

차량 탑재형 이동 중계기의 분산 주파수 분할 기법

신윤재*, 이정륜^o

Decentralized Frequency Allocation Scheme in Vehicle-mounted Mobile Relay System

Yun-jae Shin^{*}, Jung-Ryun Lee^o

요약

본 논문에서는 이동형 중계기 시스템에서 네트워크 진입절차를 거치지 않는 분산적 주파수 분할기법을 제시하였다. 이를 위해 각기 중계기들의 주파수 분할의 기준 신호, Frequency Indicator(FI) 신호와 이를 전송하기 위한 Energy Detection(ED) 구간을 정의 하였다. 또한 중계기간 통신을 원활하게 하기 위하여 중계기 자신에게 연결된 단말을 이용하여 인접한 곳에 위치한 중계기들에게 ED구간에 FI신호를 전송하는 기법을 정의하였다. 그리고 이를 바탕으로 여러 토폴로지 환경에서의 시뮬레이션을 진행하여 셀 수율에서 향상이 있음을 확인하였다.

Key words : IEEE 802.16j, mobile multi-hop relay, distributed scheduling, frequency partitioning, 이동 중계기

ABSTRACT

In this paper, we proposed that decentralized frequency allocation scheme(DFAS) without network entry procedure between relays in mobile relay system. Frequency Indicator(FI) signal which is the reference signal of frequency division of each relay and Energy Detection(ED) region are defined. In addition, the mobile connected to the relay transmits the FI signal to neighbor relays in order to facilitate communication between relays. Finally, by using this scheme, the cell throughput improvement is confirmed.

I. 서론

최근 들어 통신 기술을 탑재한 휴대기기(MSs)의 보급이 급격하게 늘어남으로 인해 언제, 어디서든 통신네트워크 시스템에 접속하여 원하는 정보를 활용 할 수 있는 유니쿼터스(ubiquitous) 사회로 빠르게 변화하고 있다. 그러나 기존 이동통신 시스템의 경우 2GHz 이상의 고주파수 대역을 사용하기 때문에 짧은 전송거리를 가지고, LOS (Line Of Sight) 환경이 제공되기 힘든 대도시의 경우 각종 구조물

로 인하여 전파장애가 심하며, 실제로 다중경로(multipath)로 인해 페이딩 손실(fading loss)이 발생하여 음영지역이 생길 수 있기 때문에 모든 지역에 원활한 통신네트워크 시스템 구축이 어렵다^[1].

이에 대한 해결방안으로 IEEE 802.16j에서는 다중 홉 이동 중계기(MMR : Mobile Multi-hop Relay)를 제안하였다. 중계기는 기지국과 단말 사이를 이어주는 중계자 역할을 하는 기기로 기지국의 서비스 영역을 확장시키고 데이터 처리율 향상과 통신 링크의 신뢰성을 확보하는 역할을 한다. IEEE

* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011-0024132).

^o 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2012R1A2A2A01014170).

• 주저자 : 중앙대학교 전자전기공학과 통신정보시스템 연구실, yunjaeshin@wm.cau.ac.kr, 준회원

^o 교신저자 : 중앙대학교 전자전기공학부 통신정보시스템 연구실, jrlee@cau.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-02-063, 접수일자 : 2012년 2월 21일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 13일

802.16j에서는 중계기를 이동성에 따라 세가지로 분류하고 있다. 첫번째는 고정형 중계기로 서비스 사업자가 기지국 셀의 커버리지(coverage)를 확장하거나 가입자당 데이터 처리율을 높일 필요가 있는 경우 한 장소에 고정적으로 설치하는 모델이다. 두번째는 유목형 중계기로 각종 이벤트나 전시회 등 한 시적으로 사람이 많이 모였을 때 설치하여 무선 서비스 커버리지를 확장하고 높은 성능을 제공하도록 한다. 세번째는 이동형 중계기로 중계기가 이동하면서 주변의 휴대기기(MSs)에게 기지국에 효과적으로 접속 할 수 있는 서비스를 제공하는 모델이다. 특히 이동형 중계기의 경우 기존 소형 단말에서는 공간, 전력적 문제로 적용하지 못하였던 스마트 안테나 및 다중 안테나 기술을 차량의 구조체에 적용하여 고속으로 이동하는 차량 내 단말에게 고품질의 통신 서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있어 차량 탑재형 이동 중계기에 대한 관심이 높아지고 있다 [2-4].

그러나 중계기를 OFDMA 기반의 이동 통신시스템에 도입 시 시스템의 복잡도가 증가하며 특히 전송 전력, 주파수 등의 무선자원을 할당하는 방식인 무선자원관리기법(radio resource management)에 따라 시스템의 성능이 크게 영향 받게 된다. 현재 중계기의 무선자원관리기법에 대한 연구는 고정 중계기를 중심으로 진행되고 있지만 이동 중계기의 필요성이 날로 증가함에 따라 이동 중계기의 무선 자원관리에 관한 연구도 진행 되고 있다. 특히 이동 중계기에 관한 연구는 차량 탑재형 이동 중계기를 중심으로 연구가 이루어지고 있다 [5-7].

