ISSN : 1226-7244 (Print)
ISSN : 2288-243X (Online)
논문번호 19-01-40
280

j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.23,No.1,280~288,March 2019
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2019.23.1.280

클러스터링 기반 인지 무선 애드혹 라우팅 프로토콜의 경로 복구 오버헤드 감소 기법

A Method for Reducing Path Recovery Overhead of Clustering-based, Cognitive Radio Ad Hoc Routing Protocol

장 진 경*, 임 지 훈*, 김 도 형***, 고 영 배*★, 김 정 식**, 서 명 환**

Jin-kyung Jang*, Ji-hun Lim*, Do-Hyung Kim*, Young-Bae Ko*★, Joung-Sik Kim**, Myung-hwan Seo**

Abstract

In the CR-enabled MANET, routing paths can be easily destroyed due to node mobility and channel unavailability (due to the emergence of the PU of a channel), resulting in significant overhead to maintain/recover the routing path. In this paper, network caching is actively used for route maintenance, taking into account the properties of the CR. In the proposed scheme, even if a node detects that a path becomes unavailable, it does not generate control messages to establish an alternative path. Instead, the node stores the packets in its local cache and 1) waits for a certain amount of time for the PU to disappear; 2) waits for a little longer while overhearing messages from other flow; 3) after that, the node applies local route recovery process or delay tolerant forwarding strategy. According to the simulation study using the OPNET simulator, it is shown that the proposed scheme successfully reduces the amount of control messages for path recovery and the service latency for the time-sensitive traffic by 13.8% and 45.4%, respectively, compared to the existing scheme. Nevertheless, the delivery ratio of the time-insensitive traffic is improved 14.5% in the proposed scheme.

요 약

인지 무선 기술을 활용하는 모바일 애드 혹 네트워크에서는 인지 무선 기술의 특성 (주 사용자의 등장으로 인한 채널 변경) 및 단말의 이동성으로 인한 빈번한 경로 단절이 발생하며, 이에 따라 경로 유지/복구 오버헤드가 크게 증가하고 컨트롤 메시지 혼잡에 따른 서비스 품질저하가 초래될 수 있다. 본 논문에서는 인지 무선 기술의 특성을 고려하여, 네트워크 캐싱을 활용한 경로 유지/복구 방법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 단말이 경로 단절을 인지하더라도, 즉시 경로 재설정을 위한 메시지들을 발생시키지 않고, 전달받은 패킷을 저장한 채, 1) 주사용자가 비활성화 되는 것을 기다리고 2) 다른 플로우의 메시지를 오버히어링하여 유효한 우회로를 파악함으로써, 불필요한 컨트롤 메시지 발생을 최소화한다. 이후에도 경로복구가 이루어지지 않을 경우, 지역적인 경로복구 및 지연 전달방법을 적용함으로써, 메시지 전달률을 확보하게 된다. OPNET 시뮬레이션을 통한 성능 검증에 따르면, 제안하는 방법은 혼잡한 네트워크에서 기존 연구 대비 네트워크에 경로 복구를 위해 발생하는 컨트롤 메시지를 13.8% 감소시키며, 이로 인해 실시간성 트래픽의 전달 지연시간을 45.4% 줄일 수 있음을 확인하였다. 그럼에도 비실시간성 트래픽의 전달률을 14.5% 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

Key words : Cognitive Radio Ad Hoc Networks, Clustering-based Routing, Path Recovery Overhead, Different Service, Caching and Overhearing

---

* Dept. of Computer Engineering, Ajou University
** Tactical Comm. Team, C2・Comm R&D Division, Hanwha Systems
*** Dept. of Computer Science, Kangwon National University.
★ Corresponding author
E-mail : milkis95@ajou.ac.kr, Tel : +82-31-219-1841
※ Acknowledgement
This work was supported by a grant-in-aid of Hanwha Systems.
Manuscript received Mar. 8, 2019; revised Mar. 23, 2019; accepted Mar. 27, 2019.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서론

최근 VR/AR 장비, IoT 센서 디바이스들을 비롯한 다양한 무선 기기의 등장과 5G, 자율주행차, 무선충전 등 새로운 무선 서비스의 등장으로 인해 주파수 수요가 급격하게 증가하고 있다. 이러한 상황에서 제한된 가용 주파수 대역을 가진 기기는 주파수 수요에 대응하지 못하여 서비스 제공에 어려움이 생길 수 있다. 이를 해결하고자, 부족한 가용 주파수를 가진 기기에 인지 무선 기술(CR : Cognitive Radio)을 적용하는 연구가 진행되고 있다. 인지 무선 기술은 제한된 주파수 대역을 사용하는 부 사용자(SU : Secondary User)가 다른 주파수 대역을 관찰한 후에 유휴 주파수를 사용하는 기술로써, 주파수 효율성을 증가시키는 목적을 가지고 있다. 부 사용자는 주 사용자(PU : Primary User)가 주파수를 사용하는 데에 간섭을 일으키지 않아야하기 때문에 주기적으로 채널을 관찰하여 주 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수로 채널을 변경해야하는 특성을 가진다.

