

IEEE 802.22 WRAN 시스템에서 실시간 트래픽 지원을 위한 Modified-PLFS 패킷 알고리즘

A Modified-PLFS Packet Scheduling Algorithm for Supporting Real-time traffic in IEEE 802.22 WRAN Systems

이 영 두* 구 인 수** 고 광 진***
Young-du Lee Insoo Koo Gwangzeen Ko

요 약

본 논문은 IEEE 802.22 WRAN 시스템에서 실시간 트래픽을 효율적으로 지원하기 위한 Modified-PLFS 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 각 사용자의 개별적인 큐(queue)의 상태를 확인하여 지연으로 인한 패킷 손실(loss)이 발생할 경우에 이에 속하는 사용자들에게 최소의 패킷 손실이 발생하도록 무선자원을 할당하여 실시간 트래픽의 서비스 품질(QoS)을 효과적으로 향상시킨다. 제안된 알고리즘의 성능을 기존 PLFS와 M-LWDF와의 성능과 비교하여 패킷 손실율(PLR : Packet Loss Rate), 처리율(throughput) 측면에서 분석한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 Modified-PLFS 알고리즘이 기존의 PLFS보다 실시간 트래픽들에게 더 나은 서비스 품질을 제공해 줄을 확인한다.

Abstract

In this paper, a packet scheduling algorithm, called the modified PLFS, is proposed for real-time traffic in IEEE 802.22 WRAN systems. The modified PLFS(Packet Loss Fair Scheduling) algorithm utilizes not only the delay of the Head of Line(HOL) packets in buffer of each user but also the amount of expected loss packets in the next-next frame when a service will not be given in the next frame. The performances of the modified PLFS are compared with those of PLFS and M-LWDF in terms of the average packet loss rate and throughput. The simulation results show that the proposed scheduling algorithm performs much better than the PLFS and M-LWDF algorithms

☞ KEYWORD : IEEE 802.22 WRAN, OFDMA, scheduling, QoS

1. 서 론

최근 큰 이슈가 되고 있는 무선인지(Cognitive Radio : CR)는 사용자의 상태와 주변 환경을 능동적으로 인식하고 그에 따른 통계학적 변화를 학습, 그 성향을 도출하여 가장 최적의 방법을 적용하는 지능적 무선 통신 시스템이다[1]. 이러한

CR의 특성이 접목된 시스템 표준화의 첫 시도가 바로 IEEE 802.22 WRAN이며, 현재 TV 대역 고정 무선통신망에 대한 PHY/MAC에 대한 표준화가 진행 중에 있다[2][3]. IEEE 802.22 WRAN은 TV 대역의 유휴 주파수 사용을 목표로 두고 기존 사용자(IU : Incumbent user)의 서비스를 보장해주는 범위 내에서 CR 서비스를 Consumer Premise Equipment(CPE)에게 공급하기 때문에 이용하고자 하는 대역의 채널 상태 정보를 확보하고, 동시에 동일 CR 시스템에 대한 공존문제를 고려하여 채널을 사용하려면 하므로 동적인 주파수 자원 하에서 동작을 하게 된다. 특히 기사용자가 채널을 이용하고자 할 때는 언제나든 사용채널을 비워주어

* 준 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사
과정 leeyd1004@naver.com

** 정 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교
수 iskoo@ulsan.ac.kr(교신저자)

*** 정 회 원 : 한국전자통신연구원 선임연구원
gogogo@etri.re.kr

[2007/11/19 투고 - 2007/11/26 심사 - 2008/02/21 심사완료]

야 하기 때문에 기 사용자 및 타 기지국에서의 CR 사용자 검출을 위해 주기적으로 슈퍼프레임(Superframe) 내에 휴지시간(QP : quiet period)이 존재한다. WRAN 기지국은 휴지시간(QP) 구간동안 데이터 전송을 멈추게 됨으로 휴지시간(QP)길 이만큼 모든 패킷들이 서비스 지연을 받게 되고 특히 실시간 트래픽의 경우, 최대 허용 가능한 지연 값을 초과하는 경우 패킷 손실(drop)이 발생할 수 있다. 따라서 WRAN 시스템 내에서 안정적으로 실시간 서비스를 수용하기 위해서는 패킷 지연에 민감한 스케줄링 알고리즘이 요구된다.

