

이동 Ad-hoc 네트워크를 위한 가상 클러스터 방식의 경로 설정 프로토콜

정회원 안창욱*, 강충구**

Virtual Cluster-based Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks

Ahn Chang Wook*, Kang Chung Gu** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 이동 ad-hoc 네트워크(Mobile Ad-hoc Networks)에서 인접 단말(node)간에만 경로 설정 정보를 교환하는 협의의 네트워크인 가상 클러스터(Virtual Cluster)를 정의하고, 이를 기반으로 하는 새로운 형태의 혼합 방식 경로 설정 프로토콜(Virtual Cluster-based Routing Protocol: VCRP)을 제안한다. 이는 단말이 전체 네트워크의 구성 및 비용 정보를 알고 즉시 경로를 설정할 수 있는 Proactive Routing Protocol (PRP)이 갖는 짧은 전송 지연시간의 장점과 모든 단말이 자신을 제외한 어떠한 단말과도 정보를 교환하지 않고 단지 경로탐색 패킷(Route Query Packet)에 의존하여 동작하는 Reactive Routing Protocol (RRP)이 갖는 우수한 오버헤드 효율성의 장점을 동시에 만족하도록 설계된 방식이다. 이는 경로탐색 패킷이 가상 클러스터가 갖는 장점을 이용하여 적은 오버헤드로 신속하게 네트워크 토폴로지 정보의 수집이 가능한 형태로 수정된 전파(flooding) 기법에 기인한 것이다. 또한, 제안 방식은 수집된 정보를 기반으로 최적 경로뿐만 아니라 부수적으로 백업 경로를 동시에 파악할 수 있기 때문에 이를 이용하는 프로토콜(Virtual Cluster-based Routing Protocol with Backup Route: VCBRP)도 고려하였다. VCRP와 VCBRP 방식은 네트워크 토폴로지 변화에 대해 강인한 특성을 지니며, 동시에 패킷 전송 지연(Packet Transfer Delay), 링크 단절률(Link Failure Ratio), 그리고 무선 자원 수율(Throughput) 및 오버헤드 효율성의 성능이 기존의 경로 설정 프로토콜들에 비해 우수함을 모의 실험을 통해 검증했다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new hybrid type of the routing protocol (Virtual Cluster-based Routing Protocol: VCRP) for mobile ad-hoc networks, based on a virtual cluster, which is defined as a narrow-sense network to exchange the basic information related to the routing among the adjacent nodes. This particular approach combines advantage of proactive routing protocol (PRP), which immediately provides the route collecting the network-wide topological and metric information, with that of reactive routing protocol, which relies on the route query packet to collect the route information on its way to the destination without exchanging any information between nodes. Furthermore, it also provides the back-up route as a byproduct, along with the optimal route, which leads to the VCBRP (Virtual Cluster-based Routing Protocol with Backup Route) establishing the alternative route immediately after a network topology is changed due to degradation of link quality and terminal mobility. Our simulation studies have shown that the proposed routing protocols are robust against dynamics of network topology while improving the performances of packet transfer delay, link failure ratio, and throughput over those of the existing routing protocols without much compromising the control overhead efficiency.

* 광주과학기술원(K-JIST) 정보통신공학과

** 고려대학교 정보통신대학 전파통신공학과

논문번호: K01124-0501, 접수일자: 2001년 5월 1일

※ 본 논문은 과학재단 특정기초(과제번호 R01-1999-00239 -0) 지원 사업에 의해 수행된 연구 결과의 일부임

I. 서론

이동 ad-hoc 네트워크(Mobile ad-hoc network)는 이동 단말들간의 다중 홉(multi-hop)을 통해 패킷 통신이 이루어지는 무선 네트워크로서, 경제적인 측면에서 유선 네트워크를 구성하기 어렵거나 또는 네트워크를 구성한 후에 단기간 사용하는 경우에 적합한 네트워크 구성 방식으로 고려되고 있다. 특히, 네트워크 단말의 이동에 따른 제약이 상대적으로 적고, 별도의 기간망과 중앙의 접속점(access point)이 필요하지 않기 때문에 네트워크의 구성이 신속하고 망 구축 비용이 저렴한 것을 장점으로 들 수 있다¹⁾. 따라서, 전시에 필요한 군사적인 용도에 서부터 학교, 병원, 생산공장, 전시장, 응급 구조 상황 등 매우 다양한 분야에 적용 가능하며, 이동 단말의 급증과 관련 응용 서비스의 출현에 따라 그 필요성도 높아지고 있다^{1,2)}. 또한, IEEE 802.11 및 Bluetooth 등과 같은 무선 LAN 및 초단거리 통신을 표준 규격에서도 이와 같은 이동 ad-hoc 방식의 망 구성을 기본적으로 지원하고 있다.

이동 ad-hoc 네트워크는 기존의 유선 네트워크와는 달리 무선 매체를 이용하여 통신을 수행하기 때문에 주파수 재활용 및 공유에 따른 사용자간의 간섭이 발생하고 외부의 전파 환경에 따른 신호의 감쇠가 심각할 수 있으며, 이동 단말의 특성상 제한된 전력을 사용해야 하므로 링크 구성에 있어서 많은 제약이 따른다. 한편, 이동 ad-hoc 네트워크에서는 모든 단말의 통신이 중앙의 접속점(access point)을 통하지 않고 단순히 다른 단말들의 릴레이 기능을 통해 다중 홉을 경유하여 종단간(end-to-end) 데이터 전송이 수행된다. 따라서, 최소의 종단간 지연시간으로 패킷을 목적지 단말까지 전송하기 위해 어떤 단말들을 경유할 것인가를 결정할 수 있도록 하는 경로 설정(routing) 프로토콜이 매우 중요한 기능으로 고려된다^{1,2)}. 특히, 이동 ad-hoc 네트워크에서의 경로는 단말의 이동과 무선 링크의 품질 저하로 인하여 수시로 단절이 발생할 수 있기 때문에 경로 설정 프로토콜은 네트워크 토폴로지의 변화에 신속하게 대처하여 지속적으로 통신이 가능하도록 새로운 경로를 재설정할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 네트워크 토폴로지 변화에 신속하게 적응하면서 제어 신호에 따른 오버헤드를 감소 시키면서 동시에 전송 지연시간과 네트워크의 자원 이용률을 향상시킬 수 있는 새로운 경로 설정 프로

토콜을 제안한다. 본 제안 방식에서는 인접 단말 (node)간에만 경로 설정 정보를 교환하는 협의의 네트워크인 가상 클러스터(Virtual Cluster) 개념을 도입하고, 이를 기반으로 하는 경로설정 프로토콜 (Virtual Cluster-based Routing Protocol: VCRP)을 제안한다. 이는 단말이 전체 네트워크의 정보를 알고 즉시 경로를 설정할 수 있는 기존의 PRP (proactive routing protocol)가 갖는 짧은 전송 지연 시간의 장점과 모든 단말이 자신을 제외한 어떠한 단말의 정보도 공유하지 않고 단지 경로탐색 패킷에만 의존하여 동작하는 기존의 RRP (reactive routing protocol)가 갖는 우수한 오버헤드 효율성의 장점을 동시에 고려한 접근 방법이다. 기존 두 부류의 장점을 동시에 취할 수 있도록 설계될 수 있는 이유는 경로탐색 패킷이 가상 클러스터가 갖는 장점을 이용하여 적은 오버헤드로 신속하게 네트워크 토폴로지 정보의 수집이 가능한 형태로 전형적인 전파(flooding) 기법이 수정되었기 때문이다.

본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 방식에 대한 성능 분석을 수행하였으며, 또한 기존의 제안 방식과 성능을 비교한다. 한편, 경로가 단절된 경우에 열악해지는 전송 지연 성능에 대해서 추가적인 오버헤드 효율성의 극심한 저하를 유발시키지 않으면서 대처할 수 있도록 백업 경로를 고려한 방식 (Virtual Cluster-based Routing Protocol with Backup Route: VCBRP)에 따른 성능 분석도 추가로 고려하였다.

본 논문의 II절에서는 기존 경로 설정 방식에 대해 서술하고, 각 방식이 갖는 한계점을 고찰하였다. 한편, III절에서는 가상 클러스터의 개념과 VCRP 및 VCBRP의 네트워크 구성, 그리고 주어진 출발지-목적지 쌍(pair)에 대한 구체적인 프로토콜 동작 절차로서 네트워크 토폴로지 정보의 수집, 경로 설정, 그리고 단절된 경로의 유지 및 보수 절차에 대해서 기술한다. 그리고, IV절에서는 제안 경로 설정 프로토콜에 대한 시뮬레이션 결과 및 비교 분석을 수행하고, 마지막으로 V절에서는 결론을 맺는다.

II. 기존 경로 설정 프로토콜의 고찰

이동 Ad-hoc 네트워크의 경로 설정 방법은 크게 Proactive Routing Protocol (PRP)과 Reactive Routing Protocol (RRP), 그리고 이 두 방식을 절충한 Hybrid Routing Protocol (HRP)로 구분된다^{1,2)}.

PRP는 각 단말이 네트워크의 모든 단말들에 대한 경로 설정 정보를 유지하며, 네트워크 토폴로지 변화에 따라 경로 설정 정보를 망 전체로 빈번하게 전파(flooding)하는 방법으로서, 거리-벡터(Distance-Vector) 프로토콜 계열이 PRP의 대표적인 예이다^{13,41}. 이 방식에서는 각 단말의 전체 혹은 부분적인 라우팅 테이블을 모든 단말들에게 전파하기 위해 많은 오버헤드가 요구된다. 하지만, 각 단말은 네트워크 토폴로지 정보를 알고 있으므로 경로가 요구되는 즉시 경로 설정이 가능하기 때문에 경로 단절시에 경로의 재설정까지 소요되는 시간이 매우 짧아서 음성과 같은 실시간 서비스를 지원하는데 적합한 구조를 가지고 있다^{11,21}. 하지만, PRP는 경로 설정 정보의 흐름을 지속적으로 유지하기 위해서 많은 오버헤드를 사용하므로 높은 비율의 네트워크 자원을 소모하고, 잦은 정보 교환에 따른 극심한 단말기의 전력 소모를 초래하기 때문에 네트워크 토폴로지 변동이 빈번히 발생하는 이동 ad-hoc 네트워크 환경에 적합하지 않다. PRP는 모든 단말이 라우팅 테이블의 갱신을 통해 모든 네트워크 토폴로지를 알고 있기 때문에 최적의 경로를 찾을 수 있다. 그러나, 단말의 높은 이동성 및 무선 채널의 급격한 품질 저하에 의해 네트워크 환경이 열악해질 경우, 갱신되는 대부분의 라우팅 테이블 정보가 사용되지 못하고 다시 갱신되는 경향이 발생하기 때문에 자원의 무의미한 낭비가 초래되고, 경로의 최적성은 기하급수적으로 하락한다^{11,21}. 그리고, 대규모 네트워크 환경에서는 한 단말의 이동으로 인해 변화된 네트워크 토폴로지 정보를 전체 네트워크에 전파해야 하므로 심각한 비율의 자원 소모가 초래된다²¹. 대표적인 PRP로는 DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) 프로토콜³¹과 WRP (Wireless Routing Protocol)⁴¹가 있다.

