

---

# 멀티미디어 Ad Hoc 무선망에서 지연시간 보장 공정큐잉(DGFQ)의 분산적 구현

## Distributed Implementation of Delay Guaranteed Fair Queueing(DGFQ) in Multimedia Ad Hoc Wireless Networks

---

양현호

군산대학교 전자정보공학부

Hyun-Ho Yang(hhyang@kunsan.ac.kr)

---

### 요약

멀티미디어 Ad Hoc 무선망은 매우 매력적인 화두이며 이를 통하여 멀티미디어 서비스를 고정된 기간 망이 없이도 이동중인 최종 사용자들에게 제공할 수 있다. 그러나 특수한 설계상의 제약점으로 인하여 Ad Hoc 무선망에서 자원을 공정하게 분배하면서도 지연시간을 보장하는 것은 단순한 문제가 아니다. 본 논문에서는 분산적인 방법으로 지연시간 보장 공정 큐잉(DGFQ, Delay Guaranteed Fair Queueing) 방식을 멀티미디어 Ad Hoc 무선망에서 구현하고 성능 평가의 결과를 통하여 DGFQ 방식이 멀티미디어 무선망 환경에서도 제한된 지연시간을 보장할 수 있음을 보였다.

■ 중심어: | 공정큐잉 | Ad Hoc 무선망 | QoS | 멀티미디어 네트워크 |

### Abstract

The multimedia ad hoc wireless network is quite an attractive issue since it offers a flexible solution to enable delivery of multimedia services to mobile end users without fixed backbone networks. However, with the unique design challenges of ad hoc wireless networks, it is a non-trivial issue to provide bounded delay guarantee, with fair share of resources. In this paper, we proposed distributed implementation of the delay guaranteed fair queueing (DGFQ) scheme in multimedia ad hoc wireless networks. Through the the results of performance evaluation, we can conclude that DGFQ also performs well to control bounded delay in multimedia ad hoc wireless networks.

■ keyword: | Fair Queueing | Ad Hoc Wireless Network | Quality of Service (QoS) | Multimedia Network |

---

## I. 서론

최근 정보통신 분야에는 이동 Ad Hoc망(MANET, Mobile Ad Hoc Network), 유비쿼터스 센서망(USN, Ubiquitous Sensor Network) 등 새로운 무선망 기술

들이 등장하고 있으며 이러한 기술들은 모두 대역 제한적인 무선 매체를 통하여 오류 및 지연에 모두 민감한 응용 서비스를 제공하여야만 하는 요구사항을 가지고 있다. 실제로 이러한 응용 서비스를 전송한 분산적인 무

선망 기반 위에 구현하기 위해서는 희소한 공유자원인 무선 채널을 다수의 호스트들이 공정하게 그리고 제한된 지연시간을 보장 받을 수 있도록 공유하는 것이 필수적이다.

공정 큐잉(Fair Queueing)은 유선 및 패킷 셀룰러 네트워크 환경에서 여러 개의 노드들 간에 각각의 응용시스템의 요구에 따라 공정한 자원의 공유를 제공하는 대중적인 방법이다.[1-9] 그러나, 공유 채널 Ad Hoc 무선망에서 완전하게 분산이고 확장성이 있으며 효율적인 공정 스케줄링 알고리즘을 설계하는 것은 많은 부분이 과제로 남겨져 있다. 특히 Ad Hoc 무선망의 위치 의존적 경쟁과 같은 특수성은 공간결합 효과를 유발시키므로 공정성의 기준 지표는 국지적이기 보다는 경쟁하는 플로우들 간의 전역적인 계산을 필요로 한다. 이러한 특징들을 결합하여 공유 채널 multihop 무선 환경에서의 공정 큐잉은 각각의 출력 링크에서 국지적이 아닌 전역적인 특성을 갖게 되지만 공정큐잉에 의한 공유 절차는 각 노드에서의 분산적이고 국지적인 결정에 의해서 수행된다.

특히 Ad Hoc 무선망에서의 전술한 문제에 대하여 몇몇 선행연구에서는 공정한 패킷 스케줄링 이슈가 언급되어있다[10-12]. N. Vaidya 등[10] 및 H. Lou 등[11]의 주안점은 공유 채널 multihop 무선망에서 전술한 문제를 정형화하고 적절한 이상적인 중앙집중형 공정큐잉 모델을 제안하였다. 그러나 이들 연구는 단순히 중앙집중형 모델의 근사치에 해당하는 분산적 스케줄링 구현 방안이다. S. Lu 등[12]에서는 분산적이고 국지적인 대안이 제시되었는데 이것은 전체적인 스케줄링 기능을 수행하기 위하여 각각의 스케줄러들이 상호 조정 작용을 수행하는 것이다. 또한 이 연구에서는 국지적인 플로우 정보를 활용하여 국지적 계산만을 수행하는 완전하게 분산적이고 국지적인 공정 스케줄링 모델도 제안되었다.

