

# 모바일 애드혹 네트워크에서의 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘

이동호<sup>01</sup>, 송병훈<sup>2</sup>, 정광수<sup>1</sup>

<sup>1</sup>광운대학교 전자통신공학과

[dhlee<sup>0</sup>@adams.kw.ac.kr](mailto:dhlee@adams.kw.ac.kr), [kchung@kw.ac.kr](mailto:kchung@kw.ac.kr)

<sup>2</sup>전자부품연구원

[bhsong@keti.re.kr](mailto:bhsong@keti.re.kr)

## A Node-disjoint Path Selection Algorithm in Mobile Ad Hoc Networks

Dongho Lee<sup>01</sup>, Byunghun Song<sup>2</sup>, Kwangsue Chung<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Electronics Engineering, Kwangwoon University, Korea

<sup>2</sup>Korea Electronics Technology Institute

### 요 약

모바일 애드혹 네트워크에서의 멀티패스 라우팅 프로토콜은 기존의 단일패스 라우팅 프로토콜에 비하여 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있고 혼잡을 완화시킬 수 있으며, 데이터 전달의 신뢰성을 제공할 수 있다. 하지만 멀티패스 라우팅 프로토콜에서의 경로 탐색 과정은 오버헤드가 크고 계산의 복잡도 또한 높다. 본 논문에서는 무선 애드혹 네트워크에서의 멀티패스 라우팅을 위한 효율적인 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 지연된 RREP(Route Reply) 패킷을 사용하여 최적의 노드 디스조인트 경로를 탐색하고 그중 간섭 및 충돌의 영향이 적은 경로 집합을 선택한다. 이를 통해 빠르게 트래픽을 분산시킬 수 있고 충돌로 인한 오류의 발생을 낮추어 신뢰성을 높일 수 있다. 실험을 통하여 제안하는 경로 탐색 알고리즘이 최적의 멀티패스를 선택함을 확인하였다.

### 1. 서 론

모바일 애드혹 네트워크란 무선통신 장비를 가진 두개 이상의 이동 단말이 액세스 포인트나 기지국과 같은 인프라스트럭처의 도움 없이 시간과 장소의 제약을 받지 않고 통신이 가능한 네트워크이다. 모바일 애드혹 네트워크에서 각 노드 간의 통신이 불가능할 경우 중간의 노드는 라우터의 역할을 수행하여 소스 노드의 데이터를 목적지 노드까지 전송하게 된다. 모바일 애드혹 네트워크의 장점은 위험 지역이나 전쟁 지역과 같은 곳에서도 쉽게 설치할 수 있으며 유연한 운용이 가능하다는 점이다. 이러한 특징으로 인해 모바일 애드혹 네트워크는 군사 목적이나 응급 상황, 재난 복구 등에 적합하며 이에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다 [1].

모바일 애드혹 네트워크는 노드들의 이동성으로 인해 네트워크의 구조가 수시로 변하는 특성을 가지고 있다. 따라서 네트워크 토폴로지 변화에 빠르게 적응할 수 있는 라우팅 프로토콜의 연구가 활발히 진행되었다 [2]. 또한 빠른 경로 탐색 및 복구, 신뢰성 향상을 위하여 위치

기반, 클러스터링 기반, 멀티패스 기반 등의 라우팅 프로토콜의 연구가 진행되고 있다.

멀티패스 라우팅 프로토콜은 기존의 단일패스 라우팅 프로토콜에 비하여 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있고, 버스트 데이터의 분산 및 혼잡 구간 회피를 통해 혼잡을 완화시킬 수 있으며, 데이터 전달의 신뢰성을 제공할 수 있다. 멀티패스의 연구 방향은 크게 대체 경로 이용을 통한 내고장성(Fault Tolerance) 제공과 분산된 멀티패스로의 동시 전송을 통한 로드밸런싱 제공으로 나눌 수 있다. 두 가지 연구 방향은 상이하지만 각각의 요구 사항에 부합하는 적절한 디스조인트(Disjoint) 경로를 탐색하는 것이 라우팅의 성능에 큰 영향을 미친다 [3].

