

# 이동성 정보를 이용한 DTN 네트워크 라우팅 프로토콜

## (Mobility Information based Routing for Delay and Disruption Tolerant Network)

장 덕 현 <sup>†</sup>      심 윤 보 <sup>\*\*</sup>      김 길 수 <sup>\*\*\*</sup>      최 낙 중 <sup>†</sup>  
(Dukhyun Chang)    (Yoonbo Shim)    (Gilsoo Kim)    (Nakjung Choi)

류 지 호 <sup>†</sup>      권 태 경 <sup>\*\*\*\*</sup>      최 양 희 <sup>\*\*\*\*\*</sup>  
(Jiho Ryu)    (Taekyoung Kwon)    (Yanghee Choi)

**요 약** Delay and Disruption Tolerant Network (DTN)은 지속적인 종단간 연결성이 보장되지 않는 상황으로 인해 store and forward 방식의 메시지 전달을 기본으로 하는 네트워크이다. 일반적인 네트워크와 달리 상대적으로 긴 전송 지연 시간, 불안정한 링크 연결성과 같은 특성으로 인해 기존 TCP/IP 기반의 라우팅 프로토콜은 정상적으로 동작하기 힘들다. 따라서 최근에 DTN을 위한 라우팅 프로토콜에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 고에서는 이동 노드의 상대적인 방향차이 또는 이동 노드의 목적지 등과 같은 이동성 정보를 이용한 효과적인 메시지 전달방식을 통해 DTN의 특성을 잘 반영하면서도 기존에 제안된 기법에 비해 전송 확률과 지연 시간, 오버헤드 측면에서 향상된 라우팅 프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통해 이를 검증한다.

**키워드** : Delay and Disruption Tolerant Network, DTN, 이동성, 라우팅 프로토콜

**Abstract** Delay and Disruption Tolerant Network (DTN) employs message delivery based on a store-and-forward method to conquer no guarantee of continuous end-to-end connectivity. Different from general networks, it is hard for the existing TCP/IP-based routing protocols to correctly work, due to the characteristics such as large latency and unstable link connectivity. Thus, many recent studies focus on routing protocols for DTN. In this paper, we propose a novel routing protocol for DTN with efficient message delivery utilizing mobility information such as direction or destination of mobile nodes. And this protocol is enhanced in terms of delivery ratio, decreases latency and overhead compared to the previously proposed solutions. Simulation results prove its superiority.

**Key words** : Delay and Disruption Tolerant Network, DTN, mobility, store and forward, Routing Protocol

- 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음(2007-IP-038-02, 미래 인터넷 핵심기술 연구)
- 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅네트워크원천기술개발사업의 08B3-B3-10M 과제로 지원된 것임
- 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '이동성 정보를 이용한 DTN 네트워크 라우팅 프로토콜'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 비 회 원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부  
dhchang@mmlab.snu.ac.kr  
fomula@mmlab.snu.ac.kr  
jhryu@mmlab.snu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 비 회 원 : 한국전력공사  
ybslim1009@gmail.com

<sup>\*\*\*</sup> 비 회 원 : 대한민국 육군  
giljaya@gmail.com

<sup>\*\*\*\*</sup> 정 회 원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수  
tkkwon@snu.ac.kr

<sup>\*\*\*\*\*</sup> 종신회원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수  
yhchoi@snu.ac.kr

논문접수 : 2008년 8월 25일

심사완료 : 2008년 11월 10일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제36권 제2호(2009.4)

## 1. 서론

최근 유비쿼터스 컴퓨팅 환경으로의 변화에 따라 코어 네트워크로 이루어진 유선 인터넷뿐만 아니라 무선 랜, 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, WiMAX 등 다양한 종류의 네트워크의 등장이 가속화되고 있다. 이렇듯 다양한 네트워크 기술들이 등장하고 각 응용에 따라 상이한 네트워크 기술들이 병존하는 상황에서 네트워크 특성이 서로 다른 네트워크들을 연동하는 기술은 매우 중요한 부분을 차지한다.

