

# 도시 환경에서 지역적 주기성을 이용한 DTN 라우팅 기법

정회원 정재성\*, 이경한\*\*, 이주현\*, 정송\*

## DTN Routing Method using Spatial Regularity in Urban Area

Jaeseong Jeong\*, Kyunghan Lee\*\*, Joohyun Lee\*, Song Chong\* *Regular Members*

### 요약

Delay/Disruption Tolerant Network (DTN) 은 엔드-투-엔드 연결이 없더라도 중간 노드들의 이동성과 저장공간을 활용하여 궁극적으로 데이터를 전달시켜 주는 네트워크 패러다임으로써 장시간 전송을 요하는 고용량 데이터 전송 또는 높은 이동성의 무선통신, 행성간 통신 같은 불안정한 망 연결에 적합하다. 본 논문에서는 노드의 지역적 주기성을 이용하는 새로운 DTN 라우팅 기법을 제안한다. 각각의 노드가 주기적으로 방문하는 고유의 영역을 가지는 성질을 지역적 주기성이라 정의하고 실제 상하이 4000대의 택시 데이터를 분석하여 이를 실험적으로 입증한다. 또한 각 차량 고유의 지역적 주기성을 대표하는 값으로써 Weighted Center (WC) 의 개념을 소개한다. 도시 환경에서 곳곳에 고르게 분포되어 있는 Access Point (AP) 들을 통해 차량들이 자신이 속한 그리드의 정보를 얻고 이를 통해 자신의 WC를 계산할 때, 자신과 주변 차량들의 WC정보만을 이용해 메시지의 경로를 결정하는 분산화된 Diff WC라우팅 기법을 제안한다. 신뢰도 높은 데이터를 제공하는 1486대의 상하이 택시 환경에서의 시뮬레이션을 통해 ECT,LET<sup>[1]</sup> 등의 기존 DTN 라우팅 방식과 비교하여 10%~110%의 전달률 개선이 가능함을 검증한다.

**Key Words** : Delay/Disruption Tolerant Network, Regularity, Routing, weighted center

### ABSTRACT

The Delay/Disruption Tolerant Network (DTN) is a network designed to operate effectively using the mobility and storage of intermediate nodes under no end-to-end guaranteed network. This new network paradigm is well-suited for networks which have unstable path and long latencies (e.g. interplanetary network, vehicular network). In this paper, we first found that each taxi has its own regularly visiting area and define this property as spatial regularity. We analyze 4000 taxi trace data in Shanghai and show the existence of spatial regularity experimentally. Based on a spatial regularity in urban environment, we present a new DTN routing method. We introduce a Weighted Center (WC) which represents spatial regularity of each node. Through the association with evenly distributed access points (APs) in urban environment, most of vehicles get their grid locations and calculate their WCs. Since our routing method only uses neighbors' WCs for building routing paths, it can be regarded as distributed and practical protocols. Our experiments involving realistic network scenarios created by the traces of about 1500 Shanghai taxis show that our routing method achieves the higher performance compared to ECT,LET<sup>[1]</sup> by 10%~110%.

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2011-(C1090-1111-0004))

\* KAIST 전기 및 전자공학과 네트워크시스템 연구실({jsjung,jhlee}@netsys.kaist.ac.kr, songchong@kaist.edu)

\*\* North Carolina State University 전산학과 (khanax.lee@gmail.com)

논문번호 : #KICS2010-06-263, 접수일자 : 2011년 6월 10일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 8일

## I. 서 론

현재의 유,무선 네트워크는 다양한 시대적 변화로 인해 다시 한번 변화의 기로에 서있다. 사용자들이 무선 데이터 패킷의 송,수신에 대한 비용적 거부감을 점점 줄여 나가고 있고, 스마트폰, 네비게이션, mp3 등의 휴대용 기기들의 성능이 급격히 향상됨으로 인해 휴대용 기기를 통한 통신에 대한 수요가 급증하고 있다. 지금까지 유,무선 네트워크 환경하에서의 연구들은 케이블,셀룰러망 등을 통한 노드들 사이의 안정적인 연결을 전제하고 그 연결된 자원들을 효율적으로 사용하는 방안에 초점을 맞추는 것이 대부분이었다. 하지만 휴대용 기기를 통한 무선 네트워크 사용이 활성화되고 보편화 됨에 따라 사용자들의 이동성을 고려하는 것이 필수적 연구 전제조건이 되어가고 있다. 이동성을 고려한다는 것은 노드들간의 연결이 일시적으로 생성,소멸을 반복하기 때문에 노드들 사이의 안정적인 연결을 전제하지 못함을 의미한다. 따라서 노드들이 이동성을 가질 때 노드들 사이의 연결을 보장하지 못하는 네트워크 상황에서 데이터 패킷을 전달하는 방식, 효율성에 대한 연구가 꼭 필요한 실정이다.

