경로 지속성을 고려한 Distance Vector 알고리즘 기반의 Ad hoc 네트워크 멀티캐스팅*

이세영O 장형수
서강대학교 컴퓨터학과
{philolight^O, hschang}@smolab.sogang.ac.kr

Sogang University

Se-young Lee^O Hyeong Soo Chang
Department of Computer Science and Engineering, Sogang University
Interdisciplinary Program of Integrated Biotechnology

요 약

본 논문에서는 distance-vector 기반의 라우팅 알고리즘에 경로 지속성에 대한 분석을 적용한 Durable Distance Vector Multicast(DDVM) 알고리즘을 제안한다. DDVM은 기존의 distance vector 알고리즘에 PATHS의 분석 내용을 기반으로 한 경로 지속성 정보를 포함하여 견고한 멀티캐스팅 경로를 구성한다. 또한 경로 정보에 목적지까지의 세부적인 경로의 지속성 정보 역시 포함하여 멀티캐스팅 경로 형성의 실패율을 줄이고 보다 지속성 있는 경로를 멀티캐스팅 경로에 포함시킨다. 이러한 경로들을 통해 멀티캐스팅을 수행함으로서 high mobility 환경에서 기존의 알고리즘보다 높은 전송율을 보이며, 실험 결과를 통해 이를 확인할 수 있다.

1. 서 론

본 논문에서는 Mobile Ad hoc Network(MANET)[1]의 경로 지속성을 확률적으로 분석한 논문 "Analysis of PATH Duration Statistics and their Impact on Reactive MANET Routing Protocols(PATHS)"[2]를 바탕으로 멀티캐스팅 경로의 지속성을 증대하여 높은 이동속도(high mobility)를 가진 MANET에서도 높은 전송율(delivery ratio)을 보이는 Durable Distance Vector Multicast (DDVM) 알고리즘을 제안하고자 한다.

MANET의 노드 이동성(mobility)과 *broadcast* 특성을 고려한 다양한 멀티캐스팅 알고리즘들이 있는데[3], 멀티캐스팅 그룹의 구심점 역할을 하는 노드들(주로 source 노드)의 경로 정보를 필요로 한다는 점에서 라우팅 알고리즘의 중요성이 대두된다. MANET에서는 Link State Routing(LSR) 방식과 Distance Vector Routing(DVR) 방식의 라우팅 알고리즘을 사용한다[4]. 이 중 DVR은 LSR에 비해 경로 정보의 갱신에 걸리는 시간이 긴 반면, 적은 대역폭을 소모한다는 장점이 있다[5]. 이 DVR의 장점을 이용하기 위해서는 경로 정보의 효율성을 높이는 것이 중요한데, 최근에 발표된 논문 PATHS[2]는 실험 분석을 통해 MANET 상의 단일 경로가 지속될 확률을 분석하였다.

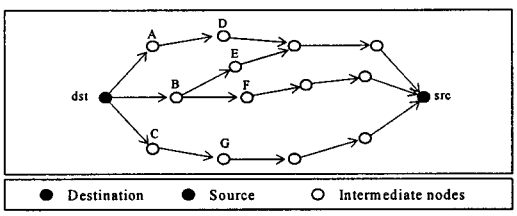


그림 1. 라우팅 경로와 부경로(sub-path)

PATHS에서 제시한 분석모델에 의하여 link를 두 통신 가능한 노드들의 논리적 연결이라 정의하고, 경로(path)를 loop를 포함하지 않은 link들의 연속이라고 정의할 때 길이 h(hops)의 경로가 형성된 지 x만큼의 시간 이후에도 경로가 지속될 확률

$$G(x) = (1-\alpha)^{hx} \quad (\alpha \in [0,1)) \tag{1}$$

를 설정할 수 있다. DVR의 라우팅 정보에 식 (2)의 정보를 추가하여 이용하면 보다 지속적인 라우팅 경로를 통해 데이터를 전달할 수 있게 된다. 또한 이 식을 적절히 변형하여 그림 1에서 노드 B가 가진 E, F를 통한 부경로들의 정보까지 이용할 수 있도록 한다면 보다 나은 라우팅 경로를 선택할 수 있다(2장 참조).

본 논문의 이후 구성은 2장의 DDVM 알고리즘에 대한 동작 방식 설명, 3장의 실험 결과, 4장의 결론으로 이루어진다.

2. Durable Distance Vector Multicast (DDVM)

DDVM은 직접적인 멀티캐스팅 참여자인 source 노드와 destination 노드, 그리고 이들을 연결하는 forwarding 노드로 전체 그룹을 구성한다.

