

# 인지 무선 애드혹 네트워크에서 경로 신뢰성을 고려한 효율적인 라우팅 기법

최준호\*, 유상조<sup>o</sup>

## An Efficient Routing Protocol Considering Path Reliability in Cognitive Radio Ad-hoc Networks

Jun-Ho Choi\*, Sang-Jo Yoo<sup>o</sup>

요 약

인지무선 애드혹 네트워크(Cognitive Radio Ad-hoc Networks)에서 요구기반 라우팅을 수행할 경우, 경로 탐색 과정에서 발생하는 경로탐색 메시지의 브로드캐스팅은 공통 제어 채널의 과부하를 유발하고 패킷 간의 충돌을 발생시킨다. 이런 현상은 경로탐색의 오버헤드를 증가 시키며, 정확하고 신뢰성있는 경로의 탐색에 제한을 받게 된다. 이로 인하여 신뢰성있는 채널을 찾는 경로가 제한되기 때문에 경로의 생존 시간이 단축되고 경로의 안정성이 감소된다. 본 논문에서는 인지무선 ad-hoc네트워크에서 주사용자의 출현 가능성과 주변 사용자의 상황을 고려하여 패킷 충돌을 감소시키고 경로의 생존시간을 향상 시키는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 각 노드는 주기적인 센싱을 통해 주사용자의 사용패턴을 감지하고 채널의 사용 확률과 현재 채널 상태를 알고 있다. 또한 이웃 노드와 메시지 교환을 통해 공통된 채널과 해당 채널의 품질을 파악하여 노드 사이에 링크 레벨을 부여한다. 제안된 방법에서는 링크 레벨을 이용하여 경로 탐색 과정에서 발생하는 제어 메시지의 수를 감소시킨다. 또한 링크의 생존성과 품질을 홉 카운트에 따라 가중치를 부여하여 경로를 선택함으로써 경로의 생존 시간을 향상시킬 수 있다. 성능 평가를 통해 기존의 방법 보다 제안된 방법을 이용하여 라우팅을 수행할 경우 제어 채널의 오버헤드가 감소되고 경로의 생존시간이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

**Key Words** : CR ad-hoc networks, Routing protocol, packet collision, Path lifetime, Path Reliability

### ABSTRACT

In the case of On-demand routing protocol in cognitive radio ad-hoc networks, broadcasting of control packets may occur common control channel overload and packet collisions during the routing procedure. This situation is to increase the overhead of path finding and also limited to find the accurate and reliable path. Since reliable channel and path finding is restricted, path life time is shorten and path reliability is reduced. In this paper, we propose a new routing algorithm that reduces control channel overhead and increases path life time by considering the probability of appearance of primary user and channel status of neighbor nodes. Each node performs periodic local sensing to detect primary user signal and to derive primary user activity patterns. The probability of primary appearance on the current channel and the channel status can be obtained based on the periodic sensing. In addition, each node identifies the quality of the channel by message exchange through a common channel with neighbor nodes, then determines Link\_Levels with neighbor nodes. In the proposed

\* First Author : School of Information and Communication Engineering, Inha University, jhchoi86@inha.edu, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : School of Information and Communication Engineering, Inha University sjyoo@inha.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-12-545, Received December 19, 2013; Revised September 1, 2014; Accepted October 28, 2014

method, the Link Level condition reduces the number of control messages that are generated during the route discovery process. The proposed method can improve path life time by choosing a path through Path\_Reliability in which stability and quality are weighted depending on the location. Through simulation, we show that our proposed algorithm reduces packet collisions and increases path life time in comparison with the traditional algorithm.

## 1. 서 론

지난 20여 년간 무선 통신 서비스는 그 규모나 종류 면에서 괄목할만한 성장을 거듭해왔다. 앞으로는 더욱 더 다양한 형태의 정보를 전달하는 통신 시스템들이 등장하여 의료, 복지, 안전, 물류 등의 다양한 분야에 활용될 것으로 예상된다. 기본적으로 새로운 무선 통신 서비스를 제공하기 위해서는 그에 상응하는 주파수 자원이 필요하다. 그런데 현실적으로 사용 가능한 주파수 대역은 제한되어 있는 형편이라 향후 다양한 무선 통신 서비스에 대한 수요가 늘어날 것으로 예상된다는 점을 고려한다면 머지않아 주파수 고갈 문제가 대두될 것으로 짐작할 수 있다. 이런 문제를 해결할 수 있는 방안은 주파수 자원의 이용 효율을 높이는 것이다. 사실 주파수 자원을 효율적으로 사용하는 방법에 대한 연구는 이미 통신 분야에서 오랜 기간 다루어 온 연구 과제인데, 최근까지는 이미 할당된 주파수 대역을 보다 효율적으로 이용하는 방안이 대한 연구가 대부분이었다. 미국 FCC(Federal Communications Commission) 에서 이미 사용이 허가된 주파수 대역의 사용 현황을 조사한 결과에 따르면 해당 대역의 이용 효율이 대부분 예상보다 상당히 낮게 나타났다. 이는 주파수 부족 현상이 원천적으로 주파수 자체가 한정된 자원이기 때문에 발생하는 것이기는 하지만, 이미 할당된 자원의 이용 효율이 낮아도 기인한다는 점을 시사한다. 따라서 주파수 자원 이용 효율을 높이는 것이 주파수 자원 부족 문제를 해결하기 위한 현실적인 방안이 될 수 있음을 알 수 있고 2002년에는 무선 인지 기술이 FCC에 의해 승인되었다.<sup>[1,2]</sup>

인지 무선(Cognitive Radio, CR) 기술<sup>[3,4]</sup>은 실시간으로 주변 전파 환경을 인식하고 그에 따라 시스템의 동작 방식을 변경할 수 있는 기술로서 앞서 언급한 주파수 자원 이용 효율을 높일 수 있는 유력한 기술로 대두되고 있다. 원래 인지 무선 시스템은 전파 환경 인식, 동작 방식 변경, 학습(learning) 등을 포함한 지능적인 통신 시스템으로 매우 유연한 시스템이다.

이 기술은 무선통신 시스템에 할당된 주파수 대역

중에서 현재 사용되지 않고 있는 주파수 대역을 감지하여 이를 사용한다. 인지무선 기술의 핵심은 특정 대역에 대한 권한을 부여 받지 않은 부사용자(SU: Secondary User)가 해당 대역을 이용하여 통신을 수행하는데 있어서, 해당 대역에 대한 권한을 부여 받은 주 사용자(PU: Primary User)의 시스템에 최대한 간섭을 주지 않도록 하는 것이다. 따라서 부사용자는 주 사용자를 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 주사용자의 출현과 도플러지 변화 등으로 인해 한 번 설정된 경로를 계속 유지하는 것이 매우 어렵다.<sup>[5]</sup> 경로의 재검색이 자주 일어날 뿐만 아니라 이용 채널의 변경도 빈번하게 일어나게 된다. 부사용자들은 채널 변경이나 경로 재검색이 발생하였을 경우 협소대역인 공통 제어 채널을 이용하여 각종 제어 메시지를 전송하게 된다. 이때 제어 채널에 과도한 패킷이 유입하게 되는데 이는 채널 과부하를 유발하게 되고 패킷간의 충돌이 빈번하게 발생하여 동적인 네트워크 상황을 효율적으로 반영하지 못하게 된다. 또한 경로를 탐색하는 제어 메시지가 목적지 노드까지 도달하지 않는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 주사용자의 평균 출현확률, 평균 출현시간 및 부사용자 간에 이용 가능한 채널의 수 등을 고려하여 주사용자의 출현가능성이 낮은 채널을 선택하여 경로를 설정함으로써 설정된 경로가 최대한 주사용자의 출현을 회피할 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 인지무선 네트워크에서의 기존 라우팅 프로토콜에 대해 분석하고 3장에서는 제안된 CR라우팅의 기본 동작과정 및 경로선택 방법을 자세히 설명한다. 4장에서는 제안하는 방법의 모의실험을 통해 성능평가를 수행한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론을 기술하였다.