Delay/Disruption Tolerant Network (DTN)은 네트워크 연결이 불안정 하고 딜레이가 매우 큰 상황에서도 효과적으로 동작할 수 있도록 디자인 된 네트워크를 의미한다. 노드들의 이동성으로 인해 연결이 보장되지 못하는 등의 다양한 문제 상황에 적용될 수 있는 효과적인 해결책 중 하나이다. 기존의 일반적인 internet, ad-hoc 네트워크에서 다양한 이유로 인해 목적지로의 링크 경로가 없어 졌을 때 패킷은 목적지까지 전달되지 못하고 소멸된다. 반면에 DTN에서는 비록 보낼 링크가 존재하지 않더라도 해당 노드가 패킷을 가지고 이동하여 전달하는 옵션이 추가 됨으로써 기존의 유,무선 링크가 없어지더라도 패킷 전달이 가능하게 된다. 하지만 이러한 DTN적 전송을 하기 위해서는 노드가 직접 패킷을 전송해야 하기 때문에 기존의 네트워크에 비해 매우 큰 전송 지연이 발생하게 된다. 즉 DTN은 기존의 네트워크가 가지는 한계점을 극복할 수 있는 장점을 가지고 있지만 전송 지연이 허용 될 수 있는 응용상황에서만 쓰일 수 있다는 단점을 가지고 있다. 그 예로는 항성간 통신, 매우 과부화된 무선통신망에서의 전송, 차량간 무선 통신망 등이 있다.

2000년에 Gupta와 Kumar<sup>[9]</sup>는 무선 멀티홉 네트워크에서의 전송률은  $O(1/\sqrt{(n \log(n))})$ 으로 스케일 다운 된다는 결과를 발표하였다. 여기서 n은 네트워크 전체의 노드 수이고 네트워크의 노드가 많아질 수록

전송률은 떨어진다는 것을 의미한다. 하지만 2002년에 Grossglauser 와 Tse<sup>[10]</sup>가 DTN적인 메시지전달을 한다면 전송률은 노드의 수 n에 상관없이  $O(1)$ 로 유지 된다는 결과를 발표하였다. 이러한 기존 연구결과를 통해 DTN은 전송률 향상 측면에서도 기존의 ad-hoc 네트워크 또는 mesh network의 보완책으로 고려되고 있다.

본 연구는 도시 환경에서 차량 간 데이터를 전달할 때 데이터전송의 지연을 허용함으로써 차량들의 이동성을 이용한 Delay/Disruption Tolerant Network (DTN)을 형성하고 이를 통해 메시지를 전송하는 새로운 라우팅 기법을 찾는 연구를 진행한다. 차량의 시간적 주기성, 지역적 주기성을 실제 택시 GPS자료에 기반하여 입증하고 이를 바탕으로 DTN 라우팅 기법을 새로 제안한다. 그리고 제안하는 DTN라우팅 기법이 여타 DTN라우팅기법들에 비해 오버헤드, 딜레이, 전달률 등 모든 측면에서 높은 성능을 보이는 것을 실제 상하이 택시 이동 현황을 통해 검증한다. 도시 환경의 차량 DTN은 도로변의 광고판에 멀티미디어 파일을 전송하거나 도로 곳곳의 카메라 영상을 중앙 서버로 전송하는 것 등의 전송의 지연이 허용되는 다양한 어플리케이션에 저비용으로 적용될 수 있다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2단원에서는 기존에 제안되었던 DTN 라우팅 기법들에 대해 소개하고 본 논문과의 연관성을 밝힌다. 3단원에서는 앞서 소개한 시간적, 지역적 주기성에 대해 설명하고 실제 데이터를 통해 차량들이 그러한 성질을 가지고 있음을 입증한다. 4단원에서는 주기성을 바탕으로 동작하는 새로운 DTN 라우팅 기법을 제안하고 그 동작을 상세히 설명한다. 끝으로 5단원에서는 1500대의 택시를 이용하여 제안한 DTN라우팅 기법의 성능을 실험적으로 검증한다.

## II. 기존방식

노드의 이동성을 이용하여 네트워크를 형성하는 DTN의 다양한 연구들은 대부분 epidemic routing<sup>[2]</sup>에 기반 한다. 만나는 모든 노드들에게 메시지를 전달함으로써 네트워크 전체에 메시지를 퍼뜨리는 방식이다. 비록 epidemic routing이 최적의 메시지 전달 경로를 찾을 수 있다고 하지만 쓸모없는 패킷들을 계속 전송하고 저장함으로써 생기는 버퍼 메모리와 파워소모 등의 비용이 비현실적으로 크다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 각 노드의 다양한 특성을 발견하고 효율적으로 이용한 DTN라우팅 기법들이 많이