먼저 **Source Announce** 단계에서는 그룹 구성의 시작점인 source 노드가 **Source Announce** 패킷을 flooding 하여 새로운 그룹이 구성되었음을 네트워크 노드들에게 알린다.

Route Update 단계에서는 각 노드가 source 노드로의 경로 정보를 **Route Update** 패킷을 통해 주기적으로 이웃노드에 전달한다. DDVM은 distance vector 알고리즘과 같이 source 노드의 ID와 이 source까지의 거리(본 알고리즘에서는 hop 수) 정보가 포함된다. 이에 더하여 MANET의 잦은 위상변화에 대처하기 위해 경로의 지속 확률을 근사적으로 계산하여 전달한다.

먼저 source 노드 s와 노드 i와의 hop 수를 D_i^s(*Distance*)라고 할 때 이를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$D_i^s = \begin{cases} 0 & \text{if} \quad i = s \\ \min\limits_{j \in N_i} D_{j \to i}^s + 1 & \text{else} \end{cases} \tag{2}$$

여기서 N_i는 노드 i가 다른 노드를 거치지 않고 직접 통신

* 본 연구는 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구지원사업 (B1220-0501-0272)으로 수행되었습니다.

가능한 이웃노드 집합이다. $D^s_{j\to i}$는 i의 이웃노드 j가 i에게 전달한 source 노드 s와의 거리(hop)이다.

Source 노드 s와 노드 i와의 경로 지속 확률은 C^s_i(*Combined path-durability*)로 정의된다. DDVM에서 노드 i는 이웃노드 중에서 자신보다 s와 더 가까운 노드들에 대하여 이들이 가진 경로 지속 확률의 근사값을 식 (1)에 근거하여 계산한다. C^s_i를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$C^s_i = \begin{cases} 1 & \text{if } i = s \\ 1 - \prod_{j \in N_i,\, D^s_{j\to} < D^s_i} (1 - I(i,j,s)) & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $I(i,j,s)$(*Individual path-durability*)는 $C^s_{j\to i}$(노드 j가 i에게 전달한 C^s_j) 값을 시간에 따라 감소시키는 식이고, 이 식은 다음과 같다.

$$I(i,j,s) = C^s_{j\to i} \cdot \alpha^{D^s_{j\to} \cdot \Delta t} \quad (4)$$

t_c는 현재 시각, $t_{j\to i}$는 노드 j가 i에게 경로 정보를 전달한 시각이라고 할 때 Δt는 $t_c - t_{j\to i}$로 정의되고, 이는 i가 j의 경로 정보를 받은 이후 경과한 시간을 나타낸다. $\alpha \in [0,1)$는 경로 지속 확률의 감소율을 조절하는 상수이다. 식 (4)는 단일 경로만을 고려한 식 (1)을 최단경로들에 대한 지속성을 확률적으로 고려하도록 확장시켰다.

Join Request 단계에서는 위에서 계산된 경로 정보들을 이용하여 멀티캐스팅 그룹의 forwarding 노드를 결정하는데 사용한다. DDVM에서 각 destination 노드는 모든 source 노드들에게 **Join Request** 패킷을 전달하고, 이 패킷을 받은 노드들을 그룹에 포함시킴으로서 source 노드들과 자신에 이르는 멀티캐스팅 경로를 형성한다. 노드 i가 source 노드 s에게 **Join Request** 패킷을 보내기 위해 어떤 다음 노드 k를 선택할 것인가는 다음과 같은 식에 의해 결정된다.

$$k = \underset{j \in N_i,\, D^s_{j\to} \le D^s_i,\, j \neq visited}{\operatorname{argmax}} R(i,j,s), \quad (5)$$

$$R(i,j,s) = \begin{cases} I(i,j,s) & \text{if } \begin{cases} D^s_{j\to i} < D^s_i & \text{or} \\ D^s_{j\to i} = D^s_i \wedge I(i,j,s) > C^s_i \end{cases} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

$R(i,j,s)$(*Relative individual path-durability*)는 노드 i의 이웃노드들(j)에 대하여 i와의 상대적인 경로 지속 확률의 근사값을 알려준다. 노드 i보다 가까운 이웃노드들은 항상 k의 후보가 될 수 있으나, i보다 먼 경우 선택되지 않고, 같은 경우에는 i보다 높은 경로 지속 확률의 근사값을 가진 노드만 선택될 수 있다. Loop 발생을 방지하기 위해 Join Request 패킷이 이미 방문한 노드(*visited*)는 k의 후보에서 제외한다. 노드 i는 이렇게 선택된 k를 목적지로 하여 **Join Request** 패킷을 보낸다. 이 패킷을 받은 노드는 다시 식(6)을 통해 다음 노드를 계산하여 보냄으로서 최종적으로 source 노드에 도착하도록 한다.