Delay Tolerant Network(DTN)[1]의 기본적인 개념은 이렇듯 서로 상이한 특성, 특별히 지연 시간이 매우 다른 이종 네트워크를 연동하기 위한 네트워크 구조로서 출발하였다. 지상에서 우주 공간에 쏘아 보낸 탐사선 사이의 행성 간 통신, 위성 통신[2]과 같이 지연 시간인 분, 시간, 일 이상의 단위원 네트워크와 지연 시간의 단위가 초 단위 이하인 지상의 인터넷을 연결하기 위한 개념으로 등장하였다. 그러나 현재는 센서 네트워크나 차량 네트워크와 같이 빈번한 연결성 변화로 인한 종단간 경로 부재, 파워 소진으로 인한 네트워크 구성 변화, 높은 지연 시간 등의 기존의 TCP/IP 프로토콜이 적용될 수 없는 Opportunistic Network[3]을 포함하는 개념으로 확장되었다. 따라서 이렇게 확장된 개념의 Delay and Disruption Tolerant Network(DTN)은 어느 순간 종단간 연결성이 보장되지 않는 store and forward 방식의 메시지 전달을 기본으로 하는 네트워크를 이야기한다고 할 수 있다.

현재 DTN과 관련하여 네트워크 아키텍처, 라우팅 프로토콜 및 전송 프로토콜, 메시지 저장 관리 기법 등 다양한 주체의 연구가 이루어지고 있다. 특별히 종단간 연결성이 보장되지 않고 각 노드들의 이웃 노드들이 동적으로 변하는 상황에서의 라우팅 기법에 대한 연구는 가장 폭넓게 이루어지는 연구 분야 중의 하나이다. 이미 DTN과 비슷한 환경의 모바일 애드혹 네트워크나 센서 네트워크 또는 차량 네트워크 등의 연구분야에서 다양한 라우팅 프로토콜들[4-6]이 제안되어 있다. 뿐만 아니라 위에서 언급한 다른 네트워크와는 다른 DTN 고유의 특성에 적합한 라우팅 프로토콜에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다[7-11].

하지만 모바일 애드혹 네트워크나 센서 네트워크와 같은 기존의 통신 프로토콜들은 DTN 고유의 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다. 또한 DTN을 위해 고안된 라우팅 프로토콜들도 Random Mobility 등과 같은 현실적이지 않은 가정을 기반으로 하여 실제의 상황에서 효율성이 떨어지는 문제점이 있다. 본 고에서 제시하고자 하는 라우팅 프로토콜은 DTN의 특성을 반영하여,

종단간 연결성이 보장되지 않을 경우 store and forward 방식으로 동작하고 현재 자신과 접촉이 있는 노드에게 우선적으로 메시지를 전달하는 방식을 취하도록 하였다. 동시에 각 호스트의 이동성 정보, 즉 이동하는 노드 사이의 상대적인 방향각 차이, 노드의 목적지 정보, 그리고 이 두 가지 정보 모두와 노드의 상대적 속도 차이를 함께 고려한 값을 바탕으로 하여 기존 DTN 라우팅 프로토콜의 효율성을 향상시킬 수 있는 프로토콜을 제안하였다.

## 2. DTN에서 사용 가능한 라우팅 프로토콜

DTN에서의 지연은 전달 매체 자체의 특성이나 불안정성, 혹은 호스트의 이동성에 의해 발생한다. 따라서 이러한 지연을 발생시키는 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 차량 네트워크 등의 기존 네트워크에도 넓은 의미에서 DTN의 개념이 적용될 수 있다. 특별히 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 차량 네트워크를 대상으로 하는 많은 라우팅 기법들이 이미 연구되고 있다. 또한 DTN을 대상으로 하는 라우팅 기법들에 대해서도 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 지금부터 각각의 네트워크 기술들을 대상으로 하는 라우팅 기법의 종류와 장단점에 대해 간단히 설명하도록 한다.

