인지 무선 애드혹 네트워크에서의 주변 상황을 고려한 협력적 멀티홉 라우팅 방법

준회원 박 건 우*, 정회원 최 재 각*, 종신회원 유 상 조 *

Multi-hop Routing Protocol based on Neighbor Conditions in Multichannel Ad-hoc Cognitive Radio Networks

Geon-Woo Park* *Associate Member*, Jae-Kark Choi* *Regular Member*, Sang-Jo Yoo* *Lifelong Member*

요 약

제한된 주파수 자원의 효율적인 사용을 위한 인지 무선(Cognitive Radio) 네트워크에서는 노드간에 라우팅을 수행함에 있어 주사용자의 출현에 따른 스펙트럼 핸드오버 과정이 라우팅 지연 시간의 대부분을 차지하고, 경로의 신뢰성도 떨어뜨린다. 본 논문에서는 멀티 채널 환경의 인지 무선 ad-hoc네트워크에서 주사용자의 출현 가능성과 주변 사용자의 상황을 고려한 분산적 라우팅 경로 선택 프로토콜을 제안한다. 각 노드는 경로 탐색시에 노드별 이용가능 채널, 이웃노드의 주사용자 출현 여부등의 정보가 담긴 메시지를 브로드캐스팅하며 이를 받은 중계 노드들은 이 메시지의 정보를 갱신하여 재전송하고 상태테이블을 유지한다. 목적노드는 메시지들을 받으면서 최적의 경로를 결정하고 그 경로로 응답 메시지를 보냄으로써 경로선택을 마친다. 데이터 전송중에는 주사용자의 출현확률과 평균 출현시간을 갱신해간다. 그 중 가장 값이 낮은 채널을 선택하여 주사용자의 출현에 따른 영향이 적도록 하고, 주사용자의 출현이 발견될 시에 이용가능채널 리스트를 이용하여 전체경로를 바꾸지 않으면서 채널이동만으로 주사용자에 의한 간섭을 회피할 수 있도록 한다. 모의 실험을 통해 기존의 라우팅 방법 보다 제안된 방법을 이용하여 선택된 경로의 구간별 신뢰도는 현저히 높아지고 소요되는 비용은 낮아짐을 확인하였다.

Key Words : Cognitive Radio, Ad-hoc Routing, Neighbor conditions, Available channel

ABSTRACT

During the routing process between nodes on the CR(Cognitive Radio) network conducting for efficient use of limited frequency resources, spectrum handover process due to the appearance of the PU occupies most of the routing latency, and also decreases the reliability of the path. In this paper, a cooperative routing protocol in a multi-channel environment is proposed. The source node broadcasts a message with available channel lists and probability of PU appearance during its route guidance. The intermediate nodes re-transmit the message, received from the source node, and update and maintain the information, status table of the path. The destination node determines the optimal path and sends a reply message to the selected path after it receives the messages from the intermediate nodes. The average probability of the PU appearance and the average time of the PU appearance are updated while transferring data. During data transmission the channel with the lowest probability of appearance of the PU is selected dynamically and if a PU appears on the current channel partial repairment is performed. It is examined that reliability of the selected path considerably is improved and the routing cost is reduced significantly compared to traditional routing methods.

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0000362)
※ 본 연구는 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음
* 인하대학교 정보통신대학원 (gwpark@inha.edu, jkc@inha.edu, sjyoo@inha.ac.kr)
논문번호 : KICS2010-11-515, 접수일자 : 2010년 11월 1일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 1일

Ⅰ. 서 론

전통적으로 무선 통신 시스템은 고정된 스펙트럼 대역을 할당 받아 이를 기반으로 동작하는 방식이었다. 최근 무선 통신 기술의 집약적인 발전과 더불어 무선 통신 서비스에 대한 수요는 급격히 증가하고 있지만, 기존의 방법대로 고정적으로 할당할 수 있는 스펙트럼 대역에는 한계가 있다. 1999년 Joseph Mitola Ⅲ는 유연하고, 효율적인 주파수 공유를 달성하기 위해 다른 무선 통신 시스템에 할당 되어있는 주파수 대역이지만 실제로 사용되지 않고 있는 주파수 대역을 감지하여 이를 사용할 수 있도록 하는 인지 무선(Cognitive Radio, CR)기술을 제안하였다[1]. FCC (Federal Communications Commission)는 주파수 자원의 이용을 개선하는 방법과 새로운 주파수 공유 분야의 활발한 연구 활동을 장려함을 목적으로 한 보고서를 발행하였고[2], 2002년에는 무선 인지 기술이 FCC에 의해 사용이 승인되었다[3]. 최근 IEEE 802.22 WRAN 워킹 그룹에서는 부족해지는 주파수 해결을 위해 TV대역에서의 인지 무선 기술 표준을 개발 하고 있다[4]. 이와 같은 인지 무선 기술의 개발 노력은 인지 무선 메쉬 네트워크, 재난, 재해시의 긴급 네트워크, 군 통신 등과 같은 다양한 응용 분야에 적용될 것이다. 인지 무선 기술의 핵심은, 특정 대역에 대한 권한(license)을 부여 받지 않은 부사용자 (SU : secondary user) 시스템이 해당 대역을 이용하여 통신을 수행하는데 있어서, 해당 대역에 대한 권한을 부여 받은 주사용자(PU : primary user) 시스템에게 최대한 간섭(interference)을 주지 않도록 하는 것이다. 따라서 SU는 PU를 보호하는 한편 비상시 즉각적으로 동작 채널을 바꾸어야 한다. 이러한 인지 무선 환경의 멀티채널 ad-hoc네트워크에서 부사용자들 간의 데이터 통신을 위해서는 가용 채널을 이용한 라우팅 경로의 선택이 필요하다. 그러나 인지 무선 노드들로 구성되어 있는 무선 ad-hoc네트워크상에서는 빈번한 PU의 출현과 토폴로지 변화등으로 인해 한 번 설정된 경로를 계속 유지하는 것이 매우 어렵다. 경로의 재검색이 자주 일어날 뿐만 아니라 이용 채널의 변경도 빈번하게 일어나게 된다. 따라서 인지무선 ad-hoc 네트워크에서의 라우팅은 CR기술의 가장 중요한 특징인 PU보호 및 채널 효율성을 고려하여, 데이터 전송의 안전성과 신뢰성을 제공할 수 있어야 한다. 지금까지 무선 ad-hoc 네트워크에서의 라우팅 방법은 많이 제안되었지만, 무선인지 네트워크에서의 라우팅 방법에 관한 연구는 많지 않다. 비록 네트워크에 있는 모든 노드를 연결할 수 있는 데이터 채널을 찾기는 힘들지만, 이웃 간에 있는 노드들은 서로 같은 채널을 공유할 가능성이 높으므로 본 논문에서는 라우팅 경로 선택 문제를 해결하기 위해서 분산적 PU시스템의 출현 가능성과 주변 SU와의 협력을 통한 방법을 이용한 새로운 인지 무선 애드혹 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 인지무선 네트워크에서의 기존 라우팅 프로토콜에 대해 분석하고, Ⅲ장에서는 제안된 CR라우팅의 동작과정 및 경로선택 방법, 채널 선택 방법과 절차를 자세히 다루며, 제Ⅳ장에서는 제안하는 방법의 모의실험을 통해 제안한 방법의 성능평가를 수행한다. 마지막으로 제Ⅴ장에서는 본 연구의 결론을 맺는다.