H. Yang 등[13]은 지연시간 보장 공정 큐잉(DGFQ, Delay Guaranteed Fair Queueing)이 제안되었는데, 이것은 멀티미디어 서비스에서 제한된 지연시간을 보장하는 것이다. DGFQ 방식은 기본적으로 GPS (Generalized Process Sharing) 기반의 공정 큐잉 방

식에 몇 가지 수정을 가하여 제한된 지연시간을 보장할 수 있도록 한 것이다. 구체적으로 전송 트래픽을 지연시간 보장(Delay Guaranteed) 클래스와 지연시간 비보장(Non-delay Guaranteed) 클래스로 구분하고 서비스 차별화 계수(Service Differentiation Coefficient)를 도입하여 각 클래스에 추가적인 가중치로 적용한 것이다. 이러한 정책을 통하여 DGFQ는 계산상의 복잡도(Computational Complexity)를 크게 증가시키지 않고도 동일한 공정성을 보장하면서 DG 클래스에 더 나은 지연시간 보장 성능을 제공하였다. 그러나 H. Yang 등[13]은 중앙집중형 네트워크에 주안점을 두었으며 Ad Hoc망과 같은 분산 네트워크를 대상으로 한 것은 아니다.

이 논문에서는 멀티미디어 Ad Hoc 무선망에 대하여 제한된 지연시간 보장을 위한 DGFQ의 제어가능성과 적용 가능성을 고찰하기 위하여 DGFQ를 분산적인 공정큐잉 프로토콜을 사용하여 구현하였다. 성능평가 결과에 따르면 DGFQ는 멀티미디어 Ad Hoc 무선망에서도 역시 제한된 지연시간을 제어할 수 있음을 알 수 있다. 본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어있다. 먼저 II장에서는 공정 큐잉을 위한 Ad Hoc 네트워크 모델을 기술하였고, III장에서는 멀티미디어 Ad Hoc 무선망에서 분산적으로 DGFQ를 구현하는 방안에 대하여 기술하였으며 IV장에서는 시뮬레이션 기반의 성능평가에 관하여 언급하였고 끝으로 V장에서는 본 연구의 결론을 기술하였다.

## II. 시스템 모델

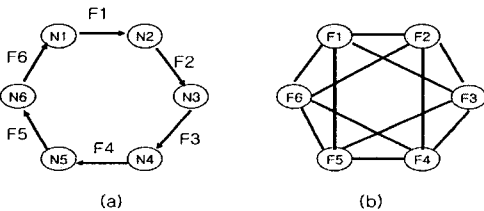
### 1. 네트워크 모델

이 논문에서는 전송 용량  $C$ 를 갖는 단일 물리채널과 같은 무선 매체가 다중의 경쟁 사용자간에 공유되는 패킷교환 multihop 무선망을 고려한다. 전송은 국지적으로 방송(Broadcast)되며 송신 노드의 가청 영역 내에 있는 수신 노드만 패킷을 수신한다. 각각의 링크 계층 패킷 플로우는 발신지에서 수신지로 향하는 패킷열이며 발신자와 수신자는 각각의 전송 범위 내에 있는 이웃

노드들이다. 한 플로우의 송신자 혹은 수신자가 다른 플로우의 송신자 혹은 수신자의 전송 영역 내에 있을 때 두 플로우는 서로 경쟁한다고 말한다[14]. 본 논문에서는 다음 세 가지 사항을 가정한다[14-18]: (a)수신기가 두개의 동시 전송 노드의 수신 범위 내에 있을 때 충돌이 발생한 것으로 본다. (b)노드는 동시에 패킷을 송신 및 수신할 수 있다. (c)이웃 노드는 서로 맞바뀌어도 동일한 역할을 수행하며 플로우의 경쟁도 역시 그러하다. 또한, 충돌과 관계없는 채널 오류는 고려하지 않았다.

2. 플로우 경쟁 그래프

경쟁하는 플로우의 분포를 시각적으로 표현하기 위하여 플로우 경쟁 그래프를 사용하는데 이를 통하여 시간 영역에서 뿐만 아니라 공간 영역에서도 정확하게 전송 중인 플로우들의 경쟁관계를 특징화할 수 있다. 플로우 그래프에서 각 마디는 누적된 플로우들을 나타내고 두 마디를 잇는 선은 두 플로우가 경쟁관계에 있음을 나타낸다. 두 마디가 연결되어 있지 않으면 두 플로우가 동시에 전송할 수 있기 때문에 공간적 재사용이 가능하다.