한편, RRP는 경로탐색을 위한 제어 패킷(route query packet)을 전파하여 출발지와 목적지간의 적정 경로를 발견하는 방법으로서, 일반적인 전파 탐색(flooding search) 방식이 대표적인 예이다⁵⁻⁸¹. 그리고, 경로를 구성하는 단말들만이 경로 설정 정보를 유지하기 때문에 우수한 오버헤드 효율성을 보유했지만, 네트워크의 다른 단말들은 어떠한 정보도 공유하지 않기 때문에 경로 설정 및 재경로 설정시 많은 시간이 소요되어 실시간 서비스에 적합하지 않다^{11,21}. 또한 RRP에서는 목적지 단말에 가장 빨리 도착하는 경로탐색 패킷을 기준으로 경로가 설정되는데, 이는 일반적으로 링크 품질이 우수하면서 적

은 수의 단말을 거쳐가는 경로이다. 하지만, 실질적으로는 각 링크들의 전체 비용(cost)의 합을 최소화 하는 최적 경로를 고려해야 하며, 이를 위해서는 링크 비용의 변수인 단말의 속도(mobility), 전력(power), 무선 매체의 품질, 그리고 큐(queue) 정보 등이 전반적으로 반영되어야 한다. 대표적인 RRP로는 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) 프로토콜⁵¹, DSR (Dynamic Source Routing) 프로토콜⁶¹, TORA (Temporary Ordered Routing Algorithm)⁷¹, 그리고 ABR (Associativity-Based Routing) 프로토콜⁸¹이 있다.

마지막으로, HRP는 PRP와 RRP를 절충한 방식으로서, 경로 설정을 위한 오버헤드 효율성 및 경로의 최적성을 향상시키고 전송 지연시간을 줄일 수 있는 기법이다. 최근 들어, 이와 같은 혼합 방식이 이동 ad-hoc 네트워크에 적합한 접근 방법으로 관심이 집중되고 있으며²¹, 대표적인 HRP로는 ZRP (Zone Routing Protocol)를 들 수 있다^{9,101}. 하지만, HRP는 클러스터 헤더(cluster header)의 설정 및 네트워크 토폴로지를 관리하는 절차가 복잡하며, 클러스터 헤더의 소멸 및 전체 네트워크 토폴로지 변화가 극심할 경우에는 재클러스터링(re-clustering)에 많은 시간 및 오버헤드가 소요된다. 또한, 클러스터 헤더(cluster header)와 게이트웨이(gateway)에만 트래픽이 편중하여 과부하가 발생하게 되는 문제점과 클러스터 내부는 PRP를 사용하므로 여전히 많은 비율의 제어 오버헤드를 사용하는 문제점이 존재한다.

본 논문에서는 PRP와 RRP 방식이 갖는 한계를 고려하여 극심한 오버헤드의 낭비를 초래하지 않으면서 신속하게 네트워크 토폴로지 정보를 목적지 단말로 전달 가능한 방식을 제안하고자 한다. 이를 위해 기본적으로 HRP를 고려하며, 궁극적으로 오버헤드 성능은 RRP 방식에 근접하면서 전송 지연 및 경로의 최적성에 대한 성능은 PRP 방식에 근접할 수 있는 새로운 방식의 HRP를 제시하고자 한다.

III. 가상클러스터 기반의 경로 설정 프로토콜

1. 가상클러스터의 개념 및 구성 절차

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 물리적으로는 RRP처럼 각 단말들이 동일한 계층(layer)에 존재하므로 어떠한 계층적 구조를 가지지 않지만, 가상적으로는 HRP에서 고려되는 클러스터(cluster)와 같은 계층적 구조를 갖는다. 즉, 제안 프로토콜에서 모든 단말은 개념적으로 클러스터 헤더(cluster

header), 게이트웨이(gateway), 그리고 클러스터의 소속 단말(member node)이라는 세 역할을 모두 수행하게 된다. 여기서 클러스터(cluster)란 클러스터 헤더, 게이트웨이, 그리고 클러스터 소속 단말들의 집합을 의미하며, 클러스터 헤더가 해당 클러스터 내에 있는 단말들의 정보를 수집하여 네트워크를 운영하는 협의의 네트워크로 정의할 수 있다.

우선, 가상 클러스터를 정의하기에 앞서 대표적인 HRP 기법인 ZRP를 고려하자. ZRP는 자신을 중심으로 통신 반경(zone radius) 내에 위치하는 단말들과 정보를 공유하여 라우팅 존(Routing Zone)을 구축한다. 여기서 라우팅 존은 기존 HRP 방식에서의 클러스터와 동일하다. 출발지 단말은 경로 탐색 패킷을 라우팅 존의 가장 자리에 위치하는 주변 단말들(peripheral nodes)로 방송(broadcast)하고, 이를 수신한 주변 단말들은 자신의 라우팅 존 내부의 주변 단말들로 다시 방송한다. 이러한 절차를 자신의 라우팅 존 내부에 목적지 단말이 존재 할 때까지 수행한다. 여기서, 주변 단말은 기존 HRP 방식에서의 게이트웨이 (gateway)와 동일하다. 즉, 라우팅 존 간에는 RRP 기법을 사용하여 최단 라우팅 존을 경유하여 목적지 단말에 이르는 일련의 라우팅 존 열(sequence)을 찾는다. 그리고, 라우팅 존 내부에서는 PRP 기법을 사용하여 라우팅 존 사이를 연결하는 최단 경로를 계산한다. 따라서, ZRP는 라우팅 존 내부에서는 PRP를 사용하고, 라우팅 존 간에는 RRP 사용하는 프로토콜로써, 경로 설정을 위한 오버헤드 효율성과 경로의 최적성을 향상시키고 전송 지연시간을 줄일 수 있는 기법이다. 하지만, 라우팅 존을 관장하는 단말(i.e., 기존 HRP 방식에서의 클러스터 헤더와 동일함) 설정 알고리즘이 복잡하고, 네트워크 토폴로지를 관리하는 절차가 복잡하며, 라우팅 존의 관장 단말이 소멸한 경우 또는 네트워크 토폴로지 변화가 극심할 경우에는 라우팅 존을 재구축하는데 있어서 많은 시간 및 오버헤드가 소요된다. 또한, 라우팅 존의 관장 단말과 주변 단말들(peripheral nodes)에만 트래픽이 편중하여 과부하가 발생하게 되는 문제점과 클러스터 내부의 PRP의 사용으로 인해 초래될 수 있는 많은 비율의 제어 오버헤드를 사용하는 문제점이 존재할 수 있다. 또한, ZRP에서는 성능의 최적화를 위해 네트워크 토폴로지 변화에 따른 최적의 통신 반경을 설정하여 라우팅 존의 크기를 적응적으로 변화시킬 수 있다. 즉, 네트워크가 안정적일 경우에는 우수한 오버헤드 효율성을 보유할 수 있으므로 라

우팅 존의 크기를 증가시켜서 PRP의 의존도를 높여 경로의 최적성 및 전송 지연 성능을 향상시킨다. 그리고, 네트워크가 불안정할 경우에는 큰 라우팅 존에서 오버헤드의 효율성이 급속히 열악해지므로 라우팅 존의 크기를 감소시켜서 RRP의 의존도를 높여 오버헤드 효율성의 저하를 방지한다. 하지만, 이동 ad-hoc 네트워크와 같이 역동적 이동성을 갖는 무선 단말들로 구성된 네트워크 환경에서는 적응적으로 라우팅 존을 구축하기 위해 소요되는 오버헤드가 극심할 수 있고, 이를 지원할 수 있는 복잡한 알고리즘이 요구된다.

한편, ZRP에서 네트워크 토폴로지가 매우 역동적인 경우에는 존 영역(zone radius)이 1홉으로 설정되며, 이는 1홉의 거리에 존재하는 단말들로만 구성된 라우팅 존(routing zone)을 구축하게 된다. 이러한 형태의 협의의 네트워크는 본 논문에서 제안하는 가상 클러스터(Virtual Cluster)와 동일하다. 즉, 자신을 중심으로 1홉의 반경으로 구성된 단말들의 집합을 가상 클러스터라고 정의한다. 이러한 구조는 네트워크의 모든 단말들이 동일한 동작을 수행하기 때문에 특정 단말에 편중하여 부하를 주지 않고(기존의 클러스터 방식에서는 클러스터 헤더 역할을 하는 단말에 부하가 집중될 수 있음), 클러스터를 구축 및 관리할 수 있는 형태이다. 하지만, 존 반경을 1홉으로 설정하고 ZRP를 적용했을 경우에는 전형적인 전파 탐색(flooding) 기법을 사용하는 RRP와 동일한 동작을 수행하기 때문에 ZRP가 추구하는 절충적 효과를 얻을 수 없을 뿐만 아니라, 라우팅 존 내부 단말간의 정보 교환을 위해 추가적으로 오버헤드를 사용하게 되는 문제점이 있다.

그러나, 네트워크의 모든 단말은 자신을 중심으로 1홉 이내의 모든 네트워크(i.e., 가상 클러스터) 정보를 알고 있으므로, 이를 이용하는 수정된 전파 탐색 프로토콜(Modified Flooding Search Protocol)을 고려할 수 있다. 따라서, 모든 단말들은 자신의 가상 클러스터의 모든 정보를 알고 있기 때문에 RRP가 활성화시킨 경로 탐색 패킷(Route Query Packet)이 특정 단말을 경유하면 그 단말의 가상 클러스터 내부의 모든 정보를 수집할 수 있다. 즉, 네트워크에 존재하는 모든 단말들을 방문하지 않고, 선택적으로 수 개의 단말을 방문하는 것만으로도 모든 네트워크 정보를 획득할 수 있게 된다. 이와 같은 원리로 인하여 목적지 단말은 자신을 향해 방송한 경로 탐색 패킷으로부터 네트워크의 정보를 수집할 수 있고, 이러한 정보를 PRP 기법(ex,

Dijkstra 알고리즘)을 적용하여 최적 경로를 계산할 수 있다. 즉, RRP 기법을 이용하여 네트워크 정보를 수집하기 때문에 사용되는 오버헤드를 최소화할 수 있고, 네트워크 정보를 획득한 상태에서 PRP 기법을 이용하여 최적 경로를 계산하기 때문에 경로의 최적성과 전송 지연 성능을 극대화할 수 있다. 위의 일련의 개념들은 제안 경로 설정 프로토콜의 핵심적인 동작 원리이다. 결론적으로 이동 ad-hoc 네트워크에서 최적 경로를 얻기 위해서는 네트워크 토폴로지 정보의 신속한 획득이 무엇보다도 중요하며, 이러한 측면에서 볼 때 전형적인 전파(flooding) 기법을 이용하여 네트워크 토폴로지 정보를 수집하기 어렵기 때문에(정보 수집을 위해서는 경로 탐색 패킷이 모든 단말이 아닌 모든 링크를 경유해야 하며, 이때 어떠한 경로 탐색 패킷도 폐기되지 않아야 함), 본 논문에서는 이를 위해 가상 클러스터를 구축하고 가상 클러스터의 특성을 이용하여 효율적으로 네트워크 토폴로지 정보를 수집할 수 있도록 수정된 전파 기법을 제안했다.

한편, 본 논문에서 고려하는 가상 클러스터의 구성 알고리즘 및 구성 형태는 각각 그림 1-(a)와 그림 1-(b)와 같다. 그림 1-(a)은 알고리즘 및 프로토콜의 동작 절차 검증에 널리 이용되는 SDL 패키지로 작성되었다.

