

Infrastructure Mode IEEE 802.11 무선랜 시스템에서 단말간의 다중 직접 통신을 위한 효율적인 폴링 방식

최우용[†]

동아대학교 산업경영공학과

Efficient Polling Scheme for Multiple Direct Link Communication Between STAs in Infrastructure Mode IEEE 802.11 Wireless LANs

Woo-Yong Choi

Department of Industrial and Management Systems Engineering, Dong-A University, Busan 604-714

In this paper, a modified PCF (Point Coordination Function) MAC (Medium Access Control) protocol is proposed to support the multiple direct link communication between STAs (STations) in infrastructure mode IEEE 802.11 wireless LANs. By the proposed MAC protocol, the direct link communication between STAs, which are located within the communication range of each other, is allowed without the use of AP (Access Point) as a relay. Moreover, when multiple direct data communication between STAs can be simultaneously performed with a sufficiently small interference, multiple simultaneous direct link communication is allowed for the efficient use of radio bandwidth. AP polls STAs to grant the transmission opportunities using the direct link communication by transmitting the polling frames to STAs. An efficient polling method for granting the transmission opportunities to STAs is proposed to reduce the number of the polling frame transmissions and enhance the PCF MAC performance.

Keywords: Wireless LAN, MAC, PCF, Direct Link Communication

1. 서론

현재 무선랜 시스템은 관공서, 가정, 병원, 회의장 등의 핫스팟 영역에서 무선 인터넷 서비스를 가능하게 하기 위하여 전세계적으로 설치되고 있다(Wu, Huang and Chao, 2005) 이러한 무선랜 시스템을 통한 인터넷 서비스는 기존의 유선랜 시스템에 비해서 사용자의 이동성을 보장하며 시스템의 설치비용과 유지 보수비용을 최소화하는 장점을 가진다(Brignol and Litzenburger, 2003).

5 GHz 주파수 대역에서 서비스되는 IEEE 802.11a 시스템은 물리계층의 전송방식으로써 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 사용하여 최대 54 Mbps의 전송률을 지원하며 2.4 GHz 주파수 대역에서 서비스되는 IEEE 802.11b 시스템과 IEEE 802.11g 시스템은 각각 최대 11 Mbps와 54 Mbps로 데이터를 전송할 수 있다(IEEE Std 802.11a, 1999; IEEE Std 802.11b, 1999; IEEE Std 802.11g, 2003) 이러한 모든 세가지 타입의 무선랜 시스템은 MAC(Medium Access Control) 프로토콜로써 best effort 서비스를 목표로 개발된 DCF 프로토콜과 VoIP(Voice over Internet Protocol)와 같은 실시간 서비스를 위한 PCF(Point Coordination Function) 프로토콜을 사용하고 있다(IEEE Std 802.11, 1999).

IEEE 802.11 무선랜 시스템은 AP(Access Point)가 존재하여 다른 무선랜이나 인터넷과 같은 외부망과의 연결이 가능한 infrastructure mode와 외부망과의 연결이 불가능한 ad hoc mode를 지원할 수 있다. Ad hoc mode에서는 동일한 무선랜에 존재하는 두개의 단말간에 직접적인 데이터 전송이 가능한 반면

다른 무선랜이나 인터넷과 같은 외부망과의 연결이 가능한 infrastructure mode와 외부망과의 연결이 불가능한 ad hoc mode를 지원할 수 있다. Ad hoc mode에서는 동일한 무선랜에 존재하는 두개의 단말간에 직접적인 데이터 전송이 가능한 반면

[†] 연락처: 최우용, 604-714 부산시 사하구 하단동 840, 동아대학교 산업경영공학과, Fax : 051-200-7697

E-mail : wychoi77@dau.ac.kr

2006년 04월 접수; 2006년 10월 수정본 접수; 2006년 11월 게재 확정.

infrastructure mode에서는 이러한 단말간의 직접적인 데이터 전송이 불가능하여 반드시 AP를 거쳐서 데이터를 전송하여야 한다. 이러한 infrastructure mode에서의 직접적인 데이터 전송이 불가능한 제약으로 인하여 동일한 무선랜에 존재하는 단말간의 데이터 전송시 두번의 데이터 전송(단말에서 AP로의 전송과 AP에서 단말로의 전송)이 필요함으로 인하여 전송 지연 시간과 무선자원의 효율성의 측면에서 문제점이 발생한다 예를 들어 가정에서 디지털 TV와 캠코더 등의 무선통신 장치가 있다고 생각해 보자. 이 때 캠코더에 있는 영상과 음성을 디지털 TV로 무선으로 전송하여 가족이 관람을 하고자 하는 경우 직접적인 데이터 전송방식을 사용하지 않으면 캠코더에서 AP로 AP에서 디지털 TV로 두번의 전송이 필요하다. 하지만 직접적인 데이터 전송방식이 만약 가능하다면 작은 지연시간으로 훨씬 효율적으로 전송할 수 있다.

Infrastructure mode 무선랜 시스템에서 단말간의 직접적인 데이터 전송이 가능하도록 하기 위한 새로운 MAC 프로토콜에 대한 연구는 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)에서 이루어져 왔다. IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)에서 제안된 방식은 모두 단말간의 직접적인 데이터 전송을 위하여 이전에 먼저 AP를 통한 단말(STation)간의 연결설정과정이 필요하다. Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)에서 제안된 방식에 따르면 AP가 연결설정과정에서 단말간의 직접적인 통신이 가능한지를 판단하도록 하지만 이를 위한 구체적인 방식이 제안되어 있지 않다. 그리고 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)에서도 <Figure 1>과 같은 STA 1에서 STA 2로의 직접 통신을 위한 4단계의 연결설정과정에서 AP가 단말간의 직접적인 통신이 가능한지 판단하기 위한 방식이 제안되어 있지 않다. 특히 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 방식은 모두 무선환경의 특성상 서로 간섭을 주지 않을 때 여러 개의 직접적인 데이터 전송이 동시에 일어날 수 있는 경우를 고려하고 있지 않은데 여러 개의 직접적인 데이터 전송이 동시에 가능한 경우를 고려하면 무선랜 시스템의 데이터 전송효율은 향상될 것이다

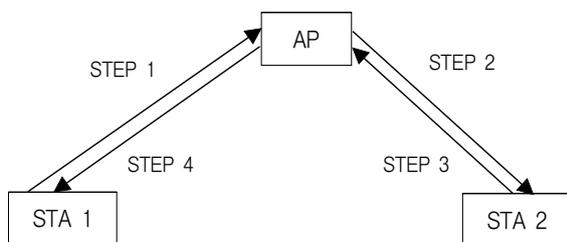


Figure 1. Four-step process for establishing direct link connection

본 논문에서는 infrastructure mode IEEE 802.11 무선랜 시스템의 실시간 통신을 위해 제안된 MAC(Medium Access Control) 프로토콜인 PCF 프로토콜을 일부 수정하여 단말간의 다중 직접 통신을 지원하기 위한 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다.

