

무선랜 기반 e-Healthcare 시스템에서의 의료용 트래픽의 서비스 품질 보장을 위한 채널 접속 차별화 방안

Differentiated Channel Access Scheme for Assuring QoS of Medical Traffic in WLAN-based e-Healthcare Systems

김 영 부, 박 은 찬*
(Young Boo Kim¹ and Eun-Chan Park^{1,*})

¹Department of Information and Communication Engineering, Dongguk University-Seoul

Abstract: The IEEE 802.11e EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) mechanism has been proposed to improve the QoS (Quality of Service) of various services in WLANs (Wireless Local Area Networks). By differentiating the channel access delay depending on ACs (Access Categories), this mechanism can provide the relative service differentiation among ACs. In this paper, we consider that WLAN is deployed in medical environments to transfer medical traffic and we reveal that the quality of the medical traffic (in particular, ECG signals) is significantly deteriorated even with the service differentiation by IEEE 802.11e EDCA. Also, we analyze the reason for performance degradation and show that IEEE 802.11e EDCA has difficulty in protecting the transmission opportunity of high-priority traffic against low-priority traffic. In order to assure medical-grade QoS, we firstly define the service priority of medical traffic based on their characteristics and requirements, and then we propose the enhanced channel access scheme, referred to as DIFF-CW. The proposed scheme differentiates CW (Contention Window) depending on the service priority and modifies the channel access procedure for low-priority traffic. The simulation results confirm that the DIFF-CW scheme not only assures the QoS of medical traffic but also improves the overall channel utilization.

Keywords: IEEE 802.11, WLAN, EDCA, QoS, medical traffic, e-Healthcare

1. 서론

U-healthcare는 ubiquitous computing과 healthcare의 합성어의 약어로서 정보통신 기술 (예를 들어 컴퓨팅, 센서, 무선 통신 기술 및 유무선 네트워킹 기술)을 전통적인 보건의료에 접목시켜 시간이나 공간의 제약 없이 언제 어디서나 예방, 진단, 치료 및 사후 관리의 보건의료 서비스를 제공하는 것으로 정의될 수 있다[1]. 이러한 u-healthcare의 하위 분야 중 하나로 e-Healthcare (Electronic Healthcare)가 있다. e-Healthcare는 의료 시스템을 전산화·온라인화 하여 의료진과 환자들이 더욱 편리하게 의료서비스를 이용하도록 하는 것을 목적으로 하며, WHO (World Health Organization)에서는 이를 정보통신 기술의 활용을 통하여 보건의료 시스템의 접근성, 품질 및 효율성 향상을 추구하는 것으로 정의하였다[1,2]. 최근 e-Healthcare 환경에서 원격 진료에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이를 효과적으로 지원하기 위해 의료용 트래픽 전송을 위한 다양한 무선 통신 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[3-9]. 의료 환경에 적용

가능한 무선 통신망으로서 BSN (Body Sensor Network)에서부터 IEEE 802.15.1 또는 IEEE 802.15.4 기반의 WPAN (Wireless Personal Area Network), IEEE 802.11 WLAN (Wireless Local Area Network), IEEE 802.16 WiMAX 또는 셀룰러 통신망 등 다양한 형태의 무선 통신망을 대상으로 전송 신뢰성 및 보안, 전자기 간섭, 전송 품질 보장, 주파수 할당, 네트워크 구조, 이동성 및 핸드오버 등 다양한 주제에 관한 연구가 이루어지고 있다[3-9].

본 논문에서는 e-Healthcare 시스템을 구축하기 위한 무선 통신 기술로서 그림 1과 같은 형태의 무선랜 (WLAN)을 고려한다. 다양한 전자의료기기를 통한 정보를 의료인에게

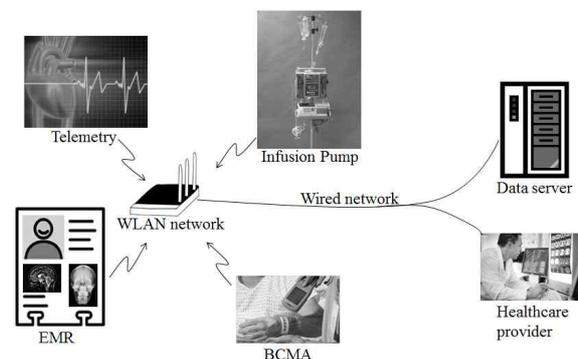


그림 1. 무선랜 기반의 e-Healthcare 환경.

Fig. 1. e-Healthcare environment based on WLANs.

* Corresponding Author

Manuscript received February 4, 2014 / revised March 6, 2014 / accepted April 1, 2014

김영부, 박은찬: 동국대학교-서울 컴퓨터정보통신공학부
(0bookim@gmail.com/ecpark@dongguk.edu)

※ 본 연구는 미래창조과학부 재원으로 한국연구재단 이공분야기초연구사업의 연구결과로 수행되었음(NRF-2013R1A2A2A01009883).

표 1. 의료용 트래픽의 종류 및 특성.

Table 1. Types and characteristics of medical traffic.

Traffic type	Peak rate (kb/s)	Average rate (kb/s)	Events/h or duty cycle	Maximum latency (ms)	Hospital Area (mainly used)
Telemetry(diagnostic)	25.6	25.6	Stream	200	Emergency dept.
Telemetry(alarms)	5.1	0.1	10/h	200	
Infusion Pump(status)	1	1	Continuos	200	Medical-surgical clinic
Infusion Pump(alert)	1	0.1	1/h	200	
Clinician Notifier	12.8	0.1	20/h	200	Lounges
BCMA	0.8	0.1	30/h	500	Obstetrics ward
EMR Images	4,100	41	1%	200	Medical-surgical clinic
Guest Access	1,000	30	3%	1,000	

전달하는데 무선랜을 이용하는 것은 시간적 또는 금전적인 설치비용의 감소, 휴대성 및 접근의 용이함 등 무선랜의 전형적인 이점뿐만 아니라 의료인과 의료기관에 신속하게 정보를 전달하여 의료서비스의 질적인 향상을 가져오는 것이 가능하기 때문에, 병원과 같은 의료 환경에서의 e-Healthcare 시스템을 구축을 위한 무선 통신 기술로서 큰 관심을 받고 있다[6,10-12].

e-Healthcare 환경에서 의료용 트래픽들은 표 1에 나타난 바와 같이 그 용도에 따라 다양한 특성을 가지고 있어, 서비스 품질(QoS: Quality of Service)에 관한 요구 사항이 서로 상이하다[13]. 따라서 공통된 의료적인 특성을 갖는 트래픽을 유형별로 분류하고, 이에 따라 서비스를 차별화할 필요가 있다. 예를 들어, 표 1의 Telemetry와 같은 트래픽의 경우 환자의 생명과 직접적으로 관련된 생체정보가 전송된다는 의료적 특성이 있으며, 이 때문에 엄격한 QoS 보장을 통해 의료인에게 지연되거나 왜곡된 정보가 전달되지 않도록 해야 한다.

기존의 무선랜에서도 전송 트래픽의 요구사항에 따라 채널 접속을 차별화하여 QoS를 향상시키기 위한 표준으로써 IEEE 802.11e의 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) [14]가 정립되어 있다. EDCA에서는 AC (Access Category)라고 하는 전송 우선순위에 대한 트래픽 범주가 정의되어 있다. 예를 들어 전송 지연에 민감한 VoIP (Voice over IP) 서비스는 높은 전송 우선순위로 분류되며, 상대적으로 전송 지연에 덜 민감한 서비스인 파일 전송은 낮은 전송 우선순위에 해당된다. EDCA는 AC별로 채널 접속과 관련된 파라미터인 AIFS (Arbitration Inter-Frame Space)와 CW (Contention Window)를 차별화하여, 높은 우선순위의 AC에 해당되는 트래픽이 낮은 우선순위의 AC에 해당되는 트래픽에 비해 상대적으로 짧은 채널 접속 시간 지연을 갖도록 한다. 즉, 높은 우선순위의 트래픽이 더 많은 전송 기회를 획득하도록 하는 것이 EDCA를 통한 서비스 차별화와 QoS 향상의 핵심이다. 그러나 EDCA는 음성, 영상, 데이터 등 전통적인 네트워크 트래픽을 고려하여 트래픽 특성에 따른 상대적인 서비스 차별화만을 지원할 뿐, 원격 의료에 대한 상황이 고려되지 않아 이를 단순히 의료 환경에 적용하는 것만으로는 만족할만한 QoS 보장이 어렵다.

본 논문에서는 표 1의 의료용 트래픽 범주에서 Telemetry (diagnostic)에 해당되는 심전도 신호 전송의 품질을 향상

시키는 데 초점을 맞추고 있다. 수신된 심전도 신호의 왜곡 정도를 나타낼 수 있는 지표로서 WDD (Weighted Diagnostic Distortion) [15]를 정의하고, 이 지표의 관점에서 기존의 EDCA 방식이 심전도 신호의 품질을 보장하지 못하는 문제점을 밝힌다. 또한, 이러한 문제의 원인이 하위 우선순위 트래픽으로부터 전송 기회를 완벽히 보장 받지 못하는 것에서 기인함을 보인다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 먼저 의료용 트래픽의 의료적 특성을 고려하여 전송 우선순위에 대한 트래픽 범주를 결정하고, 다음으로 CW의 차별화와 하위 우선순위 트래픽의 채널 접속 절차를 재설정하는 방식에 기반을 둔 강화된 우선순위 보호 기법을 제안한다. 또한 모의실험 결과를 통해 제안한 방법이 기존의 관련 연구에 비해 전송 효율과 전송 지연 측면에서 우수함을 입증한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 무선랜에서 전송 우선순위 차별화를 위한 기존의 방법인 EDCA와 관련 연구에 대해 서술하며 III 장에서는 의료용 트래픽의 종류 및 특성과 의료용 트래픽 중 심전도 신호를 전송하는 트래픽의 품질을 측정할 수 있는 성능 지표로서 WDD (Weighted Diagnostic Distortion)를 소개한다. IV 장에서는 상위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 보호하기 위한 강화된 우선순위 보호 기법을 제안한다. V 장에서는 모의실험의 결과를 통해 문제의 타당성을 확인하고, 제안한 전송 우선순위 보호 기법의 성능을 비교, 검증한다. 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 무선랜에서의 QoS 향상을 위한 기존 기법

1. EDCA

EDCA는 IEEE 802.11e에서 정의된 MAC (Medium Access Control) 계층의 채널 접속에 관한 기법이다. EDCA 기법이 표준으로 확정되기 이전에 표준화된 채널 접속 기법은 CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance) 기반의 DCF (Distributed Coordination Function)인데, 이는 전송 우선순위를 고려하지 않아 VoIP나 실시간 스트리밍 멀티미디어 등과 같이 전송 지연에 민감한 서비스를 지원하기에 충분하지 않기 때문에 이를 해결하고자 EDCA가 제안되었다.

