

Wireless MAN에서 Best Effort 서비스를 위한 MAC 방식의 지연 공평성

박진경, 신우철, 하준, 최천원
단국대학교 대학원 전자컴퓨터공학과
전화 : 02-709-2919

Delay Fairness of MAC Schemes for Best Effort Service in Wireless MAN

Jin Kyung Park, Woo Cheol Shin, Jun Ha, Cheon Won Choi
Department of Electronics and Computer Engineering, Graduate School
Dankook University
E-mail : cchoi@dku.edu

Abstract

IEEE 802.16 Wireless MAN standard specifies the air interface of fixed point-to-multipoint broadband wireless access systems providing multiple services. Among the service classes supported by the wireless MAN, the best effort service class is ranked on the lowest position in priority and is assisted by a MAC scheme based on reservation ALOHA. Such MAC scheme must include a number of components, while many of them are not specified in the standard. In this paper, we thus reveal main components of a MAC scheme supporting the best effort service and present candidate schemes implementing such components. Combining schemes for implementing components, we then construct distinctive MAC schemes supporting best effort service. In designing a MAC scheme, the delay performance induced by the scheme should be considered since scarce resource may be available for the best effort service after the preemptive resource occupation by other service classes. In this paper, we focus on the delay fairness among the subscriber stations using the best effort service. For evaluating a MAC scheme in delay fairness, we present two definitions of delay fairness and provide a criterion for optimal MAC scheme according to each definition of delay fairness. Using a simulation method, we investigate the mean

delay performance exhibited by each MAC scheme and find an optimal scheme in delay fairness. From numerical examples, we observe that SR/ED/PG+P scheme has strong delay fairness compared with MR/ED/PG+P and SR/ED/PG+D schemes according to a definition of delay fairness. However, other schemes are rather shown to have better delay fairness when the other definition is adopted.

I. 서론

IEEE 802.16 Wireless MAN은 BWA(broadband wireless access) 서비스의 제공을 위한 표준안으로, 10~66 GHz 주파수 대역과 2~11 GHz 주파수 대역을 대상으로 하며, 다중 서비스를 제공하는 point-to-multipoint BWA 시스템의 MAC(media access control) 계층과 물리 계층을 포함한 무선 접속을 규정하고 있다 [1][2][4]. 초기에는 서로 다른 RF 시스템간의 BWA 서비스 공존과 주파수 확장을 위해 IEEE에서 BWA 표준화가 제안되었다. 이후 IEEE의 LAN/MAN 표준 위원회에서 BWA 무선 접속 규격의 개발을 목적으로 802.16 WG(working group)가 설립되었고, 2002년에 10~66 GHz 대역의 광대역 접속 서비스를 위한 IEEE 802.16 Wireless MAN 표준 규격이 제정되었다 [3]. 현재 Wireless MAN의 확장된 표준화 작업이 진행 중이다.

IEEE 802.16 Wireless MAN에서 SS(subscriber station)와 BS(base station) 사이에 지원되는 서비스 클래스로는

UGS(unsolicited grant service), rtPS(real-time polling service), nrtPS(non-real-time polling service), BE(best effort)가 있다 [3]. 이 중 BE 클래스는 서비스 클래스 중 가장 낮은 우선 순위를 부여받고 예약 ALOHA(reservation ALOHA) 기반 MAC 방식의 지원을 받는다. 이러한 MAC 방식은 SS 별 자원 요청(resource request)에 대한 제약 사항, 자원 요청 시 요구하는 자원의 양, 상향 프레임 당 요청 기회(request opportunity)의 수, 자원 요청에서 충돌(collision)이 발생할 경우 경합 해소(contention resolution) 방법, 그리고 BS에서 자원 요청의 스케줄링(scheduling) 방식 등의 요소로 구성된다. 그러나 이 중 많은 요소의 구현 방식이 표준화되어 있지 않다 [2].

본 논문에서는 우선 SS의 자원 요청 시도가 허용되기 위한 조건, SS의 자원 요청 시도에서 요구할 수 있는 자원의 양, 상향 프레임의 잔여 자원 양이 자원 요청이 요구하는 양에 미치지 못할 경우 BS의 자원 할당 여부 및 이에 수반된 자원 요청의 처리 등 best effort 서비스를 위한 MAC 방식의 주요 요소를 밝힌다. 이어서 각 주요 요소를 구현하는 방식으로 단일 요청 방식(single request scheme)과 다중 요청 방식(multiple request scheme), 고갈형 요구 방식(exhaustive demand scheme)과 제약형 요구 방식(limited demand scheme), full grant 방식과 partial grant 방식 등을 제시한다. 그리고 이러한 각 요소의 구현 방식을 결합하여 MAC 방식을 구성한다.