그러나 차량 탑재형 이동 중계기의 경우 차량의 이동성으로 인해 시시각각, 지속적으로 토폴로지(topology)가 변하는 특성을 지녀서, 정적인 토폴로지에 적용하였던 기존 고정 및 유목형 중계기의 무선자원관리기법을 적용하는데 어려움이 있다. 또한 차량 탑재형 이동 중계기는 고정 및 유목형 중계기에 비해 셀 내에 다수 존재할 수 있어 기지국의 통제에 의한 자원분배방식을 적용할 시 시그널링 오버헤드(signaling overhead)에 의해 시스템의 비효율을 초래할 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 보완할 수 있는 분산적 자원관리 기법이 필요하다. 기지국이 중계기들의 자원분배를 일괄 제어하는 중앙 집중적 제어 방식과 비교하여, 분산 처리방식은 각 중계기가 변화하는 환경에 맞춰 서로 정보를 주고받으며 빠른 처리과정으로 자원을 분배하여 시변적 특성을 지니는 차량 탑재형 이동 중계기의 토폴로

지에 적용하기에 적합하다 [8,9].

하지만 IEEE 802.16j MMR의 경우 반드시 인프라를 통해 서로 통신이 가능한 PMP(Point to Multi-Point)모드를 지원한다. 이 같은 경우 중계기간에 직접 통신을 위해서는 중계기끼리 동기화 등의 네트워크 진입과정을 거쳐야 한다. 하지만 이와 같은 네트워크 진입과정은 송수신해야 하는 신호의 정보량이 작고 빈번히 일어날 경우 시스템의 비효율을 초래 할 수 있다. 이에 중계기의 분산적 자원 관리 기법을 적용하기 위해서는 비동기 이동중계기간 송수신기법이 필요하다 [10].

이에 본 논문에서는 차량 탑재형 이동 중계기 간 분산 처리 방식을 통해 무선자원을 관리하는 기법에 대해 기술하고 분산 처리 기법을 적용하기 위한 비동기 이동중계기간 송수신 기법에 대해서 제안한다.

II. 본 론

2.1. 분산 주파수 분할 기법

2.1.1. FI(Frequency Indicator)신호 정의

우선, 분산 처리 방식에 사용될 주파수 분할의 기준이 되는 신호를 아래와 같이 정의한다.

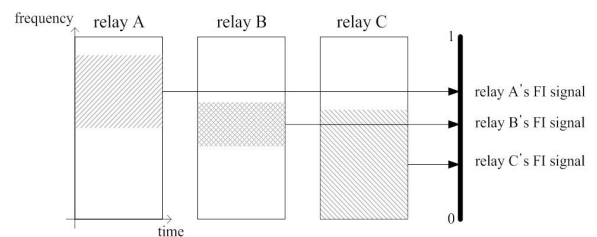


그림. 1. FI(Frequency Indicator) 신호의 정의
Fig. 1. Definition of the FI(Frequency Indicator) signal

A, B, C 세 개의 중계기가 같은 시간대에 각기 다른 주파수 대역을 사용하고 있다고 가정할 때, 사용하고 있는 주파수 대역의 중간 값을 Frequency Indicator(FI) 신호라 정의한다. 그리고 통신에서 사용되는 주파수 대역을 0~1로 normalize하고 앞서 정의한 FI신호를 이에 일대일 대응한다. 따라서 세 중계기가 FI 신호를 서로 주고받으면 각 중계기는 FI 신호를 바탕으로 다른 중계기가 어떤 주파수 대역을 사용하고 있는지에 대해 정보를 얻게 된다.

2.1.2. 분산 주파수 분할 알고리즘

다음으로, FI신호를 이용하여 다음과 같은 분산 처리 방식을 통한 주파수 자원 분할을 제안한다. 아래 표에서는 제안하는 알고리즘에서 사용할 변수들을 정의 하였다.

표 1. 알고리즘에 사용되는 변수들의 정의
Table 1. Definition of parameter

변수	정의
i	이동 중계기
T	FI신호를 전송하는 주기
$P_i(nT)$	노드 i 의 n 번째 주기에서의 FI신호의 위치
$PU_i(nT)$	노드 i 의 이웃한 노드 중 가장 가까운 상단 주파수를 사용하는 노드의 FI 신호 위치
$PL_i(nT)$	노드 i 의 이웃한 노드 중 가장 가까운 하단 주파수를 사용하는 노드의 FI 신호 위치
Δ	$PU_i(nT)$ 와 $PL_i(nT)$ 의 평균값
α	FI신호 변화 제어 변수
τ	Energy Detection threshold

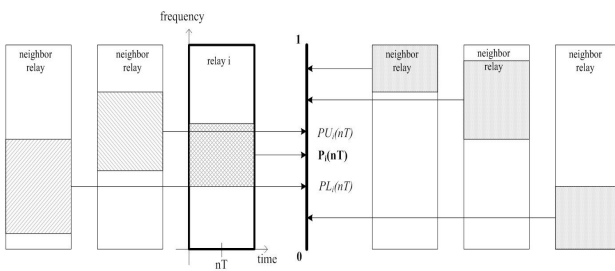


그림 2. 이동 중계기 i 의 n 번째 주기에서 FI 신호
Fig. 2. Position of mobile relay i 's FI signal in the n th period

