

# 무인항공기 기반 지연 허용 네트워크에서의 라우팅

김 태 호<sup>†</sup> · 임 유 진<sup>\*\*</sup> · 박 준 상<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

DTN(Disruption/Delay Tolerant Network)은 네트워크의 단절성(partitioning)이 높은 환경에서 단절된 지역 네트워크를 연동하기 위한 네트워크 구조이다. 현재 DTN과 관련하여 많은 연구가 이루어지고 있으며 특히 라우팅 기법에 대한 연구는 가장 많은 관심을 받는 분야 중 하나이다. 본 논문에서는 단절된 애드혹(Ad-hoc) 네트워크에서 사용자간의 연결성을 제공하기 위하여 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)를 이용한 DTN의 구성 시 사용가능한 DTN 라우팅 기법을 살펴보고 UAV의 이동 경로 제어 기법을 제안한다. 또한 다양한 시나리오에서의 실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 평가한다.

키워드 : 단절허용네트워크, 지연허용네트워크, 무인항공기, 라우팅, AODV

## Routing in UAV based Disruption Tolerant Networks

Teaho Kim<sup>†</sup> · Yujin Lim<sup>\*\*</sup> · Joon-Sang Park<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Disruption/Delay Tolerant Network(DTN) is a technology for interconnecting partitioned networks. These days, DTN, especially routing in DTN, draws significant attention from the networking community. In this paper, we investigate DTN routing strategies for highly partitioned ad hoc networks where Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) perform store-carry-forward functionality for improved network connectivity. Also we investigate UAV trajectory control mechanisms via simulation studies.

Keywords : Disruption Tolerant Network, Delay Tolerant Network, UAV, Routing, AODV

## 1. 서 론

DTN(Disruption/Delay Tolerant Network)은 센서 네트워크, 차량 간 통신, 애드혹(Ad-hoc) 네트워크와 같이 네트워크의 단절성(partitioning)이 높은 환경에서 단절된 지역 네트워크를 연동하기 위한 네트워크 구조이다. 이러한 네트워크 환경에서는 노드의 높은 이동성으로 인한 중단 간 경로의 부재, 이동 노드의 에너지 소진으로 인한 네트워크 구성의 변화, 통신 장비의 제한 등으로 인하여 중단 간 연결성이 보장되지 않는다[1-4]. DTN은 임의의 시점에 중단 간 연결성이 보장되지 않으므로 저장-운반-전송(store-carry-forward) 메시지 전달 방식을 기본으로 사용한다. 현재 DTN과 관련하여 네트워크 구조[5], 라우팅 프로토콜 및 전

송 프로토콜[6,7], 메시지 저장 관리 기법[8,9] 등 다양한 주제의 연구가 이루어지고 있다. 특히, 중단 간 연결성이 보장되지 않는 환경에서의 라우팅 기법에 대한 연구는 가장 폭넓게 이루어지는 연구 분야 중 하나이다.

본 논문에서는 단절된 애드혹 네트워크에서 중단 간 연결성을 제공하기 위한 DTN 라우팅 기법을 살펴보고 UAV 이동 경로 제어 기법을 제안한다. 본 논문에서 고려하는 DTN 환경은 네트워크 내 노드들을 통한 중단 간 메시지 전송이 불가능하거나 또는 현실적이지 않은 상황에서 최종 목적지까지 메시지를 전달하기 위하여, 저장-운반-전송을 위한 메시지 운반선(message ferries)[10]으로 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)를 사용한다. 본 논문에서는 [11]에서 제안된 UAV기반 DTN 환경과 DTN 라우팅 기법을 바탕으로 일반 노드와 UAV간의 또는 서로 다른 UAV간의 데이터 전송이 가능하도록 확장한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서 UAV 기반 DTN 환경을 자세히 설명하고, 3절에서는 UAV가 지원되는 DTN 라우팅 기법을 설명한다. 4절에서는 시뮬레이션과 그 결과에 대해서 논의하고 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

※ 본 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구이고(No. R01-2008-000-12477-0) 또한 2008학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

