

주기적 이동 노드를 위한 Delay-Tolerant Network 라우팅 알고리즘

이영세*, 이고운*, 조항기*, 유인태**

요약

자연-허용 네트워크 (Delay-Tolerant Network; DTN)는 안정적인 통신 연결성이 보장되지 않는 네트워크 환경에서 전개할 수 있는 비대칭 네트워크 기술로써, 저장 공간에 수신한 데이터를 저장하고 통신 경로가 확보될 때 경우에만 데이터를 전송한다. DTN은 위성간의 통신을 지원하는 우주 통신 뿐만 아니라 센서 네트워크와 MANET (Mobile Ad-Hoc Network)에도 적용되고 있다. DTN 네트워크 환경에서는 오버헤드가 작으면서도 라우팅 신뢰성이 높아서, 라우팅 속도와 성능을 전반적으로 향상시킬 수 있는 방안을 제공하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는, 시간 주기를 가지는 이동 노드들이 존재하는 네트워크에서 데이터를 효과적으로 전송하기 위하여, 라우팅 경로를 예측할 수 있는 시간 정보 기반의 DTN 라우팅 기법을 제안한다. Omnet++ 시뮬레이션 도구를 이용한 성능 분석 결과, 제안된 시간 정보 기반의 DTN 라우팅 알고리즘이 기존의 DTN 라우팅 알고리즘들에 비해 적은 라우팅 오버헤드를 가지면서도 라우팅 속도와 신뢰성을 높일 수 있는 기법임을 검증하였다.

키워드 : DTN, 자연-허용 네트워크, 라우팅 알고리즘

Delay-Tolerant Network Routing Algorithm for Periodical Mobile Nodes

Youngse Lee*, Gowoon Lee*, Hangki Joh*, Intae Ryoo**

Abstract

Delay-Tolerant Network (DTN) is an asynchronous networking technology that has been deployed for the networking environment in which steady communication paths are not available, and therefore it stores receiving data in a data storage and forward them only when the communication links are established. DTN can be applied to sensor networks and mobile ad-hoc network (MANET) as well as space communication that supports data transmissions among satellites. In DTN networking environments, it is very important to secure a scheme that has relatively low routing overhead and high reliability, so that it can enhance the overall routing speed and performance. In order for achieving efficient data transmissions among the nodes that have comparatively periodic moving patterns, this paper proposes a time information based DTN routing scheme which is able to predict routing paths. From the simulation results using Omnet++ simulation tools, it has been verified that the proposed time information based DTN routing algorithm shows satisfied levels of routing speed and routing reliability even with lower routing overheads.

Keywords : DTN, Delay-Tolerant Network, Routing Algorithm

1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Intae Ryoo
접수일:2013년 11월 07일, 수정일:2013년 12월 07일
완료일:2013년 12월 20일
* 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과
Tel: +82-31-201-2599, Fax: +82-31-201-2599
email: itryoo@khu.ac.kr
** 경희대학교 컴퓨터공학과 교수

■ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-1006)
■ 본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012-0001313)

DTN의 기본적인 개념[1]은 지연 시간이 큰 이종 네트워크와의 통신을 위한 네트워크이다. 위성 통신을 지원하는 우주 통신과 지상 통신을 연결하기 위한 개념으로 등장하였다. 센서 네트워크나 MANET과 같이 연결성이 지속적이지 않는 환경에서 기존의 TCP/IP 프로토콜이 적용될 수 없는 네트워크 통신을 지원하는 개념으로 확장되었다. 기술적으로 독립적인 여러 네트워크를 하나의 네트워크로 융합할 수 있는 차세대 인터넷 기술[4]이다. 현재 DTN과 관련된 네트워크 아키텍처, 라우팅 프로토콜 및 전송 프로토콜, 메시지 저장 관리 기법 등 다양한 주제의 연구가 이루어지고 있다. 그중에서 종단 간 연결성이 보장되지 않고 각 노드들이 이동성을 가지는 상황에서 라우팅 기법에 대한 연구가 가장 폭넓게 이루어지고 있다. 기존 DTN 라우팅 방법들은 노드의 위치 정보, 지역을 방문한 횟수로 순위를 정하여 라우팅 방법을 결정하거나, 추가적인 정보를 전달할 수 있는 장치를 추가하여 오버헤드가 크고, 비현실적인 방법이 존재한다. 본 논문에서는 DTN의 특성을 반영하여 기존의 라우팅 테이블에 시간 테이블과 권한 테이블을 추가한다. 권한 테이블은 주변 노드의 ID를 확인하고 라우팅 신뢰성을 높인다. 시간 테이블은 각 노드들의 시간 정보를 바탕으로 오버헤드를 줄이고 라우팅 속도를 높인다. 두 개의 테이블과 시간 정보를 이용하여 기존의 DTN 라우팅 프로토콜의 효율성을 향상시킬 수 있는 라우팅 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 DTN 라우팅 방법에 관련하여 진행 중인 연구에 대하여 기술하였고, 3장에서는 논문의 제안 사항과 알고리즘을 기술하였다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 실용성 및 효율성을 기존 DTN 라우팅 기법과 비교하여 Omnet++ 시뮬레이션 환경으로 노드의 이동 패턴이 규칙적인 DTN 환경과 불규칙적인 DTN 환경을 구현하여 시간 정보 라우팅 알고리즘의 성능을 비교 검증하였다. 마지막으로, 5 장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 기술하였다.