그림 1-(a)에서 볼 수 있듯이, 활성화된 모든 단말은 자신이 선택한 시간 동안 주변 단말이 방송(broadcast)한 등록 요청(registration request) 패킷의 수신을 대기한다. 만약, 해당 시간 내에 등록 요청 패킷을 수신하게 되면, 자신의 가상 클러스터 토폴로지 정보를 새롭게 갱신하고 자신의 정보를 등록 확인 응답(registration response) 패킷에 기재하여 전송함으로써 서로를 자신의 가상 클러스터 소속 단말로 인지한다. 한편, 이동 ad-hoc 네트워크상의 모든 단말들은 다른 단말들로부터 자신이 선택한 시간 내에 어떠한 정보도 받지 못 했을 경우에, 자신의 정보를 등록 요청(registration request) 패킷에 기재하여 방송한 후, 등록 확인 응답(registration response)의 수신을 대기한다. 등록 확인 응답을 수신했을 경우에는 자신의 가상 클러스터 토폴로지 정보를 새롭게 갱신하고, 확인 응답 제한시간을 초과하지 않았을 경우에는 재차 등록 확인 응답의 수신을 대기한다. 만약, 확인 응답 제한시간 동안 2개 이상의 등록 확인 응답을 수신하지 못 했을 경우에는 가상 클러스터로서의 자격을 갖추지 못함을 인지하고, 통신 반경을 증가한 후에 가상 클러스터 형

성 절차를 재차 수행한다. 즉, 특정 단말이 경로 구성에 참여하기 위해 필요한 최소한의 링크의 수는 2개이므로(특정 단말을 중심으로 하나의 링크는 입력 링크를 구성해야 하고, 다른 하나의 링크는 출력 링크를 구성해야 함), 이러한 절차를 최소 2개 이상의 단말로부터 등록 확인 응답을 수신할 때까지 반복한다.

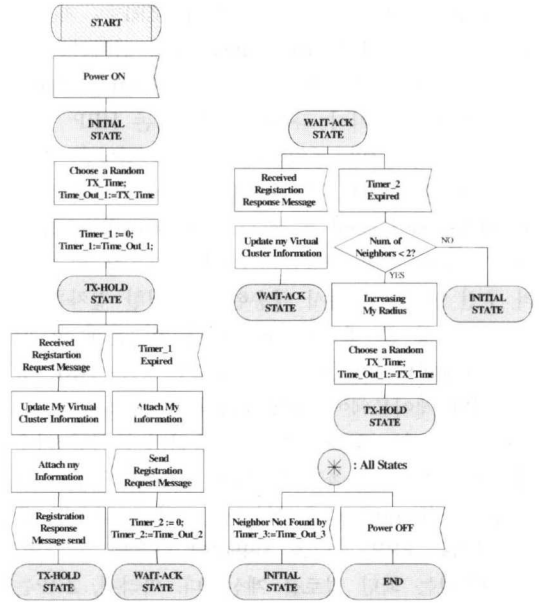


그림 1-(a). 가상 클러스터 구성 알고리즘

한편, 그림 1-(b)에 예시된 것처럼, 단말 A와 단말 B에서 가상 클러스터의 구성 절차가 완료되었을 경우, 단말 A와 단말 B는 자신을 중심으로 1홉(hop)의 반경에 위치하는 단말들의 ID, 이동성 및 큐 길이 정보, 그리고 자신과 연결된 링크들의 정보를 알게 되며, 이들로 구성된 가상 클러스터를 구축한다. 즉, 이동 ad-hoc 네트워크상의 모든 단말들은 자신을 중심으로 1홉의 반경으로 구성된 가상 클러스터를 갖게 된다. 따라서, 네트워크의 모든 단말은 동일한 동작을 수행하기 때문에 특정 단말에 편중하여 부하를 주지 않고(기존의 클러스터 방식에서는 클러스터 헤더 역할을 하는 단말에 부하가 집중될 수 있음), 클러스터를 구축할 수 있다. 이런 의미에서 1홉 반경 내에 있는 단말들의 집합을 가상 클러스터(Virtual Cluster)라고 정의한다. 각 단말마다 자신을 중심으로 하나의 가상 클러스터를 구성하므로, N개의 단말로 구성된 네트워크에는 N개의 가상 클러스터가 존재하는 셈이다.

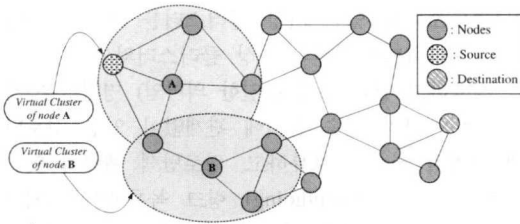


그림 1-(b). VCRP 및 VCBRP의 네트워크 구성 예

한편, 그림 2는 네트워크 토폴로지 변화에 대해 가상 클러스터의 특성에 기인한 신속하면서도 간단한 대응 방안을 제시한다. 단말 A를 중심으로 하는 가상 클러스터에 소속되었던 한 단말의 이동으로 인하여 네트워크 토폴로지가 변할 경우, 이동 단말을 중심으로 하는 가상 클러스터의 소속 단말들만(점선의 양방향 화살표와 연결된 단말들을 지칭함) 이에 대한 정보를 갱신하고 그 외의 단말들에게는 이러한 정보를 통보하지 않는다. 또한, 그림 2의 단말 B를 중심으로 하는 가상 클러스터에 새로운 단말이 출현하여 네트워크 토폴로지가 변한 경우에도 새로운 단말을 중심으로 하는 가상 클러스터의 소속 단말들만(점선의 양방향 화살표와 연결된 단말들을 지칭함) 정보를 교환하면 된다. 즉, 어떠한 형태로 네트워크 토폴로지가 바뀌더라도 1홉 내에 있는 단말들간의 정보 교환만 간단히 대처할 수 있기 때문에, 적은 양의 오버헤드를 사용할 뿐만 아니라 네트워크 토폴로지 변화에 강한 특성을 지닌다. 하지만, 기존의 PRP 계열의 프로토콜, 또는 대표적인 HRP 계열의 프로토콜인 ZRP에서는 특정 단말의 이동에 의한 네트워크 토폴로지의 변화는 각각 전체 단말들의 정보 갱신이나 존 반경 내부의 모든 단말들의 정보 갱신을 유발하는 단점이 존재한다. 물론, RRP 계열의 프로토콜들은 경로를 구성하는 단말들을 제외한 어떤 단말도 다른 단말들과 정보를 공유하지 않으므로 네트워크 토폴로지가 급격히 변하더라도 오버헤드 효율성이 우수하다.

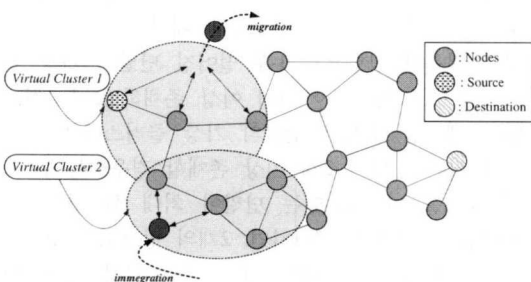


그림 2. 네트워크 토폴로지 변화에 대한 대응 방안

본 논문에서는 위와 같은 가상 클러스터의 특성을 이용하여 설계한 수정된 전파기법을 적용하여서 적은 오버헤드로 신속하게 네트워크 토폴로지 정보를 획득한 후에 최적 경로를 설정하는 방식을 VCRP (Virtual Cluster-based Routing Protocol)이라고 지칭한다. 한편, 경로의 단절시에 열악해지는 전송 지연 성능을 향상시키기 위해 백업 경로가 존재할 경우에 그 경로를 포함해 동시에 2개의 경로를 설정하는 VCRP 방식을 VCBRP (Virtual Cluster-based Routing Protocol with Backup Route)라고 지칭한다. 이때, 백업 경로 기법은 PRP, RRP, 그리고 HRP 부류의 프로토콜에서도 적용 가능하나, RRP와 HRP 방식에서 백업 경로를 사용하기 위해서는 네트워크 토폴로지를 알지 못하므로 백업 경로를 발견하기 위한 추가적인 절차를 수행해야 한다. 그러나, 제안 기법의 경우에는 네트워크 토폴로지를 알고 있으므로 백업 경로가 존재한다면, 추가적인 오버헤드를 사용하지 않고 그 결과를 이용할 수 있다.

2. VCRP의 동작 절차

모든 경로 설정 방식에서는 주어진 출발지-목적지 쌍 간의 경로 선택을 위한 선행 절차가 요구된다. 제안 프로토콜에서는 경로 선택을 위해 목적지 단말이 네트워크 토폴로지의 정보를 수집하는 절차가 선행된다. 출발지 단말에서 전송한 경로탐색 패킷이 제안 경로탐색 프로토콜에 의해 네트워크 정보를 수집하는 절차는 다음과 같은 동작으로 구성된다. 한편, 이 동작 절차에 대한 구체적인 예를 III. 3절에서 별도로 제시한다.

동작 1: 출발지 단말은 자신과 자신의 가상 클러스터 소속 단말들의 ID, 이동성 및 큐길이 정보, 그리고 무선 링크들의 정보를 현재 전송하는 경로탐색 패킷에 기재하고, 패킷에 ID를 부여하여 자신의 가상 클러스터 소속 단말들에게 전송한다. 이때 경로탐색 패킷을 전송하는 단말은 이를 수신한 단말들이 자신들의 가상 클러스터 소속 단말들의 경로탐색 패킷을 전송하는 순서를 반드시 명시한다. 이는 경로탐색 패킷을 수신한 단말들이 자신들의 가상 클러스터 소속 단말들에게 전송하는 경로탐색 패킷들 사이에서 발생할 수 있는 충돌(특정 단말을 2개 이상의 가상 클러스터가 각각의 소속 단말로 공유할 경우에 발생 가능함)을 방지하기 위한 것이다. 이때, '충돌'은 매체접근제어(Medium Access

Control) 관점에서 2개 이상의 경로 탐색 패킷이 동일한 시점에서 하나의 단말에서 수신되는 경우에 발생하는 물리적 수신 불가능 상태를 의미한다. 한편, 본 동작 절차는 경로탐색 패킷에 패킷의 ID를 부여하는 동작을 제외하면(패킷의 ID는 출발지 단말에서만 부여함) 네트워크상의 모든 단말에서 수행하는 동작 절차이다.

동작 2: 새로운 ID를 갖는 경로탐색 패킷을 처음 수신했을 경우에는(출발지 단말에서 전송한 경로탐색 패킷을 처음으로 수신했음을 의미함) 자신의 가상 클러스터 소속 단말들 중에 경로탐색 패킷에 기재되어 있지 않은 단말들만의 정보를 기재한 후(경로탐색 패킷에 이미 기재되어 있는 단말들의 정보는 추가적으로 기재할 필요가 없음), 그 단말들에게 전송한다. 이때, 수신된 경로 탐색 패킷에 자신의 단말 ID가 수신 단말의 목록에 포함되어 있지 않은 경우에 경로탐색 패킷을 엿들었다(overheard)고 하는데, 엿들어진 패킷은 수신 패킷으로 간주되지 않는다. 경로 탐색 패킷이 엿들어지는 경우는 다음과 같다. 단말 'A'는 경로 탐색 패킷이 대기 중인 상태에서 자신의 가상 클러스터의 소속 단말들 중의 한 단말 'B'가 단말 'A'의 정보를 담고있는 경로 탐색 패킷을 전송할 때 발생한다(만약, 단말 'A'가 전송 대기 상태가 아니라면, 단말 'B'는 단말 'A'의 정보를 담고 있는 경로 탐색 패킷을 수신하는 것이 불가능함). 왜냐하면, 단말 'B'가 전송하려는 경로 탐색 패킷에 단말 'A'에 대한 정보가 있다는 것은 동일한 ID를 갖는 경로 탐색 패킷이 이전 어느 단계에서 단말 'B'로 전송되었음을 의미하고, 이는 단말 'A'가 단말 'B'로 자신의 경로 탐색 패킷을 전송할 필요가 없음을 의미하기 때문이다. 하지만, 단말 'A'가 경로 탐색 패킷을 해당 단말들에게 전송할 때, 단말 'B'는 단말 'A'의 통신 반경에 위치하기 때문에 그 경로 탐색 패킷을 수신할 수 있으며, 이것이 엿듣는 상태를 의미한다. 즉, 자신을 수신 단말로 지정하지 않은 경로탐색 패킷을 단순히 송신 단말의 통신 반경 영역에 존재함으로써 수신하는 경로탐색 패킷에 해당한다.

