

MANET에서의 온-디맨드 방식의 전력 효율적인 QoS 라우팅 알고리즘

준회원 이재권*, 정회원 송황준**

On-Demand Power-Efficient QoS Routing Algorithm over Mobile Ad Hoc Networks

Zae Kwun Lee* Associate Member, HwangJun Song** Regular Member

요 약

본 논문에서는 모바일 애드 hoc 네트워크(MANET)에서 전력 효율적인 QoS 라우팅 알고리즘을 설명한다. 멀티미디어 데이터는 해당 응용 계층에 따라서 대역폭, 지연시간 등의 QoS를 필요로 한다. 그러나 모바일 애드 hoc 네트워크는 토폴로지가 시간이 지남에 따라 자주 변하고, 전력 등의 자원에 제약이 많기 때문에 QoS를 보장하기 어렵다. 그러므로 본 논문에서는 최소의 전체 소비전력으로 보다 지속적으로 종단 간에 요구된 QoS를 보장하는 온-디맨드 방식의 QoS 라우팅 알고리즘(MAPER)을 제안한다. 마지막으로 실험결과에서는 제안한 알고리즘의 성능을 보인다.

Key Words : Mobile ad hoc networks, QoS Routing, Media-aware, Power-efficient, IEEE 802.11

ABSTRACT

This paper presents MAPER, a media-aware power efficient routing algorithm over mobile ad hoc networks. Generally, multimedia services need various quality of service over the network according to their characteristics and applications. But it is not easy to guarantee quality of service over mobile ad hoc networks since the resources are very limited and time-varying. Furthermore only a limited power is available at mobile nodes, which makes the problem more challenging. Now, we propose an effective routing algorithm over mobile ad hoc networks that provides the stable end-to-end quality of service with the minimum total power consumption. Finally, experimental results are provided to show the performance of the proposed algorithm.

1. 서 론

모바일 네트워크는 인프라 구조의 도움 없이 서로 통신을 할 수가 있고, 유비쿼터스 시대를 이끌 수 있는 차세대 방법의 일환으로 높은 관심을 불러 일으키고 있다. 그러나 무선 환경으로 통신하는 모바일 장치들의 이동성으로 인하여 링크들이 불안정하고, 네트워크 토폴로지가 동적으로 변한다는 단점

이 존재한다. 또한 무선 환경의 특성상 배터리, 무선 전파 범위, 대역폭 등은 모바일 장치에서는 제한적이다. 게다가 QoS를 제공하는 것은 아직도 해결해야 할 어려움이 많이 남아있다.

최근에는 지금까지 제안된 많은 연구를 토대로 이동 애드 hoc 네트워크에서 멀티미디어 전송에 관련된 연구도 활발히 진행되고 있다. CEDAR (Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing) 알고

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 (홈네트워크연구센터) 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

* 국방과학연구소 연구원, ** 포항공과대학교

논문번호 : KICS2006-07-313, 접수일자 : 2007년 7월 20일, 최종논문접수일자 : 2007년 8월 10일

리즘 [1]은 코어 네트워크를 먼저 구성하고, 이들 사이에 QoS 정보를 전송하고, 라우팅 오버헤드를 줄이면서 대역폭 요구조건을 만족시키는 경로를 찾는다. TBP (Ticket-Based Routing) 알고리즘 [2]은 Imprecise State Model을 사용하여 네트워크의 상태 정보를 유지하여, QoS (대역폭 또는 지연시간)를 만족하는 경로를 찾을 때 라우팅 오버헤드를 줄인다. 그러나 이들 알고리즘들은 각 노드들이 전체 네트워크 상태를 알고 있거나, 거리-벡터 알고리즘 등의 테이블 드리븐 방식을 기본으로 한다. 그래서 네트워크 상태정보를 알기 위해 주기적으로 메시지들을 주고 받아야하므로 라우팅 오버헤드가 높다는 단점이 존재한다. 그 밖에도 Chen et al.은 온디맨드 방식으로 대역폭을 요구조건을 만족시키는 경로를 찾는 알고리즘을 제안하였다^[3]. 하지만 온디맨드 방식의 지연시간 요구조건을 만족시키는 QoS 라우팅 알고리즘에 관한 연구는 많이 부족하고, QoS와 전력 효율을 고려한 연구는 전무한 상태이다.