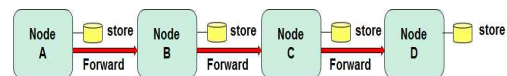
2. 관련연구

Delay-Tolerant Networking Architecture[7]의 기본 구성은 행성간의 인터넷을 하기 위한 기술이다. 높은 딜레이를 필요로 하는 환경에서 우주 통신이 주된 목표이다. 실제로 DTN을 활용하기 위해서는 연결이 지속적이지 않거나 높은 딜레이를 가지는 다양한 환경에서 사용하기 위하여 DTN의 구성을 알아야 한다. 연결이 불안정한 센서 기반 네트워크, 지상파를 이용하는 종단 간 연결을 유지할 수 없는 무선 네트워크, 인공위성 및 행성 간 네트워크, 수상 네트워크는 환경적인 요소 때문에 DTN을 사용하여야 한다. 이러한 환경에서 사용되는 DTN의 표준화동향을 살펴보고 기존의 DTN 라우팅 방법들이 지닌 문제점에 대해 살펴본다.

2.1 DTN 통신 구성과 효율적인 라우팅 방안

DTN의 기본 동작 방식은 Store and Forward 방식으로 (그림 1)과 같이 기존의 OSI 7계층에서 Bundle 계층[8]을 추가하여 데이터를 저장할 수 있는 공간을 OSI 7계층 사이에 추가하여 새로운 계층으로 만들었다. 연결이 끊어지더라도 저장 공간에 데이터를 저장하여 데이터를 전송할 수 있다. 각 노드는 전송할 데이터를 저장하고 다음 전송 노드를 만나기 전까지 저장 공간에 데이터를 가지고 있게 되고 데이터를 전송할 노드를 만나면 저장 공간에 있던 데이터를 전송하게 되어 연결이 불규칙한 상황이나 딜레이가 큰 네트워크에서도 데이터를 전송할 수 있는 통신 시스템[6]을 DTN 통신이라고 한다.

(그림 1) DTN의 Store and Forward 방식



(Figure 1) Store and Forward of DTN

DTN 환경에서 기존 라우팅 방법들과 본 논문에서 제안하는 라우팅 방식과 비교하기 위한 대표적인 DTN 라우팅 기반 지식들의 구현 방식과 동작 과정[12], 대표적인 라우팅 알고리즘들의 장점과 제시된 문제점을 살펴본다. 그리고 대

표적인 라우팅 알고리즘들을 개선한 논문들과 연구들을 파악하여 본 논문에서 제시한 알고리즘의 효율성을 알아본다. 본 논문에서는 DTN 라우팅 이론 중 경로 예측 기법인 DTN 기존 라우팅 이론 중 Estimation 라우팅 알고리즘을 기본 원리로 한다. 자세한 사항은 3 장 제안 라우팅 알고리즘에서 다룬다. 기존 DTN 라우팅 알고리즘과 비교하여 본 논문에서 제안하는 시간 정보를 이용하는 라우팅 방법을 제안하고 검증한다.