### 2.1 무선 통신 네트워크의 라우팅 프로토콜

모바일 애드혹 네트워크의 경우 다양한 응용과 요구 사항에 따른 많은 reactive 방식의 라우팅 프로토콜들이 연구되어 있다. 대표적인 라우팅 프로토콜인 AODV[5]의 경우 호스트의 이동성에 따라 이웃 노드들이 동적으로 변화하는 상황에서도 단대단 연결성을 보장하고 이를 통하여 메시지를 전송한다. 또한 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜로서 제안된 Directed Diffusion[6]의 경우에도 불안정한 연결성을 고려하여 전달받을 메시지가 있을 경우 그 시점에서 가장 좋은 경로를 동적으로 설정하여 메시지를 전달하는 방식을 취한다. 하지만 이러한 라우팅 기법의 경우 노드의 큰 이동성으로 인해 종단간 연결성이 항상 보장되지 않으면, 즉 잠시라도 종단간 연결성이 끊어지게 되면 매우 빈약한 성능을 보인다[12]. 또한 매체 상태가 불안정하거나 낮은 노드의 밀도로 인해 한 번 끊어진 종단간 연결성이 쉽게 수복되지 않는 경우에도 정상적인 동작을 보장하지 않는다. 차량 네트워크를 위해 제안된 대부분의 라우팅 프로토콜도 위에서 언급한 바와 비슷한 문제점을 갖는다. 하지만 DTN의 store & forward 개념을 받아들여 차량의 밀도가 작아 당장 전달할 이웃 차량이 없는 경우 메시지를 저장했다가 나중에 전달하는 접근 방식을 취하는 연구도 발표되었다[13]. 그러나 이러한 기법의 경우

도로의 레이아웃과 교통 트래픽 패턴을 이용하여 정해진 장소에 메시지를 전달하는 것으로 호스트 간 전송을 목적으로 하는 본 연구와는 목적이 다르다.

## 2.2 기존 DTN 라우팅 프로토콜

기존에 연구된 DTN 라우팅 기법은 각 노드의 이동성 유무와 라우팅을 할 때 이용할 수 있는 정보에 따라 몇 가지로 분류될 수 있다. 이동성이 없는 상황을 가정한 경우 각 노드는 움직이지 않고 각 노드들 간의 연결성이 시간에 따라 변하는 상황을 대상으로 한다. 이러한 경우 특정 시간에서의 특정 링크의 연결성 정보나 데이터 전송률 같은 정보를 알 수 있는 상황에서의 oracle-based 라우팅 기법[8]과 그러한 정보를 알 수 없는 상황에서의 라우팅 기법[9]에 대한 연구가 이루어져 있다. 본 고에서는 이동성이 있는 상황에서의 라우팅 기법에 대해 다루고 있으므로 이러한 기법들은 우리의 기법들과는 목표가 다르다.

각 노드의 이동성이 있는 상황에서는 지하철처럼 이동하는 노드의 방향이나 시간, 속도 등이 예측 가능한지[8,9], 아니면 정확히 알 수는 없지만 어느 정도의 경향성을 가지고 있는지[11], 혹은 완전하게 랜덤한 이동성을 갖는지[7,10]에 따라 각 경우의 라우팅 기법들이 연구되고 있다.

이 중 Epidemic 라우팅[7], spray & wait[10], Prophet[11] 등의 기법은 정해지지 않은 경로를 따라 움직이는 이동 노드들 사이의 DTN 라우팅이라는 점에서 본 고에서 제시하고 있는 기법과 유사한 점이 있다. 하지만 Epidemic 라우팅의 경우 만나는 노드들끼리 자신이 가지고 있는 메시지의 인덱스를 교환하여 서로 가지고 있지 않은 메시지를 상호교환 하는 방식을 취한다. 따라서 궁극적으로는 모든 노드들이 네트워크에서 전달되고 있는 모든 메시지를 가지고 있게 되므로, 매우 비효율적이다. 이를 보완하기 위하여 spray & wait에서는 인덱스 교환을 통한 플래딩 방식을 기반으로 하지만 각각의 패킷이 전달될 수 있는 한도를 설정함으로써 네트워크에 필요 이상의 메시지가 전송되는 것을 방지한다. 또한 Prophet의 경우 노드들의 접촉 정보를 유지하고 이를 통해 메시지가 목적지에 전달될 가능성이 자신보다 큰 노드에게만 메시지를 전달함으로써 무분별한 전달 횟수를 줄인다. 이러한 기법들은 본 고의 연구와 비슷하게 이동성을 가진 노드들 사이의 메시지 전달을 목표로 하고 있다. 이러한 기법들이 랜덤한 이동성을 가진 노드들 사이에서 어느 정도의 메시지 전달 성공률을 보장하고 있지만, 단일 호스트와 호스트 사이의 메시지 전달의 경우에서 있어서 전송 확률이나 오버헤드 측면에서 여전히 비효율적이다.