제시되었다<sup>[1,3,7,8]</sup>. Random Walk에서 노드의 예상 전송 시간은 목적지를 만난 후부터 현재까지 걸린 시간으로 정의되고 이를 이용하여 예상 전송 시간이 낮은 노드에게 데이터를 전달하는 Last Encountered Time (LET)<sup>[1,3]</sup> 기법이 널리 알려져 있다. 또한 노드와 노드가 만나는 시간간격(inter-contact time)의 확률분포가 멱함수를 따른다는 사실을 이용해서 그 기대값에서 LET를 뺀 값을 노드의 예상 전송 시간으로 정의하는 Expected Contact Time (ECT)<sup>[1]</sup> 라우팅 기법이 있다. Bubble Rap<sup>[7]</sup> 은 인간의 사회적 주기성을 실험 데이터를 통해 입증하고 이를 이용해 높은 성능의 DTN 라우팅 기법을 제안하였다. 본 논문에서는 사회적 주기성이 아닌 시간적, 지역적 주기성을 새로 찾아내어 입증하고 이를 이용한 새로운 라우팅 기법을 제안한다.

### III. 주기성

본 단원에서는 주기성을 시간적 주기성, 지역적 주기성으로 나누어 각각에 대해 살펴본다. 상하이 Jiaotong 대학의 Grid Computing Center<sup>[4]</sup> 에서 28일간 4063대의 택시에 대한 정보를 수집한 결과를 이용하여 시간적, 지역적 주기성을 입증하였다. 택시에 GPS를 장착하여 각 택시들이 자신의 위치정보를 20~30초 주기로 측정하도록 하였고 측정한 데이터를 GSM망을 이용하여 중앙 서버로 전달토록 하여 데이터를 수집하였다. 택시들의 주기성을 관측하기 위한 데이터 분석에서 다룬 상하이 지역은 다룰 수 있는 데이터 용량의 한계 때문에 그 크기를 15km×15km로 한정하였고 이를 가로 세로 500m단위의 그리드로 분할하여 총 900개의 그리드를 생성하였다.

#### 3.1 시간적 주기성 (temporal regularity)

시간적 주기성은 한 노드가 여러 그리드를 방문하는 패턴이 하루 단위로 반복되는 특성을 일컫는다. 한 노드가 하루에 꼭 한번 이상씩 방문하는 특정한 그리드가 존재함을 의미한다. 예를 들어 집이속한 그리드가 있을 때 그 집에서 사는 사람은 매일 그 집을 방문할 것이고 이는 곧 그가 해당 그리드에 대해 시간적 주기성을 가짐을 의미한다. 이는 프로토콜을 디자인 하는데 있어 매우 중요한 요소이다. 시간적 주기성에 근거하여 해당 프로토콜은 과거의 패턴의 주기성이 미래의 패턴에도 유지 될 것이라 예상 할 수 있고 이는 epidemic routing<sup>[2]</sup> 같은 랜덤성에 기반한 프로토콜 동작을 개선할 수 있는 중요한 요소로서 활용된다. 그림 1은 4063대의 택시 중 임의로 선택한 세대의 택시에 대한 시간적 주기성을 나타낸 그래프이다. 오른쪽 그림의 가로축은 일 수 이고 세로축은 해당 택시가 그리드에 속해 있는 횟수를 의미한다. 가로축의 각 일과 일 사이에는 해당 택시가 그 하루 동안에 모든 그리드에 대해 얼마 동안 존재하였는지에 대한 패턴을 표시하였다. 왼쪽 그래프는 이 패턴의 자기상관관계를 나타낸 것이다. 그래프에서 보면 자기 상관관계 그래프에서 1800 단위로 피크가 형성 되고 이는 즉 하루 단위로 같은 패턴이 반복됨을 의미한다. 즉 그림 1은 시간적 주기성이 임의로 선택된 세 택시 모두에게 명백히 존재함을 보인다.

#### 3.2 지역적 주기성 (spatial regularity)

지역적 주기성은 개인이 주기적으로 방문하는 특정 영역이 존재하는 것을 의미한다. 실제로 인간은 집이나 학교 같은 자주 방문하는 고유의 지역을 가지는데 SLAW<sup>[11]</sup>도 이를 가설로 설정하여 제시된 새로운 인간 이동성 모델이다. 이러한 특성을 이용한다면