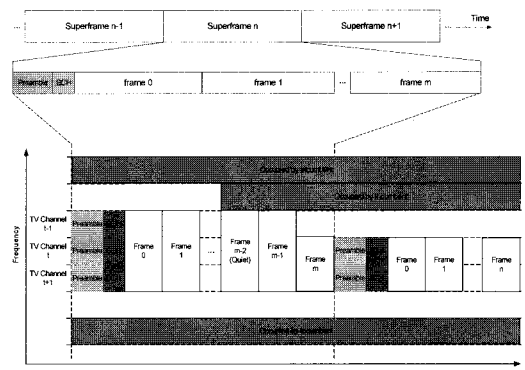
실시간 트래픽의 서비스 품질(Quality of Service) 측면에서는 데이터 전송을 최대화나 사용자간 공정성 제공보다도 패킷 별 시간 지연 허용치를 만족하는 것이 훨씬 더 중요하다. 따라서 시간 지연 구속을 충족시키면서 사용자들의 채널 상태를 효과적으로 반영하여 데이터 전송률도 함께 향상시키는 스케줄링 알고리즘 방식이 절실히 필요하다. 그동안 실시간 트래픽의 전송을 보장하는 여러 가지 스케줄링 방식이 제안되어 왔다. 먼저 EXP(exponential rule)[4]와 M-LWDF(modified largest weighted delay first)[5] 방식 모두, 사용자의 채널 상태와 패킷의 버퍼 대기 시간을 동시에 고려하여 스케줄링 하는 방식이며, EXP 스케줄링 방식은 대기시간에 더 큰 비중을 두는 반면, M-LWDF방식은 대기 시간과 채널 상태에 동일하게 비중을 두는 방식이다. 반면, PLFS(Packet Loss Fair Scheduling) 알고리즘은 패킷의 버퍼 대기시간뿐만 아니라, 패킷 손실률까지 고려하였다[9]. 하지만 앞서 언급한 모든 스케줄링 방식의 경우, 각 사용자 버퍼의 맨 앞에 위치한 패킷의 지연 값을 고려하여 패킷 손실을 조절하였다. 이에 본 논문에서는 현 프레임에서 자원할당을 받지 못하여 다음 프레임에서 서비스를 받지 못할 경우, 다음다음 프레임에서 예상되는 각 사용자별 패킷 손실량을 정량적으로 추정하고 그 값을 현 프레임에서의 자원할당에 활용하는 Modified-PLFS 알고리즘을 제안하고, 시물레이션을 통하여 제안된

Modified-PLFS가 기존의 PLFS 보다 더욱 좋은 성능을 실시간 서비스 트래픽에게 제공함을 보인다.

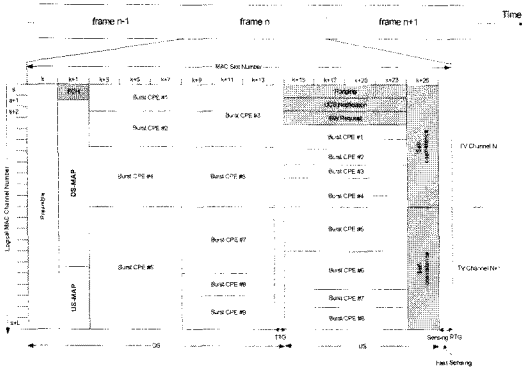
본 논문은 다음과 같은 구성을 갖는다. 2장에서는 본 논문에서 고려중인 WRAN 시스템을 소개하고 3장에서 기존의 PLFS 알고리즘을 살펴본다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 Modified-PLFS를 설명하고, 5장에서 시물레이션 결과를 통해 제안된 알고리즘과 기존 PLFS알고리즘의 성능을 평균 패킷 손실률 및 처리율 관점에서 분석하고, 6장에서 결론을 맺는다.

2. WRAN 시스템

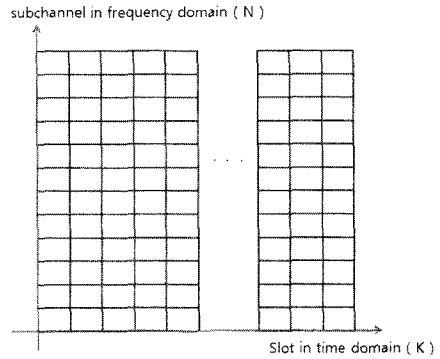
IEEE 802.22 WRAN은 무선이 가진 제한적 리소스 자원 상황과 가변적 채널 상태 하에서 효과적인 멀티미디어 서비스를 위하여 OFDMA 방식을 채택했으며, 그 구조가 802.16과 유사한 데이터 전송기능과 대역폭 할당방식, 프레임구조를 사용한다. 이에 더하여 채널결합 기능과 부분대역폭 사용 등을 위해 그림 1 과 같이 슈퍼프레임(Superframe) 구조를 사용한다. 그림에서 보는 바와 같이 WRAN시스템의 프레임구조는 Superframe 단위로 관리가 되는데 802.16에서와 같은 개념인 프레임(5-10ms)들이 n개(현재 16 개로 가정하고 있음) 모여서 하나의 Superframe을 구성하며 Superframe Control Header (이하 SCH)에는 채널결합정보, 휴지시간(QP)(Quiet Period: In-band sensing



(그림1) WRAN의 슈퍼프레임(superframe)구조(10)



(그림 2.) WRAN의 frame 구조(10)