본 논문에서는 전력 효율적인 온디맨드 방식의 QoS 라우팅 알고리즘을 고려한다. 제안하는 알고리즘의 목적은 최소의 전체 소비전력으로 보다 안정된 종단간의 요구된 QoS를 제공하는 곳이다. 이 목적을 달성하기 위해 다음의 특징들을 가진다. 첫째, 각홉마다 수신된 전력을 보장하는 것에 의해 요구된 대역폭을 제공하고, 불필요한 계산복잡도를 줄이기 위해 만족하지 못하는 경로는 제거시킨다. 둘째, 제안하는 알고리즘은 온디맨드 방식으로 분산된 방법으로 라우팅 오버헤드를 줄이도록 설계하였다. 셋째, 간단하지만 효과적인 경로 유지기법은 링크 실패에 의해 발생하는 지연 지터를 줄이도록 고려되었다. 또한 load-balancing, 충돌 (collision), 경쟁 (contention) 문제들도 지연시간과 지연 지터를 고려하는 것에 의해 묵시적으로 해결된다.

II. 본론

본 논문을 전개하는 데 있어서, 다음과 같이 가정한다.

- ㉠ 임의의 노드가 다른 노드들과 통신하기 위해서 사용하는 전송 전력은 변경할 수 있다.
- ㉡ 패킷들은 포아송 분포를 따르는 μ 비율로 도착된다.
- ㉢ 패킷들은 도착한 순서대로 처리된다. (FCFS)

2.1 멀티 레이트 이동 채널 모델과 지연시간 모델

•멀티 레이트 이동 채널 모델

요즘 대부분의 무선 장치들은 MAC 프로토콜로 IEEE 802.11 표준계열을 사용한다^[4]. 그리고 IEEE 802.11 표준계열은 멀티 레이트를 제공한다. 예를 들면 IEEE 802.11b는 11Mbps, 5.5Mbps, 2Mbps, 그리고 1Mbps를 제공한다^[5]. 그리고 수신된 SNR (signal-to-noise ratio)에 따라 높은 레이트의 변조 (modulation) 기법을 선택한다.

•노드에서의 지연시간 모델

노드 N_k 에서의 지연시간 (D_{N_k})은 큐잉 지연시간 ($D_{N_k}^Q$)과 전송 지연시간 ($D_{N_k}^T$)의 합으로 표현된다. 그리고 시그널링을 통해 지연시간을 계산하는 오버헤드를 줄이기 위해서, 모델 접근 방법을 이용하였다. IEEE 802.11 [4]의 MAC 모델은 stop-and-wait ARQ 방식으로 M/G/1 큐잉 시스템으로 모델링할 수 있다. 그러므로 노드 N_k 에서 j 번째 패킷의 전송 지연시간은 아래와 같이 계산된다.

$$D_{N_k}^T(j) = \frac{RTT_j}{1-p} \quad (1)$$

위 (1)식의 p 는 전송 노드에서 수신 노드까지 패킷 전송이 실패할 확률로 IEEE 802.11의 DCF mode^{[4][5]}에서는 아래와 같이 계산된다.

$$p = 1 - (1 - p_{access})(1 - p_{cts})(1 - p_{ack}) \quad (2)$$

위 (2)식의 p_{access} 는 채널을 사용하려고 할 때 실패할 확률이고, p_{cts} 는 RTS패킷을 보낸 후 CTS패킷을 수신 받지 못할 확률이고, p_{ack} 는 데이터를 전송한 후에 ACK패킷을 받지 못할 확률이다. 그리고 이들 값들 p_{access} , p_{cts} 그리고 p_{ack} 은 초기에 각 노드들에서 0으로 초기화되고, 전송할 때마다 자신의 값들을 수정하게 된다. RTT_j 은 패킷을 하나 전송하는데 걸리는 전송시간 (round trip time)으로 IEEE 802.11의 DCF mode에서는 다음과 같이 계산된다^{[4][5][6]}.

$$\begin{aligned} RTT_j &= (DIFS + 3SIFS + BO + T_{RTS} + T_{CTS} \\ &\quad + T_{DATA} + T_{ACK}) \times 10^{-6} \\ &= (1542 + \frac{8L_{DATA}MAC}{R_{DATA}}) \times 10^{-6} \quad (3) \end{aligned}$$

(3)식의 T_{RTS} , T_{CTS} , T_{DATA} , T_{ACK} 은 각각 RTS,

CTS, DATA, ACK 패킷을 전송하는데 필요한 시간이고, $L_{DATA,MAC}$ 는 MAC 레이어의 데이터 길이이고, R_{DATA} 는 전송 레이트이다.

노드 N_k 에서의 큐잉지연시간은 P-K formula^[7]를 적용하면 아래와 같이 계산된다.

$$D_{N_i}^Q(j) = \frac{\mu(1+p)RTT_j^e}{2(1-p)(1-p-\mu RTT_j)} \quad (4)$$

위 (4)식의 μ 는 전송하기 위해 큐에 들어온 패킷들 간의 평균 시간차의 역수로 계산된다.