k 개의 이동 중계기가 주기 T 마다 FI신호를 교환한다. $P_i(nT) \in [0,1]$ 는 FI신호를 주고받는 중계기의 프레임 내에 이동 중계기 i 의 n 번째 주기에서의 FI신호 위치를 나타낸다. 분산 처리 방식의 경우 중앙 제어 방식과 달리 네트워크 전체의 정보가 필요하지 않고 인접한 이웃 중계기의 정보만을 필요로 한다. 그래서 각 중계기는 다른 중계기가 송신하는 신호 중에서 τ 를 기준으로 그 이상의 송신전력을 사용하는 중계기를 이웃한 중계기로 판단한다. 이를 통해 주고 받은 FI신호 중 자신의 FI신호보다 높은 FI신호 중 가장 가까운 곳에 위치한 FI신호를 $PU_i(nT)$, 자신의 FI신호보다 낮은 FI신호 중 가장 가까운 곳에 위치한 FI신호를 $PL_i(nT)$ 로 정의하여 기록한다. $PU_i(nT)$ 는 $P_j(nT) > P_i(nT)$, $i \neq j$ 인

$P_j(nT)$ 에 대하여 $\min(P_j(nT) - P_i(nT))$ 을 만족시키는 $P_j(nT)$ 이다. 단, $P_i(nT)$ 가 $P_j(nT)$ 들의 값보다 가장 큰 값을 가질 경우 $PU_i(nT) = \min(P_j(nT))$ 이다. 그리고, $PL_i(nT)$ 는 $P_j(nT) < P_i(nT)$, $i \neq j$ 인 $P_j(nT)$ 에 대하여 $\min(P_i(nT) - P_j(nT))$ 을 만족시키는 $P_j(nT)$ 이다. 단, $P_i(nT)$ 가 $P_j(nT)$ 들의 값보다 가장 작은 값을 가질 경우 $PL_i(nT) = \max(P_j(nT))$ 이다. 각 중계기는 자기 자신의 FI인 $P_i(nT)$ 와 가장 가까운 주파수 대역을 사용하는 중계기의 FI신호인 $PU_i(nT)$, $PL_i(nT)$ 를 고려하여 델타(Δ) 값을 구한다.

$$\Delta = \frac{PU_i(nT) + PL_i(nT)}{2} \quad (1)$$

이를 이용하여 다음 주기에서 FI신호 위치를 다음과 같이 변경한다.

$$P_i((n+1)T) = ((1-\alpha)P_i(nT)) + (\alpha \times \Delta) \quad (2)$$

2.2. 중계기 프레임 내 Energy Detection 구간 정의 및 FI 신호 교환 기법

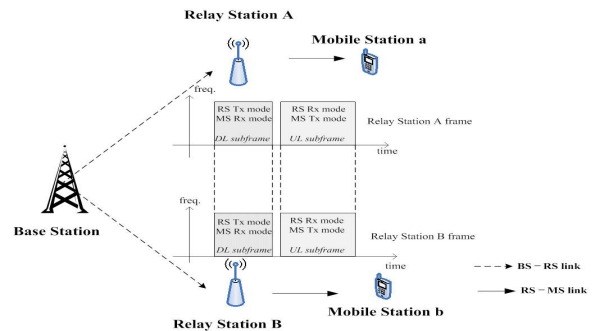


그림 3. 중계기 A와 B의 송수신 구간의 중복
Fig. 3. Overlap of Transmission & Receive interval between Relay A and B

제안한 알고리즘에서 사용한 FI신호를 주고받기 위해서는 중계기간 정보를 송수신해야 한다. 하지만 IEEE 802.16j 중계기 시스템은 각기 중계기가 송수신하는 시간자원이 겹쳐 중계기 간 통신을 하기 위해서는 별도의 과정이 필요하다.

예를 들어 [그림 3]과 같이 한 셀 내에 두 개의 중계기가 존재 할 경우, 두 중계기는 셀의 기지국과

통신하고 있으므로 동기는 기지국에 맞춰져 있다. 그로 인해 기지국과 연결된 두 중계기의 송신/수신 모드의 시간영역이 일치하게 된다. 하향 링크에서 중계기는 송신 모드, 단말은 수신 모드이고 상향 링크에서 중계기는 수신 모드, 단말은 송신 모드로 작동하는데 두 중계기의 상향 링크와 하향 링크의 사용 시간대역이 같으므로 동일한 시간에 한 중계기가 송신모드로 정보를 보내고 다른 중계기가 수신 모드로 받는 것은 특별한 절차를 거치지 않고서는 불가능 하다.

따라서 두 중계기 간에 신호를 교환할 경우 한 중계기가 다른 중계기에 네트워크 진입절차를 거쳐 동기화 등을 마쳐야 직접 통신을 할 수 있다. 그러나 차량 탑재형 이동 중계기의 토폴로지 특성상 데이터를 빈번하게 여러 중계기간 직접 송신/수신 할 경우, 중계기간 일어나는 복잡한 절차로 인해 중계기와 연결된 단말의 전송 지연, 수율 악화 등의 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 Energy Detection(ED) 구간을 설정해서 분산 처리에 사용하는 FI 신호를 주고 받기로 한다.

2.2.1. Energy Detection(ED)구간 정의

인접한 비동기 이동 중계기간 FI신호의 송수신을 위해 중계기의 상향링크 프레임에 특정구간을 ED구간으로 지정한다.