(그림 3) 프레임 내의 무선 자원 공간 형태

즉 자신이 사용하는 채널을 탐색하기 위해 데이터 전송을 중단하는 시간 정보, 프레임의 개수, 전력정보, 위치정보 등이 표시된다. 주목할 점은 Superframe 단위로 휴지시간(QP)가 할당되며 관리된다는 것과 프리앰블과 SCH는 채널결합이 되었을 경우 결합된 채널의 개수만큼 반복된다는 것이다. 이는 그림 1 과 같이 BS(Base Station)에서 3개의 채널을 결합하여 전송할 경우 CPE가 한 개 또는 그 이상의 어떠한 채널을 갖고 접속하더라도 SCH를 수신하였을 경우 동일한 정보를 갖게 하기 위해서 이러한 반복되는 구조를 갖는다. IEEE 802.22 WRAN시스템에서 제안된 프레임구조는 그림 2와 같이 TDD(Time Division Duplex) 방식을 사용하며 DS 서브프레임과 US 서브프레임으로 구분된다. WRAN의 frame 구조는 기본적으로 802.16과 전반적으로 유사하나 US 상에 Urgent Coexistence Slot(UCS)와 자기공존 슬롯이 존재하는 것이 가장 큰 차이점이다. 그림 2는 2개의 TV 채널이 결합된 경우의 frame 구조를 보여주며, 기본적으로 BS은 채널 상태에 대한 탐색이 필요할 때 그 주기와 보고를 명시한 메시지를 CPE에게 보내고 이에 대한 응답 메시지를 전송할 수 있는 위치를 US-MAP상에 미리 지정해 준다. CPE는 DS를 통해 BS으로부터 채널 탐색에 대한 명령 메시지를 받은 다음 보고 메시지를 지정해준 US slot에서 보낸다. 매 frame 앞의 Preamble은 WRAN 수신기 쪽에서 burst detection,

synchronization, channel estimation을 수행 할 수 있도록 설계되고, TTG는 DS와 US 사이의 간격을 나타내며, RTG는 프레임 간격을 의미한다.

프레임 내에서 패킷 전송을 위한 기본적인 리소스 자원의 공간의 형태는 그림 3 과 같이 주파수 영역에서 N 개의 부채널과 시간 영역에서의 K 개의 슬롯의 2차원 배열로 표현되며($N \times K$), 기지국이 각 사용자들로부터 N 개의 부채널에 대한 채널 상태를 피드백 받는 것을 가정하고 우선 순위가 결정된 사용자 별로 피드백된 부채널에서 슬롯의 현재 비어 있는지에 대한 사용 상태를 참조한 후, 비어 있을 시 해당 자원 공간에 할당하도록 되어 있다. 기본적인리소스 자원 공간의 전송 능력은 패킷 수로 정규화 하며 그 기준은 피드백된 채널의 SNR 값으로 정의하였다. WRAN 시스템은 채널 상태에 따라 다른 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨을 적용하는 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기법을 사용하며 표 1 과 같은 AMC 옵션을 사용한다.

(표 1) AMC 옵션

index	$SNR_{req} (dB)$	패킷수/BU	변조 방식	부호화율
1	1.5	1	QPSK	1/6
2	4.0	2	QPSK	1/3
3	7.0	4	QPSK	2/3
4	10.5	6	16QAM	1/2
5	13.5	8	16QAM	2/3
6	18.5	12	64QAM	2/3

3. 기존의 스케줄링 알고리즘.

3.1 M-LWDF(Modified-Largest Weighted Delay First) 알고리즘.

유선망의 LWDF(Largest Weighted Delay First)를 변형함으로써 만들어진 M-LWDF 알고리즘은 LWDF의 기본 개념인 각 사용자들의 패킷 중 가장 시간 지연이 많이 된 사용자의 패킷을 먼저 서비스해줌으로써 전체 큐의 안정성을 도모하는 것에 추가적으로 채널 정보를 스케줄러에 응용한다. 이러한 동작의 결과로써 M-LWDF는 수율 최적화를 만족시킨다.[6],[7],[8]

M-LWDF 알고리즘의 경우 n 번째 부채널이 할당되어지는 사용자 \hat{k}_n 은 다음 수식에 의해 결정된다.

$$\hat{k}_n = \arg \max_k (\gamma_k \cdot W_k[t] \cdot r_k[t]) \quad \text{수식 (1)}$$

여기에서, $\gamma_k = a_k / \bar{r}_k$, $a_k = -(\log \delta_k) / T_k$, \bar{r}_k 는 사용자 k 의 평균 채널 값, T_k 는 최대 허용 시간 지연, δ_k 는 $\Pr\{W_k > T_k\} \leq \delta_k$ 인 최대 확률이다. γ_k 는 채널 스케줄러의 계수로써 a_k 를 각 사용자들의 \bar{r}_k 로 정규화하며, 서로 다른 사용자들에 대한 패킷 지연 분포를 조절할 수 있게 해준다. $W_k[t]$ 은 현재 프레임 t 에서 사용자 k 의 큐 헤드의 패킷 지연 시간이며, $r_k[t]$ 은 채널 상태를 나타낸다.

