

Indoor CR 네트워크에서의 WLAN 과 공존하는 CR beaconing 방법

김현주*, 유상조**

*인하대학교 정보통신대학원

**인하대학교 정보통신대학원

multi@inhain.net, sjyoo@inha.ac.kr

CR beaconing method in Indoor CR Network for Coexistence with WLAN system

Hyun-Ju Kim*, Sang-Jo Yoo**

*Dept. of Information Communication Engineering, INHA University

**Dept. of Information Communication Engineering, INHA University

요 약

본 논문에서는 indoor 환경에서 CR 네트워크를 이용하기 위한 방안으로 CR-Wi-Fi device 시스템을 제안했으며 IU 을 보호하는 방법으로 CR beaconing 을 제안했다. IU 가 출현하면 UHF, VHF band 와 ISM band 로 동시에 이를 알리고 CR 네트워크가 간섭을 주는 경우 사용 중이던 채널 사용을 중지 혹은 이동하도록 명령해야 한다. 본 논문에서는 CR beaconing 방식을 제안하여 보다 효과적인 IU 보호 및 복구를 수행하도록 하였다.

1. 서론

CR 기술은 유휴 주파수를 재사용하고 무선 주파수 자원의 효율성 증대를 위해 연구되고 있는 기술이다. SDR 기술을 기반으로 소프트웨어가 PHY 의 특성에 따라 적합한 기능을 선택하고 채택하여 환경에 대응하여 신호, 주파수 대역, 변조, 출력 등의 파라미터를 결정하는 방법이다[1-2]. IEEE 802.22 에서는 CR 기술을 사용하기 위해서 인가된 TV 스펙트럼 대역에서 유휴 주파수를 찾아 이를 자원으로 이용하는 PHY/MAC standard 를 제정 중에 있다[3]. 스펙트럼을 빌려서 사용하기 때문에 Incumbent User(IU) 의 보호가 중요한 사항이다[5].

본 논문에서는 고속의 멀티미디어 수요를 충족시키기 위한 인프라를 제공하기 위해서 산업적으로 가장 성공한 WLAN[4]시스템과의 multi protocol stack 을 사용하여 indoor 환경에서 CR 네트워크를 이용하기 위한 방안으로 CR-Wi-Fi device 시스템을 제안했고 IU 를 보호하기 위해 CR beaconing 방법을 사용했다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 indoor CR network topology 를 제안하며, 제 3 장에서는 CR beaconing 방법을 설명하고, 제 4 장에서는 CR beaconing 전송 delay 를 수학적으로 분석한 결과를 보였다. 마지막으로 제 5 장에서 본 연구의 결론을 맺는다.

2. Indoor CR Network Topology

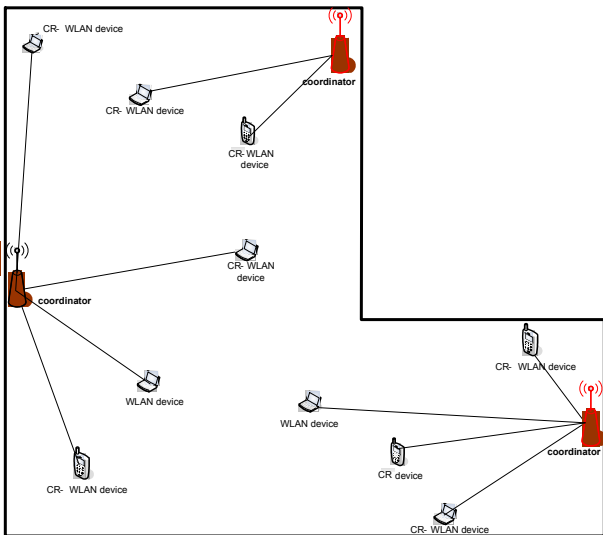
Indoor CR network topology 는 (그림 1)에서처럼 CR-Wi-Fi coordinator, CR-Wi-Fi device, CR device, Wi-Fi device 가 데이터 통신을 하고 있는 모습이다. CR-Wi-Fi multiple interface 시스템(이하 CR-Wi-Fi device, 그림 2)은 CR 기술을 적용하여 UHF, VHF band 내에서 동작하는 트랜시버와 WLAN 기술을 적용하여 ISM band 내에서 동작하는 트랜시버를 함께 가지고 있는 시스템이다. 필요에 따라 WiFi 모듈과 CR 모듈 사이에 정보 교환이 이루어져야 하고 두 개의 시스템을 이어주는 내부 인터페이스가 존재한다.