제안한 MAC 프로토콜에 의하여 서로 직접적인 데이터 전송 가능 영역에 있는 두개의 단말은 AP를 통한 데이터 전송 없이 서로 직접적으로 데이터를 전달할 수 있다. 이뿐만 아니라, 이러한 여러개의 직접적인 데이터 전송이 동시에 수행되더라도 직접적인 데이터 통신간에 서로 간섭이 충분히 작은 경우 여러개의 직접적인 데이터 전송이 동시에 이루어질 수 있다. 이러한 단말간의 직접적인 데이터 전송이 필요하고 또한 가능한 경우 AP는 전송하고자 하는 단말에 폴링 프레임 전송함으로써 직접적인 데이터 전송기회를 부여하게 되는데 본 논문에서는 필요한 폴링 프레임의 전송 횟수를 줄임으로써 효율적인 다중 직접 통신을 위한 새로운 전송방식을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 절에서는 본 논문에서 사용하는 PCF 프로토콜에 대해서 간단히 설명한다. 그리고 제 3절에서는 PCF 프로토콜을 수정하여 단말간의 다중 직접 데이터 전송이 가능한 새로운 MAC 프로토콜과 함께 프로토콜에서 필요한 폴링 프레임의 전송 횟수를 줄이기 위한 새로운 폴링 방식을 설명한다. 그리고 제 4절에서는 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜과 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)에서 제안한 방식의 실시간 서비스 용량분석과 이에 대한 비교를 통하여 제안한 MAC 프로토콜의 장점을 설명한다. 마지막으로 제 5절에서 결론을 맺는다.

2. PCF 프로토콜

PCF 프로토콜은 실시간 서비스를 제공하기 위해 제안된 MAC 프로토콜으로써 AP 내에 PC(Point Coordinator)가 존재하여 각 STA은 PC의 폴링 프레임을 전송 받았을 때에만 프레임 전송할 권리를 가진다.

PCF에서 AP는 PIFS(PCF InterFrame Space) 시간을 이용하여 채널 액세스를 시도한다. CFP(Contention Free Period) 내에서 AP는 폴링 프레임을 STA에 전송하여 폴링 프레임 하나당 하나씩의 데이터 프레임 전송할 기회를 해당되는 STA에 부여한다. AP는 PIFS를 이용하여 비콘 프레임을 전송하며 CFP 내에서 비콘 프레임을 전송한 후 SIFS(Short InterFrame Space) 시간을 이용하여 STA ID를 기준으로 라운드 로빈 방식으로 각 STA을 순서대로 폴링한다. 그리고 AP로부터 폴링 프레임을 수신한 STA은 SIFS 시간 이후에 데이터 프레임을 AP로 전송한다. 만약 AP의 폴링에 대해서 어떤 STA이 SIFS 시간 내에 응답하지 않으면 직전 폴링 프레임 전송 시간을 기준으로 PIFS 시간 이후에 다음 STA에 폴링 프레임을 전송한다. CFP 내에서 DCF 프로토콜에 의한 STA의 채널 액세스를 막기 위하여 AP는 비콘 프레임 전송시 모든 STA의 NAV(Network Allocation Vector) 값을 CFP 시간으로 조정하도록 명령한다. 각 STA의 NAV는 DCF 프로토콜을 통하여 채널을 액세스할 수 없는 앞으로 남은 시간을 의미한다. 이러한 NAV 값의 조정으로

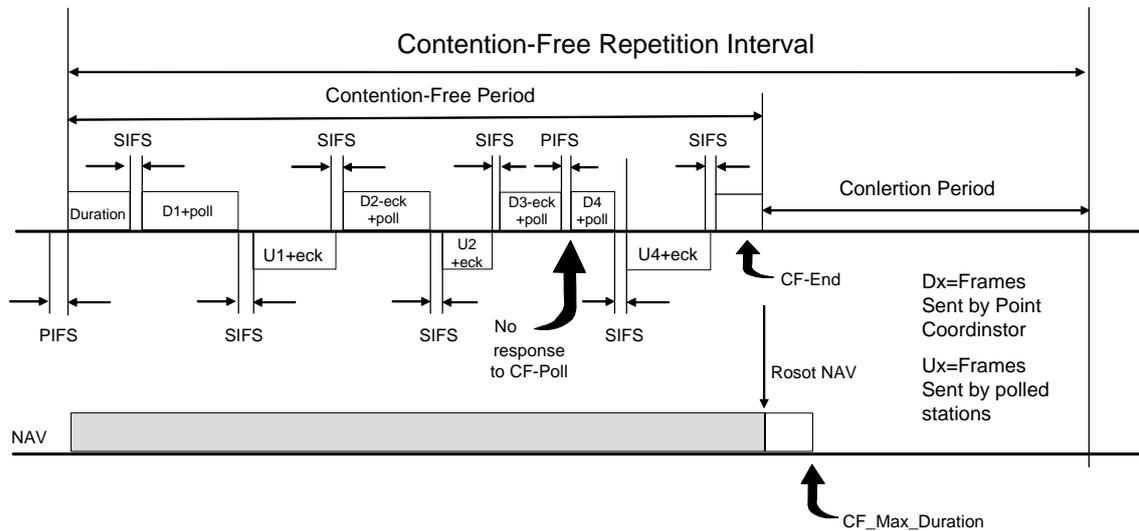


Figure 2. PCF Polling Method

인하여 모든 STA는 CFP 내에서 AP의 폴링 없이 데이터 프레임 전송할 수 없게 된다(<Figure 2> 참조).

3. 새로운 MAC 프로토콜

무선랜 내의 단말과 AP간의 association/reassociation/disassociation 과정을 통하여 AP는 CFP(Contention-Free Period) 내에서 전송기회를 부여해야 하는 단말의 리스트를 관리할 수 있다. 무선랜 내에 존재하는 이러한 단말의 개수를 N이라 한다. DCF와 PCF 프로토콜을 통해 서비스되는 현재의 무선랜에서는 PCF 프로토콜에 의해 서비스되는 CFP와 DCF에 의해 서비스되는 CP(Contention Period)가 시간상에서 반복적으로 나타난다(IEEE Std 802.11, 1999). 본 논문에서는 CFP를 여러개의 SP(Sub-Period)로 나누고 각 SP를 현재의 PCF 프로토콜과 유사한 방식으로 무선랜 내의 N개의 각 단말에 대해 한번 혹은 두 번씩의 폴링을 함으로써 각 단말마다 한번 혹은 두 번씩의 전송기회를 부여하는 구간인 PI(Polling Interval)와 단말간의 직접적인 데이터 전송을 요청한 각 단말에 대해서 한 번씩의 직접적인 데이터 전송기회를 부여하기 위한 구간인 DCPI(Direct Communication Polling Interval)로 다음의 <Figure 3>과 같이 나누고자 한다. DCPI에서 AP는 단말간 연결정보와 간섭정보를 바탕으로 한번의 폴링 프레임의 전송을 통하여 여러개의 단말이 동시에 단말간 직접 전송을 하도록 할 수 있다.

