



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



Master's Thesis

Group-based Any-Path Routing in Cognitive Radio Networks

Jiseon Lee (이 지 선)

Division of Electrical and Computer Engineering
Pohang University of Science and Technology

2011



COGNITIVE RADIO 네트워크에서 그룹 기반 ANY-PATH 라우팅 기법

Group-based Any-Path Routing
in Cognitive Radio Networks



Group-based Any-Path Routing in Cognitive Radio Networks

by

Jiseon Lee

Division of Electrical and Computer Engineering
Pohang University of Science and Technology

A thesis submitted to the faculty of the Pohang University of Science and Technology in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science in the Division of Electrical and Computer Engineering.

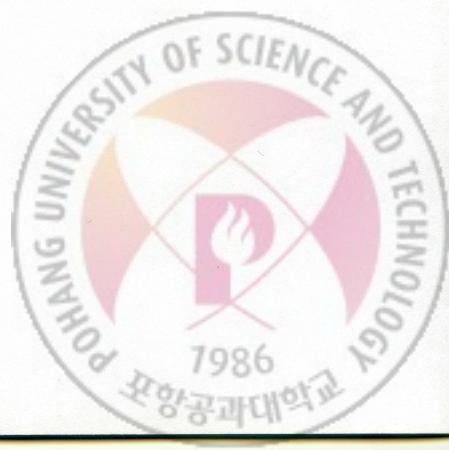
Pohang, Korea

December 21, 2010

Approved by

Cheeha Kim 

Academic Advisor



Group-based Any-Path Routing in Cognitive Radio Networks

Jiseon Lee

The undersigned have examined this thesis and hereby certify that it is worthy of acceptance for a master's degree from POSTECH.

12/21/2010

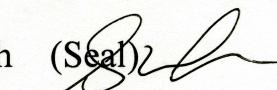
Committee Chair

Cheeha Kim


(Seal)

Member

Young-Joo Suh


(Seal)

Member

Hwangjun Song


(Seal)

Dedicated to God Almighty and My Family

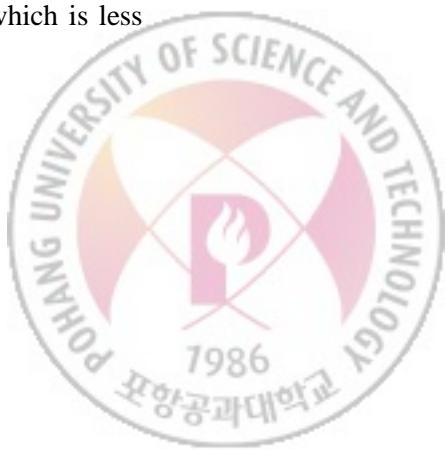


MECE 20090871	이지선. Jiseon Lee. Group-based Any-Path Routing in Cognitive Radio Networks. Cognitive Radio 네트워크에서 그룹 기반 Any-Path 라우팅 기법, Division of Electrical and Computer Engineering. 2011, 32P, Advisor: Cheeha Kim, Text in Korean.
------------------	---

Abstract

Cognitive radio (CR) technology uses vacant spectrum opportunistically when and where the licensed user of the spectrum is not using it. Specifically, cognitive radio ad hoc networks (CRAHNs) are self-configuring networks of CR devices, which can communicate with each other without infrastructure or fixed spectrum. Routing in CRAHNs must address different spectrum availability among nodes, which is caused by spatial and temporal variation of the licensed user's activity. Once a routing path has been established, nodes along the route should switch channels to maintain communication because of variable licensed user's activity. Since channel switching introduces a significant delay, frequent channel switching degrades the performance. In order to reduce the number of channel switching, existing approaches attempt to use spectrum that is expected to remain available for the longest time based on history. However, utilization history is not always available.

In this paper, I propose a group-based any-path routing protocol, which is less



amenable to the dynamic spectrum usage of the licensed users. The proposed scheme forwards data to any device in the next group instead of a predefined device, which makes use of spatial diversity to reduce channel switching. Simulation results show that the proposed scheme reduces the end-to-end delay and increases route life time when compared to the existing schemes.



목차

I. 서론	1
II. 관련 연구	4
2.1 Cognitive radio ad hoc networks의 기본 개념	4
2.2 Cognitive radio ad hoc networks에서 기존 라우팅 프로토콜	7
2.3 Channel switching 문제 정의	10
III. 그룹기반 Any-Path 라우팅 기법	12
3.1 Any-Path 라우팅	12
3.2 그룹기반 Any-Path 라우팅과 채널 할당 기법	13
3.2.1 Initialization	14
3.2.2 Grouping	15
3.2.2.1 Grouping constraint	15
3.2.2.2 Grouping scheme	15
3.2.3 채널 할당	17
3.3 그룹 기반 Any-Path 데이터 전송	20
IV. 성능 평가	23
4.1 가정한 환경	23



4.2 시뮬레이션 환경	23
4.3 시뮬레이션 결과 및 분석	26
V. 결론 및 향후 연구	30
References.....	31



그림 목차

[그림 2.1] FCC 주파수 할당 도표 [3].....	4
[그림 2.2] 스펙트럼 이용현황 측정 자료 [1]	5
[그림 2.3] Cognitive Radio Networks Architecture [17].....	6
[그림 2.4] Gymkhana protocol의 예 [7]	8
[그림 2.5] channel switching의 예	10
[그림 3.1] Any-Path Routing.....	12
[그림 3.2] Any-Path의 개념.....	13
[그림 3.3] Group Formation	16
[그림 3.4] Req_Group 메시지 포맷	16
[그림 3.5] RREP_GAP 메시지 포맷	17
[그림 3.6] Req_Channel 메시지의 orthogonal code 동작 방식	19
[그림 3.7] Sel_Channel 메시지 포맷.....	19
[그림 3.8] 데이터 전송	21
[그림 3.9] Group-based Any-Path Routing 에서 PU의 activity가 바뀐 예 ..	22



[그림 4. 1] Active Factor에 따른 단말 간 지연시간	27
[그림 4. 2] Active된 PU 수에 따른 단말 간 지연 시간.....	28
[그림 4. 3] Active PU 수에 따른 경로의 수명	29



표 목차

[표 1] 시뮬레이션 환경 파라미터 24

[표 2] 시뮬레이션 통신 환경 파라미터 25



I. 서론

Cognitive radio(CR) 기술은 스펙트럼 사용의 효율성을 높이는 기술로써 특정 스펙트럼에 할당된 사용자가 해당 스펙트럼을 사용하지 않을 때를 센싱하여 비어있는 시간과 공간에서만 기회적으로 스펙트럼을 사용할 수 있게 하는 기술이다[1]. 따라서 Cognitive radio networks (CRNs)는 1 차 사용자 (licensed user, primary user: PU)와 CR 기술을 사용하여 기회적으로 통신하는 2 차 사용자 (unlicensed user, secondary user: SU)로 구성되어 있으며 PU는 해당 스펙트럼에 항상 우선권을 가지고 있고 SU는 비어있는 스펙트럼의 정보(Spectrum Opportunities: SOP)를 이용하여 기회적으로 통신을 한다. 만약 SU가 사용하던 스펙트럼을 PU가 사용할 경우 SU는 PU의 통신을 방해하지 않도록 비어있는 다른 스펙트럼으로 이동한다.

Cognitive radio ad hoc networks (CRAHNs)[2]는 CR 기술을 사용하는 기기들로 이루어진 무선 에드혹 네트워크(wireless ad hoc networks)로써 인프라 구조가 없는 곳에서 노드들끼리 기회적으로 스펙트럼을 사용하여 장소와 스펙트럼에 상관없이 구성할 수 있는 네트워크이다. 무선 에드혹 네트워크는 전송범위 안에 노드가 있으면 하면 통신할 수 있었던 것에 비해 CRAHNs는 통신 가능한 주파수를 고려해야 하기 때문에 CRAHNs는 무선 에드혹 네트워크에서 이전에 제안 되었던 라우팅 프로토콜로는 원활한 통신을 할 수 없다. 또한 CRAHNs



에서 경로를 구성하는 노드가 사용할 수 있는 주파수 대역(채널)은 서로 다를 수 있고 시간과 장소에 따라 스펙트럼의 가용성이 달라지기 때문에 이를 반영하여 경로를 세우는 CRAHNs 만의 라우팅 프로토콜이 필요하다.