EDCA는 DCF와 유사하게 본질적으로 경쟁기반의 채널 접속 메커니즘이다. 단말이 채널에 동시에 접근하여 충돌

하는 상황을 회피하기 위한 방법으로서 IFS (Inter Frame Space)와 CW를 활용하는데, EDCA에서는 AC별로 서로 다른 AIFS와 CW 값을 설정함으로써 채널 접속 기회를 차별화한다. 모든 단말은 채널이 유휴 상태인 것을 감지한 후 채널 접속 절차를 수행하는데, 이 때 채널의 상태를 감지하는데 소요되는 시간이 AIFS이다. 이는 프레임의 전송 우선순위를 설정하는 데 이용될 수 있는데, AIFS의 값이 작을수록 먼저 전송 기회를 획득할 수 있어 높은 우선순위로 프레임을 전송할 수 있다. 전송할 데이터를 가진 단말들은 AIFS 시간 이후에도 여전히 채널이 유휴 상태라고 감지된다면, 이후의 채널 접속 절차로서 백오프(backoff)를 수행한다. 백오프 값은 CW 값의 범위 내(즉, $0 \sim CW-1$)에서 임의의 정수 값으로 결정되고 이 백오프 값에 슬롯 시간을 곱한 것이 단말이 최종적으로 채널 접속을 위해 대기해야 하는 시간이다. AIFS와 마찬가지로 CW 값이 작을수록 높은 전송 우선순위를 가진다. 만약 백오프 절차를 수행하는 도중에 다른 단말이 채널을 사용하는 것이 감지되면, 채널이 유휴한 상태 동안 감소한 값을 유지한 채로 다음 백오프 절차 동안 나머지 백오프 값을 감소시키며, 이 값이 0에 도달하였을 때, 비로소 데이터를 전송한다. 이러한 백오프 절차를 통해 전송 충돌의 가능성을 감소시키면서 전송 기회를 차별화할 수 있다. 한편, CW 값은 고정된 값을 가지는 것이 아니라, 전송 성공 여부에 따라서 동적으로 변화한다. 초기에 모든 단말은 최소 CW 값(CW_{min})을 이용하여 최초의 백오프 절차를 수행하며, 충돌로 인한 전송 실패 시에 CW 값을 2배씩 증가시킨다. CW를 증가시킨 단말은 더 넓은 범위에서 백오프 값이 결정되므로, 다음 전송에서 다른 단말과의 충돌이 발생할 확률이 낮아지게 된다. CW는 최대 CW 값(CW_{max})까지 증가할 수 있으며, 전송이 충돌 없이 성공한 이후에는 다시 최소 CW 값을 가진다.

EDCA에서는 트래픽 종류에 따라 VO (Voice), VI (Video), BE (Best-Effort), BK (Background)와 같이 4 가지의 AC를 설정하였으며, 각 AC별로 차별화된 전송 우선순위를 부여하기 위해 표 2와 같이 AIFSN값과 CW_{min} , CW_{max} 값을 차등적으로 설정한다. AIFS값은 $AIFSN \cdot T_s$ (슬롯시간) + SIFS (Short Inter Frame Space) 시간으로 정의된다. 가장 높은 전송 우선순위를 가지는 VoIP 등의 실시간 음성 서비스 트래픽은 가장 작은 크기의 AIFSN와 CW_{min} , CW_{max} 를 가져 최우선적으로 전송이 이루어지는 반면, 이메일과 같이 전송 지연에 민감하지 않은 데이터 트래픽은 상대적으로 큰 AIFSN과 CW_{min} , CW_{max} 를 가져 낮은 우선순위로 전송된다.

표 2. IEEE 802.11e EDCA 파라미터의 기본 설정 값.

Table 2. Default values of IEEE 802.11e EDCA parameters.

AC	CW_{min}	CW_{max}	AIFSN	우선순위
AC_VO	8	16	2	가장 높음
AC_VI	16	32	2	높음
AC_BE	32	1024	3	낮음
AC_BK	32	1024	7	가장 낮음

2. 관련 연구

EDCA 이외에도 무선랜에서의 QoS 향상을 목적으로 최근까지 많은 채널 접속 메커니즘이 제안되었다[6,11,12,16-18]. 기존의 연구는 대체로 채널 접속 파라미터인 AIFS 또는 CW를 조절함으로써 실시간 트래픽[16-18] 또는 의료용 트래픽[6,11,12]의 QoS 향상을 추구한다.

PCMR 메커니즘 [16]은 서로 다른 전송 우선순위를 가지는 단말이 공존하는 상황에서 발생하는 전송 우선순위 역전 현상으로 인한 상위 우선순위 서비스의 품질 저하 감소를 목적으로 새로운 백오프 값 결정 기법을 제시한다. DCF 또는 EDCA의 경우 백오프 값은 CW 값의 범위 내에서 균일 분포에 따라 임의의 값으로 결정되는데 반해, PCMR 기법에서는 백오프 값이 전송 우선순위에 따라 서로 다른 평균 값을 가지는 정규 분포에 따라 결정되도록 한다. 즉, 낮은 우선순위 단말의 백오프 값을 결정하는 정규 분포의 평균 값을 높은 우선순위 단말이 가질 수 있는 최대 백오프 값보다 크게 하여 우선순위 역전 현상이 발생할 확률을 감소시킨다. 그러나 이 기법은 동일 전송 우선순위를 가지는 단말 간 전송 충돌 확률을 증가시키는 단점이 있다. EDCA+[17]은 다양한 트래픽들의 특성을 고려하여, 우선순위에 따라 최소/최대 CW 값 뿐만 아니라 재전송 시도 회수를 차별화하여, 시간 지연이나 지터, 패킷 손실을 측면에서 기존의 EDCA 보다 더 다양한 QoS 파라미터에 대한 요구 사항을 만족할 수 있도록 한다. 그러나 낮은 손실률 보장을 위한 재전송 시도 회수 증가는 필연적으로 전송 지연을 증가시키는 문제점을 유발한다. EDCA-MITCW [18] 기법은 단말의 수와 충돌율에 기반하여 동적으로 CW 값을 조절함으로써 전송 충돌과 지연을 감소시킨다. 이 기법에서는 일정 시간마다 각 전송 우선순위별 충돌율을 추정하고 이에 따라 네트워크의 부하 여부를 세 단계(light / normal / heavy)로 판단하고 각 단계에 따라 백오프 값을 결정할 때 쓰이는 CW 값을 차별화하여 설정한다. 추가적으로 단말의 수를 고려하여 CW 값을 단말 수에 비례하여 증가시킴으로써 충돌율을 감소시키고 전송 지연과 효율을 향상시키고자 한다. 하지만 이 기법은 전체 시스템의 전송 효율 향상에 초점이 맞추어져 각 전송 우선순위별 서비스 차별화가 약화되는 문제점을 지닌다. 기존의 연구는 EDCA보다 전송 우선순위별 서비스 차별화를 강화하거나[16,17], 전송 효율을 향상시킬 수 있지만[18], 이를 e-Healthcare 환경에 적용하는 것만으로는 특수한 특성과 요구사항을 가지는 의료용 트래픽의 서비스 품질을 보장하는 것은 쉽지 않다.

한편, 최근 무선랜 기반의 e-Healthcare 환경에서 의료용 트래픽의 서비스 품질 보장을 위한 연구가 시작 단계에 있다[6,11,12]. [6]의 연구 결과는 의료 환경에서의 대표적인 실시간 서비스인 ECG (Electrocardiography)의 전송 품질 향상을 목적으로 한다. 이를 위해 각 단말에서 ECG 트래픽에 대한 큐(queue)의 시간적인 변화 추이에 따라 CW 값을 제어하여 (즉, 큐의 길이가 증가/감소하면 CW 값을 감소/증가시켜), 전송 지연을 조절한다. 또한, [11]과 [12]의 연구는 의료용 트래픽에 대한 절대적인 전송 우선순위 보장을 위해 AIFS 값을 조절하는 기법을 제안하고 있다. [11]에서는

하위 우선순위 트래픽에 대한 AIFS 시간을 상위 우선순위 트래픽이 가질 수 있는 최대 접속 지연 시간 (AIFS 시간과 백오프 시간의 합) 보다 항상 크게 설정함으로써, 전송 우선순위 역전 현상을 방지하여 상위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 절대적으로 보장할 수 있다. 비슷한 방법으로 [12]에서는 의료용 트래픽의 전송 지연에 대한 요구사항을 고려하여 하위 우선순위 트래픽에 대한 AIFS 값을 동적으로 조절한다. 이를 통해 의료용 트래픽의 전송 지연 시간을 절대적으로 보장할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 기법은 전송 우선순위 별로 채널 접속 파라미터(AIFS와 CW)를 차별화하여 우선순위 역전 현상을 방지하고 상위 우선순위인 의료용 트래픽의 서비스 품질 보장을 목적으로 한다는 점에서 기존 연구[11,12,16]와 유사한 측면이 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 기법은 기존의 기법과 달리 (i) 상위 우선순위 트래픽의 QoS 보장을 위해 하위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 지나치게 제한하거나 불필요한 전송 충돌을 유발하지 않도록 하여 전체 전송 효율을 향상시킬 수 있다는 점과 (ii) 이러한 목적을 달성하기 위한 기법이 중앙 집중적인 제어 노드의 도움 없이 분산적인 방식으로 동작한다는 점에서 기존 연구와의 차이점과 독창성을 찾을 수 있다.

III. 의료용 트래픽의 특성에 따른 분류 및 품질 측정 방법

1. 의료용 트래픽의 종류와 특성

표 1에서 나타낸 바와 같이 e-Healthcare 환경에서 트래픽의 종류와 특성은 다양하다. Telemetry 트래픽은 실시간으로 전송된 환자의 생체정보를 통해 환자의 상태를 진단하는 것을 목적으로 하는 diagnostic 형태가 있으며, 생체정보를 통해 환자의 치명적인 상황이 감지되었을 때 이에 관한 응급 상황에 대해 경고하는 alarm 형태가 있다. 전송 대상인 생체정보로는 대표적으로 심장의 상태를 측정하기 위한 심전도(Electrocardiogram), 위장의 상태를 측정하는 위전도(Electrogastrogram), 혈압이나 맥박 등이 있다.