2.2 미디어 인식 전력 효율적인 라우팅 알고리즘

미디어 서비스를 효과적으로 제공하기 위해서 경로 상의 대역폭은 요구되는 최소 대역폭보다 커야 하고, 종단 간 지연 시간은 요구되는 최대 지연시간보다 작아야 한다. 그러므로 미디어를 인식하면서 전력에 효율적인 QoS 라우팅 문제를 지연시간 제약조건 (D_{max})과 대역폭 제약조건 (BW_{min})을 만족시키면서 소비 전력을 최소화하는 경로를 찾는 문제로 나타낼 수가 있다. BW_{min} 은 변조 기법이 SNR 또는 수신 전력에 의해서 물리 계층에서 자동적으로 결정되므로, 경로의 최소 수신 전력을 일정 값 이상으로 보장함으로써 제공할 수가 있다.

- 문제 정의: 아래의 비용함수를 최소화 하는 소스와 목적지 사이의 경로를 결정한다.

$$\begin{aligned} & \sum_{N_i \in R_i} \{P_{N_i, n, v} + \alpha \min\{P_{media_min} - P_{N_i, v}, 0\}\} \\ \text{subject to } & \frac{1}{M} \sum_{j=n-M+1}^n D_{R_i}(j) \leq D_{max} \end{aligned} \quad (5)$$

위 (5)식의 R_i 는 소스와 목적지사이의 경로, N_k 는 경로에서 k 번째 노드, $P_{N_i, n, v}$ 는 $k-1$ 번째 노드의 전송 전력, $P_{N_i, v}$ 는 k 번째 노드의 수신 전력, P_{media_min} 는 멀리 레이트가 지원된다는 가정 아래에서 BW_{min} 을 보장해주며 미디어 서비스를 위해 수신노드에서 요구되는 최소 수신 전력, n 은 마지막 수신된 패킷 번호, M 은 평균 지연시간을 측정하기 위한 윈도우 크기 (M 은 미디어의 지연시간과 연관되어 있으며, 실시간 미디어의 경우 비실시간 미디어보다 더 적은 값을 갖는다.), $D_{R_i}(j)$ 는 j 번째 패킷에 대한 종단간의 지연시간으로 아래와 같이 계산된다.

$$D_{R_i}(j) = \sum_{N_i \in R_i} D_{N_i}(j) \quad (6)$$

α 는 큰 상수 값으로 P_{media_min} 를 보장하지 못하는 경로를 제외시키기 위해 사용된다. 그런데 대역폭은 여러 개의 통신들 사이에 서로 공유되므로 경로의 모든 노드에서 수신된 전력이 P_{media_min} 이상이라고 해서 BW_{min} 을 보장하지 못 할 수도 있다. 그래서 위의 수식처럼 최소 수신 전력뿐만 아니라 평균 지연시간을 고려할 필요가 있다. 그리고 제안한 방법은 명시적으로 load balancing문제를 해결한다. 즉, 만약 어떤 노드가 트래픽이 집중되고, 이로 인하여 노드를 통과하는 패킷의 지연시간이 증가되면, 제안한 알고리즘은 지연시간 요구조건을 만족시키기 위해서 다른 경로를 찾는다. 이렇게 지연시간을 경로 탐색의 비용으로 사용하여 load-balancing을 위한 새로운 라우팅 프로토콜이 제안되기도 하였다^[8].

2.2.1 이분법을 이용한 빠른 경로 찾기 방법

제한조건을 만족시키는 최적의 경로를 찾기 위해서 비용 함수를 라그랑주 승수(Lagrange Multiplier)를 적용하여 아래와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} R_i^* &= \arg \min_{R_i} \{C(R_i)\} \quad (7) \\ C(R_i) &= \sum_{N_i \in R_i} \{P_{N_i, n, v} + \alpha \min\{P_{media_min} - P_{N_i, v}, 0\}\} + \lambda \frac{1}{M} \sum_{j=n-M+1}^n D_{R_i}(j) \end{aligned}$$

위 (7)식의 λ 는 라그랑주 승수이다. 그런데, 각 노드들 간에 연관성(cross-terms)이 없기 때문에 아래와 같이 간단하게 나타낼 수가 있다.

$$\begin{aligned} R_i^* &= \arg \min_{N_i \in R_i} \{C(P_{N_i})\} \quad (8) \\ C(P_{N_i}) &= P_{N_i, n, v} + \alpha \min\{P_{media_min} - P_{N_i, v}, 0\} + \lambda \frac{1}{M} \sum_{j=n-M+1}^n D_{N_i}(j) \end{aligned}$$

위 (8)식을 통해, 최적의 경로를 각각의 노드에서 $C(P_{N_i})$ 를 최소화하는 낮은 계산적 복잡도로 구할 수가 있다. 그러므로 경로 찾기 과정은 현재의 λ 를 가지고 최소의 비용을 갖는 경로를 찾는다. 또한 최적의 경로를 찾는 반복의 수를 줄이기 위해 이분법을 사용하여 효과적으로 λ 를 적용시킨다. 기본적으로 제안한 방법의 경로 찾기 방법은 DSR^[9]와 비슷한 소스 라우팅을 사용하지만, 데이터 전송 시에는 AODV^[10]와 같은 라우팅 테이블을 사용하는 혼합방

식이다. 좀 더 자세한 사항은 아래의 단계를 따른다.