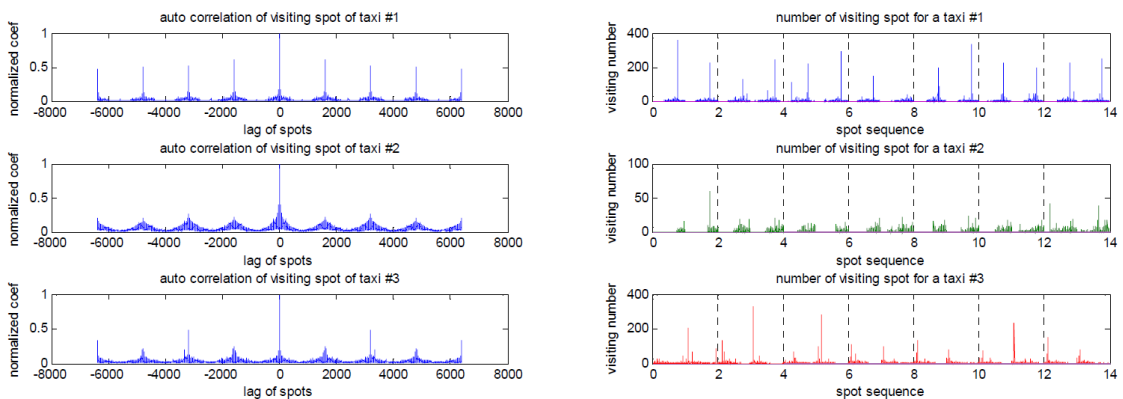


그림 1. 임의로 선택된 택시 3대에 대한 시간적 주기성

epidemic routing<sup>[2]</sup>이 가지는 비효율성을 효과적으로 해결할 수 있다. 예를 들어 목적지와 동떨어진 곳으로 메시지를 무의미하게 전달하는 것을 방지할 수 있다. 이에 본 논문에서는 상하이 택시 GPS 데이터 분석을 통해 택시들에게도 위와 같은 지역적 주기성이 존재하는 것을 우선 입증한다.

그림 2의 왼쪽 그래프는 4063대의 택시 중 임의로 선택된 2대의 택시에 대한 지역적 주기성을 보인다. 가로축은 일 수이고 세로축은 900개 그리드의 인덱스이다. 택시가 특정 그리드에 대해 하루에 3번 방문하였을 때 하늘색 점으로 표시하고 4번 방문하였을 때 검은색 점, 5번 이상 방문하였을 때 푸른색 점으로 표시하는 것을 14일간에 걸쳐 왼쪽 그래프에 나타내었고 각 그리드에 대한 총 누적 방문 수를 우측에 나타내었다. 오른쪽 그림은 실제 상하이 지도상에 해당 택시가 방문한 그리드를 점으로 표시 하였다. 방문 빈도 수 별로 색깔을 달리 하였고 3번 이상 방문한 그리드만을 점으로 표시하였다. 이 그림에서는 각 택시들이 방문하는 그리드들이 상하이 특정지역에 모여서 분포하는 것을 쉽게 확인할 수 있다. 이는 곧 각 택시들이 자주 방문하는 고유의 지역이 있음을 의미한다. 여기서 지역은 500m단위의 그리드보다 스케일이 더 큰 공간적 단위를 일컫는다.

그림 2를 통해 두 대의 택시가 주기적으로 방문하는 그리드들의 집합이 다름을 알 수 있고 이는 곧 각

택시들이 매일 방문하는 장소를 그 택시 고유의 특성으로 간주 할 수 있음을 의미한다. 14일 중 10일간 하루에 네 번 이상 주기적으로 방문하는 것을 앞서 설명한 두 주기성의 기준치로 설정하였을 때 전체 4000대의 택시 중 80%의 택시가 이 기준치에 부합함을 확인하였다. 택시가 주기적으로 특정 지역을 방문하는 특성이 있다는 사실을 택시의 지역적 주기성(spatial regularity)이라 이름하고, 각 택시  $i$ 에 대해 지역적 주기성을 가지는 지역을 대표하는 좌표를 다음과 같이 정의한다.

$$X_{WC}^i = \frac{\sum_g v_{i,g} X_g}{\sum_g v_{i,g}}$$

$v_{i,g}$ 는 택시  $i$ 가 그리드  $g$ 에 방문한 횟수를 나타내는 수치이고  $X_g$ 는 그리드  $g$ 의 좌표벡터이다.  $X_{WC}^i$ 는 택시  $i$ 에 대한 weighted center 좌표 벡터이다. 그림 2에서는 Weighted Center (WC) 벡터를 인덱스화 하여 빨간색 점으로 표시하였다.