Infusion pump는 수액(輸液)의 투여량을 환자에게 자동으로 조절하여 공급하는 기계장치이다. e-Healthcare 환경에서 Infusion pump 장치가 전송하는 트래픽의 유형은 투여된 수액의 양과 잔여 량에 대한 수치 등을 지속적으로 전송하는 status 형태와 수액의 흐름과 관련된 장애 상황 또는 수액 잔여 량의 고갈이 임박하였을 때와 같이 경고가 필요한 상황에 대한 정보를 전송하는 alert 형태가 있다.

Clinician notifier는 의료인이 소지하는 휴대용 단말 형태의 기기로서, 의료인이 환자의 의료적 정보에 원격으로 접근할 수 있도록 해주는 장비이다. 의료인은 이를 통해 시간, 공간적 제약 없이 특정 환자에 대해 전자의무기록과 같은 각종 수치적인 정보를 얻을 수 있게 된다.

BCMA (Barcode Medication Administration)는 바코드를 이용하여 의료인이 환자에게 잘못된 약을 투약하는 오류를 방지하기 위한 시스템이다. 예를 들어, 의료인이 특정 환자에 대한 처방전을 서버에 갱신하였다면, 간호사와 같은 보조 의료인은 이 처방전에 따라 환자에게 투여할 약을 지급하게 된다. 이 때, 환자가 소유하고 있는 바코드를 스캐너로

인식하여, 환자가 투여 대상이 맞는 지 확인하는 절차를 수행한다. 바코드에 대한 데이터양은 크지 않고 하루 중 투약을 하는 시간대는 한정되어 있기 때문에 많은 대역폭을 요구하지 않는다.

EMR (Electronic Medical Record) 영상은 전자의무기록에 포함되는 이미지 정보이다. 전자의무기록은 환자의 인적 사항, 병력, 투약상태, 검사결과 등의 대부분의 의료적인 정보가 디지털 형태로 저장된 것을 의미한다. 이 중 이미지는 환자에 대한 진단의 결과로 엑스레이 촬영 이미지, 컴퓨터 단층 영상, 초음파 촬영 이미지 등이 해당될 수 있다. EMR (Electronic Medical Record) 영상 트래픽은 Telemetry (diagnostic) 트래픽과는 달리 지속적이지는 않지만, 짧은 기간 동안 발생하는 트래픽 양이 큰 특징이 있다.

Guest Access는 비(非) 의료용 트래픽으로서, 일반 병실과 사무실에서 환자와 의료인의 편의를 위해 사용하는 이메일, 파일 전송이나 웹서핑 등이 이에 해당한다.

2. 의료용 트래픽의 우선순위 분류

기존의 IEEE 802.11e EDCA에서는 서비스의 품질이 전송 지연에 얼마나 민감한 서비스인지에 따라 트래픽의 전송 우선순위를 분류하였다. EDCA에서 고려하고 있는 전형적인 음성, 영상, 데이터 트래픽 등의 전송 지연에 대한 요구사항이나 서비스 품질에 관한 특성은 의료용 트래픽의 경우에 동일하게 적용시킬 수는 없다. 즉, 의료용 트래픽의 경우 우선순위를 결정할 때, 진단 오류 가능성, 의료인의 대처의 신속성, 의료 정보 전달의 지속성이나 빈도 등과 같은 의료적 특성을 반드시 추가적으로 고려해야 한다. 본 논문에서 고려하고 있는 의료용 트래픽 특성은 다음과 같다.

- 환자의 생명의 위독함을 의료인에게 경고하기 위한 의료용 트래픽의 경우, 의료인에게 인간이 인지할 수 있는 수준의 과도한 전송 지연이 발생하여, 응급 처치가 어려운 상황을 만들지 않아야 한다. 또한, 환자의 생체 정보를 실시간으로 전송하는 의료용 트래픽의 경우 의료인에게 왜곡된 정보가 전달되어 오진이 발생하지 않아야 한다. 특히 혈압, 심전도 등의 생체정보는 지속적으로 발생하는 특성이 있으며, 의료인에게 실시간으로 전달되어야 진단상의 오류를 최소화할 수 있다. 따라서 응급 알람 신호 실시간 진단 트래픽은 높은 수준의 우선순위로 분류되어야 한다.
- 전송 지연에 민감하지 않고 트래픽이 발생하는 빈도가 높지 않은 의료 정보를 담고 있는 의료용 트래픽은 중간 수준의 우선순위로 분류할 수 있다. 예를 들어, BCMA나 EMR 영상의 경우 환자의 신원, 병력 등에 관한 정보 전달을 위한 것으로, 실시간 서비스의 특성을 가지고 있지 않으며, 상위 우선순위 트래픽의 품질을 저하시키지 않도록 중간 우선순위로 분류한다.
- 본 연구에서는 비록 의료용 트래픽이 아닐지라도 환자와 의료인의 편의를 위한 이메일이나 웹서핑 트래픽이 발생하는 상황을 배제하지 않는다. 이러한 비의료용 트래픽은 의료용 트래픽의 서비스 품질 보장을 위해 낮은 우선순위로 분류한다.

표 3. 의료적 특성에 따른 의료용 트래픽의 우선순위 범주.

Table 3. Priority categorization for medical traffic according to medical characteristics.

AC	트래픽 종류	우선 순위
AC0	응급 알람 신호, 연속적인 실시간 진단 트래픽(telemetry diagnostic, infusion pump 등)	높음
AC1	전송 지연에 민감하지 않은 의료용 트래픽 (EMR, BCMA 등)	중간
AC2	비의료용 트래픽 (이메일, 파일 전송 등)	낮음

이러한 의료적 특성에 따라 트래픽의 우선순위를 분류한 것은 표 3과 같다. e-Healthcare 환경에서 대부분의 시간 동안 채널을 점유하고 있는 트래픽은 실시간으로 생체정보를 전송하는 telemetry(diagnostic) 트래픽이다. 특히 본 논문에서는 telemetry(diagnostic)의 트래픽 중 가장 대표적인 것 가운데 하나로서 다음 절에서 설명하는 심전도 신호의 품질 보장에 초점이 맞춰져 있다.

3. 심전도 신호의 품질 측정

3.1 심전도(ECG: Electrocardiography)

심전도는 심장이 활동하는 동안 발생하는 전기적 자극을 기록한 그래프를 의미한다. 의료인은 심전도 검사를 통해 심장의 리듬과 심박동수를 측정할 수 있으며, 이를 통해 심장과 관련된 질환의 유무와 심장의 구조적 이상을 진단할 수 있다. 특히 심장의 혈관 장애로 생기는 협심증과 급성 심근 경색을 비교적 정확히 진단할 수 있는 것으로 알려져 있으며, e-Healthcare 환경을 통해 심전도가 의료인에게 실시간으로 전달될 수 있다면, 원거리 환자들에 대해서도 협심증과 같은 심장 질환의 진단과 호전 상황 등을 관찰할 수 있다. 또한 단순히 심장 질환을 진단하는 용도 이외에도 수술실과 응급실 또는 구급차로의 환자 이송과 같은 응급 상황에서 심장의 기능 정지 유무를 관찰하는 경우에도 이용할 수 있다.

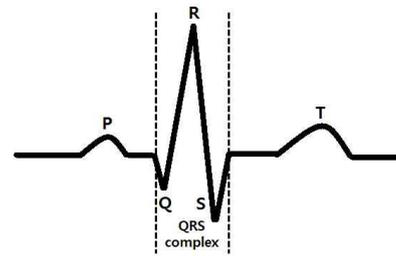
3.2 심전도의 해석과 정상 판단 기준

심장이 1회 운동하는 동안 발생하는 전기적 신호는 그림 2(a)와 같은 형태로 나타난다. 이 심전도는 각각 P파, T파, QRS파 로 구성되어 있다. 이를 PQRST 구간이라고 한다.

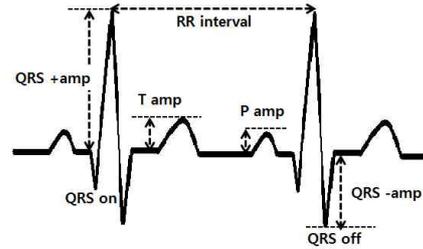
그림 2(b)는 두 개의 연속된 심전도 신호의 크기와 주기 특성을 나타낸 것으로서, 심전도의 해석은 두 개의 연속된 PQRST 구간을 통해 이루어진다.

ECG 신호의 각 특성에 대한 설명은 표 4에 나타나 있다. 의료인은 이와 같은 심전도 신호의 특성을 통해 의학적 해석을 하고, 환자의 질병 유무를 판단하게 된다. 심전도를 통해 환자의 상태가 정상임을 판단할 수 있는 기준[19]은 표 5와 같이 나타낼 수 있으며, 이를 만족하지 못하는 경우에는 환자가 질병을 갖고 있는 것으로 진단할 수 있다.

심전도 신호의 리듬은 신호의 전반적인 이상 유무 판단과 관련이 있다. 외부의 자극이 없다면, 심장의 박동은 규칙적으로 발생하는데 심실방의 손상이나 질병이 있는 경우 QRS Complex, P파, T파의 발생 위치와 크기 등에서 왜곡이 발생하거나 탐지되지 않을 수 있다.



(a) PQRST interval.



(b) Amplitude and duration of ECG signal.

그림 2. 심전도 신호의 형태.

Fig. 2. Form of ECG signal.

표 4. ECG 신호의 각 특성별 설명.

Table 4. Description of attributes of ECG signal.

특성	설명	단위
RR 간격	연속된 두 QRS의 R과 사이의 시간 간격	ms
QRS 간격	QRS의 시작점과 끝점 사이의 시간 간격	ms
QT 간격	QRS의 시작점과 T파의 끝점 사이의 시간 간격	ms
QT-P 간격	QRS의 시작점과 T파의 최댓값이 나타는 지점과의 시간 간격	ms
P 간격	P파의 시작점과 끝점 사이의 시간 간격	ms
PR 간격	P파의 시작점과 QRS 시작점 사이의 시간 간격	ms
QRS 크기(+)	QRS의 최댓값	mV
QRS 크기(-)	QRS의 최솟값	mV
P 크기	P파의 최댓값	mV
T 크기	T파의 최댓값	mV

심박수는 분당 심박의 수를 의미하며, QRS Complex, P파, T파의 간격, 발생 주기를 기준으로 측정할 수 있다. 따라서 세 가지 파 모두에서 분당 심박수의 측정에 영향을 준다. 전송 지연 등에 의해 이들이 본래의 신호보다 늦은 시간에 나타날 수 있는 데, 기준보다 너무 높거나 낮으면 질병(발작성 심실상성 빈맥 등)이 있는 것으로 오진될 수 있다.

