DBpia

논문 12-37C-11-12

한국통신학회논문지 '12-11 Vol.37C No.11
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2012.37C.11.1112

군용 인지 무선 네트워크 환경에서 점대점 통신을 위한 신속하고 신뢰성 있는 동적 공통 채널 설정 및 복원 방법

김 민 규◆, 최 재 각*, 유 상 조°, 장 용 업**, 정 길 수**, 이 광 억**

Fast and Reliable Dynamic Common Channel Setup and Reconstruction Method for the Point-to-Point Communications in Military CR Networks

Min-Gyu Kim◆, Jae-Kark Choi*, Sang-Jo Yoo°, Young-Up Jang**, Kilsoo Jeong** Kwang-Eog Lee**

요 약

인지 무선 환경에서의 부 사용자들은 주 사용자가 일시적으로 사용하지 않는 채널을 기회적으로 이용하여 통신을 수행한다. 이러한 통신은 부 사용자 상호간에 접근이 가능한 공통 채널을 통해 이루어지는데, 부 사용자들의 통신을 위한 공통 채널은 주 사용자의 채널 사용 현황을 바탕으로 동적으로 변경될 수 있다. 최근 인지무선통신을 위한 연구가 많이 진행 되고 있으나, 공통 채널을 구성하기 위한 세부적인 절차에 대한 연구가 부족한 실정이다. 본 논문에서는 인지 무선 네트워크 환경에서 군사용 무전기의 점대점 통신을 위한 신속하고 신뢰성 있는 동적 공통 채널 설정 및 복원 방법에 대한 방법과 절차를 제안하고, 공통 채널 설정과 복원 과정을 위한 패킷 교환 시간, 채널 요청 대기 시간, 랑데부 시간과 같은 시간 파라미터들을 고려하여, 각각의 세부적인 절차들을 기술하였다. 또한, 수치 해석을 통해서 채널 설정 및 복원 지연 시간과 처리량 등을 도출하여 제안된 방법의 성능을 평가하였다.

Key Words : Common Channel, Point-to-Point Communications, Cognitive Radio, Dynamic Spectrum Access, Military Networks

ABSTRACT

In cognitive radio networks, secondary users are allowed to utilize the channels currently not occupied by primary users opportunistically. Secondary users can communicate with each other using the commonly available channels (common channels) which may change dynamically based on the activity of the primary users. Even though many studies have dealt with cognitive radio behaviors, the detailed procedures for common channel configuration have not been paid much attention. In this paper, the fast and reliable dynamic common channel setup and reconstruction method for the point-to-point communications in military cognitive radio networks is proposed. The detailed time parameters are considered for common channel setup and reconstruction, such as the packet exchange time, channel request waiting time, and rendezvous time. Through numerical analyses, the delay and throughput performance of the proposed method is derived and evaluated.

※ 본 연구는 국방과학연구소 "주파수 관리/할당 정책의 표현기법 연구" 과제의 일환으로 수행되었습니다.
◆ 주저자 : 인하대학교 정보통신공학과 멀티미디어통신망 연구실, cherish@inha.edu, 준회원
° 교신저자 : 인하대학교 정보통신공학과 멀티미디어통신망 연구실, sjyoo@inha.ac.kr, 종신회원
* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망 연구실, jkc@inha.edu, 정회원
** 국방과학연구소, yujang@add.re.kr, ksjeong@add.re.kr, kelee@add.re.kr
논문번호 : KICS2012-08-398, 접수일자 : 2012년 8월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 9일

www.dbpia.co.kr

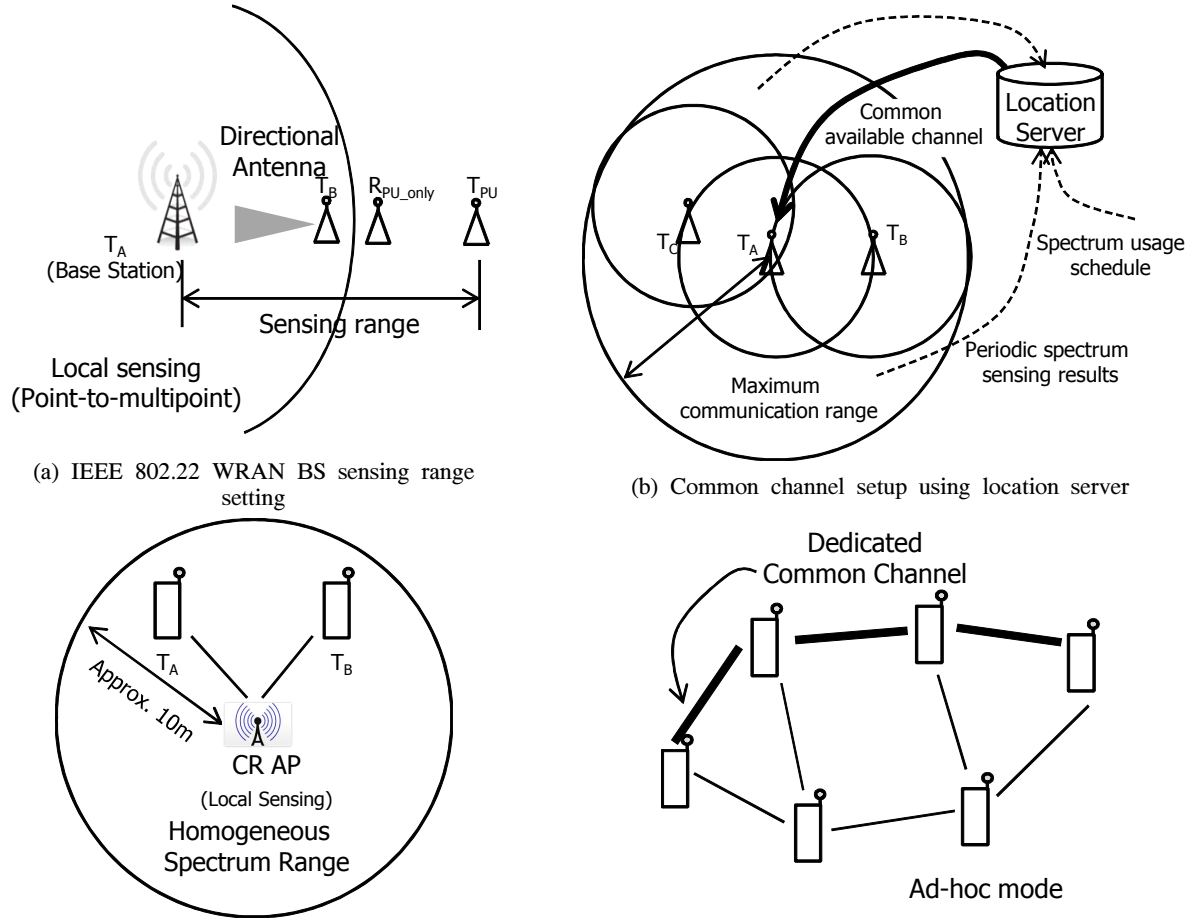
Ⅰ. 서 론

최근의 고정적인 스펙트럼 할당 정책으로 인해 주파수 부족 현상이 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해 주파수를 효율적으로 사용하도록 하는 동적 스펙트럼 엑세스(Dynamic Spectrum Access; DSA) 기술, 인지 무선 (Cognitive Radio; CR) 기술 등이 활발히 연구 되고 있다[1]. DSA 및 CR 네트워크 환경에서는 특정 주파수에 대한 권한이 없는 부 사용자(Secondary Users; SUs)는 해당 주파수에 대한 권한을 가진 주 사용자(Primary Users; PUs)가 이를 사용하지 않을 때, 이러한 유휴 대역(spectrum hole, white space)을 기회적으로 사용할 수 있도록 한다. 부 사용자의 통신 중에 주 사용자가 출현하는 경우, 부 사용자는 이를 빠르게 감지하고 현재 채널에서의 통신을 즉각적으로 중단함으로써 주 사용자에게로의 간섭을 최소화 할 수 있어야 한다. 부 사용자는 현재 주 사용자에 의해서 사용되지 않고 있는 스펙트럼 대역을 검출하기 위해 주기적으로 스펙트럼 센싱을 수행하여야 한다. 그리고 데이터 메시지와 제어 메시지를 교환하기 위해서 검출된 유휴대역 가운데 부 사용자들 간의 통신을 위한 공통 채널을 설정할 수 있어야 한다.

오늘날 군 통신 시스템은 네트워크 중심 작전(Network Centric Warfare; NCW)에 따른 통신체계를 필요로 하고 있으며 앞으로 다양한 통신이나 전술체계 등이 하나의 네트워크에 연결되면서 새로운 군 통신 시스템이 개발이 될 것으로 예상된다[2]. 인지 무선 기술을 적용한 군 통신 시스템을 개발하면 보다 효율적인 주파수 활용을 통해 군사 작전 통제 능력을 향상시키는 것은 물론, 안정적인 통신 채널의 확보를 통해 미래를 예측하기 힘든 전시 상황에서의 군사력의 손실 감소를 비롯한 다양한 기술적인 강점을 갖게 될 것으로 예상된다. 특히 통신 인프라가 비교적 낙후된 군사적 격오지 지역에서의 활용성이 뛰어날 것으로 기대된다. 이미 미국과 같은 군사적 선진국에서는 수 년 전부터 국가 프로젝트를 통해 CR과 같은 주파수 공유 기술과 군사용 장비 개발을 적극적으로 지원해 왔다. 미 해군에서는 AN/USC-61이라는 소프트웨어 기반의 DMR(Digital Modular Radio)을 잠수함과 선박에 적용하여 주파수를 제어하는데 사용하고 있다. 또한 전 세계적으로 차세대 공중 및 지상 플랫폼간 무선 통신 네트워크 장비로 JTRS(Joint Tactical Radio System) 기술을 도입하려는 추세가 이루어지고 있다. 미국 국방부(U.S. Department of Defense)에서는 이러한 JTRS 기술의 확장성을 위해 CR 기술을 기반으로 하는 XG 프로젝트에서 CR 통신 구조를 개발하고 있다.