트래픽 분산을 위한 멀티패스의 탐색에서는 모든 경로가 노드나 링크를 공유하지 않는 노드디스조인트(Node-disjoint) 경로를 탐색하는 것이 적합하다. 하지만 노드디스조인트 경로는 링크디스조인트(Link-disjoint) 경로에 비해 탐색이 복잡하고 오버헤드가 크다. SMR(Split Multipath Routing) [4]에서는 소스라우팅 기법을 사용하여 노드디스조인트 멀티패스를 탐색하지만 Greedy 전략을 사용하므로 언제나 최적의 결과를 얻을 수 없다. 또한, 각 경로 상의 노드 간의 간섭 및 충돌에 대한 고려가 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 트래픽 분산 기반의 멀티패스 라우팅

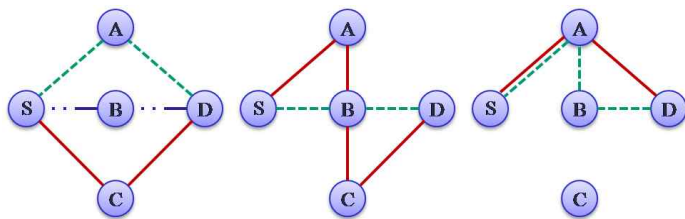
본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

프로토콜을 위한 개선된 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 지연된 RREP(Route Reply)를 사용하여 최적의 노드디스조인트 경로 집합을 탐색하고 이웃노드의 경로 탐색을 Overhearing하여 간섭 및 충돌의 영향이 적은 경로 집합을 선택한다. 이를 통해 최적의 경로를 통해 빠르게 트래픽을 분산시킬 수 있다.

본 논문의 2장에서는 멀티패스 라우팅에서의 경로 탐색에 대한 관련 연구를 기술하였고 3장에서는 제안하는 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘에 대해 상세히 기술하였다. 4장에서는 실험을 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하였으며 마지막으로 5장에서는 결론을 맺었다.

## 2. 관련 연구

멀티패스 라우팅 기법은 소스 노드와 목적지 노드 사이에 다수개의 경로를 탐색하고 이를 사용하며 유지 및 관리한다. 멀티패스 라우팅에서 각 경로의 관계를 노드디스조인트, 링크디스조인트 및 논디스조인트(Non-disjoint)로 나눌 수 있다. 노드디스조인트는 각 경로 사이에 노드나 링크의 공통이 없는 완벽히 분리된 경로를 의미한다. 이와 같은 노드디스조인트 경로의 사용은 높은 수준의 내고장성 및 로드밸런싱을 제공하지만 탐색 과정이 복잡하고 어려운 단점을 갖는다. 따라서 완벽히 분리된 경로를 통한 트래픽 분산이 필요한 경우 이용된다. 그림 1(a)는 노드디스조인트 경로의 예를 나타낸다. 링크디스조인트는 각 경로 사이에 링크의 공통은 없지만 노드의 공통은 있는 경우를 의미한다. 따라서 노드디스조인트 보다 경로 탐색은 쉽지만 노드의 고장에 다수개의 경로가 영향을 받는다. 그림 1(b)는 링크디스조인트의 예를 나타낸다. 논디스조인트는 각 경로 사이에 노드나 링크의 제약이 없는 경우를 의미한다. 따라서 대역폭 활용이 비교적 낮고 한 링크가 사용 불가능 할 경우 다수의 경로가 이에 대한 영향을 받을 수 있다. 하지만 탐색이 용이하여 많은 경로를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그림 1(c)는 논디스조인트의 예를 나타낸다 [3].