마찬가지로 PR 간격, QRS 간격도 전송지연에 의해 본래의 신호보다 더 넓거나(급성 류머티스열 등) 좁게(조기홍분증후군 등) 나타날 수 있다. 이러한 정상 심전도 판단 기준에 의하면, 정상, 비정상의 판단 여부가 불과 수십 밀리 초 내에서 결정될 정도로 민감하므로, 무선랜을 통해 심전도 신호를 전송할 때에는 보다 강화된 전송 우선순위 보호 기법이 필수적으로 요구된다.

표 5. 정상 심전도 판단 기준.

Table 5. Decision criteria for normal ECG.

리듬	규칙적으로 나타남
심박수	60~100 bpm
PR 간격	0.12~0.20 초
QRS 간격	0.12 초 이하

3.3 WDD (Weighted Diagnostic Distortion) 측정법

WDD (Weighted Diagnostic Distortion)는 심전도 신호의 왜곡의 정도를 정량적으로 나타내기 위해 제안되었다[15]. WDD는 표 4에 기술한 심전도 신호의 특성 값들을 인자로 하여 계산되며, 각 특성 값들의 송·수신측간의 오차에 가중치를 적용하여 왜곡의 정도로 정의한다. 왜곡의 정도가 심할수록 1에 가까운 값을 가지며, 왜곡이 전혀 없는 이상적인 경우 0의 값을 가진다.

식 (1)의 f^T 는 본래의 신호 즉, 심전도 측정기에서 생성된 심전도 신호의 특성 값들의 집합이며, f^T 의 각 원소 $f_i (1 \leq i \leq p)$ 는 표 4에 나타나 있는 심전도의 각 특성들에 대한 값, p 는 특성의 전체 개수이다. 같은 방법으로, 수신측에서 측정된 심전도 신호의 특성 값의 집합은 식 (2)와 같이 \hat{f}^T 로 정의한다.

$$f^T = [f_1, f_2, f_3, \dots, f_p] \quad (1)$$

$$\hat{f}^T = [\hat{f}_1, \hat{f}_2, \hat{f}_3, \dots, \hat{f}_p] \quad (2)$$

식 (3)의 Δf 은 각 특성 값들의 송·수신측간 차이 (Δf_i)를 원소로 갖는 집합이며, Δf^T 은 Δf 의 transpose를 취한 것이다. 이 때, 원소 Δf_i 는 식 (4)와 같은 방법으로 구한다.

$$\Delta f^T = [\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3, \dots, \Delta f_p] \quad (3)$$

$$\Delta f_i = \frac{|f_i - \hat{f}_i|}{\max\{|f_i|, |\hat{f}_i|\}} \quad (4)$$

최종적으로 수신측 심전도 신호의 왜곡의 정도를 나타내는 WDD 값은 식 (5)와 같은 방법으로 구할 수 있다. 여기서, $tr[A]$ 은 diagonal 형태의 행렬 A 를 trace한 값이며, A 는 식 (6)과 같이 심전도 신호 특성 f_i 에 대한 양의 실수 값을 가지는 가중치 λ_i 를 원소로 구성되어 있다.

$$WDD(f, \hat{f}) = \Delta f^T \frac{A}{tr[A]} \Delta f \quad (5)$$

$$A = diag[\lambda_i], \quad \lambda_i > 0, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, p) \quad (6)$$

IV. DIFF-CW : 강화된 전송 우선순위 보호 기법

본 연구에서 제안하는 강화된 전송 우선순위 보호 기법의 목적은 두 가지로서, 첫 번째는 ECG와 같은 긴급한 실시간 의료용 트래픽에 대해서는 전송 우선순위를 보장함으로써 전송 지연과 정보 왜곡을 최소화하는 것이고, 두 번째는 EMR과 같은 비실시간 의료 트래픽 전송을 고려하여 상위 우선순위 트래픽의 전송 우선순위 보장을 인해 하위

우선순위 트래픽의 전송 시도를 과도하게 제한하여 필연적으로 발생하는 채널 효율의 저하 문제를 해소하는 것이다.

제안하는 기법의 핵심적인 아이디어는 (i) EDCA와 유사한 방식으로 표 3에서 정의한 의료용 트래픽 범주에 대해 백오프 값의 범위를 차별화하는 것과 (ii) 상위 우선순위 트래픽이 발생하였을 때, 하위 우선순위 트래픽의 백오프 값을 재계산하는 방식으로 이루어진다. 이 기법은 DIFF-CW라 명명한다.

1. CW 차별화를 통한 전송 우선순위 강화

각 AC별 CW 값은 IEEE 802.11 표준에 정의된 바와 같이 BEB (Binary Exponential Backoff) 메커니즘에 따라 식 (7)과 같이 설정한다.

$$CW_i = \begin{cases} CW_{\min,i} 2^k, & 0 \leq k \leq m_i \\ CW_{\max,i}, & m_i < k < L_i \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 CW_i 는 AC- i 에 해당하는 트래픽 전송에 사용되는 CW 값이며, k 는 백오프 단계로서 해당 프레임 전송에서 연속적으로 실패한 회수, $m_i = \log_2(CW_{\max,i}/CW_{\min,i})$, $L_i (> m_i)$ 는 AC- i 에 속하는 프레임의 최대 전송 시도 회수를 나타낸다. 또한, $CW_{\min,i}$ 와 $CW_{\max,i}$ 는 식 (8)에 따라 다음과 같이 설정한다.

$$(CW_{\min,i}, CW_{\max,i}) = \begin{cases} (16, 32), & i = 0 \\ (32, 64), & i = 1 \\ (32, 1024), & i = 2 \end{cases} \quad (8)$$

식 (8)에 따르면, AC0, AC1, AC2 경우 CW_{\min} 값과 CW_{\max} 값은 대체로 EDCA의 AC_VI, AC_BE, AC_BK과 일치한다. 다만, AC1의 경우 CW_{\max} 값이 EDCA의 AC_BE와 달리 64로 제한하였는데, 이는 AC1에 해당하는 의료용 트래픽의 특성 (발생 빈도와 전송률, 전송지연 요구사항 등)을 고려하여 전송 지연 증가를 방지하기 위해서이다.

다음으로, AC별 초기 백오프 값 BO_i 는 다음 식 (9) ~ (10)과 같이 결정한다.

$$BO_i = [0, CW_i - 1] + \Delta CW_i \quad (9)$$

$$\Delta CW_i = \begin{cases} 0, & i = 0 \\ \sum_{k=0}^{i-1} CW_{\max,k} \cdot I_i, & i = 1, 2 \end{cases} \quad (10)$$

식 (9)에서 $[a, b]$ 는 정수 a 와 b 사이의 임의의 정수를 동일한 확률로 선택함을 의미하며, ΔCW_i 는 AC별 백오프 차별화를 위한 추가적인 백오프 값이다. 식 (10)에서 I_i 값은 AC- i 트래픽이 존재하는 경우 1의 값을 가지며, 그렇지 않은 경우 0의 값을 가진다. 이를 위해 전송되는 각 프레임의 헤더에 AC를 명시하는 필드를 추가하고 각 단말은 AC- i 트래픽 전송을 감지하면 I_i 값을 특정 시간 $T_{m,i}$ 동안 1로 유지하고, $T_{m,i}$ 시간이 만료되기까지 추가적인 AC- i 트래픽 전송이 감지되지 않으면 0으로 재설정한다. 따라서 식 (10)에서 ΔCW_i 값은 최상위 우선순위인 AC0의 경우에는 항상 0이며, 차상위 우선순위 AC1의 경우에는 AC0가 가질 수 있는 백오프 값의 최댓값, 가장 낮은 우선순위인 AC2의 경우에는 AC1이 가질 수 있는 백오프 값의 최댓값으로

설정된다. 식 (8) ~ (10)에 따르면 하위 우선순위 AC에 속하는 트래픽에 대한 초기 백오프 값이 상위 우선순위 AC가 가질 수 있는 최대 백오프 값보다 항상 크게 유지된다. 즉, 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\min[BO_{i+1}] > \max[BO_i], \quad i = 0, 1 \quad (11)$$

한편, AIFSN 값은 AC0, AC1, AC2 경우 EDCA의 AC_VI, AC_BE, AC_BK과 동일한 값으로 설정한다.

그림 3은 제안한 기법과 식 (8)와 같은 CW_{min} , CW_{max} 값을 가지도록 설정한 EDCA에서 각 AC별 백오프 값이 가질 수 있는 범위를 나타낸 것이다. 제안한 방법의 경우 각 AC별로 백오프 값이 가질 수 있는 범위가 중첩되지 않으며 하위 AC의 백오프 값의 범위는 항상 상위 AC의 백오프 값의 범위보다 크게 설정되어 상위 AC에 속하는 트래픽이 우선적으로 전송되도록 한다. 반면, EDCA의 경우 우선순위가 높을수록 대체로 작은 백오프 값을 가질 확률이 높지만 각 AC별로 백오프 값의 범위가 중첩되기 때문에 (모든 AC에 대해 최소 백오프 값은 항상 0이다.), 경우에 따라 낮은 우선순위의 AC에 속하는 트래픽이 상위 우선순위의 AC에 속하는 트래픽보다 작은 백오프 값을 가져 먼저 전송 기회를 획득할 수 있다. 즉, EDCA의 경우에는 전송 우선순위 역전 현상이 발생할 수 있다. 그러나 제안한 기법의 경우에는 식 (11)과 그림 3에 나타낸 바와 같이 이러한 우선순위 역전 현상을 방지한다.

2. 우선순위 역전 현상

식 (7) ~ (10)에 따른 AC별 백오프 값의 차별화 방안은 전송 우선순위 차별화에 효과적이지만, 이 방법만으로 절대적인 전송 우선순위 보장은 불가능하다. 왜냐하면, 백오프 시간은 전송 기회를 얻기까지 대기해야 하는 시간인데, 하위 우선순위 프레임 전송의 초기 백오프 값이 상위 우선순위 프레임의 초기 백오프 값보다 더 크다 할지라도 채널이 유희한 시간동안 백오프 값이 감소되고 상위 우선순위 프레임 전송 도중에는 기존에 감소하였던 값을 유지하고 있다가 상위 우선순위 프레임의 전송이 완료되어 채널이 다시 유희

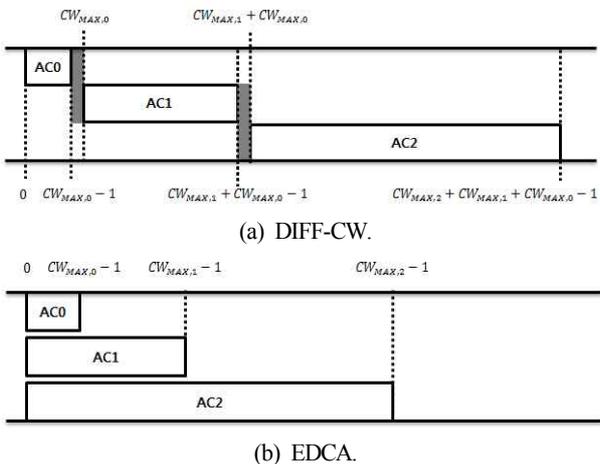


그림 3. 백오프 값의 범위 비교: (a) 제안한 기법, (b) EDCA.
Fig. 3. Comparison of backoff range: (a) proposed scheme, (b) EDCA.