† 정 회 원 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 학부과정

\*\* 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

\*\*\* 종신회원 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 조교수

논문접수 : 2009년 3월 10일

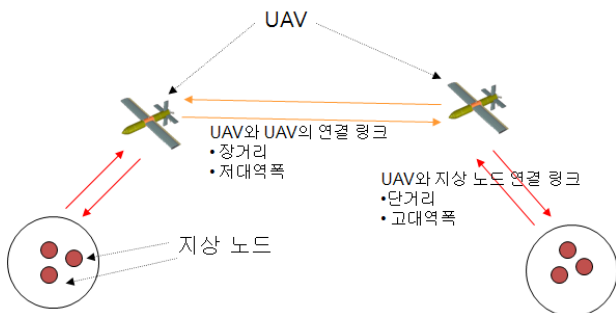
수정일 : 1차 2009년 4월 6일

심사완료 : 2009년 4월 21일

## 2. DTN 환경

본 논문에서는 연결성이 보장된 지상 노드들이 지역 네트워크를 구성하고 있고, 이들 서로 다른 지역 네트워크 사이에는 어떠한 네트워크 연결도 없는 환경을 고려한다. 이러한 단절된 지역 네트워크 사이의 연결성 보장을 위하여 UAV가 사용된다. 지상 노드들에는 근거리 고 대역폭(short range high bandwidth) 무선 인터페이스가 장착되어 있고, UAV는 근거리 고 대역폭과 원거리 저 대역폭(long range low bandwidth) 두 가지의 인터페이스가 장착되어 있다. UAV의 원거리 인터페이스는 주로 UAV의 동작 제어와 관리를 위해 사용된다고 가정한다. 또한 UAV는 지상 노드들과 달리 GPS나 다른 위치측위 방법을 통하여 자신의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다.

네트워크는 원거리와 근거리 링크들을 통하여 항상 연결되어 있다고 가정한다. 근거리 링크들을 통해서만 간헐적으로(intermittently) 연결된다. 지상 노드들은 UAV에 직접(단일 홉) 연결될 수도 있고 여러 노드들을 거쳐서(다중 홉) 연결될 수도 있다. (그림 1)은 본 논문에서 고려하는 네트워크 환경이다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 기법은 이러한 UAV를 사용하여 지상 노드들로 구성된 지역 네트워크 사이의 네트워크 연결성을 제공한다.



(그림 1) DTN 환경

## 3. UAV 기반 DTN의 구성

### 3.1 UAV를 고려한 DTN 라우팅

본 논문의 목표는 지상 노드들이 DTN 환경 또는 라우팅이 운용되고 있다는 사실의 인지를 필요로 하지 않는 환경의 제공이다. 본 논문에서 제안하는 DTN 라우팅 방식은 따라서 크게 두 부분으로 구성되어 있다. 지상 노드에서 사용하는 원형 그대로의 반응형(reactive) 또는 예방형(proactive) 애드혹 라우팅과, UAV에서 사용하는 DTN 라우팅이다. 본 논문에서 제안하는 UAV DTN 라우팅 기법은 지상에서 사용하는 특정 애드혹 라우팅 프로토콜에 전적으로 제한되지 않는다. 그러나 하나의 통합된 라우팅 프로토콜과 같이 동작하기 위하여 어떻게 지상의 애드혹 라우팅과 하늘의 DTN 라우팅을 결합하는지를 설명하기 위해 지상 애드혹

라우팅 프로토콜로 AODV[12]를 가정한다.

제안된 DTN 라우팅 기법은 패킷 전달을 위하여 기존의 AODV에 두 가지 기법을 추가한다. 첫 번째 기법은 DTN 라우팅에서 AODV의 RREQ/RREP 패킷의 반복 전송을 통하여 UAV의 이동 중 패킷 최종 목적지까지의 경로의 변화를 지속적으로 추적하는 것이고, 또 하나는 버퍼에 패킷을 저장하고 있는 UAV가 이동 중 다른 UAV와 마주칠 때 저장하고 있는 패킷을 전달하는 것이다.