부 사용자들 사이에서 공통 채널을 설정하는 방법에 대한 고려가 최근 몇 년 동안 활발히 연구 되어왔다[3]. 공통 채널을 설정하는 방법으로는 sequence-based 방법과 group-based 방법으로 나뉠 수 있다. Sequence-based 방법은 사용 가능한 채널을 무작위로 선택하여 채널을 설정하거나 미리 결정되어있는 채널 hopping 패턴을 통해 선택된 채널을 공통 채널로 이용하는 방법으로[4-6], 주 사용자의 간섭을 최소화하기 위해 공통 채널을 할당하는 과정에서 다양한 시간 영역과 주파수 영역을 활용한다. 따라서 주 사용자의 채널 사용 현황 여부를 신속하게 파악하여 주 사용자가 사용하지 않는 다른 채널로 변경하는 과정과 주 사용자의 출현에 의해 공통 채널의 개수가 감소하는 문제에 대한 해결 방안에 대해 중점적으로 연구가 진행 되고 있다. Group-based 방법은 인접해 있는 부 사용자끼리 사용 가능한 공통 채널을 협상하여 클러스터를 구성하고, 이를 기반으로 제어 메시지를 관리하는 방법이다[7-9]. 이 방법은 서로 다른 그룹 사이에서 안정적으로 통신을 유지할 수 있도록 하는 방법과 채널 변경이 요구되는 상황에서 다시 그룹을 구성하는 방법이 주요 이슈가 되고 있다. 일반적으로 group-based 방법은 sequence-based 방법에 비해 더 나은 공통 채널 커버리지를 얻을 수 있지만, 특정 그룹에 많은 노드가 밀집하여 분포된 경우에는 채널 포화 문제를 일으킬 수 있다. 이상과 같이 공통 채널에 관련된 연구들이 많이 진행되고 있지만 대부분의 연구에서는 데이터 채널 선택을 위한 제어 정보 교환을 위한 전용 공용 제어 채널 (dedicated common control channel)이 존재한다고 가정하거나 GH(group header)가 로컬 센싱한 결과 선택한 제어 채널로 멤버들과 협상을 하는 구조를 사용한다. 군 무전기를 이용한 통신에서는 송신자와 수신자가 멀리 떨어져 있어 두 지역에서의 채널 동질성을 담보하기 어렵고 사전에 공통 제어 채널이 항상 존재한다고 가정하기 어렵게 된다. 특히 군용 무전 시스템에서, TRS(Trunked Radio System)와 같이 군용 무전기로 통신하는 상황, 즉, 두 DSA 무전기 간의 point-to-point 통신에서 공통 채널 구성 방안 및 주 사용자의 출현 혹은 jamming attack[10]의 영향으로 부 사용자간에 공통 채널을 변경해야 하는 공통 채

www.dbpia.co.kr



(a) IEEE 802.22 WRAN BS sensing range setting

(b) Common channel setup using location server

(c) Short distance communication with homogeneous channel environment

(d) Control message transmission using dedicated common channel

그림 1. 기존 CR 시스템에서의 공통 채널 설정 및 이용 방법
Fig. 1. Common channel setup and using method in the existing CR systems

널 재구성(복원) 방안을 위한 세부적인 절차를 제시한 연구가 부족하다.

본 논문에서는 군용 point-to-point CR 네트워크 환경에서 신속하고 신뢰성 있게 동적 공통 채널을 설정 하는 방법을 제안 하였다. 제안된 공통 채널을 구성하는 절차는 크게 공통 채널 초기화 과정과 공통 채널 복원 과정으로 이루어진다. 각 과정별 세부적인 절차를 기술하기 위해, 본 논문에서는 패킷 교환 시간(packet exchange time), 채널 요청 대기 시간(channel request waiting time), 그리고 랑데부 시간(rendezvous time)과 같은 파라미터를 정의하고 사용하였다. 제안된 방법은 차세대 군 통신 시스템을 비롯한 다양한 플랫폼에서 손쉽게 적용 가능할 것이다. 본 논문의 이하에서는 임의의 무전기는 곧 인지 무선 기술을 사용하는 부 사용자를 의미하는 것으로 간주한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 공통 채널 설정 방법에 대한 시스템 모델을 설명하고 설계 요구사항을 도출하였다. 또한, 본 논문에서 제안하는 공통 채널 초기화 과정과 공통 채널 복원 과정을 절차에 따라서 상세히 기술하였다. 제안된 방법의 수치 해석을 3장에 기술하였으며, 4장에서 성능 분석 및 평가를 수행하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 기술하였다.

Ⅱ. 제안된 군용 무전기를 위한 point-to-point CR 공통 채널 설정 방법

2.1. 시스템 모델 및 설계 요구사항

본 논문에서는 군용 무전기의 통신 환경에서 요구되는 point-to-point 통신을 고려한다. Point-to-point 통신을 수행하는 두 개의 DSA 무전기들은 각각 하나의 안테나를 탑재하고 있으며, 동시에 송신과 수신을 할 수 없는 상태로 가정한다.

www.dbpia.co.kr

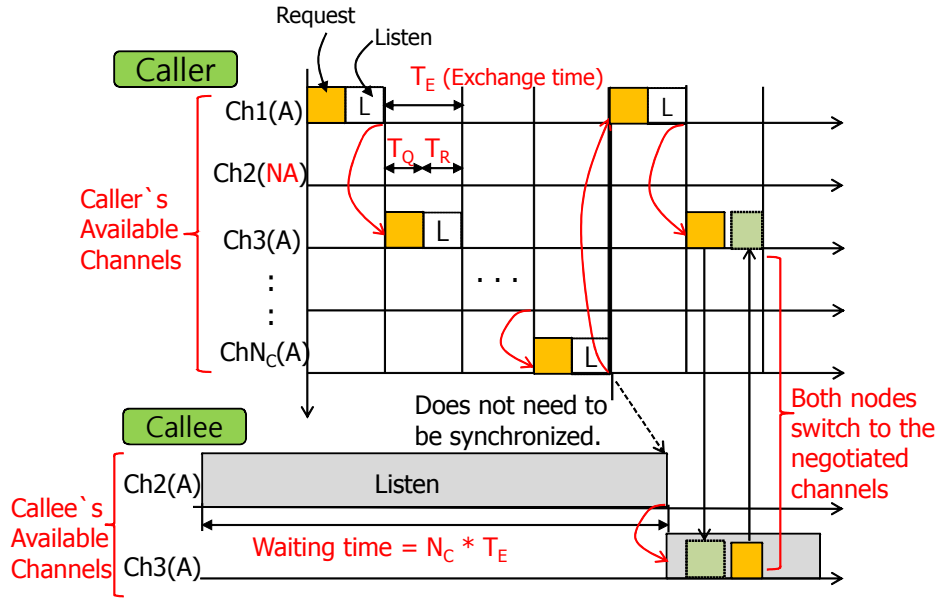


그림 2. Caller와 Callee의 채널 동기화를 위한 스위칭 스케쥴 예
Fig. 2. Switching schedule of Caller and Callee for channel synchronization

각각의 무전기는 센싱을 통해 자신의 사용 가능한 채널들을 사전에 알고 있으며, 통신 중인 공통 채널에서 주 사용자가 나타나거나 jamming attack이 발생했을 경우 이를 감지할 수 있다고 가정한다. 주 사용자의 위치, 전송 범위, 출현 시간 등에 따라, 하나의 무전기가 사용 가능한 채널들의 집합은 다른 무전기에서 사용 가능한 채널들의 집합과 정확히 일치하지 않을 수 있지만, 두 무전기들이 공통으로 사용 가능한 채널이 적어도 하나 이상 존재한다고 가정한다. 본 논문에서는 이러한 환경에서 사용 가능 채널이 서로 다른 두 무전기간 신뢰성 있는 공통 채널 (제어 및 데이터 채널)을 선택하고 선택된 채널을 신속하게 변경하기 위한 절차를 제안한다.

그림 1은 기존 802.22 WRAN을 비롯한 상용 CR 통신 네트워크[11]에서 고려되고 있는 초기 공통 채널 설정과 관련된 특징 및 방법을 보여준다. 연구의 시스템 모델인 군용 DSA 통신 환경은 이러한 기존 통신 환경과 아래와 같은 차이점을 가지고 있으므로 별도의 point-to-point 공통 채널 과정에 대한 연구가 필요하다.

- 기존 802.22 WRAN의 환경에서는 WRAN 기지국(BS)이 로컬 센싱을 하여 통신을 시작하는 point-to-multipoint 구조를 가진다. 초기 공통 채널 설정은 기지국 자신의 채널 센싱 결과를 바탕으로 이루어지고 단말은 해당 채널을 찾아 시스템에 접속하게 된다. 이는 가입자 단말이 고정형이고 설치 시 BS에 지향성 안테나를 이용하여 빔포밍되어 있으므로 그림 1(a)에서 보듯이 가입자 단말이 주 사용자 수신기에 가까이 있어도 주 사용자 수신기에 주는 간섭 영향을 최소화 할 수 있다. 또한 기지국에서는 미리 알려진 TV 송신기의 특성(출력 파워, 요구되는 수신 감도 등)을 고려하여 주 사용자 송신기의 신호를 검출할 수 있는 센싱 감도를 구현하고 있기 때문에 기지국만의 센싱으로 통신을 초기화 할 수 있다. 군 DSA 무전기는 이동성이 크고 잠재적인 모든 송신기들에 지향성 안테나를 사용할 수 없고 일반적으로 통신거리가 길다. 따라서 로컬 센싱에 의한 채널 정보를 이용한 일방적인 공통 채널 설정은 다른 단말에서는 유효하지 않기 때문에 무전기간 별도의 공통 채널 설정 절차가 필요하다.
- 또 다른 공통채널 설정 방법은, 그림 1(b)에 보듯이 각 CR 단말은 자신의 위치를 파악하여 원거리의 location 서버에 상대 단말과의 통신 채널을 요청하면, location 서버는 해당 단말의 위치 정보를 고려하여 상대 단말과의 최대 통신 범위에서 사용 가능한 공통 채널을 알려주는 방법이다. 군용 통신 시스템에서는 항상 자신의 위치를 정확히 인지할 수 없을 수 있고, location 서버와의 별도의 채널이 존재해야 하는 등 적용에 어려움이 있다.

www.dbpia.co.kr

- 그림 1(c)는 TV white space를 이용한 super-WiFi 연구 등에서 고려되는 방법으로 채널 센싱 등의 기능을 access point (AP) 만이 수행하여 공통 채널을 선택한다. 이 네트워크에서의 기본 가정은 통신 범위가 수십 미터에 불과해 채널 특성이 homogeneous하다는 것이다. 군 환경 특성상 두 무전기 사이의 거리가 수 십 km 이상 떨어져 있는 경우가 있을 수 있기 때문에 homogeneous 범위 내에 있다고 가정하기 어렵다.
- 그림 1(d)는 CR ad-hoc 네트워크에서 일반적으로 사용하는 방법으로 경로 설정이나 멀티 홉 데이터 채널 설정을 위한 제어 메시지 전송을 위해 미리 dedicated 공통 채널이 존재한다고 가정하는 것이다. 그러나 현재 군용 무전 시스템에서는 이러한 사전 채널 존재를 가정하기 어렵고 dedicated 채널은 jamming 공격에 취약하다는 단점을 가지고 있다.