## 3. 호스트의 이동성 정보를 이용한 라우팅 프로토콜

DTN이 실제로 사용될 수 있는 응용 및 환경은 위성 통신, 환경 모니터링 등 다양할 수 있다. 그 중에서도 DTN은 기존 네트워크의 인프라가 충분히 갖춰지지 않았거나 정상적으로 동작하지 않는 환경에서의 메시지 전달을 위한 기술로서 사용되기에 적합하다. 이미 충분한 인프라가 갖춰져 있는 상황에서는 동일한 목표를 달성하기 위한 많은 대안 기술들이 존재하기 때문이다. 본 고에서는 특별히 이러한 가정을 바탕으로 그림 1과 같이 두 개의 지역 사이를 오가는 이동 노드의 경우 이동 방향과 목적지 정보가 상대적으로 긴 시간 동안 유지될 수 있는 상황을 가정한다. 본 고에서 제시하는 기법은 기본적으로 epidemic routing이나 spray & wait, prophet과 같은 플래딩 기반의 메시지 전달 방식을 채택하고 있다. 이러한 기존의 기법들이 대부분 노드의 랜덤한 이동성을 가정하고 있지만 실제로 대부분의 이동은 그 목적을 가지고 있으므로 어느 정도의 방향성과 목적지 정보를 가지고 있다. 따라서 각각의 노드가 GPS나 Navigator 시스템을 가지고 있어서 이러한 정보를 얻을 수 있다면 얻어진 정보를 기반으로 메시지의 전달 성공률, 지연 시간, 네트워크 상에서 전달되는 동일 메시지의 수(오버헤드)의 측면에서 향상된 결과를 보일 수 있다고 본다. 기존의 Spray & Wait 기법에서는 각각의 메시지가 전달될 수 있는 횟수가 정해져 있다. 예를 들어, 임의의 노드 A가 임의의 노드 B를 만나면 서로 자신이 가지고 있는 메시지의 인덱스를 비교한다. 그리고 서로 가지고 있지 않은 메시지를 교환하기 전에 자신이 가진 메시지가 전달될 수 있는 횟수(L값)를 확인한다. 만약 더 이상의 전달이 불가능하다면(L=1) 해당 메시지를 전달하지 않고 전달이 가능하다면 그 메시지가 전달될 수 있는 횟수를 두 개의 노드가 서로 나누어 갖는다. 이 때 전달할 수 있는 횟수를 반씩(floor(2/L)) 나누어 갖는지 아니면 메시지의 전달 권한을 주지 않고 자신이 가지고 있는 해당 메시지의 전달 권한을 1만큼 감소시킬지(노드 A의 L값: L-1, 노드 B의 L값: 1)는 정책에

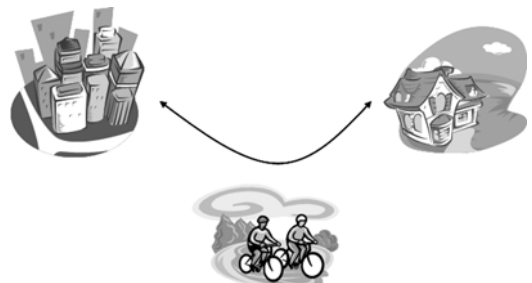


그림 1 DTN 응용 시나리오

따라 다르다. 만약 후자의 방식을 취한다면 결국 메시지의 소스 노드만이 만나는 노드들에게 메시지를 전달하는 방식이 될 것이다.

이러한 기법이 네트워크 상에서 무분별하게 전달되는 메시지의 개수를 줄일 수는 있지만 자신이 처음 만나는 노드에게 무조건 메시지와 L값을 전달하게 되므로 어떤 노드에게 얼마만큼의 L값을 전달해 줄 것인지에 대한 결정이 효율적이지 않다. 따라서 본 고에서 제시하는 기법에서는 이러한 L값의 분배 시 각 노드의 이동성 정보를 고려하여 성능 향상을 도모한다.

**3.1 방향 정보 기반 프로토콜**

본 기법에서는 L값의 분배 시 각 노드의 이동 방향을 참고하여, 서로 다른 방향으로 가는 노드에게 보다 많은 L값을 나눠주도록 한다. 이동 중인 임의의 노드가 다른 노드를 만났을 경우의 다음과 같이 동작한다.

- 상호 가지고 있는 메시지의 종류 및 노드의 이동방향 정보를 교환한다.
- 교환할 노드가 있을 경우 서로의 이동 방향을 비교하여 F<sub>Direction</sub>() 값에 따라 L값을 교환한다.