일반적으로 AODV는 소스 노드에서 목적지 노드로의 경로를 찾기 위해 네트워크에 RREQ 패킷을 플러딩(flooding)한다. 본 논문에서 고려하고 있는 DTN 환경에서는 노드가 RREQ 패킷을 수신할 경우 수신한 RREQ 패킷을 저 대역폭 원거리 링크들과 고 대역폭 근거리 링크들 모두를 통하여 재전송한다. 목적지 노드가 RREQ를 수신하면 스스로의 역경로를 따라 RREP를 소스 노드에게 전송하는 과정을 거친다. RREP를 UAV로 전송하는 지상 노드를 수신측 지상 콘택트(contact)라고 하고 RREP를 처음으로 수신한 UAV를 수신측 공중 콘택트라고 한다. RREP 패킷은 UAV 네트워크를 따라 전송되고 소스 노드가 존재하는 지상 네트워크로 전송된다. RREP를 지상으로 전송하는 UAV를 송신측 공중 콘택트라고 부른다. 소스 노드가 RREP를 받으면 데이터를 전송하기 시작한다. 송신측 공중 콘택트는 저장-운반-전달을 담당하며 주기적으로 목적지로의 경로를 조사한다. 이는 송신측 공중 콘택트 UAV의 이동 중 목적지 노드의 물리적 위치 그리고 그에 따른 데이터 전달 경로가 변할 수 있기 때문이다. UAV 이동 중 목적지로의 경로 조사는 RREQ 플러딩에 의한 RREQ/RREP 교환에 의해서 진행된다. 반응형 라우팅 프로토콜인 AODV는 경로 찾기가 필요할 경우 RREQ를 플러딩하고 목적지로부터 전달되어진 RREP가 최종적으로 소스 노드에게 전달되면 경로 찾기가 완료된다. 발견된 경로가 노드의 움직임 등으로 파열될 경우 위와 같은 RREQ/RREP 교환을 통해서 다시 유효한 경로를 찾아야 한다. 전달한 데이터를 적재하고 이동 중인 UAV는 기발견된 경로의 유효성 여부와 상관없이 주기적으로 RREQ를 플러딩하여 최신 경로를 찾는다. 이 때, 송신측 공중 콘택트 UAV가 고 대역폭 인터페이스로 RREP를 받았다면 이는 목적지 노드가 인접해 있거나 인접한 지상 노드를 통하여 데이터가 전달되어야 한다는 것을 의미하고 이에 따라 고 대역폭 인터페이스를 사용하여 운송중인 데이터를 전송한다.

기존의 AODV에 추가된 두 번째 기법은 송신측 공중 콘택트 UAV가 저장-운반-전달 메커니즘을 수행하는 도중 이동하는 다른 UAV와 마주칠 때 저장하고 있는 패킷을 전달하는 방식이다. 이 때 동일한 패킷을 하나의 UAV로 여러 번 전달하지 않게 하기 위하여 모든 UAV는 적재하고 있는 모든 패킷에 대하여 전송 정보를 기록한다. 즉, 모든 패킷에 대하여 기전송된 UAV의 정보를 기록해 두고 패킷 전송 시 확인하여 중복 전송을 방지한다. 할 수 있게 한다. UAV에서 다른 UAV 혹은 지상 노드로 패킷을 전송할 때 버퍼에 저장되어 있는 패킷을 복사하여 전송한다. 그러므로 UAV를

통하여 전달된 모든 패킷들은 패킷이 목적지까지 전달되었다 하더라도 여전히 UAV 버퍼에 남아 있다. 이러한 버퍼의 낭비를 방지하기 위하여 패킷 타임스탬프를 사용한다. DTN 라우팅 에이전트는 정기적으로 타임스탬프를 조사하여 타임스탬프가 만료된 패킷을 버퍼에서 삭제한다.

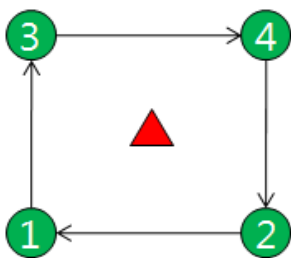
DTN 라우팅 에이전트는 UAV를 통해서 전달되는 모든 패킷들에 대하여 제어 패킷인지 혹은 데이터 패킷인지 식별한다. RREQ/RREP와 같은 제어 패킷들은 포워딩 결정을 위해 추가적인 정보를 삽입한 다음 AODV 에이전트로 전달되고 전송된다. 데이터 패킷의 경우는 해당 패킷이 원거리 저대역폭 인터페이스로 수신되었는지 혹은 근거리 고대역폭 인터페이스로 수신되었는지 알 수 있다고 가정한다. 데이터 패킷들은 다음 홉 노드가 근거리 고대역폭 인터페이스로 도달할 수 있으면 AODV 라우팅 에이전트로 전달된다.

### 3.2 UAV 이동 경로 제어 기법

본 논문에서는 앞서 설명한 패킷을 언제, 어떻게 전달하는지에 관련된 DTN 라우팅 기법뿐만 아니라, 효율적인 패킷 전송을 위하여 UAV의 이동 경로를 제어하는 세 가지 알고리즘을 추가로 제안한다.

첫 번째는 UAV가 서로 통신할 수 있는 모든 지상 노드들 사이를 라운드 로빈 (RR: round-robin) 방식으로 순회하는 것이다(그림 2). 본 논문에서 원은 패킷을 전송하는 지상 노드이고 삼각형은 UAV를 나타낸다. 노드1은 노드3으로, 노드3은 노드4로, 노드4는 노드2로, 노드2는 노드1로 패킷을 전송하려고 한다. 이 시나리오에 라운드 로빈 방식을 적용하면 UAV는 노드1->노드2->노드4->노드3->노드1의 순서로 반복하여 움직인다.

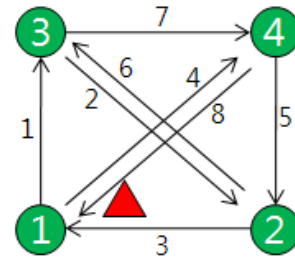
두 번째 방식은 지상 노드들이 장거리 인터페이스를 통해 패킷 전송에 대한 요청을 UAV에게 보내면 UAV는 자신의 잡 리스트에 요청들을 저장한다. UAV는 요청 제어 패킷의 송신 노드와 수신 노드를 고려하여 어떤 지상 노드에 접근해서 근거리 인터페이스를 통해 패킷을 전송할 것인지를 판단하게 된다. 한 가지 방법은 다른 조건에 관계없이 잡 리스트에 들어온 요청 순서에 따라서 FCFS(first-come first-served) 방식으로 UAV의 이동 경로를 제어하는 것이다. 예를 들어 (그림 2)에서 노드들 사이의 데이터 전송은 1->3, 2->1, 4->2, 3->4 의 순서로 발생한다고 가정한다. UAV는 1->3의 요청을 수행하기 위해 노드 1로 이동하여



(그림 2) UAV의 이동 경로 (단순 순회 방식)

노드 3으로 패킷을 전달한 후, 다음 요청인 2->1의 요청을 처리하기 위하여 노드 2로 이동한 후 노드 1로 패킷을 전달한다. 요청에 대한 UAV의 이동경로는 (그림 3)과 같다.

마지막 방법은 UAV가 잡 리스트에 저장된 제어 패킷의 송신 노드와 수신 노드 정보를 분석하여 이동경로를 계산하는 방식이다. 다시 말해서, UAV의 이동경로에서 i번째 경로의 수신 노드와 i+1번째 경로의 전송 노드를 일치하게 만드는 방식이다. 이를 통하여 i번째 경로의 수신 노드에서 i+1번째 경로의 전송 노드로 이동하는 시간을 줄여 패킷 전송 시간을 단축시킬 수 있다. 예를 들어, (그림 2)에서 노드들 사이의 데이터 전송은 1->3, 2->1, 4->2, 3->4 의 순서로 발생한다고 가정한다. 먼저 1->3의 데이터 전송 요청을 수신하면 UAV의 이동 경로는 1->3이 된다. 다음으로 2->1의 요청을 수신하면 경로는 1->3->2->1로 결정된다. 세 번째 요청 4->2가 수신되면 세 번째 요청의 수신 노드와 두 번째 요청의 전송 노드가 일치하게 되므로 UAV의 경로는 1->3->4->2->1로 결정된다. 마지막 요청이 수신되면 1->3->4->2->1과 같은 경로가 설정된다. 이 알고리즘의 pseudo 코드는 (그림 4)와 같다.



(그림 3) UAV의 이동 경로 (잡 리스트 순서 방법)

```

// 데이터 전송 요청이 수신되면
// DTN 라우팅 에이전트는 scheduleJob 함수를 호출한다.
// src는 전송 노드, dst는 수신 노드
scheduleJob(src, dst){
    addJob(src, dst); // Job List에 요청을 저장한다.
    for( i = List의 처음부터 마지막 Job까지 ) {
        k = i+1;
        for( j = List의 k번째 Job부터 마지막까지 ) {
            if( i번째 Job의 dst == j번째 Job의 src ) {
                //k번째 Job과 j번째 Job을 바꾼다.
                swap(Jobk, Jobj); k ++;
                break;
            }
        }
    }
}

```

(그림 4) UAV의 잡 리스트 재배열 방법

## 4. 성능 평가

본 절에서는 논문에서 제안한 DTN 라우팅 기법의 성능 평가를 위하여 ns-2[13] 네트워크 시뮬레이터를 사용하여

실험을 수행하였다. 실험은 총 6개의 시나리오에서 수행되었으며 세 번째 실험 시나리오는 2000m × 2000m의 토폴로지를 사용하였고 나머지 실험 시나리오들은 1000m × 1000m의 토폴로지를 사용하였다. 전파 모델은 자유공간 전파 (free space propagation) 모델을 사용하였으며, MAC 계층 프로토콜로는 RTS/CTS를 사용하지 않는 IEEE 802.11 표준을 사용하였다. MAC 계층 관련 파라미터 값은 ns-2 디폴트 값을 사용하였으며 제어 패킷의 대역폭은 1Mbps로 설정하였다.

실험 네트워크는 UAV들과 지상 노드들로 구성된다. UAV 노드는 두 가지 네트워크 인터페이스를 가진다. 하나는 500미터의 전송 거리와 10Kbps의 대역폭으로 되어 있는 원거리 저 대역폭 인터페이스이고, 다른 하나는 100미터의 전송 거리와 11Mbps의 대역폭으로 되어있는 근거리 고 대역폭 인터페이스라고 가정하였다. 원거리 인터페이스는 대부분 경로 설정을 위한 제어 패킷을 전송하기 위해서 사용된다. 각 UAV는 저장-운반-전송을 수행하고 처리율 요구 사항을 만족시킬 수 있는 충분한 크기의 버퍼(버퍼 크기 = 500패킷)를 가지고 있다고 가정한다. 지상 노드들은 하나의 근거리 고 대역폭 인터페이스를 가진다. 트래픽 생성은 5Kbps의 데이터율을 가지는 CBR(constant bit rate) 생성기를 사용하였다.

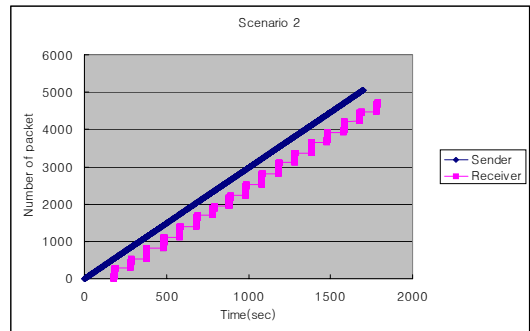
본 실험에서는 DTN 라우팅 기법의 성능 평가를 위하여 송신 노드 처리량과 수신 노드 처리량을 비교한다. 송신 노드 처리량은 응용프로그램에 의해 전송된 패킷의 수를 나타낸다. 송신 노드는 지속적으로 전송하고 일정한 데이터 전송 모델을 사용하기 때문에 전송한 패킷의 수는 시간에 비례해 선형적으로 증가한다. 수신 노드 처리량은 응용프로그램에서 실제로 수신한 패킷의 수를 나타낸다.

첫 번째 시나리오는 (그림 5(b))와 같이 두 개의 지상 노드(원 s, 원 d)들이 그들의 네트워크 인터페이스 유효거리보다 떨어져 분리되어 있다. 또한 두 개의 UAV(삼각형 1, 삼각형 2)중에서 1이라고 표시된 UAV는 송신 지상 노드와 수

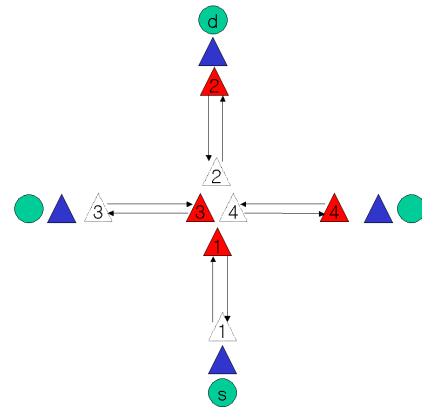
신 지상 노드 가운데 지점으로 부터 송신 지상 노드 사이를 움직이고, 2라고 표시된 UAV는 송신 지상 노드와 수신 지상 노드 가운데 지점으로 부터 수신 지상 노드 사이를 움직인다. 나머지 삼각형들은 지상 노드와 UAV1/UAV2의 연결을 위해 배치된 UAV이다. (그림 5(a))에 있는 UAV 왕복 실험의 결과에서 수신 노드의 처리량이 송신 노드의 처리량과 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 두 개의 UAV가 왕복하면서 메시지를 전달해 주기 때문에 가능한 결과이다. 송신 노드와 수신 노드의 처리량이 차이가 나는 이유는 데이터를 전송할 때 ARP 프로토콜을 사용하여 MAC 주소를 획득하는 시간 동안 전송된 데이터 패킷들이 손실되기 때문이다.

본 논문에서 제안된 DTN 라우팅 기법이 여러 UAV 사이에서 패킷을 올바르게 전달하는지 살펴보기 위하여 (그림 5(b))의 시나리오에 UAV와 지상 노드를 추가하였다 (그림 6(b)). (그림 6(a))의 실험 결과를 살펴보면 송신 노드와 수신 노드의 처리량이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서 시나리오 1에서 보다 좀 더 복잡한 환경에서도 DTN 라우팅 기법이 잘 동작함을 알 수 있다. 송신 노드와 수신 노드의 처리량이 차이가 나는 이유는 시나리오 1에서 설명한 이유와 같다.

세 번째 실험 시나리오는 DTN 라우팅 기법과 AODV 라우팅 프로토콜이 결합하여 패킷을 올바르게 전달하는지 확인하기 위한 것이다. (그림 7(b))는 데이터 패킷이 UAV와

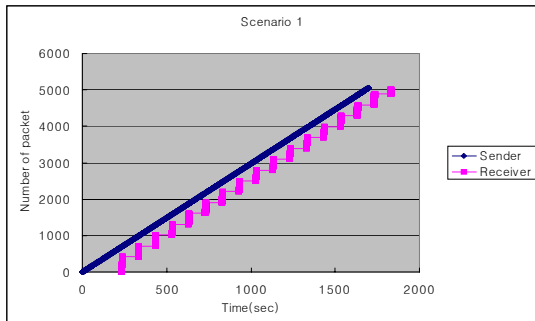


(a) 처리량 비교



(b) 실험 환경

(그림 6) 실험 시나리오 2

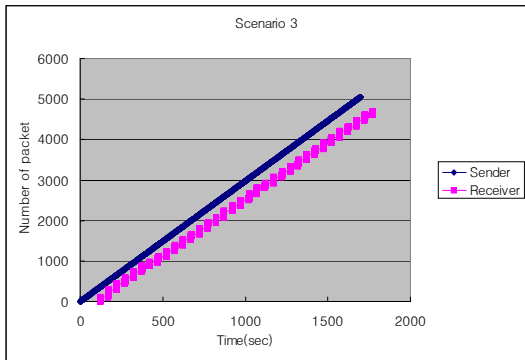


(a) 처리량 비교



(b) 실험 환경

(그림 5) 실험 시나리오 1



(a) 처리량 비교



(b) 실험 환경

(그림 7) 실험 시나리오 3

가운데 배치된 5개의 지상 노드들을 경유하여 목적지까지 도달하는 경우를 보이고 있다. UAV 1과 UAV 2는 세 개의 지역 네트워크를 왕복하면서 지역 네트워크 사이에 통신이 가능하도록 패킷을 전달해 준다. (그림 7(a)) 결과를 살펴보면 DTN 라우팅 기법과 AODV 라우팅 프로토콜이 효과적으로 결합되어 패킷의 전달이 원활하게 이루어지는 것을 볼 수 있다.

추가로, 앞서 제안된 UAV의 이동 경로 제어 기법에 따라 발생하는 성능 상의 차이를 분석하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. (그림 2)와 같이 4개의 지상노드(원 1,2,3,4)가 특정한 방향으로 데이터를 전송하려고 하고 하나의 UAV(삼각형)가 지상 노드들 사이를 순회한다. 노드들 사이의 데이터 전송은 1->3, 2->1, 4->2, 3->4 의 순서로 발생한다고 가정한다. 제안된 세 가지 제어 방식에 의한 전송률 측면에서의 성능 차이가 거의 없기 때문에 본 실험에서는 패킷의 전송 지연시간을 측정하였다.

먼저, 모든 노드 사이를 순회하는 첫 번째 제어 방식의 경우에는 UAV가 노드들의 패킷 전송방향과 반대인 반시계 방향으로 움직이기 때문에 <표 1>과 같이 송신 노드와 수신 노드 사이의 전송 지연이 커진다. 본 논문의 실험환경에서는 단순 순회 방식(RR기반 방식)은 데이터 전송의 방향이 UAV의 순회 방향과 차이가 많이 나는 경우에는 좋은 전송 지연을 기대할 수 없다.

다음으로, UAV가 잡 리스트에 요청이 들어온 순서 대로

<표 1> 패킷 전송 지연시간

	단순 순회방법	잡 리스트 순서방법	잡 리스트 재배열방법
평균 시간	281.7	252.8	176.2
최단 시간	152.4	52.4	32.7
최장 시간	496.7	496.0	404.2

움직이는 방식(FCFS기반 방식)의 결과는 단순 순회 방식과 비교해서 큰 성능 차이를 보여주지 않는다. 노드 간의 패킷 전송 시점의 차이에 따라 UAV의 잡 리스트에는 <표 2>와 같은 순서로 요청들이 저장된다. 이 순서에 따라 움직이는 UAV의 이동경로는 1->3->2->1->4->2->3->4 가 되고 전체 순회 소요시간은 오히려 단순 순회 방식보다 길다. 따라서 이 방식도 단순 순회 방식과 마찬가지로 높은 전송 지연시간을 가진다.

마지막으로, 잡 리스트에 들어온 요청을 재배열해 이동 경로를 정하는 방법의 경우 <표 3>과 같은 재배열된 잡 리스트를 가지게 된다. 결국 UAV는 데이터 전송 시점에 차이가 생기더라도 전체적인 전송방향과 같은 이동경로를 가지게 되어 <표 1>에서 볼 수 있듯이 좋은 전송률을 보인다.

UAV의 움직임을 제어하여 지상 노드들 사이에 일정치 않은 방향으로 데이터가 전송된다거나 혹은 전송에 참여하지 않는 노드가 있을 때 UAV와 지상 노드가 접촉하지 않는 시간을 줄여 전송률과 전송 지연에서 더 좋은 결과를 가져올 수 있다. 제안된 세 가지 기법 중에서 본 논문에서 가정한 실험 환경에서는 잡 리스트 재배열 기법이 전송 지연 시간 측면에서 볼 때 가장 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이 UAV는 경로를 정하고 목적지의 위치를 추적하는 동안에 AODV 에이전트를 통하여 RREQ를 전송해야 한다. 그러나 RREQ의 전송 비율은 AODV 프로토콜이 언제, 얼마나 자주 RREQ를 네트워크로 보내야 하는지에 대한 AODV만의 정책을 가지기 때문에 UAV에 의해 독립적으로 결정될 수 없다. 예를 들어, 근거리 고 대역폭 링크들로 구성된 목적지로의 더 좋은 경로가 있다 하더라도, AODV가 경로 실패(failure)가 발생하지 않는 경우에는 경로 업데이트를 수행하지 않는다면 UAV는 목적지로의 최적의 경로를 찾지 못하게 된다. 뿐만 아니라, AODV는 채널 대역폭이 아니라 홉 수를 기반으로 경로를 선택하기 때문에 DTN 라우팅 기법과 최적 경로에 대한 개념이 같지 않다. UAV 포워딩 정책은 어떠한 경로가 목적지까지 유효한가에 의해 큰 영향을 받기 때문에 RREQ를 전송 비율은

<표 2> UAV의 잡 리스트 (잡 리스트 순서 방법)

	송신	수신
1	1	3
2	2	1
3	4	2
4	3	4

<표 3> UAV의 잡 리스트 (잡 리스트 재배열 방법)

	송신	수신
1	1	3
2	3	4
3	4	2
4	2	1

프로토콜의 전체 성능에 크게 영향을 미칠 수 있다.

### 5. 결 론

DTN은 네트워크의 단절성이 높은 환경에서 단절된 지역 네트워크를 연동하기 위한 네트워크 구조이다. 이러한 네트워크 환경에서는 노드의 높은 이동성, 이동 노드의 에너지 소진, 통신 장비의 제한 등으로 인하여 중단 간 연결성이 보장되지 않는다.

본 논문에서는 단절된 모바일 애드혹 네트워크에서 중단 간 연결성 보장을 위한 AODV를 기반 DTN 라우팅 기법과 UAV의 이동 경로 제어 기법을 제안하였다. 또한 제안 기법의 성능 평가를 위하여 총 6개의 서로 다른 실험 시나리오에서 ns-2를 이용한 실험을 수행하였다.

### 참 고 문 헌

[1] K. Fall, "A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets," In Proc. ACM SIGCOMM, pp. 27-34, Aug., 2003.

[2] S. Jain, K. Fall and R. Patra, "Routing in a Delay Tolerant Network," In Proc. ACM SIGCOMM, pp. 145-158, Aug., 2004.

[3] J.J.Enright, E. Frazzoli, K. Savla and F. Bullo, "On Multiple UAV Routing with Stochastic Target : Performance Bounds and Algorithms," In Proc. AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, pp.1-15, Aug., 2005.

[4] Daniel Lihui Gu, Guangyu Pei, Henry Ly, Mario Gerla, Beichuan Zhang and Xiaoyan Hong, "UAV Aided Intelligent Routing for Ad-Hoc Wireless Network in Single-area Theater," In Proc. IEEE WCNC 2000.

[5] V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall and H. Weiss, "Delay-Tolerant Networking Architecture," IETF internet draft: RFC 2848, April, 2007.

[6] P. Mundur and M. Seligman, "Delay tolerant network routing: Beyond epidemic routing," In Proc. IEEE ISWPC International Symposium on Wireless Pervasive Computing, pp. 550-553, May, 2008.

[7] G. F. Aggradi, F. Esposito and I. Matta, "Supporting Predicate Routing in DTN over MANET," In Proc. ACM MobiCom, pp.125-128, Sep., 2008.

[8] A. Krifa, C. Baraka and T. Spyropoulos, "Optimal Buffer Management Policies for Delay Tolerant Networks," In Proc. IEEE SECON Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2008.

[9] A. Lindgren and K. S. Phanse, "Evaluation of queuing policies and forwarding strategies for routing in

intermittently connected networks," In Proc. IEEE COMSWARE Communication System Software and Middleware, 2006.

[10] W. Zhao, M. Ammar and E. Zegura, "A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks," In Proc. ACM MobiHoc 2004.

[11] Michael Le, Joon-sang Park, and Mario Gerla, "UAV Assisted Distruption Tolerant Routing," In Proc. IEEE MILCOM 2006.

[12] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing," In Proc. 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999.

[13] Network simulator ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.



김 태 호

email : kimtaeho83@gmail.com  
 2001년~현 재 홍익대학교 컴퓨터공학과  
 학부과정  
 관심분야: 시스템 및 네트워크 기술



임 유 진

email : yujin@suwon.ac.kr  
 2000년 숙명여자대학교 전산학과(박사)  
 2000년 서울대학교 박사후연구원  
 2000년~2002년 UCLA 박사후연구원  
 2003년~2004년 삼성종합기술원 전문연구원  
 2004년~현 재 수원대학교 정보미디어학  
 과 전임강사  
 관심분야: 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 이동통신, 라우팅  
 프로토콜



박 준 상

email : jsp@hongik.ac.kr  
 2006년 University of California, Los Angeles  
 (전산학박사)  
 2006년~2007년 UCLA, Post-doctoral scholar  
 2007년~현 재 홍익대학교 컴퓨터공학과  
 조교수  
 관심분야: 유무선 통신 및 통신망