CRAHNs(Cognitive Radio Ad Hoc Networks)에서는 CR의 특성과 단말의 이동성으로 인해 단말간의 링크가 빈번히 단절되며, 이에 따라 네트워크 환경 전체의 경로는 불안정해져서 경로 복구 메시지의 오버헤드가 증가하는 경향을 보인다. 네트워크의 혼잡도는 발생한 오버헤드와 비례하여 증가하게 되고, 결과적으로 실시간성 서비스의 품질이 저하되는 문제가 생길 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 기존 연구자들은 토폴로지 관리 기법과 라우팅 기술을 제안하여 네트워크 안정성을 향상시켜왔다. 먼저, 토폴로지를 효율적으로 관리함으로써 안정적인 라우팅을 하는 연구가 진행되어 왔는데, 특히 클러스터 구조는 주 사용자의 활성화로 인한 채널 변경 범위가 클러스터 단위로 수행되어 플랫 구조에 비해 높은 안정성을 가지는 것으로 알려져 있다[1, 2]. 라우팅 기법을 달리하여 안정성을 확보하기 위해서는, 주 사용자의 활성화 빈도를 인지하여 라우팅 메트릭에 적용하는 방향으로 연구가 진행되어 왔다[3-6].

인지 무선 기술을 적용한 기기는 두 가지 안정화 기법을 통해 안정적인 경로를 확보할 수 있고, 이에 따라 서비스의 품질을 향상시킬 수 있다. 하지만 예측 불가능한 주 사용자의 활성화 주기와 주변 노드의 이동성으로 인해 극적인 토폴로지 변화를 가진 네트워크 환경에서는 여전히 안정성 저하로 인해 발생하는 문제가 남아있다. 따라서 안정성이 낮은 네트워크에서 네트워크 혼잡도를 최소화하며, 네트워크 성능을 향상시킬 수 있는 효율적인 링크 복구 방법을 연구할 필요가 있다.

본 논문에서는 CRAHNs 클러스터링 환경에서 네트워크 혼잡도를 줄이고 실시간성 서비스의 품질을 보장하는 "차별적 경로 복구 기법"을 제안한다. 먼저, 실시간성 트래픽의 경우에는 중간 노드가 링크 단절을 감지할 때 즉시 출발지 노드에게 경로 단절을 알리고 출발지 노드는 최적의 경로를 복구하여 실시간성을 보장할 수 있도록 한다. 반면, 비실시간성 트래픽의 경우에는 지연을 감내할 수 있는 특성을 고려하여 캐싱 및 오버히어링을 통해 경로를 복구함으로써 불필요한 제어 메시지의 발생을 감소시킨다. 이후에도 다른 메시지로 인해 경로 복구가 진행되지 않는 경우에는 지역적인 경로 복구 방법 및 지연 전달 방법을 적용함으로써 메시지 전달률을 확보하도록 한다. OPNET 시뮬레이션 검증에 따르면 혼잡한 네트워크에서 기존 연구에 비해 경로 복구에 필요한 제어 메시지를 13.8% 감소시켰고, 실시간성 트래픽의 전달 지연 시간을 45.4% 줄였다. 동시에, 비실시간 트래픽은 전달률을 확보하는 기법을 사용하기 때문에 14.5% 만큼의 전달률이 향상되었다.

Ⅱ. 관련 연구

CRAHNs에서는 주 사용자의 활성화와 각 단말들의 이동에 따라 생기는 불안정한 환경 속에서 신뢰성 있는 통신을 보장하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 본 장에서는 CRAHNs 환경에서 안정적인 통신을 위한 클러스터링 기법과 라우팅 기술에 대해서 소개한다.

1. CR 기반 Ad Hoc 망에서의 클러스터링 기법

클러스터는 비슷한 성질을 가진 노드끼리 논리적으로 무리를 형성한 단위체를 의미한다. 네트워크에서의 클러스터는 라우팅을 수행하는 목적으로 형성되며, 각 클러스터는 헤드가 선출되어 헤드를 중심으로 클러스터 및 라우팅이 관리된다. 클러스터기반의 라우팅 기법은 특정 노드들만 경로 탐색

과정에 참가하기 때문에 경로 탐색의 오버헤드가 감소하며[2], 네트워크 확장성이 증가하게 된다. 특히, CRAHNs에서 클러스터 기반의 토폴로지 관리는 주 사용자의 활성화에 의한 채널 변경을 클러스터 단위로 수행하기 때문에, 네트워크 안정성을 확보할 수 있다. SMART[5]는 안정적인 라우팅을 수행하기 위해 클러스터링 기법을 제안했으며, 본 논문의 제안 기법은 해당 기법을 차용하고 있다. 상세 내용은 3절에 소개한다.