- CR-Wi-Fi coordinator 는 WiFi 의 PC(point coordinator) 로의 기능과 CR network 의 BS 역할을 같이 담당하는 coordinator 이다. PC 로서 WiFi 의 조정자 역할을 하며 resource 관리, resource 할당, QoS 관리 및 예외 상황을 처리한다. 이것의 관리 하에서 동작하는 device 는 Wi-Fi device, CR-Wi-Fi device, CR device 이다.
- CR-Wi-Fi device 는 CR 기능과 WiFi 기능을 각각의 모듈에 가지고 있는 상태에서 서로간 내부 인터페이스로 연결된 멀티 모듈, 멀티 트랜시버 device 이다. 이것은 coordinator 의 기능은 포함하지 않고 다만 station 기능만을 수행하며 user terminal 의 기능을 수행할 수 있는 device 이다.
- CR device 는 UHF, VHF band 에서 동작하는 device 로 고속 데이터 전송을 보장하지만 갑작스

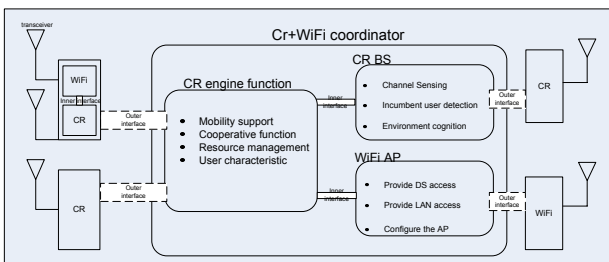
"이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-10266-0)."

럽게 서비스가 중단될 수 있는 단점이 있다. TV 채널이 사용하지 않는 채널을 사용하여 사용자에게 데이터 전송을 보장해 주지만 인컴버트 유저인 TV 가 채널을 사용하려 하면 즉시 비워줘야 한다. 이 device 는 CR-Wi-Fi coordinator 의 조정하에 운영되며, CR-Wi-Fi device 와 동일하게 취급되지만 UHF, VHF band 상에서만 동작한다는 점이 다르다.

- ▶ Wi-Fi device 는 기존의 WiFi 을 이용하는 802.11 a/b/g 서비스를 제공하는 장치로 CR 기능을 탑재하지 않은 이전에 설치 및 운영되었던 device 를 말한다. 이 device 사용자는 CR 기능을 포함한 CR-Wi-Fi 시스템으로 인하여 데이터 통신의 QoS 가 낮아지거나 사용하는데 지장을 받지 않아야 한다.



(그림 1) Indoor CR network topology.



(그림 2) Indoor CR system architecture.

3. CR beaconing 의 역할

CR device 의 UHF, VHF band 의 사용은 지금껏 실내에서 무선 통신 서비스를 제공하는데 많은 기여를 했던 WiFi 이 충족시켜 줄 수 없었던 부분을 만족시켜 줄 수 있다. 이를 위해서는 incumbent user 의 출현을 고려하여 데이터 전송을 수행해야 한다. IU 가 출현하면 간섭을 주지 않기 위해서 데이터 통신을 하는 도중이라도 해당 band 를 비워줘야 하는 요구사항을 만족시켜야 한다. 예를 들어 각각의 트랜시버가 존재하

기 때문에 UHF, VHF band 에서 운영하다가 WiFi channel 로 IU 의 출현을 알리고 CR beaconing 으로 이동 할 채널을 알려줌으로써 해당 문제를 해결하는 방법이 있다. 이는 내부 interface 를 거쳐 동작하기 때문에 지연시간을 문제가 되지 않는다.

또한 CR 기술을 활용하는 홈 네트워크 기기가 네트워크를 이룰 수 있으려면 정확한 센싱 기능을 수행해야 한다. 정확한 센싱을 하기 위해 통신을 하지 않고 센싱 하는 구간 즉 quiet time 을 따로 두어 운영한다. 이러한 센싱은 구현이 복잡 하기 때문에 모든 홈 네트워크 기기마다 센싱모듈을 내장하는 것은 비효율적이다. 대신 CR 네트워크를 전체적으로 관리하는 coordinator 에 센싱기능을 구현하고 중앙집중적으로 채널 센싱 정보를 관리하는 것이 좋다. Coordinator 는 CR beacon 에 채널 센싱 정보를 실어 브로드캐스트하고 CR 기능을 이용하려는 device 는 coordinator 의 신호에 싱크를 맞추어 채널 정보를 획득하여 UHF, VHF band 로의 접속 시간을 줄일 수 있다.