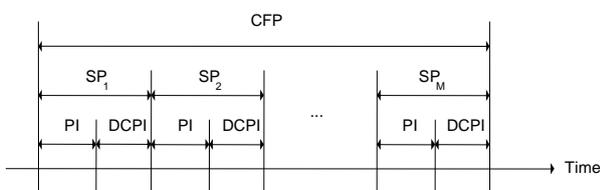


Figure 3. Structure of CFP

<Figure 3>에서 PI에서는 기존의 PCF 프로토콜과 유사한 방식으로 데이터 전송이 이루어진다. 그리고 DCPI에서는 PI에서 AP에 의해 수집된 무선랜 내의 단말간의 연결정보와 간섭정보 그리고 단말로부터의 직접적인 데이터 전송에 대한 요청정보를 바탕으로 단말간의 직접적인 데이터 전송이 이루어진다. 그러나 PI에서 단말로부터 직접적인 데이터 전송에 대한 요청이 없거나 직접적인 데이터 전송요청이 있다 하더라도 단말간의 연결정보를 분석한 결과 해당되는 직접적인 데이터 전송이 불가능하다고 판단될 경우 다음 DCPI에서 직접적인 데이터 전송이 이루어지지 않고 그다음 SP로 바로 넘어간다. PI에서 각 단말이 요청한 직접적인 데이터 전송에 대한 서비스는 단말간의 연결정보를 분석하여 직접적인 데이터 전송이 가능한 것에 대해서만 DCPI에서 실제로 이루어진다. 만약 DCPI에서 단말간의 직접적인 데이터 전송이 이루어졌을 경우 DCPI에서 단말간의 직접적인 전송기회를 가지지 못한 단말에 대해서는 다음 PI에서 한번의 전송기회가 추가로 부여된다. 즉, PI에서 AP가 각 단말을 STA ID를 기준으로 순서대로 폴링할 때 직전의 DCPI에서 직접적인 데이터 전송기회를 가지지 못한 단말에 대해서는 두 번의 폴링이 이루어지며 이러한 단말은 두 번의 데이터 전송기회를 가진다. 이것은 각 SP에서 각 단말이 동일한 횟수의 전송기회를 가지도록 하기 위한 것이다. PI에서 각 단말은 최대 한개의 데이터 프레임에 대해서 직접적인 데이터 전송요청을 할 수 있다고 한다. 그리고 각 단말은 직접적인 데이터 전송요청을 하기 이전에 <Figure 1>의 연결설정과정을 먼저 수행해야 한다. 이러한 연결설정과정은 PI에서 이루어지며 AP가 PI에서 수집하는 단말간의 연결정보를 사용하여 이루어질 수 있다. 연결설정과정에서 AP는 단말간의 직접적인 통신이 가능한지 판단하기 위하여 단말간의 연결정보를 사용한다. 이러한 단말간 연결정보와 간섭정보를 AP가 수집하는 방법은 다음 단락에서 설명한다.

단말 i는 현재의 상태에서 자신이 전송신호를 수신할 수 있

는 다른 단말의 MAC 주소의 집합, S_i 와 자신의 데이터 수신을 간섭할 수 있는 다른 단말의 MAC 주소의 집합, T_i 를 관리해야 하고 AP는 각 단말로부터 전달된 연결정보와 간섭정보를 바탕으로 N 개의 단말의 연결정보 (S_1, S_2, \dots, S_N)와 간섭정보 (T_1, T_2, \dots, T_N)를 관리해야 한다. PI에서 AP는 자신의 무선랜 내의 단말간의 연결정보와 간섭정보를 알기 위하여 단말ID를 기준으로 각 단말을 순서대로 폴링한다(이때, 이전의 DCPI에서 단말간의 직접적인 데이터 전송이 이루어졌을 경우 DCPI에서 단말간의 직접적인 전송기회를 가지지 못한 단말에 대해서는 PI에서 한번의 폴링이 추가로 이루어져야 한다). AP로부터 폴링 프레임 전송 받은 단말 i 는 직전의 PI에서 폴링을 받은 시점부터 현재까지 전송한 단말 중 MAC 주소가 S_i 에 있지 않고 전송신호를 수신할 수 있는 단말이 있다면 해당되는 모든 단말의 MAC 주소를 S_i 에 추가한다. 그리고 MAC 주소가 S_i 에 있지만 자신이 이전의 PI에서 폴링을 받은 시점부터 현재까지 전송신호를 수신할 수 없는 단말이 있다면 해당되는 모든 단말의 MAC 주소를 S_i 에서 삭제한다(각 PI에서 AP는 각 단말에게 한번 혹은 두 번씩의 폴링 프레임을 전송함으로써 단말당 한번 혹은 두 번씩의 전송기회를 부여하고 이에 대한 응답 프레임을 수신한다. 만약 폴링 프레임을 수신한 단말이 AP로 전송할 데이터 프레임이 없는 경우 null 프레임을 전송하여야 한다. 따라서 단말 i 가 자신과 연결상태에 있었지만 이전의 PI에서 폴링을 받은 시점부터 새로 폴링을 받은 현재의 시점까지 전송신호를 수신할 수 없는 단말 j 가 있다면 다음의 두가지 중 하나의 사건이 발생하였다고 유추할 수 있다. 첫째, 단말 j 가 AP로부터의 폴링 프레임에 대하여 응답 프레임을 전송하였으나 단말 i 가 단말 j 의 전송신호를 제대로 수신할 수 없는 경우로써 단말 i 와 단말 j 의 연결상태가 변하였다 둘째, AP로부터 전달된 폴링 프레임 혹은 이에 대한 단말 j 의 응답 프레임의 전송 중 전송에러가 발생하였다. 단말 i 는 두가지 사건을 구별하지 않고 단말 j 를 단말 i 의 연결정보인 S_i 에서 삭제한다). 이러한 방식으로 각 단말은 S_i 를 관리할 수 있다. 유사한 방식으로 각 단말은 다음에 설명하는 대로 T_i 도 관리할 수 있다. AP로부터 폴링 프레임을 전송 받은 단말 i 는 직전의 PI에서 폴링을 받은 시점부터 현재까지 전송한 단말 중 MAC 주소가 T_i 에 있지 않고 자신의 데이터 수신을 간섭할 수 있는 해당되는 모든 단말의 MAC 주소를 T_i 에 추가한다(이 때, 단말 i 는 해당되는 단말의 간섭여부를 알기 위하여 단말의 수신신호 강도를 PHY 계층에서 측정하여 MAC 계층에 알려주어 MAC 계층으로 하여금 수신신호 강도가 background noise 정도로 간주 가능한지 아닌지를 가지고 판단하도록 한다. 그리고 단말 i 는 해당되는 단말의 MAC 주소를 단말의 데이터 전송 직전에 AP가 전송하는 폴링 프레임을 수신하여 폴링 프레임 내의 수신측 단말의 MAC 주소 필드로부터 알 수 있다). 그리고 단말 i 는 MAC 주소가 T_i 에 있지만 자신이 이전의 PI에서 폴링을 받은 시점부터 현재까지 자신의 데이터 수신을 간섭할 수 있는 정도로 데이터 전송신호를 보내지 않는 단말이 있다면 해당되는

모든 단말의 MAC 주소를 T_i 에서 삭제한다. 그리고 단말 i 는 이러한 S_i 와 T_i 에 추가 혹은 삭제되는 단말의 MAC 주소를 AP로 전송하는 데이터 프레임에 piggyback하여 AP에 알려준다(만약 폴링 받은 시점에 단말 i 가 전송할 데이터 프레임이 없으면 null 프레임을 전송하고 S_i 와 T_i 에 추가 혹은 삭제되는 단말의 MAC 주소는 null 프레임에 piggyback한다). 새로운 단말이 무선랜에 association을 통하여 들어오는 경우 그 단말의 S_i 와 T_i 는 처음에 공집합으로 시작한다.