2. CRAHNs에서의 라우팅 기술

CRAHNs에서의 라우팅 기술들은 안정성을 증가시키기 위해 주 사용자의 활성화 주기를 고려하여 경로를 탐색하거나 효율적인 경로 복구 방법을 통해 링크 단절에 적절히 대응한다. PSR[4]과 SMART[5]는 주 사용자의 활성화 주기를 관찰하여 각 링크에 사용되는 채널이 주 사용자에 의해 변경될 확률을 계산하고, 이를 라우팅 메트릭으로 사용한다. PSR은 계산한 메트릭을 통해 주 사용자의 개입 확률이 가장 낮은 경로를 선택함으로써 경로의 유지시간을 증가시켰고 SMART는 최악의 링크 가용 확률을 가진 경로를 회피함으로써 경로의 안정성을 확보했다.

이 두 가지 기법들은 주 사용자의 활성화 빈도를 관찰하여 네트워크의 안정성과 경로의 유지시간을 증가시켰으며, 경로 단절시 발생하는 오버헤드와 트래픽 손실률을 최소화 했다. 하지만 주 사용자의 활성화 빈도나 노드의 이동성이 증가함에 따라 네트워크 안정성이 급격하게 줄어드는 문제가 남아있으며, 따라서 극적으로 동적인 네트워크 환경에서도 안정성을 높이는 연구가 필요하다.

SAR[6]와 SEARCH[7]는 링크 단절의 원인을 주 사용자의 활성화에 따른 채널 변경과 노드의 이동성으로 구분하여 다른 경로 복구 방법을 수행함으로써 네트워크 안정성을 향상시켰다. SAR는 주 사용자의 활성화로 인해 링크 단절이 일어나면, 중계 노드가 즉각적으로 채널을 변경하지 않고, 노드의 전송 범위를 주 사용자에게 간섭을 미치지 않도록 조정하여 경로 복구를 수행한다. 반면 노드의 이동성으로 인해 링크 단절이 일어나는 경우에는, 지역 복구 기법을 사용하여 경로 복구 메시지를 최소화하였다. SAR는 채널 변경으로 인한 경로 단절을 최소화하고 경로 복구의 오버헤드를 제한함으로써 네트워크 안정성을 향상시켰다. 하지만 주 사용자의 빈번한 출현과 노드의 이동성을 예측하기 어려운 네트워크 환경에서는 경로 복구가 빈번하게 발생되기 때문에 라우팅 오버헤드와 트래픽 손실률이 증가할 수 있다.

SEARCH는 주 사용자 활성화에 의해 링크가 단절되면, 경로 단절을 인지한 중계 노드가 자신의 모든 가용 채널에 대해서 새 경로를 탐색한다. 반면 노드의 이동성에 의해 링크가 단절되는 경우에는 칼만 필터링 기법을 통해 단절된 노드의 움직임을 예측하여 효율적인 경로 복구를 수행한다. SEARCH는 경로를 짧은 시간에 복구함으로써 불안정한 네트워크 환경에서도 높은 네트워크 성능을 가지는 장점이 있다. 하지만 CR 특성에 의한 경로 복구 과정에서 모든 채널에 대한 경로 복구를 시도함에 따라 라우팅 오버헤드가 증가할 수 있다. 이동성에 의한 경로 복구 과정에서는 모든 노드에 대한 움직임을 항상 예측해야하기 때문에 에너지 측면의 오버헤드가 발생할 수 있다.

III. 제안 기법 : 차별적 경로 복구 기법

제안 기법은 클러스터링, 캐싱 및 오버히어링을 사용하기 때문에 추가적인 기능이 요구된다. 1절에서 제안 기법을 사용하기 위한 시스템 구조를 설명한다. 2절에서는 클러스터링 기법, 3절에서는 클러스터링 기반의 라우팅 기법, 4절에서는 차별적 경로 복구 기법에 대하여 상세하게 기술한다.

1. 시스템 구조

시스템 구조는 그림 1과 같이 노드가 작동하는 네트워크 환경과 노드의 구조를 나타내는 내부 환경으로 분리된다. 모든 노드는 이동성을 가질 수 있고, 노드가 참여하는 네트워크 환경은 여러 채널이 존재한다. 노드의 가용 채널은 주 사용자의 활성화에 따라 변경된다.

노드의 내부 구조는 MAC 계층, IP 계층, 그리고 두 계층 간에 정보를 공유하는 Cross-layer로 구성된다. MAC 계층에서는 주 사용자의 활동을 인지하고 통신을 방해하지 않기 위해 채널 감지 및 채널 변경 기능이 요구된다. 또한, 채널 자원의 균등한 분배를 위해 TDMA 기법을 사용한다. 모든 노드의 시간 동기는 일치하다고 가정한다. 모든 노드