3-1. Coordinator 만의 센싱 수행

CR device 가 UHF, VHF band 에서 동작하려면 coordinator 의 신호를 들어야 하고 이를 위해 UHF, VHF band 를 차례대로 센싱 해야 한다. Coordinator 가 신호를 보내고 있는 지 모르는 상황에서는 45 개의 UHF, VHF band 를 센싱 하기보다 3 개의 WiFi channel 을 센싱 하는 것이 효과적이다. Coordinator 와의 동기화 과정을 끝마쳤다면 자원을 할당 받아야 하는데 이 절차를 WiFi channel 에서 수행하면 보다 안정적으로 등록 과정을 수행할 수 있다. 이는 CR beacon 프레임 을 송수신 하는 과정에서 등록을 요청하는 device 의 양을 알 수 있을 뿐 아니라 다음 번 CR beacon 에서 WiFi channel 에서의 resource 를 할당하여 등록과정을 완료하는 것이 채널 상황이 가변적인 UHF, VHF band 에서 등록을 하는 것보다 효과적이다. CR system 에서 sensing 정보는 매우 중요한 것으로 UHF, VHF band 를 사용하기 위한 전제조건이 되기 때문에 이러한 정보를 공유하는 것은 보다 정확한 sensing 정보를 업데이트 하게 되고 시스템의 원활한 운영에 필요한 것이다. CR system 들은 여러 coordinator 가 채널 센싱 한 정보를 바탕으로 MAP 을 만들어 CR beacon 에 실어 교환함으로써 간섭에 대한 보다 정확한 데이터를 확보할 수 있다.

3-2. IU 등장 시 즉시 전송을 멈추도록 함

앞서 언급했듯이 CR 네트워크에서는 IU 의 보호를 우선적으로 생각해야 한다. CR 네트워크가 UHF, VHF band 에서 데이터 전송을 하고 있던 중이라고 IU 가 출현하면 그 즉시 해당 band 로의 전송을 멈춰야 한다. 이후 coordinator 는 IU 출현을 알리는 메시지를 CR device 에게 보내고 해당채널의 사용 중지와 이동을 알리는 메시지를 보낸다. 이와 동시에 WiFi channel 을 통해서도 CR beacon 을 전송함으로써 TV 의 강한 신호 때문에 coordinator 의 채널 중단 혹은 이동 메시지를 디코딩하지 못한 device 는 WiFi 에서 CR 비콘을

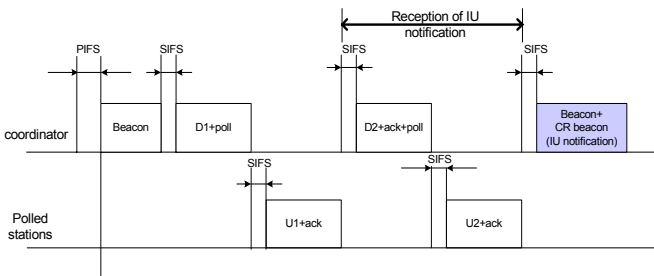
받고 즉시 IU 출현을 알고 해당 전송을 중지할 수 있다.

IU 의 출현으로 다른 채널로 이동해야 하는 경우는 CR beacon 으로 처리하면 서비스의 끊김을 최소화할 수 있다. TV 채널에 의존할 경우 채널 이동 메시지를 받기도 전에 채널을 사용 할 수 없는 상황이 발생할 수 있다. 이러한 경우 incumbent detection recovery 에 따라서 타이머를 동작시킨 후 device 가 응답이 없는 경우 timeout 후에 current band list 부터 스캔을 시작하여 coordinator 와의 동기를 찾는 과정을 수행한다. 이때 가동시키는 timer 는 DCD interval 혹은 ranging interval 의 배수로 값이 책정되며 이 값은 200ms ~ 35s 범위로 그 delay 가 매우 큰 편이어서 서비스의 끊김이 예상되는 부분이다. 위에 언급한 incumbent detection recovery 과정을 CR beacon 으로 대신하게 했을 때 Cr-Wi-Fi device 가 모두 들을 수 있기 때문에 즉시 전송을 멈출 수 있고 다른 채널로의 신속한 이동이 가능하기 때문에 서비스의 지속성이 유지될 수 있다.

3-3. CR beaconing 전송 방법

IU 가 출현하면 UHF, VHF band 와 ISM band 로 동시에 채널 중지 혹은 이동 메시지를 브로드캐스팅 한다. ISM band 에서 CR beacon 을 전송하는 경우는 WLAN 데이터가 전송 중이므로 이전 data 전송이 끝난 즉시 CR beacon 을 전송한다. WLAN 의 운영 모드에 따라 CR beacon 을 전송하여 CR-Wi-Fi device 혹은 CR device 가 IU 에게 간섭을 주는 것을 중지시킬 수 있다. PCF mode 에서는 coordinator 로의 데이터 전송이 끝난 후 SIFS 시간이 지난 후 coordinator 가 CR beacon 송신할 수 있다. DCF mode 에서는 destination 의 ACK 수신 후 PIFS 시간 후에 coordinator 가 CR beacon 송신한다. 이때 걸리는 delay 는 다음과 같이 표현될 수 있다. 그림 3 에서 CR beacon delay 계산 방법은 다음과 같다.