Ⅱ. 기존의 CR 라우팅 연구

인지무선 네트워크에서의 라우팅은 기존의 무선 애드혹 네트워크에서와는 달리 반드시 고려해야 중요한 요소가 스펙트럼의 스위칭이다. PU의 출현에 따라 해당 스펙트럼을 이용중이던 SU들은 동작 스펙트럼을 변경해야 한다. 이러한 인지무선 노드들 간의 스펙트럼 스위칭의 진행에 따라서 CR 네트워크의 토폴로지는 동적으로 변하게 된다. 이러한 네트워크 토폴로지의 변화는 빈번한 루트 정보의 갱신을 야기시켜 루트 정보의 관리를 복잡하게 하며, 이를 위한 라우팅 제어 메시지의 증가는 네트워크의 오버헤드를 증가시킨다. 따라서 CR라우팅에서는 PU의 출현을 고려한 스펙트럼 정보를 이용하는 것이 중요하다. 무선 멀티채널 네트워크 환경에서도 효율적인 경로와 채널을 찾는 방법들에 대한 유사한 연구들이 이루어 졌다. [5,6]에서는 중앙집중형 멀티채널 네트워크에서 효율적인 라우팅 성능을 보여주었다. 그러나 이러한 연구들의 방식은 항상 최신의 루트 정보를 유지하며, 라우팅 정보를 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지 상의 변경이 있을 때마다 라우팅 정보를 변경하도록 Proactive방식이다. 이러한 Proactive 방식의 라우팅 방법은 멀티홉 인지무선 애드혹 네트워크에서는 적용할 수 없다. 왜냐하면 주기적으로 노드의 위치와 각 노드들의 스펙트럼 분포에 대한 정보를 얻기가 어렵기 때문이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해, AODV[7]와 같은 요구기반(On-demand)방식의 라우팅 프로토콜이 고려될 수 있다. AODV에서의 경로탐색과정은 소스노드가 목적노드로의 경로가 필요할 때에만 실행된다. 소스노드는 데이터를 보내려 하는 목적지에 대한 경로를 찾기 위해 RREQ(Route Request) 패킷을 브로드캐스팅 한다.

중계노드들은 RREQ 메시지를 수신하여 자신이 최종 목적지인지 여부를 확인하여 자신이 목적지가 아니면 자신의 정보를 RREQ에 업데이트 한 후 다시 목적지를 향해 브로드캐스팅 하여 목적지까지 전달한다. RREQ를 수신한 목적노드는 응답메시지인 RREP (Route Reply) 패킷을 생성하여 RREQ 패킷이 거쳐온 경로를 따라 소스노드로 보낸다. 소스노드가 RREP 메시지를 받으면 소스노드에서 목적노드 까지의 경로가 설정된다. AODV를 기반으로한 On-demand방식의 CR 네트워크의 라우팅 방법에는 'Switch-aware'[8], 'SORP'[9]가 있다. 이러한 연구들은 잦은 스펙트럼 변경으로 인한 라우팅 성능의 저하를 고려하여, 이를 극복하기 위해 라우팅 과정 중에서 채널의 변경을 최대한 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 'SORP'에서는 이용가능한 채널정보를 SOP(Spectrum Opportunity)라고 정의하고, 이 정보는 각 노드의 로컬센싱에 의해서 수집되며 각 노드마다 다른 값을 갖는다고 가정하였다. 각 노드는 이러한 SOP를 RREQ에 피기백(piggyback)하여 전송한다. 그림 1의 예와 같이 RREQ를 통하여 각 노드에서의 SOP정보를 취합하여 목적지 노드로 전송하며, 목적지 노드에서는 전송되어온 SOP 정보를 이용하여 채널 변경으로 인한 지연시간이 가장 적은 채널을 선택하고 RREP를 통하여 해당노드에서의 사용할 채널을 결정하여 소스노드로 통보한다.

이러한 연구들은 라우팅시 소요되는 비용과 지연시간을 줄이는 것에 주로 초점을 두고 있으나 실제 CR 라우팅에서 경로의 신뢰성과 지속성은 주 사용자에게의 간섭을 줄이고 CR 데이터 전송의 안정성을 높이는 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 CR 라우팅시에 소요되는 비용을 줄이는 것 뿐만 아니라, 결정된 경로가 PU활동에 영향을 덜 받고 오랫동안 안정적으로 유지될 수 있도록 하기 위해 경로의 지속성과 신뢰성을 고려한 CR 라우팅 방법을 제안한다.

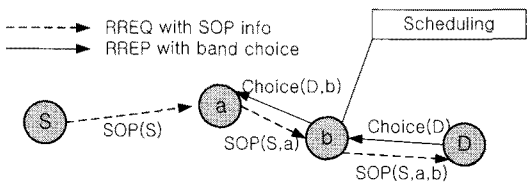


그림 1. SORP 라우팅

Ⅲ. 주변상황을 고려한 제안된 CR 라우팅 방법

본 장에서는 인지무선 애드혹 네트워크에서 동작하는 제안된 라우팅 경로 선택 프로토콜의 목적을 설명하고, 관련 동작을 상세하게 소개한다. 본 논문에서 제안하는 무선 인지 환경의 라우팅 경로 선택 프로토콜은 PU의 출현 가능성과 SU간의 연결성을 고려하고, PU의 출현을 최대한 회피할 수 있는 채널을 선택하여 라우팅을 수행한다. 라우팅 중에 PU가 탐지되었을 경우 즉시 적절하게 부분복구(Partial repairment)나 다른 경로탐색을 시작한다. SU들은 경로 탐색을 위해서 인지무선 ad-hoc 네트워크에 존재하는 공통제어 채널(common control channel)을 이용해서 제어 메시지를 교환한다. 인지무선 SU 들은 로컬 센싱을 통해서 PU의 평균 출현 확률과 평균 활동 시간을 알 수 있고, 그 값들에 대한 테이블을 유지하고 있다. 노드별 센싱 방법과 공통 제어 채널 선택 방법은 이 논문에서 다루지 않는다. 인지무선 애드혹 네트워크 환경에서는 데이터를 보내기 위해 경로를 설정할 때나 설정된 이후에도 PU의 출현으로 인한 경로 및 채널 재설정의 이유로 데이터의 전송이 저하되는 현상이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 각 노드에서의 PU의 평균 출현확률, 평균 출현시간, 이용 가능한 채널의 수 등을 고려하여 PU의 출현가능성이 낮은 채널을 선택하여 경로를 설정함으로써 설정된 경로가 최대한 PU의 출현을 회피할 수 있도록 한다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 방법은 요구기반 방식인 AODV 프로토콜을 인지무선 환경에 적합하도록 수정하였으며 CR라우팅에 필요한 채널정보, PU의 출현여부등을 메시지를 통해 전달한다. 제안된 라우팅에 관련하여 요청, 응답, 에러 메시지의 이름을 각기 CRREQ (Cognitive Route Request), CRREP(Cognitive Route Reply), CRERR(Cognitive Route Error)로 정의 하였다. 또한 본 논문에서는 경로결정방법과 채널선택방법을 각기 나누어 고려하였다.