Energy Detection(ED) 구간은 단말이 전송하는 FI 신호(신호의 유무로 판단할 수 있는 주파수 할당의 기준신호)를 중계기가 수신하기 위한 구간이다. 여기에서의 단말이란 중계기에 직접적으로 연결된 단말뿐만 아니라 인접한 곳에 위치하면서 Energy Detection threshold 이상의 송신파워를 지닌 중계기들과 연결된 단말들을 포함한다. ED 구간은 FI신호를 송수신하기 위한 목적으로만 사용되며 이 구간에서 모든 단말들은 FI신호를 제외한 다른 데이터를 전송하는 용도로 사용하지 않는다.

아래 그림은 IEEE 802.16j의 non transparent mode 중계기 프레임에 ED 구간을 설정하였을 때를 표현하였다.

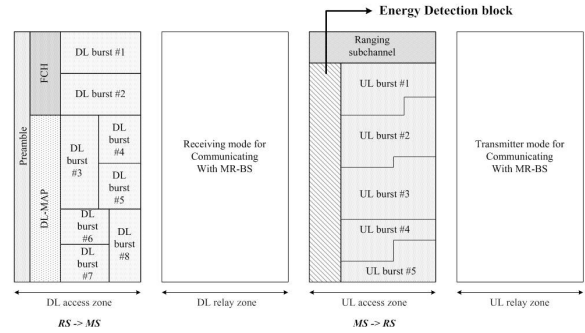


그림. 4. Energy Detection(ED)구간을 고려한 IEEE 802.16j nontransparent 중계기 프레임
Fig. 4. Energy Detection(ED) in IEEE 802.16j nontransparent mode relay frame

2.2.2. FI신호 교환기법 및 절차

다음으로 논문에서 제안한 FI신호를 중계기간에 교환하는 기법과 절차에 대해서 기술한다.

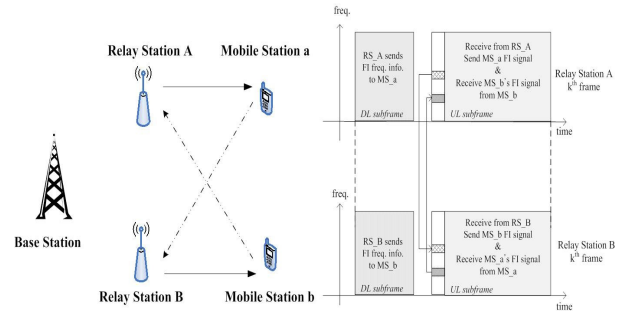


그림. 5. 단말을 이용한 이동 중계기간 FI신호 교환
Fig. 5. FI signal exchange with mobile station

중계기는 송신모드로 동작하는 하향 링크 프레임 구간에서 자신에게 연결된 단말에게 FI 신호에 사용될 주파수 대역에 관한 정보를 보낸다. 이 정보를 받은 단말은 ED 구간으로 할당된 시간에 사용하는 주파수 대역의 대표 값을 의미하는 FI신호를 송신한다. 단말이 FI신호를 전송 하는 중계기의 상향 링크 프레임 구간에서 모든 중계기가 수신 모드로 동작을 하기 때문에 인접한 중계기들은 다른 중계기에 연결된 단말이 보내는 FI신호들을 수신할 수 있다. 하지만, ED 구간이 모든 프레임에 존재할 경우 무선자원사용의 비효율을 초래할 수 있으므로 T라는 주기마다 존재하게 해서 이로 인한 비효율성을 감소시킨다.

2.3. 분산처리 알고리즘을 통한 무선자원관리기법

다음은 ED 구간에서 수신한 FI신호를 이용, 제

안한 분산 처리 알고리즘을 통해서 무선자원을 관리하는 방법에 대해 알아본다.

FI 신호 변화 제어 변수(α)가 1일 경우 $P_i(nT)$ 는 다음 주기인 $(n+1)T$ 에 $PU_i(nT)$ 와 $PL_i(nT)$ 의 평균 값인 중간 지점으로 이동하게 된다. 따라서 이웃하는 모든 중계기가 서로 FI신호를 송수신하고 지속적으로 알고리즘을 진행하면, 모든 중계기의 $P_i(nT)$ 가 표시되는 ED구간에서 봤을 때 각각의 $P_i(nT)$ 는 결국 일정한 간격으로 배치되게 된다.

아래 그림은 ED 구간에서의 $P_i(dT)$ 를 하향 링크의 주파수에 대응한 것을 표현한 것이다. 여기에서 dT 는 알고리즘을 통해 모든 FI 신호의 위치가 일정한 간격으로 배치되었을 때의 주기를 표현한 값이다.

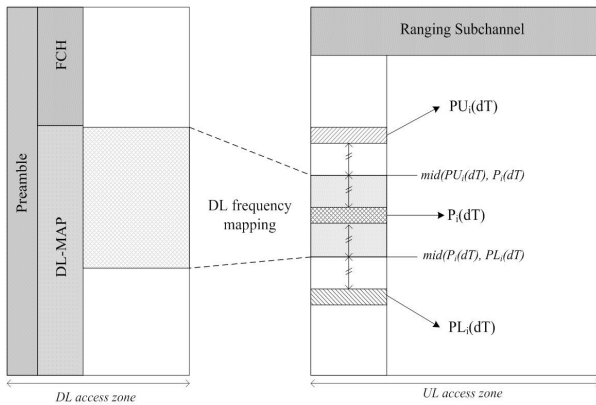


그림. 6. 이동 중계기 i 의 d 번째 ED주기에서 하향링크 주파수 자원 할당
Fig. 6. DL frequency mapping using FI signal in the d period