Step 1 : 경로 요청 과정

소스는 기존의 알고리즘에서 사용되는 정보 외에 RREQ 패킷에 λ , P_{media_min} 를 삽입하고, RREQ 패킷을 브로드 캐스트한다. RREQ 패킷을 받은 각각의 노드들은 수신된 전력을 통해서 P_{media_min} 를 보장하는 전력과 해당 레이트의 정보를 이용하여 이전 노드가 전송해야 할 최적의 전송 전력을 알 수 있다. 그래서 자신의 주소와 이전 노드의 전송 전력을 RREQ 패킷에 넣고, 다시 이웃 노드들에게 전송한다. 그리고 각 노드들은 P_{media_min} 을 보장하고 RREQ를 처음 받은 경우나 수신된 RREQ에서 $\alpha(P_{v_i})$ 의 총합이 더 적은 경우에는 이웃들에게 전송하지만, 그렇지 않은 경우에는 버린다.

Step 2 : 경로 응답 과정

목적지 노드는 식 (8)에 의해서 최적의 경로를 결정하고, 소스에게 RREP 패킷을 소스 라우팅을 사용하여 해당 경로로 전송한다. RREP 패킷을 받은 중간 노드들은 자신이 소스로부터 온 패킷을 전송할 다음 노드와 그 때 사용할 전송 전력을 알 수 있게 되고 AODV처럼 라우팅 테이블을 갱신시킨다.

Step 3 : 데이터 전송

각 경로들은 노드들의 정보뿐만 아니라 전력 레벨을 포함한다. 그러므로 소스 라우팅을 사용하여 데이터를 전송할 수도 있지만, 오버헤드가 커지므로, 우리는 각 중간 노드들이 라우팅 테이블을 사용하는 방법을 사용했다. 그런데 각 노드들은 동시에 여러 개의 경로에 속해야 할지도 모른다. 그러므로 라우팅 테이블은 세션 정보(소스주소, 소스 포트, 목적지 주소, 목적지 포트) 같은 고유의 연결 정보를 유지해야만 한다. 그래서 데이터가 도착하면, 각각의 노드들은 다음 노드들에게 정해진 전력 레벨로 패킷을 전송한다.

Step 4 : 이분법에 기초한 효율적인 λ 찾기

이동 애드 혹 네트워크에서 지연시간 제약조건을 만족시키면서 소비된 전력을 최소로 하는 최적의 λ 를 결정하는 방법을 고려한다. 일단 송신자가 처음에 경로를 찾을 때는 λ 값이 충분히 큰 값으로 하여서, 지연시간이 제약조건을 만족하도록 한다. 그러나 ACK 패킷을 사용하지 않는 UDP를 이용하여

멀티미디어 데이터를 전송할 때, 지연시간을 측정하기 어렵다. 그러므로 송신자는 데이터 패킷에 시간 정보를 삽입하고(IP Header Extension), 목적지 노드는 제어패킷(이후에는 RTT 패킷이라 부른다)에 수신된 패킷의 시간 정보를 삽입하여 소스에게 주기적으로 RTT 패킷을 보낸다. 결국 소스는 RTT 패킷을 사용하여 지연시간을 알 수 있다. 만약 측정된 종단 간 지연시간과 D_{max} 의 차이가 임계값보다 작으면, 해당 경로를 유지한다. 그렇지 않으면 송신자는 경로 탐색 과정을 수행한다. λ 가 클수록 지연시간 조건과 load balancing이 좀 더 잘 이루어진다.

2.2.2 예측적인 경로 유지관리 기법

제한한 빠른 경로 찾기 방법은 효율적으로 대역폭 조건을 만족시키기 때문에 비실시간 응용에서는 잘 동작한다. 그러나 실험을 통해서 링크 실패 등의 이유로 지연시간 지터가 발생하여 시간 제약적인 미디어에게는 좋은 품질의 서비스를 제공하기는 어렵다는 것을 볼 수 있었다. 링크 실패는 노드들의 움직임으로 인하여 주로 발생하며, 이로 인해 새로운 경로를 찾기 위해 지연시간은 증가하게 된다. 비록 다른 대체 경로를 가지고 있는 경우에도 그들이 아직도 유효하다는 것을 보장해 줄 수 없고, 오히려 지연시간이 더 커질 수도 있다. 그러므로 링크 실패를 줄이기 위해 노드들의 움직임을 예측할 필요가 있다. 이에 관해 안전한 경로를 찾거나 링크실패를 예측하기 위해 많은 연구들이 진행되었다 [9][11][12][13]. 그러나 그들의 대부분은 hello패킷을 사용하여 라우팅 오버헤드와 대역폭 낭비를 초래한다.