현재까지 제안된 라우팅 방법들은 크게 두 가지로 나눠 볼 수 있다. 첫 번째는 PU 의 움직임에 대한 과거 정보를 가지고 길을 찾는 방식과 두 번째는 이전에 경로를 유지하면서 알게 된 정보로 경로를 찾는 방식이다. 첫 번째 방식은 PU 가 나타났던 이력에 따라 다시 나타날 확률을 계산하거나 모델링하여 경로 선택에 기준으로 삼는 방식이고, 두 번째 방식은 각 채널의 경험했던 방해 정도 혹은 유지 비용에 따라 선택하는 방식이다. 하지만 이 모든 방법은 일정 기간 이상 정보를 수집할 수 있고 수집된 정보가 효용이 있을 때 쓸 수 있는 방법이며 이전 정보가 없거나 PU 의 동작을 예상하기 힘든 경우에 적용하기 힘들다. 또한 빈번하게 사용 가능한 채널이 바뀔 경우 위의 방법으로 찾아 놓은 경로는 통신을 유지하기 위해서 지속적으로 통신이 가능한 채널로 바꿔야 하는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 PU 의 activity 가 random 하여 예측하기 힘들거나 PU activity 의 과거 정보를 얻기 어려운 환경에서 채널 변경으로 인해 통신이 지연되는 점을 보완한 라우팅 기법인 Group-based Any-Path 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 on-demand 라우팅 프로토콜로써 경로를 검색할 때 위치뿐만 아니라 통신 가능한 스펙트럼 정보를 기반하여 통신 가능한 경로를 검색한 후 선택된 경로를 기준으로 그룹을 구성하여 통신하는 방식이다.



즉, 기기들의 sequence로 이루어진 한 경로가 아니라 통신을 가능하게 하는 그룹을 만들어가면서 그룹 sequence로 경로를 구성하는 것이다. 그룹에 들어간 기기들은 모두 중간 전달 역할 의무를 갖게 되고 해당 그룹에서 어떤 기기라도 데이터 전송을 하게 되면 그룹은 전달 의무를 달성하게 된다. 이러한 방식을 통해 제안한 라우팅 기법은 공간적으로 PU의 영향권에 벗어나 있는 SU들이 데이터 전달을 계속하게 되어 갑작스러운 PU의 등장에도 원활한 통신이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2 장에서는 cognitive radio ad-hoc networks의 기본개념과 기존에 제안된 라우팅을 살펴보고 문제를 제시한 후, 3장에서 제안하고자 하는 라우팅 기법에 대하여 상세히 설명한다. 4 장에서는 제안한 라우팅 방식과 기존 방식을 성능평가를 통하여 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구 과제에 대해서 살펴 본다.

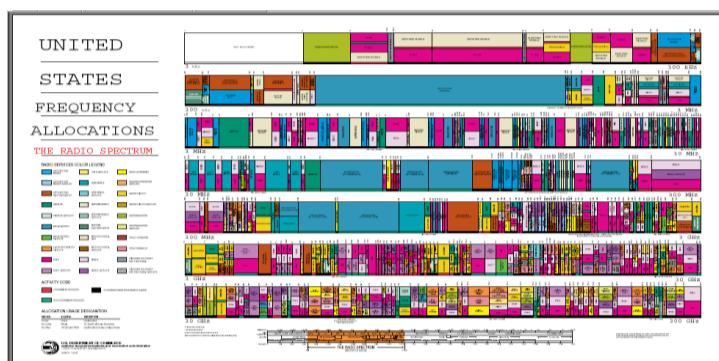


II. 관련 연구

이 장에서는 CRAHNs 의 기본 개념과 기존에 제안되었던 라우팅 프로토콜에 대해 살펴본 후 이전 연구의 한계점에 따른 문제를 제기한다.

2.1 Cognitive radio ad hoc networks 의 기본 개념

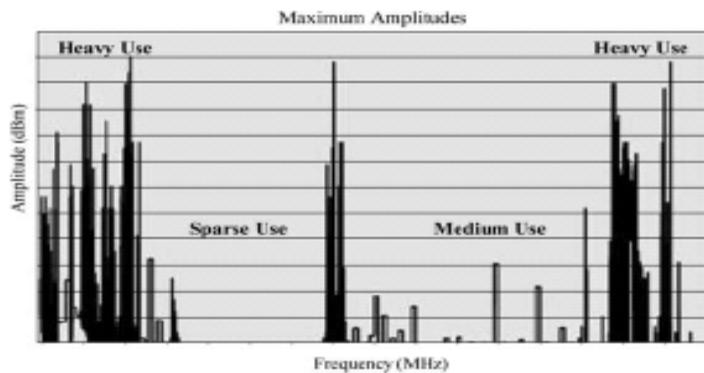
현재 무선 네트워크에서 사용하는 스펙트럼 대역은 스펙트럼 별로 특정 사용자에 할당되어 사용되고 있는 허가 대역과 특별히 스펙트럼을 할당 받지 않은 사용자가 자유롭게 사용할 수 있는 비허가 대역으로 나뉜다. 최근 많아지는 무선 기기로 인해 새로운 스펙트럼에 대한 요구가 커지고 있지만 허가 대역은 이미 많은 사용자에게 할당된 상태 [그림 2.1] [3]이고 비허가 대역의 스펙트럼 많은 무선 네트워크 (e.g., WLANs, personal area networks, sensor



[그림 2.1] FCC 주파수 할당 도표 [3]



networks, etc.) [4] 때문에 포화 상태에 이르고 있다. 하지만 Federal Communications Commission(FCC) [5] 발표에 따르면 할당된 스펙트럼은 시간과 공간에 따라 15%에서 85% 정도로 비효율적으로 사용되고 있다.

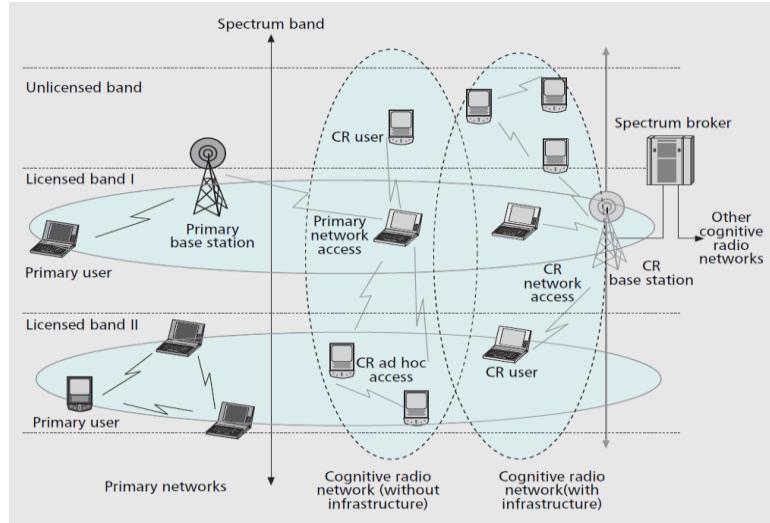


[그림 2.2] 스펙트럼 이용현황 측정 자료 [1]

따라서 비효율적으로 사용되고 있는 스펙트럼을 효율적으로 사용하기 위해 스펙트럼이 비어있을 때 허가 대역의 스펙트럼을 PU에게 방해를 주지 않는 선에서 기회적으로 사용해보자는 Dynamic Spectrum Access (DSA)라는 개념이 대두되게 되었고 CR이라는 기술을 통해 이를 실현할 수 있게 되었다. CR이란 CR 기기가 작동하는 환경을 인지하여 이를 바탕으로 자신의 송수신기 (transmitter) 파라메터를 바꾸는 radio[6]기술이다. 즉, 현재 비어 있는 스펙트럼을 인지하고 이를 바탕으로 비어있는 스펙트럼을 쓸 수 있도록 주파수를 변경 할 수 있는 기술임을 뜻한다.

CRAHNs 는 infrastructure 을 이용하지 않고 CR 을 사용하는 SU 노드들이





[그림 2. 3] Cognitive Radio Networks Architecture [17]

스스로 네트워크를 형성하여 통신하는 네트워크[2]로써 [그림 2.3]에서 infrastructure 없이 형성되는 네트워크 그림으로 이해할 수 있다. 이 네트워크 또한 각 스펙트럼에 할당되어 우선적으로 스펙트럼을 사용할 수 있는 PU 와 PU 가 사용하지 않은 스펙트럼 정보(SOP)를 가지고 기회적으로 통신하는 SU 로 이루어져있다. SU 는 주변 노드와 사용 가능한 스펙트럼 정보를 바탕으로 통신하고자 하는 목적지까지 경로를 찾은 뒤 여러 흡을 거쳐 메시지를 전달하게 되는데 이 때 경로를 이루는 SU 들은 사용할 수 있는 스펙트럼이 각각 달라 목적지까지 가는 패킷은 다른 스펙트럼을 이용하며 전송하게 된다. 또한 PU 가 장소와 시간마다 다르게 나타나기 때문에 경로를 검색한 후 패킷을 보내고 있었던 경로도 시간이 지나면 사용 가능한 채널이 달라질 수 있는 특징을 가지고 있다.



