확률적 DTN 모델에서 효율적인 중계 노드 선택 방법

도윤형* · 이강환**

*한국기술교육대학교

Efficient Relay Node Selection in Stochastic DTN Model

Yoon-Hyng Dho* · Kang-Whan Lee**

*Korea University of Technology and Education

E-mail : zephyrus@koreatech.ac.kr

요 약

본 논문은 확률적 DTN 모델 내에서 효율적인 중계 노드를 선택하기 위한 방법을 제안한다. Delay Tolerant Network(DTN)은 효율적인 통신을 위해 묶음 계층(bundle layer)를 생성해 서로 다른 네트워크 및 이기종간의 네트워크 간 중계 노드를 선택하고 메시지를 전달하는 Carry and forward 방식을 사용한다. DTN은 기본적으로 유동적인 노드로 구성되어 고정된 라우팅 루트가 없으며 간헐적인 연결로 인해 긴 지연시간을 가진다. 따라서 DTN을 구성하는 노드들은 필수적으로 메시지를 저장하기 위한 특성을 가지며 저장된 메시지와 노드의 용량은 네트워크의 성능에 영향을 주게 된다. 확률적 DTN 모델은 이러한 DTN의 성능을 분석하기 위해 시간에 따라 무작위적으로 변화하는 Markov 모델을 제안하였다. 하지만 제안된 확률적 DTN 모델에서는 네트워크의 성능을 향상시키기 위한 방법에 대한 연구가 미비하였다. 본 논문은 네트워크의 성능을 향상시키기 위해 확률적 DTN 모델에서 메시지의 생성과 소멸을 통해 분석된 확률적 메시지 분포와 상호 접촉 시간을 이용해 효율적인 중계 노드를 선택하는 알고리즘을 제안한다.

ABSTRACT

This paper proposes a method for selecting efficient relay nodes in stochastic DTN model. Delay Tolerant Network (DTN) uses the Carry and Forward method, which creates a bundle layer for efficient communication, selects relay nodes between different networks and heterogeneous networks, and forwards messages. DTN is basically composed of mobile nodes so DTN has no fixed routing route and it has long latency due to intermittent connection. Therefore, the nodes constituting the DTN necessarily have the characteristics to store the messages, and the capacity of the stored messages and nodes affects the performance of the network. Stochastic DTN model proposed a Markov model that changes randomly over time to analyze the performance of DTN. In this paper, we use stochastic message distribution and node contact probabilities using contact time analyzed through message generation and extinction in order to select efficient relay nodes in stochastic DTN model.

키워드

지연 내성 망, 라우팅 프로토콜, 확률론적 모델링, 애드 혹 망

Ⅰ. 서 론

DTN은 일종의 Mobile Ad hoc Networks(MANET)이다. DTN은 분산 노드로 구성되어 있어 자율적으로 네트워크를 구성하고 동적이며 기반 시설이 필요하지 않다. 이 노드들은 전송 범위에 있는 각 노드 간 무선 통신을 통해 네트워크를 구성한다. 전송 범위 내 존재하지 않는 목적 노드에게 메시지를 전달할 때는 단계적으로 메시지를 전달하기 위해 노드들을 연결하여 통신을 한다. 이때 이 노드들 간 효율적인 라우팅 루트를 찾는 것은 노드의 통신 범위에 따른 문제로 인해 쉽지 않다[1].

노드의 이동성과 기반 시설은 네트워크의 연결

성에 중요한 영향을 미친다. DTN에서 Ad-hoc 네트워크의 토폴로지는 거의 혹은 전혀 연결되어 있지 않기 때문에 메시지 전달 과정은 지연 대해 내성이 있어야한다. DTN 구조는 이러한 요소를 여러 기술을 통해 구현한다. 특히 DTN은 묶음 계층(bundle layer)라 불리는 새로운 프로토콜 계층을 추가하여 저장-전달(store-and-forward)이나 보관 전송(Custody Transfer) 으로 불리는 방식을 이용한 묶음 프로토콜(bundle protocol, BP)중계 노드를 선택해 메시지를 전달하게 된다.

결과적으로 DTN의 이러한 특징은 DTN을 이용한 통신 구조에 두가지 중요한 과제를 부과한다. 첫 번째는 동일한 노드에 여러 개의 메시지가 존재하기 위한 저장 공간의 필요성이다. 두 번째는 전송 과정에서 나타나는 장시간의 지연 점유율 (delay occupancy rate)로, 이로 인해 일부 메시지는 TTL (Time To Live)가 제한되어 묶음 계층 내 메시지의 수명이 만료될 수 있다.