한편 BE 클래스에 가장 낮은 우선권이 주어지므로 다른 서비스 클래스에 의해 대부분의 자원이 선점된 후 희박한 자원만이 best effort 서비스를 위해 남을 수 있다. 따라서 best effort 서비스를 지원하는 MAC 방식의 설계에서 지연 성능이 반드시 고려되어야 한다. 본 논문에서는 best effort 서비스를 사용하는 SS간의 지연 공평성(delay fairness)에 집중한다. 각 MAC 방식의 지연 공평성을 평가하기 위해 지연 공평성의 두 가지 정의를 제시하고 각 정의에 따라 지연 공평성에서 최적인 MAC 방식을 선별하는 기준을 제안한다. 모의 실험 방법으로 각 MAC 방식에 따른 MAC PDU(protocol data unit)의 평균 지연 성능을 측정하고, 이를 바탕으로 지연 공평성의 기준에 의거하여 최적 MAC 방식을 구한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 wireless MAN의 best effort 서비스를 위한 MAC 방식의 주요 요소를 열거하고 각 요소를 구현하는 방식을 제시한다. 3 절에서는 MAC 방식의 지연 공평성을 정의한 후 최적 지연 공평성의 기준을 제안한다. 4 절에서는 MAC 방식의 지연 공평성을 분석하기 위한 모의 실험이 수행되고, 이러한 실험 결과를 바탕으로 지연 공평성에서 최적의 MAC 방식을 구한다.

II. Best Effort 서비스를 지원하는 MAC 방식

IEEE 802.16 표준안에는 wireless MAN의 best effort 서비스를 지원하기 위한 MAC 방식의 기본 틀만이 명시되어 있다. 예약 ALOHA(reservation ALOHA) 방식에 기초한 이러한 MAC 방식의 기본 틀에서 각 SS는 버퍼에 남아있는 MAC PDU를 전송할 수 있는 자원을 상향 프레임(uplink subframe)의 요청 기회(request opportunity)를 이용하여 요구하고, BS는 성공한 요청에 대해 자원을 할당하고 그 내용을 상향 프레임에 담아 해당 SS에게 알린다 [3][4].

본 절에서는 best effort 서비스를 지원하는 MAC 방식의 구체화를 수행한다. 이를 위해 우선 MAC 방식을 구성하는 중요 요소를 지적하고 각 요소의 구현 방식을 제시한다. 마지막으로 이러한 요소의 구현 방식을 조합하여 best effort 서비스를 위한 MAC 방식을 구성한다.

IEEE 802.16 표준안에 제시된 MAC 방식의 기본 틀을 바탕으로 한 MAC 방식의 구체화에 필요한 여러 요소 중 본 논문에서는 다음 세 가지 요소에 집중한다.

요소 1: SS의 자원 요청 시도가 허용되기 위한 조건

요소 2: SS의 자원 요청 시도에서 요구할 수 있는 자원의 양

요소 3: 상향 프레임의 잔여 자원 양이 자원 요청이 요구하는 양에 미치지 못할 경우 BS의 자원 할당 여부 및 이에 수반된 자원 요청의 처리

상기 요소 1을 구현하는 방식으로 단일 요청 방식(single request scheme: SR)과 다중 요청 방식(multiple request scheme: MR)을 제시한다.

(1) SR: 각 SS는 자원 요청이 성공적으로 BS에게 전달되면 이 요청에게 자원이 할당될 때까지 새로운 자원 요청을 하지 않는다.

(2) MR: 각 SS는 이전의 성공한 자원 요청에 대한 자원 할당을 기다리지 않고, 새로운 MAC PDU가 버퍼에 도착하면 새로운 자원 요청을 시도한다.

한편 요소 2를 구현하는 방식으로 고갈형 요구 방식(exhaustive demand scheme: ED)과 제약형 요구 방식(limited demand scheme: LD)을 제시한다.