위에서 언급한 F<sub>Direction</sub>() 값은 그림 2와 같은 방식을 따라 다음과 같이 정의된다.

$$F_{Direction}(L,angle)=L*angle/180^{\circ} \quad (0^{\circ}\leq angle<90^{\circ})$$

$$F_{Direction}(L,angle)=-L*angle/180^{\circ} \quad (-90^{\circ}\leq angle<0^{\circ})$$

$$F_{Direction}(L,angle)=L/2 \quad (90^{\circ}\leq angle\leq 180^{\circ}, -90^{\circ}\leq angle\leq -180^{\circ})$$

여기서 L 값은 네트워크 상에서 메시지가 전달될 수 있는 최대 값이고 angle은 전송자와 수신자의 이동벡터 사이의 각도 차이이다. 따라서 서로 다른 방향으로 가는 노드에게 보다 큰 L값을 나눠주게 될 것이다.

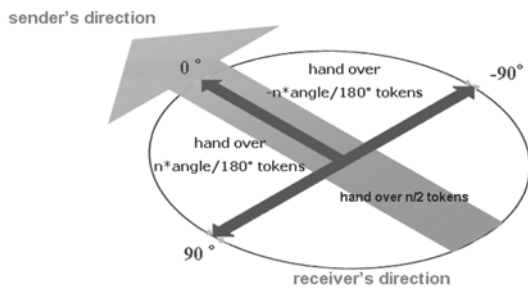


그림 2 방향정보 기반 라우팅 기법

**3.2 이동 목적지 정보 기반 라우팅 프로토콜**

본 기법에서는 L값의 분배 시 각 노드의 목적지 정보를 참고하여 L값을 분배한다. 즉 임의의 두 노드가 만났을 경우 그림 3과 같이 서로의 목적지 정보를 비교하여 목적지 사이의 거리가 상대적으로 먼 노드에게 많은 L값을 할당한다. 따라서 이동 중인 임의의 노드가 다른

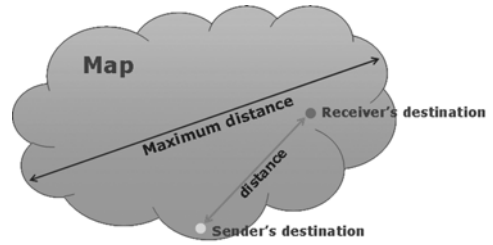


그림 3 목적지 정보 기반 라우팅 기법

노드를 만났을 경우의 다음과 같이 동작한다.

상호 가지고 있는 메시지의 종류 및 노드의 목적지 좌표를 교환한다.

교환할 노드가 있을 경우 서로의 이동 방향을 비교하여 F<sub>Dest</sub>() 값에 따라 L값을 교환한다.

위에서 언급한 F<sub>Dest</sub>() 값은 그림 3과 같은 방식을 따라 다음과 같이 정의된다.

$$F_{Dest}(L,x1,y1,x2,y2) = L*((x1-x2)^2+(y1-y2)^2)/D_{max}^2$$

여기서 L 값은 네트워크 상에서 메시지가 전달될 수 있는 최대 값이고, x1, y1 값은 전송자의 목적지의 2차원 좌표, x2, y2는 수신자의 목적지 좌표이다.

표 1 방향-목적지 정보 기반 라우팅 기법

Direction	Destination	Token Handover
similar	Close	None
similar	Far	A few
different	Close	A few
different	Far	n/2

**3.3 방향-목적지 정보 기반 라우팅 프로토콜**

향상을 위하여 우리는 위의 두 가지 기법을 결합한 기법을 제시하였다. L값의 분배는 표 1에서 보는 바와 같다. 즉 방향이 비슷하고 목적지 사이의 거리가 가까운 노드에게는 L값을 나눠주지 않고 방향이 비슷하고 목적지 사이의 거리가 멀거나 반대로 방향은 다르지만 목적지 사이의 거리가 가까운 경우에는 어느 정도의 L값을 나눠주며 방향도 다르고 목적지 사이의 거리도 먼 경우에 L 값을 가장 많이 나눠주도록 하였다. 또한 평균적인 속도에 비해 빠른 속도를 가진 노드가 보다 상대적으로 네트워크 전체에 메시지를 고르게 전달할 확률이 높으므로 속도가 빠른 노드에 가중치를 주었다. 임의의 두 노드가 만났을 경우의 동작은 다음과 같다.