그림 1에서 dst가 src로의 경로를 형성할 경우에 노드 B는 식 (4)에 의해 E, F의 정보를 종합하여 경로 지속 확률을 계산하므로 많은 경우에 B의 경로 지속 확률은 A 또는 C의 지속 확률에 비해 높을 것이다. 부경로가 많다는 것은 **Join Request**가 실패하게 되더라도 다른 경로를 선택할 여지가 많다는 것이므로 경로 지속 확률 정보가 유용함을 알 수 있다. 만약 dst가 B에 **Join Request**를 보냈다면 B는 E 또는 F의 경로 중 하나를 선택하여 **Join Request**를 보내야 한다. 식 (4)에 의해 경로 정보 전달 시간이 짧은 경로일수록 경로 지속 가능성이 높으므로 B는 둘 중에 경로 정보가 더 빨리 도착한 노드를 선택할 수 있게 된다.

Join Request 패킷을 받은 노드가 직접적인 그룹 참여 노드가 아닐 경우 이는 forwarding 노드로 간주되어 그룹에 일정 기간 포함된다. **Join Request**는 source 노드들 혹은 destination 노드들에 의해 주기적으로 보내지며, 이를 통해 MANET 노드들의 이동에 의한 경로 붕괴에 대처한다.

그룹 종료 단계에서 destination 노드들은 주기적인 **Join Request**를 중단함으로서 그룹에서 탈퇴하게 된다. Source 노드의 경우 명시적으로 **End Group** 패킷을 flooding 하여 그룹을 탈퇴한다. **End Group** 패킷을 받은 노드는 해당 source 노드에 대한 경로 정보를 지우고, 더 이상 해당 source 노드의 정보를 이웃에 보내지 않는다. 그룹 내의 모든 source 노드가 **End Group** 패킷을 flooding 했다면 그룹이 종료된다.

그룹 구성 및 유지와 함께 각 source 노드들은 멀티캐스팅 데이터를 전송하게 된다. 이 방법은 다른 mesh 방식의 멀티캐스팅 알고리즘과 동일한 방식을 사용한다[6].

이것으로 DDVM의 동작 방식에 대한 설명을 마치고, 다음 장에서는 DDVM과 다른 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하도록 한다.

3. 실험 결과 및 성능 평가

3. 1. 실험 환경 및 시나리오

시뮬레이터는 NS-2[7]상에 구현하였고, MAC 802.11을 사용한다. 모든 실험에 대해 2500m × 2500m의 평면 위에 400개의 mobile 노드가 있다고 가정하고, 이 노드들은 반경 200m의 propagation range, 2.0Mbps의 대역폭을 가지며, 0 ~ 20m/sec의 속도로 이동한다. 노드의 이동은 random waypoint 모델[8]을 사용하고, 정지시간(pause time)은 없다. Source 노드는 매 초마다 2개의 512byte 패킷을 보내고, 총 시뮬레이션 시간은 2000초이다. 각 항목은 10회의 실험을 평균하였다.

성능 평가 항목은 데이터 전송율(Delivery ratio, 목적지에 도착한 데이터 패킷 수를 전송한 데이터 패킷 수로 나눈 값), 패킷 전송 효율(Packet transmission efficiency, 총 전송된 데이터 패킷 수를 목적지에 도착한 데이터 패킷 수로 나눈 값), 데이터 전송 효율(Data packet transmission efficiency, 총 전송된 데이터 패킷 수를 목적지에 도착한 데이터 패킷 수로 나눈 값), 제어정보 효율(Control information efficiency, 제어정보 byte수를 목적지에 도착한 모든 데이터 패킷의 byte수 합으로 나눈 값)이다.

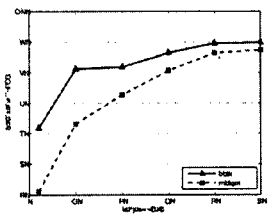
성능 비교를 위해 선택한 ODMRP 알고리즘은 여러 MANET 멀티캐스팅 알고리즘들[9][10][11] 중에서도 단순성, 효율성, 확장성을 갖춘 알고리즘으로 알려져 있고[3], 최근에 제안된 멀티캐스팅 알고리즘들이 가장 많이 비교하는 알고리즘 중 하나이다[12]. 또한 LSR 방식의 source 경로 정보 전달 이외의 그룹구성 방식에 있어서 DDVM과 가장 유사하다.