2.2. 공통 채널 초기화 과정 (Common Channel Initialization Procedure)

두 개의 DSA 무전기들이 공통 채널을 사용하고 있지 않은 상황에서 데이터 전송이나 제어 메시지 전달을 위한 공통 채널을 설정하는 과정을 공통 채널 초기화 과정이라고 한다. 두 개의 무전기들은 각자의 사용 가능한 채널 중에서 공통 채널을 협상하기 위한 제어 메시지를 교환함으로써 공통 채널 설정 과정을 시작하게 된다. 임의의 DSA 무전기가 공통 채널 협상을 위해서 보내는 메시지를 공통 채널 설정 요청 메시지(common channel setup request message; CH_SETUP_REQ)라고 하고 이에 대한 응답 메시지를 공통 채널 설정 응답 메시지(common channel setup response message; CH_SETUP_RSP)라고 한다. 두 무전기 간에 공통 채널이 존재하지 않는 상황에서 통신을 시작하기 위해 먼저 CH_SETUP_REQ를 보내는 DSA 무전기를 Caller라 하고, 이에 대한 응답으로 CH_SETUP_RSP를 보내는 DSA 무전기를 Callee라고 한다. 공통 채널 초기화 과정에서는 Caller와 Callee가 CH_SETUP_REQ와 CH_SETUP_RSP를 성공적으로 교환하는 경우, 공통 채널 설정이 완료된다. 본 절에서는 먼저 Caller와 Callee가 이러한 제어 메시지를 교환하는 과정을 기술한 후, 각각의 제어 메시지가 포함하고 있는 채널 관련 정보들을 토대로 이러한 제어 메시지의 교환 과정에서 Caller와 Callee가 어떻게 최적의 공통 채널을 선택하고 이를 공유하는지를 기술한다.

2.2.1. 제어 메시지 교환 과정

초기에 Caller와 Callee는 각각 상대방의 사용 가능한 채널들에 대한 정보를 인지할 수 없으며, Caller와 Callee는 모두 CH_SETUP_REQ/RSP 메시지를 교환하기 위한 별도의 채널을 공유하고 있지 않다. Caller는 CH_SETUP_REQ를 자신의 사용 가능한 채널 중 한 채널에서 송신한 후, CH_SETUP_RSP를 수신하기 위해 해당 채널에서 일정 시간을 기다린다. 만일 CH_SETUP_RSP를 수신하지 못하면, Caller는 자신의 사용 가능한 채널 중 다른 채널로 스위칭하여 CH_SETUP_REQ를 전송한다. Caller는 CH_SETUP_RSP를 수신할 때 까지, 자신의 사용 가능한 채널들에 대해 순차적으로 이러한 동작을 반복한다. 한편, Callee 역시 자신의 사용 가능한 채널들에 대해 순차적으로 스위칭을 수행하면서 CH_SETUP_REQ를 기다린다 (현재 통신을 수행하고 있지 않은 모든 DSA 무전기들은 초기에 Callee와 동일한 프로세스를 유지하며, 잠재적인 Caller의 CH_SETUP_REQ를 기다린다). CH_SETUP_REQ를 수신하면, Callee는 Caller에게 CH_SETUP_RSP를 전송하고, Caller와 선택된 공통 채널로 이동하여 통신을 수행한다.

이와 같이 Caller와 Callee가 초기에 공통 채널을 협상하기 위해서는 제어 메시지의 교환이 요구된다. 이를 위해서는 Caller의 송신 채널과 Callee의 수신 채널간의 동기화가 이루어져야 한다. 그러나 앞서 언급한 것과 같이, Caller와 Callee는 각각 상대방의 사용 가능한 채널 정보를 알지 못하는 상태이다. 따라서 각자 순차적으로 채널 스위칭을 수행하는 과정에서 이들 간의 채널 동기화가 보장되도록, 각각이 적절한 채널 스위칭 스케쥴을 유지해야 한다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 이를 위한 Caller와 Callee의 채널 스위칭 스케쥴을 나타내었다.

Caller가 CH_SETUP_REQ를 전송하는 시간을 T_Q, Callee가 CH_SETUP_RSP를 전송하는 시간을 T_R로 표기하며, propagation 시간과 채널 스위칭 시간 및 메시지 처리 시간(message processing time)은 무시할 수 있는 것으로 간주한다. 그러면 Caller가 CH_SETUP_REQ를 보내고 Callee로부터 CH_SETUP_RSP를 받는 메시지 교환 시간을 $T_E = T_Q + T_R$로 나타낼 수 있다.

www.dbpia.co.kr

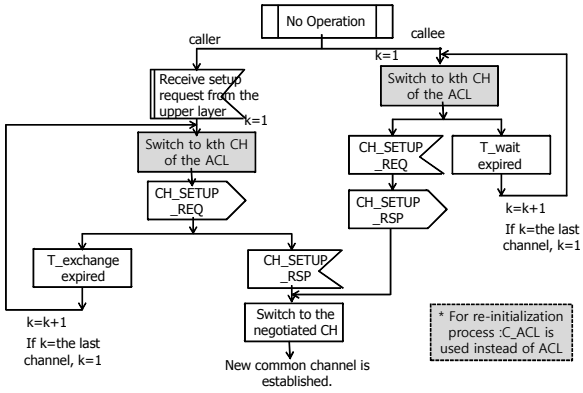


그림 3. 공통 채널 초기화 과정의 흐름도
Fig. 3. Common channel initialization procedure flow chart

Caller는 CH_SETUP_REQ를 보낸 후, CH_SETUP_RSP를 수신하기 위해 T_R만큼 대기 한다. 만일 CH_SETUP_RSP를 받지 못하면, Caller는 다음 채널로 이동하여 동일한 과정을 반복한다. 반면 Callee는 Caller의 사용 가능 채널을 모르는 상태에서 Caller와의 채널 동기화를 보장하기 위해, 하나의 채널에서 $N_C \times T_E$의 시간 동안 대기한다 (DSA 네트워크의 전체 채널의 개수는 N_C로 표기한다). 이는 두 DSA 무전기 사이에 공통 채널을 설정 할 수 있는 안정적이고 신뢰할 수 있는 시간이라 할 수 있다. 만일 현재 Callee가 대기하는 채널이 Caller의 사용 가능 채널 중 하나라면, Callee는 대기 시간 중에 적어도 하나의 CH_SETUP_REQ를 수신할 수 있다. 반면, 현재 Callee가 대기하는 채널이 Caller의 사용 가능 채널이 아니라면, Callee는 대기 시간이 종료된 후 다음 채널로 이동하여 동일한 과정을 반복한다. 일반적으로 Callee의 대기시간이 커지면, Callee가 Caller의 사용 불가능 채널에서 대기하는 현상에 의해 공통 채널 초기화 지연 시간이 대체로 증가하는 결과를 초래할 수도 있으나, 역으로 Callee가 Caller의 사용 가능 채널에서 대기하는 경우 채널 동기화에 대한 안정성을 보장한다는 측면에서 공통 채널 초기화 지연 시간을 더욱 단축시킬 수도 있다. Callee의 대기 시간이 공통 채널 초기화 지연 시간에 미치는 영향에 대해서는 다음 장의 수학적 분석을 통해 결과를 보일 것이다.

그림 2에서 Caller의 사용 가능 채널 집합은 {Ch1, Ch3, ... , Ch_{NC}}이며, Callee의 사용 가능 채널 집합은 {Ch2, Ch3}이다. Caller는 Ch1을 시작으로 CH_SETUP_REQ를 보내고 응답을 기다린다. 각각의 채널에서 머무르는 시간은 T_E이며, 응답을

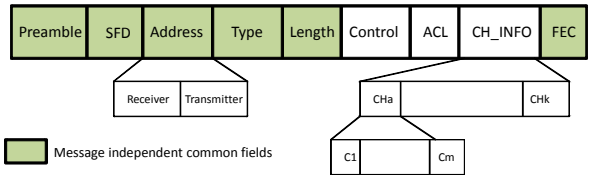


그림 4. 공통 채널 설정 요청 메시지
Fig. 4. Common channel setup request message format

받지 못할 경우, 다음 채널로 이동하는 과정을 반복한다. Callee는 Ch2에서 $N_C \times T_E$의 시간동안 대기하지만, Ch2는 Caller의 사용 가능 채널이 아니므로, CH_SETUP_REQ가 수신되지 않는다. 따라서 Callee는 Ch3으로 이동하여 다시 대기하게 되며, 해당 채널에서 대기하는 도중에 Caller로부터 CH_SETUP_REQ를 수신할 수 있게 된다. 또한 제어 메시지의 교환 후, Caller와 Callee는 선택된 공통 채널로 이동하여 통신을 수행하게 된다. 그림 3은 이상의 Caller와 Callee의 동작을 흐름도로 나타낸 것이다.

2.2.2. 최적 공통 채널 협상 및 후보 채널 설정

Caller와 Callee가 제어 메시지를 교환하는 채널은 최적의 공통 채널이 아닐 수도 있다. 즉, 주 사용자의 영향, 채널 용량, 잡음과 같은 몇 가지의 기준들을 통해서 무전기는 자신이 사용 가능한 공통 채널의 성능을 평가 할 수 있다. 따라서 Caller와 Callee는 최적의 공통 채널을 설정하기 위해 협상을 수행한다. 제안된 공통 채널 초기화 과정에서는 이러한 협상 과정이 제어 메시지를 교환함으로써 수행된다. 이를 위해, Caller는 그림 4와 같이, CH_SETUP_REQ에 자신의 사용 가능한 채널들에 대한 정보를 포함하여 전송한다. ACL(Available Channel List)과 CH_INFO(Channel Information)는 각각 Caller의 사용 가능한 채널 리스트와 사용 가능한 채널들의 정보를 포함하고 있다. 이외에도 프레임을 감지하여 동기화에 사용되는 preamble, 프레임의 시작 식별자를 나타내는 SFD(Start Frame Delimiter), 수신자인 Callee의 주소와 송신자인 Caller의 주소에 대한 정보가 들어있는 address 필드 그리고 오류 정정을 위한 FEC(Forward Error Correction) 등이 CH_SETUP_REQ에 포함되어 있다.

CH_SETUP_REQ를 수신한 Callee는 자신과 공통으로 사용 가능한 채널에 대한 정보를 참고하여, 둘 사이에 적합한 최적의 공통 채널을 결정한 후,

www.dbpia.co.kr

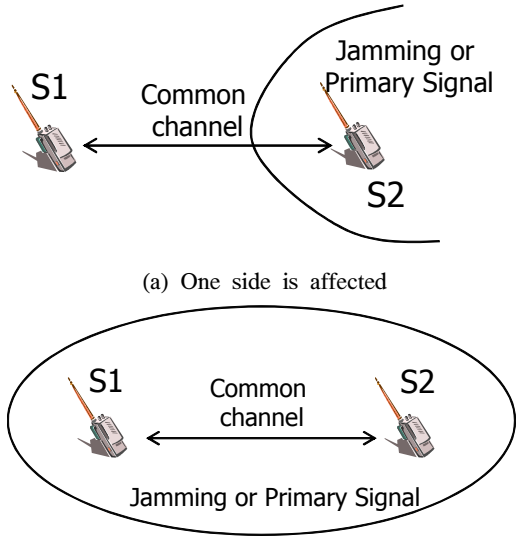
이를 CH_SETUP_RSP에 포함하여 전송한다.