#### IV. 제안 방식

제안 방식은 지역적 주기성을 바탕으로 보다 효율

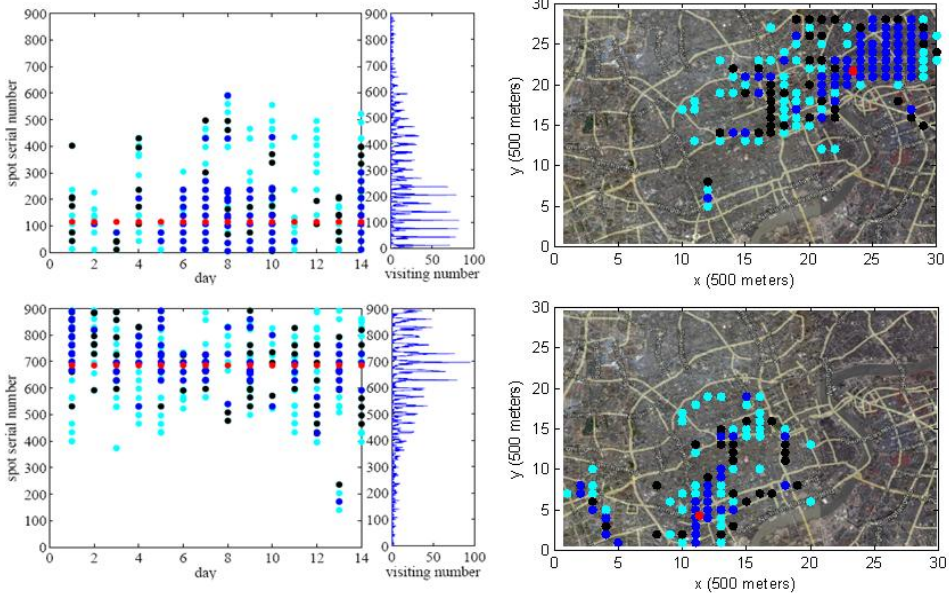


그림 2. 임의로 선택된 택시 2대에 대한 지역적 주기성



적이고 안정적인 메시지 전달을 할 수 있도록 하는 DTN 라우팅 기법이다. 각 그리드마다 와이파이 AP가 존재하여 모든 노드들은 AP와 통신하여 자신이 속한 그리드의 위치 기록을 통해 실시간으로 자주 방문하는 지역의 WC값을 계속해서 계산하고 업데이트 한다고 가정한다.

목적지로 전달되지 못한 메시지를 가지는 노드들은 메시지를 전달하기 위해 다음과 같은 DTN 라우팅 동작을 한다. 본 라우팅 동작의 주기는 주변 이웃 노드들의 변화를 충분히 감지할 수 있도록 설정되어야 한다. 예를 들어 차량 노드들의 움직임과 속도를 고려하였을 때 1초 주기는 주변 노드 및 노드의 토폴로지 변화가 크지 않기 때문에 많은 중복된 계산을 요하며 1시간 주기는 주변 노드 및 노드의 토폴로지 변화를 완벽히 감지할 수 없다. 본 논문에서는 주변노드들의 변화를 잘 반영할 수 있도록 30초를 라우팅 동작 주기로 설정하였다. 주기마다 수행되는 라우팅 동작은 다음과 같다.

- 1) 메시지를 가지는 노드들은 자신의 주변 차량들의 WC를 얻어온다. 각 차량들은 자신의 존재 유무와 WC정보를 담은 패킷을 브로드캐스팅 하고 모든 차량들은 주변차량들이 브로드캐스팅한 패킷들을 받음으로써 주변차량 존재 유무와 WC 정보들을 알게 된다.
- 2) 자신이 가지는 모든 메시지의 목적지에 대하여 자신과 주변 차량들의 WC와 목적지의 위치간의 거리를 구한다.
- 3) 모든 메시지에 대해 주변 차량의 WC와 메시지의 목적지간의 거리와 자신의 WC와 목적지간의 거리의 차를 구한 후 최대의 차를 가지는 메시지 및 주변차량을 구한다.
- 4) 만약 선택된 메시지와 주변차량에 대한 최대의 차가 0보다 큰 값이라면 해당 차량에게 해당 메시지를 전달한다. 0 또는 0보다 작은 값이면 자신의 WC와 목적지간의 거리가 가장 적기 때문에 메시지를 전달 하지 않고 메시지를 가지고 있는 WC와 목적지간의 거리라 함은 WC좌표와 목적지좌표간의 Euclidean distance를 의미한다. 이 값이 작다는 것이 의미하는 바는 해당 WC를 가지는 택시가 좀 더 목적지로 접근하려는 특성이 있고 더 오랜 시간 동안 목적지와 같은 영역을 공유하기 때문에 목적지를 만날 확률이 더 높다는 것을 의미한다. 모든 메시지와 주변 택시들에 대한 WC-목적지간의 거리와 자신의 WC-목적지간의 거리의 차가 최대인 메시지를 해당 주변택시에게 전달하는 것은 네트워크 전체 메시지의 전달 확률 최대화 문제를 분산적으로 풀기 위해서이다. 라우팅 주기 마다 계속해서 택시들은 메시지를 포워딩 해 줄 것이고 이는 곧 메시지들이 여러

번의 포워딩을 거쳐 결국 목적지 영역으로 접근하게 됨을 의미한다.