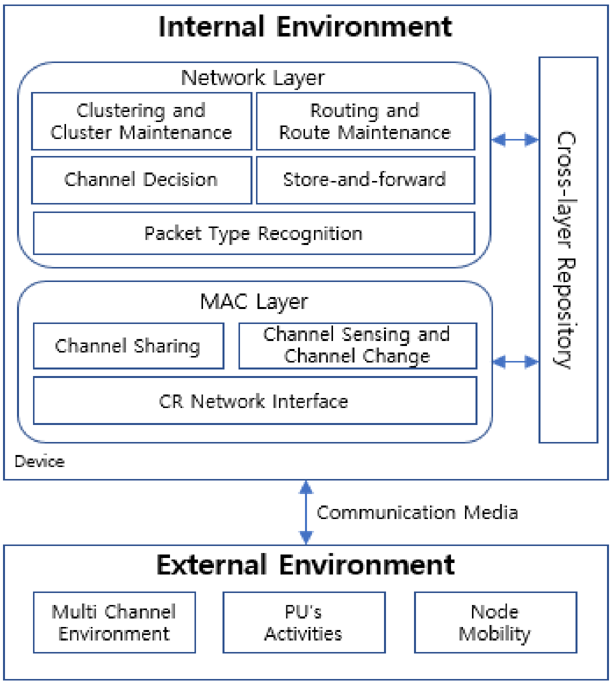

Fig. 1. System architecture of the proposed scheme.
그림 1. 제안 기법 시스템 구조

는 헤드 노드로부터 슬롯을 할당받아서 한 프레임마다 한 번의 패킷 전송기회를 가진다.

IP 계층에서는 클러스터 생성 및 유지 보수 기능과 클러스터 기반의 라우팅 기법이 필요하다. 이때, 클러스터 헤드 노드는 클러스터 내부 통신에 사용할 공용 채널을 결정한다. 제안하는 기법은 트래픽의 종류를 파악하여 차별적 경로 복구 기법을 수행할 수 있어야 하며, 비실시간 트래픽의 경우에는 컨트롤 메시지를 줄이기 위해 캐싱 및 오버히어링 기능이 요구된다.

2. 클러스터링 기법

본 논문은 SMART[5]의 클러스터링 기법을 차용하며, 차별적 경로 복구 기법에 초점을 둔다. 클러스터는 그림 2와 같이 라우팅 및 클러스터 관리를 책임지는 헤드 노드(CH : Cluster Head), 헤드를 제외한 클러스터를 이루는 멤버 노드(MN : Member Node), 멤버 노드들 중 외부 클러스터와 통신을 담당하는 게이트웨이 노드(GN : Gateway Node), 클러스터 헤드와 한 홉으로 연결이 불가능한 멤버 노드를 클러스터 헤드와 연결시켜주는 릴레이 노드(RN : Relay Node)로 구성된다. 클러스터에 참여하지 못한 노드는 일반 노드(NN : Non-clustered Node)로 분류된다.

클러스터링 기법은 클러스터 형성 과정과 유지보수 과정으로 분류된다. 각 노드들은 주기적으로 클러스터 정보가 포함된 Hello 메시지를 모든 가용 채널에 송신하여 클러스터를 관리한다.

초기 상태에서 일반 노드들은 자신과 이웃 노드들의 가용 채널의 수를 비교해서 가용 채널이 가장 많은 노드를 클러스터 헤드로 선출한다. 새로 선출된 클러스터 헤드는 자신의 가용 채널들 중에서 주 채널과 백업 채널을 설정하고, 주 사용자가 활성화될 시 채널을 백업 채널로 신속하게 변경함으로써 구조적 안정성을 높인다. 일반 노드들은 자신의 채널 품질을 계산하여 높은 품질의 채널부터 순차적으로 클러스터에 참여를 요청한다.

외부 클러스터 정보를 수신한 멤버 노드는 게이트웨이 노드로서 수행할 수 있다. 이미 해당 외부 클러스터에 대해 게이트웨이 노드가 존재한다면, 외부 클러스터의 헤드까지 더 적은 홉 수를 가지는 노드가 게이트웨이 노드로 선출된다. 게이트웨이 노드는 단일 채널 인터페이스의 특징으로 인해 오직 1개의 외부 클러스터에 대해서만 클러스터 간의 통신을 담당한다.

클러스터는 클러스터 병합 및 분할 기법을 통해 적절한 클러스터 규모를 유지하여 네트워크 성능과 안정성을 보장한다. 클러스터 병합은 게이트웨이 노드가 자신의 클러스터와 해당 외부 클러스터와의 공통 채널의 수가 특정 임계값 이상인 것을 인지할 경우 발생한다. 먼저, 게이트웨이 노드는 두 클러스터 헤드에게 병합 요청 메시지(MREQ)를 전송하여 병합을 요청하고, 각 클러스터 헤드는 다른 병합 과정을 수행하고 있지 않다면 병합 허가 메시지(MACC)를 전송한다. 게이트웨이 노드가 두 클러스터 헤드에게 모두 MACC 메시지를 수신하면, 해당 게이트웨이 노드는 새로운 클러스터 헤드로 선출되어 두 클러스터를 병합한다. 새로운 클러스터 헤드에 한 홉으로 연결되지 못하는 노드들은 기존의 클러스터 헤드가 릴레이 노드로써 동작하여 둘을 연결한다.

클러스터 분할은 주 사용자의 활성화로 인해 클러스터 공통 채널의 수가 임계값 미만으로 될 시 발생한다. 클러스터 헤드는 멤버 노드의 모든 가용 채널에 대해 각 채널을 사용할 수 있는 노드의 수를 기반으로 우선순위를 구한다. 그 후 1, 2순위 채

널을 사용하는 노드들끼리 모여 클러스터를 형성하고 나머지 노드들끼리 모여 클러스터를 형성함으로써 클러스터를 분리한다.