(1) ED: 각 SS는 자원 요청 시 현재 버퍼에 남아 있는 모든 MAC PDU를 전송할 수 있는 자원을 요구한다.

(2) LD: 각 SS가 자원 요청을 할 때 요구할 수 있는 자원은 한정된다.

또한 요소 3을 구현하는 방식으로 full grant 방식(FG), partial grant and preservation 방식(PG+P) 그리고 partial grant and discard(PG+D) 방식을 제안한다.

(1) FG: 상향 프레임의 잔여 자원 양이 자원 요청이 요구하는 양에 미치지 못할 경우 자원 할당을 하지 않는다.

(2) PG+P: 상향 프레임의 잔여 자원 양이 자원 요청이 요구하는 양에 미치지 못할 경우 모자라는 자원을 일단 할당하고 부족한 요구 자원은 다음 상향 프레임에서 할당한다.

(3) PG+D: 상향 프레임의 잔여 자원 양이 자원 요청이 요구하는 양에 미치지 못할 경우 모자라는 자원을 할당한 후 요청을 삭제한다. 부족한 요구 자원을 위해 SS는 추후 재

요청을 시도한다.

상기 요소의 구현 방식을 결합하여 구성되는 MAC 방식은 표 1에 정리되어 있다.

표 1 Best effort 서비스를 위한 MAC 방식

scheme	
SR/ED/PG+P	single request, exhaustive demand, partial grand and preservation
SR/LD/PG+P	single request, limited demand, partial grand and preservation
SR/ED/PG+D	single request, exhaustive demand, partial grand and discard
SR/LD/PG+D	single request, limited demand, partial grand and discard
SR/ED/FG	single request, exhaustive demand, full grand
SR/LD/FG	single request, limited demand, full grand
MR/ED/PG+P	multiple request, exhaustive demand, partial grand and preservation
MR/LD/PG+P	multiple request, limited demand, partial grand and preservation
MR/ED/PG+D	multiple request, exhaustive demand, partial grand and discard
MR/LD/PG+D	multiple request, limited demand, partial grand and discard
MR/ED/FG	multiple request, exhaustive demand, full grand
MR/LD/FG	multiple request, limited demand, full grand

III. MAC 방식의 지연 공평성

하나의 BS를 중심으로 형성된 wireless MAN에서 M 개의 SS가 best effort 서비스를 사용하고 있다고 가정하자. (이러한 SS를 SS 1, ..., SS M 으로 나타낸다.) 이 때 best effort 서비스의 지원을 위해 적용되는 MAC 방식 δ 를 모두 모은 집합을 Δ 로 나타낸다. 각 SS에서 MAC PDU의 길이는 동일한 분포를 독립적으로 갖고 모든 $k \in \{1, \dots, M\}$ 에 대해 SS k 에서 MAC PDU의 도착율은 λ_k 라고 하자. 모든 $k \in \{1, \dots, M\}$ 에 대해 SS k 에 n 번째 MAC PDU가 도착하는 시간과 이러한 PDU가 SS k 를 떠나는 시간을 각각 $A_n^{(k)}$ 와 $R_n^{(k)}$ 로 나타내자. (할당된 자원을 이용하여 MAC PDU의 전송이 완료되면 MAC PDU는 해당 SS를 떠났다고 정의한다.) 모든 $k \in \{1, \dots, M\}$ 와 $n \in \{1, 2, \dots\}$ 에 대해 $D_n^{(k)} \stackrel{\Delta}{=} R_n^{(k)} - A_n^{(k)}$ 를 SS k 에서 n 번째 MAC PDU의 지연 시간으로 정의한다. 도착율 $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_M)$ 에 대해 모든 $k \in \{1, \dots, M\}$ 에서 $n \rightarrow \infty$ 에 따라 $D_n^{(k)} \xrightarrow{d} D^{(k)}$ 인 확률 변수 $D^{(k)}$ 가 존재하고 $E(D^{(k)}) < \infty$ 라고 가정하자. 모든 MAC 방식 $\delta \in \Delta$ 에 대

해 이러한 조건을 만족하는 도착율 λ 의 집합을 Λ 로 나

타내고 $f_k(\lambda, \delta) \stackrel{\Delta}{=} E(D^{(k)})$ 라고 하자. 본 논문에서는 지연

공평성을 다음과 같이 두 가지로 정의한다.