(a)노드디스조인트 (b)링크디스조인트 (c)논디스조인트  
그림 1 멀티패스 라우팅의 각 경로 간 상관관계

대표적인 멀티패스 라우팅 프로토콜인 AOMDV(Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector) [5]는 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) [2] 기반의 멀티패스 라우팅 프로토콜로 대체 경로의 탐색을 통해 빠른 경로 복구 및 내고장성을 제공한다. AOMDV는 RREQ(Route Request)패킷에 첫 번째 경로와 홉수를 저장하고 이를 각 중간 노드의 라우팅 테이블에 저장되어 있는

경로들과의 비교를 통해 링크디스조인트 경로를 탐색한다. AOMDV는 데이터 전송 과정에서 실패가 일어날 경우 재탐색 과정을 거치지 않고 미리 저장된 대체 경로를 통해 데이터를 전송하기 때문에 빠른 경로 복구가 가능하다. AOMDV는 AODV의 단순한 수정을 통하여 대체 경로를 탐색할 수 있고 이를 이용하여 내고장성을 제공할 수 있다. 따라서 많은 환경에서 AOMDV를 적용하고 수정하여 사용하고 있다 [6]. 하지만 AOMDV는 노드디스조인트 경로의 탐색은 제공하지 않으며 트래픽 분산을 위한 멀티패스 라우팅에 사용될 수 없다.

SMR(Split Multipath Routing) [4]과 NDMR(Node-disjoint Multipath routing Protocol) [7]은 DSR(Dynamic Source routing) [8]기반의 멀티패스 라우팅 프로토콜로 소스 라우팅의 특징을 이용하여 노드디스조인트 경로의 탐색을 제공한다. 즉 RREQ 패킷에 거쳐 온 모든 노드를 저장하고 목적지 노드에서 다수개의 RREQ 패킷에 포함된 경로를 분석하여 노드디스조인트 경로를 계산하고 이를 RREP를 통해 소스 노드에게 알려준다. 또한 중간 노드에서 수신된 RREQ 중 기존에 수신한 RREQ의 경로보다 홉수가 클 경우 해당 패킷을 드롭하여 라우팅 오버헤드를 감소시킨다. 목적지 노드는 첫 번째로 수신한 RREQ 패킷에 포함된 경로를 기본 경로로 선택하고 이에 대해 RREP 패킷을 전송하여 소스 노드에게 알리고 그 후에 도착한 RREQ 패킷의 경로를 기본 경로와 비교하여 노드디스조인트 경로일 경우 RREP 패킷을 통하여 소스 노드에게 알린다. 소스 라우팅 기반의 멀티패스 라우팅의 예는 그림 2와 같다.

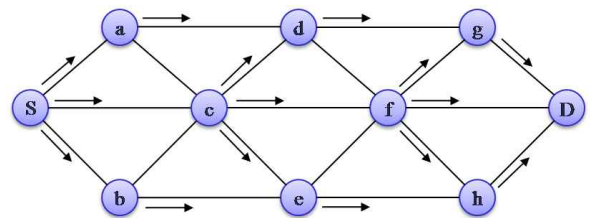


그림 2 소스 라우팅 기반 멀티패스 라우팅의 경로 탐색 과정

하지만 목적지 노드에서 최단 경로를 기본 경로로 하여 순차적으로 노드디스조인트 경로를 찾는 알고리즘은 Greedy 전략을 사용하므로 언제나 최적의 결과를 제공하지 않는다는 단점을 갖는다. 이로 인해 특정 네트워크의 토폴로지에서는 비효율적인 결과를 얻을 수도 있다. 또한 SMR 및 NDMR에서 라우팅에 의해 결정된 노드디스조인트 경로는 충돌 및 간섭에 대한 고려가 부족하다. 만약 두 노드디스조인트 경로의 노드들이 같은 충돌 영역(Collision Domain)에 존재할 경우 트래픽 분산의 성능을 저하시키는 요인이 된다.