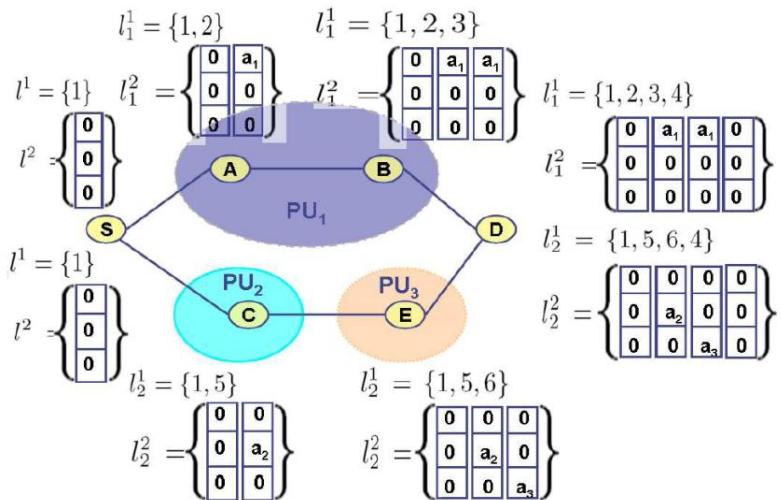
2.2 Cognitive radio ad hoc networks에서 기존 라우팅 프로토콜

CRAHNs의 특징 때문에 ad hoc networks에서 제안되었던 라우팅 방식으로는 원활한 통신을 제공하기 어렵다. 따라서 현재 CRAHNs에서의 라우팅 연구가 활발히 진행되고 있다. 제안된 라우팅 프로토콜들은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데 PU의 activity에 대한 과거 정보를 가지고 길을 찾는 방식과 이전에 경로를 유지하면서 알게 된 정보를 기반으로 경로를 찾게 되는 방식이다. 이들은 가지고 있는 정보를 바탕으로 최대한 원활한 통신을 보장할 수 있는 최적의 경로를 찾는다.

PU의 과거 정보를 가지고 길을 찾는 방식들을 살펴보면 다음과 같다. Gymkhana 라우팅 프로토콜[7]은 패킷을 보낼 때 경로를 구성하고 있는 링크에 PU가 나타날 확률이 높아 끊어지기 쉬운 위험한 지역을 피해서 라우팅하는 방법이다. 즉, 이전에 PU의 activity가 많았던 지역에 있는 CR 기기를 중간 전달 노드로 선택하지 않는 방식이다. 이 방식은 두 단계로 나눠 볼 수 있는데 첫 번째 단계는 AODV-style로 통신을 하고자 하는 노드와 목적지 노드 사이를 연결하는 모든 경로를 검색하는 것이다. 이때 각각의 노드는 PU가 나타났던 이전의 이력을 기반으로 하여 어느 정도 영향을 받았었는지 그에 대한 척도를 가지고 있게 한다. 이러한 정보는 Route REQuest (RREQ) 패킷이 도착하면 자신의 ID와 이전의 받은 영향척도 vector도 함께 넣어 보내게 된다.

그러면 다음 [그림 2.4]와 같이 두 가지의 정보가 함께 목적지 노드에 도착





[그림 2.4] Gymkhana protocol의 예 [7]

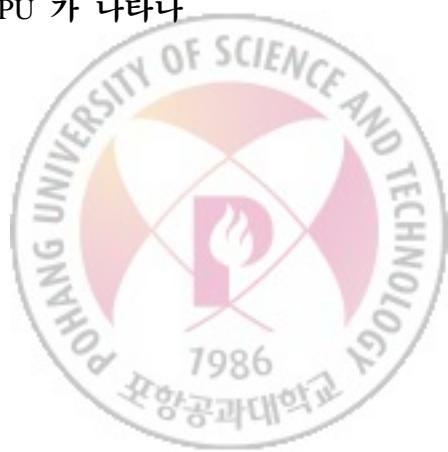
하게 된다. [그림 2.4]에 숫자 배열로 표시된 l^1 은 각 경로를 구성하고 있는 중간 노드의 ID 번호이고 두 번째 l^2 은 각 노드에서 채널당 겪은 PU의 active factor이다. 이 정도가 높을수록 해당 노드는 방해를 받았던 정도가 큼을 나타낸다. 두 번째 단계는 도착한 정보를 바탕으로 목적지 노드는 경로마다 가상의 그래프를 만들고 각각의 연결선마다 PU의 활동성과 채널을 바꾸는데 드는 비용을 weight function으로 계산하여 laplacian matrix에 저장하고 각 경로마다의 연결성을 계산한다. 목적지 노드는 연결성을 계산한 결과에 흡 수를 나눠서 나온 값이 가장 높은 경로를 선택하여 통신한다. 따라서 Gymkhana 라우팅 프로토콜에서 제시하는 베트릭은 경로를 구성하는 흡 수와 PU의 활동성을 고려한 방식임을 알 수 있다. 확률적인 수치에 기반한 라우팅 프로토콜 [8]은 SU가 여러 흡을 거쳐가면서 최적의 길을 찾아 경로를 구성하여 경로의 안



정성과 가용성을 높이는 방법이다. 최적의 길을 찾기 위해 각 노드는 PU들의 밀도에 대한 정보와 과거에 PU가 링크에 출현에 했던 빈도 정보를 안다고 가정하고 이를 바탕으로 받은 신호 세기에 기초하여 이 채널을 사용한다고 했을 때 얻을 수 있는 이득을 각 채널마다 계산한다. SU는 목적지에 가는 길까지 이 점수를 토대로 하여 예상되는 자연시간을 계산하여 확률적으로 최적의 경로를 선택하는데 이 과정을 논문에서는 전통적인 distance-vector 알고리즘을 각 흡마다 사용하여 Most probable path(MPR)을 찾는 과정이라고 한다.

경로를 유지하면서 알게 된 정보를 바탕으로 길을 찾는 방식을 살펴보면 다음과 같다. Minimum maintenance routing cost[9]라우팅은 통신을 원하는 노드와 목적지 노드 사이를 연결하는 링크가 이전에 통신을 위해서 채널을 바꿨거나 경로를 구성하는 다음 노드를 바꿨을 때 들었던 비용을 기반으로 비례하게 weight를 주고 이전 경로를 유지하면서 길게 유지 되었던 시간에 반비례하게 weight를 주어 가장 적은 weight를 가진 경로를 선택하게 하는 방식이다. 통신을 원하는 노드는 자신의 이웃 노드 중 가장 적은 weight를 가지는 링크와 채널을 선택하면서 목적지까지 경로를 검색한다. 이로써 안정된 경로를 선택하려는 방식이다.

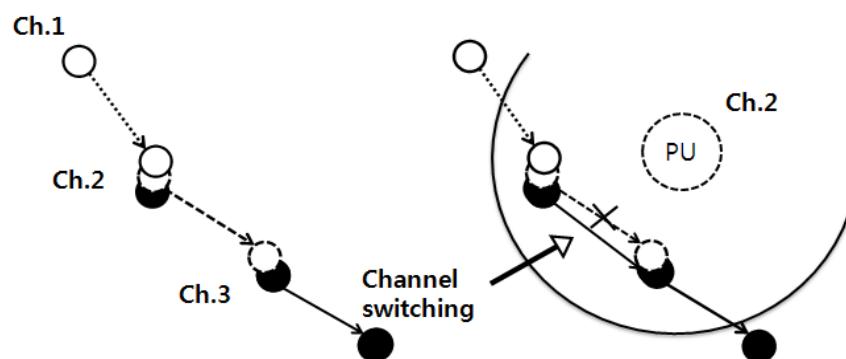
지금까지 PU가 과거의 나타났던 이력과 경로를 유지하면서 얻은 정보를 바탕으로 제안된 라우팅 방법들을 살펴보았다. 하지만 이전의 PU가 나타나는 패턴이 현재 상황과 달라 영향을 미치지 못하는 환경이거나 혹은 이전에 두 노드를 연결한 과거기록이 없거나 충분하지 않다면 갑작스럽게 PU가 나타나



는 확률이 높아 질 것이고 이 정보를 바탕으로 최적의 경로로 찾아 놓은 경로로 원활한 통신하기 어렵다. 또한 PU의 activity이 random한 환경이라면 제안된 방법으로는 원활한 통신을 하기 어렵다.

2.3 Channel switching 문제 정의

CRAHNs에서 SU가 사용하던 스펙트럼에 PU가 나타나면 방해를 주지 않기 위해 SU는 다른 스펙트럼으로 이동하여 통신하던 두 SU 사이의 통신을 계속하게 된다. 이 때 PU에 의해서 통신을 못하게 된 이후 통신이 가능한 채널을 찾아서 다음 통신이 재개 될 때까지 SU는 통신을 할 수 없게 되는데 이 통신을 할 수 없는 시간 때문에 발생하는 문제를 channel switching 문제라고 하겠다.