이러한 방법을 이용하면 단말간의 연결상태와 간섭상태가 대칭적이라고 가정하고(즉, 단말 i 가 단말 j 의 신호를 수신할 수 있으면 단말 j 가 단말 i 의 신호를 수신할 수 있고 단말 i 가 단말 j 의 데이터 수신을 간섭할 수 있다면 단말 j 도 단말 i 의 데이터 수신을 간섭할 수 있다고 가정함) 단말과 AP간에 전송에러가 발생하지 않는 경우 AP는 한번의 폴링 주기만으로 현재의 단말간의 연결정보와 간섭정보를 수집할 수 있다(각 단말은 AP로부터 폴링 받은 시점에서 폴링 주기 내에서 이전에 전송한 단말과 자신간의 연결정보와 간섭정보를 AP에 보고하기 때문에 단말간의 연결 상태가 대칭적인 경우 한번의 폴링 주기만으로 AP는 단말간의 연결정보와 간섭정보를 모두 수집할 수 있다). 그리고 단말간의 연결정보와 간섭정보가 변하면 AP는 그 연결정보와 간섭정보의 변화를 다음 폴링 주기에서 감지할 수 있다. Choi and Lee(2006)는 이러한 단말간의 연결정보를 사용하여 최적의 폴링 순서를 유도하였다. <Figure 1>의 연결설정과정이 이루어지고 나면 각 단말은 PI에서 AP로부터 폴링을 받아서 전송기회를 가질 때 필요할 경우 자신과 연결된 단말의 집합인 S_i 를 바탕으로 단말간의 직접적인 데이터 전송을 수행할 수도 있다. 이것은 AP의 MAC 주소 대신에 수신측 단말의 MAC 주소를 데이터 프레임의 수신주소로 지정함으로써 이루어질 수 있다.

일반적으로 연결정보와 간섭정보는 다르다. 어떤 단말 i 가 단말 j 로부터 데이터를 정상적으로 수신할 수 있다면 단말 j 는 단말 i 의 연결정보인 S_i 에 포함되어야 한다. 그리고 단말 j 의 전송신호가 단말 i 의 다른 임의의 단말 k 로부터의 데이터 수신을 간섭할 수 있다면(즉, 단말 j 의 전송신호와 단말 k 의 전송신호가 동시에 발생하였을 때 단말 i 는 단말 k 로부터의 데이터 수신을 정상적으로 할 수 없을 경우) 단말 j 는 단말 i 의 간섭정보 T_i 에 포함되어야 한다. Zhou *et al.*(2005)에 연결정보와 간섭정보의 차이에 대해 보다 자세히 설명되어 있다.

각 PI에서는 각 단말이 다음 DCPI에서 단말간 직접 통신을 통하여 전송하고자 하는 데이터의 목적지 단말의 MAC 주소를 AP에 알려준다(PI에서 PCF 프로토콜을 통하여 각 단말은 최대 한개의 데이터 프레임에 대한 직접적인 데이터 전송요청을 할 수 있다고 한다). 각 단말은 이러한 MAC 주소를 AP로부터의 폴링 프레임에 대한 응답 프레임을 전송할 때 응답 프레임에 piggyback하여 전송한다. 각 단말이 폴링 프레임에 대한 응답 프레임을 통하여 다른 단말과의 연결정보와 간섭정보의 변화(즉, S_i 와 T_i 에 추가 혹은 삭제되는 MAC 주소)와 직접적인

데이터 전송에 대한 요청정보(직접적으로 데이터를 전송하고자 하는 목적지 단말의 MAC 주소)를 전달하기 위하여 폴링 프레임에 대한 응답 프레임의 구성은 다음과 같이 변경되어야 한다.

Frame Cont.	Dur./ ID	RA	TA	DA	Seq. Cont.	SC	TC	DCAdd	Frame Body
-------------	----------	----	----	----	------------	----	----	-------	------------

Figure 4. Format of response frame

<Figure 4>에서 SC와 TC는 각각 단말 i가 연결정보와 간섭정보의 변화를 AP에 통보하기 위하여 전달하는 S_i와 T_i에 추가 혹은 삭제되는 MAC 주소의 집합을 의미한다. 그리고 DCAdd는 단말 i가 다음 DCPI에서 직접적인 전송방식을 통하여 전송하고자 하는 데이터의 수신측의 단말의 MAC 주소이다. 그 이외의 다른 필드의 정의는 IEEE Std 802.11(1999)에서 정의된 것과 동일하다(<Figure 4>에서 편의상 예러 체크를 위한 FCS 필드를 나타내지 않았으나 포함시킬 수도 있다).

AP는 단말로부터 전달된 직접적인 데이터 전송에 대한 요청정보와 단말간의 연결정보 그리고 간섭정보를 바탕으로 다음 DCPI에서 직접적인 데이터 전송기회를 해당되는 단말에 적절히 부여한다. 이때 AP는 단말간의 직접적인 전송기회를 부여하기 위하여 해당되는 단말에 폴링 프레임을 전송하는데 한 번의 폴링 프레임의 전송을 통하여 여러 개의 단말이 동시에 단말간의 직접적인 데이터 전송을 수행할 수 있다. 일반적으로 DCPI에서 AP가 전송하는 폴링 프레임의 수신자로서 L개의 단말이 L개의 MAC 주소로써 지정되는 경우 폴링 프레임의 전송이 끝나고 SIFS 시간 이후에 L개의 단말이 동시에 직접적인 데이터 전송을 수행한다. VoIP와 같은 실시간 서비스의 경우 일반적으로 트래픽의 특성상 이러한 ACK 프레임의 전송을 생략할 수 있다. 본 논문에서는 실시간 트래픽의 전송시 ACK 프레임의 전송을 생략할 수 있다고 가정한다. L개의 직접적인 데이터 전송이 끝나고 SIFS 시간 이후에 AP는 또 다른 폴링 프레임을 다른 단말에 전송함으로써 계속적으로 직접적인 데이터 전송기회를 부여할 수 있다(그러나 AP의 폴링 프레임의 전송에 대하여 L개의 단말 중 어떤 단말도 SIFS 시간 이내에 데이터 프레임을 전송하지 않으면 AP는 폴링 프레임의 전송이 끝나고 PIFS 시간 이후에 또 다른 폴링 프레임을 전송할 수 있다). 이러한 AP의 폴링 프레임의 전송과 단말의 응답 데이터 프레임의 전송 절차는 직전의 PI에서 직접적인 데이터 전송을 요청한 단말 중에서 직접적인 데이터 전송이 가능한 모든 단말에 대하여 전송기회를 한 번씩 부여할 때까지 반복된다. 이를 위하여 DCPI에서 AP가 전송하는 폴링 프레임의 구성은 다음과 같이 변경되어야 한다