한편, 지금까지 제안한 알고리즘을 적용할 경우, 중계기에서 단말로 데이터를 전송하는데 사용하는 주파수 대역에만 알고리즘을 적용하였으므로 기지국과 중계기 사이 링크, 중계기와 단말 사이 링크 중 중계기와 단말 사이 링크의 throughput만을 증가시킨다. 하지만 최종적으로 단말이 받게 되는 데이터의 양은 두 링크의 throughput 중 작은 throughput 값에 맞추어서 전송된다. 예를 들어 기지국과 중계기 사이 링크의 throughput이 중계기와 단말 사이 링크 보다 크다면, 단말은 기지국에서 보내는 데이터를 중계기를 거쳐서 받게 되므로 기지국에서 중계기로 보내는 양 만큼의 데이터를 모두 수신하지 못한다. 이와는 반대로 중계기와 단말 사이 링크의 throughput이 기지국과 중계기 사이 링크 보다 클

경우, 최종적으로 단말에게 오는 데이터 양은 전송이 시작되는 기지국과 중계기 사이 링크 용량으로 중계기와 단말 사이 링크 용량이 커도 기지국과 중계기 사이 링크 용량에 맞추게 된다. 그러므로 알고리즘을 통해 중계기와 단말 사이 링크의 throughput을 증가시켰다 하더라도 기지국과 중계기 사이 링크 throughput이 이보다 작다면, 각 중계기는 단말에게 전송할 때 할당된 주파수 대역을 모두 사용할 필요 없이 기지국과 중계기 사이 링크의 throughput에 맞추어 재할당 해서 전송하고 남은 주파수 자원을 다른 단말(중계기와 연결되지 않은 기지국과 직접 연결된 단말) 등에 사용한다면 전체 셀 throughput 증가에 효율적이다.

따라서 알고리즘을 통한 최종적인 주파수 분할 경향을 보면 다음과 같다.

중계기 i 의 이웃한 중계기는 중계기 i 를 포함하여 k 개 있다. 중계기 i 가 알고리즘을 거쳐 최종적으로 할당 받는 주파수 대역은 전체 주파수 대역의 $1/k$ 로 Energy Detection threshold 값으로 정한 범위 내에 있는 모든 중계기는 통신에 사용하는 주파수 대역 전체의 $1/k$ 만큼 공평하게 할당 받게 된다. 따라서 모든 중계기가 같은 양의 주파수 자원을 분배 받아 중계기 간의 공평성이 향상된다.

2.4. 가중치를 부여한 무선자원관리기법

이와 반대로 송신하는 데이터 중에 우선순위가 존재 할 경우 우선순위가 높은 데이터를 보내는 중계기에 이웃한 다른 중계기들보다 더 많은 주파수 대역을 할당해서 데이터를 송신한다. 이를 위해서 해당 중계기에 가상의 FI 신호를 추가해서 같은 방법으로 알고리즘을 진행한다.

아래 그림에서 $V_i(nT)$ 는 중계기 i 의 가상 FI신호의 위치를 나타낸다. $V_i(nT)$ 는 $PU_i(nT)$ 와 $P_i(nT)$ 사이 또는 $P_i(nT)$ 와 $PL_i(nT)$ 사이에 위치한다. 그림처럼 $V_i(nT)$ 가 $PU_i(nT)$ 와 $P_i(nT)$ 사이에 위치할 경우, $V_i(nT)$ 의 가장 가까이 위치한 상단 FI 신호의 위치는 $PU_i(nT)$ 이고 가장 가까이 위치한 하단 FI 신호의 위치는 $P_i(nT)$ 가 된다. 그리고 $P_i(nT)$ 의 가장 가까이 위치한 상단 FI 신호의 위치는 $V_i(nT)$ 가 되고, 가장 가까이 위치한 하단 FI 신호의 위치는 $PL_i(nT)$ 가 된다.

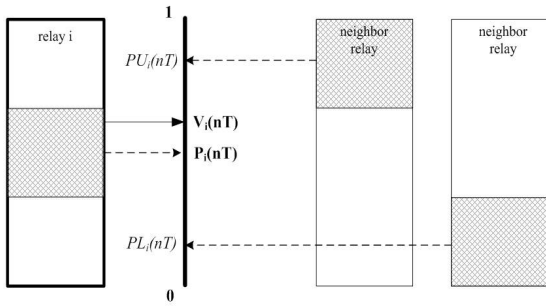


그림. 7. 가중치를 부여하기 위한 n번째 주기에서 가상 FI 신호의 위치
Fig. 7. Position of virtual FI signal in the nth period

따라서 $V_i(nT)$ 의 델타 값은

$$\frac{PU_i(nT) + P_i(nT)}{2} \text{ 이고, } P_i(nT) \text{의 델타 값은 } \frac{V_i(nT) + PL_i(nT)}{2} \text{ 이 된다.}$$

알고리즘을 통해 최종적으로 ED 구간에 위치한 FI 신호를 하향 링크의 주파수에 대응하면 다음과 같이 된다.