- 상호 가지고 있는 메시지의 종류, 노드의 이동 방향 정보 및 노드의 목적지 좌표를 교환한다.
- 교환할 노드가 있을 경우 교환한 상대 이동성 정보를 바탕으로 계산된 F<sub>Hybrid</sub>() 값에 따라 L값을 교환한다. 위에서 언급한 F<sub>Hybrid</sub>() 값은 다음과 같은 방식을 따

라 다음과 같이 정의된다.

$$F_{Hybrid}() = C * F_{Direction}(l, angle) * F_{Dest}(1, x1, y1, x2, y2) * S_{Diff}$$

여기서 C값은 한 번에 다른 노드에게 건네줄 수 있는 L의 최대값으로 실험에서는 2/L로 고정하였다. S<sub>Diff</sub> 값은 서로 통신 중인 두 노드의 속도 차이에 따른 가중치로 [0,1] 사이의 값을 갖는다.

### 4. 성능 평가

본 실험은 핀란드 헬싱키 대학에서 개발한 DTN 전용 시뮬레이터인 The Opportunistic Network Environment Simulator (The ONE)을 사용하여 진행하였다.

실험에서는 크게 3가지 측정 결과를 비교하였다. 첫 번째는 소스에서 전송된 전체 메시지의 몇 %가 목적지까지 도달하였는지를 알아보는 전송확률이고 두 번째는 이렇게 전송된 메시지가 평균적으로 도착하는 데까지 걸리는 지연 시간이다. 마지막으로 실제목적지에 전송하기 위해서 네트워크 상에서 불필요하게 전송된 횟수를 계산한 오버헤드 비율이다. 표 2는 그림 4~8의 실험을 위한 환경 설정 값이다. 이 번 실험에서의 이동성 모델은 시뮬레이터에서 지원하는 것으로, 헬싱키의 실제 도로 레이아웃이 적용된 지도를 기반으로 움직이는 모델이 사용되었다.

그림 4~6의 실험 결과는 Epidemic Routing, Spray & Wait, Prophet과 우리의 이동성 정보에 기반한 방식을 전송확률과 평균 지연시간, 오버헤드 비율 측면에서 비교한 것이다. Spray & Wait 기법과 큰 차이가 나지는 않지만 전체적으로 우리의 전송확률은 Spray & Wait보다 높고, Delay는 작으면서 오버헤드 비율은 크게 차이가 나지 않는 경향을 띄었다. 이렇게 큰 차이가 나지 않는 이유는 다음의 실험 결과를 통해 그 원인을 유추할 수 있다.

표 2 실험 환경

Area size (m)	4500 × 3400
Number of nodes	126, 189, 252
Transmission range (m)	10
Speed (m/s)	1.5~3, 5~7.5, 10~15
Buffer size (MB)	5*, 50**
Movement model	*: Shortest Path Map Based Movement **: Map Route Movement

그림 7과 8은 실험 상의 노드 수와 노드의 속도를 변화시켜가면서 전송확률을 비교한 결과이다. 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 전체 노드의 수가 작을수록 본 고에서 제시한 이동성 정보에 기반한 기법이 높은 전송확률을 나타내는 것을 볼 수 있다. 하지만 노드의 수가

많을수록 그 차이가 줄어들고 있는데, 이는 실험환경이 랜덤화되면서 결국 플러딩에 기반한 방식과 같은 결과로 수렴하는 것으로 볼 수 있다. 또한 그림 8에서도 실험에 참여한 노드의 속도가 작을수록 우리의 실험 결과가 좋은 성능을 보이게 된다. 그 이유는 실험 시나리오상 각각의 노드가 랜덤하게 정해진 목적지에 도착한 이후 또 다른 목적지를 랜덤하게 정하여 이동하는 것을 반복하는 것에 기인한다. 즉, 평균적인 노드의 속도가 빠르면 이러한 횟수가 많아짐에 따라 실험환경이 랜덤화되기 때문에 일반 플러딩 방식의 기법과 비슷한 결과를 보이게 되는 것이다.