동작 3: 경로탐색 패킷을 수신하면 단말들은 패킷에 명시된 순서에 따라 경로탐색 패킷을 전송하는데, 수신 직후 전송 명령을 받은 단말(전송 순서를 '1'로 부여받은 단말을 나타냄)을 제외한 단말들은 경로탐색 패킷의 전송을 대기하는 상태로 찬이한다. 전송 대기 상태에서 동일한 ID를 갖는 경로탐색 패킷을 엿들었을 경우에는 동일한 경로탐색 패킷이

자신이 소속해 있는 가상 클러스터를 경유하고 있음을 나타내므로(자신의 가상 클러스터의 소속 단말을 경유하고 있는 것과 동일한 의미임) 명령받은 경로탐색 패킷의 전송 순서에 관계없이 일단 경로탐색 패킷의 전송을 보류하고, 경로탐색 패킷이 엿들어진 링크를 출력(outgoing) 링크 목록에서 제외시킨다. 이는 경로탐색 패킷이 엿들어진 링크 방향으로 경로탐색 패킷을 전송하는 것은 불필요한 무선 자원을 낭비할 뿐만 아니라(해당 링크 방향으로 경로탐색을 전송한다 할지라도 그 경로탐색 패킷이 수집하는 정보는 이미 선행되어 거쳐간 경로탐색 패킷이 모두 수집할 수 있기 때문임) 혼잡 상태에 인한 경로탐색 패킷의 전파 지연을 유발시키기 때문에 그와 같은 링크는 출력 링크에서 삭제한다. 출력 링크란 단말간에 형성된 모든 무선 링크 중에서 경로탐색 패킷이 수신되거나 엿들어지지 않은 모든 링크를 의미한다.

동작 4: 만약 동작 3의 상황에서 특정 시간을 대기한 후에 자신의 출력 링크가 존재하지 않는다는 것은 자신의 가상 클러스터의 모든 정보가 다른 가상 클러스터를 경유한 경로탐색 패킷들에 의해 수집되었음을 의미하므로 전송 대기 중인 경로탐색 패킷을 폐기한다. 만약, 그렇지 않을 경우에는 그 시점까지 수신되었거나 엿들어졌던 경로탐색 패킷들에 정보가 기재되어 있지 않은 자신의 가상 클러스터 소속 단말의 정보를(수집되지 못한 자신의 가상 클러스터 소속 단말의 정보를 의미함) 전송 대기 중인 경로탐색 패킷에 추가적으로 기재하여 전송한다. 이때, 모든 단말들은 자신의 가상 클러스터 정보를 알고 있으므로 출력 링크의 존재 여부를 판단할 수 있다.

동작 5: 경로탐색 패킷이 전송 대기중인 상태에서 동일한 ID를 갖는 경로탐색 패킷이 수신되었을 경우에 경로탐색 패킷이 엿들어진 경우를 고려하자. 이는 자신의 가상 클러스터 소속 단말이 최소 세 단말 이상임을 의미한다. 이때 자신이 엿들었던 경로탐색 패킷과 무관한 경로탐색 패킷을 만약 그 패킷이 경유한 방향으로 1홉 떨어진 단말의 가상 클러스터 소속 단말들이 3개 이상 존재하고, 두 경로탐색 패킷을 수신한 단말의 가상 클러스터에 소속되지 않는 단말이 2개 이상 존재할 경우에는(두 개의 링크를 가지고 있는 단말이 최대 한 단말임을 의미함) 폐기한다. 왜냐하면, 2개의 링크로만 연결된 단말이 하나일 경우에는 그 단말의 가상 클러스터 소속 단말을 경유한 경로탐색 패킷에 의해 그 부분

의 정보가 수집될 수 있기 때문이다. 만약 그렇지 않을 경우에는 방향을 역전 시켜 전송하여 수집되지 않은 정보를 고려할 수 있도록 한다. 이러한 상황은 2개의 부분 네트워크(sub-network)가 2개의 링크만을 가지고 있는 단말-열(node-sequence)로 연결된 경우에 발생할 수 있는데, 이때 그러한 단말들간에 형성되는 패스(path)의 정보는 고립될 가능성이 있다. 즉, **동작 5**는 그 패스상의 단말 정보를 목적지 단말로 전달하기 위한 절차이며, 이 동작은 두 경로탐색 패킷이 2개의 링크만을 가지고 있는 단말-열의 말단(terminal)-단말과 직접 연결된 단말에서만 발생할 경우 수행된다.

동작 6: 경로탐색 패킷이 전송 대기중인 상태에서 동일한 ID를 갖는 경로탐색 패킷이 수신되었을 경우 어떠한 경로탐색 패킷도 엿들어지지 않은 경우를 고려하자. 이때 수신한 2개의 경로탐색 패킷을 결합하여 보다 적은 수의 홉을 경유한 링크 방향으로 역전(back-propagation)시켜 전송한다. 이와 같은 상황은 **동작 5**가 발생할 수 있는 네트워크 토폴로지와 동일하다. 즉, **동작 5**는 두 경로탐색 패킷이 2개의 링크를 갖는 단말-열 상에서 만나지 않는 경우에 발생하며, **동작 6**은 그러한 패스를 경유한 두 경로탐색 패킷이 그 패스 상의 단말에서 만나는 경우에 발생한다. 즉, **동작 6**은 경로탐색 패킷이 교착상태(deadlock)에 직면하여 네트워크 정보가 고립되는 현상을 방지하기 위한 것이다.

동작 7: 경로탐색 패킷의 전송 후에 동일한 ID의 경로탐색 패킷을 수신하였을 경우에는 이전 경로탐색 패킷이 경유한 단말들을 경유하여 전송한다. 이는 **동작 5** 또는 **동작 6**에 의해 네트워크 상의 고립된 정보를 추가적으로 수집하여 전송하는 경우에 발생한다.

동작 8: 경로탐색 패킷의 전송 후에 전송했던 링크 상에서 해당 경로탐색 패킷을 들을(over-drop) 수 없을 경우, 백오프(back-off)를 수행한다. 왜냐하면, 경로탐색 패킷을 전송한 후에는 이를 수신한 단말들이 다른 단말들에게 전송하는 경로탐색 패킷을 들을 수 있게 되는데, 이는 확인 응답(acknowledgement)의 역할을 수행한다. 즉, 따라서, 위의 상황은 자신이 전송한 경로탐색 패킷이 충돌했음을 의미하기 때문이다.

동작 9: 목적지 단말을 자신의 가상 클러스터 소속 단말로 포함하고 있는 단말이 경로탐색 패킷을 수신하였을 경우에는 목적지 단말에게만 경로탐색 패킷을 전송한다. 이는 목적지까지 전달된 부분

(partial) 네트워크 정보를 재차 네트워크로 역전시킬 필요가 없기 때문이다. 왜냐하면, 다른 네트워크 부분에 대해서는 동일한 ID를 갖는 다른 경로탐색 패킷이 정보를 수집하여 목적지 단말로 전달하기 때문이다.

동작 10: 목적지 단말은 수신한 경로탐색 패킷에 대한 확인 응답 패킷을 전송한다. 이는 중간 단말들은 계속해서 다음 단말들로 경로탐색 패킷을 전달하기 때문에 부수적으로 경로탐색 패킷의 전송 유무를 인지할 수 있지만, 목적지 단말은 최종 수신 단말이기 때문에 확인 응답 없이는 불가능하기 때문이다.

한편, 경로탐색 패킷이 전파되면서 가입되는 내용은 최적 경로 설정을 위해 사용되는 정보로서 경로탐색 패킷을 수신 받은 단말을 중심으로 하는 가상 클러스터의 소속 단말들 중에서 경로탐색 패킷에 이미 가입되지 않은 단말들의 ID, 이동성(speed) 정보 및 단말의 큐(queue) 길이 정보, 그리고 경로의 신뢰성을 보장할 수 있도록 예측한 무선 채널의 상태에 관한 정보 등이 될 수 있다.

이러한 전송 기법은 경로탐색 패킷을 이용하여 네트워크 토폴로지 정보를 수집하는데 있어 적은 수의 경로탐색 패킷만으로 신속하게 목적지 단말이 네트워크 토폴로지를 알 수 있도록 한다. 그리고, 경로탐색 패킷에 의한 네트워크 정보 수집 절차를 pseudo code 형태로 표현하면 그림 3과 같다.

한편, VCRP의 경우 목적지 단말은 최적 경로만을 찾아서 출발지 단말에게 통보한다. 또한, 목적지 단말이 최적 경로와 네트워크 토폴로지 정보를 알기 때문에 부수적 산물로 획득 가능한 다른 경로가 존재한다면 최적 경로 단절시에 전송 지연 성능 이득을 위해 백업 경로를 찾아서 동시에 출발지 단말에게 통보하고, 이를 수신한 출발지 단말은 목적지 단말에 이르는 두 개의 경로를 설정할 수도 있다. 이때, 백업 경로의 존재 유무는 네트워크 토폴로지에 의해 결정되며, 출발지 단말로부터 k 홉 떨어진 단말이 하나 존재할 경우에는 하나의 경로만 존재하게 된다. 그러나, 일반적으로 백업 경로가 존재하지 않을 확률은 매우 작다고 볼 수 있다. 여기서 k 는 $1 \leq k \leq \min\{d_i : h = h(s, d)\}$ 조건을 만족하며, $h(s, d)$ 는 출발지 단말에서 목적지 단말까지의 홉수를 나타낸다. 한편, RRP 방식이나 대표적인 HRP 방식의 경우에는 백업 경로가 존재하지 않는 경우에도 백업 경로를 찾기 위한 경로 설정 절차를 재차 수행하는 상황이 발생할 수도 있다. 그러나, 제


```

function RouteQuery_Procedure
if (I am a source node) /* at source node */
{
    Record information of source and its Virtual Cluster and an ID of destination;
    Assign an ID of Route Query Packet and transmission orders on the members of Virtual Cluster;
    Broadcast a Route Query Packet to the members of Virtual Cluster;
}

else if (I am an intermediate node) /* at intermediate node */
{
    if (Route Query Packet is received first)
    {
        Record the ID, Mobility, Queue length information of nodes in Virtual Cluster;
        Transmit the Route Query Packet to the corresponding nodes;
    }

    else if (Waiting for transmitting a Route Query Packet
    & Route Query Packets having the same ID are overheard & time out & outgoing links exist)
    Send the Route Query Packet to nodes on the non-members of Route Query Packets;

    else if (Route Query Packets having the same ID are received twice & Overheard Packet(s) exist(s))
    {
        if (More than three member nodes exist in the virtual cluster of the 1-hop away node)
            Discard the Route Query Packet;
        else
            Backpropagate the Route Query Packet;
    }

    else if (Route Query Packets having the same ID are received twice & Overheard Packet(s) doesn't exist)
    Forward the Route Query Packet via nodes passed through the previous Query Packet;

    else if (Transmission a Route Query Packet & Not overheard the Route Query Packet)
    Activate a collision resolution algorithm; /*ex) back-off algorithm*/

    else if (A Route Query Packet is received & Destination node exists within Virtual Cluster)
    Send the Route Query Packet to Destination node only;

    else
    Discard the Route Query Packet;
}

else /* at destination node */
{
    if (upon receiving Route Query Packets)
    Transmit acknowledgement packets;

    elseif (one or more Route Query Packets are received & time out)
    {
        Choose an optimal route;

        if (backup route exists)
        Choose a second best route as a backup route;

        Notify these routes to the source node;
    }

    else
    wait;
}
    
```

그림 3. 네트워크 정보 수집 절차에 대한 pseudo 코드

안 방식에서는 한번의 정보 수집을 완료하면 추가적인 오버헤드를 소요하지 않고 최적 경로와 백업 경도를 동시에 파악할 수 있는 장점을 갖는다.

