

EPLA(Expected Packet Loss Amount) 패킷 스케줄링 알고리즘의 복잡도를 줄이는 간단한 방법

이영두, 응우옌 탄 난, 구인수
 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

A simple method for reducing the complexity of EPLA packet scheduling algorithm

Youngdu Lee, NGUYEN THANH NHAN and Insoo Koo
 School of Electrical Engineering, University of Ulsan

Abstract - EPLA 패킷 스케줄링 알고리즘은 IEEE 802.22 WRAN 시스템의 실시간 트래픽 전송 지원을 위한 패킷 스케줄링 알고리즘으로 참고문헌 [4]로 제안되었다. 패킷 기반 무선 전송 시스템에서 실시간 트래픽의 경우 짧은 데이터 유효 시간을 가지며, 만약 데이터 유효 시간이 초과할 경우 실시간 트래픽 데이터의 가치를 상실하기 때문에 시스템에서는 해당 패킷을 전송하지 않고 제거해 버린다. 그러므로 실시간 트래픽의 중요한 서비스 품질(QoS) 인자인 요구된 패킷 손실율을 보장하기 위해서는 실시간 트래픽의 데이터 유효 시간을 고려하여 자원을 할당하여야 한다. 기존의 패킷 스케줄링 알고리즘들은 많은 경우 큐의 맨 앞에 위치한 패킷의 지연 시간을 고려하지만 EPLA는 패킷이 저장되는 큐 내의 다음 프레임에서 제거될 것으로 예상되는 패킷의 손실량을 고려하여 자원을 할당함으로써 기존의 실시간 패킷 스케줄링 알고리즘에 비해 훨씬 좋은 성능을 보인다. 하지만 EPLA는 예상되는 패킷 손실량을 계산하기 위해서 모든 사용자의 큐에 저장된 패킷들을 확인해야하므로 높은 복잡도를 가지는 문제점이 있다. 본 논문에서는 각 사용자로부터 피드백 받은 부채널의 상태 정보를 기반으로 사용자 큐를 확인하여 횡수를 제한함으로써 패킷 손실율 성능의 손실 없이 복잡도를 줄이는 간단한 방법을 제안하고, 실시간 트래픽인 음성 트래픽과 비디오 트래픽에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 이를 확인한다.