본 논문의 라우팅 과정을 개괄적으로 살펴보면 각 노드는 로컬 센싱을 통해 얻은 결과를 CRREQ, CRREP에 담고, 이 메시지들의 교환을 통해 라우팅경로를 정한다. 라우팅 경로설정시에 어떤 노드에 CRREQ가 도착했을 때 이전까지 도착했던 메시지의 경로의 비용과 비교하여 현재 CRREQ가 거쳐온 라우팅 비용이 더 낮으면 경로에 포함한다. 현재노드까지 지나온 홉 의수, 해당 노드까지의 경로상의 평균 PU 출현확률과 시간, 평균 이용 가능한 채널의 수등을 고려하여 비용을 계산한다. 이 정보들의 갱신에 사용되는 computing power등에 대해서는 본 논문에서는 고려하지 않는다. 사용채널설정에 있어서는 각 채널의 최대 PU의 출현 확률과 시간, 그리고 채널 필수 변경

여부등의 값을 조건으로 비용을 산출하여 결정하였다. 채널에서 PU의 출현확률이 높으면 채널 변경의 가능성이 크게 되므로 비용 산출시에 높은 가중치를 주었고, 이웃의 PU가 사용하고 있는 채널 때문에 반드시 채널변경을 해야 하는 경우도 높은 가중치를 주어서 해당 채널이 선택되었을 경우에 비용이 높게 발생하도록 하였다. 최종적으로 가장 채널선택비용이 낮은 채널을 선택할 수 있도록 하였다. 이런 방법으로 생성된 경로와 선택된 채널은 PU의 출현을 최대한 피할 수 있고, 경로를 오래 유지 할 수 있는 신뢰성을 가진다.여기서는 소단원에 관한 내용을 간단히 살펴본다. 여기서는 소단원에 관한 내용을 간단히 살펴본다.

3.1 이웃노드의 PU 출현 탐지와 채널 변경 여부 결정

인지 무선 네트워크에서는 숨겨진 주사용자 문제(HIP : hidden incumbent problem)[10]이 발생할 수 있다. 숨겨진 주사용자 문제(HIP)란 한 CR 기지국이 임의의 채널 X를 이용하여 CR 사용자들에게 서비스를 제공할 때 갑자기 인접 노드에서 인컴번트 시스템이 같은 X채널을 이용하여 인컴번트 사용자들에게 서비스를 시작한다. CR기지국은 인컴번트 시스템의 신호 범위를 벗어난 영역에 존재하여 인컴번트 시스템의 존재를 알 수 없지만, CR기지국의 신호 범위와 인컴번트 시스템의 신호 범위와 중첩되는 영역이 발생하게 된다. CR기지국의 신호 범위 내에서는 아직 채널 X를 통하여 서비스를 받고 있는 CR 사용자가 존재하지만 채널 X에 인컴번트 시스템이 등장하였음을 로컬 센싱정보를 통해서는 알 수가 없다. 그래서 CR기지국은 계속해서 채널 X를 통해 CR사용자들에게 서비스를 제공하고, 이로 인해 CR 시스템과 인컴번트 시스템의 신호가 중첩된 영역에 존재하는 인컴번트 사용자는 간섭을 받고, CR 사용자는 인컴번트 시스템의 강한 신호로 인한 간섭으로 CR 기지국과 통신을 할 수 없는 등의 장애가 발생하게 된다. 따라서 신호의 범위가 중첩된 영역에서 CR기지국과 인컴번트 시스템간에 서로의 존재를 알리고, 간섭으로 인한 장애를 피하기 위한 구체적인 방법이 필요하다. 본 논문에서는 라우팅 중에 발생할 수 있는 이러한 문제를 NPD(Neighbor Primary User Detection)를 통하여 해결하였다. 그림 2는 hidden incumbent problem과 NPD의 간단한 예시를 보여주고 있다. 이 네트워크는 {1,2,3}의 총 세 개의 채널을 이용하며 소스노드 S는 PU1이 사용하고 있는 2번 채널을 제외한 자신의 이용가능한 채널들 ACL(Available channel list)에 {1,3}

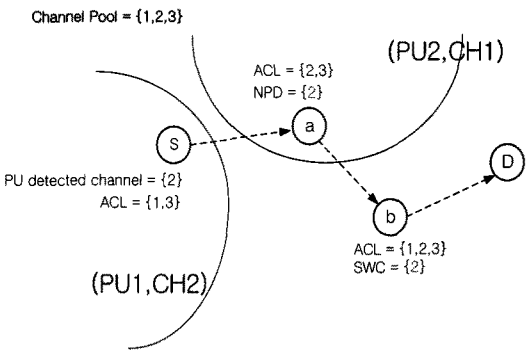


그림 2. NPD와 SWC의 예.

에 대한 정보를 CRREQ에 기록하여 브로드캐스팅한다. 중계노드 a는 PU1의 신호범위 밖에 있지만 두 노드의 신호범위는 중첩되게 된다. 따라서 a가 S에 PU1이 출현하여 2번채널을 사용중인 사실을 인지하지 못한 채 2번채널을 사용하게 된다면 hidden incumbent problem을 발생시키게 될 것이다. NPD를 이용하면 이러한 문제를 해결할 수 있다. 중계노드 a에서 2번 채널이 ACL에 있어서 이용 가능한 채널이지만 S에서 PU가 출현한 채널이기 때문에 2번 채널을 이용해서는 통신이 불가함을 CRREQ메시지의 NPD(Neighbor Primary user Detection)에 기록한 후 이웃노드로 송신한다.