한편, 경로 설정 프로토콜에서는 최적의 경로 설정과 더불어, 잦은 단말의 이동에 의해 발생하는 빈번한 네트워크 토폴로지의 변화와 그에 따른 경로 단절에 대한 대응 방안도 동시에 고려되어야 한다. 즉, 경로가 단절되었음을 통보 받은 경우, 임시 경로로 대체하고 동시에 새로운 경로를 찾을 수 있는 단순하면서도 효율적인 방안이 마련되어야 한다. 제안 기법은 RRP처럼 모든 단말들이 동일한 계층에 존재하므로 RRP에서 효율적으로 사용되고 있는 경로 유지 및 보수 절차 기법을 채택하며, 다만 백업 경로를 이용할 경우에 경로의 대체를 위한 동작이 추가된다. 즉, VCRP의 경우에는 경로 단절이 발생하면, 전형적인 RRP [5]-[8]에서와 마찬가지로 출발

지 단말로 이러한 사실을 통보한다. 이를 수신한 출발지 단말은 새로운 경로의 설정을 위해 경로탐색 패킷의 전송을 수행한다. 그리고, 경로상의 단절 링크를 중심으로 목적지 단말 방향으로의 첫번째 단말은 무선 자원의 낭비를 방지하기 위해 목적지 단말에게 경로 삭제(Route Deletion) 패킷을 전송한다. 한편, VCBRP에서는 출발지 단말로 경로 단절 사실을 통보하고, 이를 인지한 출발지 단말은 통신 경로를 백업 경로로 대체하여서 지속적으로 패킷 전송을 수행한다. 그리고, 새로운 경로탐색 패킷을 발송하여 다시 최적 경로 및 백업 경로를 찾을 수 있도록 한다. 동시에 경로상의 단절 링크를 중심으로 목적지 단말 방향으로의 첫번째 단말은 무선 자원의 낭비를 방지하기 위해 목적지 단말에게 경로 삭제 패킷을 전송한다.

3. VCRP의 동작 절차 예

본 절에서는 III .2절의 내용을 바탕으로 그림 1에 예시된 네트워크를 이용하여 경로 설정 패킷의 전파에 의한 네트워크 정보 수집 및 경로 설정 절차를 예시하고자 한다.

그림 4-(a)에서는 동작 1에 의해 출발지 단말은 자신의 정보를 경로탐색 패킷에 기재하여 자신의 가상 클러스터 소속 단말들인 N1, N2, N3로 전송한다. 여기서 화살표 위의 숫자는 경로탐색 패킷을 전송한 단말이 결정한 자신의 가상 클러스터 단말들간의 경로탐색 패킷의 전송 순서를 나타내고, 각 노드를 나타내는 원의 내부에 표기된 숫자는 전체 네트워크 상에서 각 단말이 전송한 경로 탐색 패킷의 전송 순서를 나타낸다. 이때 출발지 단말은 자신의 가상 클러스터에 해당하는 네트워크 토폴로지 정보만을 알고 그 이외의 정보는 알지 못하므로 자신의 가상 클러스터 소속 단말들이 수신한 경로 탐색 패킷을 충돌 없이 전송할 수 있도록 순차적으로 전송 순서를 부여한다. 만약 출발지 단말이 N1 단말과 N3 단말에 1을 부여하고 N2 단말에 2를 부여했을 경우, N1 단말과 N3 단말은 동시에 경로 탐색 패킷을 전송하기 때문에 N2 단말에서 충돌이 일어나게 되고, 이때 N2 단말은 어느 단말에서 어떤 정보를 전송했는지를 알 수 없게 된다. 그림 4-(b)에서는 동작 1의 결과에 의해 N1 단말이 동작 2에 의해 N5 단말로 경로탐색 패킷을 전송한다. 여기서 점선의 화살표는 해당 단말을 수신 단말로 지정하여 경로탐색 패킷을 전송하지는 않지만, 통신 가능 반경에 위치하기 때문에 엿들어지는 현상을 나타낸

것이다. N5 단말로 전송한 경로탐색 패킷의 전송 순서가 2로 기재되어 있는데, 이는 출발지 단말에서 전송한 경로탐색 패킷의 정보와 N1 단말이 알고 있는 자신의 가상 클러스터 정보(i.e., 1홉 거리에 존재하는 단말들과 연결된 네트워크 토폴로지 정보)를 비교하여 N5 단말이 경로탐색 패킷을 전송했을 때 N2 단말에서 N1 단말 자신이 전송하는 경로 탐색과 충돌하지 않도록 하기 위함이다. 즉, 출발지 단말로부터 경로탐색 패킷을 수신한 N1 단말은 출발지 단말이 N2 단말과 N3 단말에게 지시한 경로탐색 패킷의 전송 순서를(i.e., N2←2, N3←3) 알 수 있다. 그리고, N1 단말은 자신의 가상 클러스터 소속 단말들이 출발지 단말을 포함하여 N2 단말과 N5 단말임을 알고 있다. 따라서, N1 단말은 자신이 경로탐색 패킷을 전송한 후에 N3 단말이 경로탐색 패킷을 전송(N1 단말의 전송 순서는 1이고 N3 단말의 전송 순서는 2이기 때문)함을 안다. 이는 N5 단말의 전송 순서를 1로 부여하면, N3 단말과 N5 단말에서 전송한 경로탐색 패킷이 N2 단말에서 충돌할 가능성이 있음을 의미한다. 한편, N1 단말은 N2 단말과 N3 단말 사이의 링크의 존재 여부를 알지 못하기 때문에 N5 단말에서의 충돌 발생 여부를 확인할 수 없고 가능성이 존재함을 인지한다. 하지만, N1 단말은 자신이 경로탐색 패킷을 전송하게 되면, 이를 엿듣게 되는 N2 단말이 3으로 기재되어 있는 전송 대기 중인 경로탐색 패킷을 보류하게 됨을 알 수 있기 때문에, 경로탐색 패킷의 충돌 가능성을 제거하기 위해서 N5 단말의 전송 순서를 2로 부여한다. 그림 4-(c)에서는 동작 1의 결과로 N3 단말은 동작 2에 의해 N4 단말로 경로탐색 패킷을 전송하고, 동작 3에 의해 N2 단말은 출발지 단말로부터 수신한 경로탐색 패킷의 전송을 보류한다. 그림 4-(d)에서는 동작 2에 의해 N5 단말은 N6, N7 단말로, 그리고 N4 단말은 N8, N9 단말로 경로탐색 패킷을 전송하고, 동작 4에 의해 N2 단말은 전송 대기 중인 경로탐색 패킷을 폐기한다. 여기서 화살표 상의 사선은 수신한 경로탐색 패킷의 폐기를 의미한다. 그림 4-(e)에서는 동작 2에 의해 N6 단말은 N15 단말로, 그리고 N9 단말은 N10 단말로 경로탐색 패킷을 전송한다. 그리고, 동작 3에 의해 N7 단말과 N8 단말은 수신한 경로탐색 패킷의 전송을 보류한다. 그림 4-(f)에서는 동작 2에 의해 N15 단말은 N16 단말로, 그리고 N10 단말은 N11 단말로 경로탐색 패킷을 전송한다. 그림 4-(g)에서는 동작 2에 의해 N16 단말은 N14 단말로, 그리고 N11 단

말은 N7, N12, N14 단말들로 경로탐색 패킷을 전송한다. 한편, 동작 5에 의해 N7 단말은 N11 단말로부터 수신한 경로탐색 패킷을 폐기하고, 동시에 동작 4에 의해 N5 단말로부터 수신한 경로탐색 패킷을 폐기한다. 그리고, N16 단말은 동작 8에 의해 백오프를 수행한다. 그림 4-(h)에서는 동작 9에 의해 N12 단말은 목적지 단말에게만 경로탐색 패킷을 전송하고, N13 단말로는 전송하지 않는다. 그리고, 목적지 단말은 동작 10에 의해 확인 응답 패킷을 전송한다. 그림 4-(i)에서는 N16 단말이 그림 4-(g)에서 동작 8에 의해 백오프 동작을 수행한 후, N14 단말로 경로탐색 패킷을 전송하는 상황을 나타낸다.

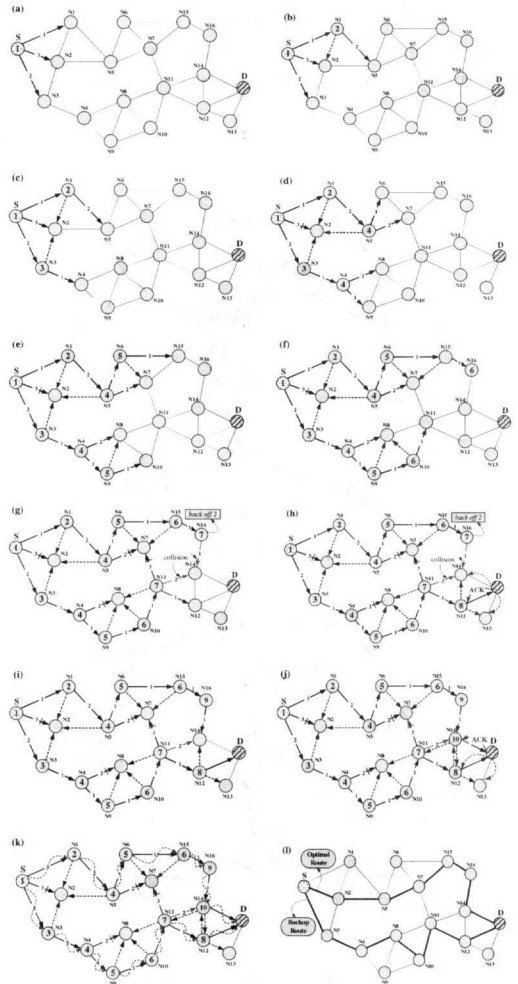
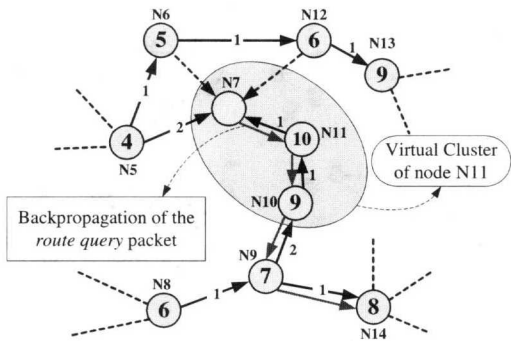


그림 4. 네트워크 정보 수집 절차와 경로 설정 예

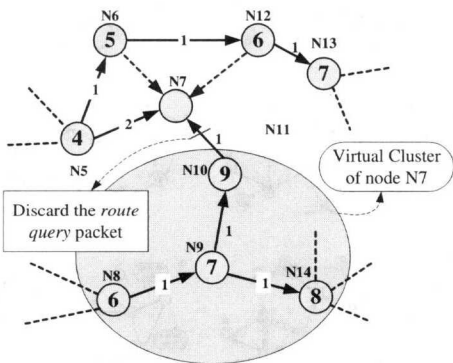
그림 4-(j)에서는 동작 9에 의해 N14 단말은 목적지 단말에게만 경로탐색 패킷을 전송하고, N11,

N12 단말로는 전송하지 않는다. 그리고, 동작 10에 의해 목적지 단말은 확인 응답 패킷을 전송한다. 그림 4-(k)는 목적지 단말이 네트워크 정보의 수집을 위해 필요했던 2개의 경로탐색 패킷이 경유했던 경로를 나타내며, 목적지 단말은 2개의 경로탐색 패킷의 수신만으로 그림 1의 예제 네트워크 토폴로지에 대한 모든 정보를 수집할 수 있었다. 한편, 일반적으로 요구되는 경로탐색 패킷의 수는 네트워크의 규모와 토폴로지에 따라 가변적이다. 그림 4-(l)은 네트워크 토폴로지 정보를 수집한 목적지 단말에서 최적 경로 및 백업 경로를 최단 경로(shortest path) 계산 알고리즘에 의해 계산하여 출발지 단말에게 통보하고, 이를 수신한 출발지 단말이 2개의 경로를 설정하는 상황을 나타내고 있다.