마지막으로 그림 9는 방향 정보 및 목적지 정보를 결합한 하이브리드 기법의 성능을 Spray & Wait과 비교

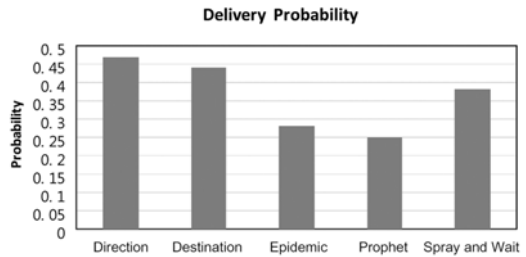


그림 4 각 기법에 따른 전송 확률

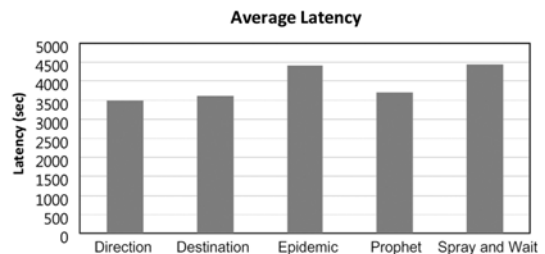


그림 5 각 기법에 따른 평균 전송 지연 시간

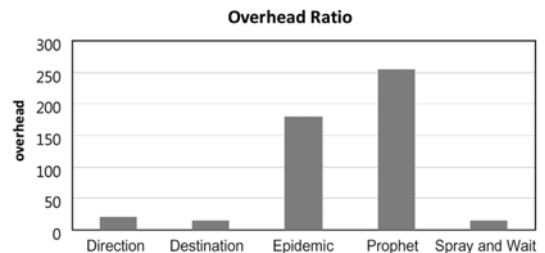


그림 6 각 기법에 따른 전송 오버헤드((# of Relayed packets - # of Delivered packets)/# of Relayed packets)

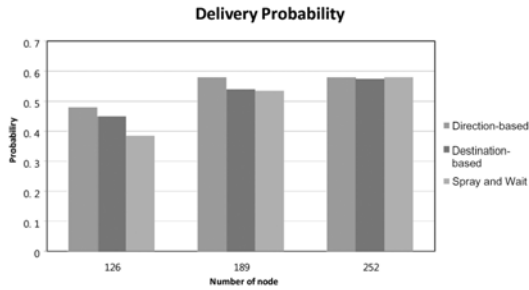


그림 7 노드 수 설정에 따른 전송 확률 변화

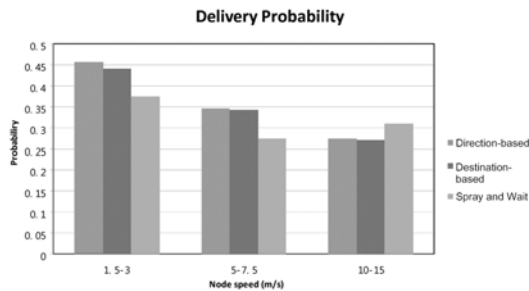


그림 8 노드의 이동 속도 설정에 따른 전송확률 변화

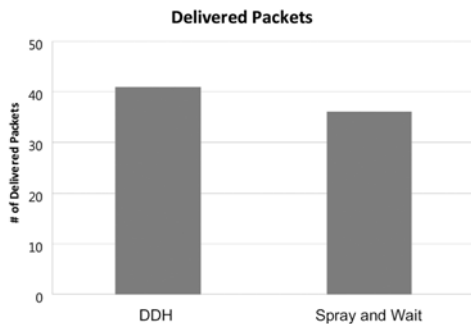


그림 9 각 기법에 따른 전송 성능 비교(1000개의 메시지 전송 오버헤드가 발생할 때 전송 성공된 메시지의 수)

한 결과이다. 이 실험에서는 100개의 이동 노드와 10개의 정지된 노드가 존재하도록 하고 각 노드의 이동 속도는 0~18m/s 사이에서 랜덤하게 결정되도록 하였다. 또한 이동성 모델은 랜덤 이동성 모델을 사용하였다.