Frame Control	Duration / ID	RA1	RA2	...	RAL	TA
---------------	---------------	-----	-----	-----	-----	----

Figure 5. Format of multipolling frame

<Figure 5>에서 RA₁, RA₂, ..., RA_L은 폴링 프레임의 수신자인 L개의 단말의 MAC 주소이고 TA는 폴링 프레임을 전송하는 AP의 MAC 주소이다. 그 이외의 다른 필드의 정의는 IEEE Std 802.11(1999)에서 정의된 것과 동일하다(<Figure 5>에서 편의상 예러 체크를 위한 FCS 필드를 나타내지 않았으나 포함시킬 수도 있다).

이제 AP가 PI에서 각 단말로부터 수집한 단말간 연결정보와 간섭정보 그리고 직접적인 데이터 전송에 대한 요청정보를 바탕으로 다음 DCPI에서 직접적인 데이터 전송기회를 해당되는 단말에 효과적으로 부여하는 방법을 설명한다. 이를 위하여 PI에서 AP에 의해 수집된 N개의 단말간의 연결정보와 관련된 상수인 C_{ij}(i = 1, 2, ..., N, j = 1, 2, ..., N)과 단말간의 간섭정보와 관련된 상수인 F_{ij}(i = 1, 2, ..., N, j = 1, 2, ..., N) 그리고 직접적인 데이터 전송에 대한 요청정보와 관련된 상수인 d_i(i = 1, 2, ..., N)를 다음과 같이 정의하고자 한다

- C_{ij}: 단말 i와 단말 j가 서로 연결되었을 경우(즉, 단말 i와 단말 j가 서로 직접적으로 데이터를 전송할 수 있는 경우)에는 1의 값을 가지며 그렇지 않은 경우 0의 값을 가짐.
- F_{ij}: 단말 i와 단말 j가 서로의 데이터 수신을 간섭하는 경우에는 1의 값을 가지며 그렇지 않은 경우 0의 값을 가짐.
- d_i: 단말 i가 직접적으로 데이터를 전송하고자 하는 수신측 단말을 의미하며 i를 제외한 1에서 N까지의 값(즉, 1, 2, ..., i-1, i+1, ..., N)을 가짐. 그러나 단말 i가 직접적으로 데이터를 전송하고자 하는 단말이 없는 경우 0의 값을 가짐.

그리고 PI에서 직접적인 데이터 전송을 요청한 단말 중에서 단말간의 연결정보를 바탕으로 판단할 때 수신측 단말과 직접적인 데이터 전송이 가능한 단말의 집합 V를 다음과 같이 정의한다.

$$V = \{i | C_{i,d_i} = 1, d_i \neq 0\} \tag{1}$$

(앞에서 AP가 각 단말로부터 연결정보를 수집할 때 언급한 바와 같이 각 단말은 자신과 연결되어 있는 단말의 MAC 주소의 집합, S_i를 관리한다. 따라서 각 단말은 S_i를 참조하여 이에 속하는 단말로의 직접적인 데이터 전송만을 요청할 것이기 때문에 일반적으로 실제 직접적인 데이터 전송을 요청한 모든 단말의 집합이 곧 V가 될 수 있다).

DCPI에서는 V에 속하는 모든 단말에 폴링을 통하여 한 개씩의 데이터 프레임을 전송할 기회를 부여하여야 한다. 특히 동시에 직접적인 데이터 전송이 가능한 여러개의 단말에 대해서는 한 개의 폴링 프레임의 전송을 통하여 여러개의 단말이 동시에 직접적인 데이터 전송을 할 수 있도록 하여야 한다. V에 속하는 단말 중에서 이러한 다중 직접 전송이 가능한 단말을 추출하기 위하여 다음의 Theorem을 이용하고자 한다.

Theorem 1

다음의 조건을 만족하는 단말 i 의 집합을 $W(V)$ 라 할 때 $W(V)$ 에 속하는 모든 단말 i 는 각각 단말 d_i 로 간섭 없이 동시에 직접적인 데이터 전송을 수행할 수 있다. 단, V 에 속하는 i 에 대하여 $W(V)$ 에 i 와 d_i 가 동시에 포함된 경우 i 와 d_i 중에서 하나는 $W(V)$ 에서 삭제되어야 한다.

$$i \in V \quad (2)$$

$$F_{d_i, j} = 0 \text{ for all } j (\neq i) \in V \quad (3)$$

증명 수식 (3)을 만족하는 단말 i 가 단말 d_i 로 데이터를 전송하고 V 에 속하는 임의의 다른 단말 k 가 단말 d_k 로 데이터를 전송한다고 하자. 그러면 다음의 조건을 만족한다.

$$F_{d_i, k} = 0$$

즉, 단말 d_i 는 단말 k 로부터의 간섭 없이 단말 i 로부터의 신호를 수신한다. 즉, 단말 i 의 데이터 전송은 간섭 없이 단말 d_i 로 제대로 전달된다. 따라서, 수식 (2)와 수식 (3)을 만족하는 여러 개의 단말이 각각 자신의 해당되는 수신측 단말로 데이터를 전송할 경우 각 수신측 단말은 자신에게 직접적으로 데이터를 전송하고자 하는 송신측 단말 이외의 다른 단말의 간섭 없이 데이터를 수신할 수 있다.

앞의 Theorem을 이용하면 AP가 PI에서 수집한 단말간의 연결정보($C_{ij}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N$)와 간섭정보($F_{ij}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N$) 그리고 직접적인 데이터 전송에 대한 요청정보($d_i, i = 1, 2, \dots, N$)를 바탕으로 동시에 직접적인 데이터 전송을 수행할 수 있는 단말을 추출할 수 있다. 만약 Theorem 1을 만족하는 여러 개의 단말이 존재하는 경우 다음 DCPI에서 AP는 추출된 여러 개의 단말을 대상으로 폴링 프레임 전송함으로써 동시에 직접적인 데이터 전송이 이루어지도록 할 수 있다. 그러나 Theorem 1을 만족하는 단말의 개수가 한개 혹은 0개인 경우에는 AP는 V 에 속하는 하나의 단말을 선택하여 폴링 프레임을 전송하여 그 단말에 직접적인 전송 기회를 부여하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 다중 직접 통신이 불가능한 경우 다음의 값 Y_q 가 최대가 되는 단말 q 를 선택하고자 한다.

$$Y_q = |W(V - \{q\})| \quad (4)$$

수식 (4)에서 $|A|$ 는 집합 A 의 원소의 개수를 의미한다. 수식 (4)의 Y_q 는 단말 q 를 제외하였을 경우(즉, 단말 q 를 먼저 폴링하여 이에 대한 직접적인 데이터 전송이 이루어지도록 한 경우) 나머지 단말에 대해 Theorem 1을 만족하는 단말의 개수를 의미한다. Y_q 가 최대가 되는 단말 q 를 선택함으로써 단말 q 를 먼저 폴링하여 이에 대한 직접적인 데이터 전송이 이루어지도록 한 후 가능한 한 많은 수의 단말이 동시에 직접적인 데이터 전송

을 수행할 수 있을 것이다. 그런데 만약 최대값을 가지는 단말이 여러 개인 경우(모든 단말 q 에 대해서 Y_q 의 값이 1인 경우 포함) 이 중에서 임의의 단말을 선택하도록 한다.