M-LWDF는 실시간 사용자에게 있어 가장 중요한 요소인 데이터 패킷의 지연 시간 요구를 최대한 만족시키는 동작을 수행한다. 그것은 스케줄링 요소 $W_k[t]$ 를 통해 이루어지며, 또한 여기에 시간에 따라 채널 상태가 변화되는 무선 채널의 특성을 고려하여 채널 상태 요소, $r_k[t]$ 를 통해 최대의 용량을 가지는 채널을 선택하므로 수율을 높인다. 이러한 동작은 단지 각 사용자의 채널 상태 정보와 독립적으로 유지되는 각 사용자의 큐

에 저장되어 있는 패킷 중 큐의 가장 앞에 저장되어 있는 헤드 패킷의 지연 시간에 대한 정보를 가지고 수행된다. 이 두 가지 자원을 통해 각 사용자의 우선순위 값을 계산하고 최대의 우선순위 값을 가지는 사용자부터 우선적으로 무선 자원을 할당하여 서비스하는 것이다. 또한 채널 계수, γ_i 를 통해 앞서 이야기 한 것처럼 각 사용자별 지연 분포등과 같은 서비스 품질(QoS)를 차별화할 수 있다.

3.2 Packet Loss Fair Scheduling 알고리즘

Packet Loss Fair Scheduling (PLFS) 알고리즘은 멀티미디어 서비스를 위한 실시간 트래픽에 대해서 사용자들에게 공평한 서비스품질(QoS) 서비스를 제공하기 위해 각 사용자별로 요구된 PLR(Packet Loss Rate)를 만족하도록 자원을 할당하는 패킷 스케줄링 방식이다. 요구된 PLR은 PER(Packet Error Rate)과 PDR(Packet Dropping Rate)의 인자로 구분되며, 두 인자의 합으로 표현된다.

$$PLR_k(t) = PER_k(t) + PDR_k(t) \leq PLR_{req,k} \quad \text{수식 (2)}$$

위 식은 사용자 k 의 PLR을 표현한 식이다. PER은 전송된 패킷이 수신단에서 에러로 나타난 경우에 대한 비율이며, 이것은 사용자로부터 기지국으로 피드백된다. PDR은 기지국에서 각 사용자의 큐에 저장된 패킷이 정해진 최대 지연 시간을 초과한 경우 패킷 손실되는 비율을 나타낸다.

PLFS 알고리즘을 사용하는 OFDMA/TDD 시스템에서 n 번째 부채널이 할당되어 지는 사용자 \hat{k}_n 은 다음 수식에 의해 결정 된다 [9].

$$\hat{k}_n = \arg \max_k \left[\left(\frac{A_{k,n}(t)}{A_k} \right) \left(\frac{PLR_k(t)}{PLR_{req,k} \times D_{max,k}} \right) \right] \quad \text{수식 (3)}$$

여기에서 $A_{k,n}(t)$ 는 k 번째 사용자의 n 번째 부채널에서의 순간 데이터 전송률이고, \overline{A}_k 는 k 번째 사용자가 시간 t 까지 얻은 평균 수율이다.

또한 $PLR_k(t)$ 는 k 번째 사용자가 현재 프레임 t 까지 겪은 평균 패킷 손실률을 나타내며 패킷 손실은 버퍼에서 대기하는 패킷이 k 번째 사용자가 속한 서비스 그룹에서 정의된 최대 허용 가능한 지연시간 $D_{max,k}$ 을 초과하는 경우에 발생한다. $PLR_{req,k}$ 는 k 번째 사용자가 속한 서비스 그룹이 요구하는 최대 허용 가능한 평균 패킷 손실률이다.

PLFS 스케줄링 알고리즘은 현재 사용되는 채널의 전송 전송률과 앞서 서비스된 전송량의 이동평균을 통해 전체 사용자에게 대해 공평한 서비스를 제공하며, 같은 서비스 클래스에 속한 사용자들 사이의 패킷 손실에 대한 공평성을 제공하는 동시에 PLR_{req} 와 D_{max} 변수를 통하여 서비스 별 차별화된 서비스 품질을 제공한다. 특히 PLFS 스케줄링 알고리즘은 각 사용자의 큐(queue)에 맨 앞에 위치한 패킷의 지연시간이 D_{max} 에 근접할수록 사용자의 우선권을 증가시켜 패킷의 손실률을 감소하는 방법을 사용한다.

4. 제안된 Modified-PLFS 알고리즘

실시간 트래픽 서비스들의 경우, 해당 사용자에게 고품질의 멀티미디어 서비스를 위해 요구된 서비스품질(QoS)를 만족해야 하는 것은 다른 어떤 요소들 보다 중요한 일이다. 이를 위하여 제안된 스케줄링 알고리즘은 각 사용자의 큐 상태를 고려하여 서비스 지연에 따른 패킷 패킷손실에 민감한 패킷 스케줄링을 함으로서 실시간 사용자들에게 더 나은 서비스품질(QoS) 서비스를 제공하고자 한다.

PLFS 알고리즘의 경우, 각 사용자 큐의 맨 앞에 위치한 패킷의 지연 값을 고려하여 패킷 손실을 조절하는데 반해, 제안된 Modified-PLFS 알

고리즘은 현 프레임에서 자원할당 후, 다음다음 프레임에서 발생할 것으로 추정되는 패킷 손실량을 정량적으로 추정하여 다음 프레임의 스케줄링에 그 값을 적용, 패킷 손실량이 해당 실시간 서비스 클래스에 할당된 사용자들에게 가장 적게 나타나도록 스케줄링을 수행한다.