두 무전기 사이에서 사용 가능한 공통 채널이 두 개 이상이면, Callee는 CH_SETUP_RSP에 최적의 공통 채널과 채널 복원 과정에서 사용될 후보자 채널의 정보를 함께 포함시킨다. 후보자 채널은 Caller와 Callee의 채널 초기화 과정에 사용되는 최적의 공통 채널을 제외한 또 다른 공통 채널들 중에서 최적의 채널을 의미한다. 이러한 후보자 채널이 존재하게 되면 두 무전기가 통신 중에 해당 후보자 채널에서 공통 채널 변경 메시지(common channel change message; CC_CHANGE)와 공통 채널 변경 확인 메시지(common channel change acknowledgement message; CC_CHANGE_ACK)라는 제어 메시지들을 주기적으로 송수신하게 된다. 후보자 채널에서의 CC_CHANGE와 CC_CHANGE_ACK를 교환하는 주목적은 다음 장에서 설명될 공통 채널 복원 과정을 보다 신속하게 수행하기 위함이다. 후보자 채널은 유사시에 즉각적으로 사용될 수 있어야 하므로, 평소에도 주기적으로 무전기 상호간에 후보자 채널에서의 통신 상태를 확인할 필요가 있다. 본 논문에서는 후보자 채널에서 CC_CHANGE와 CC_CHANGE_ACK를 교환하는 주기적인 시간을 랑데부 시간(rendezvous time)이라 정의하고, 이를 T_{RV}로 표기한다.

2.3. 공통 채널 복원 과정 (Common Channel Reconstruction Procedure)

공통 채널 초기화 과정에서 결정된 공통 채널에서 두 DSA 무전기가 통신을 하고 있을 때 공통 채널에 주 사용자가 감지되거나 jamming attack이 발생하였을 경우, 주 사용자에게 간섭을 최소화하기 위해 무전기들은 해당 채널의 사용을 즉각적으로 중지해야 한다. 또한 이로 인한 서비스 품질(quality of service; QoS)의 감소를 최소화하기 위해 DSA 무전기들은 다른 채널로 이동하여 통신을 지속할 수 있어야 한다. 만일, 공통 채널 초기화 과정에서 후보자 채널이 이미 확보되어 있는 경우라면, 두 무전기는 해당 후보자 채널로 즉시 이동하여 통신을 수행할 수 있다. 그러나 후보자 채널이 없는 상황이라면, 두 무전기는 다시 공통 채널 초기화 과정을 수행해야 한다. 이하에서는 부 사용자들이 후보자 채널로 스위칭하는 채널 복원 과정을 논하기로 한다.

DSA 무전기는 주 사용자가 출현하거나 jamming attack이 발생하는 경우, 이를 감지한 후 채널 복원



(a) One side is affected

(b) Both sides are affected

그림 5. 두 무전기가 통신하고 있는 채널에 주 사용자가 나타나거나 재밍 공격이 발생한 경우
Fig. 5. Occurrence of jamming attack or PU signal on common channel

과정을 시작하게 된다. 주 사용자의 출현이나 jamming attack은 그림 5(a)와 같이 단일의 무전기에 의해 감지될 수도 있고, 그림 5(b)와 같이 두 무전기가 동시에 감지할 수도 있다. 본 장에서는 우선, 단일의 무전기에 의해 주 사용자나 jamming attack이 감지되는 시나리오를 중심으로 채널 복원 과정을 설명하고, 이후 두 무전기에 의해 동시에 감지되는 경우의 채널 복원 과정을 설명한다. 이하에서는 주 사용자의 출현이나 jamming attack을 감지한 DSA 무전기를 감지 노드라 하고 감지 노드와 통신하던 상대 DSA 무전기를 피어(peer) 노드라 한다. 즉, 그림 5(a)에서는 S2는 감지 노드, S1은 S2에 대한 피어 노드가 되고, 그림 5(b)에서는 S1과 S2가 모두 감지 노드인 동시에 상대방의 피어 노드가 된다.

2.3.1. 하나의 무전기만 주 사용자 혹은 jamming attack을 감지하는 경우

피어 노드가 주 사용자의 출현이나 jamming attack을 감지하지 못한 노드라면, 피어 노드의 전송이 주 사용자에게 간섭을 줄 수 있기 때문에, 감지 노드는 이를 대비하여 현재의 공통 채널로 피어 노드에게 공통 채널 변경 메시지(CC_CHANGE)를 전송한다. 감지 노드는 이에 대한 응답인 공통 채널 변경 확인 메시지(CC_CHANGE_ACK)를 기다리지 않고, 사전에 정의된 후보 채널로 즉시 이동한다.

www.dbpia.co.kr

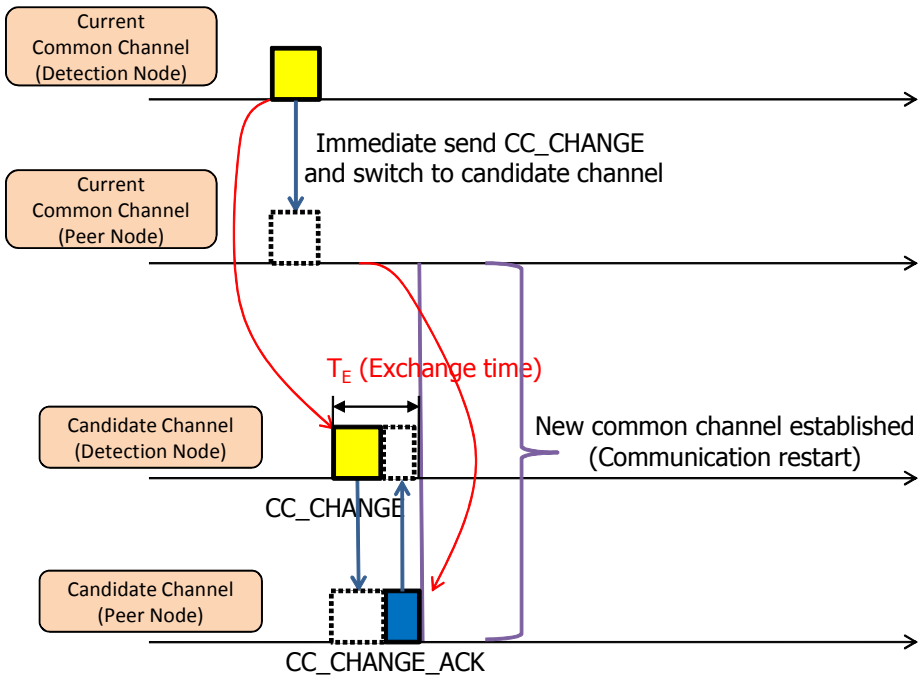


그림 6. 채널 복원 과정
Fig. 6. Common channel reconstruction procedure

이렇게 즉시 후보자 채널로 이동하는 이유는 CC_CHANGE_ACK의 수신으로 인해 주 사용자에게 추가적으로 간섭을 일으키는 현상이 발생할 수 있기 때문이다. 게다가, 감지 노드는 이미 주 사용자의 전송 혹은 jamming attack에 노출되어 해당 채널에서 메시지를 안정적으로 수신하지 못할 가능성이 매우 크다. 피어 노드가 주 사용자나 jamming attack의 영향을 받지 않는 상황을 고려하고 있으므로, 피어 노드는 CC_CHANGE를 정상적으로 수신한 경우, 역시 후보자 채널로 즉시 이동하게 된다. 후보자 채널로 이동한 감지 노드는 동일한 CC_CHANGE를 재전송하게 되고, 해당 채널에 도달한 피어 노드는 이를 수신한 후, CC_CHANGE_ACK를 전송하게 된다. 후보자 채널에서의 CC_CHANGE와 CC_CHANGE_ACK가 정상적으로 교환되면, 후보자 채널은 두 DSA 무전기의 새로운 공통 채널로 설정되며, 채널 복원 과정은 종료된다. 그림 6은 이러한 감지 노드와 피어 노드의 공통 채널 복원 과정을 나타낸 것이다.

만일, 기존의 공통 채널에서 패킷 손실이 발생하여 피어 노드가 CC_CHANGE를 수신하지 못하는 경우에는, 피어 노드는 후보자 채널로 이동하지 않게 된다. 제안된 공통 채널 복원 과정은 이러한 경우를 대비하여, 미리 설정된 시간인 랑데부 시간 T_{RV}를 적용한다. 두 DSA 무전기는 매 T_{RV}마다 무조건 후보자 채널로 스위칭하여 CC_CHANGE와 CC_CHANGE_ACK를 교환하도록 설정되어 있으므로, 피어 노드는 랑데부 시간이 되면, 후보자 채널로 이동하여 CC_CHANGE를 수신하고 CC_CHANGE_ACK를 전송할 수 있다.

반면, 감지 노드의 입장에서는 후보 채널에서 자신이 전송한 CC_CHANGE에 대한 응답이 수신되지 않는 경우, 기존의 공통 채널에서 피어 노드가 CC_CHANGE를 정상적으로 수신하지 못하였거나, 후보자 채널에서 자신이 전송한 CC_CHANGE를 피어 노드가 정상적으로 수신하지 못한 것으로 간주하고, 후보자 채널에서 CC_CHANGE_ACK를 수신할 때 까지 지속적으로 CC_CHANGE를 전송한다. 만일 전자의 경우라면, 감지 노드와 피어 노드는 그림 7과 같이 랑데부 시간이 만료되는 시점에서 CC_CHANGE와 CC_CHANGE_ACK를 교환하여 공통 채널 복원을 수행하게 된다. 반면, 후자의 경우라면, 그림 7의 랑데부 시간의 만료 이전에 후보자 채널에서 제어 메시지가 성공적으로 교환될 때 까지 공통 채널 복원 과정이 수행하게 된다.

