

## 재난 후 초토화 상황에서 통신을 위한 DTN 라우팅 프로토콜

유대훈, 최웅철\*

### A DTN Routing Protocol for Communications in Post-Disaster Scorched Earth Situations

Dae-Hun Yoo, Woong-Chul Choi\*

#### 요약

공공 안전 및 재난 구조 전파 통신 표준 시스템은 중앙 관제 센터, 소방서, 경찰서, 해경 등 서로 긴밀한 협력을 위해 국가 기관에서 운용한다. 또한, 지진과 같이 예측할 수 없는 재난으로 초토화 상황이 발생하면 기지국을 이용하는 모든 통신 수단이 두절된다. 이와 같은 환경에 대해 표준 시스템은 애드 혹 기술을 적용하는 방안을 가지고 있다. 하지만, 이러한 시스템을 사용하기 위해서는 전문지식이나 전용 장비가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 일반인도 쉽게 사용할 수 있는 스마트폰의 모바일 응용에 적용할 지연내성망 라우팅 프로토콜을 제안한다. 또한, 재난 후 상황에 적합한 프로토콜을 설계하기 위해 재난 후 이동 모델을 제시하고 필요한 응용 시나리오를 도출한다. 마지막으로, ONE 시뮬레이터에 이동 모델과 라우팅 프로토콜을 구현하여 성능을 평가하였고, 제안한 프로토콜이 다른 프로토콜에 비해 우수한 성능을 보여주었다.

▶ Keywords : 재난 후, 라우팅 프로토콜, 재난 통신, 지연내성망, 공공안전재난구조

#### Abstract

In this paper, we propose an efficient dynamic workload balancing strategy which improves the performance of high-performance computing system. The key idea of this dynamic workload balancing strategy is to minimize execution time of each job and to maximize the system throughput by effectively using system resource such as CPU, memory. Also, this strategy dynamically allocates job by considering demanded memory size of executing job and workload status of each node. If an overload node occurs due to allocated job, the proposed scheme migrates job, executing in overload nodes, to another free nodes and reduces the waiting time and execution

•제1저자 : 유대훈 •교신저자 : 최웅철

•투고일 : 2014. 5. 21, 심사일 : 2014. 6. 9, 게재확정일 : 2014. 6. 18.

\* 광운대학교 컴퓨터과학과(Dept. of Computer Science, Kwangwoon University)

※ 이 논문은 2013년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

time of job by balancing workload of each node. Through simulation, we show that the proposed dynamic workload balancing strategy based on CPU, memory improves the performance of high-performance computing system compared to previous strategies.

▶ Keywords : Post-disaster, Routing protocol, Disaster Communication, DTN, PPDR

## I. 서론

2001년 미국 뉴욕의 9.11 테러에서 최근 발생한 일본 동부지역 대지진(2011) 및 허리케인 샌디(2012)에 이르기까지 국가적인 재난 상황으로 이에 따른 사회적 불안감도 증가하고 있다[1]. 재난 통신(PPDR, Public Protection & Disaster Relief)은 지진, 해일, 집중호우, 폭설 등과 같은 자연재해나 지형철 화재 및 대형건물 붕괴와 같은 인공재해, 테러 및 전쟁으로 인한 인위적인 재난 상황에서 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 필요한 통신이다[2]. “재난 통신은 없으면 불편한 기술이 아니라 국민의 기본권(생명 및 재산) 보호차원에서 반드시 필요한 국가의 가장 기본적인 통신이다”[3].

재난 통신에서 사용하는 세부적인 통신 기술들은 응급환자로 인한 시간적인 제약이나 악천후로 인한 지리적·물리적 제약으로 일반적인 통신환경에 비해 제약조건이 있어 통신기술의 근본적인 목적에서 차이가 있다[4]. 공공 재난 안전 통신 표준으로 TETRA(Terrestrial Trunked Radio), iDEN(Integrated Digital Enhanced Network), APCO-P25(Associated of Public Safety Communication Officials-Project 25) 등이 연구되고 있다. 또한, 최근에는 차세대 통신인 WiBro 및 LTE에 대한 표준을 위해 MESA(Mobility for Emergency Safely Application), IEEE 802.16 GRIDMAN SG(Greater Reliability In Disrupted Metropolitan Area Networks) 등에서 연구 중이다[4][5]. 하지만 이러한 표준 시스템은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 첫째, 현 시스템은 특정 계층만으로 운영되고 이를 사용하기 위한 전문 지식을 요구하기 때문에 비상시 일반인들이 사용할 수가 없다. 그 이유는 재난 상황 발생 시 경찰, 소방, 해경 등과 같은 국가 기관들의 상호간 긴밀한 협력체계의 유지를 목표로 재난통신 전용 장비를 사용하기 때문이다. 둘째, 기존 망을 사용하지 않는 경우 인프라 구축에 대한 막대한 투자비용과 시간이 필요하다. TETRA와 같은 경우는 현재 상업적으로 서비스되고 있는 3G나 4G 망을

사용할 수가 없어, 이러한 시스템을 사용하기 위해선 인프라를 새로 구축해야 한다. 셋째, 현 시스템은 재난 상황으로 인한 전기 두절 및 초토화 상황에 대한 고려가 불충분하다[6]. 애드 혹 통신과 위성 통신 기술로 재난구조 지휘센터나 일부 지역에서는 통신이 가능하지만 대역폭과 같은 제약사항 때문에 기지국 기반의 시스템을 가정하고 있다. 이는 전기 두절 시 통신 마비가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 선행연구로 비상시 일반인도 쉽게 사용할 수 있는 스마트폰 용 재난통신 응용을 제안하였다[7]. 본 논문에서는 후속 연구로 이러한 응용에 사용할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구에 대해 언급하고 III장에서는 본 논문에서 제안하는 재난 후 이동 모델을 설명한다. IV장에서는 제안한 프로토콜의 설계 내용을 설명하고 V장에서는 이에 대한 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 1. 공공 재난 안전 통신 표준

TETRA는 유럽 통신 표준기구에서 2000년부터 개발한 공공안전재난 무선 통신 시스템 표준 기술로 재난 상황 발생 시 협력 재난 구조 기관인 경찰, 소방, 해경의 상호간 긴밀한 협력체계 유지를 목표로 한다. 단말의 직접 통신 기술인 DMO (Direct Mode Operation)와 기능에 따라 Back-to-back, DM repeater, DM gateway, dual watch 등의 4가지 모드를 정의하고 있다[9].

iDEN은 GSM (Global System for Mobile Communications)에 기반을 두었기 때문에, 평소에 업무용으로 사용하다가 재난 상황이 발생하면 지휘 및 통제하기 위한 통신으로 전환하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 이 기술은 Motorola 社의 기업표준기술이기 때문에 개방성이 낮고 망 확장 시 많은 제약을 받는다. 또한, 단말 간 직접 통화시간이 다소 길어 재난 대응성에 부족하며 정보 공유 측

면의 한계성이 존재한다[5].

