된다.

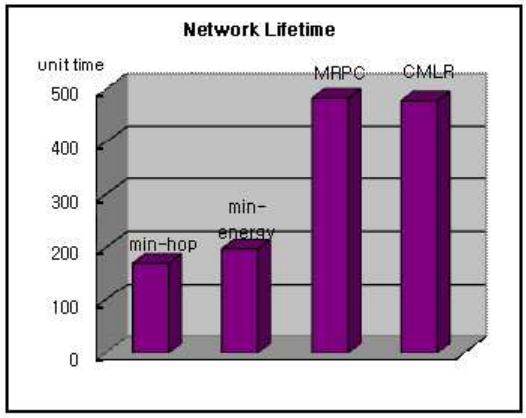

그림 1. 평균 네트워크 수명
Fig. 1. average of network lifetime

그림 2는 경로의 효율성을 비교한 결과로서, 경로의 효율성은 경로의 수명과 그 경로를 통해 패킷을 전송할 때 소모되는 총 전송 소비 에너지의 비율로 정의한다. 경로의 수명이 길수록 경로의 효율성이 높아지며, 전송 소비 에너지 값이 작을수록 경로의 효율성은 높아진다. 그림 3에서 보듯이, CMLR이 가장 높은 경로 효율성을 보였다. min-hop과 min-energy 방법이 경로 효율성이 낮은 이유로는 노드의 잔여 에너지와 링크의 에러율을 고려하지 않기 때문에 선택된 경로의 수명이 짧거나 패킷 재전송으로 인해 전송 소비 에너지가 커서 경로의 효율성이 떨어질 수 있다. MRPC 방법은 경로의 수명을 최대화하는 방법이므로 CMLR에 보다 경로의 수명은 더 길지만 경로의 전송 소비 에너지가 더 크므로 소비 에너지에 대비한 경로의 수명은 CMLR에 비해 오히려 짧아서 CMLR이 경로의 에너지 효율성이 더 우수하다.

이와 같이 실험 결과에서 보듯이, 제안하는 CMLR 방법은 노드의 잔여 에너지와 링크 에러율을 고려한 경로의 수명 값과 경로의 전송 소비 에너지 값을 이용한 새로운 비용 관계식으로써 경로를 선택하므로 노드들의 에너지를 균형있게 소비하여 네트워크의 수명을 연장시키면서 좀 더 효율적인 전송을 가능하게 한다는 것을 알 수 있다.

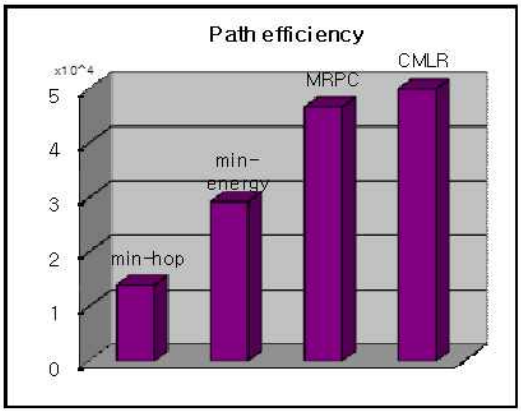

그림 2. 경로의 효율성
Fig. 2. path efficiency

V. 결 론

무선통신기술이 발달하고 휴대용 단말기가 보편화됨에 따라, 기존에 설치된 유선 네트워크나 중앙 집중화된 관리 시스템의 도움이 없이 이동성 있는 호스트들끼리 통신이 가능한 무선 네트워크 구성이 필요하게 되었다. 무선 네트워크를 구성하는 단말기들의 이동성과 휴대성으로 인하여 사용 자원이 제한이 되며 이로 인하여 네트워크 통신 장애가 자주 발생하므로, 제한된 자원을 효율적으로 관리하는 것은 시스템 수명을 좌우하는 중요한 문제가 된다.

본 논문에서는 에드 혹 네트워크 환경에서 통신을 위한 라우팅 설정시 에너지 효율성과 네트워크 수명 연장을 목적으로 하는 CMLR 경로 선택 알고리즘을 제안한다. CMLR은 수정된 Dijkstra's shortest path algorithm [11] 개념을 기본으로 하며, 기존의 제안된 멀티 홉 전송 프로토콜의 장점을 이용하면서 새로운 비용 관계식을 사용하여 경로 선택을 한다. 비용 관계식에서는 각 노드의 잔여 에너지와 링크의 에러율, 전송 소비 에너지 값들로 추정하여 구한 노드의 수명(즉, 2절에서 정의한 노드-링크 비용)과 경로의 총 소비 에너지를 함께 고려한다. 즉, 전송 에너지 소모의 최소화와 노드 수명의 최대화 사이의 값을 절충하여 에너지 효율성을 높이고 균형있는 에너지 소비를 유도하여 네트워크 수명을 연장시키도록 하는 방법이다.