(a) 원래의 노드 위상 그래프 (b) 플로우 그래프  
 그림 1. 노드 그래프와 플로우 그래프

예를 들어 [그림 1]은 노드 그래프상의 6개의 플로우에 대한 플로우 경쟁 그래프를 보인 것이다. Ad Hoc 무선망에서 각 노드는 플로우 경쟁 그래프 상에서 1-hop 내의 플로우에 대한 정보를 유지한다. [그림 1]에서 플로우 F1의 1-hop 이내 플로우는 F2, F3, F5, F6이다. 따라서 임의로 주어진 플로우  $f$ 에 대하여  $f$ 의 송신 노드와 수신 노드의 전송범위 내에 있는 플로우의 정보를 유지하는 것이 필요하다. 그러나 비록 플로우 그래프에서 1-hop 이웃한 노드가 실제 노드 그래프

에서는 2-hop으로 해석되지만 모든 노드에서 노드 그래프 상에서 1-hop 이웃의 범위에 드는 플로우에 대해서만 서비스 태그 등의 정보를 관리하려고 하는 것이 목표이다. 다시 말하자면 어느 노드이건 노드 그래프 상에 2-hop 이상 떨어진 노드에 대해서는 정보를 알고 있을 필요가 없도록 한다는 뜻이다.

III. Ad Hoc 무선망에서 DGFQ의 분산적 구현

1. 지연시간 보장 공정큐잉(DGFQ, Delay Guaranteed Fair Queueing)

DGFQ(Delay Guaranteed Fair Queueing)[13]은 기본적으로 각 패킷에 태그를 부여한 후 태그 값의 크기를 기준으로 전송 순서를 정하는 방식인 WFQ (Weighted Fair Queueing)[1] 및 WFQ의 단점을 보완한 SFQ(Start-time Fair Queueing) [4]에서와 같은 방식의 스케줄링 알고리즘을 사용하지만 같은 트래픽 특성을 갖는 동일 클래스 내의 개별 플로우에 대한 차별화를 위하여 별도의 가중치를 추가로 적용하는 방식이다.

DGFQ에도 각각의 패킷에 대하여 두 가지의 태그 즉 시작 태그와 종료 태그가 사용된다. 패킷은 각 패킷의 시작태그 값에 대한 오름차순으로 스케줄 된다. 또한 시간  $t$ 에서 서비스중인 패킷에 대한 시작 태그를 계산하는 가상시간 함수를  $v(t)$ 라고 정의한다. 마지막으로 DGFQ 방식에서는 모든 플로우들이 적어도 한번은 스케줄 되는 일정한 시간 구간이 있는데 이를 스케줄링 간격(Scheduling Interval)이라고 정의한다.

완전한 알고리즘은 다음과 같다.

플로우  $f$ 의  $j$ 번째 패킷  $p_f^j$ 가 도착하면 다음 식에 의한 시작태그  $S(p_f^j)$ 가 부여된다.

$$S(p_f^j) = \max \{v[A(p_f^j)], F(p_f^{j-1})\} \quad j \geq 1 \tag{1}$$

단,  $A(p_f^j)$ 는 패킷  $p_f^j$ 의 도착시간,  $v[\cdot]$ 은 주어진 도착시간에 대한 가상시간 함수,  $F(p_f^j)$ 은 패킷  $p_f^j$ 의 종료 태그이다. 종료태그는 다음 식으로 정의된다.

$$F(p_f^j) = S(p_f^j) + \alpha_f \frac{l_f^j}{\phi_f} \quad (2)$$

단,  $F(p_f^0)=0$ ,  $\phi_f$ 는 플로우  $f$ 의 가중치,  $l_f^j$ 은 패킷  $p_f^j$ 의 길이  $\alpha_f$  ( $0 < \alpha_f \leq 1$ )은 플로우  $f$ 의 서비스 차별화 계수(Service Differentiation Coefficient)이다. 지연시간 비보장(NG, Non-delay Guaranteed) 클래스에 대하여  $\alpha_f = 1$ 이고 지연시간 보장(DG, Delay Guaranteed) 클래스에 대하여는 임의의 값이 된다.