APCO-P25는 미국통신산업협회에서 국가 재난무선통신 망용 디지털 무전기 제품 제조에 대한 표준(P25)에서 개발한 프로토콜이다[8].

유럽통신표준기구는 기존의 2, 3세대 디지털 공공안전재난 통신망이 차세대 네트워크와 VoIP와 같은 새로운 통신 방식으로 관련기술 개발과 서비스 도입을 추진하고 있다. 또한 스마트 장비에서 사용할 수 있는 공공재난 안전관련 디지털 응용 플랫폼에 관한 연구를 수행 중이다[10].

MESA는 재난상황의 복구와 공공의 안전을 위한 광대역 이동통신 기술의 개발을 목표로 하여 주로 4세대 재난통신의 세부적인 기술 규격의 표준화를 위해 연구 중이다.

IEEE 802.16 GRIDMAN SG는 광대역 재난통신망 요구에 대응하기 위해 IEEE 802.16에서 발족되었다[11]. 이 단체는 기존 재난통신의 디지털 지상무선통신의 공공재난 안전서비스의 기능적 특성과 WiBro 광대역 이동통신시스템의 성능적인 특성의 융합을 목표로 한다.

이러한 시스템은 재난 구조 국가 기관들의 협력 체계를 위한 통신을 위한 기술이기 때문에 일반인이 사용하기 어렵다. 대규모 정전 사태를 동반한 대지진 같은 경우에는 기반 시설 파괴로 인해 인명 구조 통신에 사용할 수 없다.

## 2. 재난 후 이동 모델

선행연구 된 PDM 모델은 실제 재난 상황에 대한 이동 모델 검증은 어려운 부분이기 때문에, 타당성 있는 이동 모델을 도출하기 위하여 NRF(National Response Framework), ESFs(Emergency Support Functions), NPS(National Planning Scenarios) 등을 조사했다[12]. 이 모델은 허리 케인과 같이 예측 가능한 재난 상황에 초점을 맞췄다. 모델을 위한 환경 변수는 전체 지역주민들 수, 거주 지역들 당 집의 개수, 인구 전체 수, 거주 지역 간 최소 거리, 거주 지역 반경 등으로 구성된다. 기본적으로 이동 모델의 주체는 크게 생존자(survivors)와 구조 작업자(rescue workers)로 구분한다. 여기에 생존자는 대피(evacuation)와 귀환(return)과 같은 이동 패턴을 가진다.

센터는 메인 조정 센터, 구조 캠프, 피난 센터, 병원, 경찰서, 소방서 등으로 구성되고, 이동 패턴은 센터-센터, 이벤트 응달형, 순환 경로, 집중성 이동으로 구성된다. 그리고 에이전트는 보급 차량, 구조대원, 구급차, 소방차, 순찰차량, 자원 봉사자로 구성된다. 에이전트에 따라 특징적인 이동 패턴을 가지고 이동한다. 선행 연구된 PDM 모델은 미리 경고 가능한 재난 상황에 대해서만 고려하는 한계를 가진다.

하지만 본 논문에서는 지진과 같이 미리 대비할 수 없는 예측 불가능한 재난에 의해 초도화 상황이 발생하는 경우의 이동 모델에 초점을 맞춘다.

## 3. 지연내성망 라우팅 프로토콜

재난 후 상황은 노드들의 이동 패턴이 지연내성망과 비슷한 형태를 보인다. 이러한 지연내성망 라우팅 프로토콜은 패킷을 어떻게 전달하느냐에 따라 다양한 방식으로 구분할 수 있지만, 크게 미래의 네트워크 상태를 예측할 수 있는 결정론적인(deterministic) 방식과 예측할 수 없는 확률론적인(stochastic) 방식으로 나눌 수 있다[13][14]. 결정론적인 방식은 이동이 임의적이기 보다 버스 노선, 출퇴근과 같이 예측 가능한 이동 패턴을 이용하는 소셜 네트워크(social network)적인 측면을 활용한다. SimBet은 두 노드가 공유하는 이웃 노드들의 수로 유사성(similarity)을 판단하여, 커뮤니티로 분류하지 않고 목적지 노드와 유사성이 높은 노드에게 패킷을 전달하는 특징을 가진다[15]. BUBBLE Rap은 SimBet과 다르게 노드들을 커뮤니티로 구분하고 사이 중앙성(betweenness centrality)을 이용하여 패킷을 전달한다[16]. SSAR은 현실 세계와 같은 인간의 이기적인 현상을 이용한 모델을 제안하였다[17]. 여기서는 버퍼와 대역폭과 같은 자원을 사회적인 관계에 따른 우선순위를 기반으로 할당하였으며, 전달 처리를 위해 MKPAR(Multiple Knapsack Problem with Assignment Restrictions)를 이용하였다. 이러한 사회성을 이용한 방식은 기본적으로 축적된 데이터를 기반으로 분석하여 커뮤니티를 형성한다. 재난 상황은 환경이 급박하게 전환되기 때문에 이 방식을 그대로 사용하기에는 적합하지 않다.

확률론적인 방식의 대표적인 라우팅 프로토콜은 마치 전염병이 확산하는 것처럼 메시지가 목적지 노드에게 도달할 때까지 네트워크의 모든 노드가 메시지를 복사해 나가면서 전달 확률을 높이는 전염(epidemic) 라우팅이 있다[18]. 하지만 하나의 메시지 전달을 위해 중복 메시지의 증폭으로 인한 확장성의 한계와 전체 네트워크의 에너지 소비에 대한 문제가 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 복사본을 제한하는 Spray & Wait(SnW)가 제안되었다[19]. 이 프로토콜은 메시지 복사본의 여분이 있어 노드와 접촉 시 복사본을 분배하는 Spray 단계와 여분이 없어 목적지 노드와 직접 접촉할 때까지 대기하는 Wait 단계로 구분된다. 그리고 SnW의 개선된 다음과 같은 다양한 연구가 진행되었다. 또 다른 SnW의 확장 프로토콜은 접촉 노드의 다음 이동 위치를 예측하여 목적지에 가까이 이동하는 노드에게 자신이 가진 메시지 사본을