정의 1: 각 $\lambda \in \Lambda$ 에 대해 MAC 방식 $\delta^* \in \Delta$ 가 다음을 만족하면 방식 δ^* 는 지연 공평성을 갖는다.

$$f_1(\lambda, \delta^*) = \dots = f_M(\lambda, \delta^*) \quad (1)$$

정의 2: 각 $\lambda \in \Lambda$ 에 대해 MAC 방식 $\delta^* \in \Delta$ 가 다음을 만족하면 방식 δ^* 는 지연 공평성을 갖는다.

$$\lambda_1 f_1(\lambda, \delta^*) = \dots = \lambda_M f_M(\lambda, \delta^*) \quad (2)$$

정의 1 혹은 정의 2에 의거한 지연 공평성에 따라 Δ 에 속한 MAC 방식의 순위를 결정하기 위해 지연 공평성의 정도를 나타내는 함수 g_1 과 g_2 를 다음과 같이 정의한다.

임의의 $\lambda \in \Lambda$ 와 $\delta \in \Delta$ 에 대해

$$\begin{aligned} g_1(\lambda, \delta) & \stackrel{\Delta}{=} \max \{ |f_i(\lambda, \delta) - f_j(\lambda, \delta)| : i \neq j \} \\ g_2(\lambda, \delta) & \stackrel{\Delta}{=} \max \{ | \lambda_i f_i(\lambda, \delta) - \lambda_j f_j(\lambda, \delta) | : i \neq j \} \end{aligned} \quad (3)$$

또한 식 (3)의 함수 g_1 과 g_2 를 이용하여 함수 h_1 과 h_2 를 다음과 같이 정의한다.

$$h_1(\delta) \stackrel{\Delta}{=} \max \{ g_1(\lambda, \delta) : \lambda \in \Lambda \} \quad (4)$$

$$h_2(\delta) \stackrel{\Delta}{=} \max \{ g_2(\lambda, \delta) : \lambda \in \Lambda \}$$

두 가지 MAC 방식 δ_1 과 δ_2 가 $h_1(\delta_1) < h_1(\delta_2)$ 이면 정의 1에 따라 방식 δ_1 이 δ_2 보다 우수한 지연 공평성을 갖는다고 정의한다. 유사하게 두 가지 MAC 방식 δ_1 과 δ_2 가 $h_2(\delta_1) < h_2(\delta_2)$ 이면 정의 2에 따라 방식 δ_1 이 δ_2 보다 우수한 지연 공평성을 갖는다고 정의한다. 따라서 방식 $\delta^* \in \Delta$ 가 다음을 만족하면 정의 $c \in \{1, 2\}$ 에 따라 방식 δ^* 는 최적의 지연 공평성을 갖는다.

$$h_c(\delta^*) = \min \{ h_c(\delta) : \delta \in \Delta \} \quad (5)$$

III. 모의 실험을 통한 지연 공평성 분석

본 절에서는 wireless MAN에서 best effort 서비스를 지원하는 MAC 방식의 지연 공평성을 모의 실험 방법으로 분석한다. 모의 실험에서 프레임 지속 시간(frame duration time)은 1 msec이며, QPSK 변조 방식이 사용된다. 또한 1 minislot은 2 physical slot과 같으며 하나의 요청 기회는 8개의 minislot을 필요로 한다. (본 절에서는 기본 단위 시간을 8 minislot으로 정한다.) 한편 상향 프레임과 하향 프레임의 길이는 같고 각 상향 프레임마다 2개의 IMO(initial maintenance opportunity)가 있으며 best effort

서비스 외의 다른 서비스를 위해 100 단위 시간이 평균적으로 할당된다. 모의 실험에서 best effort 서비스를 사용하는 SS의 수는 4 개 그리고 각 MAC PDU의 전송 시간은 6 단위 시간으로 고정된다. SS에 MAC PDU가 도착하는 유형은 Bernoulli 프로세스로 설정되고 BS와 SS사이의 전파 지연 시간은 무시할 만큼 작다고 가정된다.