## II. 관련 연구

인지무선 네트워크에서의 라우팅은 주사용자의 출현에 따라 해당 스펙트럼을 이용 중이던 부사용자들이 동적으로 스펙트럼을 변경해야 한다. 인지무선 노드들 간의 스펙트럼 스위칭의 진행에 따라서 인지무선 네트워크의 토폴로지는 동적으로 변하게 된다. 이러한 네트워크 토폴로지의 변화는 빈번한 경로 정보의 갱신을 야기해 경로정보의 관리를 복잡하게 하며, 이를 위한 라우팅 제어메시지의 증가는 네트워크의 오버헤드를 증가시킨다. 따라서 인지무선 라우팅에서는 주사용자의 출현을 고려한 스펙트럼 정보를 이용하는 것이 중요하다.

기존에 라우팅 연구에는 사전 대책을 강구하는 방식(proactive 방식)과 상황에 따라 반응하는 방식(reactive 방식)으로 분류할 수 있다. 사전 대책을 강구하는 방식(proactive 방식)<sup>[6]</sup>은 모든 노드들이 최신 토폴로지 정보를 유지하고 있고, 라우팅 테이블을 주기적으로 네트워크 전체로 전파시켜 각 노드들이 최신 라우팅 정보를 유지하도록 하고 있다. 사전 대책을 강구하는 방식(proactive 방식)은 패킷을 전송할 때 지연 없이 항상 최적의 경로를 통해서 전송할 수 있는 장점을 가지고 있지만 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화하는 경우 라우팅 테이블을 최신 정보로 유지하기 위한 주기적인 제어 메시지의 오버헤드가 크다는 문제점이 있다. 인지무선 네트워크는 주사용자의 출현 여부와 노드의 이동성에 따라 빈번하게 네트워크 환경이 변한다. 따라서 라우팅 프로토콜의 오버헤드가 큰 사전 대책을 강구하는 방식(proactive 방식)은 적합하지 않다.

반면, 상황에 따라 반응하는 방식(reactive 방식)<sup>[7,8]</sup>은 트래픽이 발생하는 시점에서 경로를 탐색하는 방법으로서 사전 대책을 강구하는 방식(proactive 방식)에서 발생하는 제어 메시지 오버헤드를 감소시킬 수 있다. 경로 정보는 경로 상의 각 노드에 저장되거나 일정 기간 동안 해당 경로가 사용되지 않을 경우 노드로부터 삭제된다. 상황에 따라 반응하는 방식(reactive 방식)은 트래픽이 발생하는 시점에서 경로를 탐색하기 때문에 경로 탐색에 추가적인 시간이 필요하며, 이는 트래픽에 대한 전송 지연을 발생시킨다. 대표적인 상황에 따라 반응하는 방식(reactive 방식)에는 AODV가 있다.

AODV(Ad hoc on-demand Distance Vector)<sup>[9,10]</sup>에서의 경로탐색과정은 소스노드가 목적노드로의 경로가 필요할 때에만 실행된다. 소스노드는 데이터를

보내려 하는 목적지에 대한 경로를 찾기 위해 RREQ(Route Request) 패킷을 브로드캐스팅한다. 중간노드들은 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 패킷을 생성하여 RREQ 패킷이 거처온 경로를 따라 소스노드로 보낸다. 소스노드가 RREP 메시지를 받으면 소스노드에서 목적노드까지의 경로가 설정된다. 이와 같이, AODV 라우팅 프로토콜의 동작을 위해서는 부사용자 사이에 RREQ, RREP 와 같은 제어 메시지의 교환이 필수적이다. 대부분의 AODV 기반 라우팅 프로토콜에서는 이러한 제어 메시지의 전송만을 위한 협소대역(narrow bandwidth channel)인 공통 제어 채널(CCC: Common Control Channel)이 존재한다고 가정한다.

경로 탐색과정에서 지연시간이 발생하지만 제어 메시지의 오버헤드를 감소시킬 수 있는 상황에 따라 반응하는 방식(reactive 방식)이 인지무선 네트워크에서 적합하다. 따라서 기존의 상황에 따라 반응하는 방식(reactive 방식)인 AODV 라우팅 기법을 기반으로 멀티라디오를 지원하는 인지무선 애드혹 네트워크의 라우팅 알고리즘에 관한 연구가 많이 선행되고 있다.<sup>[11,12]</sup>

그림 1은 AODV 기반 인지무선 애드혹 네트워크에서 경로 탐색과정 동안에 발생하는 RREQ 패킷을 보여준다. 인지무선 네트워크의 RREQ 패킷에는 지역 센싱(local sensing)한 채널 정보가 들어 있어 나중에 데이터 채널 경로에 사용된다. 이러한 RREQ는 주변 노드에 브로드캐스팅하여 주변 노드의 채널 상태정보를 획득하여 경로 데이터 전송 경로에 반영하게 된다. 이때, 특정 노드에서 주변 노드로부터 동시에 RREQ 패킷을 받게 되면 패킷 충돌이 발생하게 되고, 패킷 오버헤드의 증가로 인해 제어 채널의 과부하가 발생되고 경로의 신뢰성이 떨어지게 된다. 그에 따라 소스노드에서 목적지 노드까지 경로를 찾지 못하는 경우가 빈번하게 발생하게 된다.<sup>[13]</sup>

인지무선 애드혹 네트워크 환경에서 AODV 라우팅 프로토콜은 지역센싱을 통해 이웃 노드의 정보와 주사용자의 등장 여부를 확인하여 주사용자가 채널을 사용하지 않을 때 데이터를 전송한다. 협소대역인 공통 제어 채널을 통해 제어 메시지를 전송함으로써 목적지까지 경로를 탐색하고 데이터 전송을 위한 경로가 선택되고 나면 해당 경로를 통해 데이터를 전송한

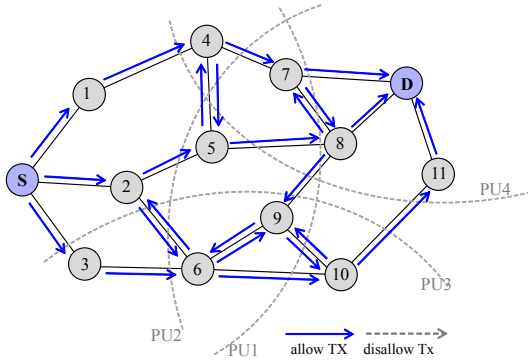


그림 1. 인지 무선 애드혹 네트워크에서 라우팅 시나리오  
Fig. 1. Routing scenario in CR ad-hoc networks.

다.<sup>[14]</sup> 이때 주사용자의 출현으로 인한 경로의 재탐색이 빈번하게 발생할 수 있고 협소대역인 공통제어 채널에 많은 제어메시지가 유입될 경우 충돌이 발생하여 데이터 전송의 효율이 감소된다.

본 논문에서는 협소대역의 제어채널에 과도한 제어 메시지의 유입으로 인한 채널 과부하와 경로 생존시간의 문제점을 해결하기 위해 과 경로 신뢰성을 도입한다. 이를 통해 경로 탐색에 사용되는 제어 메시지의 수와 제어 메시지 간의 충돌 확률을 감소시킬 수 있고 경로의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다.