본 논문에서는 지연시간 지터를 줄이기 위해 간단하지만 효율적인 예측적인 경로 유지 기법을 소개한다. 제안되는 알고리즘은 링크 실패를 예측하기 위해서 추가적인 오버헤드 없이 데이터 패킷 전송 시에 각각의 노드들이 계속적으로 수신 전력을 측정한다. 특히 일반적으로 멀티미디어 데이터 패킷들은 주기적으로 보내지므로 멀티미디어 서비스에 대해 더 합리적이다. $t_{prev} < t_{curr} < \hat{t}$ 에 대해 선형 예측 방법이 아래와 같이 전력 레벨을 예측하기 위해 적용되어진다. 또한 Moving Average를 통해 Fast Fading을 제거하고, Slow Fading에 대해 다음 수식을 적용한다.

$$\log P(\hat{t}) = \frac{\log P_{t_{curr}} - \log P_{t_{prev}}}{t_{curr} - t_{prev}} (\hat{t} - t_{curr}) + \log P_{t_{curr}} \quad (9)$$

위 (9)식의 \hat{t} 은 다음 패킷의 예측 도착시간이고, $P_{t_{prev}}$ 와 $P_{t_{curr}}$ 는 각각 t_{prev} 와 t_{curr} 시간에 도착된 패킷의 전력 레벨이다. 그래서 $P(i)$ 값이 임계값 ($P_{th} = (1+\Delta)P_{media_min}$) 아래로 떨어지면 (링크 실패가 예측되면), 해당 노드는 소스에게 이를 미리 알려서 링크 실패가 발생하기 전에 새로운 경로를 찾도록 하며, 이로 인하여 지연시간 지터를 피할 수 있다. Δ 는 양의 실수 값으로 Δ 값이 커질수록 더욱 지속가능한 경로를 발견하지만, 전력 효율은 떨어지고 라우팅 오버헤드는 증가된다.

III. 실험결과

실험은 ns-2 시뮬레이터를 이용했고, 성능은 DSR^[9], AODV^[10] 같은 최단 거리 알고리즘, QAR (QoS aware routing)^[3], 소스와 목적지 사이에 소비 전력이 가장 적은 경로로 통신하는 PARO (power-aware routing optimization)^[19], 최단 거리 경로에서 전송 전력을 최소화하는 PAR (power-aware routing)^[20] 알고리즘들과 비교하였다. 멀티 레이트를 지원하기 위해 Orinoco 데이터 시트^[16]의 값을 이용하여 일반적으로 많이 사용되는 RBAR (Receiver-Based Auto-Rate) 프로토콜^[17]을 적용시켰다. 즉, semi-open 환경에서 50m, 70m, 90m, 110m에서 측정되는 SNR (Signal to Noise Ratio)값은 SNR11, SNR5.5, SNR2, 그리고 통신을 위한 최소 SNR로 사용된다. BW_{min} , D_{under_th} , D_{max} 는 각각 1Mbps, 17ms, 20ms로 설정했다. 또한 무선 채널을 위해 two-ray ground reflection을 채택하였다. 그리고 성능은 중단 간 지연시간, 소비 전송 전력, 라우팅 오버헤드, 그리고 처리량에 관해서 측정하였다. 라우팅 오버헤드는 목적지에 도착된 데이터 패킷에 대한 라우팅 패킷의 수로 정의되고, 처리량은 전송률로 소스에서 전송한 데이터 패킷에 대해 목적지에서 수신한 데이터 패킷의 수로 정의된다.

3.1 빠른 경로 찾기 방법의 성능

3.1.1 1개의 송신자와 움직임이 없는 경우의 성능

토폴로지는 11개의 노드들이 일렬로 10m씩 떨어져 있으며 움직임은 없고 고정되어있다. 패킷은 CBR (Constant Bit Rate)로 초당 10개의 패킷을 전송하며, 패킷의 크기는 1024바이트이고, 150초 동안 실험을 수행하였다. 이에 대한 실험결과는 그림

1, 2에서 나타난다. 그림 1을 보면 λ 가 작아짐에 따라 지연시간은 길어지지만, 전송 전력은 줄어든다. 반대로 λ 가 커질수록 지연시간은 짧아지지만, 전송 전력은 높아진다. 이 이유는 그림 2를 보면 λ 가 작을수록 홉 간의 거리가 짧고 낮은 레이트의 경로를 선택하여, 지연시간은 길어지지만 전송 전력은 많이 절약할 수가 있다. 반대로 λ 가 커질수록 높은 레이트의 경로를 선택하여 지연시간은 짧아지지만 전력 소비량은 더 커진다. 한편, 최단 경로 알고리즘 (AODV)은 홉 간의 거리가 길고 낮은 레이트를 선택하여, 지연시간도 길고 전송 전력도 높아지게 된다.