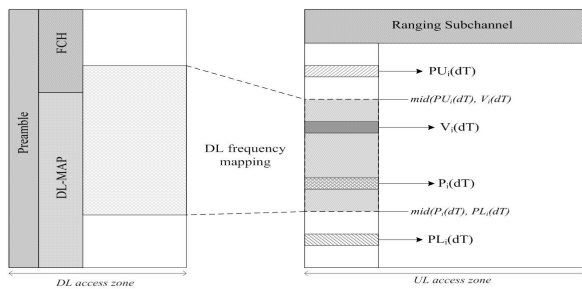


그림. 8. 가상의 FI신호 d번째 ED주기에서 하향링크 주파수 자원 할당
Fig. 8. DL frequency mapping using virtual FI signal in the d period

그림에서 표현하는 것과 같이 중계기 i가 최종적으로 할당 받는 주파수 대역은 가상 FI 신호, 가 할당 받은 주파수 대역과 자신의 FI 신호로 할당 받은 주파수 대역을 합한 만큼 가중치를 할당 받게 된다.

중계기 i를 포함한 이웃 중계기의 개수가 k개이고 가중치를 부여하기 위해 추가된 FI 신호의 갯수가 n개 이면 중계기 i를 제외한 중계기들은 전체 주파수 대역 중 $1/(k+n)$ 만큼 할당 받는다. 가중치를 부여 받은 중계기 i는 $1+n/(k+n)$ 만큼의 주파수 대역을 할당 받게 된다.

III. 실험

본 논문에서는 아래와 같은 조건에서 IEEE 802.16j의 nontransparent mode 중계기의 하향링크 성능을 측정하였다.

표 2. 시뮬레이션에서 사용되는 변수
Table 2. Simulation parameter

변수	값
Carrier frequency	2.4GHz
System bandwidth	10MHz
Pathloss model	BS-RS, BS-MS link의 경우 NLOS 환경 $PL(dB) = 151.03 + 38 * \log_{10} R$ (R은 RS, MS와 BS와의 거리) RS-MS link의 경우 LOS 환경 $PL(dB) = 99.676 + 17.4 * R + 20 * \log_{10} R$ (R은 RS와 MS와의 거리)
BS transmission power	46dBm
RS transmission power	20dBm
Energy Detection threshold	-57dB
Noise PSD	-174dBm/Hz

다음은 간단한 토폴로지 환경에서 FI신호의 변화 과정을 측정하였다.

[그림 9]는 직선 토폴로지 환경에서 알고리즘을 통한 FI 신호의 변화를 알아본 실험 결과이다.

초기에 각 중계기의 FI 신호는 랜덤으로 선택되어 균일하지 않게 분포되어있다. 하지만 알고리즘을 반복할수록 서로 1홉 내에 있는 중계기끼리 주파수 자원을 균등하게 나누어 가지는 것을 볼 수 있다. ED구간에서 FI 신호가 위치할 수 있는 영역을 전체 100으로 봤을 때 중계기 A와 중계기 B는 서로 1홉 내의 이웃한 중계기 이므로 $100 * 1/2$ 만큼씩 할당 받는다. 이는 중계기 B와 중계기 C 에서도 마찬가지이다. 한편, 중계기 A와 중계기 C는 서로의 송신전력이 Energy Detection threshold값에 미치지 못해 이웃한 중계기가 아니므로 서로 간섭을 미치지 않고 중계기 B를 기준으로 해서 자원을 분배 받아 같은 값으로 수렴하게 된다.

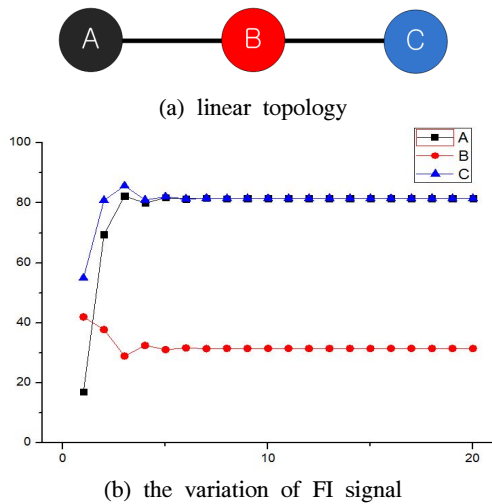


그림. 9. 직선 토폴로지에서의 FI 신호 변화
 Fig. 9. FI signal variation in the linear topology

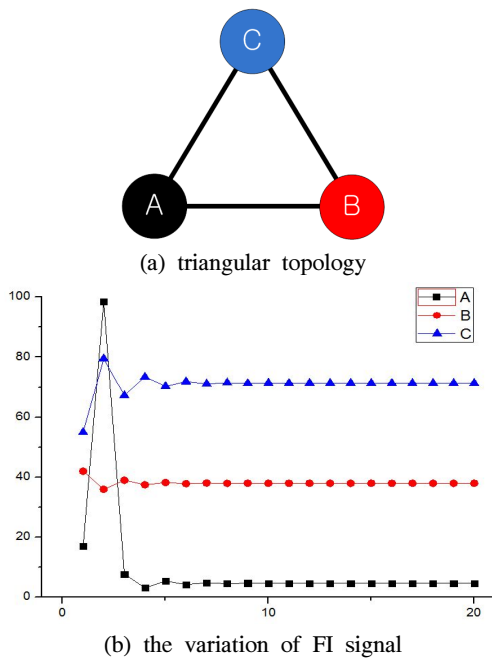


그림. 10. 삼각 토폴로지에서의 FI 신호 변화
 Fig. 10. FI signal variation in the triangular topology

[그림 10]은 삼각 토폴로지 상황에서의 FI신호의 위치 변화를 나타낸 실험 결과이다.