따라서, 제안된 Modified-PLFS 알고리즘의 경우 n 번째 부채널이 할당되어 지는 사용자 \hat{k}_n 은 다음 수식에 의해 결정 된다.

$$\hat{k}_n = \arg \max_k \begin{cases} \left(\frac{A_{k,n}(t)}{\overline{A}_k} \right) \left(\frac{PLR_k(t)}{PLR_{req,k} \cdot D_{max,k}} \right) D_{HOL_k}(t) \Phi(t) & , \text{ if } N_{drop,k}(t+2FP) > 0 \\ \left(\frac{A_{k,n}(t)}{\overline{A}_k} \right) \left(\frac{PLR_k(t)}{PLR_{req,k} \cdot D_{max,k}} \right) D_{HOL_k}(t) & , \text{ if } N_{drop,k}(t+2FP) = 0 \end{cases} \quad \text{수식 (4)}$$

여기서 t 는 현재 프레임 시간이고 FP 는 프레임 주기(duration), $D_{HOL_k}(t)$ 는 k 번째 사용자의 큐의 맨 앞에 위치한 패킷의 기다림 시간으로 현재 시간에서 k 번째 사용자의 큐의 HOL(Head of Line) 패킷의 도착시간, A_{HOL_k} 을 뺀 값으로 $D_{HOL_k}(t) = t - A_{HOL_k}$ 로 주어진다. 또한 $N_{drop,k}(t+2FP)$ 는 k 번째 사용자가 현재 시간 t 로부터 두 프레임 이 후, 최대 지연 시간 $D_{max,k}$ 을 초과함으로 발생하는 예상 패킷 손실량이다. 여기에서 현재 시간 t 로부터 두 프레임 이 후 예상 패킷 손실량을 고려하는 이유는 제안된 알고리즘의 패킷 손실 예상 계산 과정이 서비스가 제공된 후인 프레임 끝에서 일어나기 때문이다. $\Phi(t)$ 은 클래스별 패킷 특성 및 전송 특성을 고려한 인자로서 다음과 같은 형태를 지닌다.

$$\Phi(t) = \min(A_{k,n}(t), N_{drop,k}(t+2FP)) \cdot \beta \quad \text{수식 (5)}$$

β 는 각 서비스 클래스의 패킷 특성에 의해 다르게 나타나는 패킷 손실량의 크기로 인해, 패킷

손실이 발생했음에도 불구하고 다른 서비스 클래스에서 패킷손실이 발생하지 않은 사용자보다 우선순위 값이 떨어져 서비스를 받지 못하는 경우를 보정하기 위한 보정인자이다. k 번째 사용자에 대해 $N_{drop,k}(t+2FD)$ 값이 0인 경우, Modified-PLFS 알고리즘은 기존 PLFS 알고리즘과 동일하게 각 부채널별 각 사용자의 우선순위 값을 계산하지만, $N_{drop,k}(t+2FD)$ 값이 0보다 큰 경우, $\Phi(t)$ 인자 값을 곱하여 priority 값을 높여준다. $\Phi(t)$ 는 k 번째 사용자의 n 번째 부채널에서의 순간 데이터 전송률, $A_{k,n}(t)$ 과 $N_{drop,k}(t+2FD)$ 중 작은 값을 선택하고, 그것에 다시 β 를 추가적으로 반영하여 우선순위 값을 계산한다. 이는 n 번째 부채널을 k 번째 사용자에게 할당할 때 패킷 손실량을 최소화하는 방향으로 priority 값을 계산하기 위함이다. β 는 패킷과 서비스 특성상 나타나는 다음과 같은 경우를 보정한다.

$$D_{HOL_s, video}(t) - D_{HOL_s, voice}(t) \gg \min(A_{k,n}(t), N_{drop,k}(t+2FP))_{voice} \quad \text{수식 (6)}$$

수식 6는 시스템이 음성과 비디오 서비스를 제공하는 경우, 드랍이 발생한 음성 서비스 사용자의 $A_{k,n}(t)$ 과 $N_{drop,k}(t+2FD)$ 의 최소값과 드랍이 발생하지 않은 비디오 사용자와의 HOL 차를 비교 했을 때의 수식이다. HOL 차가 최소값에 비해 훨씬 큰 경우, 다른 인자값이 동등하다 가정하였을 때, 드랍이 발생하지 않은 비디오 사용자가 서비스를 받게 되어 음성 사용자의 QoS가 떨어지게 된다. β 는 이것을 보정해 주는 값이다. β 값의 설계시 고려해야 할 것은 드랍 수의 평균값과 요구되는 PLR_{req} , D_{max} 의 경계이다.

