



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.

H04L 29/02 (2006.01)  
H04L 29/06 (2006.01)  
H04B 1/69 (2006.01)  
H04B 7/155 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0053479  
(43) 공개일자 2007년05월25일

(21) 출원번호 10-2005-0111301  
(22) 출원일자 2005년11월21일  
심사청구일자 2007년04월24일

(71) 출원인 삼성전자주식회사  
경기도 수원시 영통구 매탄동 416  
연세대학교 산학협력단  
서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교

(72) 발명자 현대인  
경기 화성시 태안읍 반월리 신영통 현대아파트 107동 504호  
박원형  
서울 관악구 봉천6동 100-103 301호  
김영용  
서울 서초구 서초동 삼풍아파트 5동 407호  
손경호  
서울 서대문구 연희3동 290-1번지 연세아크로폴리스 223호  
김훈  
서울 강남구 역삼1동 695-21 뉴현대빌라 302호  
고정하  
충남 홍성군 홍성읍 대교리 134-1  
송지완  
서울 서초구 반포1동 서초한양아파트 3동 901호

(74) 대리인 권혁록  
이정순

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스를 위한 비례 공평스케줄링 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 장치 및 방법에 관한 것으로서, 상기 시스템에서 제공하는 AMC(adaptive modulation and coding : 이하 'AMC'라 칭함) 레벨 별로 단말들의 채널 상태 정보와 평균 전송률을 이용하여 멀티캐스트 비례 공평 메트릭을 계산하는 과정과, 상기 계산한 메트릭 값 중 가장 큰 메트릭 값을 가지는 AMC 레벨을 선택하여 멀티캐스트 서비스 율로 결정하는 과정을 포함하여, 사용자들의 평균 전송률 평균값 측면에서 높은 성능을 얻을 수 있으며, 좋은 환경의 사용자와 나쁜 환경의 사용자 간 공평

(fairness)을 보장하는 이점이 있고, 상기 스케줄링에 따라 제공되는 멀티캐스트 데이터를 재생하였을 시, 상기 재생되는 영상의 PSNR(peak signal to noise ratio : 이하 'PSNR'이라 칭함)이 높으면서도 상기 PSNR의 변화가 낮아 사용자가 안정적인 스트리밍 서비스를 지원받을 수 있는 이점이 있다.

**대표도**

도 2

**특허청구의 범위**

**청구항 1.**

통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 방법에 있어서,

상기 시스템에서 제공하는 AMC(adaptive modulation and coding : 이하 'AMC'라 칭함) 레벨 별로 단말들의 채널 상태 정보와 평균 전송률을 이용하여 멀티캐스트 비례 공평 메트릭을 계산하는 과정과,

상기 계산한 메트릭 값 중 가장 큰 메트릭 값을 가지는 AMC 레벨을 선택하여 멀티캐스트 서비스 율로 결정하는 과정을 포함하는 스케줄링 방법.

**청구항 2.**

제 1 항에 있어서,

상기 AMC 레벨의 서비스 율로 멀티캐스트 데이터를 수신할 수 있는 사용자들을 멀티캐스트 스케줄링 그룹으로 결정하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 3.**

제 1 항에 있어서,

상기 멀티캐스트 비례공평 메트릭은 하기 <수학식 10>과 같이 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.

$$f(m) = \prod_{k \in U_p} \left( 1 + \frac{r_k^{\min}(t+1)}{(T-1)R_k^U(t)} \right), \text{ for } m=1..M$$

여기서, 상기 k는 사용자 인덱스이고, 상기  $U_p$ 는 비례 공평 스케줄러가 현재슬롯에서 스케줄링해주는 멀티캐스트 서비스 그룹을 나타낸다. 상기  $R_k^U(t)$ 는 상기 사용자 k의 평균 전송률(average rate)을 나타내고, 상기 T는 윈도우 크기를 나타낸다. 또한, 상기  $r_k^{\min}(t)$ 는 상기 스케줄러에 의해 선택된 사용자들의 전송률 중 최소 전송률을 나타내며, 상기 AMC레벨 값을 대입함.

**청구항 4.**

제 1 항에 있어서,

상기 단말들의 평균 전송률을 갱신하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 5.**

제 4 항에 있어서,

상기 평균 전송률은 하기 <수학식 11>과 같이 갱신하는 것을 특징으로 하는 방법.

$$R_k(t+1) = \begin{cases} \frac{(T-1)R_k(t) + r_k^{\min}(t+1)}{T} & , \text{ if } k \in U_S \\ \frac{(T-1)R_k(t)}{T} & , \text{ elsewhere} \end{cases}$$

여기서, 상기 k는 사용자 인덱스이고, 상기 R<sub>k</sub>는 사용자 k의 평균 전송률(average rate)을 나타낸다. 상기 T는 윈도우 사이즈이고, 상기 r<sup>min</sup><sub>k</sub>(t)는 상기 스케줄러에 의해 선택된 사용자들의 전송률 중 최소 전송률을 나타냄.