마지막으로, 위에서 설명된 랑데부 시간을 적용하여도 두 DSA 무전기가 채널 변경 메시지를 교환하지 못하는 상황에서는 지속적으로 이러한 공통 채널 복원 과정을 수행하는 것이 새롭게 공통 채널 초기화 과정을 수행하는 것보다 비효율적일 수 있

www.dbpia.co.kr

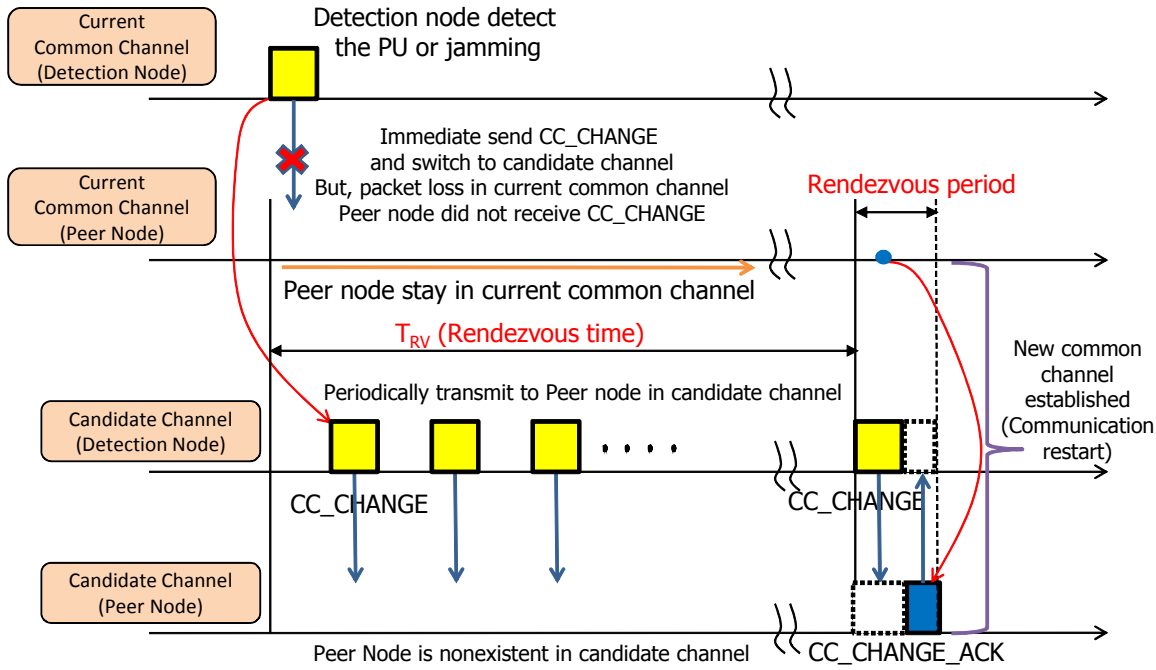


그림 7. 랑데부 시간에 의한 공통 채널 복원 과정
Fig. 7. Common channel reconstruction procedure by rendezvous time

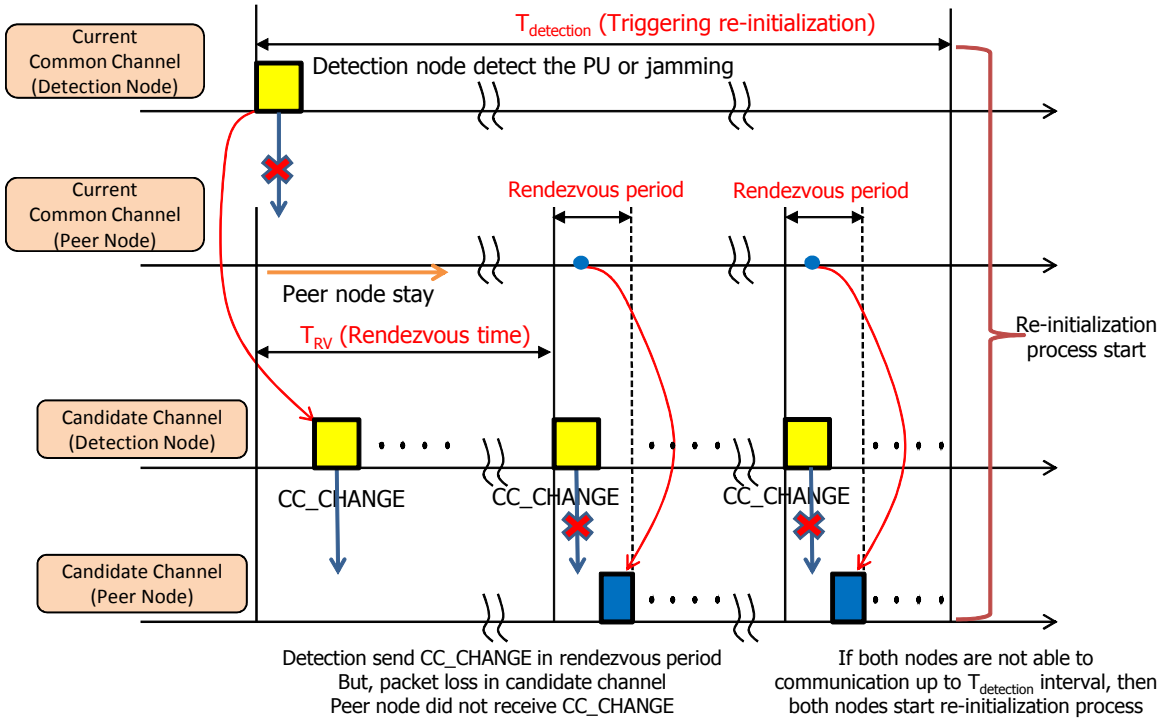


그림 8. $T_{detection}$에 의한 공통 채널 재 초기화 과정이 시작되는 경우
Fig 8. In case of common channel re-initialization procedure by $T_{detection}$

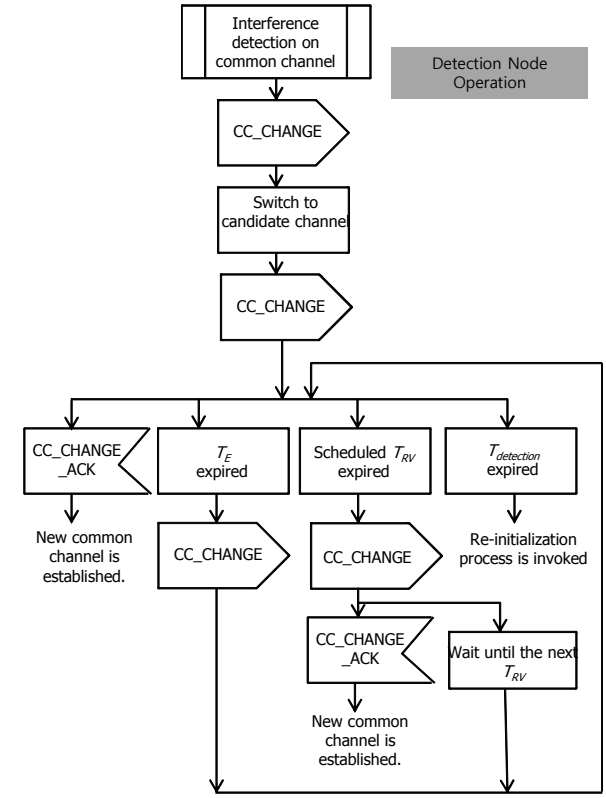
다. 이를 대비하여 그림 8과 같이 새로운 시간 파라미터인 $T_{detection}$을 적용하였다. 이 파라미터는 재 초기화 시간(re-initialization time)을 의미하며, 감지 노드가 주 사용자를 감지한 시간을 기준으로 시작되는 누적 시간이 $T_{detection}$을 넘게 되면, 공통 채널 재 초기화 과정을 수행하도록 한다. 이 경우, 두 무

www.dbpia.co.kr

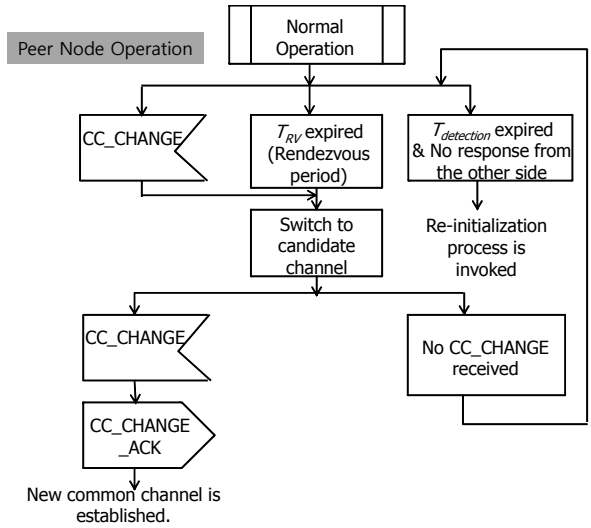
전기는 서로 공통으로 사용 가능한 채널들에 대한 정보를 기존의 통신을 통해서 획득할 수 있으므로, 기존과는 달리 이러한 채널들만을 대상으로 하여 채널 스위칭을 수행하면서 CC_SETUP_REQ과 CC_SETUP_RSP를 교환할 수 있다. 따라서 $T_{detection}$에 의해 발생하는 공통 채널 재 초기화 지연 시간은 초기의 공통 채널 초기화 지연 시간보다 더욱 단축될 수 있다.

2.3.2. 두 무전기가 모두 주 사용자 혹은 jamming attack을 감지하는 경우

두 무전기가 모두 감지 노드인 경우에는, 앞 절에서 언급한 감지 노드의 프로세스를 그대로 따르게 된다. 그러나 두 노드가 모두 후보자 채널에서 CC_CHANGE를 전송하도록 설정되어 있기 때문에, 동시에 CC_CHANGE를 전송하는 현상에 의해 상호간 메시지 교환이 성립하지 않을 수 있다. 이를 극복하기 위해, 감지 노드가 후보자 채널에서 전송을 수행할 때에는 back-off 메커니즘을 적용한 CSMA 방식으로 송신을 수행하도록 한다. 임의의 감지 노드는 피어 노드로부터 CC_CHANGE를 수신하는 경우, 자신 역시 감지 노드라 하더라도 CC_CHANGE_ACK를 전송하여 응답해야 한다. 이후의 과정은 앞 절에서와 동일하다. 그림 9는 이상에서 설명된 공통 채널 복원 과정을 감지 노드와 피어 노드의 관점에서 나타낸 흐름도이다.



(a) Detection node flow chart



(b) Peer node flow chart

그림 9. 공통 채널 복원 과정의 흐름도
Fig 9. Common channel reconstruction procedure flow chart

Ⅲ. 수치 해석

본 장에서는 제안된 공통 채널 초기화 과정에 대한 지연 시간과 복원 과정에 대한 지연 시간을 수치 해석을 통해 분석하였다. 표 1은 수치 해석을 위한 주요 파라미터들을 나타낸다. T_R은 CC_SETUP_RSP 전송 시간을 의미하며, 본 장에서는 이를 기준으로 CC_SETUP_REQ, CC_CHANGE, CC_CHANGE_ACK 전송시간을 표현하였다. 일반적으로 CC_SETUP_REQ 및 CC_CHANGE와 같은 요청 메시지는 사용 가능한 채널 리스트와 각 채널 별 상태 등의 다양한 정보를 포함하고 있는 반면, CC_SETUP_RSP 및 CC_CHANGE_ACK와 같은 응답 메시지는 선택된 채널 정보 및 메시지 수신 확인 정보 등의 최소화된 정보만을 포함하고 있다. 이는 요청 메시지가 응답 메시지보다 큰 전송 시간을 가지는 것을 의미하며, 본 장에서는 요청 메시지가 응답 메시지보다 k 배 (k>1) 크다고 가정하였다 (즉, $T_{CC_SETUP_REQ}$ (=T_Q) = T_{CC_CHANGE} = kT_R, $T_{CC_CHANGE_ACK}$ = T_R). 따라서 제어 메시지의 교환 시간은 T_E = kT_R+T_R

www.dbpia.co.kr

표 1. 사용된 파라미터 정의 및 실험 값
Table 1. The parameters used

Parameter	Description
T_R	unit message transmission time [ms]
N_C	number of licensed channels
R_{AC}	available channel ratio
SM	point-to-point channel similarity
R_{PL}	packet loss ratio
T_{RV}	rendezvous time [ms]

= $(k+1)T_R$ 이라 할 수 있다.