초기에 시스템의 가상시간은 0이다. 전송 기간 중에는 시간  $t$ 에서의 가상시간  $v(t)$ 는 같은 시간에 서비스 중인 패킷의 시작 태그의 값과 같은 것으로 정의한다. 전송기간이 끝나면  $v(t)$ 는 그때까지 서비스된 모든 패킷의 종료 태그중 최대값으로 설정된다.

패킷들은 시작 태그 값의 오름차순으로 서비스되며 서비스 태그는 적절한 방법에 의하여 같은 값을 갖지 않도록 부여된다.

## 2. 기본 스케줄링 운영 절차

멀티미디어 Ad Hoc 무선망에서의 DGFQ의 분산적인 구현을 위한 구체적인 운영절차는 다음과 같은 4개 부분으로 구성된다:

- 로컬 상태관리 : 각 노드  $n$ 은 로컬 테이블  $E_n$ 을 관리하는데 여기에는 플로우 그래프 상 1-hop 범위 내 모든 플로우들의 현재 서비스태그가 기록된다. 각 테이블의 항목은  $[f, T_f]$ 의 형태를 갖는데 이때  $T_f$ 는 플로우  $f$ 의 현재 서비스태그 즉 플로우  $f$ 의 최근의 시작태그이다.
- 태그 부여 : 로컬테이블 내의 각 플로우  $f$ 에 대하여 도착되는 패킷마다 앞 절에서 기술한 DGFQ 알고리즘에 의하여 두가지 태그 즉 시작태그와 종료태그가 부여된다.
- 스케줄링 루프 : 태그 부여가 끝나면 플로우  $f$  송신 노드  $n$ 에서는 채널이 비어있음을 확인한 후 다음과 같은 절차가 수행된다.
  - (a) 플로우  $f$ 가 노드  $n$ 의 로컬 테이블  $E_n$ 에서 가장 작은 서비스태그 값을 가지면 HOL(head-

of-line) 패킷을 즉시 전송한다.

- (b) 그렇지 않으면 플로우  $f$ 의 백오프 타이머  $B_f$ 를 다음과 같이 설정한다.

$$B_f = \sum_{g \in E_n} I(T_g(t) < T_f(t)) \quad (3)$$

단,  $g$ 는 테이블  $E_n$ 의 항목이며  $I(x)$ 는 지시자 함수를 의미한다. 즉  $x > 0$ 이면  $I(x) = 1$ 이고 그렇지 않으면  $I(x) = 0$ 이다. 결과적으로  $B_f$ 의 값은 테이블  $E_n$ 내의 플로우 중 플로우  $f$ 의 서비스 태그보다 작은 서비스태그를 갖는 플로우의 수와 같다.

- (c) 플로우  $f$ 의 백오프 타이머 만료 후 즉  $B_f$  시간슬롯 동안 슬롯 동안 기다린 후 채널이 비게 되면 HOL 패킷을 전송한다.

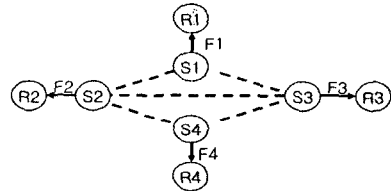


그림 2. 노드 그래프의 예

Before F1 and F4 transmit

F1: T1=1 F2: T2=2 F3: T3=3 Backoff=0 Table for F1	F1: T1=1 F2: T2=2 F3: T3=3 F4: T4=4 Backoff=1 Table for F2	F1: T1=1 F2: T2=2 F3: T3=3 F4: T4=4 Backoff=2 Table for F3	F2: T2=2 F3: T3=3 F4: T4=4 Backoff=2 Table for F4
---	---	---	---

After F1 and F4 transmit

F1: T1=11 F2: T2=2 F3: T3=3 Backoff=2 Table for F1	F1: T1=11 F2: T2=2 F3: T3=3 F4: T4=14 Backoff=0 Table for F2	F1: T1=11 F2: T2=2 F3: T3=3 F4: T4=14 Backoff=1 Table for F3	F2: T2=2 F2: T2=2 F2: T2=14 Backoff=2 Table for F4
--	---	---	--

그림 3. 플로우 F1과 F4의 전송시 테이블 수정 (패킷전송시간은 10으로 가정)

- 테이블 수정 : 노드  $n$ 은 자신의 테이블  $E_n$ 에 있는 다른 플로우  $g$ 에 대한 새로운 서비스태그  $T_g^i$ 을 수신하게 되면 플로우  $g$ 에 대한 테이블 항목을  $[g, T_g^i]$ 로 수정한다. 노드  $n$ 은 플로우  $f$ 의 HOL

패킷을 전송할 때 마다 테이블 항목 내에 있는 플로우  $f$ 의 서비스태그를 수정한다.