## 3. 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘

제안하는 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘은 트래픽 분산을 위하여 최적화된 노드디스조인트 경로를 탐색한다. 또한 이웃 노드의 RREQ 패킷 전송을 Overhearing

하여 탐색된 각 경로 간의 간섭을 최소화하고 목적지 노드에서의 지연된 RREP 패킷 전송을 통해 기존 Greedy 전략 기반의 알고리즘의 단점을 보완한다. 3장에서는 경로 탐색의 각 과정을 통해 제안하는 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘을 기술한다.

### 3.1 경로 요청 과정

제안하는 알고리즘에서는 최적화된 노드디스조인트 경로를 탐색하기 위하여 RREQ 패킷에 경로를 구성하는 모든 노드의 정보를 포함하는 소스 라우팅 기반의 접근 방법을 사용한다. 소스 노드는 목적지 노드의 정보를 포함한 RREQ 패킷을 브로드캐스팅하고 이를 수신한 중간 노드는 자신의 라우팅 테이블을 참고하여 RREQ 패킷의 전송 여부를 결정한다. 즉, 중간 노드의 라우팅 테이블에 해당 목적지 노드를 탐색하기 위해 이미 저장된 소스 노드에서부터의 경로가 있을 경우, RREQ 패킷에 저장된 경로와의 홉 수를 비교하여 더 많은 홉을 거쳐 온 RREQ 패킷일 경우 컨트롤 오버헤드를 줄이기 위하여 버린다. 그 외의 경우 RREQ 패킷에 자신의 정보를 포함하여 브로드캐스팅한다. 그림 3은 소스 라우팅 기반의 RREQ 패킷의 전송을 나타낸다.

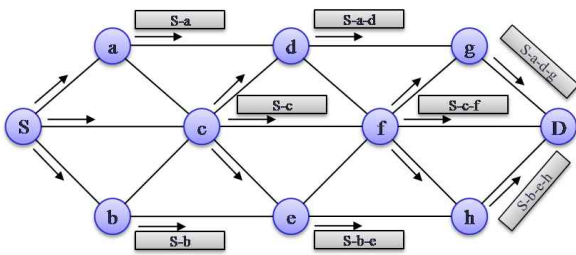


그림 3 소스 라우팅 기반의 RREQ 패킷 전송

각 경로의 간섭을 최소화하기 위하여 중간 노드는 경로 요청 과정중 이웃 노드가 브로드캐스팅하는 패킷을 Overhearing하여 자신과 충돌 영역에 있는 노드를 저장한다. 예를 들어 그림 3에서 노드 c의 충돌 영역에 있는 노드는 {a, b, d, e, f}가 된다. 저장된 노드 리스트는 경로 응답 과정에서 사용된다.

### 3.2 경로 선택 과정

RREQ 패킷이 목적지 노드에 도달할 경우 목적지 노드는 RREP 패킷을 통해 응답하게 된다. 하지만 SMR 프로토콜과 같이 가장 먼저 도달한 RREQ 패킷의 경로를 기본 경로로 설정하여 RREP 패킷을 전송하고 그 이후 도착하는 RREQ 패킷의 경로를 기본 경로와 비교하여 노드디스조인트 경로를 탐색할 경우 네트워크 토폴로지에 따라 최적의 결과를 찾지 못할 수 있다. 그림 4는 특정 토폴로지에서 SMR 프로토콜의 노드디스조인트 경로 탐색의 실패를 나타낸다.

그림 4와 같은 토폴로지에서 SMR 프로토콜이 경로를 탐색할 경우 홉수가 가장 적은 {S, b, d, D}가 기본 경로로 선택되고 즉각적으로 RREP 패킷이 전송이 된다. 그 이후 도착하는 경로인 {S, a, d, e, D}와 {S, b, c, f, D}는 기본 경로와 노드디스조인트 관계가 아니므로 선택될

수 없다. 따라서 SMR 프로토콜의 경우 노드디스조인트 멀티패스를 찾지 못한다.