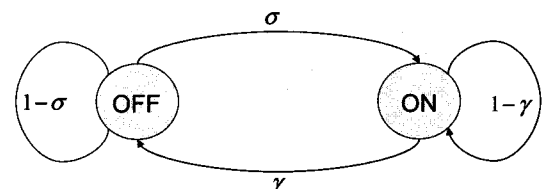
더 구체적으로 기존의 PLFS 알고리즘과 제안된 Modified-PLFS 알고리즘의 동작 특성의 차이를 예를 들어 설명하기 위해 두 명의 사용자를 고려하자. 사용자 1의 경우, 현재 프레임(frame 0)을 기준으로 다음다음 프레임(frame 2)에 손실될 패킷의 수가 5이고, 사용자 2의 예상 손실 패킷의

수가 7이라고 가정하자. 또한 사용자 1의 큐의 HOL의 패킷 지연값이 사용자 2의 HOL의 패킷 지연값보다 크고, 두 사용자의 채널의 전송 상태가 둘 다 12라고 가정한다. 이때 사용자 1, 2에 대해 우선순위 값을 계산하는 다른 요소의 값이 동일할 때, 큐의 HOL 패킷의 지연 값이 더 큰 사용자 1이 PLFS 알고리즘에서 더 높은 자원 할당 우선순위를 가지게 될 것이다. 전송 후, 시스템 상의 패킷 손실량은 7이 된다. 하지만 만약 사용자 2가 선택이 된다면 전체 패킷 손실량은 5가 될 것이다. Modified-PLFS는 이와 같은 상황에서 사용자 1이 아닌 사용자 2에게 우선순위를 가지도록 스케줄링 된다.

5. 시뮬레이션 환경 및 결과

5.1 음성 패킷 모델

음성 원은 지수 함수 분포에 의해 결정되는, 통계적으로 서로 독립인 음성 활성화 구간과 비활성 구간의 패턴을 생성한다. 각각의 평균 구간은 1초, 1.35초이다. 음성 패킷은 음성 활성화 구간 동안만 생성되며, 16kbps의 비트 생성율을 갖는다. 그 중에서 320bit 단위에 의해 하나의 음성 패킷으로 만들어지며, 이는 1초에 50개의 프레임이 있다고 가정하면 한 프레임에 하나의 패킷만을 전송함으로써 음성의 음질을 만족하는 전송속도 유지가 가능함을 의미한다.



(그림4) 음성 트래픽 모델의 상태 전이 다이어그램

그림 4는 음성 트래픽에 대한 간단한 상태 전이 다이어그램을 보여준다. ON-OFF 구간의 길이는 지수함수를 따른다고 가정한다. 음성 활성화 구

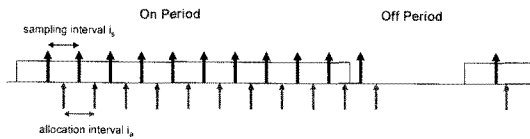
간의 평균 구간이 t_1 이고 시간 T 가 되는 시점에 활성 구간이 끝난다고 가정할 때의 확률 γ 는 다음으로 주어진다.

$$\gamma = 1 - e^{-\frac{T}{t_1}} \quad \text{수식 (7)}$$

또, 비활성 구간의 평균 구간이 t_2 이고, 시간 T 에서 끝난다면 확률 σ 는

$$\sigma = 1 - e^{-\frac{T}{t_2}} \quad \text{수식 (8)}$$

그림 5는 음성 패킷의 생성과 기지국에 의한 자원 할당 타이밍 관계를 도시한 예이다.



(그림 5) 음성 패킷 생성 주기와 자원 할당 주기 간의 타이밍 관계

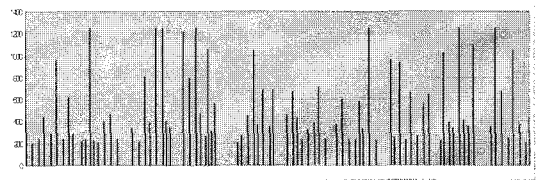
5.2 비디오 패킷 모델

실시간 비디오 스트리밍 트래픽 모델은 일정한 시간에 해당하는 프레임의 연속적인 발생으로 묘사되며, 하나의 프레임은 고정된 수의 패킷으로 분해된다. 또한 각 패킷은 파레토 분포에 의해 그 사이즈가 결정된다. 하나의 비디오 세션에는 연속적인 비디오프레임이 존재하며, 프레임 당 가변 길이를 갖는 비디오패킷이 8개 발생하며, 각 패킷의 길이와 패킷 간 도착 시간 간격은 파레토 분포를 따른다. $Pareto(k, m, \alpha)$ 로 파레토 분포를 정의하고 있으며, k 는 최소값, m 은 최대값, α 는 shape parameter를 의미한다. 이 경우 $Pareto(k, m, \alpha)$ 의 평균값과 peak 값은 다음과 같이 정의된다.

$$Average: R_{avg} = \frac{64}{100} \left(\frac{ak - m(k/m)^\alpha}{\alpha - 1} \right) \quad \text{수식 (9)}$$

$$Peak: R_{peak} = \frac{64}{100} m \quad \text{수식 (10)}$$

이러한 파라미터로부터 발생하는 비디오 트래픽 발생 패턴의 예는 그림 6 과 같다.