2.2 기존 DTN 라우팅 특징 분석

본 논문에서 제안하는 시간 정보 라우팅의 성능을 분석하기 위해 비교되는 DTN 라우팅 알고리즘은 Epidemic 라우팅[2], SEPR[3], Prophet 라우팅[4]이다. 앞에서 서술한 것과 같이 3가지 라우팅은 DTN 라우팅 알고리즘에서 대표적인 라우팅 프로토콜이다. <표 1>은 위에서 언급한 3가지 DTN 라우팅 알고리즘의 장점과 단점, 특징을 요약 한 것이다. 각 DTN 라우팅 프로토콜은 단점과 장점이 존재하고 포괄적인 환경에 대한 라우팅 방법이므로, 본 논문에서 제안하는 시간 정보 라우팅 알고리즘은 기존의 단점들을 개선하고 포괄적인 환경뿐만 아니라 패턴이 존재하는 환경에서 적용할 수 있는 라우팅 방법이다. Epidemic 라우팅은 알고리즘이 가장 단순하지만 플래딩을 하여 네트워크가 복잡하고 시간이 흐를수록 비효율성이 급증하며, SEPR은 네트워크의 상황을 고려하지 않아 라우팅 속도 면에서 최악이 될 수 있다. Prophet 라우팅 알고리즘은 Estimation 라우팅 알고리즘에서 대표적인 알고리즘으로 메시지 전달 성공률은 높으나, 라우팅의 오버헤드가 크다는 단점을 가지고 있다. 3장에서는 기존 DTN 라우팅 방법들의 단점들을 개선하고 신뢰성과 라우팅 속도를 높일 수 있는 라우팅 방법을 기술한다.

<표 1> DTN 라우팅 프로토콜의 특징

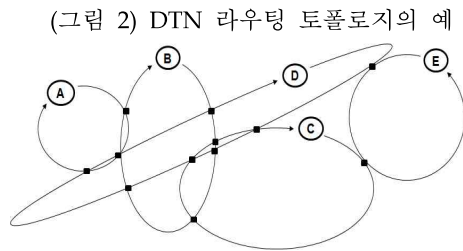
DTN Routing Protocol	Strength	Weakness	Feature
Epidemic Routing	- Small Routing Information Message	- Increasing the complexity of network causes inefficiency	- No Route Prediction - Send Message to All Adjacency Node
SEPR	- Less Routing Overhead Message - Simple Route Prediction Algorithm	- Late Network Accept Time - Routing Time Depending on Network Condition	- Always Predict Minimal Hop Count without Network Condition
Prophet Routing	- High Success Rate of Message Delivery - Using Vector to Closest to the Delivery of Message	- Large Routing Information Message - Largest Routing Overhead	- Route Prediction with Exchange Node Vector Information - Regardless of Movement Pattern, Optimize Distance Route Prediction

<Table 1> Features of DTN Routing Protocol

3. 시간 정보를 이용한 라우팅 알고리즘

본 논문에서 제안하는 라우팅 방식은 (그림 2)와 같은 이동패턴이 규칙적인 노드가 존재하는 DTN 환경 토폴로지에서 A 노드에서 E 노드까지 메시지를 전송할 때 노드의 주기적 이동 시간 정보를 이용하여 A에서 E까지의 라우팅 시간을 최소로 할 수 있는 경로를 예측하여 전송하는 것이다. 제안하는 라우팅 방법의 전제는 각 노드는 인접 노드와 만날 때마다 타이머가 작동한다. 측정된 타이머는 라우팅 테이블에 인접 노드와 만나는 시간의 상대적인 시간을 기록한다. 기존 라우팅 테이블에 상대적인 시간을 기록할 수 있는 테이블을 추가하여 타이머의 시간

을 기록 및 최소 시간을 계산한다. 권한 테이블을 추가하여 각 노드는 인접 노드의 ID를 파악하고 통신 가능 시 ID를 확인하여 신뢰성 있는 라우팅이 가능하다. 각 노드는 라우팅 테이블의 타이머 정보를 이용하여 인접 노드와 만날 시간을 예측할 수 있다. 오차 범위를 정하여 오차 범위 내에 인접노드와 만날 시간을 제외하고 노드의 검색 및 통신을 제한함으로써 노드의 에너지 자원을 절약할 수 있다. 권한 테이블을 이용하여 네트워크 수렴까지 새로운 노드인지 기존 노드인지 파악을 하여 메시지 전송에 있어서 더욱 신뢰도를 증가 시킨다.



(Figure 2) Example of DTN Routing Topology

3.1 DTN 통신 구성과 효율적인 라우팅 방안

<표 2> 라우팅 테이블 상태(송신지:A,수신지:E)

Hop	Route	Time					
Authority							
A	B-C-E	A	B	D	B-E	D-E	-
00B34451A153		0	30	220	130	210	
B	C-E	A	B	C	D	C-E	D-E
001D608C1238		30	0	50	120	80	210
D	-	A	B	C	D	E	C-E
004C51835A21		220	120	180	0	210	80

<Table 2> Status of Routing Table (Source:A, Destination:E)

본 (그림 2)는 규칙적인 이동 패턴을 가진 노드들이 존재하는 토폴로지에서 시간 정보 라우팅 알고리즘의 기본적인 동작 방식과 메시지 통신에서 이용 되는 라우팅 테이블 보여주기 위한

예이다. (그림 2)에서 시간 정보 라우팅 알고리즘의 전체 조건으로 모든 노드들이 토폴로지상의 노드들의 시간 정보를 파악하고 있다고 생각한다. 즉, 네트워크 수렴 후 데이터 통신을 하기 위해 준비가 된 토폴로지이다.