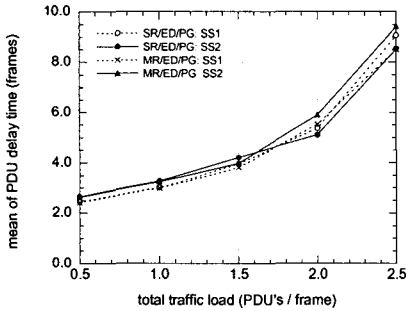


그림 1 트래픽 부하에 따른 PDU 지연 시간의 평균 (MAC 방식: SR/ED/PG+P, MR/ED/PG+P)

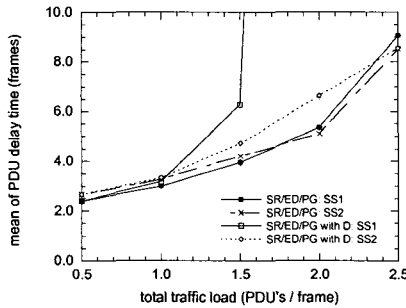


그림 2 트래픽 부하에 따른 PDU 지연 시간의 평균 (MAC 방식: SR/ED/PG+P, SR/ED/PG+D)

그림 1은 각 SS에 가해지는 트래픽 부하에 따른 MAC PDU의 평균 지연 시간을 보여 준다. 이 그림에서 MAC 방식으로는 SR/ED/PG+P(δ_1)와 MR/ED/PG+P(δ_2)가 사용되고 상향 프레임마다 4 개의 요청 기회가 주어진다. 그림 1에서 정의 1에 따라 지연 공평성 정도를 계산하면 $h_1(\delta_1)=0.551$ 이고 $h_1(\delta_2)=0.915$ 이다. 따라서 SR/ED/PG+P 방식이 MR/ED/PG+P 방식에 비해 우수한 지연 공평성을 갖는다. 그러나 그림 1에서 정의 2에 따라 지연 공평성 정도를 계산하면 $h_2(\delta_1)=7.941$ 이고 $h_1(\delta_2)=6.869$ 이다. 따라서 지연 공평성의 정의에 따라 상반된 성능이 나타난다.

그림 2는 각 SS에 가해지는 트래픽 부하에 따른 MAC PDU의 평균 지연 시간을 보여 준다. 이 그림에서 MAC 방식으로는 SR/ED/PG+P(δ_1)와 SR/ED/PG+D(δ_2)가 사용되고 상향 프레임마다 4 개의 요청 기회가 주어진다. 그림 2에서 정의 1에 따라 지연 공평성 정도를 계산하면 $h_1(\delta_1)=0.551$ 이고 $h_1(\delta_2)=1.556$ 이다. 따라서 SR/ED/PG+P 방식이 SR/ED/PG+D 방식에 비해 우수한 지연 공평성을 갖는다. 그러나 그림 2에서 정의 2에 따라 지연 공평성 정도를 계산하면 $h_2(\delta_1)=7.941$ 이고 $h_1(\delta_2)=3.526$ 이다. 따라서 지연 공평성의 정의에 따라 상반된 성능이 나타난다.

VI. 결론

본 논문에서는 wireless MAN의 infrastructure에서 best effort 서비스를 지원하기 위한 MAC 방식을 구성하는 주요 요소를 밝히고 각 요소를 구현하는 방식으로 단일 요청과 다중 요청, 고갈형 요구와 제약형 요구, full grant와 partial grant 방식 등을 제시하였다. 그리고 이러한 각 요소를 구현하는 방식을 결합하여 best effort 서비스를 위한 MAC 방식을 구성하였다. 한편 구성된 MAC 방식의 지연 공평성을 분석하기 위해 지연 공평성을 정의하고 최적 지연 공평성의 기준을 제안하였다. 모의 실험 방법으로 구한 MAC PDU 지연 시간의 평균값으로부터, 지연 공평성의 정의 1에 따라 SR/ED/PG+P 방식이 다른 방식에 비해 우수한 지연 공평성을 가짐을 확인하였다. 그러나 지연 공평성의 정의 2를 따를 경우 다른 MAC 방식이 오히려 보다 나은 지연 공평성을 가짐이 관찰되었다.

참고 문헌

- [1] <http://www.wirelessman.org>
- [2] C. Eklund, R. Marks, K. Standwood, and S. Wang, "IEEE Standard 802.16: A Technical overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access," IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 6, pp. 98-107, June 2002.
- [3] IEEE 802.16-2001, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," April 2002.
- [4] IEEE 802.16c-2002, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems-Amendment 1: Detailed System Profiles for 10-66 GHz," January 2003.