CR 라우팅에 있어서 채널 변경여부는 라우팅에 소요되는 비용을 산출할 때 가장 중요한 요소중의 하나이다. 채널 변경이 잦을수록 라우팅에 소요되는 비용은 증가한다. CRREQ 메시지의 SWC (Switching Channel)는 채널 선택을 위한 비용 산출의 용도로 사용된다. 이전 홉 간의 통신에서 사용했던 채널을 다음 홉 간의 통신에서는 PU의 출현으로 인해 사용할 수 없게 되어 채널변경을 꼭 해야 함을 나타내주는 것이다. SWC는 현재 노드가 CRREQ나 CRREP를 수신하여 어떤 한 채널이 이전노드에서는 NPD이기 때문에 사용하지 못하지만 현재 노드에서는 ACL에 있어 사용가능 할 때 SWC에 기록하게 된다. 왜냐하면 메시지가 돌아오는 역경로 에서는 이 채널을 사용중이라면 현 노드를 지나 이전노드로 갈 때에는 NPD이므로 사용하면 안되기 때문이다. 따라서 SWC에 기록된 채널이 이용중이라면 이 채널을 피해서 변경해야 한다. SWC는 CRREQ가 목적지를 찾아가는 순방향과 CRREP가 돌아오는 역방향 모두에서의 채널 변경여부를 누적 기록하게 되며, CRREP가 도착하여 소스노드가 데이터 전송을 위한 채널을 결정할 때 가중치를 주는 요소로 작용한다. SWC에 기록된 채널들은 데이

터 전송시에 채널변경이 필요하므로 가중치를 낮추고, 그렇지 않은 채널은 채널 변경이 필요 없으므로 더욱 높은 가중치를 갖게 되어 SWC에 기록되지 않은 변경할 필요가 없는 채널이 선택될 가능성이 높다. 그림 2에서 SWC의 간단한 예를 알 수 있다. 노드 b는 노드 a로부터 CRREQ를 받아서 자신의 이용 가능한 채널 리스트(ACL)와 노드 a의 이용가능한 채널리스트를 이용하여 NPD를 파악할 수 있다. 비록 노드 a에서는 채널 2가 NPD 이지만 노드 b에서는 노드a를 제외한 다른 노드와는 채널 2를 통해서 데이터 통신을 할 수 있으므로 NPD가 아니다. 그러나 채널 1은 노드 a에서 PU의 출현하여 사용중이므로 b에서는 NPD가 된다. SWC는 이 곳에서 채널 스위칭이 꼭 필요하다는 것을 나타내준다. 만약 메시지가 되돌아 오는 경로에서 노드 b가 목적노드 D사이에서 채널 2를 통해서 통신을 했다면, 노드 b가 a와 다시 통신을 하기 위해서는 a에서 사용할 수 없는 채널 2를 피해서 다른 채널을 이용해야 한다. 그러므로 노드 b에서 채널 2는 SWC로 설정되고 이는 반드시 채널 변경을 해야함을 나타내므로 CRREP가 소스노드에 도착하여 경로확정시 채널 선택에 있어 낮은 가중치를 받게 된다.

3.2 라우팅 동작 과정

본 논문에서 제안하고 있는 라우팅 방법의 경로 탐색 과정을 살펴보면, 기존의 AODV와 기본구조는 같다. 경로 탐색을 위해 소스 노드에서 CRREQ 패킷을 생성하여 브로드 캐스팅 하여 목적지로 패킷을 전송한다. CRREQ 메시지 안에는 CR라우팅에 필요한 정보들을 전달할 수 있도록 여러 가지 항목들이 정의되어 있다. CRREQ를 받은 중계노드들은 각기 노드의 라우팅 테이블에 CRREQ의 순서번호(sequence number)및 소스 노드의 정보를 저장하고, CRREQ에 자신의 정보를 갱신한다. CRREQ 메시지의 구조를 살펴 보면 그림 3과 같다. CRREQ에는 인지 무선 네트워크에서 라우팅시 채널 선택에 필요한 정보인 NPD(Neighbor Primary User Detection), SWC(Switching Channel)와 현재 노드에서의 PU의 출현 확률과 시간을 각각 P, T를 통해 기록한다. 경로 선택에 필요한 PATH_P, PATH_T, Hop Count, PATH_CH에 대한 정보를 기록한다. 이용 가능한 채널 여부를 나타내기 위해 ACL(Available channel list)을 사용하고, 또한 전달받은 CRREQ를 통해 이웃노드의 PU의 출현 정보를 전달하기 위하여 NPD(Neighbor Primary User Detection)를 이용한다. 또한 PU의 출현으로 인해 다음 노드로 전송되기 위해서 필수적으로 채널을 변경해야 함을

CRREQ						
Destination Node ID						
Transmitting Node ID						
Source Node ID						
SEQ Number						
CHANNEL	1	2	3	4	5	6
ACL	N	Y	N	Y	Y	N
NPD	-	Y	-	N	N	-
SWC	-	-	-	N	N	-
P	-	-	-	P_4^S	P_5^S	-
T	-	-	-	T_4^S	T_5^S	-
PATH_P	P^{PATH}					
PATH_T	T^{PATH}					
Hop count	0					
PATH_CH	CH^{PATH}					

그림 3. CRREQ 패킷(노드 a).

나타내기 위해 SWC(Switching Channel)가 정의되어 있다. PATH_P, PATH_T와 PATH_CH에는 CRREQ가 전송되는 경로상에서의 평균 PU의 출현확률, 출현시간, 평균 이용가능한 채널의 수가 기록된다.

이러한 정보들을 갱신하여 각 노드들은 최적의 경로와 채널을 선택하게 되고, CRREQ를 최종적으로 받은 목적노드는 적합한 경로에 대한 CRREP를 생성하여 응답한다. CRREQ를 보냈던 소스노드는 목적노드가 보내주는 CRREP를 수신하여 그 정보를 바탕으로 데이터를 전송할 라우팅 경로와 채널을 확정한다. 라우팅 경로가 설정되면 소스 노드는 선택된 데이터 채널을 통해 데이터 전송을 시작한다. 신뢰성 있는 경로 선택방법과 채널 선택방법은 3.3에서 상세히 살펴본다.

3.3 신뢰성을 갖는 경로와 채널 선택 방법

CRREQ메시지의 PATH_P, PATH_T와 PATH_CH는 각기 라우팅시 해당노드를 지나갈 때의 경로까지의 PU의 평균 출현 시간, 확률, 그리고 이용가능한 채널의 수를 나타낸다. 이 값들은 경로선택을 위한 cost 계산의 중요 인자이다. 먼저 해당 노드는 주기적인 로컬 센싱을 통해서 현재 노드에서의 PU의 출현 확률과 출현 시간을 얻는다. 이 값과 수신한 CRREQ에 기록된 이전 홉까지의 평균 값을 합산하여 새로운 현재노드에서의 평균 PU의 출현확률과 PU의 평균활동시간을 산출한다. 식으로 나타내면 (1), (2)와 같다. 현재 노드 i에서의 출현 확률(P_i)과 시간(T_i)은 각 이용

가능 채널에서 NPD이기 때문에 사용하지 못하는 채널들을 제외한 실제 사용할 수 있는 각 채널들에서의 PU의 최대출현확률과 시간을 평균한 값이다. 각 채널들의 최대 출현확률을 평균하여 노드에서의 PU출현확률로 사용하는 이유는 경로가 끊겨서 경로 재탐색을 해야 할 때, 전면적 경로 재설정이 아닌 부분 경로 복구 가능성을 높이기 위함이다. 즉, 부분 경로 복구 시 안정적인 PU출현 확률을 가지는 다른 노드를 쉽게 찾을 수 있다.