➤ PCF 구간에서 IU 공지를 받은 경우 CR beacon 을 보낼 때 평균 전송 지연 시간



(그림 3) PCF 구간에서 IU 공지를 받은 경우 CR beacon 을 보낼 때.

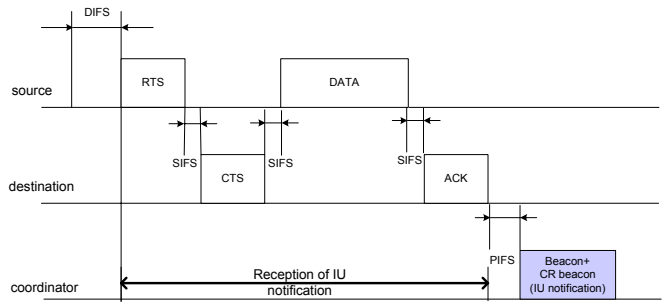
$$\begin{aligned}
 &= \{p * Beacon/2 + q * (D1 + poll + 3 * SIFS + U1 + ACK)/2 + r * (D2 + poll + 3 * SIFS + U2 + 2 * ACK)/2\} / (p + q + r) \quad (1) \\
 &= \{p * Beacon/2 + q * (D1 + poll + U1 + ACK)/2 + r * (D2 + poll + U2 + 2 * ACK)/2\} / (p + q + r) \quad (ACK \gg SIFS) \\
 &= \{p * Beacon/2 + q * (D1 + poll + D1 + ACK)/2 + r * (D1 + poll + D1 + 2 * ACK)/2\} / (p + q + r) \quad (D1 = U1 = D2 = U2) \\
 &= \{p * Beacon/2 + q * (D1 + poll + D1 + ACK)/2 + q * (D1 + poll + D1 + 2 * ACK)/2\} / (2 * q) \quad (q = r) \\
 &= \{p * Beacon/2 + q * (2 * D1 + poll + ACK)/2 + q * (2 * D1 + poll + 2 * ACK)/2\} / (2 * q) \\
 &= \{p * Beacon/2 + q * (2 * D1 + poll + ACK) + (q * ACK)/2\} / (2 * q) \\
 &= \{p * Beacon/2 + q * (2 * D1 + poll + ACK)\} / 2 * q + \{(q * ACK)/2\} / 2 * q \\
 &= p * Beacon/4 * q + (2 * D1 + poll + ACK)/2 + ACK/4
 \end{aligned}$$

p: beacon 구간에 IU 공지를 받을 횟수(=1)
 q: D1 ~ U1 구간에 IU 공지를 받을 횟수(>1)
 r: D2 ~ U2 구간에 IU 공지를 받을 횟수(>1) 인 경우

그림 4 의 경우의 delay 계산 방법은 다음과 같다.

➤ DCF 구간에서 IU 출현공지를 받은 경우 CR beacon 을 평균 전송 지연 시간을 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned}
 &= \{RTS + CTS + Data + ACK + 3 * SIFS + PIFS\} / 2 \quad (2) \\
 &(ACK \gg SIFS, PIFS) \\
 &= \{RTS + CTS + Data + ACK\} / 2 \\
 &(ACK = CTS) \\
 &= \{Data + 2 * ACK + RTS\} / 2
 \end{aligned}$$



(그림 4) DCF 구간에서 IU 공지를 받은 경우 CR beacon 을 보낼 때.

4. 분석 결과

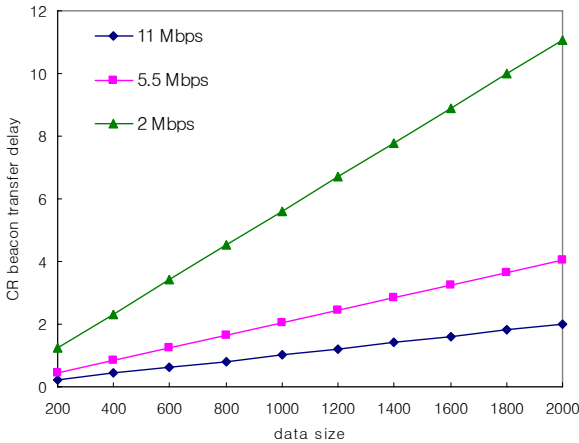
Coordinator 가 IU 출현 시 WiFi 운영 중에 ISM 밴드로 CR beacon 을 전송하여 CR 로 출현을 알리게 되는데 까지 걸리는 시간을 분석한 결과를 보인다. PCF 모드에서의 CR beaconing 전송 delay 와 DCF 모드에서의 전송 delay 을 분석했다. 식 (10 과 (2)와 같은 방식으로 분석하여 보였으며 표 1 에서 보이는 WLAN header size 를 이용하여 전송 delay 을 구했다. 분석 결