ODMRP와 DDVM의 경로 정보 전달 주기 및 경로 재구성 주기는 3초, forwarding 노드가 그룹 내에 속해 있는 기간은 6초이다. 별도의 실험 결과 DDVM에서 사용하는 α는 0.98을 사용하는 것이 성능면에서 가장 좋다.

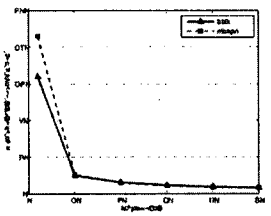
각 알고리즘이 가진 여러 시나리오에 대한 적응성을 살펴보기 위해 단일 그룹에서 그룹 크기에 따른 성능 변화, 작은 그룹에서 그룹 수에 따른 성능 변화, 큰 그룹에서 그룹 수에 따른 성능 변화를 측정하였다.

3. 2. 실험 결과 분석

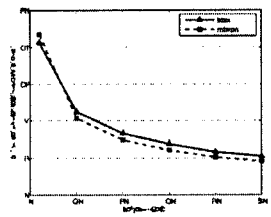
그림 2의 (a)에서 두 알고리즘 모두 참여자 수가 증가할수록 전송율이 높아지지만 DDVM이 항상 ODMRP에 비해 높은 전송율을 보임을 알 수 있고, 특히 그룹의 수가 작은 경우에 더 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 그림 2의 (b)와 (d)를 보면 작은 그룹에서 패킷 전송 효율 및 제어 정보 효율면에서 DDVM이 ODMRP보다 나은 면을 보인다. 큰 그룹에서의 효율은 두 알고리즘의 거의 비슷하다. 2-(c)의 데이터 전송 효율면에서는 두 알고리즘이 거의 비슷한 성능을 내거나 ODMRP가 조금 나은 면을



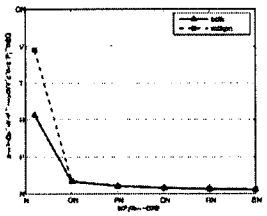
2-(a) 전송율



2-(b) 패킷 전송 효율

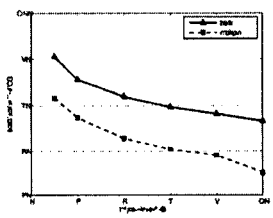


2-(c) 데이터 전송 효율

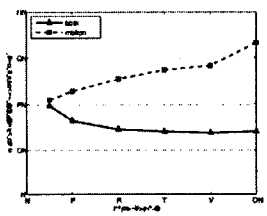


2-(d) 제어 정보 효율

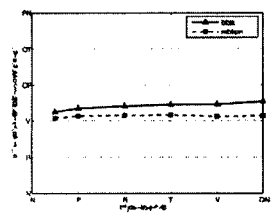
그림 2. 단일 그룹에서의 멀티캐스팅 성능



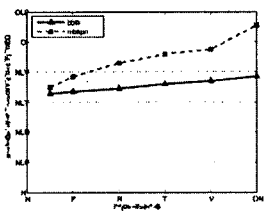
3-(a) 전송율



3-(b) 패킷 전송 효율

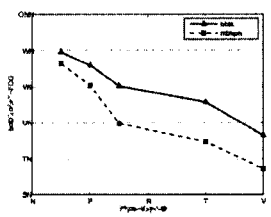


3-(c) 데이터 전송 효율

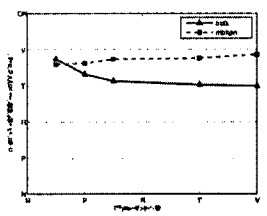


3-(d) 제어 정보 효율

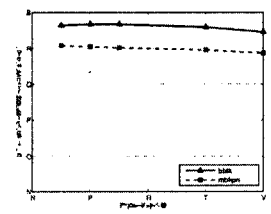
그림 3. 작은 그룹에서 그룹 수에 따른 멀티캐스팅 성능



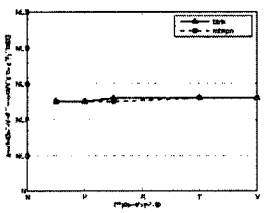
3-(a) 전송율



3-(b) 패킷 전송 효율



3-(c) 데이터 전송 효율



3-(d) 제어 정보 효율

그림 4. 큰 그룹에서 그룹 수에 따른 멀티캐스팅 성능

보인다. 하지만 이 차이는 매우 작으며, 특히 전송율을 고려할 때 전체적인 성능은 DDVM이 더 좋음을 알 수 있다.

그림 3-(a), 4-(a)의 경우 작은 그룹, 큰 그룹에서 모두 ODMRP보다 나은 성능을 보이며, 그룹 수 증가에 따른 성능 저하도 DDVM이 더 적음을 알 수 있다. 특히 3-(b), 4-(b)에서 그룹의 수가 증가하면 증가할수록 DDVM은 패킷 전송 효율이 좋아지는 반면 ODMRP는 더 나빠짐을 알 수 있다. 3-(c), 4-(c)의 데이터 전송 효율은 ODMRP가 약간 낮지만, 3-(d), 4-(d)의 제어 정보 효율은 DDVM이 더 낮거나 비슷한 성능을 보인다.

4. 결론 및 추후과제

DDVM는 mesh 방식의 MANET 멀티캐스팅 알고리즘으로서 DVR의 적은 패킷 전송이라는 장점을 살리고, 경로 지속 확률을 적용하여 단점을 보완함으로서 기존의 멀티캐스팅 알고리즘에 비해 높은 전송율을 발휘한다. 2500m × 2500m, 400 노드의 큰 네트워크, 그리고 빠른 이동성을 가진 시뮬레이션 환경에서 좋은 성능을 발휘함으로서 경로 정보의 효율성을 보여준다. 이러한 경로 지속성을 고려한 경로 정보는 멀티캐스팅에서의 전송율 및 전송효율이 좋음은 물론 일반 유니캐스팅 알고리즘으로서도 충분히 활용할만한 가치가 있다. 따라서 향후 이러한 경로 정보를 바탕으로 다른 라우팅 알고리즘들의 장점을 수용하여 보다 나은 라우팅 알고리즘을 개발하고자 한다. 또한 현재 많이 연구되고 있는 계층적 멀티캐스팅 방법을 적용함으로서 보다 확장성 있는 라우팅, 멀티캐스팅 알고리즘을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] M. Abolhasan, T. Wysocki and E. Dutkiewicz, "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks," *Ad Hoc Networks 2*, pp. 1-22, 2004.

[2] N. Sadagopan, F. Bai, B. Krishnamachari and A. Helmy, "PATHS: Analysis of PATH duration statistics and their impact on reactive MANET routing protocols," in *Proceeding of ACM MobiHoc*, pp. 245-256, 2003.

[3] S. Lee, W. Su, J. Hsu, M. Gerla and R. Bagrodia, "A performance comparison study of ad hoc wireless multicast protocols," in *Proceeding of IEEE INFOCOM'00*, vol. 2, pp. 565-574, 2000.

[4] M. Steenstrup, "Routing in communications networks," *Prentice Hall*, Inc, Englewood Cliffs, NJ, 1995.

[5] C. E. Perkins and P. Bhagwat. "Highly dynamic destination sequenced distance-vector routing(DSDV) for mobile computers," in *Proceeding of SIGCOMM'94*, pp. 234-244, 1994.

[6] S. Lee, W. Su and M. Gerla, "On-demand multicast routing protocol in multihop wireless mobile networks," *ACM Mobile Networks and Applications*, vol. 6, pp. 441-453, 2002.

[7] K. Fall and K. Varadhan, editors, "NS notes and documentation," *The VINT Project, UC Berkely, LBL, USC/ISI and Xerox PARC*, 1997.

[8] T. Camp, J. Boleng and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communication & Mobile Computing(WCMC)*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.

[9] J. Xie, R. R. Talpade, A. Mccauley and M. Liu, "AMRoute : Ad hoc multicast routing protocol," *ACM Mobile Networks and Applications*, vol. 7. pp. 429-439, 2002.

[10] J. J. Garcia-Luna-Aceves and E.L. Madruga, "The core-assisted mesh protocol," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, pp. 1380-1394, 1999.

[11] C.W. Wu, Y. C. Tay, "AMRIS: A multicast protocol for ad hoc wireless newtorks," in *Proceedings of IEEE MILCOM'99*, vol. 1, pp 25-29, 1999.

[12] L. Ji and M. S. Corson, "Explicit multicasting for mobile ad hoc networks," *ACM Mobile Networks and Applications*, vol. 8, pp. 535-549, 2003.