DTN의 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 연구들은 묶음 계층의 저장되는 메시지 및 점유량에 주목했다. 또한 BP 방식과 간헐적인 접촉에 영향을 받는 데이터의 전송 및 저장을 방식을 확률적으로 특성화하여 분석하는 연구가 진행되었다.

하지만 이러한 기존 연구들은 DTN의 특징을 확률적으로 분석하여 모델링하는 데 초점을 두어 분석한 네트워크 내에서 효율적으로 동작하는 라우팅 기법에 대한 연구가 미비하였다[2].

본 논문에서는 기존 연구에서 메시지의 생성과 소멸에 따라 markov 과정을 통해 메시지의 존재 확률을 분석한 확률적인 DTN 모델에서 상호 접촉 확률과 노드의 평균 접촉 시간 또는 단위시간당 유출입하는 번들의 수와 같은 네트워크의 성능에 영향을 미치는 각 노드의 매개 변수에 가중치를 부여해 중계 노드를 선택하는 라우팅 기법을 제안한다.

II. 본 론

DTN 구조에서 가장 중요한 특징 중 하나는 DTN 노드의 연결이 간헐적이라는 점이다. DTN 내에서는 노드가 이동하기 때문에 장애물로 인해 연결이 끊기거나 노드의 에너지가 부족해 메시지 중계 노드 역할을 할 수 없어 연결이 끊길 수 있다. 이 두 경우 모두 DTN의 간헐적인 연결 특성의 원인중 하나로 이러한 특성은 DTN 노드의 메시지 전송 및 번들 누적에 큰 영향을 미친다.

DTN 내 노드의 동적 특성을 모델링하거나 분석하는 데 일반적으로 사용되는 과정은 결정론적 과정이나 포아송 과정을 기반으로 한다. DTN 내 노드 간 연결은 간헐적이며 노드의 개별 동작은 독립적으로 이루어지기 때문이다. 물론 이러한 과정은 원하는 환경이나 결과의 정밀도에 따라 달라진다.

DTN 노드의 주요 특성 중에서 토폴로지의 불안정성에 초점을 둘 수 있다. 이 토폴로지의 불안정석으로 인해 DTN의 특징인 번들의 생성과 소멸이 발생하게 된다.

Stochastic Modeling and Analysis of DTN Networks에서는 시공간상에서 메시지 번들의 동적 특성을 Markov 과정을 통해 모델링 하였다. 노드의 상태 간 전환은 신규 노드의 생성 또는 소멸하는 과정을 통해 이루어진다. 그러나 이 과정의 미래 상태는 현재 상태에 달려 있기 때문에 이 과정은 연속된 시간에서 '생성 - 소멸 Markov 과정'으로 확인하는 것이 가능하다.

결과적으로 확률적 DTN 모델링에서 중계 노드를 선택하기 위한 매개 변수는 다음과 같다.

1. 노드의 평균 접촉시간
2. TTL 내 메시지가 목적지에 도착할 확률
3. 단위 시간당 번들의 유출입 메시지의 수
4. 단위 시간당 번들의 평균 수
5. 단위 시간당 번들의 점유 비율

이를 다시 정리하면 시간에 대한 중계 선택 노드 확률, 메시지의 수에 대한 중계 노드 선택 확률, 변동 확률에 대한 중계 노드 선택 확률로 분류 할 수 있다.

1. 노드의 평균 접촉시간

상호 접촉 시간은 주어진 노드 쌍에 대해 두 개의 연속적인 접촉 창(window) 사이에 메시자가 전달 된 시간으로 정의한다. 상호 접촉 시간은 간헐적으로 연결된 네트워크에서 지연시간에 큰 영향을 미칠 수 있다.

DTN에서 두 노드가 서로 접촉하고 있는 시간을 통해 각 노드의 통신 강도를 결정 할 수 있다. 이는 각 노드가 일정 시간 동안 통신이 가능한 횟수를 결정하게 된다. 상호 접촉 상수 λ의 강도를 계산하고 두 노드 n_i와 n_j 사이 접촉 지속 시간을 분석하기 위해 확률론적 공식을 사용한다.