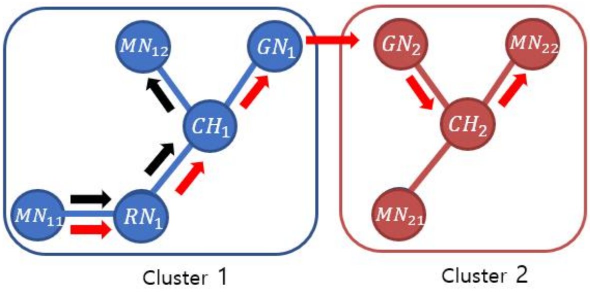

Fig. 2. Cluster-based routing scenario.
그림 2. 클러스터 기반 라우팅 시나리오

3. 클러스터링 기반 Ad Hoc 라우팅 프로토콜

클러스터링 기반의 라우팅 프로토콜은 헤드 중심으로 수행되며, 멤버 노드들은 라우팅 테이블을 관리하지 않는다. 따라서 멤버 노드에서 트래픽이 발생하는 경우, Intra-RREQ 메시지를 헤드에게 송신하여 해당 목적지 노드에 대한 경로가 존재하는지 확인한다. 목적지 노드가 클러스터 내에 있거나, 이미 생성된 경로인 경우에는 멤버 노드가 트래픽을 전송할 수 있도록 경로가 존재한다는 메시지(Intra-$RREQ_{Yes}$)를 전송한다.

목적지 노드에 대한 경로가 존재하지 않는 경우에는, 멤버 노드에게 경로가 존재하지 않는다는 메시지(Intra-$RREQ_{No}$)를 보내며, 목적지 노드에 대한 경로 탐색을 수행한다. Intra-$RREQ_{No}$ 메시지를 받은 멤버 노드는 해당 목적지 노드에 대한 Intra-RREQ를 더 이상 보내지 않고, 이에 따라 불필요한 오버헤드가 발생하지 않는다. 헤드로부터 송신된 경로 탐색 메시지는 게이트웨이 노드를 통해 외부 클러스터로 플러딩되며, 목적지 노드가 참여하고 있는 클러스터의 헤드가 RREQ 메시지를 받는 경우에 RREP 메시지를 회신한다. 순차적으로, RREP 메시지를 수신 받은 출발지 클러스터의 헤드는 가장 낮은 홉 수를 가지는 경로를 선택한다. 성공적으로 경로가 수립된 후에는, 경로를 요청했던 출발지 노드에게 Intra-$RREQ_{Yes}$를 전송하여 트래픽을 전송할 수 있도록 한다.

그림 2는 제안 기법의 라우팅 과정을 보여준다. 출발지 노드는 클러스터 헤드에게 Intra-RREQ 메시지를 전송하여 경로 탐색을 요청한다. 목적지 노드가 “MN_{11}-RN_1-CH_1-MN_{12}”와 같이 헤드의 라우팅 테이블에 정보가 존재하는 경우에는, Intra-$RREQ_{Yes}$ 메시지를 통해 출발지 노드의 트래픽 전송을 허용한다. 반면, “MN_{11}-RN_1-CH_1-GN_1-GN_2-CH_2-MN_{22}”와 같이 목적지 노드가 클러스터 외부에 존재하며, 경로가 존재하지 않는 경우에는 경로 탐색을 수행한다. RREQ 메시지를 수신 받은 게이트웨이 노드는 자신의 인접한 클러스터로 플러딩하며, 목적지 클러스터의 헤드가 RREQ를 수신할 때까지 수행된다. 목적지 클러스터의 헤드가 RREQ 메시지를 성공적으로 수신하면 출발지 노드에게 RREP 메시지를 회신한다. 최종적으로 출발지 클러스터의 헤드는 목적지 노드에 대한 경로를 확보하고 출발지 노드에게 Intra-$RREQ_{Yes}$ 메시지를 보내어 트래픽을 전송하도록 한다.

4. 트래픽 실시간성을 고려한 차별적 경로 복구

기존 라우팅 기법에서는 경로 단절을 인지한 중계 노드가 출발지 노드에게 경로 단절을 알려 출발지 노드에서부터 새로운 경로를 찾는 복구 기법을 사용한다. 해당 기법은 새로운 네트워크 환경에 최적화된 경로를 신속하게 탐색한다는 장점이 있다. 하지만, CRAHNs 환경은 링크 단절이 빈번하게 발생하기 때문에 경로 재탐색으로 인한 오버헤드가 단절의 횟수와 비례하여 증가하고, 이로 인한 높은 네트워크 혼잡도에 의해 실시간성 트래픽의 품질이 저하되는 문제가 생긴다.