1. 서 론

오늘날 한정적 자원인 주파수의 부족 현상이 심화됨에 따라 효율적으로 주파수를 사용하기 위한 기술들의 개발 요구가 날로 높아지고 있다. 그 중 무선 인지(cognitive radio, 이하 CR)는 전파 자원을 공유하는 기술로서, 독립적 이용권을 지닌 면허권자에게 제공된 주파수 대역에서 현재 면허권자가 사용하지 않는 주파수 채널을 검출하여 1차 사용자인 면허권자에게 간섭을 주지 않는 범위 내에서 해당 주파수 채널을 사용하는 기술이다. 이러한 CR이 적용된 첫 표준으로써의 시도가 바로 IEEE 802.22 WRAN 이다. [1],[2],[3] IEEE 802.22 WRAN은 1차 사용자들을 검출하기 위하여 휴지 시간 프레임(quiet period, 이하 QP)이 주기적으로 존재한다. QP 동안에 기지국과 CR 사용자들은 채널에서 1차 사용자들이 존재하는지 센싱하기 위하여 전송을 모두 멈추게 되는데 이로 인해 각 사용자의 큐들 속의 패킷들은 피할 수 없는 지연을 겪게 된다. 특히, 실시간 트래픽의 경우에는 짧은 데이터 유효 시간을 가지고 있기 때문에 더욱 심각한 서비스 품질 저하를 맞이하게 된다. 이를 효과적으로 극복하기 위해서는 큐의 맨 앞에 위치하여 가장 먼저 서비스를 받게 되는 패킷들의 지연 상태만을 고려할 것이 아니라 큐 내에 존재하는 모든 패킷들의 지연 상태를 고려해야 할 것이다. 이와 같은 동작 원리를 반영하는 패킷 스케줄링 알고리즘인 EPLA(the expected packet loss amount)는 IEEE 802.22 WRAN 표준의 실시간 트래픽을 지원하기 위하여 제안되었다. [4] EPLA는 기존의 실시간 패킷 스케줄링 알고리즘인 M-LWDF(modified - largest weightd delay first)와 PLFS(packet loss fair scheduling) 등과 비교했을 때 더 나은 성능을 이끌어내지만, 큐 내의 모든 패킷의 지연 상태를 확인해야 하기 때문에 복잡도가 높아지는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 EPLA가 가지고 있는 높은 복잡도를 성능의 손실 없이 줄이는 간단한 방법을 제안한다. EPLA는 각 사용자의 큐 상태를 확인하여 현 프레임의 전송이 끝난 후 다음 프레임에서 제거 될 것으로 예상되는 패킷의 수를 정량적으로 계산하고, 이를 각 사용자가 사용할 부채널의 전송 가능한 패킷 수와 비교하여 전송 우선순위를 결정한다. 제안하는 방법은 사용자마다 예상되는 패킷 손실량 계산 시 큐 내의 모든 패킷의 지연 상태를 확인하지 않고 다만 각 사용자가 사용할 부채널의 상태를 기반으로 결정된 확인 횟수만큼 지연 상태를 확인한다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 갖는다. 2장에서는 본 논문에서 고려중인 WRAN 시스템을 간단히 소개하고, 3장에서 EPLA 패킷 스케줄링 알고리즘을 확인한 후, 4장에서 제안하는 복잡도를 줄이는 간단한 방법을 설명한다. 5장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 방법이 실시간 트래픽의 중요한 인자인 패킷 손실율의 관점에서 성능의 손실 없이 복잡도를 줄이는지를 확인하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. WRAN 시스템

IEEE 802.22 WRAN은 고정형의 기지국과 CR 사용자들로 구성되며, OFDMA 방식을 기반으로 슈퍼 프레임 단위로 데이터 전송을 수행한다. 하

나의 슈퍼 프레임은 크게 PHY preamble, superframe control header(이하 SCH), 16개의 프레임, 3부분으로 구성된다. PHY preamble은 burst 검출, 동기화, 수신측에서의 channel estimation에 사용되고, SCH는 채널 결합 정보, QP 정보, 프레임의 개수, 전력정보, 위치정보 등을 담고 있으며, 16개의 프레임들은 데이터를 전달하는데 사용된다. 하나의 프레임은 TDD(time division duplex) 방식을 사용하며, downstream과 upstream 부프레임으로 나뉜다. CR 사용자들은 downstream 부프레임을 수신하고, 그 내부에 있는 US-MAP 정보를 기반으로 upstream 부프레임에서 자신의 데이터를 송신할 리소스의 위치를 획득하여 데이터를 기지국으로 송신한다. 프레임 내에서 패킷 전송을 위한 기본적인 리소스의 공간 형태는 주파수 영역에서는 N 개의 부채널로, 시간 영역에서는 K 개의 슬롯으로 구성된 N x K 2차원 배열로 표현된다.

본 논문에서는 고정형의 각 CR 사용자들이 기지국으로 n 개의 부채널에 대한 채널 상태를 피드백 받는 것으로 가정하고, 기지국은 우선순위가 결정된 사용자별로 피드백된 부채널에서 슬롯이 현재 사용 가능한지를 참조한 후, 비어 있을 시 해당 리소스 공간에 패킷을 할당하도록 되어 있다. 각 리소스 공간의 전송 능력은 피드백된 부채널의 SNR 값에 따라 패킷의 수로 정규화된다. IEEE 802.22 WRAN은 채널상태에 따라 다른 MCS(modulation and coding scheme) 레벨을 적용하는 AMC(adaptive modulation and coding) 기법을 적용하여 전송을 수행한다.