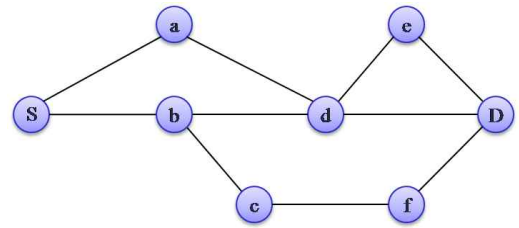


그림 4 SMR 프로토콜에서 노드디스조인트 경로 탐색 실패의 예

제안하는 멀티패스 탐색 알고리즘에서는 기본 경로 설정으로 인한 노드디스조인트 경로 탐색의 실패를 해결하기 위하여 목적지 노드에서 RREP 패킷의 전송을 지연시켜 모든 RREQ 패킷을 수신하였다고 판단될 경우에 노드디스조인트 경로를 탐색한 후 RREP 패킷을 순차적으로 전송한다. RREQ 패킷 수신을 위한 지연 시간  $\Delta$ 는 1 홉 전송 시간인  $t_{trans}$ 과 네트워크 사이즈인  $N$ 을 고려하여 수식 1과 같이 계산한다.

$$\Delta = t_{trans} \times N \quad (1)$$

$\Delta$  시간 동안 수집된 RREQ 패킷을 통해 목적지 노드는 노드디스조인트 경로의 집합을 계산한다. 예를 들어 그림 4의 토폴로지에서 목적지 노드는 {{S, b, d, D}, {S, a, d, e, D}, {S, b, c, f, D}}의 경로 중에서 {S, a, d, e, D}와 {S, b, c, f, D}이 노드디스조인트 관계임을 계산하고 두 경로를 소스 노드에 응답한다.

### 3.3 경로 응답 과정

멀티패스를 선택한 목적지 노드는 RREP 패킷을 통해 소스 노드에 각각의 경로를 알린다. RREP 패킷의 포맷은 그림 5와 같다. RREP 패킷에는 탐색된 모든 노드디스조인트 경로가 저장된다. 즉, 탐색된 n개의 경로에 대해 ID를 부여하여 이를 Route ID 필드에 저장하고 Node List 필드에 경로에 속한 모든 노드 ID를 저장한다. DOI(Degree of Interference)는 해당 경로와 다른 n개의 경로 사이의 간섭 정도를 수치로 나타낸 것으로 목적지 노드에서는 0으로 초기화된다. RREP 패킷은 탐색된 n개의 경로로 유니캐스트되어 소스 노드에 도착한다.

Type	Src	Dest	Hopcount	Route ID 1	Node list 1	DOI 1	DOI 2	...	DOI n
				Route ID 2	Node list 2	DOI 1	DOI 2	...	DOI n
				...					
				Route ID n	Node list n	DOI 1	DOI 2	...	DOI n

그림 5 제안 알고리즘의 RREP 패킷 포맷

RREP 패킷을 수신한 중간노드는 자신이 속한 경로와 다른 경로 간의 DOI 값을 DOI 필드에 추가한다. 예를

들어 그림 3의 토폴로지에서 Node list 1은 {S, a, d, g, D}, Node list 2는 {S, c, f, D}, Node list 3은 {S, b, e, h, D}일 경우, 노드 c는 저장된 충돌 영역의 노드 {a, b, d, e, f}를 고려하여 Node list 2의 DOI 1에 2를 더하고 DOI 3에 2를 더한다. RREP 패킷이 노드 S에 도착하였을 경우 수집된 경로 정보는 표 1과 같다. 경로 정보를 통해 소스 노드는 DOI 값이 가장 작은 경로의 쌍을 선택하게 된다. 표 1의 경우, 소스 노드는 경로 1과 경로 3의 각 노드는 서로 충돌 영역에 속하는 노드가 하나도 없기 때문에 소스 노드는 경로 1과 경로 3을 선택하여 트래픽 분산을 수행한다. 두 경로에서의 각 링크는 링크 계층에서의 전송 억제를 받지 않으므로 더 빠르게 데이터를 전송할 수 있고 충돌로 인한 오류 또한 발생하지 않아 신뢰성을 높일 수 있다.