한편, 앞의 3.2절에서 설명했던 동작 5와 동작 6의 필요성에 대한 구체적인 예가 그림 5에 제시되어 있다.



(a) 동작 5에 대한 예



(b) 동작 6에 대한 예

그림 5. VCRP의 동작 5와 동작 6 절차에 대한 예시

그림 5-(a)는 두 경로탐색 패킷이 2개의 링크만을 가지고 있는 단말-열의 말단-단말(N11)과 직접

연결된 단말(N7)에서 만났을 때, 동작 5가 동작하는 경우를 나타낸다. 즉, N11 단말의 모든 정보와 N10 단말과 N11 단말, N7 단말과 N11 단말 사이의 링크 및 토폴로지 정보는 N8→N9→N14를 경유하는 경로탐색 패킷과 N5→N6→N12→N13을 경유하는 경로탐색 패킷 중에 어떠한 패킷에 의해서도 수집되지 못한다. 그리고, N7 단말에서 1홉 떨어진 N11 단말의 가상 클러스터 내에 3개미만의 단말이 존재한다. 이는 N9→N10→N11을 경유한 경로탐색 패킷을 폐기할 경우, 최소한 N11 단말의 가상 클러스터 정보는 수집되지 못함을 의미한다. 따라서, N7 단말은 N11 단말로부터 수신했던 경로탐색 패킷을 역전시켜 전송함으로써 그 정보를 목적지 단말에서 수집할 수 있도록 한다. 다음으로, 동일한 네트워크 구조에서 동작 6이 작동하는 경우를 고려하자. 그림 5-(b)에 예시된 것과 같이 N11 단말은 N10 단말과 동작 8에 의한 경쟁 해소 알고리즘을 통하여 경로탐색 패킷을 수신하게 된다. 즉, 두 경로탐색 패킷이 2개의 링크를 갖는 단말-열 상의 한 단말(N11)에서 만났을 경우를 의미한다. 그림 5-(b)의 상황에서 N10 단말과 N11 단말 사이의 링크 및 토폴로지 정보는 N8→N9→N14를 지나는 경로탐색 패킷과 N5→N7→N12→N13을 지나는 경로탐색 패킷 중에 어떠한 패킷에 의해서도 수집되지 못한다. 따라서, 2개의 경로탐색 패킷을 결합하여 경로탐색 패킷을 재구성한 후, 보다 적은 수의 단말을 경유하여 경로탐색 패킷이 수신되었던 N7 단말로 전송한다.

한편, 그림 4-(l)과 같이 백업 경로를 포함하여 2개의 경로가 설정된 경우에 그림 6에 제시된 것과 같이 N15 단말이 이동함에 따라 경로가 단절되었을 경우에 RRP 방식에서 사용되고 있는 경로 유지 및 보수 절차를 적용할 수 있다. 즉, 경로 단절사실을 인지한 N7 단말은 N7→N5→N2→S로 경로 단절사실을 통보하고, 이를 통보 받은 출발지 단말은 통신 경로를 백업 경로로 대체하여서 지속적으로 패

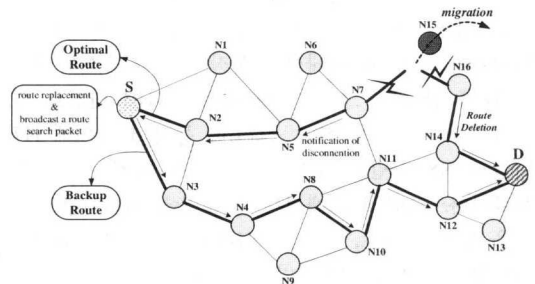


그림 6. 경로 단절시 대처 및 재경로 설정 절차의 예시

킷 전송을 수행하고, 동시에 새로운 경로탐색 패킷을 방송하여 새로운 최적 경로 및 백업 경로를 찾도록 한다. 동시에 N16 단말은 무선 자원이 낭비되는 현상을 방지하기 위해 경로 삭제 패킷을 N16→N14→D로 전송하고, 이를 수신한 단말들은 자신의 경로를 삭제한다.

IV. 제안 경로 설정 프로토콜의 성능 분석

본 논문에서 제안한 경로 설정 프로토콜 기법의 목적은 PRP와 RRP 방식이 지니는 장점만을 취하여 성능 이득을 극대화시키는 것이다. 이 두 가지 방식의 절충적 특성을 지니는 HRP 방식에서는 우선 클러스터 계층(layer)에서 RRP 방식을 이용하여 가장 적은 수의 클러스터를 경유하는 경로를 찾는다. 그 후, 이러한 클러스터간의 경로를 기반으로 클러스터 내부에서는 PRP 방식을 사용하여서 게이트웨이 사이의 최단 경로를 계산한다. 즉, 클러스터 내부에서는 최적 경로를 찾을 수 있지만, 클러스터 간에는 최적 경로를 찾을 수 있는 가능성이 저하된다. 대표적인 HRP 방식인 ZRP 방식에서 제안 기법에서의 가상 클러스터와 동등한 구조를 갖도록 반경을 1홉으로 설정했을 경우에는 전형적인 RRP 방식에 의해 경로가 설정된다. 한편, k 홉 반경을 갖는 ZRP와 VCRP 기법에 있어 성능에 대한 정성적 비교 결과는 표 1과 같이 요약할 수 있다. ZRP에서 경로탐색 패킷은 최단 개수의 클러스터만을 발견하는 역할을 하기 때문에 경로탐색 오버헤드는 VCRP보다 좋은 효율성을 보인다. 그리고, ZRP에서는 k 홉을 기본 전송 단위로 경로탐색 패킷이 전달되므로 초기 경로 설정 시간도 VCRP보다 우수하지만, 서비스 측면에서 볼 때 초기 경로 설정 시간은 그리 중요하지는 않다. 하지만, 그 이외의 성능은 앞 절에서 설명했던 특성으로 인해 VCRP가

ZRP보다 월등히 우수함을 알 수 있다. 결론적으로 기존의 ZRP보다 제안 VCRP가 전반적인 성능 측면에서 우수함을 추론할 수 있다.

따라서, 제안한 VCRP 및 VCBRP의 성능을 각각 PRP와 RRP의 대표적인 방식인 DSDV [3]와 AODV [5] 라우팅 프로토콜과 비교하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, DSDV 기법은 제어 오버헤드에 따른 효율성은 매우 낮은 반면 전송 지연 성능은 매우 우수한 특성이 있으며, AODV 기법은 제어 오버헤드에 따른 효율성은 매우 우수한 반면 전송 지연 성능이 매우 열악한 특성이 있다. 따라서, 제어 오버헤드에 따른 효율성은 AODV의 성능에 근접하고, 전송 지연 성능은 DSDV의 성능에 근접하도록 설계된 라우팅 프로토콜이 이상적인 방식에 해당한다.

한편, DSDV, VCRP, VCBRP 방식의 시뮬레이션에 사용되는 최적 경로 설정을 위한 메트릭 또는 비용은 단말의 평균 속도와 단말의 큐 상태에 의해 결정하였으며, 단말 i 와 단말 j 간 링크의 비용 $C(i, j)$ 를 다음과 같이 정의하였다.

$$C(i, j) = \begin{cases} \alpha \cdot \frac{l_{ij}}{\max_{\forall k, l} \{l_{kl}\}} + (1 - \alpha) \cdot \frac{v_{ij}}{\max_{\forall k, l} \{v_{kl}\}}, & \text{if link}(i, j) \text{ exists} \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases}$$

위 식에서 α 는 비례상수로서 0과 1사이의 값을 갖는다. 그리고, l_{ij} 는 단말 i 에서 단말 j 로 전송하기 위해 대기하는 총 패킷의 수를 나타내며, v_{ij} 는 단말 i 과 단말 j 의 상대적 평균 속도를 나타낸다. 여기서, 각 노드에서의 대기 패킷 수는 결국 혼잡의 정도를 반영하고자 하는 것이며, 이외에도 경로 설정에 따른 성능에 직접 영향을 미칠 수 있는 다양한 형태의 메트릭을 고려할 수 있다.

1. 시뮬레이션 시나리오 및 파라미터

본 논문의 시뮬레이션은 500 평방미터의 네트워크 내에 120 미터의 통신 반경을 갖는 단말들을 고려하며, 각 단말들은 충분한 길이의 버퍼를 갖는다고 가정한다. 또한, 무선 채널 상에서 오류는 발생하지 않으며 각 단말은 매 프레임마다 한 슬롯을 할당받으며, 단말들 사이의 정보는 2초마다 주기적으로 교환된다고 가정한다. 그리고, 각 단말의 트래픽의 발생은 매 프레임마다 0.45의 발생률을 갖는 베르누이(Bernoulli) 프로세스로 모델링한다^[11]. 단말의 이동성은 각각의 확률 밀도 함수(probability

표 1. ZRP와 VCRP 기법의 성능에 대한 정성적 비교

항 목	ZRP	VCRP
경로탐색 오버헤드	+	-
Cluster 관리(운용) 오버헤드	-	+
패킷 전송 지연 시간	-	+
경로의 최적성 (optimality)	-	+
초기경로설정시간	+	-
재클러스터링 및 재경로 설정시간	-	+
무선 자원의 재사용률	-	+
네트워크 변화에 대한 적응성	-	+

density function)에 있어서 평균 이동 거리와 이동 방향은 각각 단말의 평균 속도를 평균으로 갖는 레일리(Rayleigh) 분포와 $[0, 2\pi]$ 사이에서 균일한(uniform) 분포를 갖는다고 모델링 하였다^[12]. 이러한 이동성 모델에 따르는 특정 단말의 추적도를 예시하면 그림 7과 같다. 그리고, 목적지 단말에서 최적 경로 계산을 위해서 Dijkstra의 최단경로 알고리즘 [13]을 사용한다.

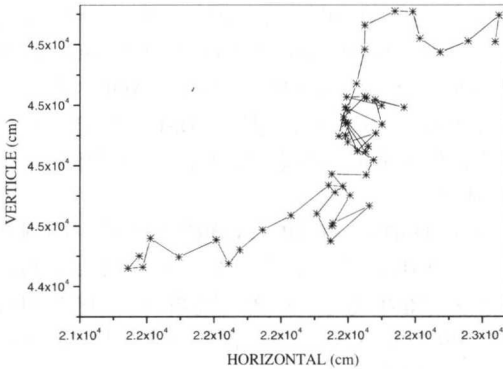


그림 7. 평균 50km/h 속도를 갖는 단말의 이동 경로 예

표 2. 라우팅 프로토콜의 시뮬레이션 파라미터

파라미터	표기	설정값
네트워크의 크기	A	$500 \times 500 m^2$
데이터 발생률	R_D	$14.4 kbps$
통신반경	R	$120 m$
정보 교환 주기	T_I	$2 sec$
단말의 수	N	Variable
단말의 속도	V	Variable
비용 함수의 비례 상수	α	0.5
제어 오버헤드의 크기	OH_C	프로토콜에 따라 상이함 (본문참조)
시뮬레이션 시간	S	$120 sec$

한편, DSDV에서는 2초마다 주기적으로 라우팅 테이블을 교환하거나 또는 경로 단절에 의해 변화된 네트워크 토폴로지 정보의 전파를 위해서 2k비트의 제어 패킷을 사용하고, 경로 상태 검사 및 경로 단절 통보를 위해서 50비트의 제어 패킷을 사용한다. AODV에서는 경로 설정을 위해 200비트의 경로탐색 패킷을 사용하고, 경로상의 링크 연결 검사 및 경로 단절 통보, 그리고 선택된 경로를 출발지 단말에게 통보하기 위해 50비트의 제어 패킷을 사용한다. VCRP와 VCBRP에서는 경로 설정을 위

해 400비트의 제어 패킷을 이용해 네트워크 토폴로지의 정보 수집을 수행하도록 하였으며, 이는 AODV처럼 경로탐색 패킷이 경유한 단말들의 정보만을 수거하는 RRP 경우의 제어 패킷의 크기에 비해 상당히 큰 제어 패킷에 해당한다. 각 프로토콜에서 적용된 제어 패킷의 크기는 본 시뮬레이션에서 고려된 최대 네트워크 규모를 기준으로 산출한 최소 크기이므로, 이는 프로토콜간의 공정한 비교를 고려한 수치이다. 한편, 2초마다 주기적으로 이웃 단말의 존재 여부 확인 및 새로운 이웃 단말 등록, 그리고 사라진 이웃 단말의 삭제 등을 위해 50비트의 제어 패킷을 사용한다. 또한, 경로 단절 통보 및 선택된 경로를 출발지 단말에게 통보하기 위해서도 50비트의 제어 패킷을 사용한다. 위의 내용을 바탕으로 라우팅 프로토콜의 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 요약하면 표 2와 같다.