삼각 토폴로지의 경우 직선 토폴로지와 달리 세 개의 중계기가 서로서로 이웃한 중계기의 위치에 있다. 그래서 세 중계기는 서로 겹치는 부분 없이 $100 \times 1/3$ 만큼씩의 주파수 자원을 할당 받게 된다. 알고리즘을 적용하기 전과 비교해 보면 랜덤으로 배치된 FI 신호 탓에 사용하는 주파수 자원대역이

중복되는 경우가 발생한다. 하지만 알고리즘을 적용하면 세 중계기의 FI신호는 이웃 중계기 FI신호의 중간 값으로 이동하기 때문에 주파수 자원이 중복되지 않고 같은 크기의 대역폭을 사용하게 된다. 이로 인해 간섭완화 효과 및 공평성향상 효과를 보인다.

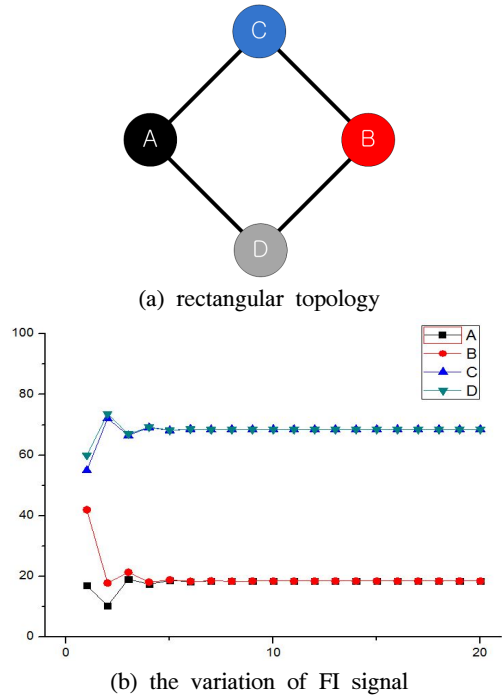


그림. 11. 사각 토폴로지에서의 FI 신호 변화
 Fig. 11. FI signal variation in the rectangular topology

[그림 11]은 사각 토폴로지 환경에서 FI신호 위치 변화를 알아본 결과이다. 사각 토폴로지의 경우 직선 토폴로지와 유사한 결과를 나타낸다. 서로 이웃한 중계기는 1홉으로 연결되고 이웃한 중계기들끼리 알고리즘을 통해 주파수 자원을 균등하게 배분한다. 중계기 A와 중계기 B는 중계기 C와 중계기 D를 기준으로 각각의 FI신호를 변경한다. 그러므로 두 중계기는 같은 값으로 FI신호가 수렴한다. 이는 중계기 C와 중계기 D도 같다. 하지만 중계기 A와 중계기 B, 중계기 C와 중계기 D는 서로의 전송범위 안에 위치하지 않기 때문에 같은 주파수 자원을 할당 받아도 간섭을 미치지 않는다.

[그림 12]는 메쉬 토폴로지환경에서 이동 중계기를 제거/추가에 따른 토폴로지의 변화와 FI신호 변화 그리고 할당되는 주파수 자원을 표현 하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 지속적으로 변화하는 이동형 중계기의 특성에 맞춰 그에 따른 무선 자원 분배 방식을 제안하였다. 중앙 집중적 제어 방식이 가질 수 있는 비효율성을 보완하기 위해 분산 처리형 제어 방식을 사용하였다. 이를 위해서 중계기 프레임 내에 ED구간을 설정하고 FI신호를 정의 하였다. 그리고 이를 이동 중계기 시스템에 적용하기 위한 송수신 절차를 소개하였다. 위에서 정의한 내용을 바탕으로 제안하는 알고리즘을 적용하면 중계기들은 기지국의 통제 없이 이웃하는 중계기들만의 정보로 주파수 자원을 분배하게 된다.

논문에서는 제안한 알고리즘의 성능 분석을 위해 다양한 형태의 토폴로지에서 시뮬레이션을 진행하여 서로 인접한 위치에 존재하는 중계기들은 주파수 자원을 공평하게 나누고 각기 다른 주파수 대역을 할당 받는 것을 확인하였다. 그리고 노드의 추가, 제거에 따른 시뮬레이션 결과를 통해 토폴로지가 변화하는 상황에서도 빠른 적응성을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 향후에는 실제 환경과 유사한 시나리오를 구성하고 시뮬레이션을 진행하여 실제 차량 탑재형 중계기와 연결된 단말의 수율 변화를 측정하는 연구를 추가로 진행할 예정이다.