(그림 6) 패킷 사이의 시간 간격이 Pareto(6, 12.5, 1.1)인 경우 비디오 트래픽의 발생 패턴 예

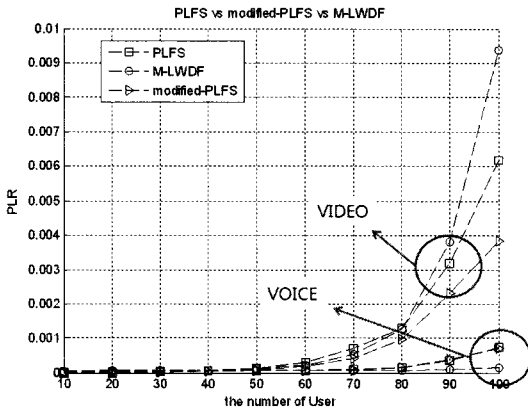
5.3 시뮬레이션 결과 분석

본 시뮬레이션에서 고려된 하향링크 WRAN의 슈퍼프레임 구조는 총 16개의 프레임으로 구성된다. 자원 할당의 관점에서 관찰하고자 제어 프레임 부분은 제외한다. 각 슈퍼프레임에는 하나의 프레임이 휴지시간(QP)로 사용된다. 음성 및 비디오 사용자를 지원하기 위해 2개의 서비스 클래스를 고려한다. 비디오 사용자는 20명으로 고정하고, 음성 사용자의 수는 10명에서 100명까지 10명씩 증가시키면서 관찰한다.

(표 2.) 시스템 파라미터

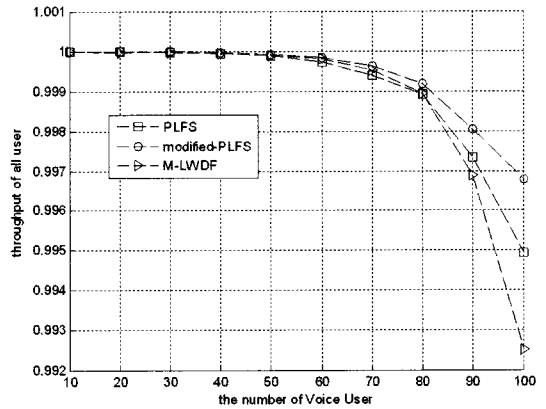
Parameter	Value
시스템	OFDMA / TDD
다운링크 채널 대역폭	20 Mhz
프레임당 슬롯 개수	10
데이터 전용용 부채널 수	12
서브 채널당 서브 캐리어의 수	128
프레임 주기	10 ms
slot 주기	1 ms

모든 사용자들은 12개의 부채널중 채널 상태가 가장 좋은 3개의 부채널 상태를 피드백하는 것으로 가정한다. 음성 및 비디오의 최소 패킷 손실율, PLR_{req} 값은 각각 10^{-6} 과 10^{-5} 으로 주어지고, 최대 허용 지연, D_{max} 값은 각각 20ms과 40ms으로 주어진다. 기타 시스템 변수들의 값은 표 2와 같다. 또한 제안된 Modified-PLFS 알고리즘 성능 분석을 위해 기존의 PLFS와 M-LWDF를 고려하고, 패킷 손실율과 처리율, 각 사용자 별 평균 패킷 손실을 관점에서 비교 분석한다.



(그림 7) 비디오 사용자가 20명일 때, 음성 사용자를 10에서 100까지, 10명씩 증가시키며 관측한 패킷 손실률

그림 7는 비디오 사용자가 20명일때, 음성 사용자 수의 변화에 따른 각 패킷 스케줄링 알고리즘의 패킷 손실률을 보여준다. 음성 사용자의 경우, Modified-PLFS는 기존의 PLFS와 거의 비슷한 성능을 갖지만 음성 사용자의 수가 80명 이상일 때 M-LWDF 보다 성능이 열화 됨을 알 수 있다. 이는 M-LWDF가 전체적인 패킷 손실률 값보다 각 사용자 클래스의 D_{max} 값에 더 큰 비중을 갖고, 이로 인해 비디오 사용자보다 작은 D_{max} 값을 가지는 음성 사용자가 더욱 많은 무선자원 할당 기회를 얻기 때문이다. 이와 반면, 비디오 트래픽의 경우 제안된 Modified-PLFS가 기존의



(그림 8) 비디오 사용자의 수가 20명일 때, 음성 사용자 수를 10에서 100까지, 10명씩 증가시키며 관측한 전체 사용자 처리율

PLFS와 M-LWDF 보다 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 이는 비디오 트래픽 특성상 많은 양의 패킷 손실이 발생하기 때문에 패킷 손실에 대한 고려를 하지 않는 기존의 PLFS와 M-LWDF보다 패킷 손실 양에 민감한 제안된 알고리즘이 더 나은 성능을 보이는 것이다.

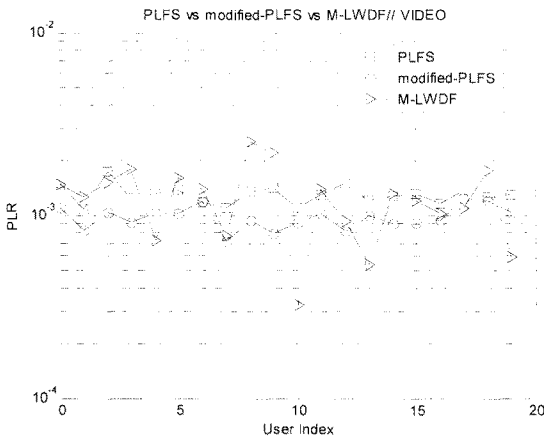
그림 8은 음성 사용자수 변화에 따른 각 스케줄링 알고리즘에 대한 처리율 변화를 보여준다. 처리율은 전체 생성 패킷 중 성공적으로 전송된 패킷 양의 비로 정의된다. 그림 8과 같이 제안된 알고리즘이 기존 PLFS와 M-LWDF보다 더 좋은 처리율 성능을 가짐을 알 수 있다.