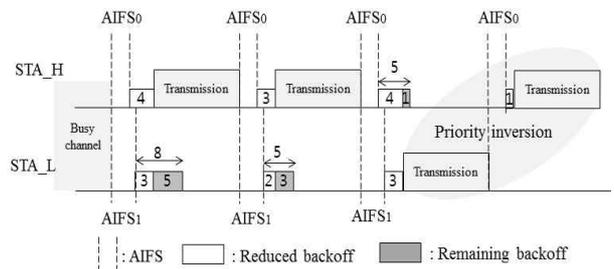


그림 4. 전송 우선순위 역전 현상의 예.
Fig. 4. Example of transmission priority inversion.

해지면 기존에 감소하였던 값을 다시 감소시키기 때문이다. 이러한 이유로 하위 우선순위 트래픽이 상위 우선순위 트래픽 보다 먼저 전송 기회를 획득하는 경우가 종종 발생하게 된다. 그림 4는 이러한 문제점을 나타내는 예를 보여준다. 그림 4에서는 AC0과 AC1에 속하는 트래픽을 전송하는 두 단말이 (각각 STA_H와 STA_L로 명명한다.) 공존하는 상황에서의 전송 우선순위 역전 현상을 설명한다. AC0과 AC1의 AIFSN 값이 2, 3이며 슬롯 시간과 SIFS는 모두 10μs로 가정하면, AC0과 AC1의 AIFS는 각각 AIFS₀ = 30μs와 AIFS₁ = 40μs가 된다. STA_H 단말의 전송이 완료된 후, STA_H와 STA_L가 프레임 전송을 시도한다. 이 때, 초기 백오프 값 BO₀과 BO₁은 각각 4와 8이라고 가정한다. STA_H의 경우 AIFS₀과 BO₀ 시간동안 채널이 유희함을 감지한 후 첫 번째 프레임을 전송한다. 반면, STA_L의 경우 AIFS₁ 시간 후 STA_H 전송 시작 전까지 백오프 값을 감소시켜 초기 값 8(=BO₁)에서 5로 감소된 상태를 유지한다. STA_H의 경우 첫 번째 프레임 전송 후 두 번째와 세 번째 프레임 전송을 위한 초기 백오프 값을 각각 3과 5를 가진다고 가정한다. AIFS와 백오프 값의 차별화를 통해 여전히 STA_H의 두 번째 프레임이 STA_L의 첫 번째 프레임보다 먼저 전송 기회를 가진다. STA_H의 두 번째 프레임 전송이 종료되면 STA_L의 백오프 값은 5에서 3으로 감소된다. 이 후, STA_H의 세 번째 프레임과 STA_L의 첫 번째 프레임이 채널 접속을 경쟁하게 되는데, 이 경우에는 STA_L의 AIFS와 백오프 값의 합이 STA_H에 비해 더 작은 값을 가져 낮은 우선순위의 프레임이 먼저 전송된다. 무선랜에서의 채널 접속은 비선점 (non-preemptive) 방식으로 이루어지므로, 이 경우 STA_H의 세 번째 프레임은 STA_L의 전송이 완료된 후에야 전송될 수 있으므로 전송 지연과 지터(jitter)가 증가하는 결과를 초래한다. 이러한 문제는 낮은 우선순위 프레임을 전송하는 단말 수가 증가할수록 악화된다. 결과적으로, AIFS와 백오프 값을 차별화함으로써 높은 우선순위 트래픽을 우선적으로 전송할 수 있지만, 높은 우선순위 트래픽이 수차례 전송되는 시간동안 낮은 우선순위 트래픽에 대한 백오프 값도 점차적으로 감소하여 경우에 따라 낮은 우선순위 트래픽이 높은 우선순위 트래픽에 비해 먼저 전송될 수 있다. 이러한 우선순위 역전 현상은 ECG 트래픽의 품질을 심각하게 저하시키는 요인으로 작용한다.

3. 하위 우선순위의 프레임 전송의 백오프 값 재설정
우선순위 역전 현상 문제를 해결하기 위한 방안으로서

본 연구에서는 하위 우선순위 프레임 전송에 사용되는 백오프 값을 재설정하는 방안을 제시한다. 하위 우선순위 프레임을 전송하는 단말은 채널이 유희해지기 전에 다른 단말에 의해 전송된 프레임의 우선순위를 확인한 후, 이것이 상위 우선순위의 프레임일 경우 상위 우선순위 프레임 전송이 완료된 후 백오프 값을 기존의 값을 유지하는 것이 아니라 식 (7) ~ (10)에 따라 임의의 초기 값으로 재설정함으로써 또 다시 상위 우선순위 프레임보다 큰 백오프 값을 가지도록 한다. 앞서 설명한 그림 4의 예에서 STA_L는 STA_H의 첫 번째 프레임 전송 후 백오프 값이 초기 값 8에서 5로 감소한 값을 유지하는 것이 아니라, 새로운 초기 값을 가지도록 함으로써, 지속적으로 상위 우선순위 프레임이 먼저 전송되도록 전송 기회를 양보한다. 여기서 주목할 점은 상위 우선순위 트래픽의 발생 빈도가 높지 않으면, 하위 우선순위 트래픽의 백오프 값을 재설정하는 확률 또한 높지 않기 때문에 하위 우선순위 트래픽의 채널 접속 지연이 불필요하게 증가하지 않는다는 점이다. 식 (7) ~ (10)에서 설명한 초기 백오프 값 차별화와 함께 하위 우선순위 프레임의 백오프 값 재설정 방식을 조합함으로써, 전송 우선순위 역전을 방지하여 상위 우선순위 프레임에 대한 우선적인 전송기회를 보장할 수 있다.

4. 제안한 DIFF-CW 기법의 구현 방안

제안한 기법이 동작하기 위해서는 채널을 공유하는 각 단말은 다른 단말이 전송한 프레임의 AC를 확인하는 것이 요구된다. 이러한 목적을 위해 물리(PHY) 계층의 헤더에 AC를 명시하기 위한 필드가 추가되어야 한다. IEEE 802.11 표준에 따르면 모든 단말은 물리 계층에서 프레임을 수신하게 되면 MAC 헤더의 목적지 주소를 확인한 후 수신 단말의 주소와 다를 경우 해당 프레임을 폐기한다. 제안한 기법에서는 각 단말이 프레임을 수신하는 과정에서 추가적으로 수신한 프레임의 PHY 헤더에 포함된 우선순위 정보를 획득하여, (i) 각 AC에 속하는 프레임의 전송 유무를 확인하여 식 (10)과 같이 ΔCW 를 설정하며, (ii) 필요한 경우 하위 우선순위 프레임의 백오프 값을 재설정한다. 이 과정에 소요되는 처리지연은 AIFS 시간 이내에 이루어진다고 가정한다.

그림 5는 DIFF-CW 기법을 구현하기 위한 송신 단말의 MAC 계층에서의 백오프 동작에 대한 상태 다이어그램 (state diagram)을 보여준다. 제안한 기법에서 상태는 “start”, “pause”, “resume”, “reset” 4 가지가 있으며, 각 상태에서 수행하는 동작과 상태 전이에 대한 설명은 다음과 같다.

- 1) Start : 단말이 상위 계층으로부터 전송할 프레임을 전달 받았을 때, 초기 상태인 start로 진입하게 된다. 이 때 전송할 프레임에 대한 우선순위 값을 참고하여, 초기 백오프 값을 계산한다. 백오프 시간이 만료될 때까지 다른 단말에 의한 전송이 없다면, 단말은 전송을 시도한다. 그러나 백오프 시간이 만료되기 전에 다른 단말에 의한 전송이 감지된다면, 해당 프레임의 우선순위를 획득하고 백오프 시간을 감소하는 동작을 중지하는 pause 상태로 진입한다.
- 2) Pause : 이 상태에서는 채널의 상태가 유희한지 지속적

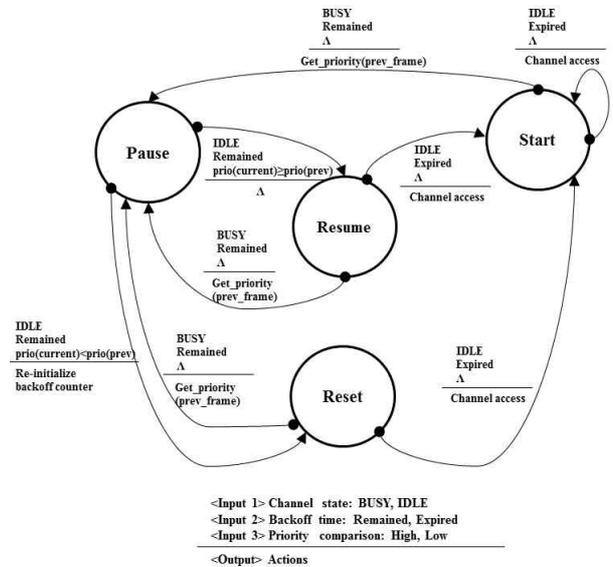


그림 5. DIFF-CW의 백오프 상태 다이어그램.

Fig. 5. Backoff state diagram of DIFF-CW.

으로 감지한다. 일단 AIFS 기간 동안 채널이 유희한 것으로 확인되면 이전에 전송된 프레임의 우선순위 값에 따라 resume 또는 reset 상태로 진입하게 된다. 이전 전송 프레임의 우선순위가 단말이 전송하려는 프레임의 우선순위 보다 낮거나 같은 경우에는 resume 상태로 진입하게 되고 그렇지 않으면 reset 상태로 진입하게 된다.

- 3) Resume : 이 상태에서는 pause 상태에서의 백오프 값이 유지되며, 남은 백오프 값이 모두 감소하여 0에 도달하면 전송을 시도하게 된다. 그러나 백오프 시간이 만료되기 전에 또 다시 채널이 사용 중인 것으로 감지되면 pause 상태로 재진입 한다.
- 4) Reset : 이 상태에서는 이전 전송 프레임의 우선순위가 단말이 전송하려는 프레임의 우선순위 보다 높은 경우에 진입되며, pause 상태에서 유지하고 있었던 백오프 값은 무시하고 새로운 초기 백오프 값을 설정한다. 다른 단말이 전송 중인 것이 감지되면 pause 상태로 돌아가는 과정이 반복되고 이를 통해 높은 우선순위 트래픽이 전송이 발생할 때 마다 하위 우선순위 프레임의 백오프 값은 상위 우선순위 프레임의 백오프 값보다 항상 큰 값으로 재설정된다.