과 전송 delay 는 data size 와 data rate 에 따라 달라지고 있음을 확인했다. 그림 5, 6 에서는 WLAN PCF/DCF 모드가 운영중인 경우에 IU 출현으로 인한 CR beacon 을 전송하는 데 걸리는 시간을 분석했다. Data rate 이 낮을수록 전송 delay 가 증가했으며 WiFi 에서 최대 data size 의 크기가 2304 byte 인 경우에도 4 - 12ms 이 내로 전송할 수 있음을 보여준다.

<표 1> WLAN header size

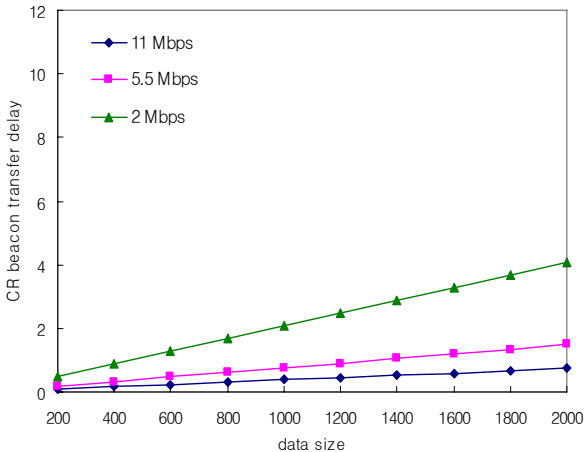
Header	Size (octets)
ACK, CTS	14
RTS, CF-END, CF-ACK+CF-END	20
CF-Poll, CF-ACK+CF-Poll, CF-ACK, Null	34

IU 출현을 알리는 CR beacon 전송 delay
(PCF 모드에서 운영중인경우)



(그림 5) IU 출현 시 CR beacon 전송 delay.

IU 출현을 알리는 CR beacon 전송 delay
(DCF 모드에서 운영중인경우)



(그림 6) IU 출현 시 CR beacon 전송 delay.

5. 결론

본 논문에서는 indoor 환경에서 CR 네트워크를 이용하기 위한 방안으로 CR-Wi-Fi device 시스템을 제안했으며 IU 을 보호하는 방법으로 CR beaconing 을 제안했다. IU 가 출현하면 UHF, VHF band 와 ISM band 로 동시에 이를 알리고 사용 중이던 채널이 간섭을 준다며 채널의 사용을 중지 혹은 이동하도록 명령해야 한다. 기존의 방법은 coordinator 의 채널 중지 혹은 이동 메시지를 받지 못했을 때 timer 을 동작하여 복구하는 방식을 사용했다. 하지만 이 방식이 delay 가 크기 때문에 CR beaconing 방식을 제안하여 보다 효과적인 결과를 보여줬다. 즉, ISM 밴드로 CR beacon 을 전송할 때는 이전 프레임의 전송이 끝난 후 전송하여 IU 출현을 즉시 알릴 수 있다. 이는 CR-Wi-Fi device 에서 이용할 때 CR beacon 을 WiFi 이 이용하는 ISM 밴드로 CR beacon 을 전송하여 해결하는 방법을 제안하여 보다 안정적이고 효과적인 IU 을 보호하는 방법이다. 분석결과 Wi-Fi 서비스가 지원하는 Data rate 이 낮을수록 전송 delay 가 증가했으며 WiFi 에서 최대 data size 의 크기가 2304 byte 인 경우에도 4--12ms 이내로 전송할 수 있음을 보여줌으로써 기존 CR network 에서 이용하는 incumbent detection recovery 방법에서 이용되는 timer 보다 더 빨리 효과적으로 IU 을 보호하고 서비스를 지속적으로 유지할 수 있음을 확인했다.

참고문헌

- [1] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", 2004.
- [2] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications, pp. 3-10, November 1999.
- [3] IEEE 802.22-05/0007r46, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN standard", 2005.
- [4] IEEE 802.11b Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band
- [5] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran *, Shantidev Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey", computer networks, 2006