3. EPLA 패킷 스케줄링 알고리즘

모든 종류의 실시간 트래픽들은 요구된 QoS 레벨에 따라 저마다의 일정한 길이의 데이터 유효 시간을 가지고 있다. 그리고 일반적으로 해당 실시간 트래픽이 생성된 시간을 기준으로 자신의 데이터 유효 시간을 초과할 경우 정보로써의 가치를 상실하기 때문에 해당 전송 시스템은 이것을 전송하지 않고 제거해 버린다. 그러므로 실시간 트래픽 전송에 있어서 가장 중요하게 고려해야 할 인자는 패킷 손실율이다.

트래픽이 가지는 전송 지연 요소 가운데 가장 큰 부분을 차지하는 것은 바로 큐에 의한 지연이다. 패킷들은 전송 전에 FIFO로 동작하는 큐에 먼저 저장이 되며, 큐에 저장된 패킷은 자신의 전송 차례가 올 때까지 계속해서 전송 지연을 겪게 된다. IEEE 802.22 WRAN의 경우, 1차 사용자 검출을 위한 QP의 사용으로 인하여 큐 내의 모든 패킷들이 피할 수 없는 지연을 겪게 되어 실시간 트래픽에 대하여 열악한 전송 환경을 가질 수밖에 없다.

EPLA는 현 프레임에서 전송 기회를 얻지 못하여 다음 프레임에서 제거될 것으로 예상되는 패킷의 양을 파악하고, 이것을 부채널의 전송 가능한 패킷의 수와 비교하여 작은 값을 선택한다. 작은 값을 선택하는 이유는 그것이 현 프레임에서 실제 전송될 수 있는 패킷의 양이기 때문이다. 사용자 k의 부채널, n의 우선 순위 값은 다음과 같다.

$$\Phi_{k,n}(t) = \begin{cases} \min(A_{k,n}(t), N_{drop,k}(t + DF)) \cdot \beta, & \text{if the next frame is a normal frame} \\ \min(A_{k,n}(t), N_{drop,k}(t + DF + DQP)) \cdot \beta, & \text{if the next frame is a quiet frame} \end{cases} \quad (1)$$

수식(1)에서는 $A_{k,n}(t)$ 사용자 k의 부채널 n의 전송 가능한 패킷의 수이고, $N_{drop,k}(t + DF)$ 는 다음 프레임이 일반 프레임일 때의 패킷 손실량을 계산한 값이며, $N_{drop,k}(t + DF + DQP)$ 는 다음 프레임이 QP일 때의 패킷 손실량을 나타낸다. β 는 다른 서비스 클래스를 제공하기 위한 가중 인자이며, DF는 duration of frame을, DQP는 duration of quiet period frame을 의미한다.

EPLA는 $\Phi_{k,n}(t) > 0$ 인 다음 프레임에서 예상되는 패킷 손실량을 가진 사용자들에게 먼저 우선적으로 리소스를 할당한 후, $\Phi_{k,n}(t) = 0$ 인 사용자들에게 남은 리소스들을 할당한다. 전자의 경우, 자원 할당 우선 순위는 $\Phi_{k,n}(t)$ 값에 의해 결정되며, 후자의 경우, 임의의 패킷 스케줄링 알고리즘을 사용하여 우선순위를 결정 할 수 있다. [4]에서는 임의의 패킷 스케줄링 알고리즘으로 M-LWDF와 PLFS를 사용하였으며, 이를 통해 각 패킷 스케줄링 알고리즘의 성능 향상을 보여 주었다. 그러나 [4]에서의 EPLA는 패킷 손실량 계산에 의한 높은 복잡도를 가지는 문제점을 가지고 있다.