본 논문에서는 앞에서 설명한 방식으로 V 에 속하는 하나 혹은 여러 개의 단말을 선택하여 직접적인 전송 기회를 먼저 부여하고 V 에 속하는 나머지 단말에 대해서도 이러한 방식을 반복적으로 적용하여 V 에 속하는 모든 단말에 한 번씩의 전송 기회가 부여되도록 하고자 한다. 이상의 전송방식을 어떤 임의의 PI와 DCPI에서 AP가 수행하는 알고리즘으로 요약하면 다음과 같다.

ALGORITHM

STEP 0 : AP는 PI에서 연결정보($C_{ij}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N$)와 간섭정보($F_{ij}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N$) 그리고 직접적인 데이터 전송에 대한 요청정보($d_i, i = 1, 2, \dots, N$)를 수집한다.

STEP 1 : 만약 Theorem 1을 만족하는 단말이 두개 이상인 경우 AP는 DCPI에서 $W(V)$ 에 속하는 모든 단말에 대해 폴링 프레임을 전송하고 V 를 $V - W(V)$ 로 변경한다. 만약 Theorem 1을 만족하는 단말이 한개 혹은 0개인 경우 식 (4)의 Y_q 가 최대가 되는 단말 q 를 선택하여 폴링 프레임을 전송하고 V 를 $V - \{q\}$ 로 변경한다.

STEP 2 : AP의 폴링 프레임의 전송에 대하여 L 개의 단말 중에서 적어도 하나의 단말이 SIFS 시간 이내에 데이터 프레임을 전송하기 시작하면 단말의 전송이 끝나고 SIFS 시간이 경과될 때까지 기다리고 그렇지 않을 경우 폴링 프레임의 전송이 끝나고 PIFS 시간이 경과될 때까지 기다린다.

STEP 3 : 만약 V 가 공집합이면 알고리즘을 종료하고 그렇지 않은 경우 STEP 1으로 돌아간다.

앞의 알고리즘의 STEP 1에서 직접적인 데이터 전송을 위한 단말을 선택하기 위한 알고리즘의 complexity는 $O(|V|^2)$ 이고 STEP 0을 제외한 앞의 알고리즘의 전체 complexity는 $O(|V|^3)$ 이다. 앞의 알고리즘의 적용을 통하여 AP로부터 한번의 폴링 프레임의 전송을 통하여 여러개의 직접적인 데이터 전송이 동시에 이루어질 수 있기 때문에 DCPI에서 직접적인 데이터 전송을 위해 AP가 단말에 전송해야 하는 폴링 프레임의 전송 횟수를 줄일 수 있다.

4. 성능 분석

<Figure 6>은 $N = 30$ 인 IEEE 802.11a 무선랜을 보여준다. <Figure 6>에서 단말간의 선은 단말이 다른 단말의 전송신호를 수신할 수 있으며 다른 단말의 데이터 수신을 간섭할 수 있

음을 의미한다(본 논문에서는 분석의 편의상 어떤 임의의 두 개의 단말에 대하여 전송신호 수신 가능 여부와 간섭 가능 여부가 동일하다고 가정한다). <Figure 6>에서 어떤 두 개의 단말의 전송신호 수신 가능 여부와 간섭 가능 여부는 서로 대칭적이라고 가정한다. 그리고 분석의 편의상 연결정보와 간섭정보는 변하지 않는다고 가정한다. 그러나 연결정보와 간섭정보가 변한다 하더라도 실제로는 연결정보와 간섭정보의 변화에 해당하는 MAC 주소만 응답 프레임에 piggyback되어 전송되기 때문에 이로 인하여 발생하는 overhead는 작다고 할 수 있다. 예를 들어 초당 다섯 개씩의 단말간 연결정보와 간섭정보가 변한다고 가정하자. 그러면 초당 10개의 MAC 주소가 응답 프레임에 piggyback되어 전송되어야 한다. 이로 인하여 필요한 전송률은 $10 * 6 \text{ bytes/second} = 480 \text{ bps}$ 이다. 이것은 IEEE 802.11a 무선랜의 전체 데이터 전송률인 54 Mbps에 비하여 매우 작다는 것을 알 수 있다.

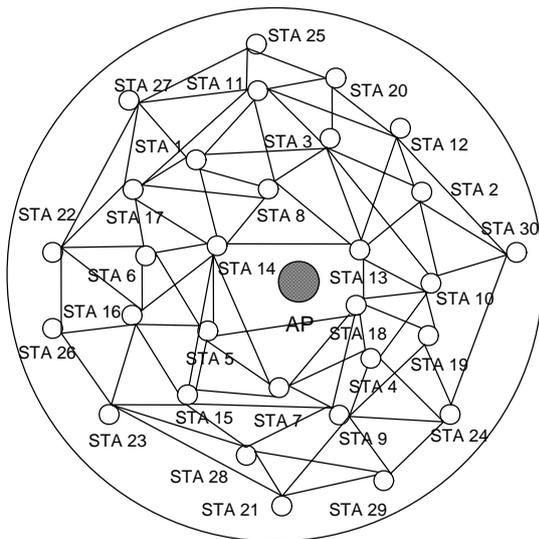


Figure 6. IEEE 802.11a wireless LAN

<Figure 6>의 각 단말(STA)은 다음과 같이 무선랜 내의 다른 단말과 VoIP 트래픽을 양방향으로 전송하기를 원한다고 가정한다.