[그림 2.5] channel switching의 예



channel switching 문제를 고려하는 것이 중요한 이유는 [그림 2.5]와 같이 SU 가 채널에 PU 가 나타난 것을 감지한 후 SU 자신이 현재 사용 가능한 채널을 센싱하고 통신하던 상대 SU 노드와 어떤 채널을 사용하여 통신을 지속할 것인지 협상하는 과정에서 시간이 소요되기 때문이다. 더욱이 PU 의 activity 가 random 한 경우 통신 성능에 큰 저하를 주게 되기 때문이다.

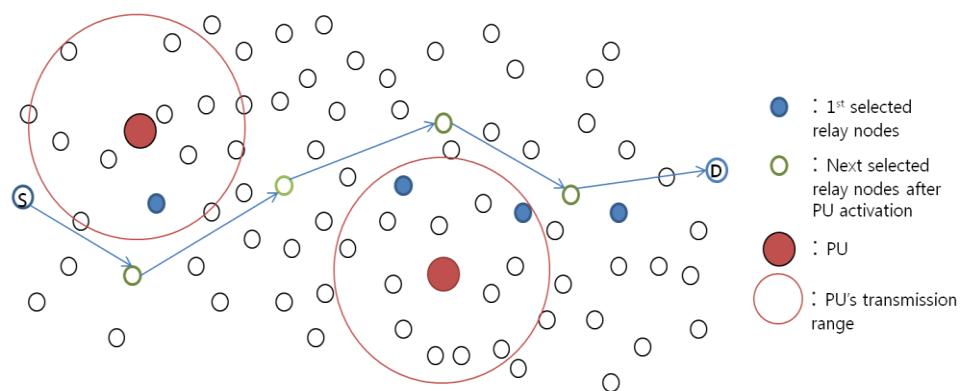


III. 그룹기반 Any-Path 라우팅 기법

이 장에서는 기존의 지식 기반 라우팅 프로토콜보다 더 좋은 성능을 낼 수 있는 라우팅 기법인 Group-based Any-Path 라우팅에 대해서 살펴본다.

3.1 Any-Path 라우팅

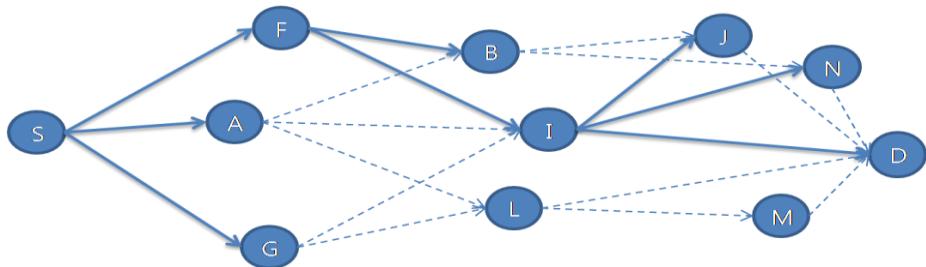
본 논문에서 제안하는 아이디어의 핵심은 공간적인 스펙트럼의 다양성을 이용하여 통신이 가능한 경로로 데이터를 보내어 채널의 변경 없이 통신을 지속하게 하는 라우팅 프로토콜이다.



[그림 3. 1] Any-Path Routing

이는 서로 다른 PU의 영향권에 있는 노드들을 이용하여 상황에 따라 통신이 가능한 노드로 메시지를 보내어 사용하던 스펙트럼에 PU가 나타나도 통신

을 지속시키게 하는 방법인 것이다. [그림 3.1]을 보면 처음 패킷을 보낸 경로에 PU 가 active 되어 데이터 전송을 할 수 없을 때 PU 에 영향 받지 않은 다른 노드로 패킷을 보내어 통신을 하는 것을 확인할 수 있다. 제안한 라우팅 프로토콜을 사용하면 CRAHNs 에 갑작스럽고 빈번하게 PU 가 나타난다고 할지라도 그에 대한 피해를 최대한 줄여 통신을 계속 하게 할 수 있다. 이는 하나의 정해진 중간 노드를 정해서 통신하는 것이 아니라 통신을 할 수 있는 다수의 노드 중 하나만 통신이 되면 그 통신을 계속 할 수 있기 때문이다.



[그림 3.2] Any-Path의 개념

이를 가능하게 하는 아이디어의 핵심개념은 [그림 3.2]과 같이 송신을 원하는 노드 (S)가 최종 수신 노드 (D)까지 가기 위해서 하나의 길이 아니라 그 방향에 있는 노드들에게 보내서 D 까지 데이터가 도착하게 하는 것이다.

3.2 그룹기반 Any-Path 라우팅과 채널 할당 기법

이 절에서는 on-demand 하게 그룹으로 형성하는 방법과 이렇게 형성된 그룹



을 기반으로 하는 Any-Path 라우팅과 채널을 할당하는 방식을 자세히 소개한다.

3.2.1 Initialization

제안된 기법은 먼저 통신을 원하는 노드에서 목적지 노드까지 on demand 방식으로 경로를 찾는 AODV를 기본으로 하여 목적지 노드까지 경로를 찾는다. 따라서 목적지 노드를 찾을 때까지 Route REQuest Group-based Any-Path (RREQ_GAP) 메시지가 네트워크 전체에 플러딩되는데 이 때 RREQ_GAP는 자신의 사용 가능한 스펙트럼 정보 (SOP)를 넣어서 통신을 할 수 있는 노드만이 RREQ_GAP 정보를 저장하고 다시 방송(rebroadcasting)한다. 이는 이전의 무선 에드 혹 네트워크일 경우 전송범위 안에 있는 노드면 통신할 수 있었지만 CRNs에서는 어느 스펙트럼을 이용하여 통신할 것인지에 대한 정보가 필요하기 때문이다. 통신할 수 있는 위치에 있지만 서로 사용 가능한 스펙트럼이 다르다면 두 노드는 통신을 할 수 없는 것이나 마찬가지이기 때문에 경로를 찾을 때 전송 범위 안에 있는 노드일 뿐 아니라 통신을 가능하게 하는 공통의 채널도 있는지도 고려되어야 한다. 이를 고려하여 목적지 노드에 RREQ_GAP 메시지가 도착하게 된다.



3.2.2 Grouping

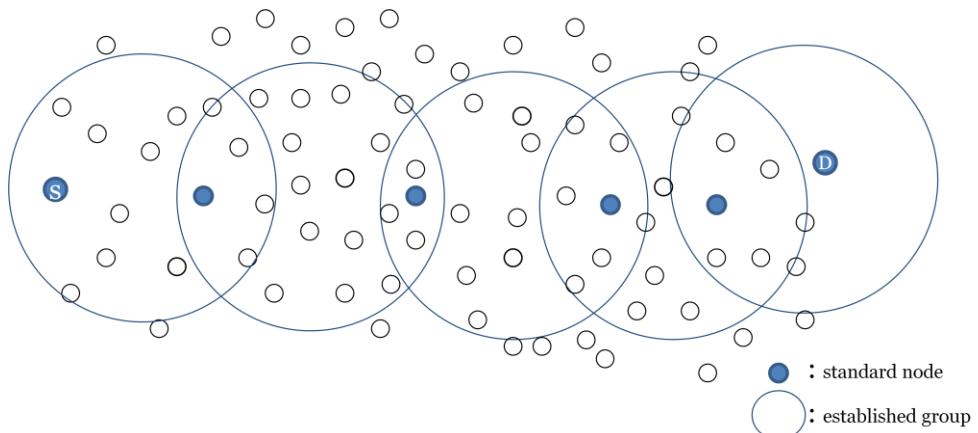
3.2.2.1 Grouping constraint

통신을 위해서 구성될 그룹은 통신이 시작되었을 때 동적으로 구성되는 그룹으로써 통신을 원하는 노드로부터 목적지 노드까지 도착할 수 있는 경로 중 가장 적은 흙의 길을 기본으로 하여 그 길을 구성하고 있는 노드 중 두 노드의 데이터 전송 범위 사이에 있고 서로 한 흙 안에 있는 노드들이 한 그룹에 들어가는 조건을 만족하는 노드로 그룹을 구성한다.

3.2.2.2 Grouping scheme

Initialization 과정을 통해 RREQ_GAP 메시지를 받은 목적지 노드는 RREQ_GAP 메시지 정보를 통해 Route REPlly Group-based Any-Path (RREP_GAP) 메시지를 다음 흙에 보낸다. 이 메시지를 받은 노드는 자신의 테이블에 저장된 역 경로를 따라 다음 흙으로 메시지를 다시 보내게 되고 최종적으로 통신을 원하는 노드까지 RREP_GAP 가 도착하게 된다. 이 때 다음 흙으로 저장되어 RREP_GAP 메시지를 받은 노드는 그룹을 형성하는 기준점이 되어 그룹을 형성한다. [그림 3.3]에서 보듯이 경로를 구성하는 노드들이 standard node 가 되어 두개의 노드를 이웃으로 한 노드들은 한 그룹에 속하게 되는 것이다.