### III. 경로 신뢰성을 통한 인지무선 라우팅 방법

본 장에서는 인지무선 애드혹 네트워크에서 동작하는 제안된 라우팅 프로토콜의 목적을 설명하고, 관련 동작을 상세하게 소개한다. 본 논문에서 제안하는 무선 인지 환경의 라우팅 경로 선택 방법은 멀티채널 환경에서 요구기반(on-demand) 라우팅 기법을 기반으로 주사용자의 출현 가능성과 부사용자의 주변 채널 환경 등을 고려하여 제어 채널의 효율적인 관리와 선택된 경로의 생존시간 향상을 목표로 한다. 부사용자들은 로컬 센싱을 통해서 주사용자의 평균 출현 확률과 평균 활동 시간을 예측하고, 그 값들에 대한 테이블을 유지하고 있다. 즉, 부사용자는 주사용자의 출현을 확률적으로 예측하는 것이고 이를 위한 각 노드의 센싱 방법과 공통 제어 채널 선택 방법은 이 논문에서 다루지 않는다. 인지무선 애드혹 네트워크 환경에서는 데이터를 보내기 위해 경로를 설정할 때나 설정된 이후에도 주사용자의 출현으로 인한 경로 및 채널재설정 이유로 데이터의 전송이 저하되는 현상이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 각 노드에서의 주사용자의 평균 출현확률, 평균

출현시간, 이용 가능한 채널의 수 등을 고려하여 주사용자의 출현가능성이 낮은 채널을 선택하여 경로를 설정함으로써 설정된 경로가 최대한 주사용자의 출현을 회피할 수 있도록 한다. 또한 이를 이용하여 경로 탐색 과정에서 발생하는 제어 메시지의 수를 감소시키고 제어 채널의 오버헤드를 방지한다. 그리고 링크의 생존성과 품질을 링크의 위치에 따라 가중치를 부여하여 경로를 선택함으로써 경로의 생존 시간을 향상시킬 수 있다.

### 3.1 시스템 모델

본 장에서는 AODV 방식을 기반으로 CR 특성을 고려하여 RREQ 패키지를 제어하는 새로운 방식을 제안한다. 각 노드는 지역 센싱(local sensing)을 통해서 인접한 주사용자의 사용패턴을 관찰하게 되고 이를 통해 자신의 가용 채널 목록 ()과 각 채널의 가용 확률을 알게 된다. 또한 센싱을 통해 전송 가능 거리에 존재하는 주변 노드의 목록을 알게 된다. 주기적으로 주변 노드들과 Hello 메시지 패킷을 교환함으로써 주변 노드사이에 공통 가용 채널 목록()을 알게 된다.

표 1은 본 논문에서 사용하는 인지무선 애드혹 네트워크 라우팅을 위한 노드  $i$ 의 정보 테이블을 나타낸다. 각 노드는 시간  $t$ 일 때 자신의 채널정보와 이웃 노드 사이의 정보를 테이블로 관리한다. 채널 정보에는  $ACL$ ,  $Available\_Pr\{CH_n\}$ 가 있고 이웃노드 정보에는  $NL(Neighbor\ List)$ ,  $CACL$ ,  $CH_{max}$ ,  $LS(Link\ Stability)$  그리고  $LL(Link\ Level)$ 이 있다.  $ACL$ 은 노드가 사용 가능한 채널 목록이다.

표 1. 노드  $i$ 의 정보 테이블  
Table 1. Information table of Node  $i$ .

Node ID	$i$		
<b>Channel Information</b>			
Channel List	$CH_1$	...	$CH_n$
$ACL_i$	Y/N	...	Y/N
$Available\_Pr\{CH_n\}$	$0 < Pr\{CH_1\} < 1$	...	$0 < Pr\{CH_n\} < 1$
<b>Neighbor Information</b>			
Neighbor List (NL)	$N_1$	...	$N_n$
$CACL_{i-N}$	$\{CH_1, CH_2\}$	...	$\{CH_2\}$
$CH_{max}$	$CH_2$	...	$CH_2$
Link Stability (LS)	$0 < LS_{i-N_1} < 1$	...	$0 < LS_{i-N_n} < 1$
Link Level (LL)	$\{1,2,3,4\}$	...	$\{1,2,3,4\}$

$Available\_Pr\{CH_n\}$ 는 각 채널이 사용 가능한 확률을 나타내고 0~1사이의 값을 갖는다.  $Neighbor\ Node\ List$ 는 노드  $i$ 의 전송범위 안에 있는 이웃 노드의 목록이고,  $CACL$ 은 이웃노드 사이에 공통 채널 목록을 나타낸다.  $CH_{max}$ 은 공통 채널 중에서 가장 사용 확률이 높은 채널로서 데이터 전송시 사용하는 채널이다.  $Link\ Stability$ 는 노드  $i$ 와 이웃 노드 사이에 안정도를 나타내는 파라미터로서  $Link\ Level$ 을 결정할 때 사용되는 변수이다.

표 2는 노드  $i$ 의 라우팅 테이블을 나타낸다. 라우팅 테이블은 Forward Table과 Backward Table로 나뉘어진다. Forward Table은 경로가 생성된 뒤에 데이터를 전송해주는 채널과 노드에 관한 정보를 가지고 있다. Forward Table은 Source, Destination, Forward Node 그리고 Data CH로 구성된다. Source 영역에는 출발지 노드의 ID가 기록되고 Destination 영역에는 목적지 노드의 ID가 기록된다. Forward Node 영역에는 데이터를 전달해줄 노드의 ID가 기록된다. 마지막으로 Data CH 영역에는 Forward Node로 전송해줄 채널번호가 저장된다. Backward Table은 RREQ 메시지가 목적지에 도착한 후에 경로를 선택하여 출발지 노드로 RREP 메시지를 전송하게 될 때 사용되는 Table이다. Backward Table은 RREQ 메시지를 받을 때 생성되며 더 우수하거나 최신 정보를 수신할 경우 Table을 업데이트한다. Backward Table은 Source, Destination, Sequence Number, minPR, avgPr 그리고 ReverseNode로 구성된다. Source 영역에는 목적지 노드의 ID가 기록되고 Destination 영역에는 출발지 노드의 ID가 기록되어 있다. Sequence Number는

표 2. 노드  $i$ 의 라우팅 테이블  
Table 2. Routing table of Node  $i$ .

Node ID		$i$	
<b>Forward Table</b>			
Source	Destination	Forward Node	Data CH
Destination ID	Source ID	Forward Node ID	$CH_{max}$
<b>Backward Table</b>			
Source	Destination	Sequence Number	
Source ID	Destination ID	$N_{seq}$	
minPR	avgPR	Reverse Node	
$0 < minPR < 1$	$0 < avgPR < 1$	Reverse Node ID	

수신된 정보가 최신 정보인지 아닌지를 판단하는 지표로 사용된다. minPR과 avgPr은 제한하는 기법에 의해 추가된 영역으로 RREQ를 수신했을 때 경로의 품질을 파악하는 변수로 사용된다. 마지막으로 ReverseNode는 RREQ를 전송한 노드의 ID를 기록하여 목적지로부터 RREP를 수신하였을 경우 ReverseNode에 기록된 노드로 RREP를 전송하게 된다.

표 3은 본 논문에서 새롭게 정의된 RREQ 패킷의 구조를 보여준다. 기존의 AODV RREQ패킷의 기본 영역에 새롭게 정의된 영역들이 포함되어 있다. 새롭게 추가된 영역을 보면, RequiredLinkLevel(RLL), AvailableChannelList(ACL), Probabilityof AvailableChannel( $Pr\{CH_n\}$ ), CurrentDataChannel( $CH_{current}$ ), PathReliability(PR), AveragePathReliability(avgPR) 그리고 Numberof ChannelSwitch( $N_{sw}$ )이 있다.

RequiredLinkLevel은 출발지 노드에서 처음 RREQ를 생성할 때 요구하는 링크레벨 값으로 제어 메시지의 재전송 여부를 결정할 때 사용되는 변수다.

표 3. RREQ 패킷 구조  
Table 3. RREQ packet structure.