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 바탕으로 기존의 PRP 기법으로 대표되는 DSDV 및 RRP 기법으로 대표되는 AODV 라우팅 프로토콜과 제안하는 VCRP 및 전송 지연 성능 이득을 얻기 위해 VCRP에 백업경로 기법을 고려한 VCBRP에 대한 성능을 비교 및 분석한다. 각각의 라우팅 프로토콜에 대한 성능의 비교 항목은 다음과 같다.

- 평균 패킷 지연 시간(average packet delay)
- 경로 단절률(route failure rate)
- 자원 이용률(the number of successful packets/sec)
- 제어 오버헤드 비트율(control overhead bits/sec)

평균 패킷 지연 시간은 출발지 단말에서 패킷이 발생된 지점부터 경로상의 단말을 경유하여 목적지 단말에 패킷이 도착한 지점까지의 평균 지연 시간을 의미하고, 경로 단절률은 경로상의 단말의 이동으로 인해 단위시간당 경로가 단절된 회수를 의미한다. 또한, 자원 이용률은 출발지 단말에서 목적지 단말로 단위시간당 성공적으로 전송된 패킷의 개수를 나타낸 것이고, 제어 오버헤드 비트율은 네트워크상의 경로 설정, 유지 및 관리를 위해 단위시간당 하나의 단말이 소모한 정보량을 나타낸 것을 의미한다.

그림 8, 그림9, 그림 10, 그리고 그림 11은 500 평방미터 크기의 네트워크상에 전체 단말의 수를 40개로 고정하고, 각 단말의 통신 반경을 120미터로 설정한 후 (즉, $A = 500 \times 500 m^2, N = 40,$

$R=120\text{ m}$), 단말의 평균 속도를 변화시키면서 성능을 비교 및 분석하였다. 그림 8은 이 환경에서 단말의 평균 이동 속도에 따른 전송 지연 성능을 나타낸다. VCRP는 각 단말의 큐 길이와 속도 정보를 수집하여 선택한 최적 경로를 이용함으로써 전송 지연시간 성능을 DSDV와 유사한 수준으로 향상시켰다. 그리고, VCBRP는 가장 우수한 지연 성능을 나타내고 있는데, 이는 경로가 단절될 경우에 경로 단절을 인식한 즉시 백업 경로를 이용해 패킷의 전송이 가능하기 때문이다. 백업 경로는 주기적으로 경로의 유효성을 검사하고 그렇지 않은 경우에는 다른 백업 경로를 찾게 되므로 동시에 두 경로가 단절되는 경우를 제외하고 백업 경로는 항상 통신 가능 상태인 경로를 제공하게 된다. 다음으로 DSDV의 지연 성능이 우수했는데, 이는 통신 경로가 단절되었을 때 통보되면 즉시 라우팅 테이블로부터 새로운 경로를 찾아 통신을 수행할 수 있기 때문에 새로운 경로를 찾는 데 시간을 소요하지 않기 때문이다. 하지만, 단말의 이동 속도가 증가하면 잦은 네트워크 토폴로지의 변화에 의해서 라우팅 테이블의 교환 속도가 네트워크 토폴로지의 변화 속도를 따라가지 못하게 된다. 그래서, 유효하지 않은 라우팅 테이블 정보로부터 경로를 설정하게 되어 패킷 전송을 수행하기 때문에 항상 통신 가능한 백업 경로를 지니고 있는 VCBRP의 지연 성능보다 좋지 않은 경향을 보였다. 한편, AODV는 경로가 단절됨을 통보 받으면, 출발지 단말은 경로 조사 패킷을 발송하고 목적지로부터 발견 경로에 대한 응답을 수신하는 시간동안은 패킷을 전송하지 못하며, 또한 최적 경로를 이용하지 않는 경우가 많기 때문에 가장 열악한 전송 지연 성능을 보였다.

그림 9는 동일한 환경에서 단말의 평균 이동 속

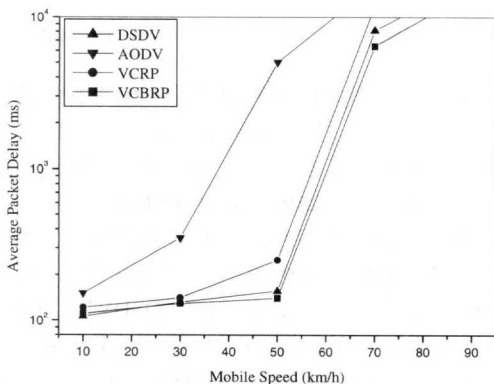


그림 8. 단말의 속도에 따른 평균 전송 지연 성능 비교

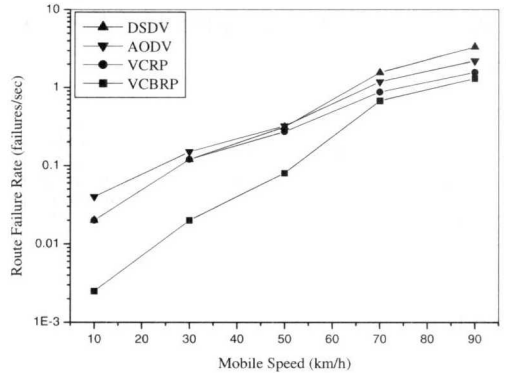


그림 9. 단말의 속도에 따른 경로 단절률 성능 비교

도에 따른 경로 단절률 성능을 나타내고 있다. DSDV와 VCRP는 단말의 이동 속도가 느릴 경우에는 유사한 성능을 보였지만, 단말의 속도가 증가할수록 경로의 지속 시간이 짧아지게 되어서 경로 단절률이 급격히 증가했다. 그리고, 단말의 이동 속도가 느릴 경우에 AODV는 다른 프로토콜들에 비해 가장 열악한 성능을 보였는데, 이는 AODV의 메커니즘을 따를 경우에 일반적으로 홉의 수에 의해 경로가 설정되기 때문이다. 한편, 단말의 속도가 증가할수록 DSDV의 경로 단절률이 AODV나 VCRP의 경로 단절률에 비해 열악한 성능을 나타냈는데, 이는 단말의 속도가 증가하면 DSDV는 유효하지 않은 라우팅 테이블로부터 경로를 설정하는 경우가 발생하여서 재설정 경로가 즉각 단절되는 현상과 동일한 결과를 초래하기 때문이다. 한편, VCBRP은 통신 경로뿐만 아니라 백업 경로가 동시에 단절된 경우에만 경로 단절이 발생하므로 DSDV, AODV, 그리고 VCRP보다 월등히 우수한 경로 단절률 성능을 나타냈다.

그림 10은 동일 환경에서 단말의 평균 이동 속도에 따른 자원 이용률 성능을 나타내고 있다. 단말의 이동성이 느려서 경로 단절이 간헐적으로 발생하는 영역에서는 네 프로토콜 모두 유사한 자원 이용률 성능을 보였다. 그러나, 단말의 이동성의 증가로 인해 경로 단절이 빈번하게 발생할 경우에는 백업 경로를 지니고 있는 VCBRP이 우수한 성능을 보였고, 재경로가 설정되는 동안 어떠한 패킷도 전송할 수 없는 AODV가 가장 열악한 성능을 나타내었다. 한편, 경로 단절이 빈번할 경우 DSDV는 유효하지 않은 정보를 바탕으로 새로운 경로를 찾을 수도 있지만, 여전히 유효한 정보가 존재할 수 있는 가능성

(단말의 속도에 반비례함)으로 인해 AODV와 VCRP보다는 우수하고, VCBRP보다는 열악한 자원 이용률 성능을 보였다.

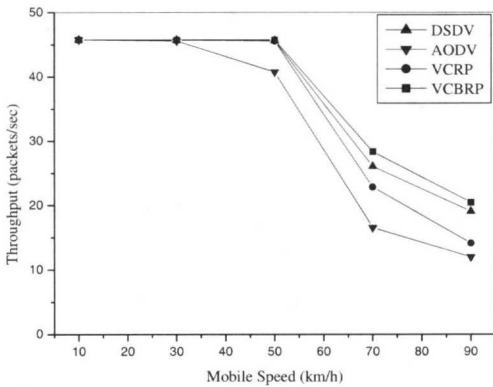


그림 10. 단말의 속도에 따른 자원 이용률 성능 비교

그림 11은 단말의 평균 이동 속도에 따른 제어 오버헤드 비트율 성능을 나타내고 있다. DSDV는 2초마다 주기적으로 라우팅 테이블을 교환해야 하기 때문에 2k비트를 소모하고, 링크 단절시 변화된 네트워크 토폴로지를 전체 네트워크에 전파하기 위해 많은 제어 오버헤드 비트를 사용해야 하므로 매우 많은 양의 자원을 요구한다. 그러나, AODV는 경로 설정시 단지 50비트의 경로 조사 및 응답 패킷을 사용하고, 경로가 설정되었을 때 50비트의 오버헤드를 이용하여 2초마다 주기적으로 경로 상의 단말이 존재하는지의 여부만을 검사하므로 가장 작은 양의 제어 오버헤드를 요구한다. 그리고, 제안하는 가상 클러스터 기법의 VCRP는 경로가 단절되었을 경우에 400비트의 경로 조사 패킷을 방송하여 네트워크 토폴로지 정보를 수집하며, 네트워크 상의 모든 단말은 2초마다 주기적으로 이웃 단말의 확인 및 신규 등록, 해지를 50비트의 제어 패킷으로 수행하기 때문에 제어 오버헤드 성능을 AODV의 성능과 유사한 수준으로 향상 시켰다. 한편, VCBRP는 VCRP의 제어 오버헤드에 부가하여 백업 경로의 유지 관리 및 백업 경로의 단절 경우에 재경로 설정 절차가 동작하므로 추가적인 제어 오버헤드를 사용하게 되므로, VCRP와 DSDV의 중간 정도의 성능을 보였다. 특히, 단말의 이동 속도가 느린 영역에서의 VCBRP 제어 오버헤드 비트율 성능은 VCRP의 성능과 큰 차이를 보이지 않았으며, 단말의 이동 속도가 증가한 경우에도 많은 양의 제어 오버헤드를 사용하는 상황은 발생하지 않았다.