[그림 3. 3] Group Formation

Grouping 은 RREP_GAP 메시지를 받은 노드가 자신의 주변 노드에게 Req_Group 메시지 [그림 3.4]를 보냄으로써 이루어진다. Req_Group 메시지를 받은 노드들은 메시지 안에 있는 기준 노드(Standard Node ID)가 자신의 이웃 노드인지 확인한 후 자신이 이웃일 경우 메시지 안에 있는 Group ID 를 자신의 Group ID 로 저장하여 한 그룹을 형성하게 된다.

Type	Reserved	Channel of Next Group
Group ID		
Next Group ID		
Standard Node ID		

[그림 3. 4] Req_Group 메시지 포맷



그룹은 위치를 기반으로 전송 범위 안에 들어있는 노드들이 한 그룹에 속하게 되는데 이는 PU의 등장으로 다른 채널을 선택해야 할 때 정보 전달 역할을 할 수 있는 후보 노드들을 확보하기 위해서이다. 이러한 과정을 RREP_GAP 메시지가 통신을 원하는 노드에 도착할 때까지 반복하고 데이터는 다음 흡 정 보가 아니라 그룹을 형성하면서 정한 다음 그룹으로 보내지게 된다.

3.2.3 채널 할당

Req_Group 메시지를 통해 형성된 그룹은 그룹간의 통신시 다음 그룹과 통신 할 수 있는 채널을 기반으로 그룹 안에 있는 노드들 중 최대한 많은 노드들과 통신할 수 있는 채널을 선택하여 그룹에 할당한다. 이 과정을 위해서 RREP_GAP[그림 3.5]는 RREP 메시지의 reserved 되어있는 공간에 다음 그룹과 통신 가능한 채널정보를 보낸다. Req_Group 메시지 [그림 3.4] 안에 다음 그룹

Type	R	A	Channel for inter-group	Prefix Size	Hop Count
Destination IP address					
Destination Sequence Number					
Originator IP address					
Life time					
Group ID					

[그림 3.5] RREP_GAP 메시지 포맷

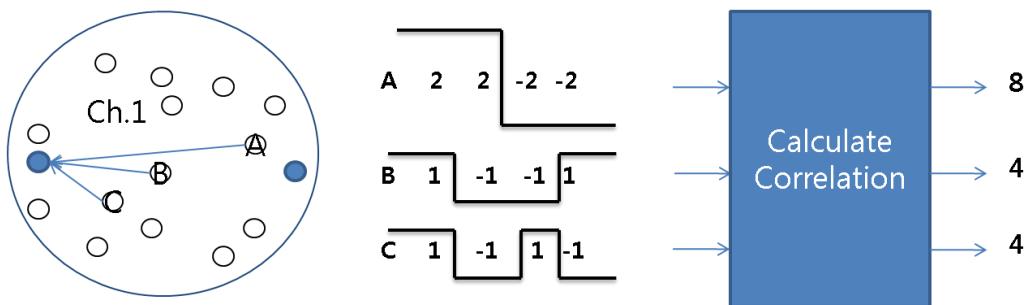


에 대한 정보(Next Group ID)를 넣는 곳에 아무것도 없다면 기준 노드가 목적지 노드임을 알고 받은 채널 리스트 중에서 그룹 안에 가장 많은 노드들과 통신을 가능하게 하고 기준 노드와 멀리 있는 노드들이 사용할 수 있는 채널에 가중치를 줘서 가장 높은 weight 를 가지는 채널을 선택한다. 목적지 노드와의 통신이 아니라 그룹간의 통신이라면 통신시 데이터를 보내야 하는 다음 그룹에서 사용하기로 한 채널을 사용 가능한 노드들 중에서 위와 같은 방식으로 채널을 선택한다. 이는 데이터 패킷을 받은 그룹의 어느 노드든지 그 다음 그룹으로 전송하는 전달 노드의 역할을 할 수 있게 하기 위해서이다.

이 때 그룹을 구성하고 있는 노드들이 어떤 채널을 많이 사용할 수 있을지 아는 것은 orthogonal code 를 이용한 Rep_Channel 메시지를 통해 계산할 수 있다.[15] Orthogonal code 는 서로 다른 코드 사이에 상호 상관도가 0 인 코드로써 동시에 보내져서 신호가 합해져도 받은 노드에서 어느 코드가 보내졌는지 구할 수 있는 코드이다. 즉, 몇 개의 코드가 들어왔는지 알 수 있으므로 몇 개의 노드가 신호를 보냈는지 알 수 있다. Orthogonal code 는 코드의 길이만큼 노드의 수를 구분할 수 있는데 이는 16 bits 의 코드를 보낸다고 했을 때 16 개의 다른 노드들 구분 할 수 있다는 뜻이다. 또한 이 코드를 보내는 신호의 amplitude 의 차이를 주어 노드의 위치에 대한 차이 정보도 줄 수 있다. Rep_Channel 메시지는 Req_Group 메시지가 보내지면 일정 시간 이후 가용한 스펙트럼이 있고 다음 그룹에서 사용하기로 지정된 채널을 사용할 수 있는 노드가 자신이 가지고 있는 orthogonal code set 에서 random 하게 코드를 몰라



orthogonal code 를 보내게 된다. [그림 3.6]을 보면 채널 1 번을 사용할 수 있는 노드 A, B, C 가 동시에 각 노드가 선택한 orthogonal 코드를 동시에 보내고 이 합쳐진 코드를 받는 노드는 계산을 통해 몇 개의 노드가 이 신호를 보냈는지 계산해 낼 수 있어 가장 많은 노드들이 쓸 수 있는 채널을 선택할 수 있다.



[그림 3.6] Req_Channel 메시지의 orthogonal code 동작 방식

가장 많은 노드들이 들을 수 있고 통신을 지속적으로 할 수 있게 하는 현재 노드에서 먼 곳에 있는 노드들의 채널에 가중치를 두어 선택된 채널정보는 Sel_Channel 메시지에 실려 그룹의 구성원에게 보내진다. 이 메시지는 채널 할당 정보만 가지고 있기 때문에 [그림 3.7]과 같이 간단하다.

Type	Group ID	selected channel of group
------	----------	---------------------------

[그림 3.7] Sel_Channel 메시지 포맷

선택된 채널정보는 라우팅 테이블에 저장된 다음 흡으로 RREP_GAP 메시지를 보낼 때 다음 그룹에 전달된다. 이 과정을 거쳐 통신을 원하고자 하는 노

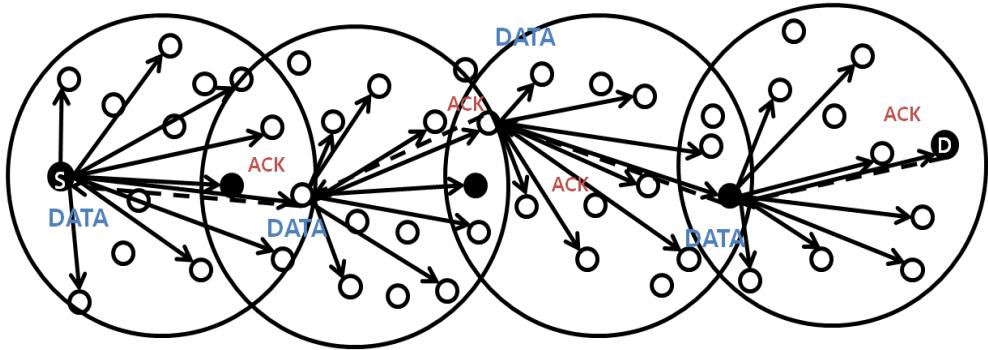
드까지 RREP_GAP 메시지가 도착하게 되면 채널 할당이 끝나게 된다. 지금까지 RREP_GAP 메시지를 다음 흡으로 전달하면서 그룹이 어떻게 구성되고 채널이 어떻게 할당되는지 살펴보았다.

3.3 그룹 기반 Any-Path 데이터 전송

이 절에서는 통신을 원하는 노드까지 그룹을 형성하고 channel 을 할당한 후 목적지까지 그룹간 데이터 전송하는 과정에 대해 소개한다.