<i>Conventional AODV RREQ Fields</i>
RREQ ID
Destination IP Address
Destination Sequence Number
Originator IP Address
Originator Sequence Number
Hop Count
<i>Proposed RREQ Fields</i>
Required Link Level (RLL)
Available Channel List ( $ACL_i$ )
Probability of Available Channel ( $Pr\{CH\}$ )
Current Data Channel ( $CH_{current}$ )
Path Reliability (PR)
Average Path Reliability (avgPR)
Number of Channel Switch ( $N_{sw}$ )

*Available Channel List*는 RREQ를 송신한 노드의 가용채널 목록이다. *Probability of Available Channel*는 채널의 사용가능 확률, *Current Data Channel*은 RREQ송신 노드와 수신 노드 사이에 데이터를 전송할 채널을 나타낸다. *Path Reliability*는 RREQ가 거처온 경로의 신뢰성을 나타내는 수치로서 min-max 접근 방식을 이용하여 경로상에 가장 신뢰성이 낮은 링크의 값을 *Path Reliability*로 부여한다. *Path Reliability*는 0~1사이의 값을 갖고 클수록 안정적인 경로를 나타낸다. *Average Path Reliability*는 링크마다 부여된 *Path Reliability*값의 평균값이다. 마지막으로 *Number of Channel Switch*는 경로 상에서 데이터를 전송할 채널이 중간 노드를 지나면서 몇 번 바뀌었는지 나타낸다. 채널 변경이 많이 발생할수록 경로 상에 지연시간이 증가하게 된다.

### 3.2 제어 메시지 전송 여부 결정

본 논문에서는 경로 탐색을 위해 제어 채널에 전송되는 제어 메시지의 무분별한 전송을 막기 위해 *Link Stability*와 *Link Level*을 적용한다. 각 노드는 지역 센싱을 통해서 관리하고 있는 채널 정보를 이용하여 이웃 노드와의 *Link Stability*를 얻을 수 있다. *Link Stability*는 두 노드 사이에 적어도 하나의 공통 채널이 존재 할 확률로서 식(1)과 같이 정의 된다.

$$LS = 1 - \prod_{i \in CACL} (1 - p_i) \quad (1)$$

where,  $p_i$  : probability of  $CH_i$  availability.

*Link Stability*는 0~1사이의 값을 갖는다. *CACL*의 수가 많을수록 값이 증가하고 채널의 사용 확률이 클수록 *Link Stability*의 값은 커진다. 즉, 공통 데이터 채널이 많이 존재 할수록 특정 채널에 주사용자가 등장 할 경우에도 회피할 다른 채널이 존재하기 때문에 해당 링크는 주사용자의 영향을 덜 받게 된다. 수식을 분석하면 공통 데이터 채널 중 하나의 채널의 사용 확률이 매우 낮더라도 채널 수의 증가에 따라 *Link Stability* 값은 증가한다. 또한 채널의 사용확률이 높을수록 주 사용자의 휴지시간이 길다는 것을 의미하므로 두 노드 사이에 데이터 전송이 안정적으로 가능하다. 이와 같은 경우에도 *Link Stability*값은 증가한다.

*Link Level*은 *Link Stability*를 기반으로 결정된 값으로서 제어 메시지의 재전송 여부를 결정할 때 사

용된다. 즉, *Link Level*은 하나의 노드가 각각의 이웃 노드들로부터 수신하는 신호의 세기만으로 결정된다. *Link Level*은 *Link Stability*를 4단계로 나누어서 부여하게 되고 식(2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{Level 1: } & 0 < \text{Link Stability} < 0.2, \\ \text{Level 2: } & 0.2 \leq \text{Link Stability} < 0.4, \\ \text{Level 3: } & 0.4 \leq \text{Link Stability} < 0.6, \\ \text{Level 4: } & 0.6 \leq \text{Link Stability} < 1 \end{aligned} \quad (2)$$

*Link Level*은 해당 노드와 이웃 노드 사이 링크의 사용 가능성을 나타내는 개념으로 높을수록 해당 링크는 주사용자의 영향을 적게 받고 안정적인 데이터를 전송할 수 있다. 그림 2는 두 노드 사이의 *Link Stability*와 *Link Level*을 구하는 예를 보인다.

경로 탐색하는 과정에서 RREQ를 수신한 중간 노드들은 제어 메시지 전송 여부를 결정하기 위해 *Link Level*을 비교한다. 출발지 노드는 RREQ 패킷을 생성할 때 요구되는 *Required Link Level*을 설정하게 되고 RREQ패킷을 이웃 노드들에게 브로드캐스팅한다. RREQ를 수신한 노드는 RREQ에서 요구하는 *Required Link Level*과 송신한 노드사이의 *Link Level*을 비교하여 *Required Link Level*보다 크거나 같으면 RREQ를 재전송하고 작다면 RREQ 전송을 중지한다. RREQ를 전송한 노드를 Tx, 수신한 노드를 Rx라고 할 때, *Link Level*조건은 식(3)과 같이 정의 될 수 있다.

$$\begin{aligned} RLL \leq LL_{Tx-Rx} & : \text{rebroadcasting} \\ RLL > LL_{Tx-Rx} & : \text{stopbroadcasting} \end{aligned} \quad (3)$$

그림 3에서 보이는 것과 같이 노드 A는 노드  $N_1$ 으로부터 RREQ패킷을 수신한다. RREQ 패킷을 수신한 노드 A는 자신의 *Link Level* table에 기록되어 있



$$CACL_{N_1-N_2} = \{Ch1, Ch2\}$$

$$\Pr\{Ch1\} = 0.3 / \Pr\{Ch3\} = 0.6$$

$$LS = 1 - (1 - 0.3) \cdot (1 - 0.6) = 0.72$$

$$\text{thus, } LL_{N_1-N_2} = 4$$

그림 2. 두 노드 사이의 Link Stability  
Fig. 2. Link Stability between two nodes.

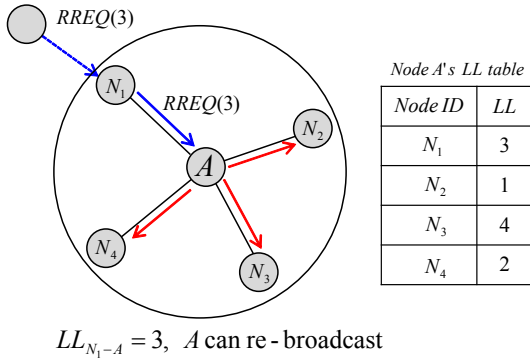


그림 3. Link Level을 이용한 RREQ 재전송  
Fig. 3. RREQ rebroadcasting using Link Level.

는 노드  $N_1$  사이의 *LinkLevel*을 비교한다. RREQ에서 요구하는 *RequiredLinkLevel* 과 같은 값을 갖기 때문에 해당 RREQ를 이웃 노드에게 재전송 하게 된다.

반면에 그림 4와 같이 노드 A가 노드  $N_4$ 로부터 RREQ패킷을 수신한 경우 RREQ에서 요구하는 *RequiredLinkLevel*인 3 보다 작은 값인 2를 갖기 때문에 RREQ를 이웃 노드에게 재전송 하지 않고 전송을 중지하게 된다. 즉, *LinkLevel*조건을 만족하지 못한다면 RREQ수신한 노드는 더 이상 RREQ를 재전송하지 않는다.

그림 5는 *LinkLevel*을 적용하였을 경우, 전체 네트워크 토폴로지에 제어 메시지의 수가 감소된 것을 볼 수 있다. 이 경우 제안된 기법을 적용하여 이전보다 37.5%의 제어 메시지가 감소된 것을 볼 수 있다.