그림3은 실제 4000대의 상하이 택시들 위에서 제안하는 DTN 라우팅 기법 Diff WC가 동작하는 예시이다. 예시상의 3대의 택시들은 고유의 지역적 주기성을 가지는 영역을 가지고 그 영역은 파란색, 주황색, 녹색으로 표시된다. 파란색으로 대표되는 소스택시는 파란색으로 표시된 자신의 지역에서 주황색 택시를 만나고 주황색의 WC가 자신의 WC보다 목적지에 더 가깝기 때문에 메시지를 전달한다. 주황색 택시는 주황색으로 표시된 자신의 지역에서 다시 초록색 택시를 만나고 메시지를 전달한다. 초록색 택시는 자신이 주기적으로 방문하는 지역이 목적지와 매우 가깝기 때문에 높은 확률로 목적지를 만나 메시지를 전달한다. 목적지가 고정된 장소가 아니라 이동하는 택시일 경우에도 위 알고리즘은 비슷하게 적용된다. 검은색 택시가 목적 노드일 경우 검은색 택시의 WC를 목적지와 동일하게 간주 하고 diff WC 라우팅을 진행한다. 목적 노드의 WC로 대표되는 목적 노드가 주기적으로 방문하는 지역에 보다 가까운 WC를 가진 노드에게 메시지를 전달함으로써 전달 가능성을 높인다.

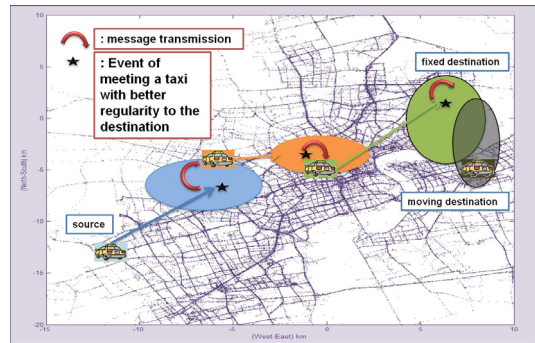


그림 3. DiffWC 라우팅 예시

## V. 시뮬레이션

상하이 4000대의 택시 중 30%이하의 GPS 데이터 손실률을 가지는 1486대의 택시를 선별하여 2006년 12월 18일부터 19일까지 2일간에 걸쳐 위 라우팅 프로토콜을 시뮬레이션 하였다. 각 택시는 와이파이 장비를 통해 애드혹 모드로 통신할 수 있다고 가정한다. 매 시간마다 200개의 메시지를 하루 동안 생성하고 각 메시지의 소스는 모든 택시 중에서, 목적지는 고정된 AP중에서 무작위로 선택하였다. 이러한 시나리오 환경구성은 택시들이 형성하는 차량 네트워크가 적용

될 수 있는 어플리케이션을 반영하기 위함이다. 예를 들면 택시 자신이 모니터할 블랙박스 영상파일 등을 WiFi AP를 통해 중앙 서버로 전송하거나 택시들이 광고 영상을 고정된 광고판에 업데이트 하는 등의 실제 시나리오들을 생각해 볼 수 있다. 상하이 같은 도시환경에서는 빌딩 등의 구조에 따라 와이파이의 전송거리가 제한되기 때문에 전송거리를 변화시켜 가며 성능을 테스트하였다. Less Distance (LD) 는 Diff WC와 동일하게 AP에 의해 현재의 지역정보를 알고 있다고 가정하였을 때 목적지로부터 더 가까운 AP에 현재 속해있는 택시에게 메시지를 전달하는 프로토콜로써 제한된 정보를 가지는 GPSR<sup>[5]</sup> 라우팅 방식과 유사한 기법이다.

그림 4는 하루 안에 목적지에 전달된 메시지의 전체 메시지에 대한 비율을 보이는 그래프이다. 제안된 Diff WC 라우팅이 LD를 제외한 여타 DTN 라우팅 기법들에 비해 100%이상의 높은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 AP를 통한 위치정보를 제한적으로 쓸 수 있고 택시의 지역적 주기성을 잘 활용하였기에 얻을 수 있는 이득이다. 위치정보를 사용하여 GPSR과 유사한 동작을 하는 LD의 경우 전송거리가 높아질수록 높은 성능을 보이는데 이는 전송거리가 길다면 멀티홉 전달수가 적어 전송 효율이 좋아지기 때문이다. 하지만 택시들의 밀도가 낮다면 즉 전송거리가 100미터일 경우 성능이 급격하게 떨어지는 치명적인 단점이 있다.