V. 모의실험 및 결과 분석

1. 실험 환경

모의실험을 통해 제안한 기법이 상위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 보장함으로써 의료용 트래픽의 품질을 보장함과 동시에 불필요하게 하위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 제한하지 않음으로써 전송 효율을 향상시킴을 확인하고자 한다.

모의실험을 위한 프로그램으로 NS-2 (Network Simulator-2) [20]와 EDCA 모듈[21]을 사용하였으며, 이를 기반으로 제안한 기법을 구현하였다. 실험에서 사용한 ECG 신호는 2.8 msec 간격으로 샘플링된 심전도 측정값을 이용하였다. 이

측정값은 실험의 현실성을 반영하기 위해 MIT-BIH 데이터 베이스[22]에 기증된 실제 환자에 대한 ECG 데이터를 이용하였다. 이러한 ECG 신호 값을 전달하는 패킷의 포맷은 한국정보통신기술협회에서 제정한 “1-채널 심전도 신호의 전송 규약[23]”을 따랐으며, 하나의 패킷이 3 개의 심전도 신호 값을 전달하도록 설정하였다. 또한, ECG 트래픽의 실시간 서비스 특성을 고려하여 설정한 요구 시간지연 (200 ms)를 초과하여 수신된 패킷은 폐기하는 것으로 처리하였다. ECG 트래픽은 AC0으로 설정하였으며, AC1 트래픽으로서 대표적인 EMR 트래픽을 고려하였다. EMR 트래픽은 패킷 크기가 1 Kbyte, 전송률이 1 Mb/s인 CBR (Constant Bit Rate) 트래픽으로 모델링하였다.

실험에 사용된 무선랜 관련 파라미터 값은 표 6과 같이 설정하였으며, 네트워크에 존재하는 단말들 간의 거리는 다른 단말의 전송 신호를 모두 감지하여 은닉 노드(hidden node)가 없다고 가정하였다.

상위 우선순위 트래픽의 전송 품질과 하위 우선순위 트래픽을 포함한 전체 시스템의 전송 효율 관점에서 다음의 성능 평가 지표를 설정하였다. 모든 실험의 결과는 30회씩 반복하여 얻어낸 평균 수치이다.

- WDD : ECG 트래픽의 전송 왜곡을 평가하는 지표로서, WDD 계산에 사용된 ECG 특성들은 [15]의 권고에 따라 [RR 간격, QRS 크기(+), QRS 크기(-), QRS 간격], 이들의 가중치 $A = [2, 2, 2, 1]$ 로 설정하였다.
 - 전송 지연 : WDD 값에 가장 큰 영향을 끼치는 요인으로서 ECG 트래픽의 전송 지연을 측정하였다. 전송 지연은 ECG 신호가 생성되는 시점으로부터 최종적으로 수신 단말에서 수신한 시점으로 정의하였으며, 이 시간에는 전송 충돌로 인한 재전송 시간도 포함된다.
 - 충돌율 : 이는 전송 지연과 처리율에 영향을 끼치는 요인으로서, 재전송을 포함한 전송 충돌 회수를 전체 전송 시도 회수로 나눈 값으로 정의하였다.
 - 처리율(throughput) : 전체 시스템의 전송 효율에 대한 지표로서, 모든 AC를 포함한 전체 처리율과 함께 특정 AC의 처리율을 측정하였다.
- 또한, 제안한 기법과 다른 기법과의 성능 비교를 위해 다음의 기법을 고려하였다.
- EDCA : 이 기법은 무선랜의 QoS 향상을 위해 제안된 것으로서, 제안한 기법과의 공평한 성능 비교를 위해 각 AC

표 6. 모의실험에 사용한 파라미터 값.

Table 6. Parameter values in simulations.

Parameter	Value
Data rate	24 Mbps
Basic rate	6 Mbps
PLCP rate	6 Mbps
SIFS	10 μ s
MAC header	28 Byte
PHY header	15 Byte
Slot time	20 μ s
Retry limit	7
Simulation time	10 s

별 CW_{min} 값과 CW_{max} 값은 식 (8)와 같이 설정하였다.

- DIFF-AIFS : 무선랜에서의 채널 접속 차별화의 핵심적인 두 가지 파라미터는 CW와 AIFS인데, 이 기법은 식 (12)과 같이 하위 우선순위 트래픽에 대한 AIFS 시간을 상위 우선순위 트래픽이 가질 수 있는 최대 전송 지연 ($AIFS_N_i + BO_i (< CW_{max,i})$) 보다 반드시 크게 설정함으로써 상위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 절대적으로 보장한다[11]. 한편, AC별 CW_{min} 값과 CW_{max} 값은 식 (8)와 같이 설정하였다.

$$AIFS_{N_{i+1}} = AIFS_{N_i} + CW_{max,i} \quad (12)$$

- DIFF-CW : 이 기법은 제안한 기법으로서, CW 값의 차별화와 하위 우선순위 백오프 값 재설정을 통해 전송 우선순위를 보장한다.

2. 모의실험을 통한 성능 확인

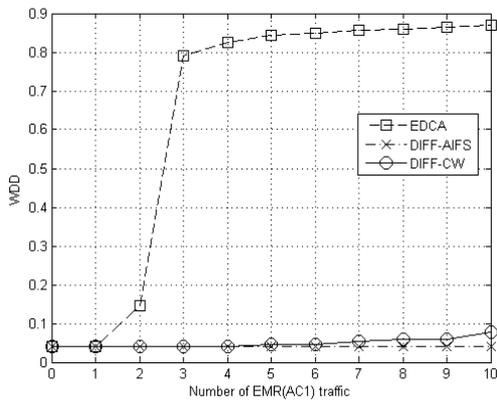
본 논문에서 고려하는 실험은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째 실험은 상위 우선순위인 ECG 트래픽의 성능에 초점을 두고 여러 가지 기법의 ECG 트래픽 성능 평가 지표를 비교한다. 두 번째 실험은 전체 시스템의 전송 효율 관점에서 성능을 비교한다.

2.1 전송 우선순위 보호 기법을 통한 전송 품질 향상

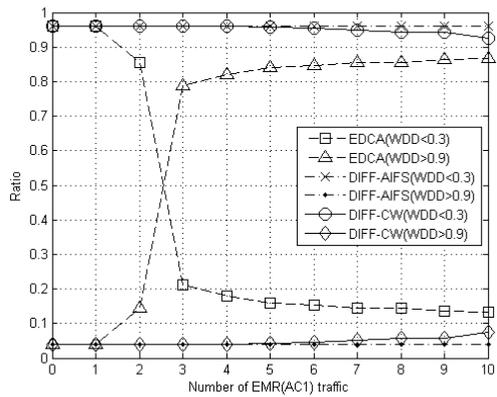
이 실험에서는 상위 우선순위 (AC0) ECG 트래픽의 전송 기회가 하위 우선순위 (AC1) EMR 트래픽으로부터 효과적으로 보호 받음을 확인하고자 한다. 이를 위해 ECG 트래픽을 전송하는 단말 수 (N_{AC0})를 전송 지연과 WDD 관점에서 심각한 성능 감소가 없는 수준까지 증가시킨 상태에서, 하위 우선순위 EMR 트래픽을 전송하는 단말 수 (N_{AC1})를 증가시키면서 ECG 트래픽의 WDD, 전송 지연, 충돌율을 관찰하였다. V.1 절에서 설명한 ECG 트래픽 모델과 실험 환경에서 안정적으로 수용 가능한 (즉, 시스템이 상위 우선순위 트래픽으로 거의 포화 상태에 이르는) 최대 ECG 트래픽의 수는 분석적/실험적 방법으로 대략 30개 미만임을 확인하고 본 실험에서 $N_{AC0} = 27$ 로 설정하였다.

그림 6은 여러 가지 기법에 대해서 N_{AC1} 을 0부터 10까지 증가시키는 상황에서 ECG의 WDD의 변화를 보여준다. 그림 6(a)에서 보듯이 EDCA의 경우 N_{AC1} 이 2를 초과하면 WDD 값이 급격히 악화되는 반면, DIFF-AIFS의 경우에는 상위 우선순위 트래픽에 대한 절대적인 전송 우선순위 보장으로 인해 N_{AC1} 값에 무관하게 WDD 값이 항상 0에 가까운 값을 유지함을 확인할 수 있다. 제안한 DIFF-CW의 경우에는 $N_{AC1} \leq 6$ 인 경우에는 WDD 값이 DIFF-CW와 거의 유사하게 0에 가까운 값을 유지하고, 6을 초과하는 경우에는 다소 증가하여 $N_{AC1} = 10$ 인 경우 대략 0.07 정도이지만 이 경우에도 EDCA에 비해 대략 12배 이상 작은 값을 가진다.

또한 그림 6(b)는 ECG 신호의 각 비트 세그먼트에서 WDD 값이 0.3 이하와 0.9 이상인 수의 비율을 보여준다. WDD가 0.3 이하의 경우에는 비교적 왜곡이 미미한 수준이며, 0.9 이상인 경우에는 왜곡이 심각한 수준을 의미한다



(a) WDD performance.



(b) Ratio : WDD < 0.3, WDD > 0.9.

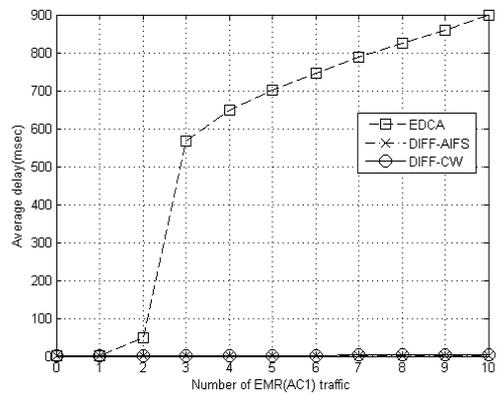
그림 6. ECG 트래픽의 WDD 비교.

Fig. 6. Comparison of WDD for ECG traffic.