이와 같이 안정성이 높은 링크에만 RREQ를 재전송하여 협소대역인 공통 제어 채널에 무분별한 RREQ패킷의 유입을 막고 패킷 충돌을 감소시킬 수 있다. *LinkLevel*조건을 적용할 경우 제어 채널의 오버헤

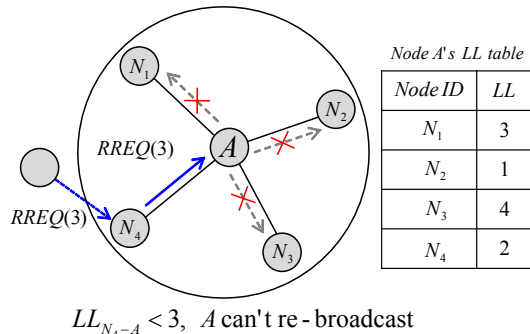


그림 4. Link Level을 이용한 RREQ 재전송 중지  
Fig. 4. RREQ stop rebroadcasting using Link Level.

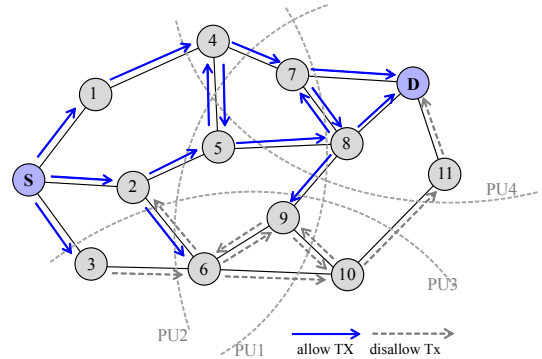


그림 5. 전체네트워크에서 Link Level을 통한 RREQ감소 시나리오  
Fig. 5. RREQ reduction scenario using the Link Level.

드가 감소되는 반면에 경로 탐색 확률이 낮아 질 수 있다. 이를 보완하기 위해 확률 모델을 이용한다. *LinkLevel*조건을 만족하지 못 할 경우 *LinkStability*값을 확률로 재전송의 기회를 부여한다. 예를 들어 *RequiredLinkLevel*이 4이고 *LinkStability*가 0.5인 링크의 경우, *LinkLevel*조건을 만족하지 못해 RREQ재전송을 못하게 되지만, 0.5의 확률로 재전송의 기회를 부여한다. 이를 통해 경로 탐색 확률을 높여준다.

### 3.3 경로 신뢰성을 고려한 경로 선택 과정

목적지 노드는 RREQ를 수신하면 경로를 선택해야 한다. 처음 RREQ를 수신하면 목적지 노드는 일정시간을 기다린다. 기다리는 동안 같은 출발지 노드로부터 RREQ를 수신할 경우 목적지 노드는 수신한 RREQ중에서 최적의 경로를 선택한다. 본 논문에서는 경로를 선택하기 위해 *PathReliability*를 이용한다.

*PathReliability*는 그림 6과 같이 출발지 노드와 목적지 노드 사이에서 링크의 위치에 따라 경로의 품질(Quality)과 경로의 생존성(Robustness), 두 가지 요소를 고려한다. 경로 탐색 과정은 데이터 전송을 요청하는 출발지 노드로부터 높은 품질의 경로로 RREQ 메시지를 보내야 데이터 전송을 위한 경로의 품질이 높아진다. 반면 목적지 노드에 가까울수록 안정적인 데이터 전송이 더 중요해진다. 따라서 출발지에 가까울수록 경로의 품질을 강조하고 목적지에 가까울수록 경로의 생존성을 중요하게 여긴다.

*PathReliability*는 경로 탐색과정에서  $HC_{max}$  (Maximum Hop Count) 와 Hop Count(HC)를 고려한 가중치를 통해 결정 되는 변수다. 식(4)은 *PathReliability*를 결정하는 방법을



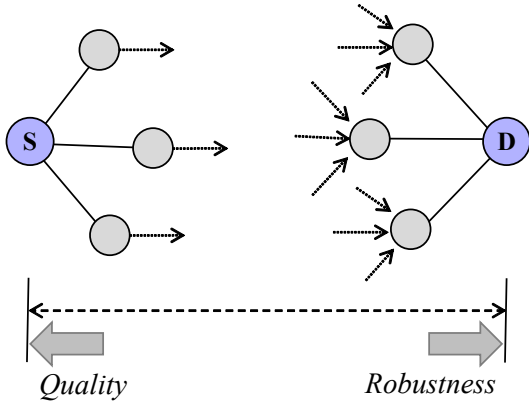


그림 6. 링크 위치에 따른 경로 신뢰성  
Fig. 6. Path Reliability depending on link location.

나타낸다.  $PathReliability$ 는  $Hop\ Count$ ,  $Link\ Stability$ 를 변수로 하는 함수다.  $HC_{max}$  (Maximum Hop Count)는 시스템에서 제공되는 값이고  $HC$ 는 RREQ를 수신한 중간 노드까지의 홉수를 의미한다.  $Link\ Stability$ 는 이전 노드와 사이에서의 생존성을 나타내고  $\max(p_i)$ 는 링크에 존재하는 공통 데이터 채널 중에서 가장 품질이 좋은 채널을 의미한다.  $HC$ 를 이용하여 링크의 생존성과 품질에 가중치를 부여하게 된다.

$$PR = f(HC, LS, \max(p_i)) = \frac{HC_{max} - HC}{HC_{max}} \times \max(p_i) + \frac{HC}{HC_{max}} \times LS \quad (4)$$

$PathReliability$ 는 RREQ를 송신하고 수신한 노드 사이의 링크에서 새롭게 계산된다. RREQ 메시지는 모든 링크에서  $PathReliability$ 값을 얻어  $minPR$ 과  $avgPR$ 을 업데이트하며 경로를 탐색한다. 목적지 노드에 수신된 RREQ에는 경로상에 존재하는  $minPR$ 과  $avgPR$  그리고 데이터 전송 채널의 변경되는 홉수가 기록되어 있다. 세 가지 변수를 이용해서 데이터 전송에 쓰일 신뢰성 있는 경로의 선택을 위한  $Path\ Weight$ 를 산출한다.

$$Path\ Weight = f(\min PR, avgPR, N_{sw}) \quad (5)$$

경로 선택에 대한  $Path\ Weight$ 는  $minPR$ 과  $avgPR$  그리고  $N_{sw}$ 에 대한 함수로 나타낼 수 있다.  $minPR$ 은 탐색한 경로에서 가장 환경이 좋지 않은 링크의  $PathReliability$ 값을 의미한다. 병목현상이

발생될 수 있는 지점이기 때문에 높은 값을 가진 경로가 데이터 통신의 처리량이 높다.  $avgPR$ 는 경로 상의 모든 링크의 평균  $PathReliability$ 값을 나타낸다. 전체 경로의 안정성을 나타내므로 값이 클수록 안정적인 데이터 전송이 가능할 것으로 예측된다. 마지막으로  $N_{sw}$ 는 채널 스위칭이 발생하는 횟수를 나타낸다. 채널 스위칭은 지연시간을 발생시키기 때문에 처리량을 감소시킨다.  $Path\ Weight$ 의 실제 계산은 다음과 같이 한다.  $W_{min}$ ,  $W_{avg}$ ,  $W_{sw}$ 는 각 상기 3가지 주요 요소들에 대한 가중치로써 이 값들의 총합은 1이다.

$$Path\ Weight = W_{min} \times \min PR + W_{avg} \times avgPR - W_{sw} \times N_{sw}, \quad (6)$$

$$(W_{min} + W_{avg} + W_{sw} = 1)$$

$W_{min}$ ,  $W_{avg}$ ,  $W_{sw}$ 는 선택하려는 경로의 목적에 따라 가변적으로 부여할 수 있다. 데이터 처리량이 우수한 경로를 찾기 위해선  $W_{min}$ 에 큰 가중치를 부여하고 데이터 전송이 안정적인 경로를 선택하고자 하면  $W_{avg}$ 에 큰 가중치를 부여한다. 지연시간을 줄이기 위한다면  $W_{sw}$ 에 큰 가중치를 부여하여 원하는 경로를 선택할 수 있다. 목적지 노드는 이와 같이 가중치를 부여하여 얻은  $Path\ Weight$  중에서 가장 큰 경로를 선택하고 RREP 메시지를 응답해준다.