그림 9는 비디오 사용자별 평균 패킷 손실률을 나타낸 것이다. 제안된 Modified-PLFS와 기존의 PLFS는 각각 전체적으로 균등한 패킷 손실률을 보이지만 M-LWDF는 사용자 별 패킷 손실율의 차등이 크다. 이를 통해 Modified-PLFS가 균일한 서비스 품질과 더 나은 패킷 손실률을 보장함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 802.22 WRAN의 하향링크에서

실시간 서비스 클래스의 서비스품질(QoS) 향상을 위해 큐의 상태를 고려하여 효율적으로 서비스하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 현재 프레임 서비스가 끝난 후 각 사용자의 개별 큐에 상태를 점검하여 다음다음 프레임에서 발생할 패킷손실수를 체크한 후, 다음 프레임에서 패킷손실수를 고려하여 자원을 할당한다. 그 결과 비교의 주 대상인 PLFS와 보이스 품질이 거의 동일한 상태에서, 서비스 해야 할 패킷의 양이 많은 실시간 비디오 서비스의 경우 더 나은 PLR과 Throughput을 제공함을 확인할 수 있었다. 휴지시



(그림 10) 비디오 사용자 수가 20명, 음성 사용자 수가 80일 때, 각 비디오 사용자별 평균 패킷 손실률

간(OP)가 적용된, 보다 열악한 지연 상황 하에서 효과적으로 실시간 서비스들의 서비스품질(QoS)를 만족시켜주기에 Modified-PLFS가 적당함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술 개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2005-S-002-03, 스펙트럼 사용 효율 개선을 위한 Cognitive Radio 기술]

참고 문헌

- [1] 김윤희, 김광순, "CR을 위한 OFDMA 기반 전송 방", 한국전자과학회지, 17권 2호, 9, 2006년 4월
- [2] IEEE P802.22/D0.3.7, July 2007
- [3] 엄중선, 고광진, 임선민, 김상원, 송명선, "IEEE 802.22 WRAN 표준화 동향", 34권 3호, 316-325, 2007년 3월
- [4] S. Shakkottai and A. L. Stolyar, "Scheduling for multiple flows sharing a time-varying channel : the exponential rule", Bell Laboratories Technical Report, December, 2000
- [5] S. Shakkottai and A. L. Stolyar, "Scheduling algorithms for a mixture of real and non-real-time data in HDR", Bell Laboratories Technical Report, December, 2000
- [6] Sanjay Shakkottai, Alexander L. Stolyar, "Scheduling algorithm for a mixture of real-time and non-real-time data in HDR", 17th International Teletraffic Congress (ITC-17), September, 2001
- [7] Matthew Andrew 외 4명, "Providing quality of service over a shared wireless link", IEEE Comm. Mag., February, 2001, pp.150-154
- [8] M. Andrews et al., "CDMA data QoS scheduling on the forward link with variable channel conditions", Bell Labs Tech. Memo., April, 2000.
- [9] Seokjoo Shin, Byung-Han Ryu, "Packet loss fair scheduling scheme for real-time traffic in OFDMA system", ETRI Journal, Volume 26 Number 5, 391-396, October 2004
- [10] IEEE 802.22, "IEEE 802.22 / D0.2 draft standard for wireless regional area networks part22 : cognitive wireless RAN medium access control and physical specifications : policies and procedures for operation in the

TV bands", November 2006
[11] IEEE 802.22, "IEEE 802.22 / D0.3.7 draft
standard for wireless regional area networks
part22 : cognitive wireless RAN medium

access control and physical specifications :
policies and procedures for operation in the
TV bands", July 2007

◎ 저 자 소개 ◎



이 영 두 (Young-du Lee)
2007년 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부(학사)
2007~현재 울산대학 전기전자정보시스템공학부 석사과정
관심분야 : 차세대 이동통신, 무선 센서네트워크
E-mail : leeyd1004@naver.com



구 인 수 (Insoo Koo)
1996년 건국대학교 전자공학과 졸업(학사)
1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)
2002년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)
2005~현재 울산대학 전기전자정보시스템공학부 교수
관심분야 : 차세대 이동통신, 무선 센서네트워크
E-mail : iskoo@ulsan.ac.kr



고 광 진 (Gwangzeen Ko)
1995년 동국대학교 전자공학과 졸업(학사)
1997년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)
2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)
2003년 ~ 2005년 고려대학교 통신수학연구센터 연구교수
2005년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야 : Cognitive Radio, 무선통신 MAC 설계 · 성능분석 · 구현, 무선통신 이론
E-mail : gogogo@etri.re.kr