알고리즘의 작동 과정에 대한 이해를 돕기 위하여 예를 들어보기로 한다. [그림 2]에 보인 예에서 4개의 플로우들은 송신 노드에서 각각의 수신 노드로 스케줄되어 있으며 점선은 두 노드가 통신 가능 범위에 있음을 나타낸다. 초기의 가상 시간은  $V=0$ 으로 4개의 플로우에 대한 서비스 태그의 초기값은 각각  $T_1=1$ ,  $T_2=2$ ,  $T_3=3$ ,  $T_4=4$ 로 가정하였다. 4개의 플로우 각각의 송신 노드에서 관리되는 테이블, 백오프 계산, 플로우  $F_1$ 과  $F_4$ 에 대한 송신 전후의 테이블 수정 등을 [그림 3]에 보였다. 플로우  $F_1$ 과  $F_4$ 는 서로 이웃하지 않기 때문에 동시에 전송이 가능하다([그림 2] 참조). 플로우  $F_1$ 과  $F_4$ 의 HOL 패킷 전송 후에 두 플로우의 다음 패킷의 서비스태그는 패킷 전송시간인 10만큼 증가되며 각 플로우 테이블의 백오프 값은 더 작은 서비스태그값( $T$ )을 갖는 플로우의 수로 수정된다.

### 3. 프로토콜 설명

본 연구의 분산적 구현 프로토콜에서 각각의 데이터 전송 플로우들은 기본적인 RTS-CTS-DS-DATA-ACK 핸드셰이크 과정을 따르며 이러한 메시지 교환은 일정 시간슬롯 동안의 백오프를 거친 후에 수행된다. 전송할 패킷이 있는 노드는 RTS-CTS 핸드셰이크를 개시하기 전에 적절한 수의 시간슬롯 동안을 기다린다. 특별히, 노드는 자신의 로컬 테이블을 조사하고 플로우  $f$ 에 대한 백오프 타이머를 플로우  $f$ 의 서비스태그 값보다 작은 서비스태그 값을 가진 플로우 수로 설정한다. 이와 같은 방법으로 국지적인 최소 서비스 태그 플로우는 0 슬롯을 백오프하고(즉, 백오프 하지 않고) 채널 경쟁에 즉시 참여한다. 진행중인 전송이 없는 상태에서 플로우  $f$ 의 백오프 타이머가 만료되면 노드는 핸드셰이크를 개시하기 위하여 테이블의 내용에 따라 설정된 백오프 타이머  $B_f$ 를 포함한 RTS의 전송을 시작한다. 만약 진행중인 전송이 있으면 노드는 백오프타이머를 취소하고 진행 중인 전송이 끝날 때까지 기다리며, 그동안

에 진행 중인 이웃 플로우의 태그를 자신의 로컬테이블에서 수정한다. RTS를 수신한 다른 노드들은 송신 노드가 CTS 응답을 정상적으로 수신 할 수 있도록 하나의 CTS 전송시간 동안 전송을 멈춘다. 수신 노드는 RTS를 수신하면 자신의 로컬 테이블을 검사한다. 만약 RTS에 포함된  $B_f$ 가 수신 노드의 로컬테이블에 있는 플로우  $f$ 의 백오프 값보다 크거나 같으면 CTS로 응답한다. 이 절차는 송신 및 수신 노드의 테이블 정보를 일관되게 유지하기 위하여 필요하다. 송신 노드는 일단 CTS를 수신하면 DS를 송신한다. CTS나 DS 메시지를 수신한 노드들은 DATA-ACK 전송이 완료될 때까지 전송을 중단한다.

플로우의 서비스태그를 전체의 노드 그래프상의 1-hop 이웃 노드들에게 전파하고 서비스태그 정보 전파 기간동안의 충돌로 인한 정보 손실을 줄이기 위하여 RTS 및 CTS에는 오래된 태그가, DS 및 ACK에는 수정된 태그가 첨부되는 식으로 플로우  $f$ 의 태그  $T_f$ 가 RTS, CTS, DS 그리고 ACK 모두에 덧붙여진다.

## IV. 성능평가

### 1. 시뮬레이션 환경

DGFQ를 멀티미디어 Ad Hoc 무선망에서 분산적인 방법으로 구현하고 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션 방법을 사용하였다. 다음은 이러한 목적을 위하여 사용된 시뮬레이션 환경이다.