통신을 원하는 노드는 RREP_GAP 메시지가 도착하면 다음 흡으로 데이터를 보내는 것이 아니라 자신이 구성한 그룹으로 메시지를 보낸다. 메시지를 받은 노드는 자신이 다음 그룹과 통신 할 수 있는 경우 데이터 통신의 의무를 갖게 된다. 의무를 가진 노드 중 통신을 원하는 노드로 부터 가장 멀리 있는 노드가 선택되어 다음 그룹으로 메시지를 보낸다. 이때 멀리 있는 노드를 선택하는 이유는 현재 보내고자 하는 노드와 같은 그룹 안에 속하지만 떨어져 있을 수록 다음 그룹과 가까이 있어 데이터 전달의 확률을 더 높일 수 있기 때문이다. 가장 멀리 있어 메시지를 받은 노드들 중 메시지 전달 경쟁에서 이긴 노드는 자신에게 메시지를 보낸 노드에게 Acknowledge message (ACK)를 보내고 그 노드는 다음 그룹으로 데이터를 보내게 된다. 그 과정은 [그림 3.8]을 통해서 정해진 경로가 아니라 그룹을 구성하는 노드들을 통해 기회적으로 통신이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.



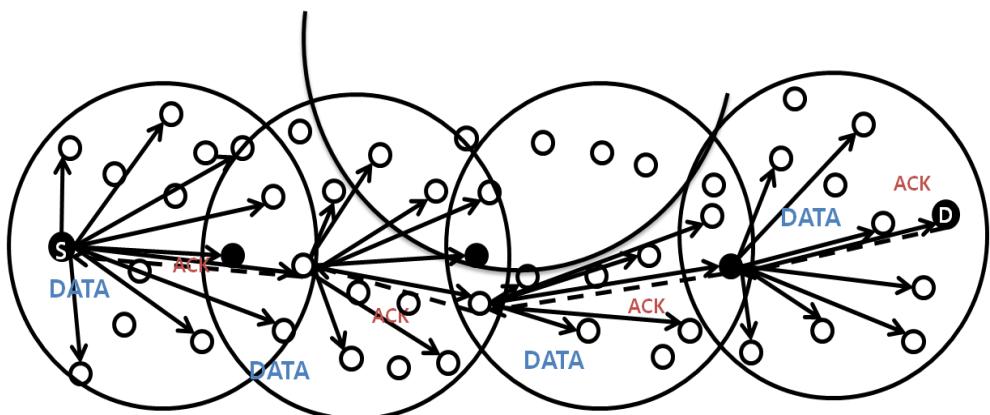


[그림 3.8] 데이터 전송

본래 ACK 의 역할은 데이터를 받은 노드가 자신이 그 데이터를 수신했음을 알리는 메시지이지만 여기서는 이 역할 뿐만 아니라 자신이 받은 데이터를 전송하겠다는 방송의 의미를 가지고 있다. 그룹에 있는 노드 중 다음 그룹에 전달 할 수 있는 능력을 가지고 있는 모든 노드들이 데이터를 다음 그룹에게 보내게 되면 중첩적으로 같은 메시지가 발송되는 상황이 일어난다. 그리하여 binary exponential backoff algorithm 을 사용하여 먼저 backoff 타이머가 끝난 노드가 ACK 를 보내면 그것을 들은 다른 노드들이 자신이 보내고자 하는 의무를 버리게 되어 충돌을 줄이고 신뢰적인 통신을 할 수 있다. [10] 이를 응용하여 본 논문에서는 데이터를 받은 노드들은 자신이 받은 Received Signal Strength Indication (RSSI)에 반비례하게 backoff timer 를 세팅하여 멀수록 빨리 backoff timer 가 끝나도록 하여 끝나면 ACK 을 보내고 데이터를 전송하는 의무를 가지게 하였다. RSSI 는 노드가 들을 수 있는 신호의 세기를 측정할 수 있는 지표로써 송신단에서 보내는 신호가 대기를 지나오면서 손실을 겪어 멀수



록 신호가 약해지는 특성을 가지고 있다. 이 때문에 먼 노드 일수록 backoff timer 가 작게 설정된다. 각 노드들은 자신의 위치에 따라 backoff timer 가 끝나길 기다리고 있다가 먼저 timer 가 끝난 노드가 ACK 을 보내면 ACK 을 보내려고 기다리던 노드들은 자신이 보내고자 하는 데이터를 포기한다.



[그림 3.9] Group-based Any-Path Routing에서 PU의 activity가 바뀐 예

이렇게 하면 빠르게 통신을 지속할 수 있을 뿐만 아니라 멀리 있는 노드가 선택되어 데이터를 전송하기 때문에 다음 그룹에게 전달할 수 있는 확률을 높일 수 있다. 데이터 전송 중 그룹기반 Any-Path 라우팅 기법은 PU 가 스펙트럼에 등장하여 통신을 하고자 했던 노드가 통신을 못하게 되는 상황이 발생할 수 있지만 [그림 3.9]와 같이 PU 의 전송범위에 피해를 받지 않는 다른 노드에 의해 추가의 메시지 교환 없이 데이터 전송을 계속하게 된다.



IV. 성능 평가

본 장에서는 3 장에서 제안한 그룹 기반 Any-Path 라우팅 기법에 대한 시뮬레이션 성능을 평가한다.

4.1 가정한 환경

본 시뮬레이션에서 가정한 환경은 military networks 혹은 smart phone 으로 이루어진 ad-hoc networks 환경이다. 위 환경은 기존의 infrastructure 에 의한 통신을 지원받을 수 없는 상황이거나 사용하지 않고 통신을 해야 할 상황이다. Target traffic 은 동영상 파일 스트리밍 혹은 음성 통신 등과 같이 통신시 지연이 중요한 데이터를 주고 받아야 되는 traffic 을 가정하고 PU 의 activity 는 일정한 패턴없이 각 스펙트럼에 무작위로 나타나는 환경을 가정하였다.

4.2 시뮬레이션 환경

시뮬레이션의 환경은 최대한 실제 환경과 비슷하게 만들기 위해 [표 1]과 같은 파라메터를 정의하였다.



Parameter	Value
Network Size	1500 m x 1500m
Number of Nodes	50
Number of Active Primary User	4-10
Common Control Channel(CCC)	2.4 GHz – 2.5 GHz (ISM band)
Transmission Range	580m

[표 1] 시뮬레이션 환경 파라미터

전체 네트워크 1500m x 1500m 공간에 50 개의 노드를 랜덤으로 위치 시켰고 네트워크에서 사용되고 있는 PU 는 시뮬레이션에 따라 4 개 - 10 개로 정했다. 본 시뮬레이션에서는 2.4GHz ~ 2.9GHz 대역의 스펙트럼[18]을 사용한다고 가정 하였고 2.4 GHz ~ 2.5 GHz 의 범위를 가지는 ISM band 를 통신을 위한 CCC 로 사용하였다. CCC 이란 통신을 위한 컨트롤 패킷들이 이동할 수 있는 채널로써 모든 기기들이 언제나 사용할 수 있는 채널이다.

이 대역을 사용함으로써 노드 당 전송범위는 FCC 문서에 의하면 2400MHz ~2483.5 MHz 는 최대 0.125 watts [11]를 사용할 수 있으므로 시뮬레이션에서 각각의 기기들은 최대 전송할 수 있는 파워로 전송을 한다고 가정한다면 신호를 받는 노드는 보낸 파워에 비해 약해진 파워로 신호를 받게 되는데 이는 이 신호가 거쳐 온 거리에 따라 신호가 전해지는 매체로부터 방해를 받기 때문에 받은 파워의 세기로 전송 범위를 구할 수 있다. 여기서 전송범위란 통신을 위



해 보낸 메시지를 이해할 수 있는 범위를 지칭하는 것으로써 통신의 종류에 따라 만족하는 bit error ratio 를 만족시키는 범위를 뜻한다. 시뮬레이션에서 데이터 통신을 가정하고 있으므로 이를 위해 필요한 bit per ratio 는 [12]에 의하면 10^{-8} 이다. 이를 만족시키는 SNR 값을 실험에 의해 구해진[13] 값인 8 을 만족시키는 거리를 구하여 노드의 최대 전송 범위를 구한다. 거리에 따라 손실되는 power 에 대해 연구된 여러 path loss 모델이 있지만 그 중에서도 많이 쓰이고 있는 Log-distance path loss model 를 사용하여 거리당 받은 파워를 계산하였고 SSC 에서 실험한 noise floor[14]를 사용하여 SNR 를 만족하는 거리를 구한 결과 전송 범위는 580 m 을 얻을 수 있었다.

Parameter	Value
Number of Available Channel	3
Data Rate	6Mb/s
Channel sensing time	1ms
Data Transmission Time	0.2ms

[표 2] 시뮬레이션 통신 환경 파라미터

통신은 2.4GHz 대역을 CCC 으로 사용할 것임으로 현재 이 대역의 잘 정의되어 있는 802.11 표준 문서를 참조하여 시뮬레이션에 사용할 변수를 정하였다. 2.4 GHz ~ 2.5 GHz 대역의 기본이 되는 데이터 전송률은 Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) 물리적 계층을 사용한다고 가정했을 때



6 Mb/s 임으로 이를 사용했다.

컨트롤 메시지의 크기는 프레임 바디를 0 으로 놓고 계산 했을 때 36 bytes 이므로 메시지를 보내는 경쟁 윈도우 크기(contention window)를 고려했을 때 약 0.2 ms 마다 메시지를 보낼 수 있다고 가정하였다.