그림 5는 메시지의 딜레이에 대한 그래프이다. 딜레이 역시 전달율과 같이 전송거리가 증가할수록 높은 성능을 보인다. Diff WC는 LET,ECT에 비해 각각 약 60%,75%의 딜레이 감소효과를 보인다. 단 전달율 그래프와 마찬가지로 LD와 비교하였을 때 전송거리가 증가할수록 성능차이가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

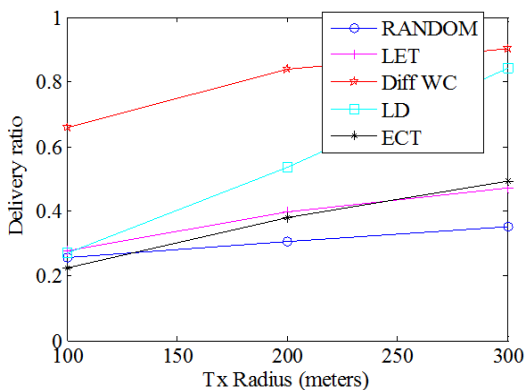


그림 4. 하루안에 전송된 메시지의 비율

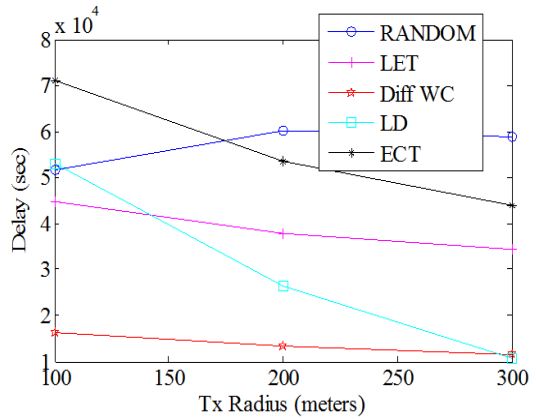


그림 5. 전송된 메시지의 딜레이

그림 6은 전달되는 동안 각 메시지 당 총 전달된 홉수의 평균을 나타낸 그래프이다. 제안된 라우팅 기법인 Diff WC의 오버헤드가 LD와 비교하였을 때 크게 작다는 것을 확인할 수 있다. 메시지의 전달된 평균 홉수를 나타내는 Transmission Overhead는 무선 자원의 사용과 택시들이 메시지를 지우지 않고 가지고 있을 때 버퍼메모리의 사용에 대한 직접적인 비용을 나타내는 지표로 활용된다. 이 결과를 통해 Diff WC가 성능과 비용면에서 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

그림 7은 임의로 선택한 네 개의 패킷에 대해 시간이 흐르면서 목적지와 떨어져 있는 거리가 어떻게 변하는지에 대해 보이는 그래프이다. 가로축은 처음 메시지가 할당된 후부터 진행된 시간이고 세로축은 해당 메시지를 가진 노드와 목적지 사이의 거리이다. 그림 7은 Diff WC의 퍼포먼스가 다른 프로토콜에 비해 우수한 성능을 내는 이유를 보여준다. 다른 프로토콜들은 목적지와와의 거리가 좁혀지지 않다가 어느 순간