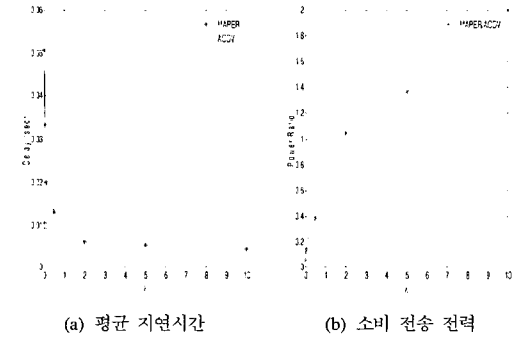


그림 1. 지연시간과 전력절약비율.

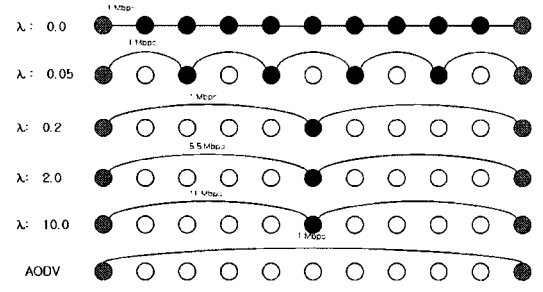
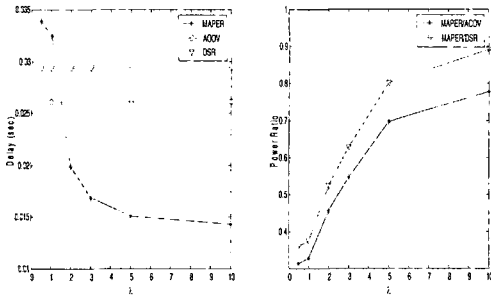


그림 2. λ 값에 따른 경로의 변화 및 AODV에서 선택된 경로

3.1.2 여러 개의 송신자와 움직임이 있는 경우의 성능
30개의 노드들이 500m x 150m 공간에서 임의의 위치에 분포되어 있고, 300초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 송신자와 수신자 쌍은 임의로 정해진 연결 수 (15개)만큼 설정된다. 송신자는 CBR로 초당 512바이트 패킷 4개를 수신자에게 전송한다. 그리고 노드의 움직임은 [0, 5m/s]사이에서 속도를 선택하며, random-way point 모델을 적용하였다.

그림 3을 보면, 실험결과가 간단한 토폴로지 시뮬레이션과 크게 다르지 않게 λ 가 작을수록 지연시간은 길어지지만, 요구되는 전송 전력은 작아졌고,



(a) 평균지연시간 (b) 소비 전송 전력

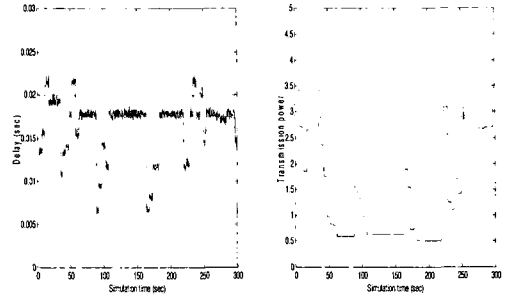
그림 3. 임의의 토폴로지에서의 지연시간과 전력절약비율

반대도 마찬가지다. 게다가 MAPER 알고리즘은 load-balancing의 장점도 가지고 있다. 네트워크에 부하가 많을 때, λ 가 커지면 경로 탐색 시에 지연 시간에 가중치가 높아지므로 네트워크의 부하가 적어서 지연시간이 적은 경로를 선택하게 된다.

3.1.3 1개의 송신자와 움직임이 있는 경우

실험 환경은 3.1.2와 같이 30개의 노드들이 임의로 움직인다. 단, 빠른 수렴 과정을 나타내기 위해 처음 30초간은 노드들의 움직임이 없도록 하였다. 그리고 1개의 연결에 대해 데이터 패킷들의 중단 간 지연시간과 전송 전력 크기를 성능 척도로 사용하였다. 지연시간은 전체 지연시간 값들의 흐름을 명확히 나타내기 위해, 경로 탐색에 의해 지연시간이 커진 패킷들은 제외시켰다. 그리고 전송 전력은 1홉 사이에서 필요한 최대 전송 전력을 1로 했을 때의 수치이다.