N_C는 DSA 네트워크의 모든 채널의 개수를 나타내고, R_{AC}는 전체 채널 중 임의의 부 사용자 사용 가능한 채널의 비율을 나타낸다. 따라서 임의의 부 사용자가 사용 가능한 채널의 개수는 $N_C \times R_{AC}$로 표현할 수 있다. SM은 채널 유사도를 나타내는 파라미터로서, 두 개의 부 사용자의 사용 가능한 채널 중에서 공통으로 사용 가능한 채널의 비율을 의미한다. 예를 들어 전체 DSA 네트워크에서 임의의 부 사용자가 사용할 수 있는 채널의 개수(즉, $N_C \times R_{AC}$)가 4개 이고, Caller와 Callee가 공통으로 사용 가능한 채널의 개수가 2개 일 경우 SM은 2/4 = 0.5의 값을 갖는다. 이때 SM과 R_{AC}는 서로 영향을 미치는 상호 관계적인 값으로 두 DSA 무전기의 사용 가능한 채널 비율 값에 따라서 채널 유사도의 범위는 다음과 같이 결정된다.

$$SM = [\max[2R_{AC}-1,0],1] \tag{1}$$

즉, R_{AC}가 0.5보다 작을 경우에는 SM의 범위는 [0, 1]이며, 0.5보다 클 경우에는 R_{AC}에 비례하여 범위의 최솟값이 증가하게 된다. R_{PL}과 T_{RV}는 각각 패킷 손실률과 랑데부 시간을 의미한다.

3.1. 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간

공통 채널 초기화 과정(common channel initialization procedure)의 지연 시간을 T_{CCIP}로 표기한다. T_{CCIP}를 유도하기 위해서는 세 가지의 경우를 고려해야 한다. 이들 각각은 Caller와 Callee가 공통으로 사용 가능한 채널에서 송수신을 수행하며 해당 채널에서 패킷 손실이 일어나지 않는 경우, Caller와 Callee가 공통으로 사용 가능한 채널에서 송수신을 수행하며 해당 채널에 패킷 손실이 일어나는 경우, 마지막으로, Caller와 Callee가 서로 다른 채널에서 송수신을 수행하는 경우에 해당한다.

Callee가 초기화 과정에서 현재 대기하고 있는 채널이 Caller의 사용 가능한 채널들 중 하나일 확률은, Callee의 모든 사용 가능한 채널들($N_C \times R_{AC}$) 중에서, Caller와 Callee가 공통으로 사용 가능한 채널의 개수인 N_{CAC}의 비율과 동일하며, 이는 다음과 같이 SM으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}&\Pr\{Callee\,listens\,Caller's\,AC\}\\&=\frac{N_{CAC}}{N_C\times R_{AC}}=\frac{N_C\times R_{AC}\times SM}{N_C\times R_{AC}}=SM\end{aligned} \tag{2}$$

반면, Callee가 현재 대기하고 있는 채널이 Caller의 사용 가능한 채널이 아닐 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}&\Pr\{Callee\,doesn't\,listen\,Caller's\,AC\}\\&=1-\frac{N_{CAC}}{N_C\times R_{AC}}=1-SM\end{aligned} \tag{3}$$

이를 이용하여, T_{CCIP}를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}&T_{CCIP}\\&=SM(1-R_{PL})\frac{\{N_C\times R_{AC}\times(k+1)T_R+(k+1)T_R\}}{2}\\&+SM\times R_{PL}\{N_C\times(k+1)T_R+T_{CCIP}\}\\&+(1-SM)\{N_C\times(k+1)T_R+T_{CCIP}\}\end{aligned} \tag{4}$$

식 (4)는 크게 세 항의 합으로 표현되어 있는데, 각각의 항은 위에서 설명한 세 가지의 경우 각각을 의미한다. 첫 번째 항에서의 $\{N_C\times R_{AC}\times(k+1)T_R+(k+1)T_R\}$는 두 DSA 무전기가 공통 채널을 설정하기 위해 Caller의 사용 가능한 모든 채널에서 Callee에게 CC_SETUP_REQ를 보내는 한 번의 사이클을 나타낸다. 따라서 이 사이클의 평균값이 첫 번째 경우의 지연 시간이라고 할 수 있다. 한 번의 패킷 교환 시간 $(k+1)T_R$을 추가적으로 더해준 것은 초기화 과정에서 두 무전기 사이에 최소한 한 번의 패킷 교환 시간이 필요하기 때문이다. 첫 번째 경우에서는 Caller의 사용 가능한 채널의 수($N_C \times R_{AC}$)가 지연 시간을 결정하는 중요한 변수가 됨을 알 수 있다. 두 번째 항의 경우는 Caller와 Callee가 동일한 채널에서 제어 메시지의

www.dbpia.co.kr

교환을 수행하지만, 패킷 손실에 의해 메시지 교환에 실패하는 경우를 의미한다. 이 경우, Callee가 해당 채널에서 대기하는 시간에 기본적인 초기화 과정의 지연 시간이 추가된다. 마지막 항에서는 Caller와 Callee가 동일한 채널에 있지 않은 경우에도 역시 Callee가 임의의 채널에서 대기하는 시간에 기본적인 초기화 과정의 지연 시간이 추가되는 것을 보인다. 식 (4)을 정리하면, T_{CCIP}를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{CCIP}=\frac{N_C(k+1)T_R}{1-R_{PL}}\left\{\frac{R_{AC}(1-R_{PL})}{2}+\frac{R_{AC}(1-R_{PL})}{2N_C}+R_{PL}+\frac{1}{SM}-1\right\} \quad (5)$$

만일, 패킷 손실이 없다고 가정하면 (즉, R_{PL}=0), 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간은 다음과 같다.

$$T_{CCIP}=N_C(k+1)T_R\left\{\frac{R_{AC}}{2}+\frac{R_{AC}}{2N_C}+\frac{1}{SM}-1\right\} \quad (6)$$

3.2. 공통 채널 복원 과정의 지연 시간

앞 절에서 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간을 유도 했던 것과 유사하게 공통 채널 복원 과정 (common channel reconstruction procedure)의 지연 시간인 T_{CCRP}를 세 가지의 경우로 나누어 유도할 수 있다. 첫 번째 경우는 두 개의 부 사용자가 동시에 주 사용자를 감지하는 경우이고, 두 번째 경우는 하나의 부 사용자만이 주 사용자를 감지하여 서로 통신하고 있었던 채널에서 CC_CHANGE를 피어 노드가 수신하는 경우이다. 마지막은 하나의 부 사용자가 주 사용자를 감지했지만 공통 채널에서 패킷 손실이 발생하여 피어 노드가 CC_CHANGE를 수신하지 못하는 경우이다. 이를 식 (4)-(6)와 같이 전개하면, 다음과 같이 T_{CCRP}를 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}T_{CCRP}=&SM\left\{(k+1)T_R\times\frac{1}{1-R_{PL}}+kT_R\right\}\\&+(1-SM)(1-R_{PL})\left\{(k+1)T_R\times\frac{1}{1-R_{PL}}+kT_R\right\}\\&+(1-SM)R_{PL}\\&\left\{\frac{T_{RV}}{2}+(k+1)T_R+(T_{RV}+(k+1)T_R)\left(\frac{1}{1-R_{PL}}-1\right)\right\}\end{aligned} \quad (7)$$

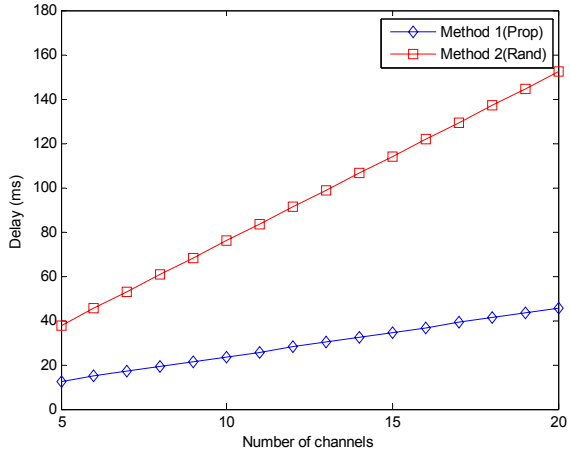
식 (7)의 첫 번째 항과 두 번째 항의 kT_R은 CC_CHANGE를 전송하는 시간을 의미하며, $(1-R_{PL})^{-1}$은 성공적으로 메시지가 교환될 때까지의 평균 시행 횟수를 나타낸다. SM을 두 개의 부 사용자가 주 사용자를 동시에 감지하는 경우, 1-SM을 하나의 부 사용자만이 주 사용자를 감지하는 경우를 의미하는 것으로 간주하였다. 식 (7)에서는 두 DSA 무전기가 후보자 채널에서 동시에 메시지를 전송하는 경우와 재 초기화가 발생하는 경우를 고려하지 않았다.

Ⅳ. 성능평가

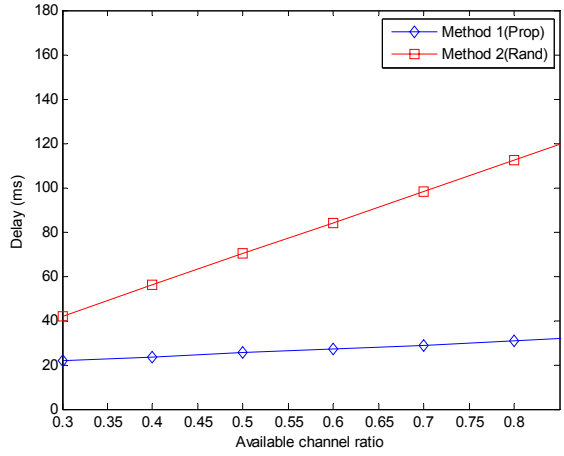
본 장에서는 3장에서 기술한 수치 해석을 바탕으로 제안된 공통 채널 설정 방법에 대한 성능 평가 결과를 기술한다. Data rate는 1Mbps로, CC_SETUP_RSP 크기는 125byte로 가정하였다 (즉, T_R = 1ms). 본 성능 평가에서는 k=2로 설정하였다 (즉, $T_{CC_SETUP_REQ}$ (=T_Q) = T_{CC_CHANGE} = $2T_R$, $T_{CC_CHANGE_ACK}$ = T_R). 따라서, 임의의 제어 메시지의 교환 시간은 T_E = $2T_R$ + T_R = $3T_R$이다. 또한, 제안된 방법과의 비교를 위해, Callee의 대기 시간을 기존의 $N_C \times T_E$보다 짧게 설정하며, 채널 스위칭 순서가 random인 방법을 함께 평가하였다. 군용 DSA 통신 시스템을 고려한 Point-to-point 공통 채널 환경에 대한 본 연구와 같은 환경이 기존에 많이 사용되어지지 않았다. 또한, 기존 유사 연구들[3]에서는 두 DSA 단말 사이의 세부적인 통신 절차가 자세히 기술되어 있지 않고 조건이 다르기 때문에 이와 같은 비교 방법을 선택하였다. 본 논문에서는 이를 Random 채널 설정 방법이라 표현하였으며, Callee의 대기 시간을 $5T_R$로 설정하였다. Callee는 사용 가능한 채널들 중 하나에서 $5T_R$의 시간 동안 Caller의 CC_SETUP_REQ를 받지 못하면 바로 다음 다른 사용 가능한 채널 중에 하나를 무작위로 (randomly) 선택하여 스위칭하고, 다시 Caller의 CC_SETUP_REQ를 송신하기 위해 대기하는 과정을 반복한다.