전달하는 방안을 제안하였다[20]. QoN(Quality of Node) 라우팅 프로토콜은 일정 시간 구간에서 노드가 다른 노드를 만난 횟수에 비례하는 값인 QoN을 정의하고, 높은 값을 가지는 노드에게 더 많은 메시지 복사본을 분배하는 알고리즘을 제안하였다[21]. 움직임을 고려한 라우팅 프로토콜은 노드 접촉 시 서로의 이동 방향 정보를 교환하여 이동 방향 사이의 각도를 구하고 자신과 다른 방향의 먼 목적지로 이동하는 노드에게 복사본을 분배하는 기법을 제안하였다[22]. 여기에 기능을 더한 라우팅 프로토콜은 이동 방향 사이의 각도 뿐 아니라 이동 속도까지 고려하여 동일 방향으로 더 빠른 속도로 이동하는 노드에게 모든 복사본을 전달하는 기법을 제안하였다[23].

재난 상황에서 피난민 및 일반 사람들의 움직임은 예측하기가 어렵지만, 국가에서 투입된 인력은 재난 관련 지침서가 존재하기 때문에 어느 정도 움직임을 예측할 수가 있다[24]. 따라서 본 논문에서는 결정론적인 방식과 확률론적인 방식 모두를 사용하는 혼합방식의 지연내성망 라우팅 프로토콜을 제안한다.

### III. 예측 불가능한 재난 후 이동 모델

#### 1. 소방방재청 재난 관련 문서 분석

소방방재청에서는 지진과 같은 재난 상황에 대한 대응 및 대피요령을 제시하고 있다[25]. 2010년 소방방재청이 개발한 지진재해대응시스템에 지방자치단체별 건축물 개수, 각 건물의 내진설계 여부, 인구·지반 정보, 병원·가용병상 수 등을 입력하여 남한산성 지하 10km를 진앙으로 규모 6.3 지진이 발생했을 때의 시뮬레이션을 진행하였다[26]. 그 결과 사상자는 총 2만 3,736명이며 진앙지인 광주는 사상자 및 이재민과 건물피해율이 각각 5,202명, 13,846동(42.70%)이고, 그 옆 성남은 각각 15,467명, 16,326동(43.08%)으로 가장 피해가 심했다.

도시일수록 인구 밀집 및 건물 수가 많아 피해가 더욱 심하며, 지진 진앙지 주변은 건물 피해율이 40%이상이다. 선행 연구된 PDM 모델에 따르면 주거지가 파손된 주민들은 피난 센터로 이동하고, 그렇지 않을 경우에는 보급품을 받기 위해 피난 센터로 왕복 이동을 한다. 여기서 건물 파손을 고려한다면 이 비율은 이재민 이동 패턴에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 실험을 위한 환경변수 값으로 이를 추가 적용한다.

여기에 심도 있는 이동 패턴을 도출하기 위해, 일본 동부

지역 대지진 현장의 한국 구조단의 구조 일지, 한국 소방방재청의 지진 재난 업무처리 매뉴얼 및 대피 요령 방법 문서를 기반으로 구조대원 및 주민들의 이동 패턴을 표 1과 같이 도출하였다[24][26][27].

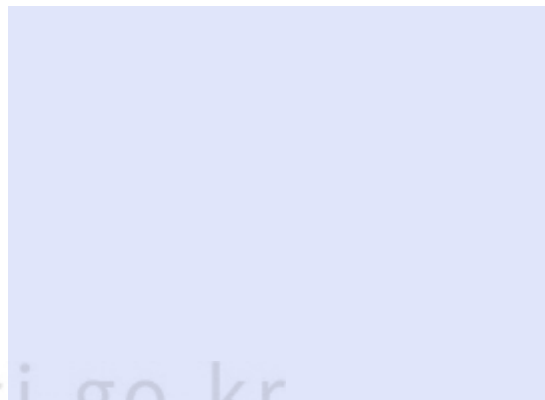
표 4. 이동 패턴의 분석 결과  
Table 4. Analysis result of movement patterns

분류	도출된 이동 패턴
구조 일지	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조대원이 파견될 센터가 설립됨</li> <li>- 건물 안에 갇힌 생존자 혹은 사망자가 가 있을 수 있음</li> <li>- 전체가 같이 이동하는 것이 아니라 분산되어 움직임</li> <li>- 인명 구조가 중심이기 때문에, 주택과 건물이 밀집한 지역으로 이동함</li> </ul>
업무 처리 매뉴얼	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 센터에서 지진 정보를 주민에게 전파함</li> <li>- 센터를 중심으로 주민에게 전파하는 정보를 알 수 있음</li> <li>- 재난 후에는 주민들이 센터로 피난을 하는 것을 알 수 있음</li> <li>- 센터는 주민들을 통해 정보를 수집하는 것을 알 수 있음</li> </ul>
대피 요령	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가족을 찾기 위한 이동 패턴이 발생</li> <li>- 자신의 안전을 알릴 수 있는 통신 수단이 필요</li> <li>- 지진 발생 시 센터로 대피</li> <li>- 센터는 공터, 학교, 공원 등이 될 수 있음</li> <li>- 지진이 멈춘 후 이동이 발생함</li> <li>- 차량을 이용하지 않고 도보로 이용</li> <li>- 수신한 정보가 신뢰 있는 출처의 정보인지 판단할 정보가 필요함</li> <li>- 부상자는 구조대원이 올 때까지 대기</li> <li>- 긴급사태 관련 뉴스를 수신 받는 것이 중요</li> </ul>

#### 2. 제안된 재난 후 이동 모델

표 2는 제안된 에이전트의 종류를 보여준다. 본 논문에서는 장소와 에이전트로 구분한다. 장소는 크게 센터, 병원, 주택으로 구분한다. 각 장소의 성격에 따라 에이전트의 이동 패턴에 영향을 준다.