그림 4에서와 같이 처음 30초간은 중단 간 지연시간이 D_{max} (0.02s)에 빠르게 수렴한다. 그리고 노드들의 움직임으로 링크 실패가 발생하여 빠른 경로탐색과정을 다시 시작한다. 그래서 일정시간 뒤에는 지연시간이 경계조건에 다시 수렴되어지는 결과를 확인할 수가 있다. 그리고 같은 전송 전력이라도 지연시간이 차이가 나는 것은 노드들의 움직임으로 인하여 토폴로지가 변경되었기 때문이다. 예를 들면 90 초쯤에 소비된 전력이 실험이 시작할 때 소비된 전력보다 낮음에도 불구하고 지연시간이 더 짧은 것은 송신자와 수신자 사이의 거리가 더 가까운 토폴로지로 변했기 때문이다. 하지만 일반적으로 전송 전력이 높아지면 지연시간은 짧아지게 되는 결과가 나타난다. 결론적으로 그림 4를 보면, MAPER 알고리즘은 지연시간 제약조건을 만족시키면서, 지연 시간이 D_{max} 에 아주 근접하도록 함으로



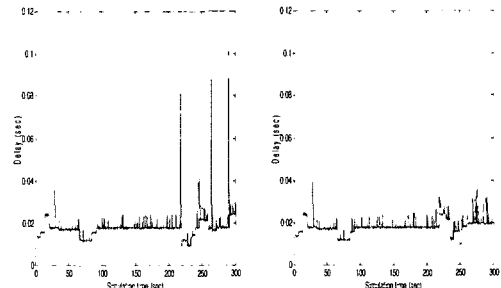
(a) 지연시간 (b) 소비 전송 전력

그림 4. 빠른 경로 찾기 방법의 성능

써 소비전력의 효율을 극대화시키고 있음을 확인할 수가 있다.

3.2 예측적인 경로 유지관리 기법의 성능

실험환경은 3.1.2와 같이 30개의 노드들이 임의로 움직이며, 연결 수는 5일 때의 결과이다. 그림 5는 Δ 에 따라 예측 기법을 사용했을 때의 결과이다. 초기의 큰 지연시간은 초기 경로 찾기 과정에 의해 발생한다. 결과에서 볼 수 있듯이 Δ 가 커짐에 따라 지연시간 지터가 줄어들음을 확연히 볼 수 있다. 또한 그림 6은 제안하는 알고리즘과 기존의 다른 알고리즘과의 성능 비교를 나타낸 결과이다. 처리율과 지연시간에서는 QAR과 비슷하거나 오히려 더욱 좋은 결과를 나타내고 있는데 이것은 최단 거리 경로를 근본으로 두는 QAR에 비해 제안하는 알고리즘이 높은 전송 레이트로 데이터를 전송하기 때문이다. 라우팅 오버헤드 측면에서는 제안하는 알고리즘은 통신의 수가 점점 많아질 수록 데이터 패킷에 대한 제어 패킷의 비율이 줄어들지만 PARO는 특히 홉 수가 길어지더라도 전송 전력만을 고려하므로 더 나쁜 결과를 보이고 있다. 전송 소비 전력은 Power-Aware에 비해서는 높지만, 다른 알고리즘보다는 낮은 중간적인 특징을 보이고 있다.



(a) 지연시간: Δ - 0.022 (b) 지연시간: Δ - 0.041

그림 5. Δ 에 따른 지연 시간 지터의 변화

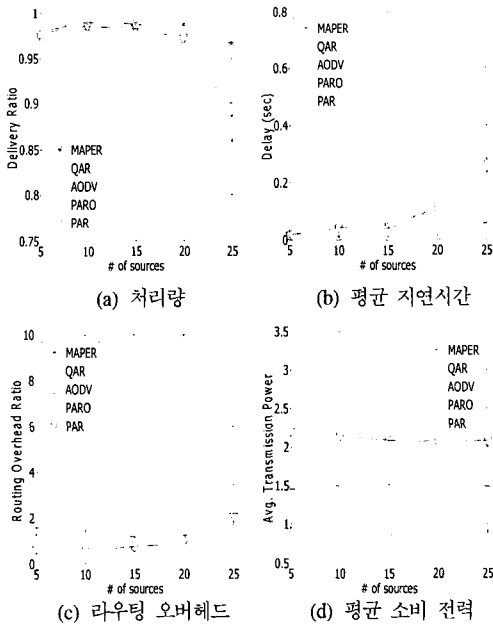


그림 6. 제안하는 알고리즘 ($BW_{min}=1$, $D_{min}=20ms$ and $\Lambda=0.022$) 과 기존의 power-aware 및 QoS-aware 알고리즘들과의 성능 비교