무선 모델은 통신반경이 250m이고 현재 이동 무선망의 보편적인 용량인 2Mbit/sec의 상용화된 무선망을 기반으로 하였다. 또한 본 연구의 주안점 즉 DGFQ 방식이 멀티미디어 Ad Hoc 무선망과 같은 분산적인 네트워크 환경에도 적용할 수 있으며 지연시간을 보장할 수 있는지에 대한 고찰에 집중하기 위하여 DGFQ 방식의 분산적인 구현에는 오류 없는 채널 모델을 가정하였다.

전송 트래픽 소스 모델은 S. Lee 등의 논문[19]에 기술된 MPEG 비디오 소스를 선정하였으며 각 플로우가 전송하는 트래픽 소스는 동일한 특성을 가지는 것으로 가정하였다. 비디오 플로우 모델은 3가지 유형의 프레

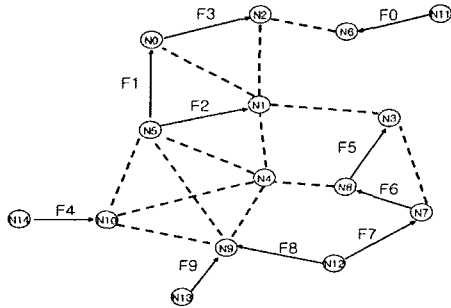


그림 4. 시뮬레이션에 사용된 멀티미디어 Ad Hoc 무선 네트워크의 노드 그래프

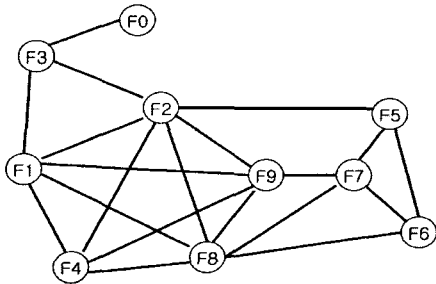


그림 5. 시뮬레이션에 사용된 멀티미디어 Ad Hoc 무선 네트워크의 플로우 그래프

임 즉 I, B, P 프레임으로 구성되며 각 프레임의 크기는 특정한 평균값과 표준편차를 지닌 Lognormal 분포 특성을 가지며 초당 24 프레임을 생성한다고 가정하였다.

네트워크의 규모는 14개의 노드가 10개의 플로우를 전송하는 무선 Ad Hoc망으로 상정하였다. [그림 4]와 [그림 5]는 시뮬레이션된 네트워크의 노드 그래프와 플로우 그래프를 도시한 것이다. [그림 4]에서 실선은 두 노드 사이에 전송중인 플로우를 나타내며 점선으로 이어진 두 노드는 통신가능 거리에 있음을 의미한다. 분산 네트워크 환경에서의 DGFQ의 지연시간 제어 가능성을 입증하기 위하여 서비스 차별화 계수  $\alpha$ 의 값을 0에서 1 사이로 변화시키면서 플로우  $F_4$ 를 제어하였으며 다른 플로우들은  $\alpha$  값을 1로 고정하였다. 끝으로 플로우  $F_4$ 에 대한 시뮬레이션 결과를 경쟁하는 다른 플로우들에 대한 결과 및 전체 평균값과 비교하였다.

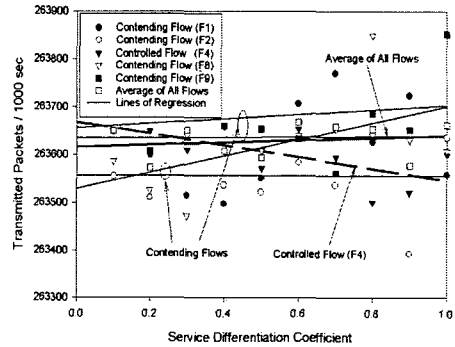


그림 6. 서비스 차별화 계수( $\alpha$ ) 값의 변화에 따른 총 전송 패킷 수

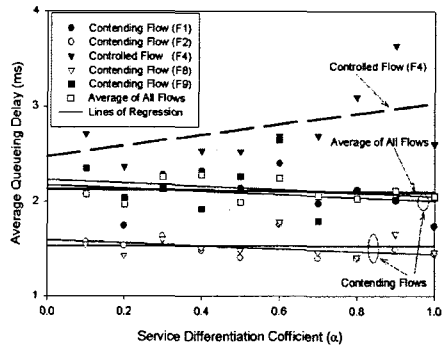


그림 7. 서비스 차별화 계수( $\alpha$ ) 값의 변화에 따른 평균 지연시간

각 시뮬레이션은 시스템의 가상시간을 기준으로 1,000 초 동안 실행되었고 최대 패킷 전송량, 평균 지연시간 그리고 최대 지연시간을 성능 평가 지표로 선정하였다. 이들 지표에 대한 상세한 정의 및 고찰은 다음 절에 기술하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 2.1 최대 패킷 전송량