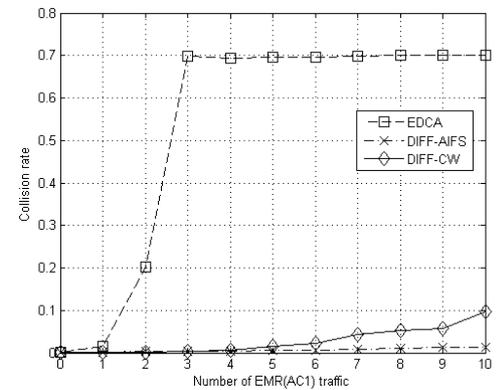
[15]. 그림 6(b)에서 보듯이 EDCA의 경우 N_{AC1} 이 3을 초과하게 되면 80% 이상의 ECG 비트 세그먼트에서 심각한 왜곡이 발생하는데, 이러한 비율은 DIFF-AIFS에서 5% 수준으로, DIFF-CW에서 5~8% 수준으로 급격히 감소시킴을 확인할 수 있다. 반면, 왜곡이 미미한 수준의 ECG 비트 세그먼트의 비율은 EDCA의 경우 N_{AC1} 이 3을 초과함에 따라 20%에서 13% 수준까지 감소하는 반면, DIFF-AIFS와 DIFF-CW의 경우에는 N_{AC1} 의 증가에 크게 영향을 받지 않고 대략 각각 96%, 92~96% 수준을 유지한다.

그림 6에서 보여준 N_{AC1} 의 증가에 따른 WDD 성능 변화의 원인은 그림 7(a)의 전송 지연과 그림 7(b)의 충돌율로 부터 찾을 수 있다. 그림 7(a)에서 보듯이 EDCA의 경우에는 N_{AC1} 가 2를 초과하면서 전송 지연이 50 ms 수준에서 급격히 증가하여 N_{AC1} 이 10인 경우 900 ms 정도까지 증가한다. 반면, DIFF-AIFS와 DIFF-CW의 경우에는 N_{AC1} 의 증가에 크게 영향을 받지 않고 전체 N_{AC1} 의 영역에서 전송 지연이 대략 2 ~ 4 ms 미만으로 유지된다.

이처럼 EDCA의 경우 상위 우선순위 트래픽의 전송 지연이 증가하는 원인이므로 다음 두 가지를 고려할 수 있다. 첫 번째는 IV절에서 설명한 전송 우선순위 역전에 의해 하위 우선순위 프레임 전송하는 단말이 상위 우선순위 프레임 전송하고자 하는 단말보다 먼저 전송 기회를 획득



(a) Average transmission delay.



(b) Collision rate.

그림 7. ECG 트래픽의 전송지연과 충돌율 비교.

Fig. 7. Comparison of transmission delay and collision rate for ECG traffic.

하여 하위 우선순위 프레임 전송하는 시간 동안 상위 우선순위 프레임 전송하는 단말은 전송을 시도할 수 없기 때문이다. 두 번째는 하위 우선순위 트래픽의 잦은 채널 접속 시도로 인한 상위 우선순위 트래픽과의 충돌 때문이다. 특히 무선랜에서 충돌이 발생하는 경우에는 충돌 기간 동안 어느 단말도 접속을 시도하지 못할 뿐만 아니라, 재전송을 위해 BEB 메커니즘에 의해 CW 값이 두 배로 증가하기 때문에 전송 지연이 크게 증가할 확률이 높아지게 된다.

그림 7(b)에서 보듯이 EDCA의 경우에는 충돌율이 N_{AC1} 의 증가에 따라 70%까지 상승하지만, DIFF-AIFS와 DIFF-CW 기법에서는 N_{AC1} 의 증가에 크게 영향을 받지 않고 충돌율이 각각 1% ~ 2%와 1% ~ 10% 수준으로 유지됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 DIFF-AIFS의 경우 상위 우선순위 트래픽에 대한 절대적인 전송 우선순위 보장에서 기인하며, DIFF-CW의 경우에는 하위 우선순위의 백오프 값 조절정로부터 기인한다.

추가적으로 그림 8은 여러 가지 기법의 ECG 트래픽의 전송 지연에 대한 누적 분포를 보여준다. 그림 8에서 EDCA의 경우에는 이상적인 상황에서의 전송 지연에 대한 누적 분포를 확인하기 위해 $N_{AC1} = 0$ 으로 설정하였으며, DIFF-AIFS와 DIFF-CW의 경우에는 하위 우선순위 트래픽이 과도한 상황을 고려하여 $N_{AC1} = 10$ 으로 설정하였다. 하위

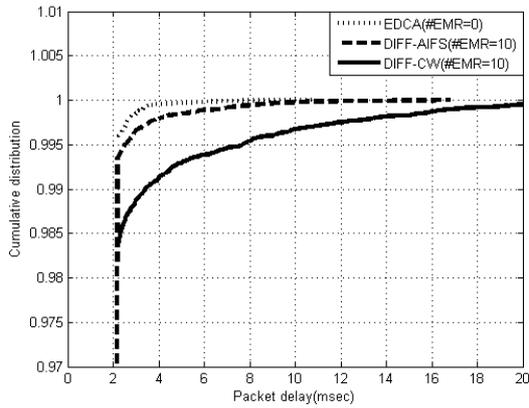


그림 8. ECG 트래픽의 전송 지연 누적 분포 비교.

Fig. 8. Comparison of cumulative distribution of transmission delay for ECG traffic.

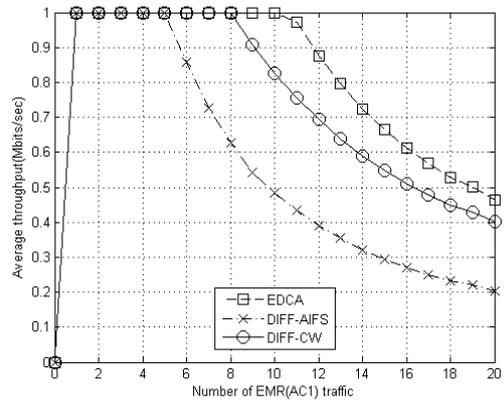
우선순위 트래픽이 전혀 존재하지 않는 이상적인 환경에서의 EDCA의 경우 99.9% 이상의 패킷이 시간 지연 5 ms 이내의 값을 가지며, 시간 지연이 15 ms 이하인 ECG 패킷의 비율은 DIFF-AIFS와 DIFF-CW의 경우 각각 99.99%, 99.83%이다. ECG 트래픽에 대한 종단 간(end-to-end) 시간 지연의 요구사항이 대략 200 ms 수준인 점을 고려하면 제안한 DIFF-CW의 경우 상위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 효과적으로 보호함을 재확인할 수 있다.

결론적으로, 그림 6 ~ 그림 8의 결과는 EDCA의 경우 의료용 트래픽의 QoS를 효과적으로 보장하지 못하지만, 제안한 DIFF-CW의 경우 절대적인 우선순위 보장을 지원하는 DIFF-AIFS와 비슷한 수준으로 상위 우선순위 의료용 트래픽의 전송 품질을 보장함을 보여준다.

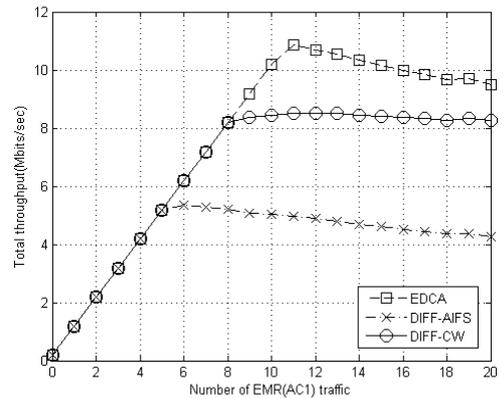
2.2 전송 효율 비교

두 번째 실험에서는 상위 우선순위 트래픽인 ECG 트래픽의 수가 많지 않아 하위 우선순위 트래픽이 가용할 수 있는 대역폭이 충분한 보다 실질적인 e-Healthcare 상황 (즉, 시스템이 상위 우선순위 트래픽으로 포화되지 않은 상황)에서의 전송 효율을 살펴본다. 이를 위해 이 실험에서는 $N_{AC0} = 5$ 로 설정하였다.

그림 9(a)는 N_{AC1} 이 0부터 20까지 증가하는 경우 AC1에 속하는 EMR 트래픽의 평균 처리율을 보여준다. 그림 9(a)에서 보듯이 DIFF-CW 기법과 DIFF-AIFS 기법은 상위 우선순위 트래픽의 우선적인 전송을 위해 하위 우선순위 트래픽을 전송하는 단말의 접속 기회를 제한하기 때문에 필연적으로 EDCA보다 낮은 처리율을 가질 수밖에 없다. EDCA의 경우 N_{AC1} 이 10 이하인 경우 EMR 트래픽의 처리율이 전송률과 비슷한 수준인 1Mb/s을 유지하는데 반해, DIFF-AIFS 기법에서는 이러한 EMR 트래픽의 수가 5에 불과하고, N_{AC1} 이 5를 초과하게 되면 심각한 전송 지연과 손실이 발생함을 알 수 있다. 이는 DIFF-AIFS의 경우 네트워크에 공존하는 상위 우선순위 트래픽의 빈도와 무관하게 하위 우선순위 트래픽의 전송 지연을 불필요하게 증가시키기 때문이다. 반면, DIFF-CW의 경우에는 상위 우선순위 트래픽의 전송을 감지하여 필요한 경우에만 하위 우선순위



(a) Average throughput of EMR traffic.



(b) Total throughput.

그림 9. 여러 가지 기법의 처리율 비교.

Fig. 9. Comparison of throughput for several schemes.

트래픽의 전송 기회를 제한함으로써 하위 우선순위 트래픽의 전송 효율을 향상시킬 수 있다. 그림 9(a)에서 보듯이 DIFF-CW의 경우에는 안정적으로 지원할 수 있는 EMR 트래픽의 수가 8 정도이다. 또한, $N_{AC1} = 10$ 인 경우, DIFF-CW와 DIFF-AIFS의 EMR 트래픽의 평균 처리율은 각각 0.83, 0.48 Mb/s이며, $N_{AC1} = 10 \sim 20$ 인 경우, DIFF-CW의 EMR 트래픽의 평균 처리율은 DIFF-AIFS에 비해 대략 71% ~ 97% 정도 향상되었다.

그림 9(b)는 ECG (AC0)와 EMR (AC1) 트래픽을 모두 고려한 전체 처리율을 보여준다. 전체 N_{AC1} 범위에 대해서 EDCA, DIFF-AIFS, DIFF-CW의 경우 최대 처리율은 대략 11, 5.3, 8.5 Mb/s 수준이다. 특이한 점은 EDCA와 DIFF-AIFS의 경우 N_{AC1} 의 증가에 따라 전체 처리율은 최댓값으로 증가하였다가 다시 약간 감소하는 경향을 보여주는 반면, DIFF-CW의 경우에는 최댓값으로 증가한 이후에도 N_{AC1} 증가에 따라 전체 처리율은 감소하지 않고 최댓값을 유지하고 있다는 점이다. $N_{AC1} = 20$ 인 경우, EDCA, DIFF-AIFS, DIFF-CW의 전체 처리율은 각각 9.5, 4.3, 8.3 Mb/s 정도인데, DIFF-CW의 경우 EDCA에 비해 13% 감소하였지만, DIFF-AIFS에 비해서는 97% 높은 값을 가진다.