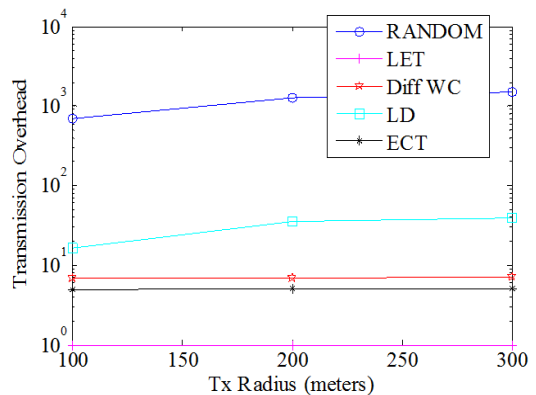


그림 6. 전송과정에서 메시지를 전달한 홉수

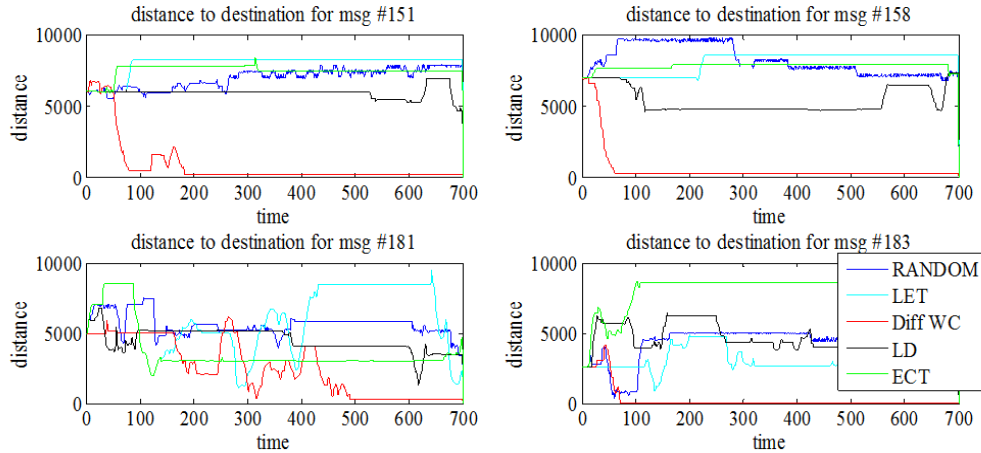


그림 7. 임의로 선택된 4개 메시지의 실험이 진행됨에 따른 목적지와 남은 거리

급격히 좁혀져서 메시지를 목적지에 전달하는 반면 Diff WC는 메시지가 지속적으로 목적지에 접근하려는 성질이 있음을 확인할 수 있다. 이는 곧 Diff WC가 4단원에서 설명하였듯이 메시지를 목적지 부근으로 접근(Diffusion) 시키려는 특성이 있음을 의미한다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 도시환경에서 다수의 차량이 애드혹 모드로 서로간에 통신을 할 때 DTN을 통해 메시지를 전달하는 라우팅 기법을 실제 상하이 택시 데이터에서 찾아낸 현상에 기반하여 제안하였다. 실제 4063대의 상하이 택시 데이터를 분석하여 지역적 주기성을 발견하였고 과거의 GPS정보 및 방문 기록들을 이용하는 것이 실제 프로토콜에 적용 가능함을 증명하였다. 지역적 주기성을 띄는 영역의 대표값으로써 weighted center를 정의하였고 이를 이용하는 분산화된 Diff WC 라우팅 기법을 제안하였다. 1486대의 택시들에 대해 Diff WC가 다른 DTN라우팅들에 비해 전달률과 무선자원, 메모리 비용 측면에서 성능이 뛰어난 것을 보였다. 지역적 주기성만 고려하는 것이 아닌 사회적 주기성<sup>[7]</sup> 등의 다양한 주기적 특성들을 발견하고 결합하여 라우팅 기법을 개발해 나가는 것이 앞으로 남겨진 과제이다.

## 참 고 문 헌

[1] K. Lee, S. Hong, S. Kim, I. Rhee, and S. Chong, "Slaw : A new human mobility model," in Proceedings of *IEEE INFOCOM*, 2009

[2] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks," technical Report, CS-200006, Duke University, April 2000.

[3] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. Raghavendra, "Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks," in Proceedings of *ACM SIGCOMM*, 2005.

[4] S. J. U. Traffic Information Grid Team, Grid Computing Center, "Shanghai taxi trace data," <http://wirelesslab.sjtu.edu.cn/>.

[5] H. T. K. Brad Karp, "GPSR : greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, 2000.

[6] Joohyun Lee, Kyunghan Lee, Jaesung Jung, and Song Chong, "Performance Evaluation of a DTN as a City-wide Infrastructure Network," 4th International Conference on Future Internet Technologies, 2009

[7] P. Hui, A. Chaintreau, J. Scott, R. Gass, J. Crowcroft, and C. Diot, "Bubble rap: Social-based forwarding in delay tolerant networks," in Proceedings of *ACM Mobihoc*, 2008.

[8] J. Leguay, T. Friedman, and V. Conan,

“Evaluating mobility pattern space routing for dtns,” in Proceedings of *IEEE INFOCOM*, 2006.

- [9] P. Gupta and P. R. Kumar, “The capacity of wireless networks,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 46, pp. 388 - 404, Mar. 2000.
- [10] M. Grossglauser and D. N. C. Tse. Mobility increases capacity of ad hoc wireless networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 10(4):477 - 486, 2002.

정재성 (Jaeseong Jeong)

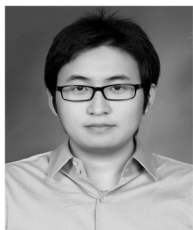
정회원



2008년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사  
 2010년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
 2010년 3월~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 인간 이동성 연구, 네트워크 최적화

이경한 (Kyunghan Lee)

정회원



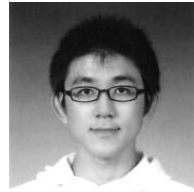
2002년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사  
 2004년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
 2009년 8월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
 2009년 8월~2010년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 Post-Doc

2010 3월~현재 North Carolina State University 전산학과 Post-Doc

<관심분야> 인간 이동성 연구, 모바일 컴퓨팅 및 네트워크, Context-aware 서비스

이주현 (Joohyun Lee)

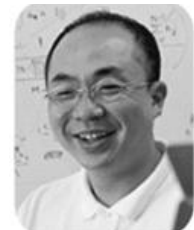
정회원



2008년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사  
 2008년 3월~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 석박통합과정  
 <관심분야> 인간 이동성 연구, 네트워크 최적화

정승 (Song Chong)

정회원



1988년 2월 서울대학교 제어계측공학과 학사  
 1990년 2월 서울대학교 제어계측공학과 석사  
 1995년 The University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터 공학과 박사

1996년~2000년 서강대학교 전기및전자공학과 교수

2000년~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 교수

<관심분야> 무선네트워크, 네트워크 최적화, 미래인터넷, 인간 이동성 연구