최대 패킷 전송량(Throughput)을 공정성의 지표로 채택하였으며 전체 시뮬레이션 시간 즉 1,000 초 동안 전송된 전체 패킷의 수로 정의하였다. [그림 6]에 각 플로우들의 최대 패킷 전송량을 산포점 및 회귀선으로 표시하였다. 기본적으로는 제어된 플로우( $F_4$ )나 다른 플

로우나 최대 패킷 전송량에서는 큰 차이가 없다. 그림에서 굵은 점선은 제어된 플로우( $F_4$ )의 최대 패킷 전송량을 나타낸다. 특히 전송된 패킷 수는  $\alpha$ 에 반비례하는데 이는  $\alpha$ 가 어느 정도는 채널 공유 지분으로 플로우  $F_4$ 를 제어하기 때문이며 결과적으로 이는 경쟁하는 전체 플로우의 패킷 전송량에 영향을 미친다. 그러므로  $\alpha$  값을 변화시킴으로써 각각의 플로우를 제어할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 평균 지연시간

본 연구에서 평균 지연시간(Average Delay)은 특정 기간동안 하나의 패킷이 도착하여 출발할 때까지의 평균 시간 간격으로 정의한다. [그림 7]에서 볼 수 있는 바와 같이 서비스 차별화계수  $\alpha$ 는 지연시간 성능을 제어하는 주된 파라메타이다. 또한, 그림에서 굵은 실선은 전반적인 평균 지연시간 즉 모든 플로우에 대한 평균값을 나타내며 굵은 점선은 제어되는 플로우인  $F_4$ 의 평균 지연시간을 나타낸다. 결론적으로  $\alpha$  값을 변화시킴으로써 플로우  $F_4$ 의 평균 지연시간을 조절할 수 있으며 위에서 고찰한 최대 패킷 전송량과는 반대로 지연시간은  $\alpha$  값에 비례한다.

2.3 최대 지연시간

최대 지연시간(Maximum Delay)은 실시간 멀티미디어 플로우에 대한 또 다른 중요한 성능지표이며 시뮬레이션 기간 동안과 같은 특정 기간 동안 시스템 내의 한 패킷이 도착해서 출발할 때까지의 최대 시간 간격으로 정의한다. 결과는 평균 지연 시간의 시뮬레이션으로부터 동시에 얻을 수 있다. 이전 그림에서와 같이 [그림 8]에서 굵은 실선은 모든 플로우의 값을 평균한 전반적인 최대 지연시간을 나타내고, 굵은 점선은 제어된 플로우( $F_4$ )의 최대 지연시간을 나타낸다. [그림 8]로부터 최대 지연시간 역시  $\alpha$ 값으로 제어할 수 있으며 이는 DGFQ가 분산 네트워크에서도 역시 최대지연시간을 조절할 수 있음을 의미한다.

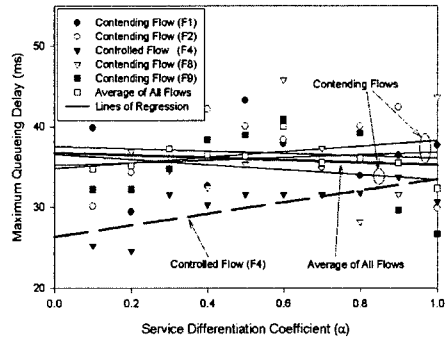


그림 8. 서비스 차별화 계수( $\alpha$ ) 값의 변화에 따른 최대 지연시간

V. 결론

본 논문에서는 지연시간 보장 공정큐잉(DGFQ, Dealy Guaranteed Fair Queueing)[13]을 멀티미디어 Ad Hoc 망에서 분산적으로 구현하였다. 최대 패킷 전송량은 서비스 차별화 계수 ( $\alpha$ )에 의한 제어 여부에 상관 없이 큰 차이를 보이지 않았다. 반대로 지연시간 성능에 대해서는 시뮬레이션 결과에 따르면 평균 지연시간 및 최대 지연시간 모두  $\alpha$  값을 변화시킴으로써 조절이 가능하였다. 요약하면, 명백히 DGFQ는 중앙 집중형 네트워크에서 뿐만 아니라 분산네트워크 환경에서도 멀티미디어 트래픽의 지연시간 성능을 제어 할 수 있다.