그림 10은 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간을 네 가지 파라미터 N_C, R_{AC}, SM, 그리고 R_{PL}의 변화에 따라 관찰한 결과를 보인다. 그림 10(a)와 그림 10(b)에는 각각 전체 채널의 개수와 사용 가능한 채널의 비율을 증가하면서 다른 변동 파라미터의 값은 고정시켜 측정한 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간을 측정한 것이다. 그림 10(a)에서는

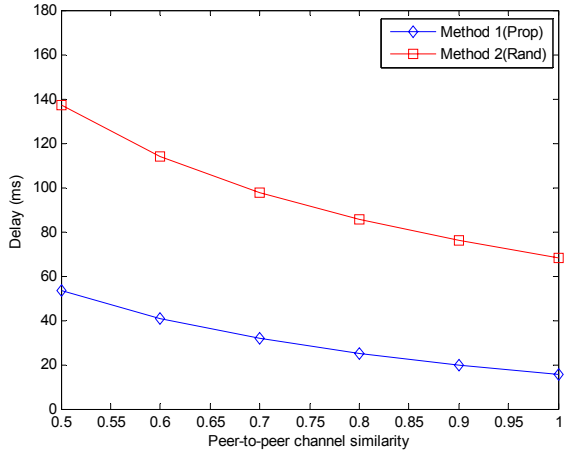
www.dbpia.co.kr



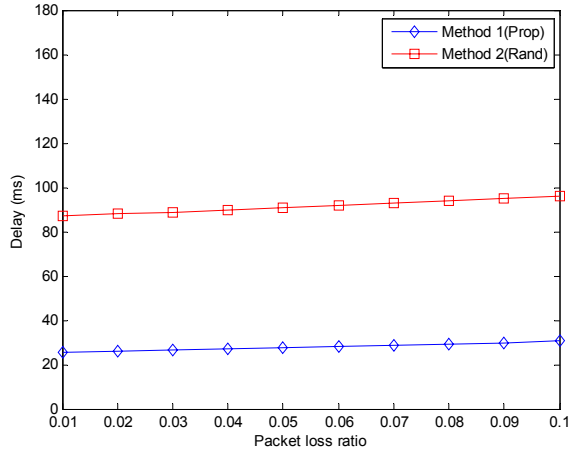
(a) T_{CCRD} vs. N_C (R_{AC}=0.65, SM=0.75, R_{PL}=0.055)



(b) T_{CCRD} vs. R_{AC} (N_C=12, SM=0.75, R_{PL}=0.055)



(c) T_{CCRD} vs. SM (N_C=12, R_{AC}=0.65, R_{PL}=0.055)

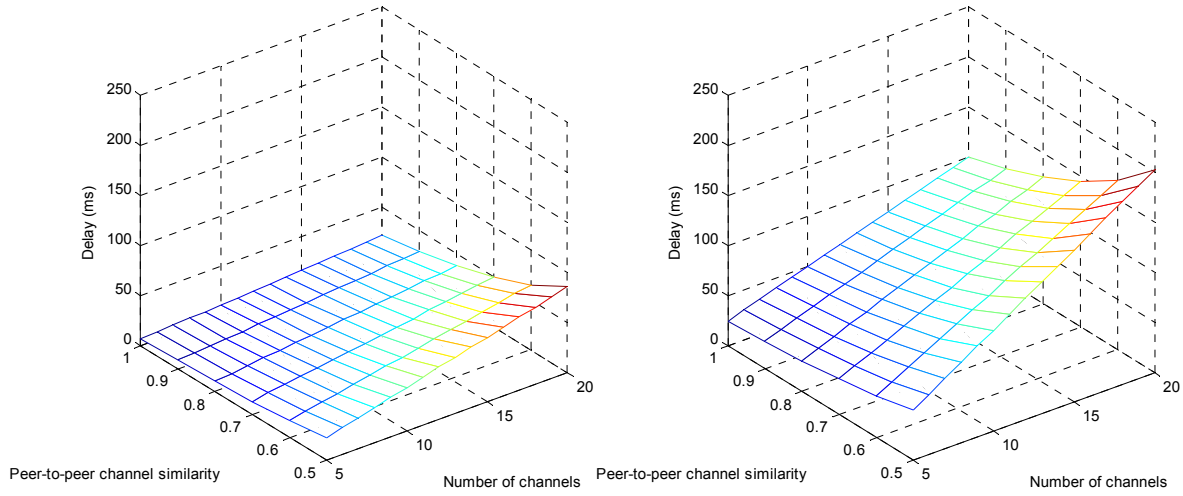


(d) T_{CCRD} vs. R_{PL} (N_C=12, R_{AC}=0.65, SM=0.75)

그림 10. 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간
Fig. 10. Common channel initialization setup delay

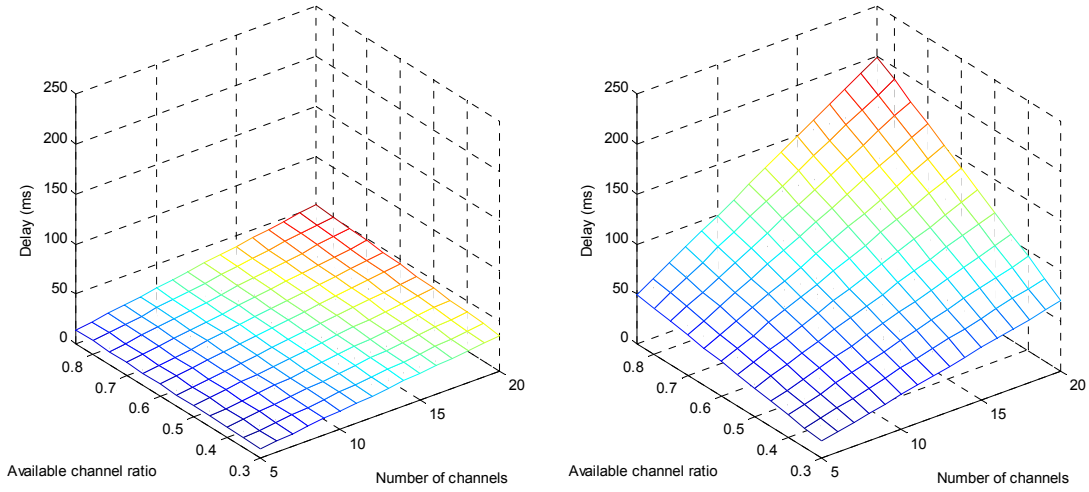
R_{AC}=0.65, SM=0.75, R_{PL}=0.055를 사용하였으며, 그림 10(b)에서는 N_C=12, SM=0.75, R_{PL}=0.055를 사용하였다. 이때 3장의 식 (1)에서 설명한 R_{AC}와 SM의 상호 관계에 따라서 SM=0.75일 때 제안된 공통 채널 설정에 관련된 유효한 R_{AC}의 최댓값은 0.85가 된다. 두 결과에서 확인 할 수 있듯이, N_C 및 R_{AC}가 증가 할수록 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간이 증가한다. 이는 전체 채널의 개수가 증가 할수록, Callee의 채널 요청 대기 시간이 길어지고, 또한 사용 가능한 채널의 비율이 높아질수록 Caller가 동일한 채널에서 CC_SETUP_REQ를 보내는 한 번의 사이클이 길어지기 때문이다. 그림 10(c)는 SM의 변화에 따른 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간 결과이다. 두 DSA 무전기의 채널 유사도가 증가할수록 Caller와 Callee가 서로 같은 채널에서 만날 확률이 높아지기 때문에 초기화 과정의 지연 시간이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그림 10(d)는 패킷 손실률에 따른 초기화 과정의 지연 시간을 측정한 것이며, 패킷 손실률이 증가 할수록 지연 시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 10과 같이 동일한 조건 하에서 Random 채널 설정 방법은 제안된 방법보다 공통 채널 초기화 지연 시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 채널 요청 대기 시간을 짧게 설정한다고 해서 모든 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간이 감소하지는 않는다는 것을 의미한다. 특히, Random 방식에서는 Caller와

www.dbpia.co.kr



(a) 제안된 공통 채널 초기화 방법 (b) Random 방식에 의한 공통 채널 초기화 방법

그림 11. N_C와 SM의 변화에 따른 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간 (R_{AC}=0.65, R_{PL}=0.055)
Fig. 11. Common channel initialization setup delay according to different N_C and SM



(a) 제안된 공통 채널 초기화 방법 (b) Random 방식에 의한 공통 채널 초기화 방법

그림 12. N_C와 R_{AC}의 변화에 따른 공통 채널 초기화 과정의 지연 시간 (SM=0.75, R_{PL}=0.055)
Fig. 12. Common channel initialization setup delay according to different N_C and R_{AC}

Callee가 동일한 시간대에 동일한 채널에 위치할 확률이 작다는 점이 초기화 지연 시간의 증가를 초래하게 된다. 따라서 Caller와 Callee간에 채널 동기화를 보장할 수 있도록 하는 안정적인 채널 요청 대기 시간을 우선적으로 설정하는 것이 보다 신속한 공통 채널 초기화를 보장할 수 있음을 알 수 있다.