IV. 결론

본 논문에서는 이동 애드 혹 네트워크에서 QoS 를 제공하고, 전력 소비에 효율적인 온-디맨드 방식의 라우팅 알고리즘 (MAPER)을 살펴보았다. 멀티 미디어 서비스는 요구되는 지연 시간과 대역폭을 제공해 주는 것이 중요하다. 지연시간 제약조건을 가진 가장 적은 비용의 라우팅 문제는 NP-완전성문제로, 제안하는 알고리즘은 낮은 계산 복잡도의 방법으로 QoS 요구조건 (지연시간, 대역폭)을 지원하면서 최적의 전송 전력으로 통신을 하는 sub-optimal경로를 찾는다. 또한 부하가 많은 네트워크에서 load balancing을 하는 장점도 가지고 있다. 제안하는 알고리즘은 소규모 혹은 중간 크기의 네트워크에 적당하지만 expanding ring searching 알고리즘^[10]이나 directional search 방법^[18] 등을 통해 대규모의 네트워크에도 적용가능하다.

참고문헌

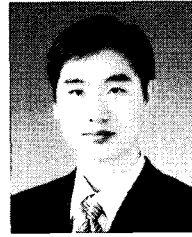
- [1] P. Sinha, R. Sivakumar, and V. Bharghavan, "CEDAR: A Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing Algorithm," IEEE Journal on Selected Area in Communications, 1999.
- [2] S. Chen and K. Nahrstedt, "Distributed Quality-of-Service Routing in Ad Hoc Networks," IEEE Journal on Selected Area in Communications, 1999.
- [3] L. Chen and W. B. heinzelman, "QoS-Aware Routing Based on Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE JSAC, 2005.
- [4] IEEE 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999
- [5] IEEE 802.11b, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, 1999
- [6] Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari and Mihail Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications," in Proc. of the 2nd IEEE NCA'03
- [7] D. Bersekas and R. Gallager, Data Networks, 2nd Edition, Prentice Hall
- [8] J.-H. Song, V. Wong and Victor C.M. Leung, "Load-Aware On-Demand Routing (LAOR) Protocol for Mobile Ad hoc Networks", IEEE VTC 2003
- [9] D. B. Johnson, D. A. Maltz and J. Broch, "DSR: the dynamic source routing protocol for multi-hop wireless Ad Hoc networks," Ad Hoc networking edited by C. E. Perkins, pp. 139-172, Addison-Wesley, 2001
- [10] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad hoc on-demand distance vector routing," Proceeding of the 2nd IEEE workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100, Feb. 1999.
- [11] Chai-Keong Toh, "Associativity-Based for Ad-Hoc Mobile Networks," Wireless Personal Communications, Vol. 4, Issue 2, pp. 103 ~ 139, 1997.
- [12] R. Dube, C. D. Rais, K.-Y Wang, S. K. Tripathi, "Signal Stability-Based Adaptive Routing (SSA) for Ad Hoc Mobile Networks," IEEE Personal Communication, Vol. 4, Issue 1, pp. 36 ~ 45, 1997.
- [13] S. Agarwal, A. Ahuja, J. P. Singh, R. Shorey,

“Route-Lifetime Assessment Based Routing (RABR) Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks,” IEEE ICC 2000

- [14] T. Goff et al, “Preemptive Routing in Ad Hoc Networks,” ACM SIGMOBILE 2004
- [15] A. Boukerche et al, “A performance evaluation of a pre-emptive on-demand distance vector routing protocol for mobile ad hoc networks,” *Wireless Communication and Mobile Computing*, vol. 4, Issue 1, pp. 99~108, 2004.
- [16] Datasheet for ORiNOCO 11b PC Card, <http://www.orinocowireless.com>
- [17] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, “A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks,” ACM MOBICOM 2001
- [18] B. Zhang and H. T. Mouftah, “QoS Routing for Wireless Ad Hoc Networks: Problems, Algorithms, and Protocols,” *IEEE Communications Magazine*, 2005.
- [19] J. Gomez et al, “PARO: Supporting Dynamic Power Controlled Routing in Wireless Ad Hoc Networks,” *Wireless Networks*, vol. 9, pp. 443~460, 2003.
- [20] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra, “Power Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks,” *ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM' 98)* 1998.

이 재 권 (Zae Kwun Lee)

준회원



2005년 2월 충남대학교 정보통신
공학부 (학사)
2007년 2월 포항공과대학교 컴퓨
터공학과 (석사)
2007년 3월 ~ 현재 국방과학연구
소 연구원
<관심분야> Ad-Hoc, 오버레이

멀티캐스팅

송 황 준 (HwangJun Song)

정회원



1990년 2월 서울대학교 제어계측
공학과 (학사)
1992년 2월 서울대학교 제어계측
공학과 (석사)
1999년 5월 Univ. of Southern
California, EE-Systems (박사)
2000년 ~ 2005년 2월 홍익대학교

(조교수)

2005년 2월 ~ 현재 포항공과대학교 (부교수)
<관심분야> 멀티미디어 네트워킹, 영상압축, QoS over
wireless/wired network