표 1 소스 노드에서의 RREP 수신 정보

Route ID	Node list	DOI 1	DOI 2	DOI 3
1	S, a, d, g, D	-	4	0
2	S, c, f, D	4	-	4
3	S, b, e, h, D	0	4	-

#### 4. 실험 및 성능 평가

제안하는 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 NS-2 [9]를 이용하여 SMR 프로토콜의 경로 탐색 알고리즘과 제안하는 알고리즘을 구현하여 실험을 수행하였다. 실험을 위한 파라미터는 표 2와 같다.

표 2 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Network size	1000 m x 1000 m
Transmission range	250 m
Number of nodes	50, 100, 150, 200
Channel capacity	2 Mb/s
Packet rate	8 packets/sec
Packet size	256 bytes

그림 6은 네트워크의 노드 수를 변화시켰을 때 각 알고리즘의 목적지 노드에서 선택되는 노드디스조인트 경로의 수를 나타낸다. 노드 수가 많아질수록 두 알고리즘 모두 더 많은 노드디스조인트 경로를 찾는다. 노드 수가 50일 때는 네트워크에서 생성되는 링크의 수가 제한적이기 때문에 두 알고리즘이 같은 경로를 선택하게 된다. 노드 수가 100일 때는 SMR이 선택한 기본 경로의 사용에 의해 최적의 결과를 얻지 못하는 현상이 나타났다.

반면 제안하는 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘은 RREP의 지연을 통해 모든 경로 정보를 수신한 후 경로를 선택하게 되므로 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

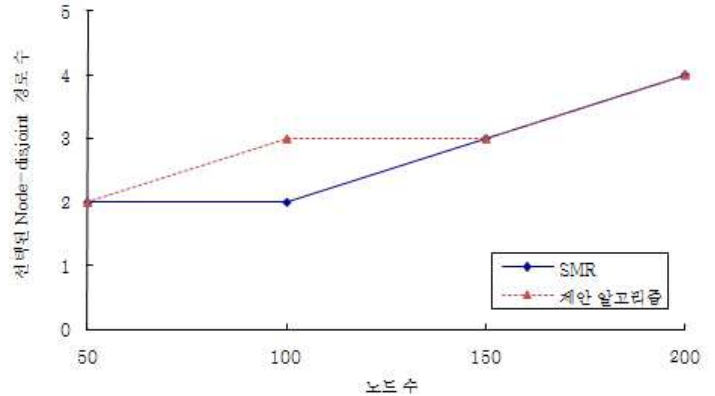


그림 6 노드 수 변화에 따른 선택된 노드디스조인트 경로 수 비교

그림 7은 두 개의 노드디스조인트 경로를 사용할 경우 각 경로간의 간섭 정도를 DOI 값으로 나타낸 그래프이다. 제안하는 알고리즘에서는 소스 노드에서 RREP를 수신한 후 간섭을 최소화 할 수 있는 두 개의 경로를 선택한다. 반면 SMR은 최단 경로인 기본 경로와 그 후 가장 먼저 도착한 경로를 사용한다. SMR과 같이 빠른 경로를 선택할 경우, 선택된 두 경로는 비교적 가까운 위치에 있기 때문에 높은 DOI 값을 갖게 된다. 반면 안하는 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘은 경로 요청과 경로 응답의 과정에서 충돌 영역의 노드를 루트 선택 시, 이를 고려하기 때문에 낮은 DOI 값을 유지할 수 있었다. 네트워크의 노드 수가 많아질수록 소스 노드와 목적지 노드 주변의 밀집도가 커지므로 제안하는 알고리즘에서도 노드 수가 많아질수록 DOI 값이 증가하게 된다.