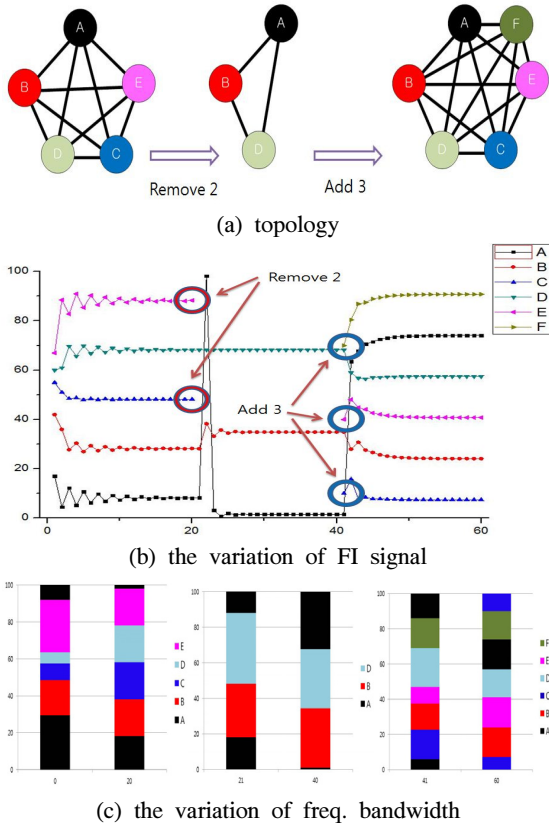


그림. 12. 메쉬 토폴로지에서 이동 중계기 제거/추가에 따른 FI 신호 변화
 Fig. 12. FI signal variation according to add and remove in the mesh topology

초기에 5개의 중계기는 서로가 모두 이웃한 위치에 존재함으로써 FI신호를 주고 받는다. 랜덤으로 FI신호를 선택했을 때 중계기 간에 균일하지 않은 자원 분배가 일어남을 볼 수 있다. 하지만 알고리즘을 적용하면 각각의 중계기가 $100 \times 1/5 = 20$ 씩 공평하게 자원을 할당 받은 것을 확인 할 수 있다. 그리고 두 개의 중계기가 이웃한 위치에서 벗어나게 되면 3개의 중계기는 변화된 환경에 맞추어 자원을 재할당해서 $100 \times 1/3 = 33.3$ 씩 다시 공평하게 자원을 할당 받는다. 마지막으로 3개의 중계기가 추가되어 토폴로지환경이 변화하게 되면 알고리즘을 통해 $100 \times 1/6 = 16.67$ 씩 자원을 할당 받는다. 이를 통해 중계기가 제거/추가 되어도 빠른 시간 내에 알고리즘을 통해 자원을 재할당되는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 본 논문이 제안하는 분산주파수분할기법을 지속적으로 노드가 추가되거나 제거되는, 변화가 잦은 토폴로지 환경의 이동 중계기에 적용하여도 적응성을 가질 수 있음을 확인 할 수 있다.

References

- [1] Keun-hang Heo, Hyun-sik Kang, Jung-Ryun Lee , "Performance Evaluation of Vehicle-mounted Mobile Relay in Next Generation Cellular Networks", KSII Transactions on Internet and Information Systems, vol. 5, no.5, pp. 874-887, May. 2011
- [2] "IEEE 802.16j mobile multi-hop relay project authorization request(PAR)", Official IEEE 802.16j, <http://standards.ieee.org/board/nes/projects/802.16j.pdf>, Mar. 2006
- [3] Peters S.W, Heath R.W , "The future of WiMAX: Multihop relaying with IEEE 802.16j," Communications Magazine, IEEE , vol.47, no.1, pp.104-111, January 2009
- [4] Soldani D, Dixit, "Wireless relays for

broadband access [radio communications series],” Communications Magazine, IEEE , vol.46, no.3, pp.58-66, March 2008

- [5] M. Kaneko, P. Popovski, “Adaptive Resource Allocation in Cellular OFDMA System with Multiple Relay Stations”, VTC 2007-Spring, pp. 3026-3030, 2007.
- [6] D. Byun, Y. Cho, and D. Kim, “Resource Allocation and Power Control for Mobile Relay in TDD-OFDMA Downlink”, Convergence and Hybrid Information Technology, pp. 334-339, 2008.
- [7] Y. Kim, and H. Kim, “Interference Detection and Avoidance Method In-Vehicle Mobile Relay Stations in IEEE 802.16j Network”, EICE TRANSACTIONS on Communications, vol. E92-B, no. 11, pp. 3495-3498, 2009.
- [8] S. M, A. A, Y. H, and Y. Kim, “Radio Resource Management in OFDMA-Based Cellular Networks Enhanced with Fixed and Nomadic Relays”, WCNC, pp. 1-6, 2010.
- [9] Long Le, Hossain E, “Multihop Cellular Networks: Potential Gains, Research Challenges, and a Resource Allocation Framework,” Communications Magazine, IEEE , vol.45, no.9, pp.66-73, September 2007
- [10] Gene V, Murphy S, Murphy J, “Performance analysis of transparent relays in 802.16j MMR networks,” Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks and Workshops, 2008. WiOPT 2008. 6th International Symposium on , vol., no., pp.273-281, 1-3 April 2008

신 윤 재 (Yun-jae Shin)



2011년 2월 중앙대학교 전자
전기 공학부 졸업
2011년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학과 석사과정
<관심 분야> 이동 통신공학,
무선자원 관리

이 정 루 (Jung-Ryun Lee)



1995년 2월 서울대학교
수학과 졸업
1997년 2월 서울대학교 수학과
석사
2006년 8월 KAIST 전기 및
전자 공학과 박사
2008년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학부 부교수
<관심 분야> 저전력 통신 프로토콜, 메쉬 네트워크,
네트워크 이동성, 생체모방 통신 등