그림 11과 그림 12는 그림 10에서 보여준 결과들을 보다 다양한 파라미터에 대해 관찰한 결과이다. 그림 11은 DSA 네트워크의 채널 개수를 12개, 사용 가능한 채널의 비율을 0.65로 고정시키고 채널 개수와 채널 유사도를 변화해 가면서 측정한 공통 채널 설정 초기화 과정의 지연 시간 결과이며, 그림 12는 채널 유사도와 패킷 손실률을 고정시키고 채널 개수와 사용 가능한 채널을 변화해가면서 측정한 초기화 과정의 지연 시간 결과이다. 각각의 그림에서 좌측은 제안된 공통 채널 초기화 방법에

www.dbpia.co.kr

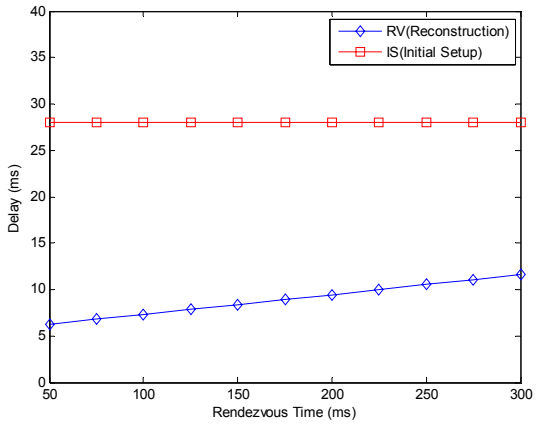


그림 13. 공통 채널 복원 과정과 초기화 과정의 지연 시간 비교
Fig. 13. Compare common channel initialization procedure and reconstruction procedure

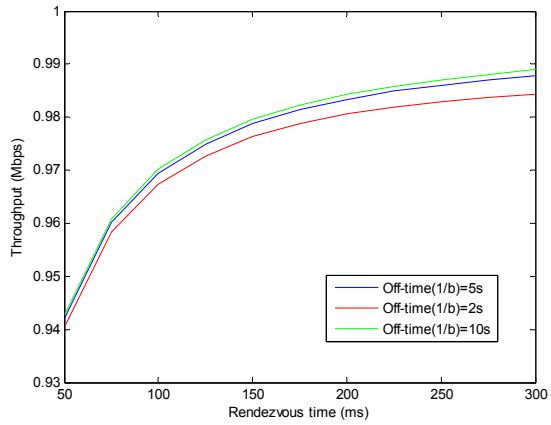


그림 14. 처리량 측정 결과
Fig. 14. Throughput for the rendezvous time

대한 지연 시간을, 우측은 Random 방식을 적용한 경우에 대한 지연 시간을 의미한다. 그림 10의 결과에서와 동일하게, 제안된 방법이 Random 방식에 비해 보다 우수한 초기화 지연 시간 성능을 보장함을 알 수 있다.

그림 13은 공통 채널 복원 과정에 대한 지연 시간을 초기화 과정의 지연 시간과 비교한 것이다. 기본적으로 복원 과정의 지연 시간이 초기화 과정의 지연 시간보다 더 작다는 것을 확인할 수 있다. 이는 두 무전기가 통신을 시작하는 단계에서 후보자 채널을 공유하는 경우, 공통 채널 복원 과정에서 해당 후보자 채널로 즉시 이동함으로써 불필요한 채널 스위칭 오버헤드를 감소시킬 수 있기 때문이다. 또한, 랑데부 시간을 길게 설정 할수록 공통 채널 복원 과정의 지연 시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그림 14는 공통 채널이 설정된 경우, 랑데부 시간에 따른 처리량(throughput)의 변화를 관찰한 결과이다. 본 성능 평가에서 사용된 처리량(throughput)은 다음과 같이 계산된다.

$$Normalized\,Achievable\,Throughput$$

$$= \frac{E[off]+E[recon]-E[recon]-T_E \times E[n]}{E[off]+E[recon]}$$

$$= \frac{E[off]-T_E \times E[n]}{E[off]+E[recon]} \qquad (8)$$

$$= \frac{E[off]-T_E \times \left(\frac{E[off]}{T_{RV}+T_E}\right)}{E[off]+E[recon]}$$

$E[off]$는 주 사용자가 채널을 사용하지 않는 평균 시간을 의미하며, $E[recon]$은 공통 채널 복원 과정의 평균 지연 시간을, $E[n]$은 $E[off]$에 포함된 랑데부 구간(rendezvous period)의 평균적인 횟수를 의미한다. 두 무전기들은 매 랑데부 구간마다 후보자 채널에서 제어 메시지를 송수신하도록 설정되어 있기 때문에, 해당 구간 동안 데이터 송수신을 할 수 없다.

그림 14는 랑데부 시간을 길게 설정하거나 $E[off]$ 값이 커질수록 두 DSA 무전기간의 처리량이 증가하는 것을 보인다. 그림 13과 그림 14의 결과 비교를 통해, 랑데부 시간의 증가에 따라 채널 복원 과정의 지연 시간과 가능한 처리량 간에 tradeoff가 존재하는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 point-to-point 통신을 하는 DSA 네트워크 환경의 군용 무전기 사이에서 신속하고 신뢰적인 동적 공통 제어 채널을 설정하는 방법과 공통 채널을 복원하는 방법을 제안하였다. 군용 무전기간 서로 다른 채널 환경을 고려하여 주 사용자에게 주는 간섭을 최소화 하면서 신속하게 공통채널을 설정하여 통신할 수 있도록 한다. 또한 운용중인 공통채널에 주 사용자의 출현 시 즉각적으로 공통 채널에서의 전송을 중단하고, 사전에 결정된 후보 채널로 이동할 수 있도록 한다. 다양한 채널 상황을 고려한 채널 설정 및 재설정 시간의 수치해석 모델을 제시하였다. 모의실험 결과는 네트워크의 채널의 수가 증가하거나 사용 가능한 채널의 비율이

www.dbpia.co.kr

높을수록 또는 패킷 손실률이 클수록 공통 채널을 설정하기까지의 지연 시간이 증가하는 것을 확인 할 수 있으며, 두 DSA 무전기 사이의 사용 가능한 채널의 유사도가 비슷할수록 공통 채널 설정에 관련된 지연 시간이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 공통 채널을 사용하지 못하게 되었을 경우 두 무전기 간의 새로운 공통 채널을 설정하는 채널 복원과정에 대한 채널 재설정 실험 결과를 통해 채널 초기화 과정에 비해서 채널 복원 과정의 지연 시간이 현저히 낮다는 것을 확인 할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 방법이 모든 기준 파라미터들에 대해서 비교 대상으로 고려한 random 채널 설정 방법보다 더 짧은 지연 시간을 보장함을 보였다. 제안한 공통 채널 설정 방법은 군용 인지 무선 기반 무전 시스템 운용에 있어서 안정성, 신뢰성, 그리고 신속성 측면에서 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

References

[1] J. Mitola and G. Q. Maguire, “Cognitive radio: making software radios more personal,” *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.

[2] D. Lambert and J. Scholz, “A dialectic for network centric warfare,” *in Proc. The 10th Int. Command Control Res. Technol. Symp. (The 10th ICCRTS)*, pp. 26-39, MacLean, USA, Jun. 2005.

[3] Brandon F. Lo, “A survey of common control channel design in cognitive radio networks,” *Phys. Commun. (PHYCOM)*, vol. 4, no. 1, pp. 26-39, Mar. 2011.

[4] C. Cormio and K. R. Chowdhury, “An adaptive multiple rendezvous control channel for cognitive radio wireless ad hoc networks,” *in Proc. IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. (PERCOM 2010)*, pp. 346-351, Mannheim, Germany, Apr. 2010.

[5] K. Bian, J. M. Park, and R. Chen, “Control channel establishment in cognitive radio networks using channel hopping,” *IEEE J. Sel. Areas Commun. (JSAC)*, vol. 29, no. 4, pp 689-703, Apr. 2011.

[6] L. A. DaSilva and I. Guerreiro, “Sequenced-based rendezvous for dynamic spectrum access,” *in Proc. IEEE Dyn. Spectr. Access Netw. (DySPAN 2008)*, pp. 1-7, Chicago, USA, Oct. 2008.

[7] T. Chen, H. Zhang, G. M. Maggio, and I. Chlamtac, “CogMesh: a clusterbased cognitive radio network,” *in Proc. IEEE Dyn. Spectr. Access Netw. (DySPAN 2007)*, pp. 168-178, Dublin, Ireland, Apr. 2007.

[8] L. Lazos, S. Liu, and M. Krunz, “Spectrum opportunity-based control channel assignment in cognitive radio networks,” *in Proc. IEEE Conf. Sens. Mesh Ad Hoc Commun. Netw. (IEEE SECON 2009)*, pp. 1-9, Rome, Italy, Jun. 2009.

[9] C. Cordeiro, K. Challapali, “C-MAC: a cognitive MAC protocol for multi-channel selection in multichannel ad-hoc cognitive radio networks,” *in Proc. IEEE Dyn. Spectr. Access Netw. (DySPAN 2007)*, pp. 147-157, Dublin, Ireland, Apr. 2007.

[10] J. Y. Kim, E. C. Kim, and J. M. Lee, “Jamming technology in military communications,” *J. Kor. Info. Comm. Soc. (J-KICS)*, vol. 26, no. 3, pp. 32-40, Mar. 2009.

[11] C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru, “IEEE 802.22: An Introduction to the first wireless standard based on cognitive radios,” *J. Commun.(JCM)*, vol. 1, no. 1, pp. 38-47, Apr. 2006.

김 민 규 (Min-Gyu Kim)

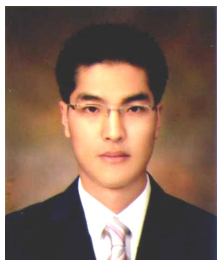
2012년 2월 인하대학교 정보통신공학과(공학사)

2012년 2월~현재 인하대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> Cognitive Radio, Common Control Channel

www.dbpia.co.kr

최 재 각 (Jae-Kark Choi)



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)

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

장 용 업 (Yong-Up Jang)

2003년 2월 한양대학교 전자전기공학부(공학사)
2010년 1월 KAIST 전기및전자공학과(공학박사)
2010년 3월~8월 KAIST 정보전자연구소 박사후연구원
2010년 9월~2011년 10월 KAIST IT융합연구소 선임연구원
2011년 11월~현재 국방과학연구소 선임연구원
<관심분야> Cognitive radio 네트워크, 협력 릴레이 네트워크, 다중사용자 MIMO 스케줄링, Limited 피드백 무선 통신 네트워크

정 길 수 (Kilsoo Jeong)

1999년 2월 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 3월 토요하시기술과학대학 (일본) 정보공학과 (공학석사)
2007년 3월 토요하시기술과학대학(일본) 전자정보공학과 (공학박사)
2007년 4월~2009년 9월 ATR(일본) 연구원
2009년 10월~2011년 10월 한국전자통신연구원 선임연구원
2011년 11월~현재 국방과학연구소 선임연구원
<관심분야> 이동통신, 디지털 신호처리, 다중사용자 간섭제거

이 광 억 (Kwang-Eog Lee)

1988년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1990년 3월~현재 국방과학연구소 책임연구원
<관심분야> 위성통신, 전술통신, 인지형/지능형 무전기

www.dbpia.co.kr