$$\begin{cases} PATH_P_i = \dfrac{[(h-1)\times PATH_P_{i-1} + P_i]}{h} \\ \qquad (at\ intermediate\ nodes) \\ PATH_P_s = avg[P_k^{\,s}],\ \forall k \in ACL - NPD \\ \qquad (at\ source\ node) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} PATH_T_i = \dfrac{[(h-1)\times PATH_T_{i-1} + T_i]}{h} \\ \qquad (at\ intermediate\ nodes) \\ PATH_T_s = avg[T_k^{\,s}],\ \forall k \in ACL - NPD \\ \qquad (at\ source\ node) \end{cases} \quad (2)$$

PATH_CH는 선택된 경로의 각 노드에서의 평균 이용 가능 채널의 수를 나타낸다.

$$\begin{cases} PATH_CH_i = \dfrac{[(h-1)\times PATH_CH_{i-1} + CH_i]}{h} \\ \qquad (at\ intermediate\ nodes) \\ PATH_CH_s = num[ACL - NPD] \\ \qquad (at\ source\ node) \end{cases} \quad (3)$$

각 노드에서의 실제 이용가능 채널의 수는 ACL에서 NPD의 수를 뺀 값이고, CRREQ메시지가 중계되면서 전송되어 온 값과 현재 노드에서의 이용 가능한 채널의 수를 합산하여 갱신한다. 이렇게 얻어진 값들을 이용하여 현재 노드까지의 경로에 대한 비용을 산출할 수 있다. PU의 출현가능성이 작고 이용가능 채널이 더 많은 경로를 선택함으로서 신뢰성과 지속성을 가지는 경로를 선택한다. p번째 경로 선택의 비용에 대한 $Cost_p^{\,PATH}$는 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$Cost_p^{\,PATH} = F(Hopcount,\ PATH_P,\ PATH_T,\ PATH_CH) \quad (4)$$
$$\forall p \in all\ paths\ which\ receive\ CRREQ$$

라우팅을 진행함에 있어 노드를 거치는 홉의 수가 많아질수록, PU의 출현 확률과 시간이 많을수록, 그리고 이용가능 채널의 수가 적을수록 라우팅 경로선택에 대한 비용은 증가하게 된다. $Cost_P^{\,PATH}$의 실제 계산은 다음과 같이 한다. W_h, W_P, W_t, W_c 는 각 상기 4가지 주요요소들에 대한 가중치로써 이 값들의 총합은 1이다.

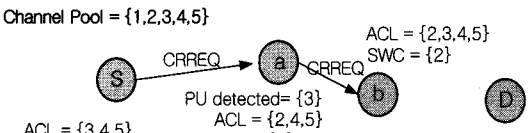
$$Cost_p^{\,PATH} = W_h \times Hopcount_P + W_P \times PATH_P + W_t \times PATH_T + W_c \times \frac{1}{PATH_CH},$$
$$W_h + W_P + W_t + W_c = 1 \quad (5)$$

중계 노드들은 CRREQ를 수신하여 이 메시지에 대해 $Cost_p^{\,PATH}$를 계산하고, 다음 노드로 브로드캐스팅한다. 만약 이전에 도착해서 산출했던 CRREQ가 있었다면 그 메시지에 대한 산출값과 비교하여 보다 작으면 더욱 비용이 적게 들고 PU의 출현으로 인한 영향을 적게 받는 신뢰성이 있는 경로이므로 새로운 경로에 대한 CRREQ를 다시 보내고 라우팅 테이블의 정보를 갱신한다.

CRREQ를 수신한 중계 노드들은 데이터 전송시의 신뢰성 있는 채널 선택을 위해 CRREQ에 담겨있는 정보와 자신의 센싱 테이블을 이용하여 각 채널에서의 최대 PU출현확률과 시간을 산출한다. 그림 4는 소스노드 S로부터 CRREQ를 수신한 노드 a에서의 라우팅 테이블의 정보이다. a노드에서 ACL채널은 {2,4,5}이지만 NPD인 {2}를 제외한 {3,4}번이 실제 이용가능한 채널들이다. 이 채널들에 대한 노드 S와 노드 a 사이에서의 최대 PU의 출현확률과 시간을 산출하는 과정이다.

i) Max P : k채널에서의 노드 i와 j 사이의 최대 PU출현 확률을 나타낸다.
$mP_k^{\,i-j} = \max[P_k^{\,i}, P_k^{\,j}]$

ii) Max T : k채널에서의 노드 i와 j 사이의



CHN	1	2	3	4	5
ACL	N	Y	N	Y	Y
NPD	-	Y	-	N	N
SWC	-	-	-	N	N
MaxP	-	-	-		
MaxT	-	-	-		

그림 4. CRREQ를 수신한 이웃 노드

최대 PU활동 시간을 나타낸다.

$$mT_k^{i-j} = \max[T_k^i, T_k^j]$$

CRREQ를 수신한 목적지 노드는 돌아갈 경로를 선택하고 응답 메시지인 CRREP를 생성하여 이전의 노드로 전송한다. CRREP 응답메시지에도 ACL, NPD, SWC값이 포함되는데 이는 소스노드로 돌아가는 경로상의 채널의 상태를 갱신하기 위해서이다.

CRREQ가 목적지를 향해 전달 될 때에는 순방향으로의 채널 정보만 수집된다. 하지만 CRREP가 소스노드로 되돌아 가면서 역방향으로의 채널의 정보를 CRREQ가 왔을 때와 같은 방법으로 갱신해가면서 양방향 모두에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그림 5에서 보면 CRREQ가 목적노드 D에 도착하고, D는 CRREP메시지를 생성하여 응답한다. 이 때 이웃노드 c로 인하여 목적노드 D의 NPD가 5가 된다. CRREP를 받은 b노드에서는 ACL에 5번채널이 있지만 이웃노드 D의 NPD 이다. 따라서 순방향에서 설정된 2번 채널과 함께 역방향에서의 5번채널이 같이 SWC로 갱신된다. 모든 채널에 대한 정보 갱신이 완료되면 노드 i와 j사이의 데이터 통신에 쓰일 신뢰성 있는 채널의 결정을 위하여 채널에 대한 Cost를 산출한다. 채널 선택에 대한 비용에 대한 함수를 나타내면 다음과 같다.

$$Cost_k^{CH} = F(mP_k^{i-j}, mT_k^{i-j}, SWC_k^j)$$
$$\forall k \in all\ available\ channels\ between\ node\ i\ and\ j\ (ACL_i - NPD_i) \quad (6)$$

각 채널의 선택에 대한 비용은 라우팅 구간 안에서 해당 채널에서의 최대 PU 출현 확률, 출현 시간, 스위칭의 필수여부에 대한 함수로 나타낼 수 있다. ACL에서 NPD에 해당하는 채널들을 제외한 실제 이용가능한 채널들에 대해 각 채널에서 최대 PU의 출현 확률과 시간이 높을수록, SWC에 포함 되어 반드시 채널 변경을 해야 한다면 채널 선택에 대한 비용은 증가하게 된다. $Cost_k^{CH}$의 실제 계산은 다음과 같이 한다.