4. 복잡도를 줄이는 간단한 방법

$\phi_{k,n}(t) > 0$ 의 경우에 속하는 사용자들의 예상되는 패킷 손실량이 아무리 많을지라도 전송 할 수 있는 패킷의 양은 부채널의 전송 가능한 패킷 수에 의해 제한된다. 그리고 $\phi_{k,n}(t)$ 함수 역시도 단지 부채널에 의해 전송 가능한 패킷의 수와 예상되는 패킷 손실량 중 어느 쪽이 더 작은 지만을 비교한다. 그러므로 큐 내에 있는 모든 패킷에 대해 데이터 유효 시간을 초과했는지를 확인할 필요 없이, 단지 큐의 맨 앞에 있는 패킷을 시작으로 사용자 k의 부채널 n의 전송 가능한 패킷 수에 1을 더한 값만큼 초과 유무를 확인하면 된다. 만약 피드백 받은 부채널 정보의 개수가 2개 이상일 때에는 부채널들중 가장 전송 가능한 패킷의 수가 많은 경우를 기준으로 제한 값을 계산한다. 이는 사용자가 여러 개의 부채널을 가지고 있을지라도 예상되는 패킷 손실량은 하나이기 때문이다. 사용자 k의 제한 값, $C_{k,bsc}(t)$ 는 다음 수식과 같이 주어진다.

$$C_{k,bsc}(t) = A_{k,bsc}(t) + 1 \quad (2)$$

여기에서 $A_{k,bsc}(t)$ 는 사용자 k의 부채널들중 채널 상태가 가장 좋은 부채널(bsc)의 전송 가능한 패킷 수를 의미하며, bsc는 사용자 k의 부채널중 채널 상태가 가장 좋은 부채널로 다음 수식으로 주어진다.

$$bsc = \arg, (\max A_{k,i}(t)) \quad (3)$$

5. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 IEEE 802.22 WRAN의 QoS 요구 사항을 반영하여 구성하였다. 슈퍼 프레임 단위로 전송을 수행하며, 하나의 슈퍼 프레임은 16개의 프레임으로 구성하였다. 그리고 하나의 슈퍼 프레임에는 1개의 QP가 존재하며, 그 길이는 10ms으로 고정된다.[1] 실시간 트래픽으로 음성 트래픽과 비디오 트래픽을 고려하였으며, 음성 트래픽의 경우 데이터 유효 시간 20ms, 요구된 패킷 손실율 10^{-6} 이며, 비디오 트래픽의 경우는 40ms, 10^{-4} 이다. 이외의 다른 파라미터들은 표1과 같다.

표 1. 시스템 파라미터

파라미터	값
시스템	OFDMA / TDD
다운링크 채널 대역폭	20 MHz
프레임당 슬롯 수	10
데이터 전송을 위한 부채널의 수	12
부채널당 부반송자의 수	128
프레임 길이	10 ms
슬롯 길이	1 ms

시뮬레이션은 기존의 M-LWDF와 결합된 EPLA와 여기에 복잡도를 줄이기 위한 방법이 적용된 2가지의 경우로 수행되었고, 결과는 패킷 손실율과 큐 확인 계산량의 관점에서 분석하였다.