제안하는 CMLR의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 기존의 방법인 min-hop, min-energy, MRPC와 비교하였다. 실험 결과, 네트워크의 수명은 CMLR이 min-hop과 min-energy 보다는 월등히 높았고, MRPC와는 비슷한 결과를 보였다. CMLR 방법은 노드의 잔여 에너지와 링크의 에러율을 고려하여 전송 오류와 재전송의 상대적인 감소로 인하여 에너지 소비가 줄어들고 네트워크 수명이 연장된다는 사실을 알 수 있다.

경로의 효율성은 경로의 수명이 길수록, 전송 소비 에너지 값이 작을수록, 경로의 효율성은 높아지며 제안하는 방법이 가장 높은 경로 효율성을 보였다. min-hop과 min-energy 방법은 노드의 잔여 에너지와 링크의 에러율을 고려하지 않기 때문에 선택된 경로의 수명이 짧거나 패킷 재전송으로 인해 전송 소비 에너지가 커서 경로의 효율성이 떨어진다. MRPC 방법은 경로의 수명을 최대화하는 방법이므로 CMLR보다 경로의 수명은 더 길지만 경로의 전송 소비 에너지가 더 크므로, 소비 에너지에 대비한 경로의 수명은 CMLR에 비해 오히려 짧아서 CMLR이 경로의 에너지 효율성이 더 우수하다.

제안하는 CMLR 방법은 노드들의 에너지를 균형있게 소비하여 네트워크의 수명을 연장시키면서 좀 더 효율적인 전송을 가능하게 하는 방법이다.

참고문헌

[1] V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum energy mobile wireless networks", IEEE Journal Selected Areas Comm., vol. 17, no. 8, pp. 1333-1344, Aug. 1999.

[2] J. H. Chang and L. Tassiulas, "Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks,"IEEE INFOCOM, March 2000.

[3] C.-K. Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks," IEEE Communications Magazine, Volume: 39 Issue: 6 , pp 138-147, June 2001.

[4] S. Banerjee and A. Misra, "Energy efficient reliable communication for multi-hop wireless networks," Journal of Wireless Networks (WINET), 2003.

[5] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wire less Ad-hoc Networks," IEEE INFOCOM 2000, pp. 22- 31, 2000.

[6] X. Li, H. Chen, Y. Shu, X. Chu, and Y. Wu, "Energy Efficient Routing With Unreliable Links in Wireless Networks", IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor

Systems(MASS'06) pp. 160 - 169, Oct. 2006.

[7] S. Banerjee, A. Misra, Y. Jihwang, and A. Agrawala, "Energy-efficient broadcast and multicast trees for reliable wireless communication", Wireless Communications and Networking, WCNC 2003, IEEE vol.1, pp. 660 - 667, March 2003

[8] 유대훈, 최웅철, "이동 애드혹 네트워크에서 MAC 계층 자원을 이용한 에너지 효율 라우팅 프로토콜," 한국컴퓨터정보학회논문지, v.12, no.6, pp.219-228, 2007년 12월.

[9] J. Gomez, A. T. Campbell, M. Naghshineh, and C. Bisdikian, "PARO: Supporting Dynamic Power Controlled Routing in Wireless Ad Hoc Networks." ACM/Kluwer Hournal on Wireless Network(WINET), 2003.

[10] Q. Dong, S. Banerjee, M. Adler, and A. Misra, "Minimum Energy Reliable Paths Using Unreliable Wireless Links" MobiHoc'05, May 25-27, 2005, Urbana Champaign, Illinois, USA.

[11] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein. Introduction to Algorithms (Second Edition). MIT Press, 2001.

[12] K. Woo and Ben Lee, "Non blocking localized routing algorithm for balanced energy consumption in mobile ad hoc networks," In Proc. of IEEE MASCOTS'01, pp. 15-18, 2001.

[13] A. J. Goldsmith and S. B. Wicker, "Design challenge for energy constrained ad-hoc wireless networks," IEEE Wireless Communications, Vol. 4, No. 4, pp. 8-9, August, 2002.

저 자 소 개

이 주 영

1984년 : 이화여자대학교 수학과 학사.

1991년 : The George Washington Univ. 컴퓨터과학과 석사.

1996년 : The George Washington Univ. 컴퓨터과학과 박사.

1996~현재 : 덕성여자대학교 컴퓨터학과 교수.

관심분야 : 알고리즘, 분산/병렬처리, 그래프이론, 무선통신