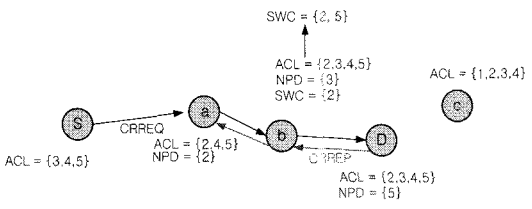


그림 5. 역방향 SWC 정보 갱신.

W_{mp}, W_{mt}, W_{sw} 는 각 상기 3가지 주요요소들에 대한 가중치로써 이 값들의 총합은 1이다.

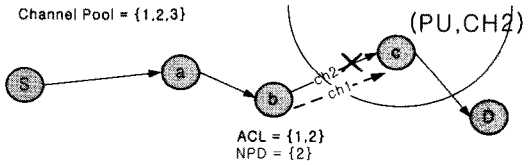
$$Cost_k^{CH} = W_{mp} \times mP_k^{i-j} + W_{mt} \times mT_k^{i-j} + W_{sw} \times SWC_k^j, \quad (7)$$
$$W_{mp} + W_{mt} + W_{sw} = 1$$

SWC_k^j 는 노드 j에서의 채널 변경여부를 나타내는 값이다. 데이터 통신을 위해서 채널을 변경해야 한다면 SWC_k^j는 1로 인덱싱 되고, 그렇지 않으면 0으로 인덱싱 된다. 각 채널에 대해 경로상에서 가장 높았던 PU의 출현 확률과 시간, 그리고 채널의 변경여부를 인자로 하여 가장 작은 값의 $Cost_k^{CH}$를 가지는 채널을 선택하여 데이터 통신에 사용하게 된다. 이는 전체 라우팅 경로상에서 PU가 출현할 확률이 가장 낮은 채널을 선택하여 스위칭이 일어날 가능성을 가장 낮추게 된다.

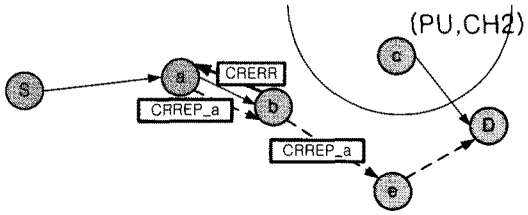
3.4 라우팅 경로 유지

본 논문에서는 라우팅 경로 유지를 위해 순차적인 두 가지 방법을 이용한다. 첫 번째로 경로가 단절 되지는 않았지만, PU의 출현으로 인하여 현재의 채널을 이용하지 못하는 경우에 해당 노드는 ACL과 NPD를 고려하여 PU의 출현이 발생하지 않은 채널로 이용채널만을 변경한다.

PU의 출현으로 인해 경로상의 일부 노드에 데이터 통신이 불가할 때 전체 경로에 대한 재탐색을 하지 않고, 채널 변경만으로 복구 할 수 있어 비용 절감의 효과가 있다. 두 번째로 물리적으로 실제 경로가 단절되었거나, 첫 번째의 경우에 해당되나 변경할 이용 가능한 채널이 없어 경로가 단절 될 경우에 경로 탐색을 재실행한다. 경로가 끊어져서 CRERR 패킷이 전송되어 올 경우, CRERR 패킷을 전달한 이전노드의 라우팅 테이블을 통해 어떤 경로가 끊어졌는지 판단 한다. 그림 6은 PU의 출현으로 인한 순차적인 경로 유지 방법을 설명한다. 채널 2를 이용하던 노드 c에 채널 2를 사용하는 PU가 출현하여 노드 b는 채널 2로는 노드 c로 전송할 수 없다. 이 때에 먼저 채널 변경을 시도한다. 그림 6.(a)의 예처럼 다른 이용가능한 채널 1로 변경하여 전송한다. 하지만 다른 이용 가능한 채널이 존재 하지 않을 때에는 부분 경로 재탐색을 실행하게 된다. 이 경우 그림 6.(b)와 같이 노드 b는 이전 노드 a로 CRERR 패킷을 보내게 되고, 노드 a는 CRREP를 생성하여 부분 경로 재탐색을 실행한다. 이처럼 처음



(a)채널 변경만을 이용한 부분 경로 복구



(b)부분 경로 재탐색

그림 6. 부분 경로 복구 및 경로 재탐색과정.

라우팅 시에는 경로 선택후 채널 변경을 실행하지만 경로 유지를 위해서는 순차적으로 먼저 채널 변경을 고려하여 해결하고, 여의치 않을 경우 경로 재탐색을 실행함으로써 시간과 비용 모두를 절약할 수 있다.

Ⅳ. 성능 평가

본 장에서는 제안된 라우팅 알고리즘 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 모의 실험을 수행하였다. 실험은 제안된 알고리즘을 통해 실제 라우팅을 수행할 시의 설정된 경로의 신뢰성을 결과로 보여준다. 4.1 절에서는 모의 실험의 환경에 대해서 정의하고 4.2절에서는 제안된 알고리즘의 성능을 평가한다.

4.1 모의 실험 환경

모의 실험에서 변수와 각각의 범위는 표1과 같다. 네트워크 전체의 크기는 1000m× 1000m이고 전체 노드의 수는 200개이다. 각 노드의 분포는 무작위로 배치되었고, 각 노드의 전파 반경은 50m로 설정하였다. 채널의 개수는 총 8개로 설정하였으며, 1개의 common control channel(CCC)를 설정하였고, 각 노드에서 사용가능한 데이터 채널의 갯수는 3~7개로 변화시키며 실험하였다.

각 노드에서의 PU의 발생은 정해진 시간동안 ON과 OFF시간의 비율이 지수 분포(exponential distribution)를 따라 교대로 발생하도록 하는 ON_OFF 동작모델을 사용하였다. α는 PU의 OFF→ON, β는 ON→OFF로의 변화율을 의미하며, 실험에서는 이 값들을 바꾸어가며 PU의 발생빈도와 시간을 변화시켰다. 각 노드마다 PU의 출현확률은 한 슬롯타임 중에 PU가 발생

표 1. 모의실험 환경변수.

실험 변수	값
실험 대상 프로토콜	Proposed CR-Routing, SORP
공통제어채널의 수(개)	1
데이터채널의 수(개)	3~7
네트워크 크기(m×m)	1000 × 1000
노드의 수(개)	200
패킷 생성 간격(packet/sec)	5
노드의 전파반경(m)	50
PU ON_OFF 변화율	α, β
트래픽	CBR(Constant Bit Rate)

했던 시간의 비율을 이용하여 확률을 구한다. 패킷의 크기는 512 byte로 초당 5패킷씩 발생시켰다.