이를 해결하고자, 제안 기법은 패킷의 종류를 구분하고, 차별적 경로 복구 방법을 사용함으로써, 경로 재탐색 오버헤드를 줄이고 실시간성 트래픽의 품질을 향상시킨다. 먼저, 실시간성 트래픽의 경로가 단절되는 경우에는, 기존 경로 복구 알고리즘을 사용하여 최적 경로를 신속하게 얻는다. 반면, 비실시간 트래픽의 경로가 단절되는 경우에는, 임시적으로 패킷을 캐싱 및 오버히어링하여 기회적인 링크 복구를 수행한다.

가. 실시간성 트래픽 경로 복구 기법

CRAHNs에서 최적의 경로는 노드의 이동성과 주사용자 활동에 의해 빈번하게 변경된다. 실시간 트래픽은 경로 단절에도 지속적인 서비스 품질을 제공해야하기 때문에, 최적의 경로를 신속하게 복구하는 기존의 경로 복구 기법을 사용한다. 먼저, 경

로 단절을 인지한 중계 노드는 RERR 메시지를 출발지 노드에게 전송하여 경로 단절을 알린다. 이후, 경로 단절을 인지한 출발지 노드의 클러스터 헤드는 경로 재탐색 과정을 즉각적으로 수행하여 최적의 경로를 수립한다.

나. 비실시간성 트래픽 경로 복구 기법

비실시간 트래픽은 지연을 감내할 수 있는 특성에 착안하여 여러 기법들을 단계적으로 수행함으로써 기회적으로 경로를 복구한다. 제안하는 기법은 경로 재탐색 메시지를 감소시키며, 이에 따라 실시간성 트래픽의 품질을 증가시키는 결과를 가져온다. 또한, 패킷을 버리지 않고 저장하는 방식을 사용함으로써 전달률을 증가시킨다.

비실시간성 트래픽의 경로가 단절되는 경우에는, 단절을 인지한 중계 노드에서 트래픽을 캐싱하며, 해당 노드에서부터 경로 복구를 수행한다. 중계 노드는 오버히어링 기법을 통해 모든 RREP 메시지 또는 데이터 트래픽의 출발지 노드와 목적지 노드의 주소를 확인한다. 해당 과정은 T_{wait} 시간 동안 수행되며, 복구하려는 목적지 노드의 정보를 가진 패킷을 수신하는 경우, 해당 메시지를 송신한 노드를 다음 노드로 설정하여 경로를 복구한다. 경로 복구가 이루어지면, 해당 노드로 보내기 위해 저장한 모든 트래픽을 전송한다.

T_{wait} 시간 안에 경로 복구가 이루어지지 않는 경우에는, TTL을 기존 경로의 목적지까지의 홉 수로 설정하고, 지역적 경로 재탐색을 수행함으로써 컨트롤 메시지의 플러딩을 제한한다. 목적지 노드가 완전히 단절되어 경로가 존재하지 않는 경우에는, 불필요한 RREQ 메시지가 지속적으로 발생하여 오버헤드가 급격하게 증가하게 되는데, 이러한 상황을 회피하기 위해 지역적 경로 복구 과정은 S_{max} 만큼 수행하도록 제한한다. S_{max} 번의 지역적 경로 재탐색을 수행한 후에도 RREP 메시지가 수신되지 않으면, 목적지 노드의 완전한 단절로 인지하여 경로 복구 과정을 중단하고, 경로가 활성화될 때까지 모든 패킷을 캐싱한다.

IV. 성능 평가 및 검증

본 장에서는 OPNET 18.0을 통해 제안 기법의 성능을 SMART와 비교하여 성능을 분석한다. 표 1은 설정한 시뮬레이션의 환경을 나타낸다. 모든 노드는 단일 채널 인터페이스를 사용한다. TDMA에서 사용된 프레임 길이는 15ms로, 각 슬롯에는 0.5ms만큼 할당된다. 네트워크에는 총 28개의 노드로, 24개의 부 사용자와 4개의 주 사용자가 배치된다. 실시간성 트래픽과 비실시간성 트래픽은 각각 VoIP G.723.1과 조도센서 데이터 타입을 사용을 사용했다. 제안 기법에 사용되는 파라미터로써 T_{wait}는 2초로 설정하고, S_{max}는 2번으로 설정하여 지역적 경로 복구 과정에서 발생하는 오버헤드를 줄인다.

Table 1. Simulation environment.
표 1. 시뮬레이션 환경

Parameters	Values
Simulation time	70 s
Number of nodes	SU (24), PU (4)
Traffic Type	Realtime traffic: VoIP G.723.1 (24 bytes, 30ms, CBR)
	Non realtime traffic: Lighting Sensor (100 bytes, 100ms, CBR)
Frame size, Slot size	15 ms, 0.5 ms
Data Rate	2 Mbps
Number of channels	8
S_{max}, T_{wait}	2 times, 2 s
Mobility Model	Random Waypoint
Speed	10 ~ 20 m/s