$\{T_n, n=1,2,3...\}$ 이 푸아송 과정일 때, $T_0=0$이고 최초의 접촉이 T_1에서 발생한다고 가정한다. 이때 n 번째 접촉 노드 π_n을 n 번째 접촉 노드와 (n + 1) 번째 접촉 노드 사이에 전달되는 지속 기간으로 정의하면 식(1)과 같다.

$$\pi_n = T_n - T_{n-1}, n=1,2,3... \quad (1)$$

$with$

$$T_0 = 0$$

각 과정 $\{T_n, n=1,2,3...\}$는 접촉 시간 과정이라 하며 상호 접촉 시간은 푸아송 과정을 특징짓는 매우 중요한 특성이다. 이 푸아송 과정은 독립적이고 동일하게 매개 변수 λ를 갖는 지수 법칙에 따라 분포된다. 이는 결국 상호 접촉 강도를 의미하며 평균 접촉 시간을 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$E(\pi_n) = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

평균 접촉 시간은 짧을수록 활동적인 노드가 되기 때문에 노드 i의 평균 접촉 시간에 따라 가중치를 부여하면 중계 노드 선택에 대한 조건으로 활용이 가능하다.

2. TTL 내 메시지가 목적지에 도착할 확률

DTN에서 메시지가 발생할 때 마다 식(8)이 반복되며 노드 간의 접촉이 기하급수적으로 분산된다. 이때의 메시지 전송 속도와 전달 지연 시간 및 오버헤드를 이용하여 DTN 성능을 모델링 할 수 있다. 시간 T_n에서 번들 레이어로 진입하는 메시지에 대해 n번째와 (n + 1) 번째 번들 사이의 상호 접촉 시간을 π_n이라고 하면 TTL이 만료되기 전 번들이 전달 될 확률은 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$P_r(T_n \le t_{TTL}) = 1 - e^{(-\lambda t_{TTL})} \quad (3)$$

TTL이 만료되기 전 메시지가 전달이 될 확률이 높은 노드가 중계 노드로 작동할수록 더 효율적인 네트워크가 구성이 가능하기 때문에 이는 중계 노드 선택 조건으로 사용할 수 있다.

3. 번들에 대한 매개변수

t = 0 에서 t = T 사이에서 작동하는 DTN에서 임의의 시간 t에서의 DTN의 총 번들 수 X_t를 가정하자. 이때 고정된 시간[0, T] 사이에서 네트워크 번들에 작용하는 매개 변수를 결정할 수 있다.

$$C_i = S_i - A_i \quad (4)$$

C_i는 i번째 번들과 노드i의 접촉 시간을 뜻하며 S_i는 노드 n_i에서 i번째 번들의 시작시간, A_i는 노드 n_i에서 i번째 번들의 도착시간을 뜻한다. 이는 네트워크가 n개의 번들을 가지고 있는 총 시간을 계산을 할 수 있게 하며 이는 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$\sum_{n \ge 0} T(n, T) = T \quad (5)$$

위 변수들을 이용해 일시적인 상황에서 DTN의 성능 매개 변수를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$d_a(T) = \frac{a(T)}{T} \quad (6)$$

$$d_\delta(T) = \frac{\delta(T)}{T} \quad (7)$$

식(6)은 단위 시간[0,T]에서 노드 n_i에 생성되는 평균 번들 수이고 식(7)은 단위 시간[0,T]에서 노드 n_i에서 소멸되는 평균 번들 수이다. 이에 따라 총 평균 번들 수는 식(8)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} L(T) &= \frac{1}{T}\sum_{n \ge 0} nT(n, T) \\ &= \sum_{n \ge 0} nP(n, T) \end{aligned} \quad (8)$$

단위 시간당 생성 및 소멸하는 번들 수가 많을수록 그 노드는 활동적인 노드라고 말할 수 있다. 활동적인 노드를 중계 노드로 선택할 때 더 효율적인 DTN이 구성되기 때문에 중계 노드로 선택하는 중요한 변수가 된다.

또한 활동적인 노드일수록 현재 번들의 평균수클 가능성이 크다. 하지만 노드의 메시지 보관량은 한계가 있기 때문에 한 노드를 계속 중계 노드로 선택할 경우 오버헤드가 커지는 문제가 발생한다.

평균 접촉 시간은 시간 간격 [0, T] 동안 노드 ni에 도달한 번들의 접촉 시간의 산술 평균으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C(T) = \frac{1}{a(T)}\sum_{i=1}^{a(T)} C_i \quad (9)$$

확률적 DTN 모델에서는 평균 접촉 시간이 짧은 노드일수록 더 활동적인 노드를 의미한다.