4.2 제안한 라우팅 방법의 성능 평가

모의실험에서는 인지무선 ad-hoc 네트워크에서 본 논문에서 제안한 라우팅 알고리즘을 구현하고 SORP 방법과의 비교를 통하여 해당 라우팅 경로의 신뢰성을 검증하는 데 초점을 맞추었다. 각 노드에서의 PU의 출현 확률을 일정시간 동안 출현하는 시간의 비율로 정의하고 실험을 진행하였다. 모의 실험에서 확인한 값은 PU의 출현 확률에 따른 패킷의 전송 성공률, 전송시간 동안의 채널의 변경횟수, 경로의 지속시간, 그리고 경로의 재설정 횟수이다. 그림 7은 각각 다른 PU의 ON_OFF 변화율(α)에 따른 데이터 패킷의 전송 성공률에 대한 실험의 결과이다. 전체 채널의 수를 5개로 고정하고, 패킷 전송 성공률은 목적지 노드에서 받은 패킷수의 합을 소스 노드에서 보낸 총 패킷 수로 나눈 값으로 구했다. 실험 결과를 보면 두 프로토콜

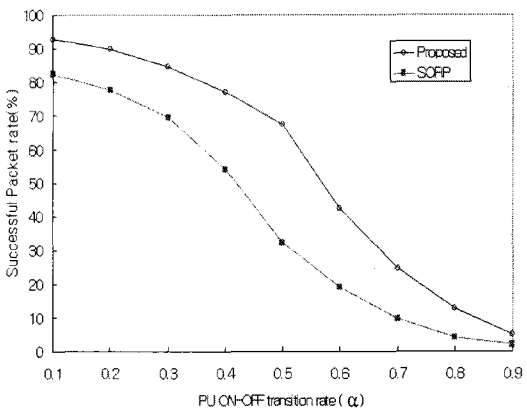
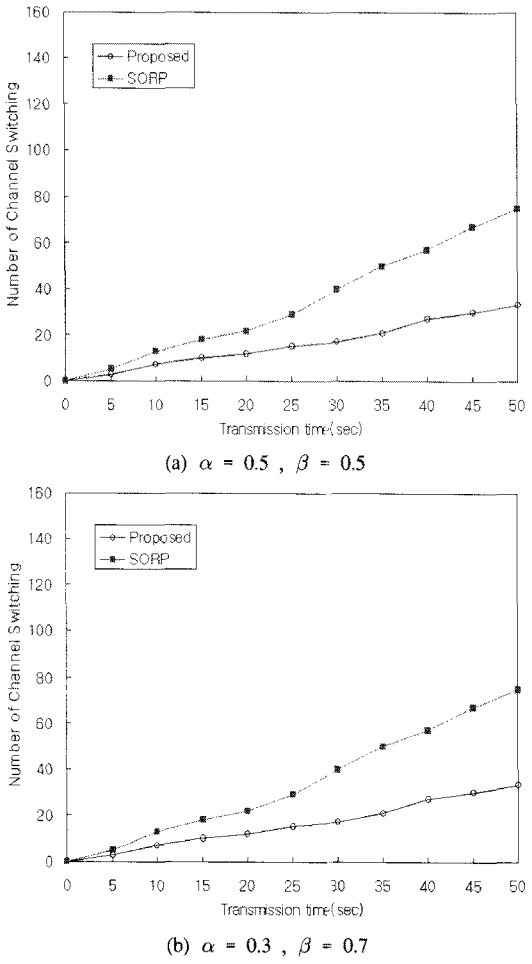


그림 7. PU ON-OFF 비율에 따른 패킷의 전송 성공률.

모두 α값이 증가할수록 패킷 전송 성공률을 떨어지는 것을 보인다. 특히 α값을 0.5이상으로 PU의 발생확률을 높였을 때 데이터 전송 성공률이 급격히 하락 하였다. 하지만 이 때에 본 논문에서 제안하는 라우팅 방법은 SORP보다 30%정도의 더 높은 전송률을 보인다. 이는 최적 경로 설정과 채널변경으로 PU출현에 효과적으로 대응하여 라우팅 알고리즘의 신뢰성을 확인할 수 있는 결과이다.

그림 8은 실험중에 PU의 ON-OFF 변화율을 다르게 하여 PU의 발생빈도와 시간을 변화시킨 환경에서 전송시간에 따른 채널 변경 횟수를 측정한 것이다. (a)는 PU의 ON-OFF변화율을 1:1로 하여 비교적 PU가 많이 출현하게 하였고, (b)는 0.3:0.7로 설정하여 비교적 PU의 출현 확률을 낮추었다. 두 프로토콜 모두 PU의 출현확률이 높아 질수록 채널의 변경도 많아 졌다. 하지만 두 경우에서 모두 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘이 SORP 보다 채널 변경을 적게 하는 것을 확인할 수 있다. 이 것은 채널 선택시에 PU의 출현 확률이 높은 채널과 필수적으로 변경할 필요가 있는 채널에 낮은 가중치를 주어 PU의 영향을 가장 적게 받을 수 있는 채널을 선택하기 때문이다.



(a) α = 0.5 , β = 0.5

(b) α = 0.3 , β = 0.7

그림 8. 전송시간에 따른 채널 변경 횟수.

그림 9는 채널 수에 따른 라우팅 경로의 지속시간을 나타내었다. 경로의 지속시간이란 설정된 라우팅 경로가 채널 변경만으로 PU를 회피할 수 없을 경우 경로에 대한 재탐색을 하거나 물리적으로 경로가 끊어질 때 까지의 시간이다. 두 가지 라우팅 방법 모두 채널의 수가 많을 수록 경로 지속시간은 증가하였다. 이는 채널 변경만을 통해서 PU를 회피할 수 있기 때문이다. 하지만 채널의 수가 증가할수록 경로지속시간의 차이는 점점 더 커지는 것을 보여준다. 채널 변경에 따른 지연 시간만을 고려하는 SORP 프로토콜과 달리 본 논문의 방법은 각 채널의 PU의 최대 출현확률과 시간을 이용한 채널 이동만을 통해 PU를 회피함으로써 전체 라우팅 경로를 바꿀 경우를 최대한 줄일 수 있기 때문이다. 그러므로 전체 라우팅 경로 지속시간은 길어지게 되므로 더욱 더 신뢰성 있는 라우팅이라 말할 수 있고, 또한 잦은 라우팅 경로 변경에 따른 경로의 재 탐색시간과 라우팅 컨트롤 패킷으로 인한 오버헤드 또한 줄어들게 된다. 그림 10은 두 가지 프로토콜에서 데이터 전송 시간에 따른 경로 재설정 필요 횟수이다. 채널 변경만을 통해서 PU를 회피할 수 없을 경우에 해당 노드는 경로 재탐색을 요구하게 된다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘은 초기 경로 탐색시에 각 노드의 이용가능한 채널들의 PU의 출현확률을 평균한 값을 경로선택에 반영함으로써 최대한 PU가 출현할 확률이 적은 노드를 선택하도록 한다. 그에 비에 SORP는 경로선택에는 PU의 영향을 고려하지 않고 채널에 선택에 있어서만 PU의 영향을 고려하기 때문에 실제 PU가 발생하여 경로가 단절될 가