### 3.4 라우팅 동작 과정

본 논문에서 제안하고 있는 라우팅 기법의 동작 과정을 살펴본다. 각 노드들은 인지 무선 네트워크 환경을 고려하여 주사용자를 회피하기 위한 동작과정 필요하다. 이를 위하여 각 노드는 주기적인 센싱을 통해 주사용자의 채널 사용여부를 판단해야하고 각 채널의 사용가능 확률을 기반으로 경로를 선택한다. 제어메시지를 이용한 경로 탐색 과정은 기존의 AODV와 같은 기본구조를 사용하여 데이터 전송을 필요로 하는 출발지 노드가 RREQ패킷을 생성하여 주변 노드에 전송한다. RREQ를 수신한 이웃 노드들은  $Link\ Level$ 을 자신의 정보 테이블과 비교한다. 앞서 정의된  $Link\ Level$ 조건을 만족하면 RREQ 업데이트 한 후 재전송하고 만족하지 못한다면 확률적으로 전송을 중지한다. 또한 주사용자의 사용 환경에 간섭을 주지 않고 안정적인 경로를 탐색하기 위해  $Link\ Stability$ 가 높은 채널을 선택하여 RREQ를 재전송한다. RREQ를 재전송할 때 홉카운트에 따라 변하는  $PathReliability$ 값을 계산하여 RREQ 필드를 업데이트



표 4. 제안된 알고리즘의 의사코드  
Table 4. Pseudo code of the proposed scheme.

```

At each node :
WHILE(1)
    FOR ALL  $i$ , where  $i \in \{SU_i\}$ ,
        Hello_packet_exchange();
        make_local_Table();
        /* update recent channel information based on Hello packet */
    END FOR
END WHILE

At source node :
IF source have data for transmit THEN
    make_RREQ_packet(); /* initialize RREQ packet */
    broadcast_RREQ_packet(); /* broadcast RREQ packet */
END-IF
ELSE IF source received RREP THEN
    start_transmission();
END-IF

At intermediate nodes :
node  $n$  received RREQ from node  $n-1$ 
IF HopCountcurrent > HopCountmax THEN
    stop_Route-Discovery;
BREAK;
END-IF
ELSE IF  $n$  is DestNode THEN
    path_selection();
    send_RREP_packet();
BREAK;
END-IF
ELSE IF satisfied LL condition THEN
    n update Backward Table;
    RREQ_packet update;
    broadcast_RREQ_packet();
BREAK;
END-IF
    
```

트한다. 그리고 노드의 Backward table을 수정한다. Backward table에는 목적지에 따라 전송해야 할 이전

노드의 정보가 담겨 있고 이는 RREP메시지를 전송할 때 쓰인다. 처음 RREQ를 수신한 경우 Backward table을 생성하고 이후에 최신 RREQ정보가 수신되면 Backward table을 수정한다. 제안된 방법에서는 주사용자에게 간섭을 주지 않는 경로 탐색을 위해서 PathReliability값이 큰 RREQ를 수신하였을 경우 Backward table을 수정한다. 만약 수신된 RREQ가 최신정보가 아니거나 기존에 기록된 PathReliability값 보다 작다면 Link Level 조건을 만족하더라도 수신된 RREQ를 폐기하고 기존의 Backward table에 따라서 라우팅 동작을 수행한다.

경로 탐색과정을 통해 목적지노드가 RREQ를 수신하면 Path Weight가 가장 큰 RREQ의 경로를 선택하고 해당경로로 RREP를 전송한다. 출발지 노드가 RREP를 수신하면 Forward table을 이용하여 다음 노드에게  $CH_{current}$ 을 통하여 데이터를 전송한다. 데이터 전송과정에서 주사용자가 등장하면 전송을 중지한다. 중간노드에서 RREQ를 수신할 경우 Link Level 조건 확인 후 재전송 여부확인하고 자신의 Link Level table을 업데이트 한다. 이 과정에서 반복적인 과정(loop)은 발생하지 않는다. 따라서 제안된 알고리즘에 대한 시간 복잡도는 기존의 요구기반 라우팅 알고리즘과 동일한 시간 복잡도를 보인다. 표 4 는 제안된 알고리즘의 의사코드를 나타낸다.

#### IV. 성능평가

본 장에서는 제안된 라우팅 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 사용한 파라미터는 표 5와 같다. 네트워크 전체 크기는 2000m x 2000m 이고 전체 노드 수는 100, 150, 200개로 각각 변경해가며 실험하였다. 각 노드의 분포는 무작위로 분포 되었다. 채널의 개수는 총 5개로 설정하였으며, 1개의 공통 제어 채널 (CCC: Common Control Channel)을 설정하였다. 부사용자들은 주사용자의 신호세기를 통하여 간섭 범위 안에 존재하는지 판단한다. 이때 사용되는 파라미터는 최소 센싱 범위이다. 성능 평가에서는 -88dBm 값을 부여하였고 이는 605m의 간섭 범위를 갖게 된

표 5. 시스템 파라미터  
Table 5. System parameter.

Parameters	Value
Network Size	2000m x 2000m
Minimum Sensing Range	-88dBm
Minimum Transmission Range	-79dBm
Number of PU	4
Number of SU	100 / 150 / 200
Number of Channels	5
Maximum Hop Count	10
PU ON_OFF	$\alpha, \beta (= 1 - \alpha)$

다. 부사용자 사이에 데이터를 전송하기 위한 최소 전송 거리는 -79dBm 값을 부여하였고 이는 303m의 전송 거리를 갖게 된다. 모의 실험에서 eclipse와 MATLAB을 통하여 검증되었다. MATLAB을 이용하여 주사용자의 ON-OFF 패턴과 같은 인지무선 네트워크 환경을 구축하였고 eclipse의 JAVA 언어를 이용하여 각 노드의 동작 환경을 구축하여 시험을 검증하였다. 모의 실험 과정에서 무선 환경에서의 경로손실은 가시선환경(line of sight)을 기준으로 하였으며 경로감쇄지수(Path loss exponent)는 3으로 고정하여 실험을 진행하였다.

주사용자(PU)는 4개를 분산적으로 배치하였고 주사용자의 발생은 정해진 시간동안 ON과 OFF시간의 비율이 지수 분포(exponential distribution)를 따라 교대로 발생하도록 하는 ON\_OFF 동작모형을 사용하였다.  $\alpha$  는 주사용자의 패턴이 OFF->ON,  $\beta$  는 주사용자의 패턴이 ON->OFF로의 변화율을 의미하며, 실험에서는 이 값을 바꾸어가며 주사용자의 발생빈도와 시간을 변화 시켰다.

#### 4.2 제안한 라우팅 방법의 성능 평가

성능 평가에서는 인지무선 에드혹 네트워크에서 본 논문에서 제안한 라우팅 알고리즘을 구현하고 기존의 AODV기반 인지무선 네트워크 라우팅 방법<sup>[14]</sup>과의 비교를 통하여 제안하는 라우팅 알고리즘의 신뢰성을 검증하였다. 성능평가에서 확인한 값은 Link Level에 따른 제어 메시지의 수, 경로 탐색 성공률, 경로의 생존시간 그리고 경로 신뢰성이다.