점유율 U는 시간 간격 [0, T]에서 번들 계층이 점유되는 시간의 비율로 정의된다.

$$U(T) = \sum_{n \ge 0} P(n, T) = 1 - P(0, T) \quad (10)$$

번들 계층이 지속 적으로 점유가 된다는 것은 메시지를 목적노드에게 전달하지 못한 채 보관하고 있다는 뜻이거나 활동적인 노드이기 때문에 많은 메시지의 유입이 있다는 뜻이 된다. 이는 평균 번들 개수와 비교하여 중계 노드 선택 변수로 이용할 수 있다.

이에 따라 각 매개 변수에 유동 가중치를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} p_T(t) &= \frac{w_T(t_0)}{E(\pi_n)C(T)} \\ &= w_T(t_0)\lambda a(T)\sum_{i=1}^{a(T)} \frac{1}{C_i} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} p_\lambda(t) &= w_\lambda(t_0)P_r(T_n \le t_{TTL}) \\ &= w_\lambda(t_0)(1 - e^{(-\lambda t_{TTL})}) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} p_n(t) &= w_n(t_0)\frac{L(T)(|d_s(T) - d_a(T)|)}{U(T)} \\ &= w_n(t_0)\sum_{n \ge 0}\frac{nP(n, T)}{P(n, T)}\left(\frac{|a(T) - \delta(T)|}{T}\right) \\ &= w_n(t_0)\sum_{n \ge 0} n\left(\frac{|a(T) - \delta(T)|}{T}\right) \end{aligned} \quad (13)$$

이에 따라 확률적 DTN 모델링에서 중계 노드 선택 확률은 식(14)로 표현할 수 있다.

$$p(t) = p_T(t) + p_\lambda(t) + p_n(t) \quad (14)$$
$$= w_T(t_0)\lambda a(T)\sum_{i=1}^{a(T)}\frac{1}{C_i}$$
$$+ w_\lambda(t_0)(1 - e^{-\lambda t_{TTL}})$$
$$+ w_n(t_0)\sum_{n \geq 0} n(\frac{|a(T) - \delta(T)|}{T})$$

$$s.t.$$
$$w(t) = w_T(t) + w_\lambda(t) + w_n(t) = 1$$
$$MAX(p(t)) = 1$$

III. 모의 실험 및 결과

본 장에서는 확률적 DTN 모델에서 기존의 DTN 라우팅 알고리즘[3][4]과 본 논문에서 제안한 알고리즘을 모의실험을 통해 비교하였다.

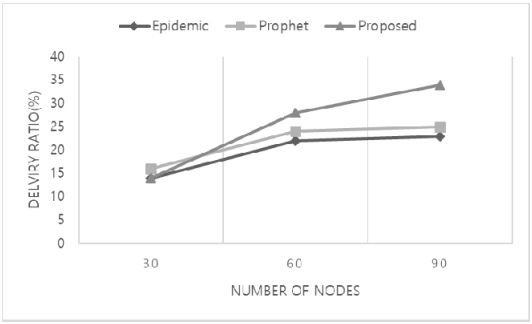

그림 1. 노드 수 변화에 따른 전송률

그림 1은 노드 수 증가에 따른 평균 전송률을 비교한 그림이다. 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 노드가 증가할수록 더 높은 전송률을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

IV. 결론

DTN은 불안정한 네트워크 환경에서 신뢰성 있는 통신이 가능해 주목되고 있다. 확률적 DTN 모델은 불안정한 네트워크 환경을 확률적으로 분석하여 DTN의 번들의 특성을 수학적으로 드러냈다. 하지만 기존 확률적 DTN 모델 분석에서는 효율적인 DTN 라우팅 알고리즘에 대한 연구가 미비하였다. 본 논문에서는 분석한 확률적 DTN 모델의 성능 매개 변수를 사용하여 더 효율적인 중계 노드를 선택하고 네트워크의 성능을 향상시키고자 하였다.

참고문헌

[1] Delay Tolerant Networking Research Group, http://www.dtnrg.org.E.

[2] Abdellaoui Alaoui, E.A., Agoujil, S., Hajar, M.: Stochastic modeling and analysis of DTN Networks. In: Proceedings of The 2nd International Conference on Information Technology for Organizations Development (IT4OD). IEEE, 2016, March 30 – April 1st.

[3] Amin Vahdat, David Becker, “Epidemic Routing for Partially-connected Ad Hoc Networks,” Duke University, 2000, Technical Report CS-2000-06J.

[4] A. Lindgren, A. Doria and O. Schelen, Probabilistic routing in intermittently connected networks. SIGMOBILE Mob, Comput. Commun. Rev. Vol.7, No.3, 2003, pp.19-20.