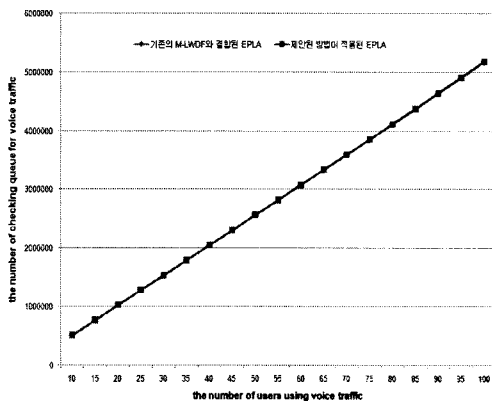


그림 1. 음성 트래픽이 저장된 큐의 확인 횟수 비교

그림 1과 2는 각각 음성, 비디오 트래픽이 저장되는 큐를 확인하는 횟수를 보여주고 있다. 음성 트래픽의 경우, 확인 횟수의 차이가 거의 없음을 볼 수 있다. 이것은 음성 트래픽 특성상 한 프레임당 하나의 패킷으로 음성 트래픽 전송이 가능하기에 거의 모든 경우 전송 가능한 패킷의 수보다 전송하고자 하는 패킷의 수가 훨씬 적어 큐 내에 남아 있는 패킷의 수는 대부분의 경우 아주 작기 때문이다. 비디오 트래픽의 경우, 제안된 방법을 사용한 EPLA가 그렇지 않은 경우와 비교해서 약 2배 가량 확인 횟수가 줄어들었음을 볼 수 있다. 이것은 비디오 트래픽이 음성 트래픽과 비교해 상대적으로 많은 양의 패킷을 생산하고, 그 양이 전송 가능한 패킷의 수보다 크기 때문에 큐 내에 남아 있는 패킷의 수가 많아짐으로 인한 것이다.

그림 3은 제안된 방법이 적용된 EPLA와 그렇지 않은 EPLA가 패킷 손실율의 관점에서 성능의 차가 거의 일어나지 않음을 보여 주고 있다.

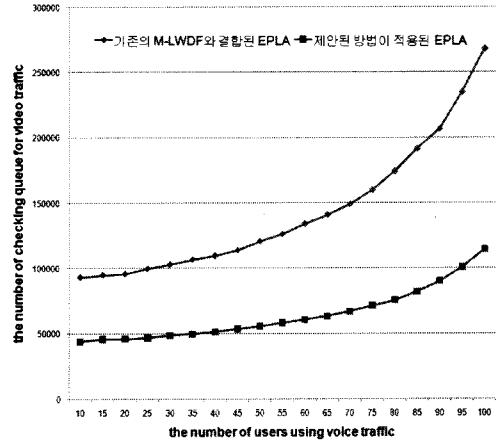


그림 2. 비디오 트래픽이 저장된 큐의 확인 횟수 비교

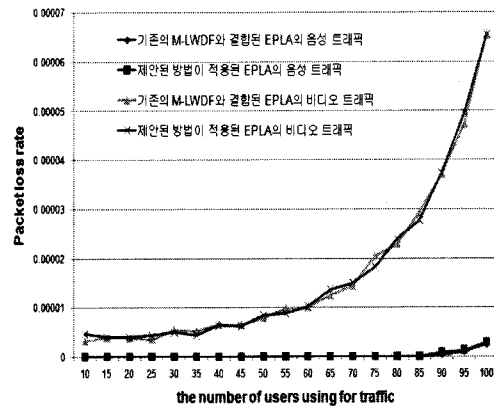


그림 3. 패킷 손실율을 통한 성능 비교

6. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.22 WRAN의 실시간 트래픽 전송을 지원하기 위해 제안된 EPLA 패킷 스케줄링 알고리즘이 가지는 높은 복잡도 문제를 해결하기 위하여 사용자 큐에 저장된 패킷들의 지연 시간을 확인할 때 사용자의 부채널 상태를 기반으로 확인 횟수를 제한하는 간단한 방법을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션 결과를

통하여 큐에 의해 지연을 많이 겪는 비디오 트래픽의 경우 성능의 저하 없이 예상되는 패킷 손실율 계산시 큐 확인 횟수를 2배 가량 줄일 수 있음을 확인 할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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
- [2] 김윤희, 김광순, "CR을 위한 OFDMA 기반 전송 방", 한국전자과학회지, 17권 2호, 9, 2006년 4월
- [3] 김창주, 임차식, "Cognitive Radio 기술 및 표준화 동향", 한국전자과학회지, 19권 제2호, 23-29 페이지, 2008년 3월
- [4] Youngdu Lee, Insoo Koo, "A packet scheduling algorithm based on the estimation of packet loss amount for supporting real-time traffic in IEEE 802.22 WRAN systems", ICS-CSCC 2008, p1353, shimonoseki, japan, July/2008

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.