표 5. 제안된 에이전트 종류  
Table 5. Proposed agent types



에이전트	일반	재난 상황에서 부상 없는 일반 사용자로 일반적인 트윗 정보를 전달하는 에이전트를 의미 예) 피난민, 이재민, 주민
	구조대원	인명 구조를 목적으로 움직이며 익명의 피해자를 수색하고 공지 사항과 같은 트윗 정보를 전달하는 에이전트를 의미 예) 경찰, 119 구조단, 자원봉사자
	부상자	재난 피해자로 부상으로 인해 거동이 불가능하며 구조가 필요한 에이전트를 의미. 구조대원에 의해서만 이동할 수 있음 예) 건물 붕괴 안 부상자, 혼수상태
	센터	재난 상황 수집 및 재난 정보에 대한 공지 전파를 위해 센터에서 사용하는 에이전트를 의미. 디젤 발전기 등의 사용으로 전력 공급은 가능하다고 가정 예) 동사무소/학교의 이재민 수용소, 메인 조정 센터

### 2.1 이재민 이동 모델

그림 1은 이재민의 이동 모델의 예를 보여준다. 이재민의 이동 모델은 거주지가 파손 및 부상 여부를 고려한다. 그림에서 1번과 같이 기본적으로 거주지 파손이 없고 부상이 아닌 경우 보급품을 받기 위해 센터로 주기적인 왕복 운동을 수행한다. 그림에서 2번과 같이 거주지가 파손된 경우에는 살 수 있는 공간이 없기 때문에, 3번처럼 가까운 센터로 이동하여 대기한다.

부상이 있다면 거동이 불편하기 때문에 설정된 이동 속도 범위에서 최저 속도로 이동한다. 이 경우는 센터와 왕복 이동 전에 그림 4번과 같이 병원으로 이동한 후 설정된 범위 안에서 임의의 시간만큼 치료한다. 치료 후에는 기본 이동 패턴대로 거주지와 센터의 왕복 이동을 수행한다.



### 2.2 구조대원과 부상자 이동 모델

부상자 이동 모델은 이동할 수 없을 정도로 다친 사람의 이동 패턴을 의미한다. 자신 혼자 움직일 수 없으며 구조대원에 의해 발견되어 함께 이동이 가능하다.



그림 2. 구조대원과 부상자 이동 모델  
Fig. 2. Rescuer and victim movement models

그림 2는 구조대원과 부상자 이동 모델에 대한 예를 보여준다. 구조대원은 거점지역과 수색지역에 대한 위치를 입력받는다. 거점지역은 센터, 캠프, 병원 중 하나를 설정하여 출발하며 그림 1번과 같이 입력받은 모든 수색 지역들을 순환하며 부상자를 탐색한다. 만약 이동 중에 부상자를 만나거나 수색 지역에서 발견하면 부상자를 그림 2번과 같이 병원으로 후송한다. 이후에 구조대원은 그림 3번과 같이 다시 수색 지역들을 순환하고, 모든 지역들을 순환하였다면 자신의 거점지로 돌아온다. 그리고 설정된 휴식시간 후 다시 수색지역들을 순환 이동 한다.

### 3. 제안된 이동 모델의 응용 시나리오

본 절에서는 제안된 이동 모델에 대한 구체적인 응용 시나리오에 대해 설명한다. III장의 1절의 분석 결과에 따라 본 논문에서는 재난 정보 전파, 재난 정보 수집, 컷속말 전달이라는 응용 시나리오를 도출하였다.

#### 3.1 재난 정보 전파

국가 기관에서 생성하는 정보는 신뢰성이 있기 때문에, 유언비어에 따른 혼란을 예방 할 수 있다. 또한, 대지진과 같은 재난이 발생하면 식수가 부족하여 사람들이 모르고 방사능비를 마실 수 있기 때문에 국가 기관에서는 이런 치명적인 재난 정보를 신속하게 확산 시켜야 한다. 그림 3은 센터에서 메시지를 주변 에이전트에게 확산시키는 모습을 보여준다.

### 3.2 재난 정보 수집

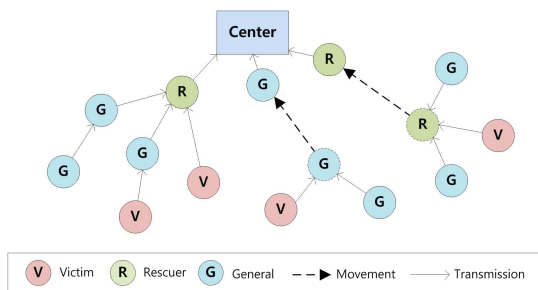
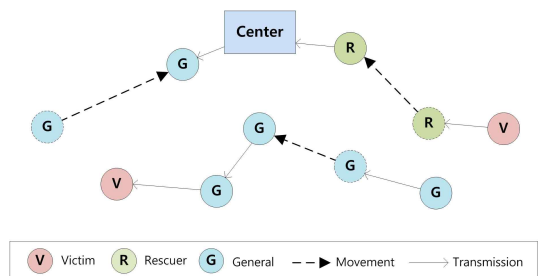


그림 4. 재난 정보 수집 시나리오  
Fig. 4. Disaster information collection scenario

재난 상황에서는 각 지역마다 발생하는 문제점을 중앙 재난 센터에서 수집하는 것이 중요하다. 이 정보를 바탕으로 인명 구조를 위한 인력을 투입하거나 보급품 전달을 위한 우선순위를 결정할 수 있다. 그림 4는 센터에서 정보를 수집하는 과정을 보여준다.

### 3.3 킷속말 전송



재난 상황에서 사람들은 필요에 따라 개인적인 메시지를 전달해야 할 필요성이 있다. 예를 들어, 흩어진 가족에게 약속 장소나 자신이 있는 위치를 알려 시간이 지나더라도 만날

수 있는 기회를 만들 수 있다. 그림 5는 이러한 킷속말 전송 시나리오를 보여준다. 움직이는 구조대원에 의해 센터로 메시지가 전달되거나, 센터로 온 목적지 노드가 메시지를 수신하거나, 일반 노드 간에 메시지를 목적지로 전달하는 상황을 보여준다.

## IV. 제안 라우팅 프로토콜

### 1. 패킷 정의

그림 6은 헤더 부와 데이터 부로 구성된 패킷 구조를 보여준다. Type 필드는 패킷의 종류를 식별하기 위해 사용되며, Time Stamp 필드는 송신 할 때 시간을 설정한다. Phone Number 필드는 현재 노드의 전화번호를 입력하고, Length 필드는 데이터 부의 길이를 의미한다.