그림 7은 링크 레벨에 따라 발생하는 평균 RREQ 메시지의 수를 나타낸다. 목적지 노드에 처음 RREQ가 도착한 후 일정 시간 기다린 뒤에 경로 선택하는 시점까지 RREQ 메시지 수를 기록하였다. Link Level이 1일 경우 모든 노드에서 RREQ 재전송

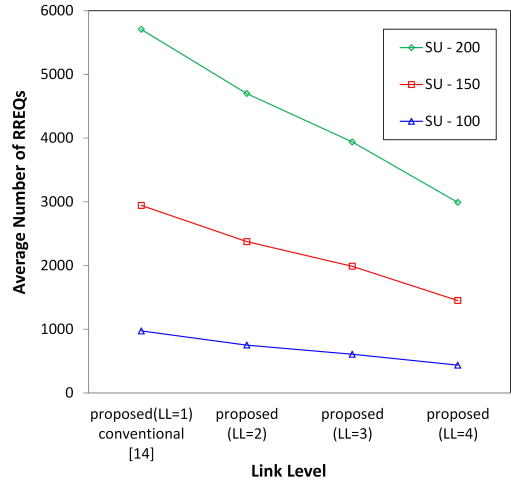


그림 7. 평균 RREQ 수  
Fig. 7. Average number of RREQs.

이 가능하기 때문에 가장 많은 RREQ가 발생한다. Link Level이 증가 할수록 RREQ의 수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 모든 Link Level에서 노드의 수가 증가할수록 더 많은 RREQ가 발생하는 것을 알 수 있다. 모든 경우에서 Link Level이 4일 때 Link Level이 1일 경우보다 약 50% 정도 RREQ가 감소한 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 링크 레벨에 따라 경로 탐색 확률을 보여 준다. 기존의 알고리즘의 경우 제어 메시지의 재전송에 대한 제약이 없기 때문에 100%에 가까운 확률로 경로를 찾아낸다. 제안한 알고리즘에서는 Link Level

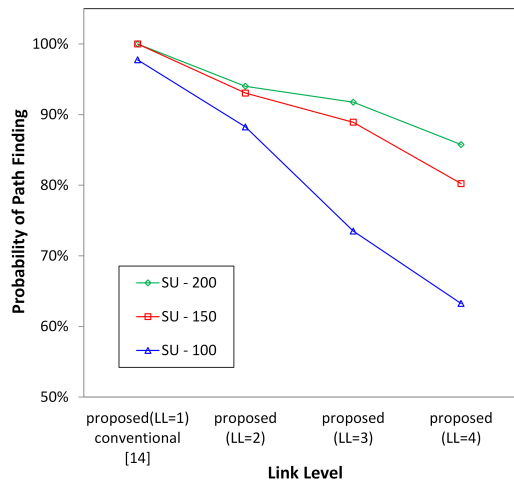


그림 8. 경로 발견 확률  
Fig. 8. Probability of path finding.

에 따라 경로 탐색 확률이 변한다. *Link Level*이 증가할수록 경로 탐색 확률이 낮아지는 경향을 보인다. 노드의 수가 100개 일 경우에 가장 낮은 확률을 보인다. *Link Level*이 1일 경우, 98%의 경로 탐색 성공률을 보이지만 *Link Level*이 4일 경우에는 63%의 성공률을 보인다. 반면 노드의 수가 200개로 증가할 경우 *Link Level*이 1일 경우, 99.3%의 경로 탐색 성공률을 보이고 *Link Level*이 4일 경우에는 85.8%의 성공률을 보인다. 노드 수가 많을수록 다양한 경로를 통해 제어 메시지를 전송하기 때문에 성공률이 증가한다. *Link Level*을 적용하여 제어 메시지의 수를 조절할 경우 150개 이상의 노드 환경에서 *Link Level*이 4일 경우가 *Link Level*이 1인 경우에 비해 15%정도 감소됨을 볼 수 있다.

그림 9는 제안된 알고리즘을 적용할 경우, 링크 레벨에 따라 경로 생존 시간의 변화를 보여준다. 경로 생존 시간은 데이터 패킷이 전송이 시작된 후 주사용자의 채널 사용으로 인한 데이터 전송 실패가 처음 발생한 시점까지 경로의 생존시간을 의미한다. 기존의 기법에서는 평균 230 unit time 의 경로 생존시간을 보인다. 반면 경로 신뢰성을 고려한 제안된 기법은 *Link Level*에 관계없이 더 나은 생존시간을 보인다. 노드의 수가 100개일 경우에는 *Link Level*에 따라 363~430 unit time의 생존시간을 보였고 노드의 수가 150개일 때는 500~590 unit time 그리고 노드의 수가 200개일 때는 617~711 unit time 의 경로 생존시간을 보였다. *Link Level*이 증가할수록 생존시간이 근소하게 증가하는 것으로 나타났고 노드 수가 많은 경우에 선택된 경로가 더 생존시간이 긴 것으로 나타났다.

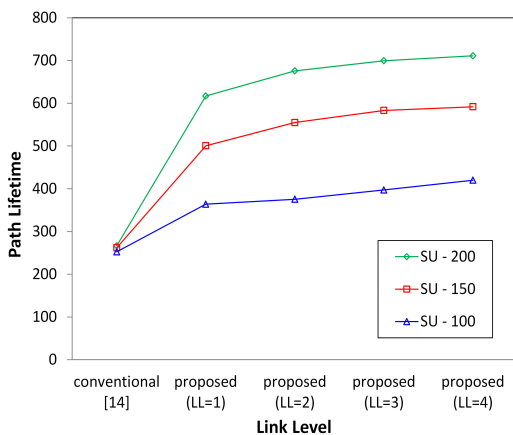


그림 9. 경로 생존 시간  
Fig. 9. Path lifetime.

그림10은 제안된 알고리즘을 적용할 경우, 링크 레벨에 따라 선택된 경로의 최소 *Path Reliability*값의 변화를 보인다. 그리고 기존의 방법은 가중치를 고려한 경로 신뢰성이 아닌 *Link Stability*값을 이용하여 측정하였다. 또한 성능 평가에서는 식(6)에서 정의된 *Path Weight*함수에서 가중치를 바꿔가며 처리량이 우수한 경로를 찾기 위해  $W_{min}$ 에 가중치를 두고 실험을 진행하였다. 그 결과 기존의 방법은 가중치를 고려하지 않았기 때문에 노드 수에 영향을 받지 않고 평균적으로 0.49의 *Path Weight*를 갖는다. 제안된 기법에서 노드의 수가 100개일 경우에는 *Link Level*에 따라 최소 0.58에서 최대 0.66으로 증가 되는 것으로 나타났고 노드의 수가 150개일 때는 최소 0.63에서 최대 0.68로 증가하였다. 마지막으로 노드의 수가 200개일 때는 최소 0.65에서 최대 0.69로 증가하는 것으로 나타났다. *Link Level*이 증가할수록 *Path Weight*가 근소하게 증가하는 것으로 나타났고 노드수가 많은 경우에 선택된 경로의 *Path Weight*가 더 큰 것으로 나타났다.