DIFF-CW가 DIFF-AIFS에 비해 높은 처리율을 가지는 원인은 그림 10의 EMR 트래픽 충돌율로부터 찾을 수 있다.

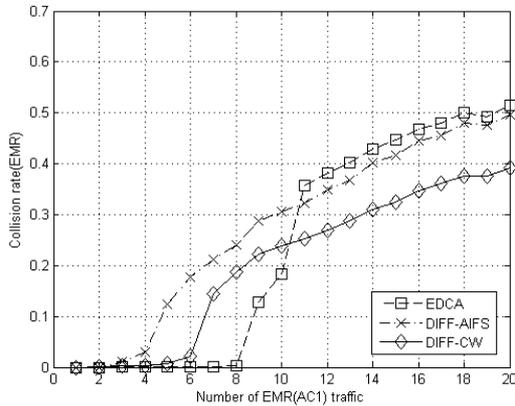


그림 10. EMR 트래픽의 충돌율 비교.

Fig. 10. Comparison of collision rate for EMR traffic.

모든 기법에 대해서 N_{AC1} 의 증가에 따라 충돌율이 증가하는데, 충돌율이 1% 미만으로 유지되는 최대 N_{AC1} 값은 EDCA, DIFF-AIFS, DIFF-CW의 경우 각각 8, 3, 5로 나타났다. 모든 기법에 대해서 N_{AC1} 이 이러한 임계값을 초과하는 경우 충돌율이 급격히 증가하는데, $N_{AC1} = 20$ 인 경우 EDCA, DIFF-AIFS, DIFF-CW의 EMR 트래픽의 충돌율은 각각 51, 49, 39%에 이른다. EDCA의 경우 하위 우선순위 트래픽에 대한 전송 기회를 현저히 제한하지 않으므로써 N_{AC1} 값이 크지 않은 경우 하위 우선순위 트래픽이 점유할 수 있는 유효 대역폭이 크지만, N_{AC1} 값이 큰 경우에는 다른 기법에 비해 오히려 충돌율이 증가하게 된다. 반면, DIFF-AIFS의 경우에는 상위 우선순위 트래픽에 대한 절대적인 전송 기회 보장으로 인해 하위 우선순위 트래픽이 점유할 수 있는 유효 대역폭이 감소하기 때문에 N_{AC1} 값이 작은 경우에도 충돌율이 높게 나타난다. 제안한 DIFF-CW의 경우, N_{AC1} 값이 10을 초과하여 증가함에 따라 다른 기법과 마찬가지로 충돌율이 증가하지만 충돌율의 증가 속도는 다른 기법에 비해 낮게 유지되어 $N_{AC1} = 10 \sim 20$ 범위에서 DIFF-CW의 충돌율은 다른 기법에 비해 7% ~ 12% 정도 낮은 값을 유지한다. 이러한 결과는 DIFF-CW에서의 하위 우선순위 백오프 값의 재설정 때문으로 해석할 수 있다. 그림 9와 10의 결과를 통해 DIFF-CW에서의 하위 우선순위 트래픽의 낮은 충돌율이 전체 처리율 증가에 기여함을 확인할 수 있다.

최종적으로 그림 6 ~ 그림 10의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- EDCA의 경우, 하위 우선순위 트래픽이 증가할수록 전송 우선순위 역전 현상과 전송 충돌이 빈번하게 발생하여 상위 우선순위 트래픽의 전송 지연이 증가하며 전송 품질을 보장하지 못한다.
- DIFF-AIFS의 경우 절대적인 전송 우선순위 보장으로 인해 상위 우선순위 트래픽의 전송 품질을 보장하지만, 불필요하게 하위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 제한함으로써 전체 시스템의 전송 효율을 저하시킨다.
- EDCA와 DIFF-AIFS는 상위 우선순위 트래픽에 대한

전송 품질 보호와 하위 우선순위 트래픽에 대한 전송 효율 관점에서 상반 관계(trade-off)를 지니지만, 제안한 DIFF-CW의 경우에는 백오프 조절 메커니즘을 통해 이러한 상반 관계를 효과적으로 절충한다. 즉, 상위 우선순위 트래픽의 전송 품질을 효과적으로 보장함과 동시에 전체 전송 효율을 높게 유지시킬 수 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 무선랜 기반의 e-Healthcare 의료 환경에서 효과적인 의료용 트래픽 전송을 위한 채널 접속 방안을 제시하였다. 기존의 EDCA 기법은 전송 지연에 민감한 의료용 트래픽의 전송 품질을 보장하지 못하는 문제점이 있음을 밝히고, 이러한 문제에 대한 해결 방안으로서 우선순위별 백오프 값의 차별화와 하위 우선순위 트래픽의 백오프 값 재설정 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 EDCA에 비해 상위 우선순위 트래픽의 전송 기회를 효과적으로 보장함과 동시에, AIFS 차별화를 통한 절대적인 우선순위 보장 방법에 비해 전송 효율을 향상시키는 장점이 있음을 실험적인 결과를 통해 확인하였다.

제안한 기법은 트래픽의 전송 지연 성능을 개선시키는 것이 주된 기능이므로 심전도 트래픽과 같은 의료용 트래픽뿐만 아니라, VoIP나 스트리밍 서비스와 같은 실시간 서비스 특성을 갖는 트래픽의 서비스 품질을 향상시키는 데 적용하는 것을 고려해 볼 수도 있다.

REFERENCES

- [1] J. Lee, "U-health trend and policy direction for its invigoration," *KISDI Issue Report (in Korean)*, vol. 10, no. 9, pp. 1-47, 2010.
- [2] World Medical Association, "WMA Statement on the Ethics of Telemedicine," Oct. 2007, <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/t3/>
- [3] N. Chevrollier and N. Golmi, "On the use of wireless network technologies in healthcare environments," *Proc. of Applications and Services in Wireless Networks (ASWN)*, Paris, France, pp. 147-152, Jun. 2005.
- [4] D. Cypher, N. Chevrollier, N. Montavont, and N. Golmi, "Prevailing over wires in healthcare environments: Benefits and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 4, pp. 56-63, Apr. 2006.
- [5] U. Varshney, "Using wireless technologies in healthcare," *International Journal of Mobile Communications*, vol. 4, no. 3, pp. 354-368, May 2006.
- [6] K.-J. Park, D. M. Shrestha, Y.-B. Ko, N. H. Vaidya, and L. Sha, "IEEE 802.11 WLAN for medical-grade QoS," *Proc. of ACM International Workshop on Medical-grade Wireless Networks*, New York, USA, pp. 3-8, May 2009.
- [7] H. Wang, D. Peng, W. Wang, and et al., "Resource-aware secure ECG healthcare monitoring throughput body sensor networks," *IEEE Wireless*

- Communications*, vol. 17, no. 1, pp. 12-19, Feb. 2010.
- [8] P. Phunchongharn, E. Hossain, D. Niyato, and S. Camorlinga, "A cognitive radio system for e-health applications in a hospital environment," *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 1, pp. 20-28, Feb. 2010.
- [9] Y. Zhang, N. Ansari, and H. Tsunoda, "Wireless telemedicine services over integrated IEEE 802.11/WLAN and IEEE 802.16/WiMAX networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 1, pp. 30-36, Feb. 2010.
- [10] J. Butler and *et al.*, *Wireless Networking in the Developing World*, 3rd Ed., Hacker Friendly LLC, 2013, http://wndw.net/download/WNDW_Standard.pdf
- [11] H. Lee, K.-J. Park, Y.-B. Ko, and C.-H. Choi, "Wireless LAN with medical-grade QoS for e-Healthcare," *Journal of Communications and Networks*, vol. 13, no. 2, pp. 149-159, Apr. 2011.
- [12] S. Son, K.-J. Park, and E.-C. Park, "Design of adaptive IEEE 802.11 WLAN in hospital environments," *Proc. of IEEE Int. Conf. on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, Lisbon, Portugal, pp. 722-724, Oct. 2013.
- [13] S. D. Baker and D. H. Hoglund, "Medical-grade, mission-critical wireless networks," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 27, no. 2, pp. 86-95, Mar./Apr. 2008.
- [14] IEEE 802.11 WG, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 8: MAC Quality of Service Enhancements," *IEEE Std. 802.11e-2005*, Nov. 2005.
- [15] Y. Zigel, A. Cohen, and A. Katz, "The weighted diagnostic distortion (WDD) measure for ECG signal compression," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 47, no. 11, pp. 1422-1430, Nov. 2000.
- [16] S. Pudasaini and S. Shin, "QoS provisioning in CSMA/iCA based medium access control protocol for WLAN," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, Phuket, Thailand, pp. 340-345, Jul. 2012.
- [17] L. Zhao, J. Y. Wu, H. Zhang, and J. Zhang, "Integrated quality-of-service differentiation over IEEE 802.11 wireless LANs," *IET Communications*, vol. 2, no. 2, pp. 329-335, Feb. 2008.
- [18] H.-T. Chern, H.-T. Kuo, and S.-T. Chou, "Enhanced distribution channel access—Modification of the initial & thereafter CW (EDCA-MITCW)," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Systems and Informatics (ICSAI)*, Yantai, China, pp. 1397-1401, May 2012.
- [19] D. Price, "How to read an Electrocardiogram (ECG). Part One: Basic principles of the ECG. The normal ECG," *Southern Sudan Medical Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 26-29, May 2010.
- [20] Network Simulator-2 (ns-2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [21] S. Wiethölter and C. Hoene, "Design and verification of an IEEE 802.11e EDCF simulation model in ns-2.26," Technical Report TKN-03-019, Technische Universität Berlin, Nov. 2003.
- [22] G. B. Moody and R. G. Mark, "The impact of the MIT-BIH arrhythmia database," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 45-50, May/June. 2001.
- [23] TTA Standard, "Interface protocol for 1-lead electrocardiogram signal," Telecommunications Technology Associations, *TTAK.KO-10.0305*, 2008.



김 영 부

2011년 동국대 정보통신공학과 졸업.
2013년 동 대학원 공학 석사. 2013년~
현재 동국대학교 정보통신공학과 박사
과정 재학 중. 관심분야는 무선네트
워크, 무선자원 할당, 관리.



박 은 찬

1999년 서울대학교 전기공학부 졸업.
2001년, 2006년 동 대학원 공학 석사,
박사. 2006년~2008년 삼성전자 통신연
구소 책임연구원. 2009년~현재 동국대
학교 정보통신공학과 조교수. 관심분
야는 인터넷, 무선네트워크, 이동통신.