본 연구에서는 고정적인 노드와 오류 없는 무선 채널 등 제한적이고 이상적인 네트워크 환경만을 고려하였다. 따라서 본 연구 결과를 실제 시스템에 적용하기 위해서는 네트워크의 토폴로지가 동적인 경우 및 오류를 포함하는 무선망 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] A. Demers, S. Keshav, and S. Shenker, "Analysis and simulation of a fair queueing algorithm," Proc. ACM SIGCOMM, pp.1-12, 1989.  
 [2] A. Parekh, "A generalized processor sharing

- approach to flow control in integrated services networks," PhD Thesis, MIT Laboratory for Information and Decision Systems, Technical Report LIDS-TR-2089, 1992.
- [3] J. C. R. Bennett and H. Zhang, "WF<sup>2</sup>Q: Worst-case fair weighted fair queueing," Proc. IEEE INFOCOM'96, Vol.1, pp.120-128, 1996.
- [4] P. Goyal, H. M. Vin and H. Chen, "Start-time fair queueing: A scheduling algorithm for integrated service packet switching networks," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.5, No.5, pp.690-704, 1996.
- [5] S. Lu, V. Bharghavan and R. Srikant, "Fair scheduling in wireless packet networks," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.7, No.4, pp.473-489, 1999.
- [6] M. Srivastava, C. Fragouli, and V. Sivaraman, "Controlled Multimedia Wireless Link Sharing via Enhanced Class-Based Queueing with Channel-State-Dependent Packet Scheduling," Proc. IEEE INFOCOM'98, Vol.2, pp.572-580, 1998.
- [7] T. S. Ng, I. Stoica, and H. Zhang, "Packet fair queueing algorithms for wireless networks with location-dependent errors," Proc. IEEE INFOCOM'98, Vol.3, pp.1103-1111, 1998.
- [8] P. Ramanathan and A. Agrawal, "Adapting packet fair queueing algorithms to wireless networks," Proc. ACM MOBICOM'98, pp.1-9, 1998.
- [9] S. Lu, T. Nandagopal, and V. Bharghavan, "Fair scheduling in wireless packet networks," ACM MOBICOM'98, 1998.
- [10] N. H. Vaidya, P. Bahl, and S. Gupta, "Distributed fair scheduling in a wireless LAN," ACM MOBICOM'00, 2000.
- [11] H. Luo and S. Lu, "A topology-independent fair queueing model in ad hoc wireless networks," IEEE JSAC. Vol.23, No.3, pp.585-597, 2005.
- [12] H. Luo, P. Medvedev, J. Cheng, and S. Lu, "A Self-Coordinating Approach to Distributed Fair Queueing in Ad Hoc Wireless Networks," IEEE INFOCOM2001, Vol.3, pp.1370-1379, 2001.
- [13] H. Yang and K. Kim, "Delay Guaranteed Fair Queueing (DGFQ) in Multimedia Packet Networks," Proc. MMNS2003, LNCS 2839, pp.170-182, 2003.
- [14] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A medium access protocol for wireless LANs," ACM SIGCOMM'94, 1999.
- [15] I. Chlamtac and A. Lerner, "Fair algorithms for maximal link activation in multihop radio networks," IEEE Trans. Communications, Vol.35, No.7, pp.739-746, 1987.
- [16] J. Ju and V.O.K. Li, "An optimal topology-transparent scheduling method in multihop packet radio networks," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.6, No.3, pp.298-306, 1998.
- [17] I. Chlamtac and A. Farago, "Making transmission schedules immune to topology changes in multi-hop packet radio networks," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.2, No.1, pp.23-29, 1994.
- [18] Z. Tang and J.J. Garacia-Luna-Aceves, "A protocol for topology dependent transmission scheduling in wireless networks," Proc. WCNC'99, Vol.3, pp.1333-1337, 1999.
- [19] S. Lee, K. Kim, A. Ahmad, "Delay and data rate decoupled fair queueing for wireless multimedia networks," Proc. GLOBECOM'02, Vol.1, pp.946-950, 2002.



저 자 소 개

양 현 호(Hyun-Ho Yang)

정회원



- 1986년 2월 : 광운대학교 전자공학  
학과(공학사)
- 1990년 8월 : 광운대학교 대학원  
전자공학과(공학석사)
- 2003년 8월 : 광주과학기술원 정  
보통신공학과(공학박사)

- 1989년~1990년 : 삼성 SDS 주식회사
- 1991년~1997년 : 포스데이타 주식회사
- 1997년~2005년 : 순천청암대학
- 2005년~현재 : 군산대학교 전자정보공학부

<관심분야> : 무선데이터통신, Ad Hoc 네트워크  
무선 센서망