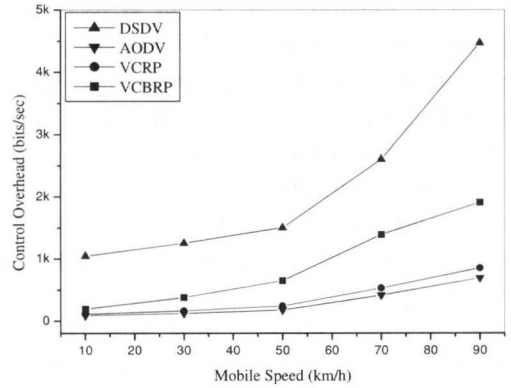


그림 11. 단말의 속도에 따른 제어 오버헤드 성능 비교

다음으로 그림 12, 그림 13, 그림 14, 그리고 그림 15는 500 평방미터 크기의 네트워크상에서 각 단말의 통신 반경은 120m이며, 단말의 평균 이동 속도를 50 km/h로 고정하고 ($A=500 \times 500 m^2, R=120 m, V=50 km/h$), 네트워크 상의 단말 수를 변화시키면서 성능을 비교 분석하였다.

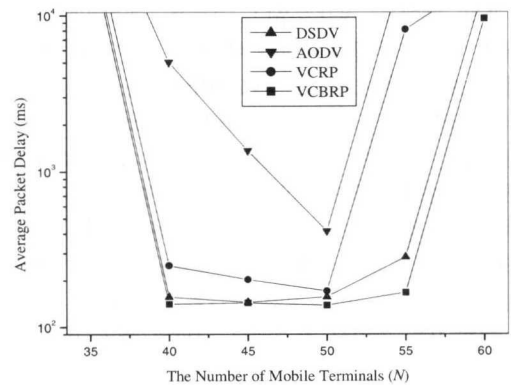


그림 12. 단말의 수에 따른 평균 전송 지연 성능 비교

그림 12는 단말의 수를 35개에서 60개까지 증가시키면서 패킷의 전송 지연 성능을 나타내고 있다. 네트워크상의 단말의 수가 40개에서 55개까지는 DSDV, AODV, VCRP, 그리고 VCBRP의 패킷 전송 지연 성능이 큰 차이를 보이지 않았으나, 전반적으로는 VCBRP의 패킷 전송 지연 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 한편, DSDV는 단말의 수가 40개에서 50개, AODV는 단말의 수가 40개에서 45개, 그리고 VCRP와 VCBRP은 단말의 수가 40개에서 55개 이외의 영역에서 패킷 지연이 급격

히 증가함을 볼 수 있었는데, 이는 다음과 같은 이유에 의해 설명이 가능하다. 단말의 수가 작은 영역에서는 네트워크상에 단말이 드물게 존재하기 때문에 출발지 단말에서 목적지 단말에 이르는 경로가 여러 홉을 우회하여 목적지 단말에 도달하기 때문에 패킷 지연이 급격히 증가하게 된다. 한편, 단말의 수가 많은 영역에서는 가상 클러스터에 대해 단말의 밀도가 증가하여 통신 반경의 가장 자리에 위치하는 단말을 경유하는 경로의 선택 확률이 증가하게 되는데, 이는 경로 단절 확률의 증가와 동일한 맥락을 가지기 때문에 패킷 지연이 급격히 증가하게 된다. 그러나, 각 단말이 자신의 가상 클러스터 소속 단말로부터 수신된 신호의 강도(signal strength)를 측정하여 거리 정보를 획득하고, 이를 비용 정보에 추가하여 보완하는 방법을 고려할 수도 있다.

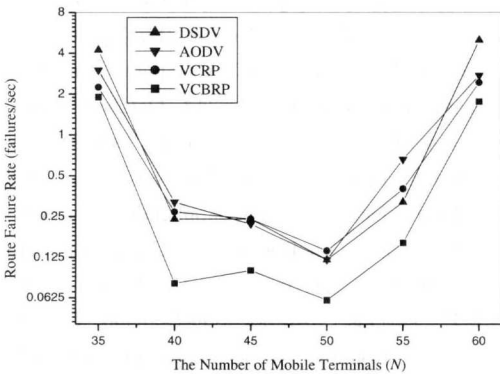


그림 13. 단말의 수에 따른 경로 단절률 성능 비교

그림 13은 단말의 수를 35개에서 60개까지 증가시키면서 각 프로토콜에 대한 경로의 단절률을 나타내었다. 전반적으로 통신 경로 및 백업 경로가 동시에 단절된 경우에만 경로 단절에 해당하는 VCBRP의 경로 단절 성능이 하나의 경로만을 보유하고 있는 DSDV, AODV, 그리고 VCRP의 경로 단절률 성능에 비해 우수했다. 한편, 모든 프로토콜은 네트워크상에 50개의 단말이 존재할 때 가장 적은 경로 단절률 성능을 보였으며, 그 이외의 경우에는 성능이 열화됨을 확인할 수 있었다. 이는 적은 수의 단말이 존재하는 상황에서는 출발지 단말에서 목적지 단말에 이르는 경로가 여러 단말들을 우회하기 때문에 그 만큼 높은 경로 단절 확률을 갖게 되고, 많은 수의 단말이 존재하는 상황에서는 설정된 경로가 통신 반경의 가장 자리에 위치하는 단말

들을 경유할 확률이 증가하게 되어 보다 잦은 경로 단절의 가능성을 갖게 되기 때문이다.

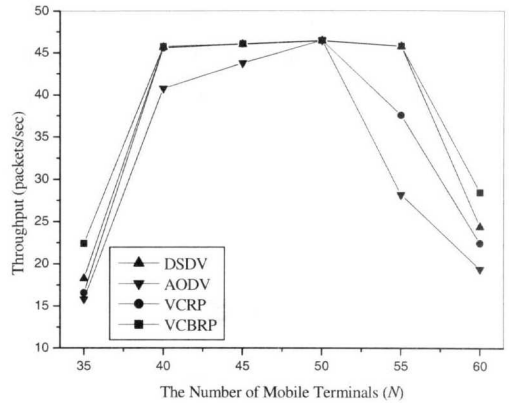


그림 14. 단말의 수에 따른 자원 이용률 성능 비교

그림 14는 단말의 수를 35개에서 60개까지 증가시키면서 자원 이용률 성능을 나타내었다. DSDV, VCRP 그리고 VCBRP 모두 40개에서 50개의 단말이 존재하는 환경에서 비슷한 수율 성능을 나타내었으며, AODV는 매우 열악한 자원 이용률 성능을 보였다. 이는 그림 10의 단말의 속도에 따른 자원 이용률 성능 비교에서 언급했던 것과 유사한 이유에 의해서 VCBRP, DSDV, VCRP, AODV 순으로 자원 이용률 성능이 우수함을 나타냄을 알 수 있다.

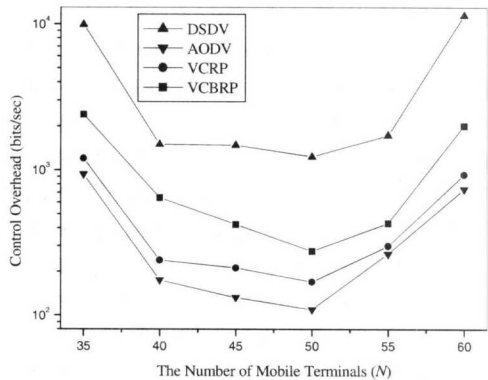


그림 15. 단말 수에 따른 제어 오버헤드 성능 비교

그림 15는 단말의 수를 35개에서 60개까지 증가시키면서 제어 오버헤드 비트율에 대한 성능을 나타내었다. 그림 11의 단말의 속도에 따른 제어 오버헤드 비트율에 대한 성능 비교에서 언급했던 것과 동일한 이유에 의해서 AODV, VCRP, VCBRP, DSDV 순으로 우수한 제어 오버헤드 비트율 성능

을 나타낼 수 있다. 그리고, 50개의 단말이 존재하는 경우에 가장 우수한 제어 오버헤드 비트율 성능을 보였으며, VCBRP은 DSDV보다는 우수하고 AODV보다는 좋지 못한 제어 오버헤드 비트율 성능을 보였다. 한편, 제어 오버헤드 성능은 50개의 단말을 기준으로 열악해지는 경향을 보였는데, 이는 제어 오버헤드 비트율 성능이 경로 단절률과 직접적인 상관 관계가 있기 때문에 그림 13의 경로 단절률 성능을 고려하면 일치되는 결과임을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 ad-hoc 네트워크의 잦은 토폴로지 변화에 적은 오버헤드로 신속하게 대처할 수 있으며 경로탐색 패킷에 의해 효율적으로 네트워크의 정보 수집이 가능하도록 가상 클러스터를 정의하였다. 그리고, 이의 특성을 이용한 경로설정 프로토콜(Virtual Cluster-based Routing Protocol: VCRP) 방식을 제안하고, 또한 전송 지연 성능의 향상을 위해 백업 경로를 동시에 고려하는 프로토콜(Virtual Cluster-based Routing Protocol with Backup Route: VCBRP)을 고려하였다. 시뮬레이션을 통해 VCRP는 단말의 수에 따른 모든 부하와 단말의 모든 속도 구간에 대해서 전송 지연시간 성능을 대표적인 PRP 방식인 DSDV와 유사한 수준으로 향상시키고, 동시에 제어 오버헤드의 성능을 대표적인 RRP 방식인 AODV와 유사한 수준으로 향상시킴을 확인하였다. 또한, VCBRP의 경우에도 전송 지연 성능, 경로 단절률 성능, 그리고 자원 이용률 측면에서 추가적인 성능 향상을 나타냈으며, 또한 제어 오버헤드 비트율 성능은 DSDV와 VCRP의 중간 정도의 성능을 보이는 것을 확인하였다. 즉, 모든 네트워크 상황에 대해서 VCRP는 PRP 방식이 갖는 짧은 전송 지연시간의 장점과 RRP 방식이 갖는 높은 오버헤드 효율성 장점을 동시에 추구했고, VCBRP는 오버헤드 효율성을 극심하게 열화시키지 않는 범위에서 전송 지연시간 성능, 경로 단절률 성능, 그리고 자원 이용률 성능을 극대화 시켰다.

한편, 모든 라우팅 프로토콜의 성능은 단말의 평균 속도에 비례하여 열화되며, 성능의 극대화를 이룰 수 있는 최적의 단말 밀도는 단말의 통신 반경 및 단말의 속도에 의해 결정됨을 추론할 수 있었다.

“본 논문은 과학재단 특정기초(과제번호 R01-1999-00239-0) 지원 사업에 의해 수행된 연구 결과의 일부임”

참 고 문 헌

- [1] E. M. Royer and C. K. Toh, “A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks,” IEEE Personal Communications, pp. 46-55, April 1999.
- [2] Z.J. Haas and S. Tabrizi, “On Some Challenges and Design Choices in Ad-hoc Communications,” Proceedings of IEEE MILCOM'98, pp. 1-6, 1998.
- [3] C.E. Perkins, “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers,” Computer Communications Review, pp. 234-244, October 1994.
- [4] S. Murth and J.J. Garcia-Luna, “An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks,” ACM Mobile Networks and Application Journal - Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks, pp. 183-197, October 1996.
- [5] C.E. Perkins, “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing,” Proceedings of 2nd IEEE Workshop Mobile Computer Systems and Applications, pp. 90-100, February 1999.
- [6] D.B. Johnson and D.A. Maltz, “Dynamic Source Routing in Ad-hoc Wireless Networks,” in *Mobile Computing*, T. Imielinski and H. Korth, Eds. Norwell, MA: Kluwer, ch. 5, pp. 153-181, 1996.
- [7] V.D. Park and M.S. Corson, “A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks,” Proceedings of INFOCOM'97, pp. 1405-1413, 1997.
- [8] C.K. Toh, “Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks,” Wireless Personal Communications, vol. 4, no. 2, pp. 1-36, March 1997.
- [9] Z.J. Haas, “A New Routing Protocol for the Reconfigurable Wireless Networks,” Proceed-