- STA 1 ↔ STA 30, STA 2 ↔ STA 10, STA 3 ↔ STA 21,
- STA 4 ↔ AP, STA 5 ↔ STA 25, STA 6 ↔ STA 18, STA 7 ↔ STA 14, STA 8 ↔ STA 11, STA 9 ↔ AP, STA 12 ↔ STA 20, STA 13 ↔ STA 19, STA 15 ↔ AP, STA 16 ↔ STA 26, STA 17 ↔ AP, STA 22 ↔ STA 27, STA 23 ↔ STA 28, STA 24 ↔ STA 29

앞의 17개 VoIP 트래픽 스트림 중에서 볼드체로 표시된 8개 트래픽 스트림은 무선랜 내의 단말간의 직접적인 데이터 전송

이 가능한 트래픽 스트림이며 이탤릭체로 표시된 4개의 트래픽 스트림은 AP를 거쳐서 외부망의 단말과 VoIP 통신을 위한 트래픽 스트림이고 나머지 5개 트래픽 스트림은 무선랜 내의 단말간의 직접적인 데이터 전송이 불가능하여 AP를 거쳐서 무선랜 내의 단말간에 전송되어야 하는 트래픽 스트림이다

시뮬레이션 분석을 위해서 편의상 DCF 프로토콜로 서비스되는 구간인 CP(Contention Period)는 존재하지 않고 CFP만이 존재한다고 가정한다. VoIP 트래픽 스트림의 버스트 구간의 길이와 버스트 도착 간격을 각각 1.5초와 1초로 두고자 한다. (Comanicu and Mandayam, 2000) 그리고 각 VOIP MPDU 내의 payload의 길이는 88 bits이다(Zahedi and Pahlavan, 2000). 그리고 IMBE(Improved Multiband Excitation) 음성 코딩 방식을 사용할 경우 하나의 버스트 구간에서 생성되는 MPDU 개수는 $4.8 \text{ Kbps} * 1.5 \text{ 초} / 88 \text{ bits} = 82$ 개이다. 여기서 4.8 Kbps는 IMBE 음성 코딩 방식을 사용했을 경우의 음성 코딩률이다 (Zahedi and Pahlavan, 2000) <Figure 7>과 같이 각 단말에 의해 전송되는 각 VoIP 프레임에는 UDP(User Datagram Protocol) 계층, IP(Internet Protocol) 계층 그리고 MAC 계층의 헤더가 포함되어 있다. 그러므로 버스트의 크기는 $4.8 \text{ Kbps} * 1.5 \text{ seconds} + 82 * (\text{UDP, IP 그리고 MAC 헤더 길이}) = 7,200 \text{ bits} + 82 * (16 \text{ bits} + 224 \text{ bits} + 224 \text{ bits}) = 45,248 \text{ bits}$ 이다. 여기서 UDP 계층, IP 계층 그리고 MAC 계층의 헤더의 길이는 IEEE Std 802.11 (1999)와 Zahedi and Pahlavan(2000)으로부터 구해졌다(편의상 MAC 계층의 CRC 필드는 MAC 헤더에 포함되었다). VoIP 트래픽 스트림당 실제 최대 전송률은 $45,248 \text{ bits} / 1.5 \text{ seconds} = 30.2 \text{ Kbps}$ 이며 평균 전송률은 $30.2 \text{ Kbps} * 1.5 \text{ seconds} / (1.5 \text{ seconds} + 1 \text{ second}) = 18.1 \text{ Kbps}$ 이다. IEEE 802.11a 무선랜 시스템에서 SIFS = $16 \mu\text{s}$, PIFS = $25 \mu\text{s}$ 이며 물리 계층의 최대 데이터 전송률은 54Mbps이고 물리 계층의 헤더 전송시간은 $24 \mu\text{s}$ 이다(IEEE Std 802.11, 1999). 모든 트래픽은 최대 전송률로 전송된다고 가정하였다. 그리고 VoIP 트래픽의 특성상 ACK 프레임의 전송은 생략될 수 있다고 가정하였다.

MAC	IP	UDP	Payload
-----	----	-----	---------

Figure 7. Format of VoIP data frame

<Figure 6>의 무선랜 내의 VoIP 서비스를 위하여 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu (1998)의 단말간의 직접적인 데이터 전송방식을 PCF 프로토콜에 적용하면 단말간의 직접적인 데이터 전송이 가능한 8개의 트래픽 스트림은 직접적으로 데이터가 전송되며 다른 9개의 트래픽 스트림은 AP를 거쳐서 전송된다. 단, IEEE 802.11e draft 11.0 (2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 직접적인 전송방식을 PCF 프로토콜에 적용할 경우 여러개의 직접적인 데이터 전송이 동시에 이루어지지는 않는다(IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu (1998)의 전송

방식에는 <Figure 1>의 연결설정과정에서 AP가 단말간의 직접적인 통신이 가능한지를 판단하기 위한 방식이 제안되어 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 실험을 위하여 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu (1998)의 방식을 PCF 프로토콜에 적용할 때 본 논문의 3절에서 설명한 단말간의 연결정보 (S_1, S_2, S_N)를 이용한다고 가정하였다. 그리고 본 논문의 3절에서 제안한 전송방식을 사용할 경우 단말간의 직접적인 데이터 전송이 불가능한 9개의 트래픽 스트림은 AP를 거쳐서 서비스가 이루어지며 단말간의 직접적인 데이터 전송이 가능한 8개의 트래픽 스트림은 단말간의 직접적인 데이터 전송 서비스가 이루어진다. 특히 DCPI에서 본 논문의 3절의 알고리즘을 적용하면 단말간의 직접적인 데이터 전송 기회를 요청한 8개의 트래픽 스트림의 16개의 단말에 대해 다음과 같은 순서로 AP는 폴링을 하게 된다.

[STA 14, STA 2, STA 29], [STA 11, STA 23], [STA 22, STA 20], [STA 12, STA 26], [STA 16, STA 10], [STA 27, STA 28], [STA 8, STA 24], [STA 7]

앞의 폴링 순서에서 [.]내의 STA 번호는 한번에 폴링할 수 있는 단말을 의미한다. 따라서 직접적인 데이터 전송을 원하는 16개의 단말에 단말간의 직접적인 데이터 전송 기회를 부여하기 위하여 8개의 폴링 프레임의 전송만이 필요하다는 것을 알 수 있다. 그리고 8번의 폴링 프레임의 전송에 대하여 단말이 응답 프레임을 전송할 때 7번의 응답 프레임의 전송 시에는 두개 혹은 세개의 단말이 동시에 데이터를 전송하기 때문에 무선자원의 효율성이 증가한다. 이에 반해 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 전송방식을 PCF 프로토콜에 적용할 경우 직접적인 데이터 전송을 원하는 16개의 단말에 단말간의 직접적인 데이터 전송 기회를 부여하기 위하여 16개의 폴링 프레임의 전송과 16개의 응답 프레임의 전송이 필요하다.