실험 결과에서  $\gamma$ 축은 전송확률과 오버헤드 비율을 모두 비교할 수 있도록 메시지 1000개의 오버헤드가 발생할 때 전송 성공된 메시지의 수를 비교한 것이다. 방향 정보 및 목적지 정보를 결합한 하이브리드 기법의 성능을 Spray & Wait과 비교한 결과 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Spray & Wait 기법에 비해 18% 많은 메시지가 전송에 성공한 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 고에서는 이동하고 있는 노드의 방향과 목적지 정보를 사용하여 각각의 노드가 전송할 수 있는 메시지 개수를 적절히 조절함으로써 단순한 플러딩 기반의 Epidemic 라우팅이나, 특별히 정해진 경로로 이동을 반복하는 노드들이 존재할 때 유리한 Prophet에 비해 높은 전송 성공률과 작은 지연시간 그리고 작은 오버헤드 비율을 달성하였다. 뿐만 아니라 단순하게 전체 전달되는 메시지의 수를 조절하는 Spray & Wait에 비해서도 영리한 메시지 수 조절을 통해 전송확률 측면에서 좋은 결과를 보여주었다. 하지만 전체적으로 그 결과의 차이가 처음 예상했던 것보다 크지 않았는데, 이는 실험 시각 이동 노드들의 움직임이 시간이 흐를수록 랜덤화되면서 단순한 플러딩 기반의 기법에 유리해지기 때문으로 판단된다. 하지만 실제로 DTN이 사용될 수 있는 상황을 고려할 때 이동 노드들은 실제로 그렇게 랜덤하게 움직이지는 않을 것으로 예측된다. 따라서 앞으로 실제 DTN이 사용될 수 있는 상황을 보다 구체적으로 모델링하여 이에 적합한 이동성 정보에 기반한 알고리즘을 고안한다면 단순히 랜덤한 이동성을 가정한 기존의 기법들보다 더 좋은 성능을 달성할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

- [1] Delay tolerant networking research group <http://www.dtnrg.org>
- [2] S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, K. Fall, V. Cerf, B. Durst, and K. Scott. Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet. IEEE Communications Magazine, 41:128-136, 2003.
- [3] Luciana Pelusi, Andrea Passarella, and Marco Conti. Opportunistic Networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks. IEEE Communications Magazine issue on "Ad hoc and Sensor Networks," Vol.44, No.11, November 2006.
- [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch. Ad hoc networking, chapter 5 - DSR: the dynamic source routing protocol for multihop wireless ad hoc networks. Addison-Wesley, 2001.
- [5] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. R. Das. Ad-hoc on-demand distance vector routing. IETF MANET DRAFT, 2002.
- [6] C. Intanagonwisat, R. Govindan, and D. Estrin. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication. In Proceedings of ACM MobileCom'00, August 2000.
- [7] A. Vahdat and D. Becker. Epidemic Routing for Partially-connected Ad hoc Networks. Technical Report CS-2000-06, Duke University, July 2000.
- [8] Sushant Jain, Kevin Fall, Rabin Patra. Routing in

a Delay Tolerant Network. SIGCOMM 2004.

- [9] Evan P. C. Jones, Lily Li, Paul A. S. Ward. Practical Routing in Delay-Tolerant Networks. WDTN 2005.
- [10] Thrasyvoulos Spyropoulos, Konstantinos Psounis, Cauligi S. Raghavendra. Spray and wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks. SIGCOMM 2005.
- [11] Tara Small et al. Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks. SIGCOMM'05 Workshops, August 2005.
- [12] N. Sadagopan, F. Bai, B. Krishnamachari, and A. Helmy. Paths: analysis of path duration statistics and their impact on reactive manet routing protocols. In Proc. of MobiHoc'03, pages 245-256, June 2003.
- [13] Jing Zhao, Guohong Cao. VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks. In Proceedings of INFOCOM'2006.



장 덕 현

2004년 8월 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업. 2004년 9월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박통합과정. 관심분야는 무선센서네트워크, 무선 에드혹 네트워크, DTN



심 윤 보

2004년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업. 2008년 8월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사. 2008년 9월~현재 한국전력. 관심분야는 무선센서 네트워크, DTN



김 길 수

2003년 3월 육군사관학교 전산학과 졸업. 2008년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사. 2008년 3월~현재 대한민국 육군대위. 관심분야는 무선센서네트워크, DTN



최 낙 중

2002년 2월 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업. 2004년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사. 2004년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정. 관심분야는 무선 메시 네트워크, 무선랜, 이기종 망의 연동, DTN



류 지 호

2005년 2월 KAIST(한국 과학 기술원) 컴퓨터 공학과 졸업. 2005년 3월~현재 서울대학교 대학원 컴퓨터공학부 박사과정. 관심분야는 무선 메시 네트워크, 무선랜, QoS, DTN



권 태 경

1993년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업. 1995년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사. 2000년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사. 2002년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 무선센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅



최 양 희

1975년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업. 1977년 2월 한국과학기술원 석사. 1984년 2월 프랑스 ENST 전산학 박사. 1991년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 미래 인터넷, 멀티미디어 통신