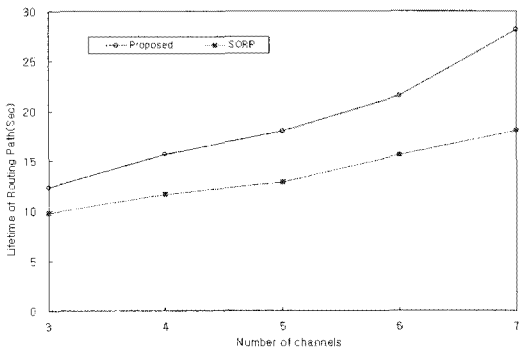


그림 9. 채널의 수에 따른 경로의 지속 시간.

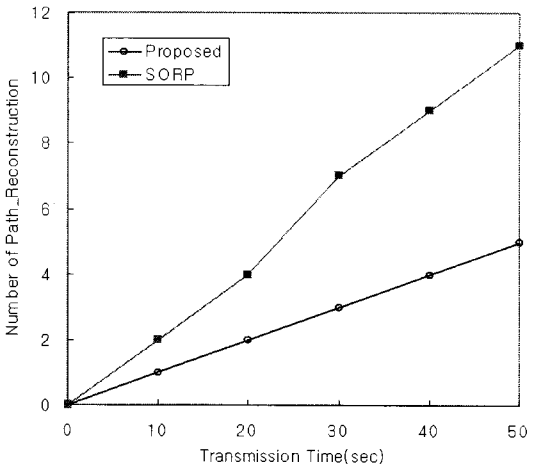


그림 10. 경로 재 설정 횟수.

능성이 크다. 실험 결과에서 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 재 경로 설정 횟수가 작게 나타났다. 데이터 전송시간이 길어질수록 경로 재설정 회수가 증가함을 보이는데, 이 실험은 초기 경로 설정시 노드 선택에 있어 PU의 출현을 예상함으로써 이후 링크 단절 횟수를 줄이고, 재 경로 설정으로 인한 필요 없는 비용을 줄이고, 사용자에게 신뢰성이 있는 전송이 가능함을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 인지 환경의 Ad-hoc 네트워크에서 효율적인 방법으로 데이터 통신에 필요한 라우팅 경로를 찾는 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜은 CRREQ메시지를 이용하여 각각의 노드가 멀티 채널에서 분산적으로 해당 노드의 PU출현확률을 센싱하고, 그 정보를 이용하여 PU의 출현확률이 가장 낮은 경로를 선택하고, 그 후 선택된 경로 상의 노드에서의 각 채널의 PU의 출현확률과 출현시간, 그리고 이용가능 채널의 수를 갱신하여 그 값들을 이용하여 되도록 PU의 출현 가능성이 가장 낮은 채널을 선택하도록 하여 실제 데이터 통신 중에 PU가 출현할 가능성을 낮춘다. 따라서 선택된 경로가 오래 지속될 수 있는 PU의 영향을 가장 적게 받을 수 있는 신뢰성을 가지는 경로임을 확인할 수 있었다. 또한 PU가 출현하더라도 되도록 경로 탐색을 다시 하는 것이 아닌 채널 변경을 통해서 비용을 낮출 수 있도록 하였다. 이러한 방법으로 본 논문의 라우팅 방법은 CR시스템에서 인컴번트 시스템과 공존할 수 있도록 설계되어 주파수의 효율성을 증대시켰으며 라우팅 경로의 신뢰성 또한 보장하였다. 모의 실험을 통한 성능 평가에서는 제안한 라우팅 경로 선택 방법이 무선 인지 환경에서 주사용자 회피를 위한 요구조건을 만족시키는 동시에 선택된 경로에서 PU의 출현 확률을 낮추고 경로의 지속시간을 더욱 길게 하여 기존의 멀티홉 인지무선 라우팅 방법에 비해 더욱 적합하고 신뢰성을 보장하는 방법임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Joseph Mitola Ⅲ, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", 2004.

[2] FCC, Spectrum policy task force report, No. 02-155, November 2002.

[3] FCC, Notice of rule making and order, No. 03-322, December 2003.

[4] IEEE P802.22TM/D0.2, "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22 :", 2007.

[5] Chunsheng Xin, Bo Xie, Chien-Chung Shen, "A Novel Layered graph model for topology formation and routing in dynamic spectrum access networks", in Proc. of IEEE Dyspan, pp308-317, 2005.

[6] Qiwei Wang, Haitao Zheng, "Route and spectrum selection in dynamic spectrum networks", in Proc. of IEEE CCNC, pp625-629, 2006.

[7] Ammar Zahary, Aladdin Ayesh, "On- demand Multiple Route Maintenance in AODV Extensions", in Proc. of IEEE International Conference on Computer Engineering and systems(ICCES08), pp.225-230, 2008.

[8] Jiugmin So, Nitin Vaidya, "A Routing Protocol for Utilizing Multiple Channels in Multi-Hop Wireless Networks with a Single Transceiver", in Proc. of UIUC Technical Report, 2004

[9] Geng Cheng, Wei Liu, Yunzhao Li, Wenqing Cheng, "Spectrum Aware On-demand Routing in Cognitive Radio Networks" in Proc. of IEEE CCNC, pp.571-574, 2006

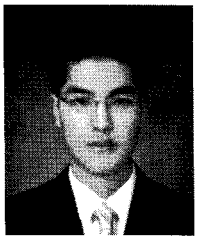
[10] Hyun-Ju Kim, Kyoung-Jin Jo, Tae-In Hyon, Sang-Jo Yoo, "Cognitive Radio MAC Protocol for Hidden Incumbent System Detection", of In

Proc. of Lecture Note in Computer Science (LNCS) 4883, pp.80-89, 2007

박 건 우 (Geon-Woo Park) 준회원

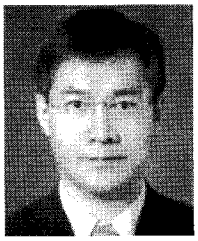
2009년 8월 인하대학교 정보통신공학과(공학사)
2009년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
<관심분야> Cognitive Radio, Wireless Sensor network

최 재 각 (Jae-Kark Choi) 정회원



2006년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)
2008년 8월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)
2008년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정
<관심분야> Cognitive Radio, Seamless handover, MAC

유 상 조 (Sang-Jo Yoo) 종신회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
1990년 3월~2001년 2월 KT 연구개발본부
2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 교수
<관심분야> 초고속 통신망, 무선 MAC 프로토콜, 인터넷 Qos, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio network