
DTN에서 에피데믹과 예측 기반 알고리즘을 이용한 라우팅 프로토콜

도윤형* · 이강환**

*한국기술교육대학교

Epidemic & Prediction based Routing Protocol for Delay Tolerant Network

Yoon-Hyung Dho* · Kang-Whan Lee**

*Korea University of Technology and Education

E-mail : zephyrus@kut.ac.kr

요 약

Delay Tolerant Network (DTN)은 불안정한 네트워크 환경으로 인해 나타나는 문제들을 해결하기 위해 Store-Carry-Forward 방식의 메시지 전달을 기본으로 하는 네트워크 구조이다. 기존 네트워크와는 달리 DTN은 종단 간 연결을 보장하지 않아 긴 전송 지연, 불안정한 링크 연결성을 가진다. 이로 인해 DTN에서는 TCP/IP를 기반 한 프로토콜이 정상적으로 동작하기 어려우며, 목적지를 알 수 없는 상황에서도 메시지를 전달해야 하는 상황이 발생한다. 따라서 DTN에서 동작 가능한 라우팅 프로토콜이 요구되고 있으며 그에 따른 연구가 진행 되고 있다. 본 논문에서는 인접한 노드의 히스토리에 기록한 이동성 정보에 따라 에피데믹 알고리즘과 예측 기반 알고리즘을 사용하여 메시지를 전달할 중계 노드를 선출하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 종단 간 연결성을 보완하고 DTN의 특성을 반영하여 목적지의 위치를 알 수 없는 상황에서의 전송률을 증가시키며 지연 시간과 오버헤드를 감소시킨다.

ABSTRACT

Delay Tolerant Network (DTN) is a networking architecture that is designed to solve network problem in unstable and stressed environments using the Store-Carry-Forward method. Different from general networks, DTN does not guarantee the end-to-end connectivity, it is hard for the existing TCP/IP based protocols to normally work due to the characteristic such as large latency and unstable link connectivity. And the condition that send message without the information of the destination occurs frequently. Thus, suitable routing protocols for DTN are required and being researched. In this paper, we propose a novel routing protocol for DTN utilizing epidemic and prediction based algorithm to prevent the defect of previously DTN routing protocols such as the absence of the holistic view of the network. Proposed algorithm predicted destination using the mobility information recorded in neighbor node's history and utilize epidemic based algorithm when occurred condition without destination's information. This algorithm is enhanced in terms of delivery ratio, decreases latency and overhead in sparse network such as DTN.

키워드

MANET, DTN, 지연내성망, 예측기반

1. 서 론

Delay Tolerant Network(DTN)이란 종단간의 연결이 불안정한 네트워크에서의 통신 문제를 해결하기 위해 Carry-Store-Forward 방식의 데이터

전달방식을 사용하는 네트워크 구조이다[1]. DTN은 종단간의 연결이 불안정하기 때문에 기존의 TCP/IP와 Mobile Ad-Hoc Network(MANET)에서 사용하는 라우팅 프로토콜을 사용하기 어렵다. 때문에 현재 DTN에 적용 가능한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 기존

DTN 라우팅 프로토콜인 Epidemic 라우팅 프로토콜[2]이나 Spray and Wait 프로토콜[3]은 노드의 밀도가 낮은 네트워크에서 전송률을 높이기 위해 접촉하는 모든 노드에게 메시지를 복사한다. 하지만 이러한 방식의 특성상 많은 오버헤드가 발생하게 된다[4].

본 논문에서는 이러한 기존 DTN 라우팅 프로토콜을 적용할 때 발생하는 오버헤드를 감소시키면서도 전송률을 유지시키기 위해 에피데믹과 예측 기반 알고리즘을 제안한다.

제안하는 알고리즘은 네트워크를 구역으로 나누어 구역 내 노드들의 위치 정보를 관리하는 노드를 통해 노드들의 움직임을 예측하고 목적지에 가장 빠르게 도착할 것이라 예상 되는 중계 노드를 선택하여 메시지를 복사한다.

II. 본 론

A. 가정

본 알고리즘을 사용하기 위해 네트워크에 대해 다음과 같이 가정한다.

- 1) 각 노드들은 속도, 위치, 방향등의 위치정보를 가진다.
- 2) 각 노드들의 위치 정보를 관리하는 관리 노드가 존재한다.
- 3) 관리 노드(CH)들은 쿼럼을 이루어 노드들의 위치 정보를 공유한다.
- 4) 메시지 전달은 관리 노드를 통해서만 이루어진다.

이에 따라 네트워크 구조는 그림1 표현된다.

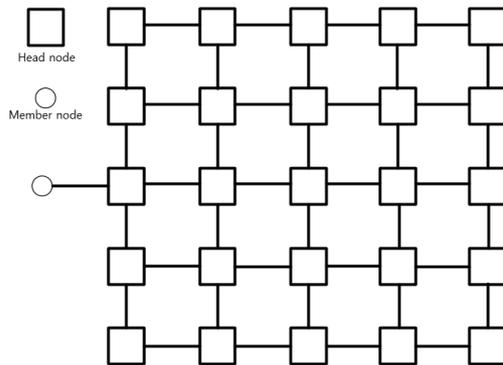


그림 1. 네트워크 구조

B. 노드 속성 정보 업데이트

각 노드들은 자신의 위치 정보를 테이블에 기록을 하며, 인접한 관리 노드에게 자신의 위치 정보를 전달한다[5]. 관리 노드는 멤버 노드(CM)의 메시지 요청이 있을 때 위치 정보를 업데이트하며 인접한 다른 관리 노드들과 위치 정보를 공유

하여 목적 노드 d 를 찾는다. 노드 N_i 가 시간 t 에서의 위치, 속도와 방향을 속성 정보 테이블 Kn_i 로 나타내며 표 1과 같다.

표 1. 노드 속성 정보 테이블 Kn_i

ID	Location	Velocity	Direction	Time
N_i	(l_x, l_y)	v	dir	t

노드 N_i 는 자신의 속성 정보를 인접한 관리 노드 CH_i 에게 전달한다. 그리고 관리 노드는 인접한 다른 관리 노드들과 자신의 멤버 노드 N_i 의 속성 정보를 공유한다. 관리노드 CH_i 에 속한 노드 N_i 는 소속 노드 CM_i 이라 나타낼 수 있다. 이에 따라 노드 속성 정보 업데이트는 알고리즘 1과 같다.

알고리즘 1. 노드 속성 정보 업데이트

```

1: set  $CH_i$  to the cluster heads
2: set  $CM_i$  to the cluster members
3: for each node  $N_i$  is neighbor node  $CH_i$  do
4:    $N_i \in CH_i$ 
5:    $N_i \equiv CM_i$ 
6:    $CH_i$  records the states of  $CM_i$  in  $Kn_i$ 
7: end for
8: for each encounter between  $CH_i$  and  $CH_{i+1}$  do
9:    $CH_i$  records the state of  $Kn_{i+1}$  in  $Kn_i$ 
10: end for

```

C. 라우팅 구조

효율적인 중계 노드를 선출하기 위해 2-HOP의 관리 노드들을 통해 위치 정보 테이블에서 목적 노드의 정보를 찾는다. 목적 노드가 현재 관리 노드에 인접해 있다면 관리 노드를 통해 목적 노드에게 메시지를 복사하고, 그렇지 않다면 위치 정보 테이블을 통해 목적 노드의 위치를 예측하여 목적 노드에 접근하고 있는 관리 노드를 선택하여 메시지를 복사한다.

- 1) 위치 예측: 목적 노드로 접근하는 노드를 선택하기 위해 위치 정보 테이블을 이용하여 현재 목적 노드의 위치를 예측한다. 예측된 목적 노드의 위치 $N_d(l)$ 에 대한 식은 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 N_d(l_x) &= l_x + v_d \cdot TW \cdot \cos(dir) \\
 N_d(l_y) &= l_y + v_d \cdot TW \cdot \sin(dir)
 \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)에서 l_x, l_y 는 노드의 x 와 y 위치 좌표이며 v 는 속도, dir 은 방향, TW 는 time window이다. 위 식에 따라 목적 노드의 위치를 예측한 후, 소스 노드 s 가 속한 관리 노드 CH_s 의 인접 관리 노드 CH_i 와의 현재 거리 $dist_{id}$ 를 계산한다. 인접 관리 노드와 목적 노드 d 사이의 거리 $dist_{id}$ 는 식 (2)와 같다. 이후 계산된 $dist_{id}$ 에 따라 알고리즘 2와 같이 라우팅을 전개한다.

$$dist_{id} = \sqrt{(N_i(l_x) - N_d(l_x))^2 + (N_i(l_y) - N_d(l_y))^2} \quad (2)$$

알고리즘 2. 라우팅 구조

```

1: set M to message
2: set Rt to radio transmit range
3: set Rc to radio coverage
4: Rt = kRc
5: for each encounter between CHi and CHj do
6: for each message M in CHi do
7: if M is destined to CHj then
8: M is directly delivered by CHi
9: else if M is carried by CHi then
10: skip M for routing processing
11: else if distid ≤ Rtd then
12: select CHi to relay node
13: else if distid > Rtd then
14: M is processed by relay phase
15: end if
16: end for
17: end for
    
```

위 알고리즘에서 $dist_{jd}$ 는 노드 j 에서 목적 노드 d 까지 거리이고, Rt_d 는 목적 노드 d 의 radio transmit range 이다. $Rt = kRc$ 로 표현되며 2 Hop 이내에서 최적[6]이므로 $k=2$ 이다. 이때 Rc 는 노드의 radio coverage이다.

2) 중계 노드 선택: 중계 노드의 선택은 알고리즘 2에 따라 $dist_{id} > Rt_d$ 일 때 수행한다. 목적 노드에게 접근할 가능성이 가장 높은 관리 노드는 설정한 TW 이후 목적 노드와의 거리 $Exp(dist_{id})$ 가 가장 짧은 노드이다. $Exp(dist_{id})$ 는 식 (3)을 통해 계산된다.

$$Exp(dist_{id}) = dist_{id} - TW \cdot v_i \cdot \cos(dir_{id}) \quad (3)$$

dir_{id} 는 $dist_{id}$ 와 인접 관리 노드 CH_i 의 방향이 이루는 각도이며 그림 2 로 표현된다.

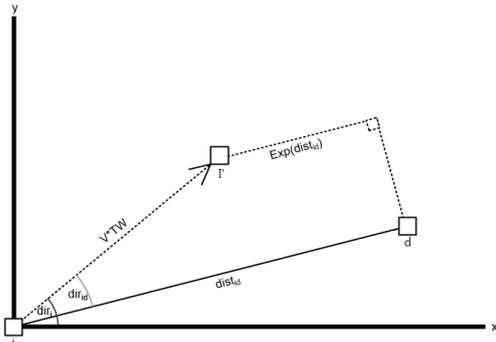


그림 2. $dist_{id}$, $Exp(dist_{id})$, dir_{id} , dir_i 의 표현

위 식에 따라 $Exp(dist_{id})$ 는 $dir_{id} < \frac{\pi}{2}$ 이며, v_i 가 클수록 짧아짐을 알 수 있다. 이에 따라 중계 노드가 선택되는 우선도 P 를 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i = (W_{dir} \cdot \cos(dir_{id})) + (W_v \cdot v_i) + (W_{dist} \cdot \frac{1}{dist_{id}}) \quad (4)$$

$$s.t. \quad dir_{id} < \frac{\pi}{2}$$

$$dist_{id} < Rt_d$$

$$W_{dir} + W_v + W_{dist} = 1$$

위 식에서 W_{dir} , W_v , W_{dist} 는 각각 각도, 속도, 거리에 대한 가중치이며 위 식에 따라 라우팅 모델 Z 는 식 (5)로 표현할 수 있다.

$$Z = MAX \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n P_{ij} \cdot X_{ij} \quad (5)$$

$$s.t. \quad X = path$$

$$X_{ij} \in 0,1$$

위 식에서 X_{ij} 는 라우팅 경로 선택의 유무이며, 선택될 시 1, 선택되지 않을시 0이다. 위에 제시한 식에 따라 그림 3과 같이 라우팅 모델이 표현된다.

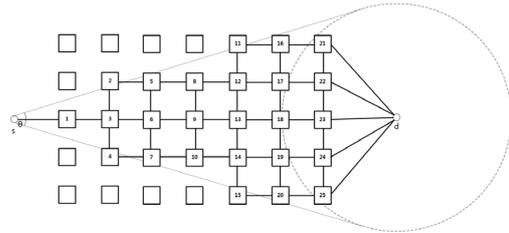


그림 3. 라우팅 모델

그림 3에서 s 는 소스 노드, d 는 목적 노드이다. 소스 노드는 인접한 노드들의 속성 정보에 따라 중계 노드를 선택하고 이를 반복하여 목적 노드까지 메시지를 전달한다. 이때 소스 노드 s 에서 목적 노드 d 의 통신 반경 내로 이동하는 한계 각도를 θ 라 할 때, 중계 노드의 이동 방향 dir_{id} 가 θ 보다 작다면 결과적으로 예상 이동위치가 목적 노드 d 의 통신 반경 내에 위치하게 되므로 메시지를 복사한 뒤 중계 노드 선택 단계를 중지한다. 이에 따라 중계 노드 선택은 알고리즘 3에 따라 진행된다.