그림11은 제안된 알고리즘을 적용할 경우, 링크 레벨에 따라 선택된 경로의 평균 *Path Reliability*값의 변화를 보인다. 나머지 실험 조건은 그림 10과 동일하게 하였다. 그 결과 기존의 방법은 평균적으로 0.68의 *Path Weight*를 갖는다. 제안된 기법에서 노드 수가 100개일 경우에는 *Link Level*에 따라 최소 0.72에서 최대 0.85로 증가 되는 것으로 나타났고 노드 수가 150개일 때는 최소 0.78에서 최대 0.85로 증가하였다. 마지막으로 노드 수가 200개일 때는 최소 0.8에서 최대 0.87로 증가하는 것으로 나타났다. 그림 10과 마찬

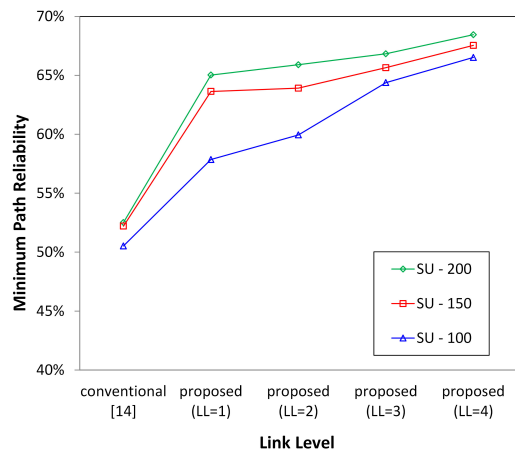


그림 10. 최소 경로 신뢰성  
Fig. 10. Minimum path reliability

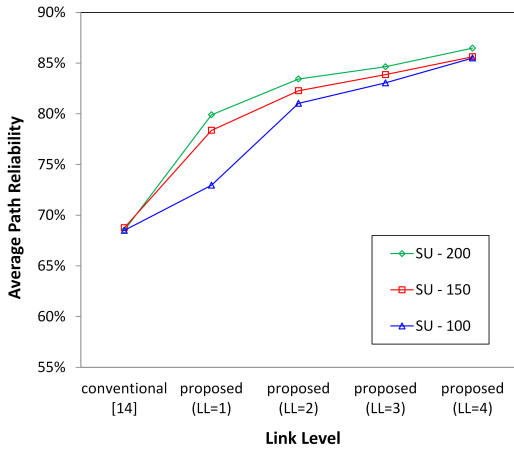


그림 11. 평균 경로 신뢰성  
Fig. 11. Average path reliability

가지로 *Link Level*이 증가할수록 *Path Weight*가 근소하게 증가하는 것으로 나타났고 노드 수가 많은 경우에 선택된 경로의 *Path Weight*가 더 큰 것으로 나타났다.

시험 결과를 종합해볼 때 제안된 알고리즘은 부사용자의 수와 제어채널의 복잡도에 따라 선택적인 시스템 운용이 필요하다. 부사용자수가 적은 환경에서는 *Link Level*이 작은 알고리즘을 시스템에 적용하여 경로 발견 확률을 높여야 한다. 반면 부사용자 수가 많은 환경이라면 *Link Level*이 높은 알고리즘을 적용해야 경로 발견 확률에 대한 손실 대비 경로 생존 시간으로부터 얻는 이득을 크게 할 수 있다. 제안된 알고리즘은 시스템의 환경(부사용자의 수, 제어채널의 복잡도)에 따라 trade-off가 존재하고 선택적으로 적용하여 성능 향상을 가져올 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 인지 무선 애드혹 네트워크 환경에서 협소 대역인 공통 제어 채널의 오버헤드를 줄이고 경로의 생존시간을 향상 시키는 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 기존의 라우팅 알고리즘에서는 경로를 찾기 위한 제어메시지의 전송 과정에서 발생하는 제어 메시지 간의 충돌을 고려하지 않고 있다. 이에 반해 제안된 알고리즘은 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 *Link Level*조건을 사용하여 많은 부사용자가 존재하는 혼잡한 네트워크 환경에서도 공통 제어 채널의 오버헤드를 감소시킬 수 있다. 또한 경로의 안정성과 사용 확률이 높은 채널 그리고 채널 스위칭 횟수를

고려하여 경로를 선택함으로써 데이터 전송의 생존시간을 증가시킬 수 있다.

성능 평가를 통하여 *Link Level*에 따른 제어 메시지의 수, 경로 탐색 성공 확률, 경로 생존시간 그리고 *Path Weight*와 같은 다양한 파라미터를 측정하였다. 또한 네트워크에 부사용자의 수를 변화 시키면서 기존의 인지무선 네트워크에 적용된 AODV기법과 제안한 알고리즘의 성능을 비교하였다. 그 결과 기존의 방법에 비해 *Link Level*적용하였을 경우 공통 제어 채널의 오버헤드를 줄일 수 있었고 경로 신뢰성을 고려하여 경로의 생존시간을 증가 하는 것을 확인하였다.

제안된 경로 신뢰성을 고려한 라우팅 알고리즘은 인지 무선 애드혹 네트워크에서 패킷 충돌 및 제어 채널의 오버헤드 감소와 경로 생존시간의 증가를 통해 부사용자들이 가용 주파수 대역을 효율적으로 사용할 수 있도록 해준다. 하지만, *Link Level*조건에 따른 경로 탐색 성공률의 감소되는 측면과 라우팅 경로 유지 보수에 대한 연구가 더 필요할 것이다.

### References

- [1] FCC, *Spectrum policy task force report*, ET Docket No. 02-155, Nov. 2002.
- [2] FCC, *Notice of Rule Making and Order*, ET Docket No. 03-322, Dec. 2003.
- [3] J. Mitola III, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio," Ph.D. Dissertation, Royal Inst. Technol., Sweden, May 2000.
- [4] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: Making software radios more personal," *IEEE Personal Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, 1999.
- [5] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, and K. R. Chowdhury, "CRAHNS: Cognitive Radio Ad Hoc Networks," *Ad Hoc Networks*, vol 7, no. 5, pp. 810-836, Jul. 2009.
- [6] Q. Wang and H. Zheng, "Route and spectrum selection in dynamic spectrum networks," in *Proc. IEEE Consumer Commun. Netw. Conf. (CCNC 2006)*, pp. 625-629, Las Vegas, USA, Jan. 2006.
- [7] J. So and N. Vaidya, *A routing protocol for utilizing multiple channels in multi-hop wireless networks with a single transceiver*,

Technical Report of Univ. Illinois Urbana-Champaign, Oct. 2004.

- [8] G. Cheng, W. Liu, Y. Li, and W. Cheng, "Spectrum aware on-demand routing in cognitive radio networks" in *Proc. IEEE Consumer Commun. Netw. Conf. (CCNC)*, pp. 571-574, Las Vegas, USA, Jan. 2006.
- [9] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) routing, Request for Comments (RFC) 3561*, Jul. 2003.
- [10] S. Mahamuni, V. Mishra, and V. M. Wadhai, "Performance evaluation of AODV routing protocol in cognitive radio Ad-hoc network," *Int. J. Wirel. Mob. Netw. (IJWMN)*, vol. 3, no. 5, pp. 65-74, Oct. 2011.
- [11] P. Tingrui, Z. Zhi, Z. Wenli, and Z. Zhaoxia, "A cognitive improved hierarchical AODV routing protocol for cognitive wireless mesh network," *J. Inf. Technol.*, pp. 376-384, 2011.
- [12] S. Abdelaziz and M. ElNainay, "Metric-based taxonomy of routing protocols for cognitive radio ad hoc networks," *J. Netw. Comput. Appl.*, 2013.
- [13] S. Ju and J. B. Evans, "Scalable cognitive routing protocol for mobile ad hoc networks," *IEEE Globecom*, pp. 1-6, Miami, USA, Dec. 2010.
- [14] Z. Zhai, Y. Zhang, M. Song, and G. Chen, "A reliable and adaptive AODV protocol based on cognitive routing for ad hoc networks," *ICACT*, pp. 1307-1310, Gangwon-Do, Korea, Feb. 2010.

최 준 호 (Jun-Ho Choi)



2012년 2월: 인하대학교 정보통신공학과(공학사)  
 2012년 3월~현재 인하대학교 정보통신공학부 석사과정  
 <관심분야> Sensor Network, Cognitive Radio,

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)



1988년 2월: 한양대학교 전자통신학과(공학사)  
 1990년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)  
 2000년 8월: 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)  
 1990년 3월~2001년 2월: KT 연구 개발본부  
 2001년 3월~현재: 인하대학교 정보통신공학부 교수  
 <관심분야> 무선 네트워킹 프로토콜, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio Network, 무선 센서네트워크, 미래인터넷