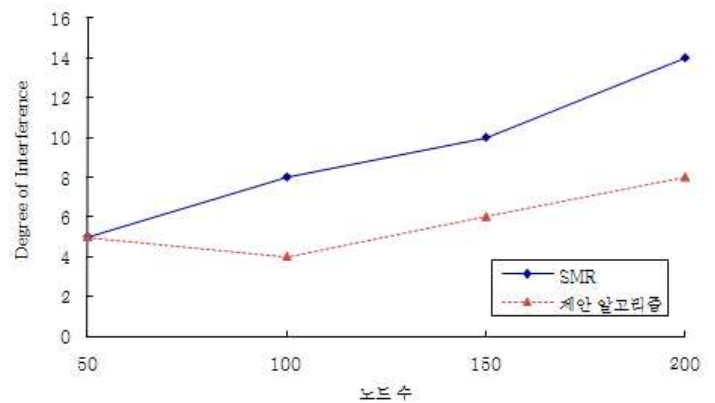


그림 7 노드 수 변화에 따른 DOI 값 비교

## 5. 결론 및 향후 과제

트래픽 분산을 위한 멀티패스 라우팅 프로토콜에서는 적절한 디스조인트 경로를 탐색하는 것이 성능에 큰 영향을 미친다. 하지만 기존의 멀티패스 라우팅 프로토콜은 목적지 노드에서 Greedy 전략을 사용하여 경로를 선택하기 때문에 최적의 결과를 얻을 수 없다. 또한 각 경로 간 충돌 및 간섭에 대한 고려가 부족하였다.

본 논문에서는 트래픽 분산기반의 멀티패스 라우팅의 성능 개선을 위한 노드디스조인트 경로 탐색 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 경로 선택 과정을 개선하여 최적의 디스조인트 경로 집합을 선택할 수 있도록 하였다. 또한 각 경로에 속한 노드의 전송 범위를 고려하여 충돌 및 간섭의 영향을 최소화할 수 있도록 하였다. 실험을 통하여 제안하는 경로 탐색 알고리즘이 최적의 멀티패스를 선택함을 확인하였다.

향후, 제안한 멀티패스 탐색 알고리즘을 QoS(Quality of Service) 지원이 가능하도록 확장하고자 한다. 또한 멀티패스 라우팅에서 효율적인 트래픽 분산을 위한 트래픽 할당 기법을 연구하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Rubinstein, I. Moraes, M. Campista, L. Costa, and C. Duarte, "A Survey on Wireless Ad Hoc Networks," *Mobile and Wireless Communication Networks*, vol. 211/2006, pp. 1-33, August 2006.
- [2] C. Perkins and E. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," *In Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications*, vol. 1, no. 4, pp. 90-100, February 1999.
- [3] S. Mueller, R. Tsang, and D. Ghosal, "Multipath Routing in Mobile Ad Hoc Networks: Issues and Challenges," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2965, pp. 209-234, April 2004.
- [4] S. Lee and M. Gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks," *In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, pp. 3201-3205, June 2001.
- [5] M. Marina and S. Das, "On-Demand Multi Path Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks," *In Proceedings of the 9th International Conference on Network Protocols*, pp. 14-23, November 2001.
- [6] Y. Chen, Z. Xiang, W. Jian, and W. Jiang, "A Cross-Layer AOMDV Routing Protocol for V2V Communication in Urban VANET," *In Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, pp. 353-359, December 2009.
- [7] X. Li and L. Cuthbert, "On-demand Node-Disjoint Multipath Routing in Wireless Ad Hoc Networks," *In Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, pp. 419-420, November 2004.
- [8] J. Broch, D. Johnson, and D. Maltz, "The Dynamic Source Protocol for Mobile Ad hoc Networks," *IETF Internet draft*, October 1999.
- [9] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.