Type	Time Stamp	Phone Number	Length	Variable
Header				Data

그림 6. 패킷 구조  
Fig. 6. Packet structure

표 6. 타입 값  
Table 6. Type Value

종류	타입 값
MyPhoneInfo	
TweetSet	
QueryTweetSet	

#### 1.1 MyPhoneInfo 패킷

그림 7은 MyPhoneInfo 패킷의 데이터 부에 대한 구조를 보여준다. 처음에 연결하면 서로 이 패킷을 교환하고, 어떤 데이터를 전달할지 결정한다. MAC Address 필드는 통신 모듈에 대한 MAC 주소이고, Agent Type 필드는 장비에 설정된 에이전트 종류이다. 에이전트 종류에 따라서 전달하는 데이터의 종류가 달라진다. Battery 필드는 장비의 잔존 에너지의 양을 백분율로 설정하고, UpdatedDT 필드는 상태 피어와 마지막으로 데이터를 정상적으로 교환한 일시이며, 연결한 기록이 없으면 0으로 설정된다. Twitter ID는 트위터 계정에 연동하기 위해 사용하며 없으면 NULL를 설정한다.

MAC Address	Agent Type	Battery	UpdatedDT	Twitter ID
-------------	------------	---------	-----------	------------

그림 7. MyPhoneInfo 구조  
Fig. 7. MyPhoneInfo structure

표 7. 에이전트 값  
Table 7. Agent Value

종류	값
센터	1
구조대원	2
부상자	3
일반	4

### 1.2 TweetSet 패킷

그림 8은 TweetSet 패킷의 데이터 부에 대한 구조를 보여준다. Page Number 필드는 그룹핑 된 해당 패킷의 번호이며, 와 Total Page Count 필드는 전체 패킷의 개수를 의미한다. Tweet Count 필드는 하나의 집합 안에 존재하는 트윗 개수를 의미하며, Tweet # 필드는 다수 개의 트윗 데이터를 의미한다.

Page Number	Total Page Count	Tweet Count	Tweet #1	Tweet #2	...
-------------	------------------	-------------	----------	----------	-----

Created DT	PhoneNo.	Pri.	Agent Type	Copy Count	Hop Count	Contents	Prop. Flag	Nick name
------------	----------	------	------------	------------	-----------	----------	------------	-----------

그림 8. TweetSet 구조  
Fig. 8. TweetSet structure

### 1.3 QueryTweetSet 패킷

부상자 에이전트를 제외한 에이전트가 부상자 에이전트와 연결 되면, 부상자 에이전트의 에너지 소모를 줄이기 위해 자신의 트윗을 전달하지 않는다. QueryTweetSet 패킷은 부상자 에이전트에게 트윗 데이터를 요청하기 위해 사용한다. 이를 송신하면, TweetSet 패킷을 응답 받는다. 헤더 부의 Type 필드값으로 식별이 가능하기 때문에 데이터 부는 없다.

## 2. 패킷 교환

### 2.1 나의 정보 교환 단계

연결 후 상대 피어의 MAC 주소를 이용하여 이력을 조회한다. 이력 정보가 있으면 그 정보를 MyPhoneInfo 패킷의 UpdatedDT 필드에 조회된 갱신 일시를 설정하고, 없으면 0으로 설정한다. 그리고 자신의 MAC 주소, AgentType, 잔존 에너지 양을 설정한다. 마지막으로 트위터 ID는 있다면 설

정하여 패킷을 송신한다.

### 2.2 TweetSet 생성 및 전송

전달할 트윗을 선정하기 위해 다음과 같은 조건으로 조회한다. 먼저, 중복방지를 위해 다음과 같은 조건을 가진다.

- 연결한 이력이 있는 피어면 수신받은 트윗 이후의 것
- 상대 피어가 전달해 준 트윗이 아닌 것
- 트윗 작성자가 상대 피어가 아닌 것

그리고 네트워크 트래픽을 조절하기 위해 다음과 같은 조건을 가진다.

- 복사본이 1 초과 인 것
- 홉의 수가 최대 홉 개수 이하 인 것

만약 이러한 조건에 조회된 개수의 결과가 최대 전달 개수보다 크다면, 다음과 같은 정렬로 우선순위를 가진다.

- 복사본 개수의 내림차순
- 홉의 개수의 오름차순
- 생성 일시의 내림차순

복사본 개수가 많거나 홉의 개수가 적다는 의미는 다른 트윗에 비해 네트워크에 전파 개수가 적다는 의미이므로 전송 우선순위가 높다. 또한, 복사본의 초기 개수는 트윗의 우선순위에 따라 정해지므로 중요한 트윗일 수도 있다. 그리고 생성 일시를 통해 가장 최신의 트윗을 먼저 전달하도록 한다.

트윗을 패킷에 추가하고 저장된 테이블에 있는 트윗에 대해 다음과 같은 처리를 진행한다.

- 해당 트윗의 우선순위 복사본 차감 알고리즘을 통해 copyCount 필드값을 차감한다.
- 차감한 후 1 이하면 테이블에 있는 트윗을 삭제한다.

### 2.3 TweetSet 패킷 수신

패킷을 수신하면, 홉의 수가 임계치 이상인 트윗들은 다른 노드에게 전달하지 않도록 설정 한다. 이 경우가 아니면 저장하기 전에, 다음과 같은 수식으로 우선순위에 따른 복사본 개수(CC)를 설정한다.

여기서  $p_{cc}$ 는 환경 변수로 설정된 초기 복사본 개수를 의미한다.  $TF$ 는 해당 트윗 정보의 우선순위를 의미한다.  $v$ 는 환경 변수로 설정된 우선순위에 따른 복사본 초기 개수 증감 비율을 의미하고 0 이상의 값을 가진다. 예를 들어,  $p_{cc}$ 가 10이고,  $v$ 가 0.5라면 복사본의 값은 우선순위가 높으면 15, 보통이면 10, 낮으면 5의 값을 가진다.

### 2.4 우선순위 복사본 차감 알고리즘

복사본 차감 개수는 전파를 위한 것인지 수집을 위한 것인지에 따라 다르게 설정한다.

$$CC = \begin{cases} \lfloor \frac{CC}{2} \rfloor, & PF = false \\ CC - 1, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $PF$ 는 트윗 정보의 전파 플래그 필드값을 의미하며 해당 트윗이 전파용인지 여부를 의미한다. 이 플래그는 센터가 재난 정보를 공지하기 위해 전파 할 때 사용한다. 그러면 전파용 트윗 아닌 경우 반씩 차감되고 아니면 1씩 감소하면서 더 많은 홉으로 전달될 수 있다.