알고리즘 3. 중계 노드 선택

```

1: for each encounter between CHs and CHi do
2: for each message M in CHi do
3: if dirid ≤ θ then
4: CHs replicate M to CHi
5: stop relay phase
6: else if MAX(Pi) then
7: CHs replicate M to CHi
8: end if
9: end for
10: end for
    
```

III. 결과 예상

그림 3에서 나타난 라우팅 모델을 기반으로 에피데믹 라우팅과 제안한 라우팅 알고리즘의 최적의 오버헤드와 최악의 오버헤드를 비교하여 표로 나타내었다. 오버헤드를 표현은 받은 메시지를 기반으로 하여 얼마나 많은 메시지가 복사되는지를 판단하였고 이는 식 6으로 나타낸다.

$$OH = \frac{CpM - DvM}{DvM} \quad (6)$$

식 6에서 OH 는 오버헤드, CpM 는 복사된 메시지, DvM 은 받은 메시지이다.

표 2는 실험에 대한 설정 값이며 Epidemic 라우팅과 비교하여 제안한 알고리즘에서 최고의 성능을 나타내는 경우와 최악의 경우를 상정하였다. 그림 4는 제안한 알고리즘에서 나타낼 수 있는 최적의 네트워크 라우팅 모델이다.

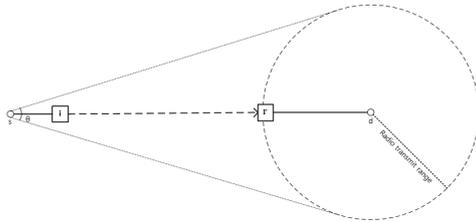


그림 4. 최적 성능에 대한 라우팅 모델

표 2. 실험 환경

Number of CH	35,50,100
Direction θ	30
Radio transmit range	2-Hop

표 3. 관리 노드 수에 따른 오버헤드률(%)

Number of CH	Epidemic	Best	Worst
35	26	1	14
50	43	1	28
100	82	1	57

제안하는 알고리즘에서 최적의 경우 오버헤드가 1%가 나오는 이유는 처음 중계 되는 노드가 목적 노드에 접근하는 임계각 θ 보다 작은 값으로 이동하고 있다면 메시지를 한번 복사한 뒤 중계 노드 선택 단계를 중지하기 때문이다. 최악의 경우는 모든 관리노드에서 목적노드로 향하고 있는 중계노드를 찾아서 선택해 주는 상황이다. 하지만 그림에도 Epidemic 라우팅과 비교하여 오버헤드률이 현저하게 낮음을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 노드들의 위치 정보에 따른 속성 정보를 사용하여 가장 효율적인 중계 노드를 선택한다. 이 알고리즘은 네트워크의 오버헤드를 감소시키고 전송률을 보장하는 것을 목적으로 하였다. 제안하는 알고리즘은 기존의 DTN 라우팅 알고리즘과 달리 인접한 노드들의 속성 정보에 따라 중계 노드를 합리적으로 결정하기 때문에 무분별한 메시지 복사에 따른 오버헤드를 감소시킬 수 있어 기존 DTN에서 가정하는 노드의 밀도가 낮은 네트워크 뿐 아니라 노드의 이동으로 인해 DTN을 구성해야 하는 네트워크에서도 적용이 가능하다.

참고문헌

- [1] K. Fall and S. Farrell, "Dtn: an architectural retrospective," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 26, no. 5, pp. 828 - 836, 2008.
- [2] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks," Duke University, Durham, NC, Tech. Rep. CS-2000-06, 2000.
- [3] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, "Efficient routing in intermittently connected mobile networks: The multiple-copy case," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 16, no. 1, pp. 77 - 90, Feb. 2008.
- [4] T. Hossmann, T. Spyropoulos, and F. Legendre, "Know thy neighbor: Towards optimal mapping of contacts to social graphs for DTN routing," in *INFOCOM'10: Proc. 29th IEEE International conference on Computer Communications*, 2010.
- [5] Y. Cao, Z. Sun, N. Ahmad, and H. Cruickshank, "A mobility vector based routing algorithm for delay tolerant networks using history geographic information," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2012 IEEE*, april 2012, pp. 2757 - 2762.
- [6] R. Chandra, L. Qiu, K. Jain, M. Mahdian, "Optimizing the placement of integration points in multi-hop wireless networks," in: *Proceedings of IEEE ICNP 2004*, pp. 271 - 282.