(그림 2)와 같은 DTN 토폴로지 환경에서, 일반적인 라우팅 방법과 가장 많이 쓰이는 라우팅 방법으로 Shortest path 라우팅 방법[5]을 적용하면 최소의 홉 수는 A->D->E가 된다. 하지만 D의 시간 주기가 다른 노드들 보다 상대적으로 크기 때문에 라우팅 시간이 오래 걸리게 되어 라우팅 속도와 노드의 에너지 자원 사용에 있어서 비효율적이다. 노드들의 시간적 정보를 이용한 알고리즘을 적용하면 노드들은 A->B->C->E 순으로 라우팅을 하게 된다. 이 방법은 최소의 시간으로 라우팅을 하게 되고, 시간 정보만으로 네트워크 정보가 수렴하고, 라우팅 속도를 높일 수 있고, 노드의 자원 사용에 있어서 효율적으로 전송이 가능하게 경로를 예측하는 방법이다. 각 노드들은 주변 노드와 만날 때 마다 타이머를 이용하여 상대적인 주기 시간을 기록한다. 이는 라우팅 테이블의 시간 정보를 간소화 할 수 있고, 전체 시간을 구하는데도 알고리즘이 복잡하지 않다. 노드의 상대적인 주기 시간 정보를 이용하여 각 노드들은 주변 노드와 통신 가능한 시간을 예측 할 수 있다. 각 노드들은 통신 가능한 시간을 이용하여 이웃 노드와 만나지 않는 이동 경로에서는 데이터 통신을 제한하여 에너지 자원을 절약할 수 있는 장점이 있다. 기존 DTN 라우팅 알고리즘을 같은 환경에서 사용하면 시간 정보 라우팅 알고리즘에 비하여 비효율적인 면을 보인다.

<표 2>는 (그림 2)에서의 A 노드의 라우팅 테이블 상태를 나타내었다. <표 2>에서 A 노드는 토폴로지의 모든 노드들이 만나는 시간을 자신의 노드를 기준으로 상대적인 시간을 네트워크가 처음 구성될 때 알게 된다. 모든 노드는 자기 자신 노드를 기준으로 인접 노드와 만나는 시간을 타이머를 통하여 상대적인 시간을 기록하게 된다. A 노드의 라우팅 테이블을 보면, 인접 노드와는 A에서 체크한 상대적인 시간이 기록되고, 인접하지 않은 노드들은 인접 노드에서 측정된 상대적인 값을 받아 기록한다. A노드는 E 노드까지 데이터를 전송하기 위하여 시간적인

값을 이용하여 A→E 까지 가장 짧은 홉 수는 A →D→E 는 220+210=430만큼 시간이 걸리고, 시간 알고리즘을 적용하면 A→B→C→E 경로는 30+50+80=160의 시간이 걸리는 것을 계산하여 A → B → C → E 경로로 전송하여 라우팅 시간을 단축 할 수 있게 된다. 라우팅 테이블의 각 수치는 노드가 인접 노드와 처음 통신 후 타 이머가 작동하여 다음 번 통신까지 걸리는 시간을 상대적으로 기록한 것이다. 이 예시를 통하여 수식화하면 시간 알고리즘을 적용한 라우팅 시간은 $T = (Xt의 총합 - Yt의 총합) \times 단위시간$ 이 된다. T는 근원지에서 목적지까지 최종 라우팅 시간이고, X는 전체 노드의 수, Y는 라우팅 경로에 참여 하지 않는 노드의 수이다. t는 각 노드의 상대적인 인접노드의 주기 시간이므로 상대시간에서 절대시간(딜레이 단위)를 곱하여 최종 라우팅 시간을 측정할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존 라우팅 방법과는 다르게 시간 정보만을 이용하여 알고리즘이 단순하고 오버헤드가 적은 장점을 가진다. 권한 테이블은 인접 노드와 처음 통신 후, 두 번째 만날 때까지 확인 후 일정 주기가 확인 되면 통신 가능한 경로의 노드로 인지 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 통신을 하기 전에 전체 경로를 설정하고 데이터를 전송하는 것으로, Estimation 기반 라우팅 방법을 기반으로 한 라우팅 방법으로 효율성을 높이고 신뢰성 있는 라우팅 방법을 제안 하였다.

4. 시간 정보 라우팅 알고리즘 검증

시간 라우팅의 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션 툴은 Omnet++ 4.1을 사용하였다. <표 3>과 같이 DTN 환경을 구성하였으며 이동 모델은 무작위로 움직이는 패턴과 노드가 일정한 입력 받은 크기와 속도만큼 원 모양으로 이동하는 패턴이 있다. 시뮬레이션 크기는 가로와 세로 10km로 지정하여 우주통신에서 인공위성과 같이 움직이는 환경을 구성하였다. 시뮬레이션 기간은 5000초로 노드의 움직임이 인공위성과 비슷한 이동속도로 설정하였기 때문에 각 라우팅 알고리즘의 네트워크 수렴시간과 일정한 결과를 보여주기 위한 시간이다. 각 노드의 전송 범위, 전송 에너지, 채널 주파수, 신호 잡음은 기준대

로 일정하게 유지하였다.

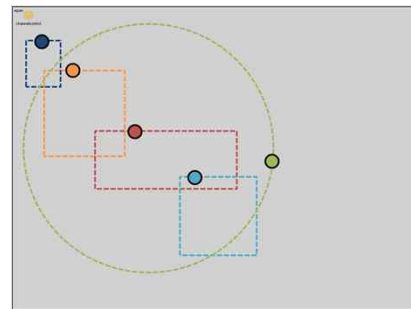
<표 3> 시뮬레이션 환경 파라미터

Parameter Type	Argument
Terrain Dimension	10 km X 10 km
Simulation Time	5000 sec
Mobility Model	RandomWP, Cycle, Rectangle
Transmission Range	50 m
Channel Frequency	2.4 GHz
Signal Attenuation Threshold	-110 dBm
Message Size	10 MB

<Table 3> Parameter in Simulation Environment

시뮬레이션의 토폴로지는 총 2개로 구성되었다. (그림 3)은 총 노드의 수는 5개이며, 하나의 DTN 환경은 노드가 일정하게 움직이는 패턴(인공위성 궤도, 지하철, 회사 출근 및 퇴근 등)이 존재하는 환경이다.

(그림 3) 이동 패턴이 규칙적인 토폴로지

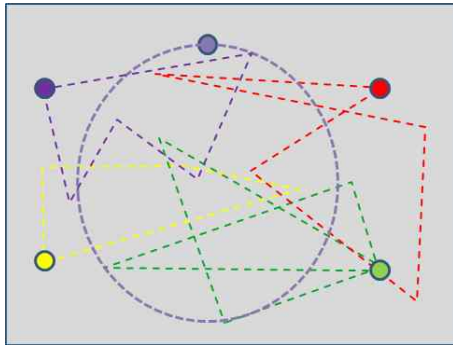


(Figure 3) Topology with Regular Movement Pattern

시간 정보 라우팅의 효율을 고찰하기 위해 일정하게 움직이는 패턴을 가진 노드들이 존재할 경우 기존 DTN 라우팅 알고리즘들과 본 논문에서 제안한 성능 비교 실험이다. (그림 4)는 이전 토폴로지와 똑같은 환경에서 노드들의 속도나

이동 패턴이 불규칙적인 DTN 토폴로지에서 실험이다.

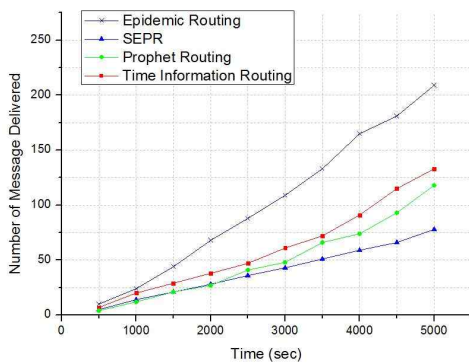
(그림 4) 이동 패턴이 불규칙적인 토폴로지



(Figure 4) Topology with Non-regular Movement Pattern

불규칙적인 이동 패턴을 가진 노드들이 존재할 때 기존 DTN 라우팅 알고리즘과 비교 분석하기 위한 상대적인 실험이다. 규칙적인 이동 패턴이 존재하는 DTN 환경에서 (그림 5-7)은 기존 DTN 라우팅 알고리즘과 본 논문에서 제안한 시간 정보 라우팅 알고리즘의 성능 분석 그래프이다.

(그림 5) 규칙적인 환경에서의 성공적으로 전달된 메시지 수

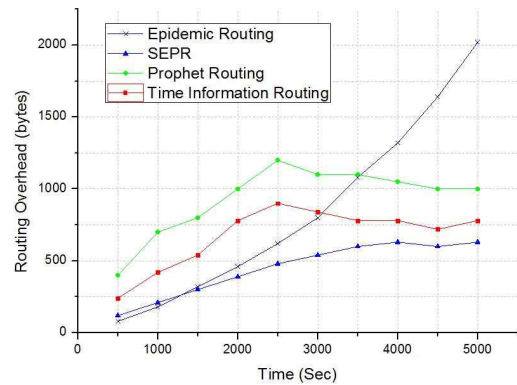


(Figure 5) Success Message Delivery Count in Regular Movement Pattern

(그림 5)의 그래프에서 시간 정보 라우팅 방법은 메시지 전달 성공률이 상대적으로 기존

DTN 라우팅 알고리즘에 비해 높다.

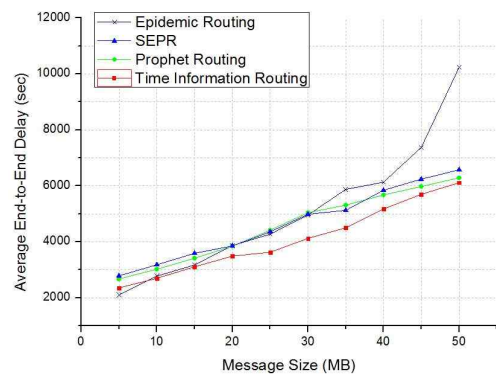
(그림 6) 규칙적인 환경에서의 라우팅 오버헤드



(Figure 6) Overhead in Regular Movement Pattern

(그림 6)의 그래프는 종단 간 메시지 전달에서 성공적으로 이루어진 메시지의 크기를 제외한 통신에서 발생하는 메시지의 크기를 측정하는 것이다. 그래프에서 시간 정보 라우팅은 라우팅 오버헤드의 증가폭이 작고, 시뮬레이션 시작부분과 네트워크 수렴 후 오버헤드 차이가 작다. 즉, 기존의 DTN 라우팅 알고리즘에 비해 전체적 오버헤드의 크기가 작기도 하며, 수렴 후 오버헤드의 전체적인 크기가 작기 때문에 효율성이 높다.

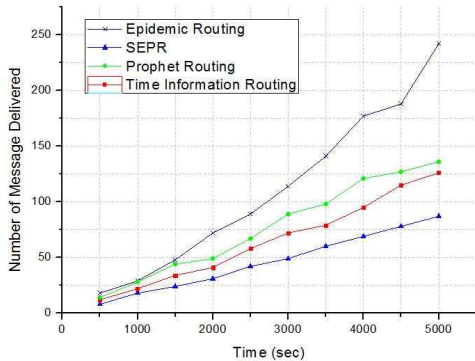
(그림 7) 규칙적인 환경에서의 종단 간 평균 지연시간



(Figure 7) Average Delay Time in Regular Movement Pattern

(그림 7)은 알고리즘에 따른 종단 간 메시지 크기에 따른 평균 지연시간을 나타낸 것이다. 시간 정보 라우팅 알고리즘은 메시지의 크기가 일정 한계점을 넘으면 증가 폭이 커지나, 상대적으로 가장 빠른 라우팅 속도를 보여준다. 종합적으로, 노드의 주기적인 시간 정보를 이용하는 시간 정보 라우팅 방법은 전체적으로 보았을 때 기존 DTN 라우팅 알고리즘보다 메시지의 발생 수가 어느 정도 유지되면서 종단 간 지연시간을 최소로 할 수 있다. 또한, 시간 정보 라우팅 알고리즘은 오버헤드 수치도 낮아 기존 DTN 라우팅 알고리즘 보다 전체적인 성능향상을 보여준다.

(그림 8) 불규칙적인 환경에서의 성공적으로 전달 된 메시지 수

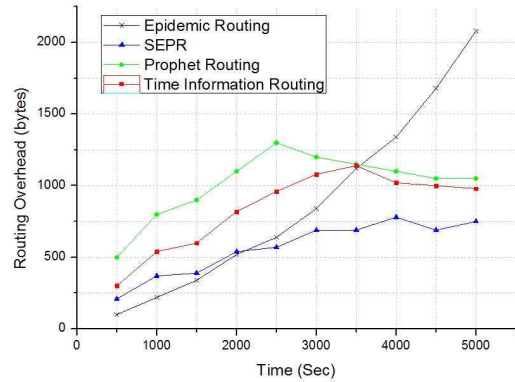


(Figure 8) Success Message Delivery Count in Non-regular Movement Pattern

(그림 8-10)은 불규칙적인 이동 패턴을 가진 노드들이 존재하는 환경에서 동일한 DTN 라우팅 알고리즘들과 제안 알고리즘을 비교한 것이다.

(그림 8)에서 시간 정보 라우팅 알고리즘은 규칙적인 환경보다 불규칙적인 환경에서 상대적으로 메시지 성공률이 떨어진 것을 볼 수 있다. 기존의 DTN 알고리즘은 규칙적이던, 불규칙적이던 상관없이 유사한 메시지 전달 성공률을 보여준다.

(그림 9) 불규칙적인 환경에서의 라우팅 오버헤드

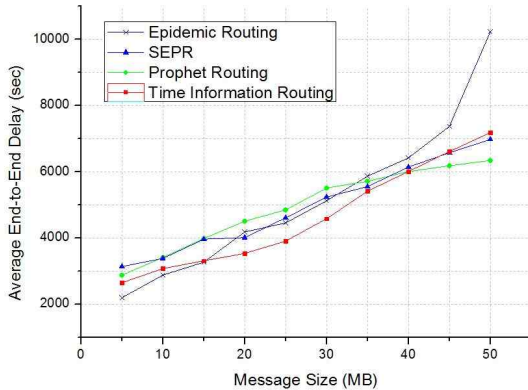


(Figure 9) Overhead in Non-regular Movement Pattern

(그림 9)에서 시간 정보 라우팅 알고리즘은 규칙적인 환경에 비해서 네트워크 수렴시간이 늦어진 것을 볼 수 있다. 네트워크 수렴시간이 늦어지고, 라우팅 오버헤드가 급증하지만, 기존 DTN 라우팅 알고리즘과 비슷한 라우팅 오버헤드의 비율을 보여줌으로써 불규칙적인 환경에서도 라우팅 오버헤드의 효율성이 기존 DTN 라우팅 알고리즘에 비해 뒤떨어지지 않는 것을 보여주며, 규칙적인 환경에서 라우팅 오버헤드가 기존 DTN 라우팅 알고리즘에 비해 뛰어난 라우팅 오버헤드의 효율성을 보여준다.

(그림 10)에서도 시간 정보 라우팅 알고리즘이 규칙적인 환경에 비해 성능이 저하된 결과를 보여준다. 하지만 여전히 일정한 메시지의 크기 구간에서는 기존 DTN 라우팅 알고리즘보다 더 좋은 성능을 발휘하며, 다른 부분에서도 기존 DTN 알고리즘에 비해 라우팅 평균 지연시간 면에서 성능이 뒤떨어지지 않는 것을 보여준다.

(그림 10) 불규칙적인 환경에서의 중단 간 평균 지연시간



(Figure 10) Average Delay Time in Non-regular Movement Pattern

종합적으로, (그림 6-8)은 노드의 이동 패턴이 불규칙적인 특성으로 인해 각 라우팅 알고리즘에 따른 라우팅 성능 저하를 비교한 실험 결과이다. 시간 정보 라우팅 알고리즘은 불규칙적인 이동패턴으로 인해 인접 노드를 만나는 주기 오차 범위를 늘리고 인접 노드를 만날 때마다 노드가 만나는 시간을 오차범위가 넘어서면 다시 측정하여 경로를 계산하여야 하기 때문에 네트워크 수렴 시간이 늦어진다. 라우팅 오버헤드 면에서는 라우팅 정보 메시지의 크기가 작은 편이기 때문에 기존의 DTN 라우팅 방법들 보다 상대적으로 효율성이 좋으므로 상대적으로 비슷한 성능의 라우팅 알고리즘인 Prophet 라우팅 보다 작은 것을 볼 수 있다.

시뮬레이션 결과로, 시간 정보 라우팅 알고리즘은 규칙적인 이동 패턴 환경에서 기존의 DTN 라우팅 알고리즘보다 모든 면에서 뛰어난 성능을 보여준다. 불규칙적인 환경에서도 기존의 DTN 라우팅 알고리즘과 비슷하거나 일정 구간에서 더 효율성이 좋은 부분을 보여준다. 즉, 시뮬레이션을 통하여 제안하는 시간 정보 라우팅 알고리즘의 효율성을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 제안하는 시간 정보 라우팅 방법은 노드의 시간 정보를 측정하여 라우팅 속도를

높이고 메시지 전달에 대한 신뢰성을 중요시 하는 라우팅 알고리즘이다. 시간 정보 라우팅 알고리즘의 전제 조건은 실생활에서 완전히 불규칙적인 이동 패턴을 가진 환경은 극히 드물며, 노드는 일반적으로 규칙적인 패턴을 통하여 목적지로 이동한다. 시간 정보 라우팅 방식은 규칙적인 이동 패턴을 가진 노드들이 존재하는 환경에서 DTN의 라우팅 이론 중 Estimation 라우팅 알고리즘을 기반으로 한다. 노드의 시간 정보 라우팅 알고리즘은 기존 라우팅 방법보다 노드의 주기 시간 정보만을 이용하여 오버헤드를 줄이고, 라우팅 속도와 신뢰성을 중요시 하는 라우팅 방법이다.

노드의 이동 패턴이 규칙적인 DTN 환경에서 시뮬레이션 결과는 시간 정보 라우팅 알고리즘이 기존의 라우팅 알고리즘보다 오버헤드와 메시지 성공률, 라우팅 속도 면에서는 효율적인 면을 보여주고 있다. 노드의 이동 패턴이 불규칙적인 DTN 환경에서는 시뮬레이션 결과가 이전 결과보다 성능 저하로 인해 기존의 라우팅 알고리즘과 비슷하거나 어떤 부분에서는 더 좋은 결과를 보여준다. 그러므로 어떤 부분에선 기존의 라우팅 알고리즘보다 성능이 떨어질 수도 있지만 네트워크 환경이 논문의 전제조건처럼 패턴이 존재한다면 상대적으로 기존 라우팅 알고리즘보다 효율적인 라우팅 알고리즘임을 증명한다.

향후 연구과제로 DTN 번들 레이어에서 발생되는 번들 메시지[10]의 포맷형식[11]을 개선하여 제안한 라우팅의 효율을 높이고, 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있는 DTN 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] E. Magistretti, J. Kong, U. Lee, M. Gerla, P. Bellavista, and A. Corradi, "A Mobile Delay-Tolerant Approach to Long-Term Energy Underwater Sensor Networking," IEEE WCNC, 2007.
- [2] Padma Mundur, Matthew Seligman, "Delay Tolerant Network Routing: Beyond Epidemic Routing", Wireless Pervasive Computing, 2008.
- [3] Sushant Jain, Kevin Fall, Rabin Patra, "Routing in a Delay Tolerant Network", SIGCOMM'04, August

2004.

- [4] J. Ott, D. Kutscher, C. Dwertmann, "Integrating DTN and MANET Routing", SIGCOMM'06 workshop, February 2006.
- [5] Giovanni Resta, Paolo Santi, "A Framework for Routing Performance Analysis in Delay Tolerant Networks with Application to Noncooperative Networks", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 23, no. 1, pp. 2-10 Jan. 2012.
- [6] Li Ding, Bo Gu, Xiaoyan Hong, Brandon Dixon, "Articulation Node Based Routing in Delay Tolerant Networks", IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, March 2009. pp.1-6.
- [7] V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, H. Weiss, "Delay-Tolerant Networking Architecture", RFC 4838, April 2007.
- [8] K. Scott, S. Burleigh, "Bundle Protocol Specification", RFC 5050, November 2007.
- [9] S. Farrell, M. Ramadas, S. Burleigh, "Licklider Transmission Protocols - Security Extensions", RFC 5327, September 2008.
- [10] M. Blanchet, "Delay-Tolerant Networking Bundle Protocols IANA Registries", RFC 6255, May 2011.
- [11] S. Symington, "DTN Metadata Extension Block", RFC 6258, May 2011.



이 영 세

2010년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 학사
 2012년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 석사

2013년~현재: 현대 그린푸드 연구원
 관심분야 : 컴퓨터네트워크, 차세대 통신, 라우팅

이 고 윤



2012년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 학사
 2012년~현재 : 경희대학교 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : IPTV, 모바일 클라우드, 인터넷워킹

조 항 기



2004년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 학사
 2008년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 석사
 2008년~현재 : 경희대학교 컴퓨터공학과 박사과정

2004년~2005년: 삼성전자 연구원
 2006년~2009년: ㈜아이컨택트 연구원
 관심분야 : UMA(Unlicensed Medium Access), IPTV, 네트워크 모니터링

유 인 태



1987년 연세대학교 전자공학과 학사
 1989년 연세대학교 전자공학과 석사
 1994년 연세대학교 전자공학과 박사
 1997년 동경대학교 컴퓨터공학과 박사

1997년~1999년 삼성전자 선임연구원
 1999년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : 인터넷 기술/IPTV, 네트워크 QoS/QoE, 트래픽 관리, 무선 통신, 네트워크 보안