### 2.5 에이전트에 따른 패킷 교환

표 5는 연결 된 후 공통적으로 MyPhoneInfo 패킷을 교환한 후, 연결된 에이전트에 따른 통신 절차를 보여준다. 일반 에이전트 간에는 자신이 전파한 트윗을 제외하고 모두 교환한다. 하지만, 일반 에이전트가 구조대원 에이전트 및 센터 에이전트와 연결되면 자신이 수신한 센터 및 구조대원 에이전트가 전파한 트윗을 전달할 필요가 없다. 일반 에이전트가 부상자 에이전트와 연결되었을 경우에는 필요한 트래픽만 발생시켜 에너지 소비량을 최소한으로 할 수 있도록 한다.



## V. 성능 평가

본 장에서는 제안한 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 제안한 프로토콜을 ONE 시뮬레이터로 구현하였다. ONE(Opportunistic Network Environment) 시뮬레이터는 핀란드 헬싱키 대학 네트워크 연구실에서 개발하였으며, DTN 라우팅 프로토콜 연구로 널리 사용되고 있다[28]. 제안한 라우팅 프로토콜의 성능을 비교하기 위해 DTN 라우팅의 시초라 할 수 있는 전염 라우팅과 가장 많이 비교되고 있는 SnW 라우팅 프로토콜을 선정하여 비교하였다. 실험 결과 값은 임의의 시드를 설정하고 10회를 수행한 결과의 평균으로 계산하였다.

### 1. 실험 환경

다음 표 6은 라우팅 프로토콜의 실험 평가를 위해 사용한 환경 변수를 보여준다.

표 9. ONE 시뮬레이터 환경 변수  
Table 9. Environment parameters in the ONE simulator

	항목	
	센터	개수
재난 후 이동 모델	구조대원	사람 수
		이동 속도 범위
		센터 대기 시간 범위



응용 모델	응용	거주지 밖에서 부상	False
		메시지 발생 주기	60초
		데이터 크기 범위	140 ~ 200 bytes
		콧속말 발생 비율	0.01
		우선순위 비율 (높음, 보통, 낮음)	30%, 40%, 30%
라우팅 프로토콜	제안	초기 복사본 개수	10
		초기 복사본 증감 비율	0.25
		최대 전달 메시지 개수	1,000
	SnW	초기 복사본 개수	10
		이진 모드	TRUE
링크 계층	블루투스	통신 반경	10 m
		전송 속도	2 MBytes

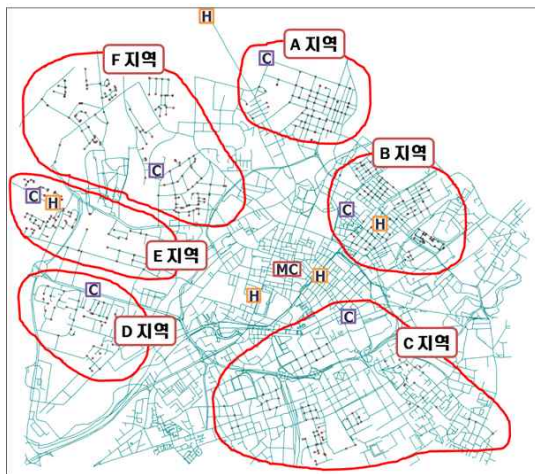


그림 9. 실험을 위한 맨체스터 지도  
Fig. 9. A manchester map for our simulation

그림 9는 실험을 위해 사용할 영국의 맨체스터 지도를 보여준다. 도시 전체는 규모가 너무 크기 때문에 북부 지방만을 OpenStreetMap와 OpenJUMP를 이용하여 지도 추출 작업을 수행했다. C로 표시된 것은 센터로 대피소 및 구조캠프를 의미하고, H는 병원을 의미하며 MC는 맨체스터 시청으로 메인 조정 센터를 의미한다. 각 위치는 구글맵을 이용하여 추출하였으며 대피소 6곳 중 2곳만 균형에 맞게 적당한 위치에 임의로 선정하였다. 표시된 테두리 안의 지역은 각 캠프에서 출발한 구조대원이 수색할 범위를 나타낸다. 테두리 지역 안에 거주하고 있는 이재민은 설정된 지역과 상관없이 자신의 위치에서 가장 가까운 병원 및 센터로 이동한다.

## 2. 라우팅 프로토콜 성능 평가

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 다음과 같은 실험을 수행한다. 첫째, 센터에서 재난 정보 수집 상황을 위해서 일반 에이전트에서 발생한 메시지가

센터로 수집되는 비율을 측정한다. 대지진 같은 재난이 발생하여 도로의 단절이나 특정 건물의 붕괴와 같은 세부적인 정보는 구조대원이 일일이 확인할 수 없으므로 주민들의 제보가 가장 효율적이다. 수집률이 높을수록 센터가 정확한 지휘를 할 수 있다. 둘째, 센터에서 재난 정보를 주민들에게 전파했을 때, 일반 에이전트에서 수신하는 비율을 측정한다. 국가기관인 센터에서는 피난소 위치나 대피 요령 등 주민들이 혼란에 빠지지 않도록 정보를 전파하는 것이 매우 중요하다. 이 수신율이 높을수록 주민들에게 이러한 주요 정보가 잘 전달되는 것을 의미한다. 마지막으로 콧속말 메시지를 목적으로 송신했을 때, 성공적으로 도달하는 수신율을 측정한다. 개인적으로 서로의 생사를 확인하거나 약속 위치를 정할 수 있는 기능을 수행할 수 있는지 평가할 수 있다. 이러한 세 가지의 지표를 동시에 수행했을 때 모두 잘 동작하는지 검증한다.

센터 메시지 수집률( $CR$ )은 다음과 같은 수식으로 계산되며 0과 1사이의 값을 가진다.

$$CR = \frac{R_C}{S_G}$$

여기서  $S_G$ 는 모든 일반 에이전트가 생성한 메시지의 개수를 의미하고,  $R_C$ 는 센터에서 수신한 일반 에이전트의 메시지 수신 개수를 의미한다. 센터가 두 개 이상일 때, 어떤 센터든 수신되지 않은 메시지를 수신하면 개수가 증가한다. 예를 들어, A 센터와 B 센터가 있다고 가정했을 때 1번 메시지를 A 센터가 수신하면 증가시키고, 나중에 B 센터가 수신 했을 때는 증가시키지 않는다.

재난 정보 전파율( $PR$ )은 다음과 같은 수식으로 계산되며 0과 1사이의 값을 가진다.

$$PR = \frac{\sum_{i=1}^{mc} R_i}{mc}$$

여기서  $mc$ 는 센터가 생성한 메시지의 총 개수를 의미하고,  $R_i$ 는 각 메시지마다 수신한 일반 에이전트 개수를 의미한다.  $CG$ 는 일반 에이전트의 총 개수를 의미한다.