<Figure 6>의 무선랜에 대해서 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 단말간 직접적인 전송방식을 적용한 PCF 프로토콜에 의한 VoIP 서비스 용량과 본 논문에서 새롭게 제안한 전송방식에 의한 VoIP 서비스 용량을 시뮬레이션을 통하여 분석하여 그 분석결과를 <Figure 8>에 나타내었다. <Figure 8>에서 삼각형으로 표시된 선이 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu (1998)의 직접적인 전송방식을 적용한 PCF 프로토콜에 의한 VoIP 서비스 용량이며 다른 원으로 표시된 선이 본 논문에서 새롭게 제안한 전송방식에 의한 VoIP 서비스 용량이다. <Figure 8>의 VoIP 서비스 용량은 전송에러 확률이 0.1%인 경우 99% 이상의 VoIP 데이터 프레임이 전송지연시간의 상한값(delay bound)을 만족시키면서 동시에 서비스 가능한 최대의 VoIP 트래픽 스트림 개수로 정의된다(단, 전송지연시간의 요구조건을 만족하는지 체크할 때 각 단말 혹은 AP에서 전송하기 전에 대기하

는 시간을 별도로 고려하였는데 AP를 거쳐서 가는 트래픽의 경우 단말과 AP에서 발생하는 두종류의 전송대기시간을 별도의 전송대기시간으로 보고 각 전송대기시간이 지연시간 요구조건을 만족하는지 체크하였다. 그리고 서비스되는 모든 트래픽 스트림은 본 논문에서 고려하는 17가지의 트래픽 스트림으로 균등하게 배분된다고 가정하였다.

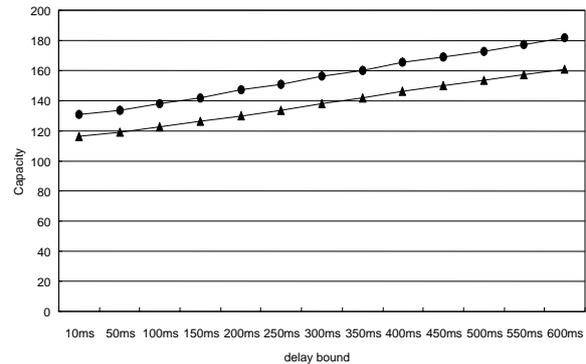


Figure 8. Simulation results of VoIP capacity

<Figure 8>에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 방식은 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 직접적인 전송방식을 PCF 프로토콜에 적용한 경우와 비교할 때 VoIP 서비스 용량을 증가시킨다. 용량분석 결과 본 논문에서 제안한 방식은 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 직접적인 전송방식을 PCF 프로토콜에 적용한 경우와 비교할 때 평균적으로 약 13%의 VoIP 서비스 용량증가를 가져온다는 것을 알 수 있었다.

이제 <Figure 6>의 무선랜에서 서비스되는 트래픽 스트림을 단말간의 직접적인 데이터 전송이 가능한 볼드체로 표시된 8개의 트래픽 스트림으로 제한하여 보자. 이 경우 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 직접적인 전송방식을 적용한 PCF 프로토콜과 본 논문에서 제한

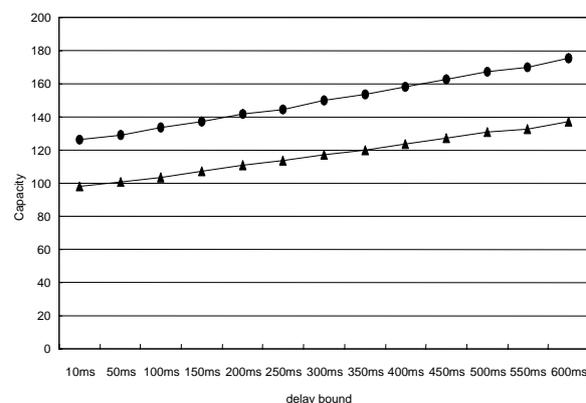


Figure 9. Simulation results of VoIP capacity when only direct traffic streams are considered

한 방식에 대하여 VoIP 서비스 용량을 시뮬레이션을 통하여 분석하여 <Figure 9>에 나타내었다. <Figure 9>에서 삼각형으로 표시된 선이 IEEE 802.11e draft 11.0(2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu(1998)의 직접적인 전송방식을 적용한 PCF 프로토콜에 의한 VoIP 서비스 용량이며 다른 원으로 표시된 선이 본 논문에서 새롭게 제안한 전송방식에 의한 VoIP 서비스 용량이다. 다른 분석조건은 <Figure 8>의 경우와 동일하다.

<Figure 9>의 용량분석 결과로부터 본 논문에서 제안한 방식은 IEEE 802.11e draft 11.0 (2004)과 Naraghi-Pour, Hegde and Pallapotu (1998)의 직접적인 전송방식을 PCF 프로토콜에 적용한 경우와 비교할 때 평균적으로 약 28%의 VoIP 서비스 용량 증가를 가져온다는 것을 알 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 infrastructure mode 무선랜에서 단말간의 다중 직접 통신을 지원하기 위한 새로운 폴링 방식을 제안하였다. 기존의 연구와 비교할 때 본 논문은 다음과 같은 크게 두가지의 문제 해결에 기여한다고 생각된다 첫째, 단말간의 직접 통신을 위한 연결설정과정에서 AP가 단말간의 직접적인 통신이 가능한지 판단하기 위한 방식을 제안하였다 둘째, 무선환경의 특성상 서로 간섭을 주지 않을 때 여러개의 직접적인 데이터 전송이 동시에 일어날 수 있도록 함으로써 무선자원이 효율적으로 사용되도록 하였다.

향후 연구과제로는 AP가 전송한 한번의 폴링 프레임에 대하여 여러 단말이 동시에 MPDU를 전송할 때 전송되는 MPDU의 전송시간이 서로 다를 경우 발생하는 성능저하를 줄이는 것에 관한 연구가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 PI에서 각 단말이 직접적인 데이터 전송요청을 할 때 MPDU의 필요한 전송시간을 알려주고 AP는 가능하면 비슷한 전송시간이 필요한 MPDU가 동시에 전송되도록 조정하는 방법을 생각할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- IEEE Std 802.11 (1999), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- IEEE Std 802.11a (1999), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications: High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band.
- IEEE Std 802.11b (1999), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz Band.
- IEEE Std 802.11g (2003), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz Band.
- IEEE 802.11e draft 11.0 (2004), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications : Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements.
- Brignol, L. and Litzenburger, L. (2003), Wireless LAN Technology and HiperLAN/2, *Alcatel Telecommunications Review*, 205-206, 2003.
- Choi, W.-Y. and Lee, S.-W. (2006), Optimal Polling Method for Improving PCF MAC Performance in IEEE 802.11 Wireless LANs, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, **32**, 1-8.
- Comaniciu, C. and Mandayam, N. (2000), Delta Modulation based Prediction for Access Control in Integrated Voice/Data CDMA Systems, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **18**, 112-122.
- Naraghi-Pour, M., Hegde, M. and Pallapotu, R. (1998), Peer-to-Peer Communication in Wireless Local Area Networks, *Proceedings of the seventh International Conference on Computer Communications and Networks*, 432-437.
- Wu, T., Huang, C., and Chao, H. (2005), A Survey of Mobile IP in Cellular and Mobile Ad-Hoc Network Environments, *Ad Hoc Networks*, **3**, 351-370.
- Zahedi, A. and Pahlavan, K. (2000), Capacity of a Wireless LAN with Voice and Data Services, *IEEE Transactions on Communications*, **48**, 1160-1170.
- Zhou, G., He, T., Stankovic, J. A., and Abdelzaher, T. (2005), RID : Radio Interference Detection in Wireless Sensor Networks, *Proc. INFOCOM*, 891-901.