채널이 비어있는지 확인하는 방법에 따라 채널 센싱 타임은 달라질 수 있는데 energy detection 방법은 1ms 걸리고 feature detection 은 24.2ms 가 걸리므로 위 실험에서는 가장 빠르게 센싱할 수 있는 energy detection 방법으로 비어있는 채널을 센싱하는데 사용했다.

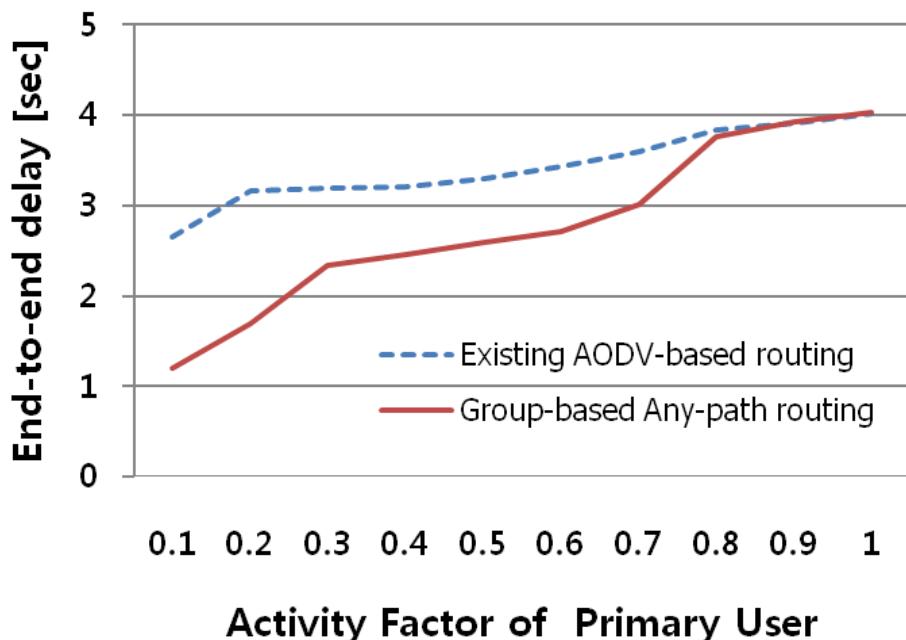
4.3 시뮬레이션 결과 및 분석

본 시뮬레이션에서는 related work 에서 살펴보았던 Gymkhana 논문에서 제시하였던 AODV-style 로 채널의 정보를 수집하여 이 정보와 흡수를 바탕으로 경로를 선택하는 방식과 본 논문에서 제안한 AODV-based 로 그룹을 형성하고 흡 수를 기반으로 경로를 찾아 통신하는 방안을 비교하였다. 시뮬레이션은 1000 개의 패킷을 보내는 동안 CCC 에서 발생하는 end-to-end delay 를 비교하였고 송신 노드와 수신 노드를 연결하는 경로가 끊어지는 간격에 대해 수행하였다. 실험의 신뢰도를 위하여 시뮬레이션의 조건에 따라 각각의 10000 번씩 수행하여 random 한 환경에서의 시뮬레이션의 오차를 줄였다.

첫 번째 시뮬레이션은 데이터를 보낼 때마다 네트워크 전체에서 변경되는



PU 의 activity 정도에 따라 지연되는 시간에 관한 것이다. PU 의 active 정도에 따라 SU 가 겪는 채널의 가용성은 [그림 4.1]와 같다.

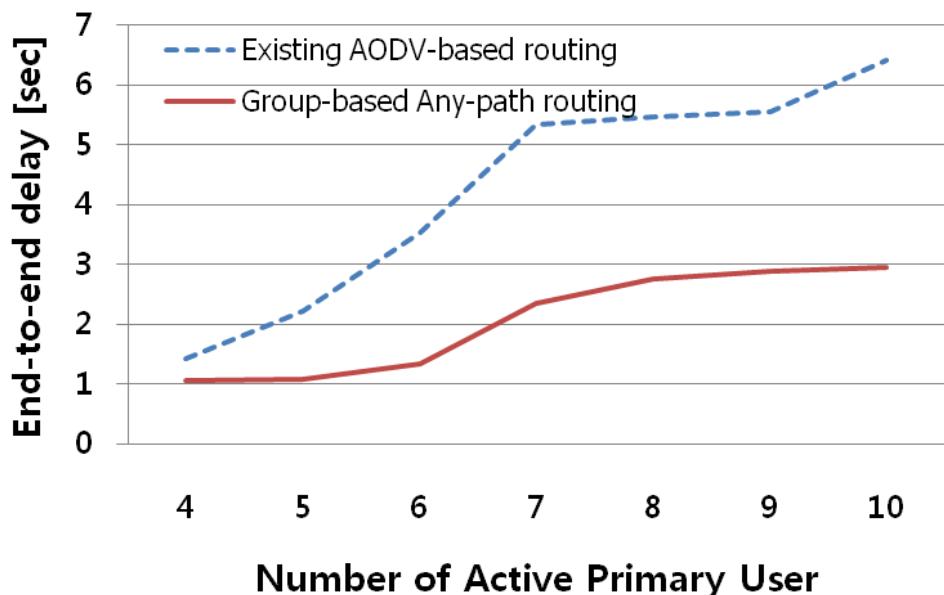


[그림 4.1] Active Factor에 따른 단말 간 지연시간

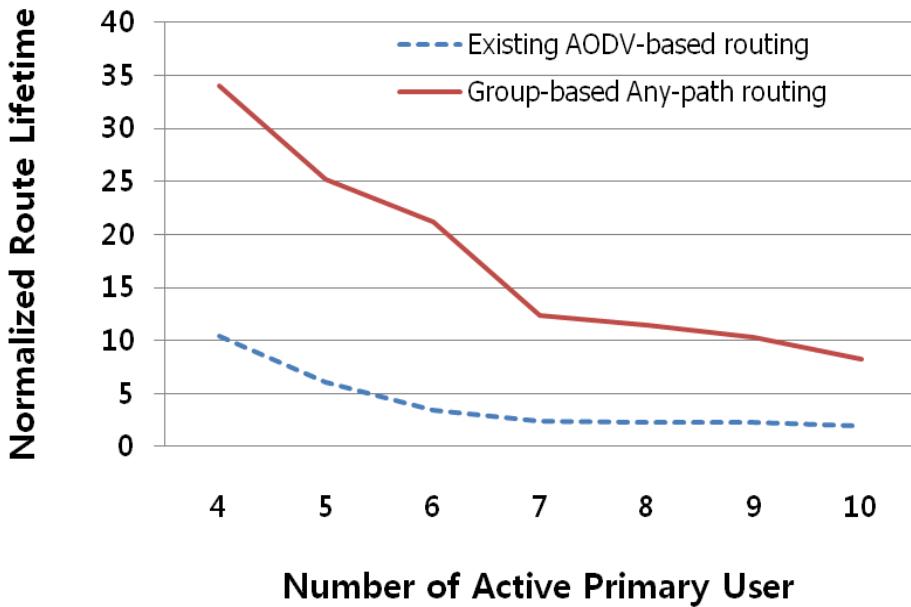
데이터를 다음 흙으로 전송할 때 PU 의 activity 가 증가할수록 지연은 증가하나 제안한 아이디어는 성능을 최대 221%까지 늘렸음을 확인 할 수 있다. [그림 4.1]의 시뮬레이션은 네트워크에서 active 한 PU 가 5 개일 때를 가정한 환경이다. 하지만 데이터를 보내는 흙마다 PU 의 채널사용정보가 바뀌는 정도가 80%를 넘어가면 그룹을 형성하는 방법이나 경로를 구성하는 방법이나 사용하기 어려운 상황이기 때문에 라우팅을 통한 데이터 통신이 불가능함을 확인할 수 있다.



두 번째 시뮬레이션은 네트워크 전체에서 동작하는 PU 의 숫자가 증가할수록 증가하는 단말 간 지연에 관한 것이다. 데이터 통신을 방해할 수 있는 active 한 PU 가 네트워크 전체에 들어날수록 CCC 에서 통신을 지속하기 위한 작업이 들어나 지연되는 시간이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. [그림 4.2]은 PU 의 activity factor 를 0.1 로 가정한 시뮬레이션 결과이며 이전 방식과 비교하여 그룹기반으로 통신한 경로에서 최대 264% 성능이 향상한 결과가 나타났다. 이는 갑작스럽게 active 되는 PU 때문에 채널을 바꿔야 하는 횟수가 이전에 하나의 경로만 찾아놓고 통신하는 기법에 비해 적기 때문이다.