마지막으로 콧속말 수신율( $W$ )은 다음과 같은 수식으로 계산되며 0과 1사이의 값을 가진다.

$S_v$ 는 컷속말을 송신한 개수를 의미하고,  $R_v$ 는 컷속말의 목적지가 수신한 개수를 의미한다.

각 지역마다 가구 수에 따른 부상자 비율의 성능 평가를 수행하고 전체 평균을 통해 성능 평가 결과를 분석한다. 부상자 수가 늘어날수록 구조대원은 지역과 병원의 왕복 이동이 더 많아지는 특징을 가진다.

그림 10의 전체 지역 재난 정보 수집률을 살펴보면, 제안한 라우팅 프로토콜은 부상자 비율에 영향을 받지 않고 꾸준한 성능을 보여준다. 반면, SnW 라우팅 프로토콜은 부상자 비율이 높아질수록 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그림 11의 전체 지역 재난 정보 전파율에서는 제안한 라우팅이 다른 프로토콜과 비교하여 약 8배 이상의 우수한 성능을 보여준다. 그림 12의 전체 지역 컷속말 수신율에서는 SnW 라우팅과 제안한 프로토콜이 전염 거의 비슷한 성능을 보여주며 전염 라우팅 프로토콜보다는 향상된 성능을 보여준다.

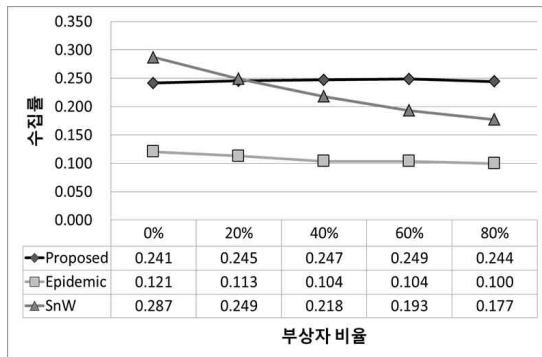


그림 10. 재난 정보 수집 비율  
Fig. 10. Disaster information collection rate

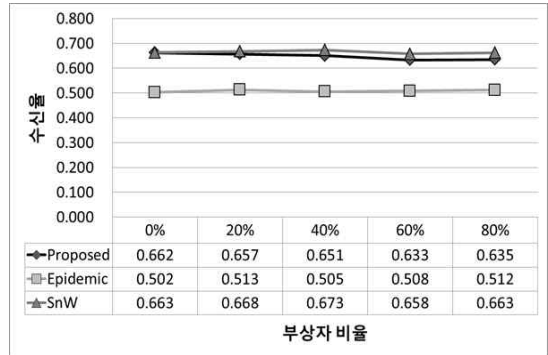
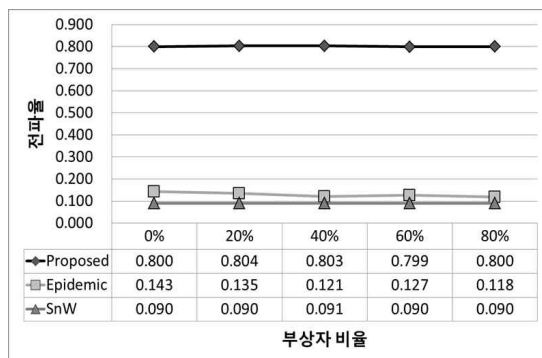


그림 12. 컷속말 수신율  
Fig. 12. Whisper reception rate

성능 평가 결과에 따르면, 재난 상황에서 가장 중요한 통신인 재난 정보 수집률 및 전파율, 컷속말 수신율에서 제안한 프로토콜이 전반적으로 우수한 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있었다.

재난 정보 수집률은 SnW 라우팅 프로토콜이 부상자 비율이 낮은 상태에서 우수한 성능을 보이지만, 부상자 비율이 높아질수록 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 SnW 라우팅 프로토콜이 메시지를 전달하는 과정에서, 이동할 수 없는 부상자 에이전트에게 전달하여 복사본의 감소로 이동이 활발한 다른 노드에게 전달하지 못하는 문제가 발생하기 때문이다. 제안한 프로토콜은 에이전트 간 메시지에 따라 전달 여부를 결정하는 알고리즘이 있기 때문에 부상자 비율에 영향을 받지 않는 걸 확인할 수 있다. 지역에 따라 편차가 있지만 수집 비율이 전반적으로 낮은 이유는 센터와 멀리 떨어진 병원으로 이동할 경우 메시지는 발생되고 있지만 전달될 노드가 없어 통신이 불가능할 경우가 많기 때문으로 분석된다.

재난 정보 전파율은 제안한 프로토콜이 전염과 SnW 라우팅 프로토콜에 비해 약 8배 이상의 우수한 성능을 보여준다. 전염과 SnW 라우팅 프로토콜은 중단 간 통신을 기준으로 설계되어 있어 메시지 전파에 효율적이지 못하다. 제안한 프로토콜은 전파 메시지만 경우 복사본의 감소 메커니즘을 다르게 처리하여 다른 성능에 영향을 미치지 않으면서 우수한 결과를 보여주는 것을 확인할 수 있다.

컷속말 수신율은 중단 간 통신에 효율적인 SnW 라우팅 프로토콜이 우수한 성능을 보여주고 있으며, 제안한 프로토콜 또한 비슷한 수준의 결과를 보여준다. 반면, 전염 라우팅 프로토콜은 복사본을 관리하지 않기 때문에 다른 프로토콜에 비해 트래픽의 증가로 비교적 낮은 성능을 보여주고 있다.

전체적인 결과를 살펴보면, 제안한 프로토콜이 재난 통신의 주요 응용 시나리오에서 모두 우수한 성능을 보여주며, 특

히 재난 정보 전파율에서 월등한 성능을 보여주고 있다. 재난 정보 전파율에서 나머지 두 프로토콜은 사용하기 힘들 정도의 낮은 성능을 보여준다. 결과적으로 제안한 프로토콜이 재난 통신에 적합하다는 것을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 지진과 같이 예측 불가능한 재난 후 초도화 상황에서 기지국 통신이 불가능할 때, 재난 통신 모바일 시스템에 필요한 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 이를 위해 선행 연구된 재난 후 이동 모델, 소방방재청의 재난 대비 문건, 구조 활동 이력 등을 토대로 예측 불가능한 재난 후 이동 모델을 설계하였다. 그리고 이를 기반으로 재난 후 상황에서 적합한 에너지 인지형 지연내성망 라우팅 프로토콜을 설계하였다.