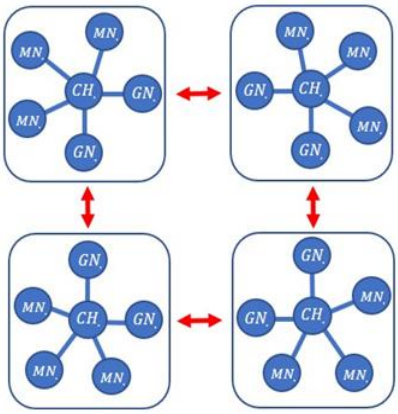

Fig. 3. Simulation scenario topology.
그림 3. 시뮬레이션 시나리오 토폴로지

그림 3은 실험에서 설정한 토폴로지 그림이다. 모든 노드는 2000m×2000m 안에서 15초부터 10~20 m/s 속도로 임의적인 방향을 향해 움직인다. 시나

리오의 네트워크 혼잡도를 조정하기 위해 데이터 흐름의 수를 변경하여 실험했으며, 실시간 트래픽과 비실시간의 트래픽의 비율을 1:3으로 설정했다. 성능 분석을 위해 5번의 실험의 평균값을 계산했다. 모든 트래픽은 10초부터 발생한다.

그림 4는 데이터 흐름의 수에 따라 1 초당 평균 제어 메시지 수의 변화를 측정한 그래프이다. 두 기법 모두 데이터 흐름의 수가 많아짐에 따라 네트워크가 혼잡해져 제어 메시지의 수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 제안 기법은 지역적 경로 복구와 캐싱 기법을 사용하여 네트워크의 혼잡도가 높은 상황에서도 효율적인 경로 복구를 수행한다. 반면, SMART의 경우에는 모든 트래픽에 대하여 즉각적인 경로 복구를 수행하기 때문에 네트워크가 혼잡해 짐에 따라 제안 기법에 비교하여 상대적으로 제어 메시지가 증가한 결과를 보인다. 트래픽 흐름의 수가 4와 8인 경우에는 안정적인 네트워크 환경을 나타내는데, 이 때 경로 복구에서 발생하는 메시지보다 다른 메시지에 영향을 더 받기 때문에 비슷한 수준의 오버헤드가 발생한다.

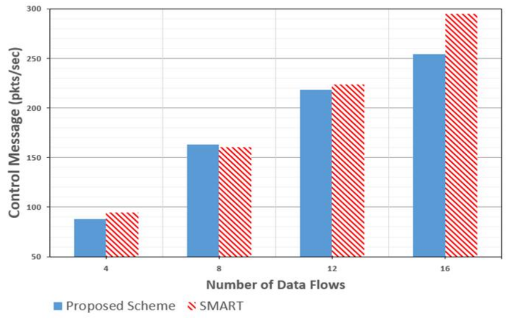

Fig. 4. A comparison of routing overhead.
그림 4. 라우팅 오버헤드 비교

그림 5는 데이터 흐름의 수에 따라 실시간 트래픽의 평균 전송 지연의 변화를 측정한 그래프이다. 이 그래프를 통해 네트워크상의 라우팅 오버헤드가 많아짐에 따라 실시간 트래픽의 전송 지연 시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 제안 기법의 경우에는 비실시간 트래픽의 기회적인 경로 복구를 사용하기 때문에 상대적으로 적은 제어 메시지가 발생하게 되고, 이에 따라 전송 지연 시간의 변화량이 완만하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 트래픽 흐름의 수가 12인 경우에서부터 네트워크의 혼잡도가 전송 지연 시간에 영향을 미치는 것을 볼 수 있는데, 해당 구간에서는 SMART의 라우팅 오버헤드로 인해 전송 지연 시간이 급격하게 증가한 결과를 보인다.

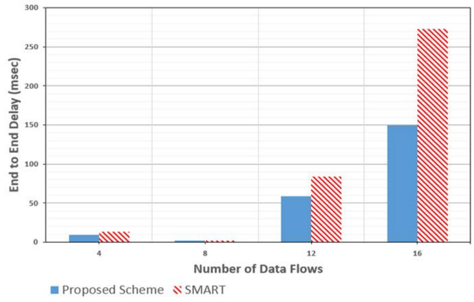

Fig. 5. A comparison of delay for real-time traffic.
그림 5. 실시간 트래픽 전송 지연 시간 비교

그림 6은 데이터 흐름의 수에 따라 비실시간 트래픽의 전달률의 변화를 측정한 그래프이다. 두 기법 모두 트래픽 흐름의 수가 많아짐에 따라 네트워크의 혼잡도가 증가하여 전체적인 비실시간 트래픽의 전달률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 제안 기법은 전반적으로 SMART보다 높은 전달률을 보이는데, 캐싱을 사용하여 경로 단절에도 메시지 전달률을 확보하기 때문에 생긴 결과이다.