[그림 4. 2] Active된 PU 수에 따른 단말 간 지연 시간



[그림 4.3] Active PU 수에 따른 경로의 수명

[그림 4.3]는 한번 경로를 찾고 그 경로에 유지되는 간격의 평균을 나타낸 결과이다. 이는 경로가 유지되는 간격을 패킷을 어느 정도 보낼 수 있는가로 normalized 한 경로 수명이다. 이를 통하여 그룹을 기반으로 전송하는 방법이 더 오래 경로를 유지하며 통신을 지속시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.



V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 CRAHNs 에서 예측할 수 없게 나타나는 PU 의 스펙트럼 사용에 발생하는 channel switching 문제를 해결하기 위해서 그룹을 기반으로 하여 통신 가능한 경로를 동적으로 사용할 수 있는 라우팅 기법을 제안했다. 이전에 제안된 라우팅 기법들은 경로를 구성하는 링크가 통신을 하면서 얻은 기록에 기반하여 최대한 채널을 바꾸는 확률을 줄이는 경로를 찾는 것에만 초점을 맞춰 random 한 PU 의 active 에 delay 를 발생시켰지만 본 논문에서는 PU 가 나타나도 최대한 통신을 오래 지속할 수 있도록 통신을 돋는 노드들을 그룹화하고 이를 효과적으로 이용하고 채널을 할당하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 CRAHNs 에서 최초로 채널 switching 에 대한 문제를 해결하기 위해 그룹화 방식을 사용하여 통신시 지연시간을 줄인 것에 의의가 있다. 하지만 이는 통신의 기초적인 연결성에 대한 연구로써 채널의 상태정보와 같은 다른 메트릭에 대한 고려는 하지 않았다. 향후 연구에서는 연결성에서 더 나아가 사용자의 요구를 충족시킬 수 있는 경로로 그룹 기반 통신방법을 연구하고자 한다.



References

- [1] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, S. Mohanty, “Next Generation/Dynamic Spectrum Access / Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey,” Computer Networks Journal, vol. 50, pp. 2127-2159, September 2006.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, K. R. Chowdhury, “CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks,” Ad Hoc Networks, vol. 7, no.5, pp.810 – 836, 2009.
- [3] NTIA, “U.S. frequency allocations,” [online] <http://www.ntia.doc.gov/osmhome/allocchrt.pdf>
- [4] M. Cesana, F. Cuomo, E. Ekici , “Routing in cognitive radio networks: Challenges and solutions”, Ad Hoc Networks, 2010.
- [5] F.C. Commission, “Spectrum policy task force”, Technical report, ET docket no. 02-155, November 2002.
- [6] S. Haykin, “Cognitive radio: brain-empowered wireless communications”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 23, Issue 2, pp.201-220, February 2005.
- [7] A. Abbagnale, F.Cuomo, “Gymkhana: a connectivity-based routing scheme for cognitive radio networks,” IEEE conference on Computer Communications, INFOCOM, pp. 1-5, 2010.
- [8] H. Khalife, S. Ahuja, N. Malouch, M. Krunz, “Probabilistic path selection in opportunistic cognitive radio networks”, IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBECOM, pp.1-5, 2008.
- [9] I. Filippini, E. Ekici, M.Cesana, “Minimum maintenance cost routing in cognitive radio networks’, Mobile Adhoc and Sensor Systems, pp.284-293, 2009.
- [10] Jongsik Jung, Taekeun Park and cheeha kim, “A forwarding scheme for reliable and energy efficient data delivery in cluster-based sensor networks,” IEEE Communication Letters, Vol.9, issue 2, pp. 112-114, February, 2005.
- [11] F.C. Commission, “Rules and Regulation”, Technical report, part.15.247, November 2002.



- [12] A. Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University Press California p.5, 2005.
- [13] W. George, "Optimized Turbo Codes for Wireless Channels", Doctor of Philosophy (Ph. D.) Thesis, University of York, UK, October 2001
- [14] Shared Spectrum Company, "General Survey of Radio Frequency Bands -30 MHz to 3 GHz", SSC's technical report, August, 2010
- [15] Jaehoon Ko, Soonmok Kwon and Cheeha Kim, "A Polling Method Using Orthogonal Signaling for Wireless Local Area Networks", The 34th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN), Zurich, Switzerland, Oct. 20~23, 2009
- [16] H. Khalife, N. Malouch, S. Fdida, "Multi hop cognitive radio networks: to route or not to route", IEEE Networks: The magazine of Global Internetworking , 2009
- [17] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, S. Mohanty, "A survey on spectrum management in cognitive radio networks," IEEE Communications Magazine, vol. 46, pp. 40-48, 2008.
- [18] Ettus Research, "Transceiver Daughterboard for the USRP Software Radio System," [online] http://www.ettus.com/downloads/ettus_ds_transceiver_dbrds_v6c.pdf



Acknowledgements

감사의 글

우선 부족한 저를 이끌어 주시고 이 논문을 쓸 수 있게 지도해주신 저의 지도 교수님이신 김치하 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 교수님의 귀한 가르침이 아니었다면 지금의 저는 없었을 것입니다. 감사 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 논문을 심사해주시며 가르침을 주셨던 서영주 교수님과 송황준 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

포항이란 이 외진 곳에 또 하나의 가족이 된 NDS 식구들 모두들에게 너무 감사하단 말을 전하고 싶습니다. 항상 따뜻한 조언으로 저를 이끌어 주셨던 동민오빠, 시크했지만 저에게 적시에 필요한 말을 해주셔서 큰 힘 주셨던 동호오빠, 마지막까지 디펜스 준비 함께하며 도와주신 종민오빠, 연구와 공부에 열정적인 모습으로 많은 가르침을 주었던 순목오빠, 랩에 처음 왔을 때부터 지금까지 한결 같은 모습으로 공부와 연구 모든 면을 도와주신 멋진 재훈오빠, 걱정이 많은 저를 안심시키며 논문 작업을 마무리할 수 있도록 도와주신 천사 기석오빠, 항상 챙겨주시고 자신감을 불어넣어 주신 우리랩 분위기 메이커 승열오빠, 거칠어 보였지만 속은 따뜻하고 진솔한 조언으로 힘이 되어 주셨던 현목오빠, 빠르고 믿음직한 행동으로 많은 것을 가르쳐준 중휘오빠 그리고 우리 랩 재간등이 철민이, 건희. 모두들 정말 고맙습니다.

또한 친구들에게도 고마움을 전합니다. 헤쓰이~ 너 덕분에 포항공대가 좋아졌고 적응할 수 있었어 정말 고마워, 아름이~ 너를 알고 내가 배운 게 참 많아 함께 해서 행복하오 그리고 힘든 시간 서로에게 힘이 되었던 아영아, 우리 함께 쌌던 수많은 밤 잊지 말고 성공하자! 그리고 하루 방순 이었던 효정이 처음 만났을 때부터 편했던 우리 약속했던 것들 다 이루자! 혼진언니 힘들었지만 잘 이겨내어 존경하구요 언니는 어디 가도 성공할 거에요. 그리고 동아



리 멤버들 기원오빠, 창규, 윤호오빠, 효정이 다들 힘든 시기에 큰 힘이 되어 주었어 고마워 특히 회장님 고맙습니다. 가족만큼 소중하고 고마운 혜원언니, 멀리서 응원해주고 새벽 몇 시든 연락하면 바로 파이팅을 외쳐주었던 정언니, 나의 사랑스런 룸메 승희언니, 언제나 밝은 미소로 안아주었던 안나언니 여기에 지면상 적지는 못했지만 응원해준 모든 분들께 감사 드립니다.

그리고 세상에서 가장 사랑하는 우리 가족들에게 온 마음으로 감사의 마음을 전합니다. 세상에서 가장 존경하고 사랑하는 우리 아빠, 아빠의 기도와 응원덕분에 지금의 제가 있을 수 있어요. 그리고 세상에서 가장 아름답고 멋진 우리 엄마, 엄마의 새벽 기도와 그 큰 사랑 감사합니다. 아빠 엄마의 자랑스러운 딸이 될께요. 그리고 언제나 언니가 최고라고 믿어주는 고맙고 사랑하는 내 동생 지연이, 소영이. 잘 챙겨주지 못하고 멀리서 응원만 하고 있지만 다들 멋지게 끌 거라고 믿어.

마지막으로 이 모든 것을 가능하게 해주신 하나님께 감사 드립니다.



Curriculum Vitae

Name: Jiseon Lee

Education

2005 ~2009	Dept. of Computer Science, Sookmyung Women's University	(B.S.)
2009 ~ 2011	Dept. of Computer Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH)	(M.S.)

Publications

Jiseon Lee, Soonmok Kwon, and Cheeha Kim, “MANET에서 신뢰성과 에너지 효율을 고려한 다중 경로 라우팅 기법 (Reliable and Energy Efficient Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Network)”, An-myeon-do, Korea, Apr. 28~30, 2010