제안된 라우팅 프로토콜의 실제 대규모 상황에서의 성능 평가를 위해 제안한 이동 모델과 라우팅 프로토콜을 ONE 시뮬레이터에 구현하여 전염 및 SnW 라우팅 프로토콜과의 성능을 평가하였다. 그 결과, 재난 후 상황에서의 주요 통신 지표인 재난 정보 수집률은 부상자가 증가에 상관없이 고른 성능을 보여주며 다른 프로토콜 보다 최대 7% 이상의 성능 향상을 보여주었다. 또한, 킷속말 수신율은 SnW 라우팅 프로토콜과 거의 동등한 성능을 보여 주었으며, 특히 재난 정보 전파율은 최대 9배 이상의 월등한 성능 향상을 보여주었다.

## 참고문헌

- [1] Y. Jeong, Y. Bae, "A study on a UT applied forecast prototype and policy for u-Gov's actional system to disaster," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 10, pp. 173-182, 2010.
- [2] A. Kim, "Disaster communication," *DIGIECO, Technology Hot Issues*, 34, March 2011.
- [3] S. Nam, D. Han, and J. Jung, "The road map of disaster communication and network technologies," *Journal of Communications and Networks*, Vol. 29, No. 5, pp. 3-9, 2012.
- [4] S. Kim, W. Kim, H. Kim, S. Jang, H. Lee, and C. Yoon, "WiBro-based wideband public protection and disaster relief technologies and standardization trends," *Journal of Communications and Networks*, Vol. 27, No. 6, pp. 24-34, June 2010.
- [5] J. Son, "WiMAX-based disaster communication technologies and standards," *TTA Journal*, No. 131, Sept. 2010.
- [6] Legendre, F., Theus, H., Felix, S., and Bernhard, P., "30 Years of Wireless Ad Hoc Networking Research: What about Humanitarian and Disaster Relief Solutions? What are we still missing?," In: *ACWR 2011 Proceedings of the 1st International Conference on Wireless Technologies for Humanitarian Relief*. ACM, New York, 2011.
- [7] Y. Jeong, Y. Bae, "A study on a UT applied forecast prototype and policy for u-Gov's actional system to disaster," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 10, pp. 173-182, 2010.
- [8] S. Jang and C. Yoon, "Wibro-based PPDU standardization trends," *TTA Journal* 138, 2011.
- [9] ETSI EN 300 396-2, "Terrestrial Trunked Radio: Technical requirements for Direct Mode Operation: Part 2: Radio aspects," 2007.
- [10] ETSI TR 102 485, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM): Technical characteristics for Broadband Disaster Relief applications (BB-DR) for emergency services in disaster situations: System Reference Document," 2006.
- [11] GRIDMAN, [www.wirelessman.org/sg/gridman](http://www.wirelessman.org/sg/gridman)
- [12] Y.S. Uddin, D.M. Nicol, and T.F. Abdelzaher, "A Post-Disaster Mobility Model For Delay Tolerant Networking," *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009 Winter*, pp.2785-2796, 2009.
- [13] Z. Zhang, "Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 8, pp.24-37, 2006.
- [14] M. Liu, Y. Yang, and Z. Qin, "A survey of routing protocols and simulations in delay-tolerant

- networks," Wireless Algorithms, Systems, and Applications, LNCS, Vol. 6843, pp.243-253, 2011.
- [15] Q. Yuan, I. Cardei, and J. Wu, "Predict, Relay.: An Efficient Routing in Disruption-Tolerant Networks," MobiHoc 2009, pp.95-104, 2009.
- [16] Pan Hui, J. Crowcroft, and E. Yoneki, "BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay Tolerant Networks," Mobile Computing, IEEE Transactions on, Vol. 10, pp.1576-1589, 2010.
- [17] E. Daly and M. Haahr, "Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs," Mobile Computing, IEEE Transactions on, pp.606-621, 2009.
- [18] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks," Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.
- [19] T. Spyropoulos, K. Psounis, Cauligi, and S. Raghavendra, "Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks," 2005 ACM SIGCOMM Workshop, pp.252-259, 2005.
- [20] W. Huang, S. Zhang, and W. Zhou, "Spray and Wait Routing Based on Position Prediction in Opportunistic Networks," IEEE Computer Research and Development, pp.232-236, 2011.
- [21] G. Wang, B. Wang, and Y. Gao, "Dynamic Spray and Wait Routing algorithm with Quality of Node in Delay Tolerant Network," IEEE Communications and Mobile Computing, pp.452-456, 2010.
- [22] D. Jang, Y. Sim, G. Kim, N. Choi, J. Ryu, T. Kwon, and Y. Choi, "Mobility Information based Routing for Delay and Disruption Tolerant Network," Journal of Computing Science and Engineering, 36, pp.130-136, 2009.
- [23] J. Kim, Y. Jung, "An Improved Spray and Wait Protocol in Delay Tolerant Network," Journal of Korean Institute of Information Technology, 8, pp.59-65, 2010.
- [24] 'Earthquake disaster' operation processing manual, NEMA(central disaster and safety countermeasures headquarters), 2008.
- [25] NEMA(National Emergency Management Agency), <http://www.nema.go.kr/>
- [26] Kukmin il-bo weekend section "AND" team, If earthquake with a seismic intensity of 6.3 occurs in the Namhansansung Fortress, NEMA, Earthquake simulation analysis, bucci, 2010.
- [27] The Korea rescue team, search a survivor of a severe earthquake site in Japan!, NEMA, <http://blog.daum.net/hellopolicy/6980812>, 2011.
- [28] The ONE project, <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>.

## 저 자 소 개



### 유 대 훈

2005: 광운대학교  
수학과 이학사.  
2007: 광운대학교  
컴퓨터과학과 공학석사.  
2012~현재 : 광운대학교  
컴퓨터과학과 공학박사  
관심분야: 재난 통신, 보안  
Email : yo2dh@kw.ac.kr



### 최 응 철

1989: 서울대학교  
컴퓨터공학과 공학사.  
1991: 서울대학교  
컴퓨터공학과 공학석사.  
2001: University of Illinois,  
Urbana-Champaign, IL., USA  
Computer Science Ph.D.  
현 재: 광운대학교  
컴퓨터소프트웨어학과 부교수  
관심분야: 네트워크, 보안  
Email : wchoi@kw.ac.kr