

이동 Ad Hoc의 라우팅 방식 연구

권수근

경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부

Study on Routing Scheme for Wireless Ad Hoc

Kwon Soo Kun

School of Computer & Multimedia Engineering, Gyeongju Univ.

요 약

다이내믹 노드 토폴로지, 분산제어, stochastic 채널 특성, 멀티 홉 등 새로운 특성이 요구되는 무선 Ad hoc 네트워크에서 노드의 유연한 이동성과 요구 QoS를 제공하기 위한 라우팅 방식에 대한 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서는 기존의 연구에서 트래픽 전송율, 지연특성 등의 관점에서의 연구가 가지는 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위한 새로운 라우팅 방식을 제안하고 이의 성능을 검증한다.

1. 서론

휴대용 단말기와 이동통신의 발전은 곳곳에 산재한 전자장치들을 활용한 컴퓨팅 및 연동을 지원하는 유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅, 웨어러블(wearable) 컴퓨팅 등 새로운 분야의 비전이 제시되고 있다^{1,2)}. 이런 비전에도 불구하고, 현존하는 여러 종류의 휴대용 단말, 즉 랩탑 컴퓨터, 이동전화, PDA, MP3 등은 상호 연동되지 못하고 독립적으로 사용되고 있다. 이러한 연동을 지원하기 위해 지난날 전쟁터나 재난 지역에서 임시 네트워크를 구축하여 상호통신을 지원한 통신방식과 브루투스, 멀티 홉 등의 새로운 기술이 접목되어 무선 Ad hoc 네트워크로 발전하고

있다³⁾. Ad hoc 네트워크는 패킷데이터를 보내기 위해 무선접속을 사용하는 이동 노드들이 중앙관리 없이 구성되는 네트워크이다. 이 네트워크에 포함된 노드는 이웃 노드 간에 직접통신이 가능하며 또한 광역 이동망이나 무선 LAN 등을 통해 인터넷에도 접속이 제공된다.

구성된 모든 노드가 자유롭게 이동할 수 있는(노드가 갑자기 사라지거나 나타날 수도 있는) 다이내믹 토폴로지를 가지며, 또한 모든 노드가 라우터와 호스트로 동시에 동작할 수 있는 특성을 가지는 무선 Ad hoc 네트워크는 효율적인 서비스를 제공하기 위해서는 네트워크 구조, 라우팅 프로토콜, 매체접근 제어 등의 분야에서 많은 연구가 필요하다.

이동성 지원을 위해 소형, 경량화가 필수적인 무선 Ad hoc에서 노드는 제한된 전력을 가지며 중심 노드

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구 되었음 (KRF-2003-002-D00287)

가 충분한 여유 전력을 가지지 못한 경우 해당 노드의 조기 서비스 중단 뿐 아니라 중심 노드의 제거로 인해 Ad hoc 전체의 라우팅 체계 혼란을 야기한다. 따라서 전체 노드의 생존시간을 증대시켜 특정 노드의 fail을 방지하고 망 토폴로지의 안정성을 제공하기 위해 노드의 여유 전력을 고려한 라우팅 방식의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 전송의 효율성을 최대한 유지하면서 또한 여유전력이 적은 노드의 부하를 줄여줄 수 있는 방식으로 클러스터링과 여유전력 라우팅 기법을 혼합하는 라우팅 기법(CBPAR:Cluster Based Power-Aware Routing)을 제안하고 시뮬레이션을 통해 결과를 분석한다.

2. 여유전력을 기반으로 한 라우팅

기존의 연구는 먼저 노드의 여유 전력에 따라 멀티홉 환경에서의 트래픽 중계의 부하를 할당함으로써 특정 노드가 조기에 전력이 고갈되는 문제점을 해결하고 전체 Ad hoc 망의 안정성을 유지하는 라우팅 방법을 제시하였다. 지금까지 연구되어져 온 주요한 라우팅 방식을 다음과 같다.

첫째로, MTPR(Minimum Total Power Routing)은 모든 가능한 경로중에서 전송 전력이 최소화되는 경로를 선택하는 방식이다. 경로 R에 대한 전체전송 전력인 경우, 라우팅 경로는 아래 식으로 구해진다. S는 가능한 모든 경로의 집합이다.

$$\text{Minimize } \sum_{i \in path} p(i, i+1)$$

where $P(i, i+1)$ denotes power expended for transmission between two consecutive node i and $i+1$, in the root P.

이 방식은 대부분의 경우 다른 방식에 비해 홉 수가 많아 질수 있다. 또한 전송전력은 거리의 역에 비례하므로 인접에 있는 더 많은 노드가 관여되어 그렇지 않으면 sleep 상태에 있을 많은 노드가 전송에 관련된 네트워크 전체적으로는 더 많은 전력이 소모될 수 있다.

둘째로는, MBCR(Minimum Battery Cost Routing)이다.

MBCR은 라우팅 상에서 선택되는 모든 인접노드에 대해 전원용량의 역의 합이 최소가 되는 경로를 선택한다. 이 경우 최소화되어야 하는 것이 노드들의 전원용량의 합이기 때문에, 여유전력이 거의 없는 노드도 경로에 포함되어 overused 될 수 있는 가능성이 있다.

MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing)는 여유전력의 관점에서 노드들을 공정하게 처리 하는 방식이다. 적은 여유전력을 가진 노드는 라우팅에서 제외하고, 여유전력이 많은 노드들이 경로의 선택에서 우선되게 한다. 경로의 선택은 아래의 식에 따른다.

$$P_{MMBCR} = \frac{\min}{R \in S} \left[\frac{\max}{n \in S} (1/battery_capacity_n) \right]$$

이 경우 네트워크 전체의 전력 소모를 최소화하는 경로를 우선시 하지 않으므로 전체 전력 소모는 증대될 수 있다

그리고, 이들의 변형으로 모든 노드가 소위 battery-protection threshold 이상의 여유 전력을 가지는 경우에는 MTPR 방식을 적용하고 그렇지 않은 경우에는 MMBCR을 적용하는 방식이 있다. 이 방식은 CMMBCR(Conditional Min-Max Battery Cost Routing)으로 불리 운다.

우선 Ad-Hoc 망을 위한 새로운 인프라 형태를 적용하여, 전력을 절약하는 새로운 방식이 있다. PA-VBS(Power-Aware Virtual Base Station)라고 불리는 이 방식은 여유전력이 많은 하나의 노드가 선택되어 존(Zone) 내에서 base-station 역할을 하게한다. 다른 클러스터 알고리즘과는 달리, 이 방식은 노드의 여유전력을 공정하게 사용하게 한다. Based station으로 선택된 노드의 전력을 고갈시키지 않기 위해, 서비스 거부 개념을 사용하여 공정한 클러스터링을 유지한다.

위에서 언급된 전력기반의 라우팅 기법의 성능분석 결과를 보면 최소 홉 방식에 비해 모두 우수하지 못한 특성을 보인다. MBCR은 공정하게 전력을 소비하기 위한 시도이나, 다른 방식에 비해 더 많은 전력을 소비한다. MMBCR은 이동성이 적은 경우 최소의

평균 전력을 소비한다. 그러나 이 방식은 이동성 높어짐에 따라 성능이 저하된다. 이와 같은 결과는 다른 방식이 여유전력에 많은 강조를 두었기 때문이다. 이는 여유전력이 많다는 이유만으로 과부하 된다. 최소 홉 방식이 현재의 여유전력 기반 방식보다 우수하다는 결과는 이 분야에서 더 많은 연구가 요구된다고 할 수 있다.

3. 클러스터와 여유전력을 기반으로 새로운 라우팅 기법

기존의 라우팅 연구는 대부분 전송의 효율성과 네트워크의 안정성 두 가지 측면중 하나만을 고려한 방식이었다. 즉, 최소 홉 방식으로 대표되는 전송의 효율 측면에 우선을 둔 라우팅 방식과 여유전력에 기반을 둔 라우팅 방식이다. 이에 대한 분석 결과는 위에서 살펴본 바와 같이 만족한 상태가 아니다. 전송의 효율 측면에 우선을 둔 라우팅 방식은 노드가 충분한 여유 전력을 가지지 못한 경우 해당 노드의 조기 서비스 중단 뿐 아니라 중심 노드의 제거로 인해 Ad hoc 전체의 라우팅 체계 혼란을 야기하는 문제를 가지지만, 여유전력 기반의 라우팅은 여유전력이 많은 노드에 지나친 부하를 가하여 노드들간의 공정성(fairness)에 문제를 가지며 전송의 효율성이 떨어져 실제로는 더 많은 전체 전력을 소비하는 문제를 가지게 된다.

본 연구에서는 전송의 효율성을 최대한 유지하면서 또한 여유전력이 적은 노드의 부하를 줄여줄 수 있는 클러스터링과 여유전력 라우팅 기법을 혼합하는 라우팅 기법 (CBPAR: Cluster Based Power-Aware Routing)을 제안한다. 먼저 전체의 서비스 영역을 지역적으로 분할하여 클러스터를 구성하여 클러스터 내에서 여유전력이 가장 많은 노드를 클러스터 헤드로 선택한다. 그러나, 기존의 클러스터 헤드 중심의 라우팅에서 헤드 노드로의 트래픽 집중에 의한 헤드 노드 등의 전력 과다 소비와 헤드 노드로의 트래픽 집중에 의한 충돌(Collision) 발생 등의 문제점을 고려하여 클러스터 헤드 중심의 라우팅은 하지 않는다. 대신, 기존의 라우팅 방식 중 전송효율성이 가장 우수한 최소 홉 라우팅 방식을 기본으로 하여 라우팅 경로를 선택한다. 이에 따라 1차적으로 경로를 선택하고, 선택된 노드 중에서 battery-protection threshold 이하의 여유전력이 있는 노드가 포함되어 있는지를 조사하여 해당 노드가 있는 경우 이 노드

가 포함되는 클러스터의 헤드가 이 대신 라우팅 경로에 포함되게 한다.

제안된 라우팅이 방식의 특징을 정리하면 아래와 같다.

- 전송효율을 기반으로 하여 초기 라우팅 경로를 선택함으로써 효율적인 전송 가능
- 여유전력이 적은 노드에 대한 부하 경감
- 공정성 측면에서 기존의 클러스터링 방식이나, 여유전력 기반 방식에 비해 개선됨
- 여유전력이 적은 노드를 동일 클러스터의 헤드가 대신함으로써 경로의 변화가 적으며, 존 영역을 크기 조절에 의한 헤드 노드의 부하 조절 가능

4. 결과 및 고찰

4.1 전력 소비 모델

멀티 홉 ad hoc 네트워크에서는 노드들은 항상 인접 노드로부터 트래픽을 받을 준비가 되어 있어야 한다 ad hoc 네트워크에서는 base station이나 중앙 제어 장치의 부재로 인하여 sleep 모드로 동작 될 수가 없다. 따라서, ad hoc 노드들은 항상 그들의 인접 노드들의 전송을 엿듣기 위하여 불필요한 전력을 소비해야만 한다. 비록 이러한 것들이 명백한 과도한 전력의 소비이지만, on-demand routing에서는 경로 설정을 위한 on-the-fly 경로 설정에 참여하기 위해 항상 powered-on 상태에 있어야 한다. 또한 table-driven 프로토콜에서도 주기적인 경로 테이블 정정 및 패킷 라우팅에 참여하기 위해 지속적인 동작을 요구한다.

기존의 연구 결과는 유휴(idle), 수신상태(receive) 전송상태(transmission)의 소모전력 비를 1:1.05:1.4[9], 1:2:2.5[10], 1:1.2:17[11] 및 843mW:966.96mW:1.327mW[12] 등의 결과를 제시하고 있다. IEEE802.11 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 부계층에서 시뮬레이션을 수행하였다. 이것은 전력 기반의 연구에 유용하다. PLCP 프리앰블과 PLCP 헤드는 동기를 위해 모든 패킷의 앞부분에 attach 된다. 또한, 데이터 패킷의 길이와 전송율은 수신기에 의해 PLCP 헤드로부터 얻어진다. 저전송율의 네트워크 접속 카드와 높은 전송율의 네트워크

접속 카드간의 통신을 위해 PLCP 프리엠블과 헤드가 유용한 가장 낮은 전송율·1Mbps로 전송 되어 한다. 1Mbps PLCP 전송율의 고려는 전송율이 낮으면 많은 전력을 소모하므로 대단히 중요하다. 여러 가지의 IEEE802.11 패러미터가 고려되어야 한다.

Table.1 DSSS를 위한 프레임간 spaces(Interframe spaces for DSSS)[13]

InterFrame Space	Value used in Simulation
short Interframe Spaces(SIFS)	10usec
random backoff slot	20usec
DCF unterFrame spaces(DIFS)	50usec

4.2 시뮬레이션

가. 시뮬레이션 환경

Event driven simulator ns-2를 사용하였다. 1000x1000에 20개의 노드를 설정하였다. 각 노드의 범위는 250m로 하였고, 100개의 링크가 랜덤하게 설정되도록 하였다. 연결은 가변 접속시간을 가지는 ftp로 하였고 평균접속 시간은 20sec로 설정하였다. 전체 동작시간은 10,000sec, 노드 이동은 10m/sec, 랜덤 이동은 4sec의 pause time을 가지게 하였다. 초기에 모든 노드의 유니크한 노드 Id와 x, y 좌표상의 random 위치가 주어졌다.

나. 성능 측정 패러미터

제한된 라우팅 방식을 기존의 라우팅 방식과 비교하기 위해 사용된 패러미터는 아래와 같다.

o 평균 소모 전력(Average Dissipated Power) : 라우팅을 위한 각 노드의 평균전력 소모로 단위는 W(Joules)이며, 이 값이 적은 경우 전력 효율이 좋은 방식이다.

o 소모 전력의 표준 편차(Standard Deviation of the Dissipated Power) : 이 값은 각 노드들 간의

사용된 전력의 표준편차 이다. 이 값은 라우팅 방식에서 어떤 노드가 overused되는 지를 나타내며, 따라서 이 요소는 노드들 간의 공정성(fairness)을 측정하는 중요한 요소이다. 이 값은 0인 경우 가장 이상적인 값이며, 값의 크기가 적을 수록 공정한 라우팅 방식이라고 볼 수 있다.

o 네트워크 생존시간(Network Lifetime) : 네트워크 생존시간은 다양한 관점에서 평가를 할 수 있다. 노드의 일부가 여유전력 고갈에 의해 서비스에서 제외되는 경우, 하나의 노드가 제외되는 경우, 모든 노드가 제외되는 경우 등의 정의를 가질 수 있다. 본 연구에서는 첫 번째 방식을 적용하였다.

다. 시뮬레이션 결과

그림1. 각 방식별 평균 소모 전력을 보여준다. 최소 홉 방식이 가장 좋은 성능을 보여준다. 이 결과는 대부분의 경우 가장 짧은 경로를 가지는 경우 전력 소비 효율에서도 가장 우수함을 나타낸다. 최소 홉 방식은 가장 적은 노드가 관련되므로 전체 소모 전력이 최소화된다. MBCROI 가장 많은 전력을 소비한다. 최소 전원 코스트를 소모하는 경로가 쉽게 overused 되기 때문이다. 이것은 다른 문제 즉, MAC 계층에서의 충돌, overused 노드의 노드가 busy medium에 대해 더 많은 전력을 보시하는 문제를 야기한다. 제한된 CBPAR 방식은 최소 홉 방식에 비해서는 약간 높지만 다른 방식에 비해서는 우수한 특성을 보여준다. 이는 정상적인 경우에는 최소 홉과 동일하게 동작하고 여유전력이 없는 노드가 라우팅 경로로 선택되는 경우에만 헤드 노드가 대신 처리하기 때문이다.

그림2. 각 방식별 소모 전력의 표준 편차를 나타낸다. 최소 홉 방식이 가장 좋은 특성을 보여준다. MTPR을 제외한 다른 방식은 전체전력의 소비보다는 여유전력에 크게 비중을 두기 때문이다. 여유전력 기반의 방식에서는 여유전력이 많은 노드는 여유전력이 적은 노드에 비해 overused 되는 경향이 있다. MBCROI 표준편차가 가장 크며 따라서 가장 unfair한 방식이다. battery capacity protection 값은 최대 값의 반으로 가정하였다. 이 경우에서도 마찬가지로

제안된 CBPAR 방식은 최소 홉 방식에 비해서는 약간 높지만 다른 방식에 비해서는 우수한 특성을 보여준다. 이 경우에도 정상적인 경우에는 최소 홉과 동일하게 동작하고 헤드 노드가 라우팅에 개입하는 경우에 unfair가 발생하나 여유전력이 낮은 노드가 라우팅에 선택되는 경우에만 해당되므로 발생 확률이 높지 않을 볼 수 있다.

그림3. 각 방식별 전력고갈 노드의 발생 빈도를 보여준다. 이 경우 소모 전력의 표준 편차를 나타낸다. 최소 홉 방식이 가장 좋은 특성을 보여 MMBCR 방식이 가장 좋은 특성을 보여준다. 이는 이 방식이 battery capacity protection 이하인 노드의 경우 라우팅 경로 선택시 제외되기 때문에 발생하는 당연한 결과이다. 제안된 CBPAR 방식은 MMBCR에 비해서는 약간 높지만 다른 방식에 비해서는 우수한 특성을 보여준다.

위의 결과를 검토하면, 전송효율, 노드간의 형평성 등을 고려하면 minHop 방식이 가장 우수하다. 그러나 이 방식은 network lifetime 측면에서는 가장 미흡한 결과를 보여준다. 이에 반해, 여유 전력 기반의 라우팅 방식은 network lifetime 측면에서는 우수하나 네트워크 전체의 전력 소모, 노드간의 형평성 측면에서는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서 제안된 CBPAR 방식은 전송효율, 노드간의 형평성, network lifetime 측면 등의 모든 측면에서 모두 양호한 특성을 나타내었다.

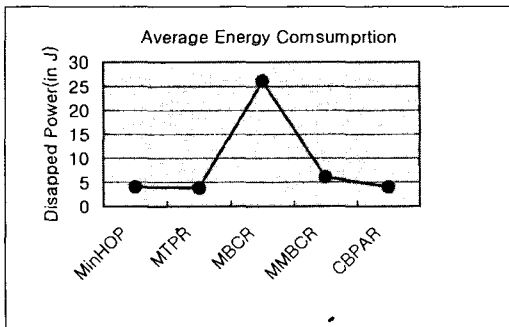


그림 1. 각 방식별 평균 소모 전력

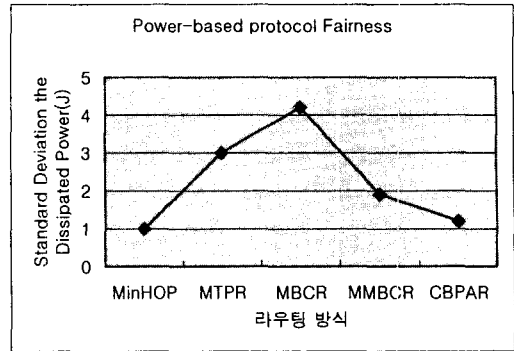


그림. 2 각 방식별 소모 전력의 표준 편차

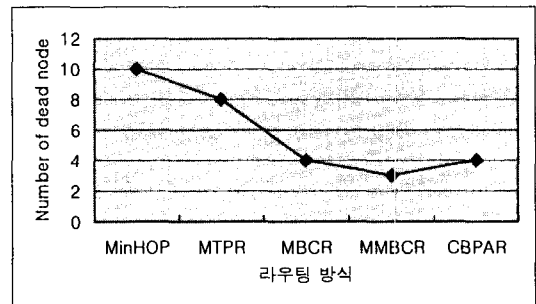


그림. 3 각 방식별 전력고갈 노드의 발생

5. 결론

본 연구에서는 노드의 여유전력을 고려하여 망의 생존시간을 증대시키면서 또한 기존의 여유전력 기반 방식의 문제점인 전체망의 소비 전력 증가, 노드들간의 형평성 등을 감소시킬 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식은 클러스터링과 여유전력 기반 라우팅을 혼합한 방식으로 라우팅 경로로 선택된 노드가 여유전력이 부족한 경우에 여유전력이 가장 많은 노드로 구성되는 클러스터 헤드가 이 노드를 대신하여 라우팅을 하는 것을 기본 개념으로 하였다 시뮬레이션을 통한 성능분석을 하여 전체소비 전력 평균, 소비 전력의 표준 편차, 네트워크 생존시간 등의 평가요소들을 비교한 결과 하나 이상 평가요소의 취약성을 가지는 기존 방식에 비해 제안된 방식은 모든 평가 요소에서 양호한 특성을 보여줌을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Weiser, "The Computer for the Twenty-first Century", Scientific America, pp. 99-104, Aug. 1997.
- [2] S. Roberts, "Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging", IEEE Computer, Vol. 30, No. 2, pp22-32, Feb. 1997.
- [3] Mobile Ad hoc networks(MANET).
URL:<http://www.ietf.org/html.charters/manetchart.html>. (2000-05-28). Work in progress.
- [4] S. Murthy and J.J., "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks", ACM Mobile Network, Oct. 1996, pp.183-97
- [5] E. Elizabeth M., Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Wireless Networks", IEEE Personal Communications, Apr. 2000, pp. 46-55.
- [6] C. Chiang, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel", Proc., IEEE SICOM, Apr. 1997, pp. 197-211.
- [7] R. Dube and K.Y. Yang, "Signal Stability-Based Adaptive Routing for Ad Hoc Mobile Networks", IEEE Personal Communications, Feb. 1997, pp. 36-45.
- [8] Y.B. Ko and N.H. Vaidya, "Location Aided Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Proc IEEE INFOCOM, Mar. 1999
- [9] Stemm, M. and Katz, R. H., "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in handheld devices," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications, and Computer Science, Special Issue on Mobile Computing, 80(8):1125-1131, August 1997.
- [10] O. Kasten, "Energy consumption,"
http://www.inf.ethz.ch/~kasten/research/bathtub/energy_consumption.html. 2001.
- [11] S.Singh and C.S. Raghavendra" Power-

efficient MAC protocol for multihop radio networks", Proc. of IEEE PIRMC'98 conf., vol. 1, pp. 153-157, September 1998.