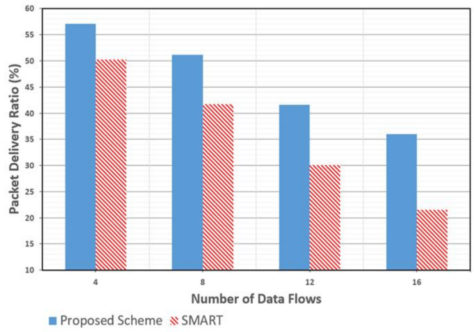

Fig. 6. A comparison of throughput for non-real-time traffic.
그림 6. 비실시간 트래픽 전달률 비교

Ⅴ. 결론

본 논문은 주 사용자의 활동과 노드의 이동성으로 링크 단절이 빈번하게 발생하는 CRAHNs 환경에서 실시간성 패킷 QoS를 위한 클러스터 기반의 차별적 경로 복구 라우팅 기술을 제안한다. 토폴로지 변화가 빈번한 CRAHNs 환경에서는 실시간성 패킷의 QoS 보장을 위한 연구가 필수적이다. 이에

제안하는 기법은 트래픽 속성을 실시간성 트래픽과 비실시간성 트래픽으로 분류하고, 실시간성 트래픽은 신속하게 경로를 복구하며 비실시간성 트래픽은 캐싱 및 오버히어링를 수행하여 컨트롤 메시지 오버헤드를 줄인다.

OPNET 시뮬레이터의 성능 검증을 통해 SMART와 비교했으며, 제안하는 기법을 사용하는 경우에는 13.8%의 경로 복구 메시지 수 감소 및 45.4%의 실시간성 트래픽의 전달 지연 시간 단축을 보인다. 또한, 제안하는 기법에서는 캐싱을 통해 비실시간 트래픽의 전달률을 확보하여 14.5% 만큼의 전달률이 증가하였다.

References

[1] Yau, Kok-Lim Alvin, et al, “Clustering algorithms for cognitive radio networks: A survey,” *Journal of network and computer applications*, Vol. 45, pp. 79-95, 2014. DOI: 10.1016/j.jnca.2014.07.020

[2] Osman, Mahassin Mohamed Ahmed, et al, “A survey of clustering algorithms for cognitive radio ad hoc networks,” *Wireless Networks,* Vol. 24, No. 5, pp. 1451-1475, 2018. DOI: 10.1007/s11276-016-1417-6

[3] Abdelaziz, Samar, and Mustafa Elnainay, “Metric-based taxonomy of routing protocols for cognitive radio ad hoc networks,” *Journal of Network and Computer Applications,* Vol. 40, pp. 151-163, 2014. DOI: 10.1016/j.jnca.2013.09.001

[4] Dutta, Nitul, and Hiren Kumar Deva Sarma, “A probability based stable routing for cognitive radio adhoc networks,” *Wireless Networks,* Vol. 23, No. 1, pp. 65-78, 2017. DOI: 10.1007/s11276-015-1138-2

[5] Saleem, Yasir, et al, “SMART: A spectrum-aware cluster-based routing scheme for distributed cognitive radio networks,” *Computer Networks*, Vol. 91, pp. 196-224, 2015. DOI: 10.1016/j.comnet.2015.08.019

[6] Talay, A. Cagatay, and D. Turgay Altilar, “Self adaptive routing for dynamic spectrum access in cognitive radio networks,” *Journal of Network and Computer Applications,* Vol. 36, No. 4, pp. 1140-1151, 2013. DOI: 10.1016/j.jnca.2013.01.007

[7] Chowdhury, Kaushik R., and M. Di Felice, “Search: A routing protocol for mobile cognitive radio ad-hoc networks,” *Computer Communications,* Vol. 32, No. 18, pp. 1983-1997, 2009. DOI: 10.1016/j.comcom.2009.06.011

BIOGRAPHY

Jin-kyung Jang (Member)

2018 : B.S., degree in Software Engineering, Ajou Univ.
2018~ : M.S., degree in Computer Engineering, Ajou Univ.

Ji-hun Lim (Member)

2018 : B.S., degree in Software Engineering, Ajou Univ.
2018~ : M.S., degree in Computer Engineering, Ajou Univ.

Do-Hyung Kim (Member)

2004 : B.S., degree in Computer Engineering, Ajou Univ.
2014 : Ph.D., degree in Computer Science, KAIST Univ.
2018 : Research professor in Dept. of Computer Engineering, Sungkyunkwan Univ.
2018~2019 : Assistant professor in the Dept. of Software and Computer Engineering, Ajou Univ.
2019~ : Assistant professor in the Dept. of Computer Science, Kangwon National Univ.

Young-Bae Ko(Member)

1991 : B.S., degree in Computer Engineering, Ajou Univ.
1995 : M.B.A, degree in Management Information Systems, Ajou Univ.
2000 : Ph.D., degree in Computer Science, Texas A&M Univ.
2000~2002 : Research Staff Member, Pervasive Security and Networking Dept. IBM T. J. Watson Research Center.
2002~ : Assistant professor, Associate professor and Professor in the Dept. of Info. and Computer Engineering, Ajou Univ.

Joung-Sik Kim (Member)

2005 : B.S., degree in Computer Engineering, Kyungpook National Univ.
2007 : M.S., degree in Computer Engineering, Kyungpook National Univ.
2007~2011 : Engineer, ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute)
2011~ : Senior Engineer, Hanwha Systems

Myung-hwan Seo (Member)

2002 : B.S., degree in information and communications engineering from Chungnam National Univ.
2004, 2009 : M.S. and Ph.D., degree in school of engineering from Information and Communications Univ. (merged with KAIST)
2009~ : Chief engineer, Hanwha Systems