**청구항 6.**

통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 장치에 있어서,

단말들의 평균 전송률과 사용자 AMC(adaptive modulation and coding : 이하 'AMC'라 칭함) 레벨 정보를 수신하여 매 프레임마다 멀티캐스트 서비스 윌 및 서비스 그룹을 결정하는 스케줄러와,

상기 매 프레임마다 결정한 멀티캐스트 서비스 전송률에 따라 서비스할 스트리밍 비디오를 인코딩하고, 상기 인코딩된 데이터를 이용하여 현 프레임에 전송할 메시지를 생성하는 메시지 생성부를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 7.**

제 6 항에 있어서,

상기 단말들의 평균 전송률(average rate)을 테이블에 저장 및 매 프레임마다 업데이트(update)하고, 상기 업데이트한 평균 전송률과 상기 단말로부터 수신되는 채널 상태 정보를 상기 스케줄러로 제공하는 멀티캐스트 그룹 관리부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

명세서

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 통신 시스템에 관한 것으로, 특히, 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 장치 및 방법에 관한 것이다.

오늘날 통신산업의 발달로 인해 통신 시스템에서 제공하는 서비스는 음성 서비스뿐만 아니라 패킷 데이터, 서킷 데이터 등과 같은 큰 용량의 데이터를 전송하는 멀티캐스팅 멀티미디어 통신으로 발전해 나가고 있다.

상기 멀티캐스팅 멀티미디어 통신을 지원하기 위기 위한 멀티캐스트 서비스에는 3GPP 멀티미디어 방송 및 멀티캐스트 서비스(Multi media Broadcast and Multicast Service : 이하 'MBMS'라 칭함) 혹은 3GPP2 방송/멀티캐스트 서비스(Broadcast/Multicast Service : 이하 'BCMCS'라 칭함)가 있으며, 이는 하나 이상의 송신자들이 특정한 하나 이상의 수신자들에게 동시에 같은 데이터를 전송하는 방식이다. 즉, 송신자가 1개의 데이터를 보내게 되면 각각의 수신자는 같은 복사본을 받아보는 것으로, 송신자는 해당 데이터를 받기를 원하는 수신자들, 즉 멀티캐스트 그룹에게만 데이터를 전달한다. 따라서, 송신자 측면에서는 하나의 데이터 패킷을 보냄으로써 네트워크의 효율성을 높이고 네트워크의 혼잡상황을 줄일 수 있으며, 수신자 측면에서는 원하는 호스트에게만 데이터를 복사해줌으로써 불필요한 데이터 수신을 방지할 수 있는 이점이 있다.

한편, 상기 종래 기술에 따른 멀티캐스트 서비스는 고정된 전송률(fixed rate)로 멀티캐스트 스트림(multicast stream)을 전송하기 때문에 서비스되는 멀티캐스트 데이터 전송률을 수신하기에 충분한 채널 상태에 있는 사용자들만이 상기 멀티캐스트 데이터를 받을 수 있다. 상기 멀티캐스트를 하기 위해서는 같은 데이터를 수신하고자 하는 사용자들을 그룹으로 묶는 과정이 필요하다. 하지만, 같은 데이터 서비스를 요청한 사용자들이라도 채널의 상태는 제각기 다르기 때문에 AMC (adaptive modulation and coding : 이하 'AMC'라 칭함)를 적용할 경우 각 사용자들이 전송받을 수 있는 데이터 레이트는 사용자들마다 다를 수 있다. 즉, 허용되는 전송 속도가 제각기 다르기 때문에 종래 기술에 따라 멀티캐스트 그룹 내의 많은 사용자들이 멀티캐스트 데이터를 수신하기 위해서는 사용자들의 전송 속도 중 낮은 AMC 레벨의 멀티캐스트 서비스율(rate)로 데이터를 전송해야 한다. 따라서, 너무 많은 사용자들을 하나의 멀티캐스트 그룹으로 묶게 되면, 그룹의 전송 속도가 낮아지게 되어 전체 전송 데이터량이 오히려 감소할 수 있게 된다. 반면, 높은 레벨의 멀티캐스트 서비스율은 전송된 데이터를 성공적으로 디코드할 수 있는 사용자들의 수를 제한하기 때문에 채널 상태가 좋지 못한 사용자들은 서비스를 받지 못하게 되는 문제점이 있다. 즉, 종래 기술에 따른 멀티캐스트 서비스는 사용자의 채널 분포에 따른 최적의 서비스를 제공할 수 없는 문제점이 있다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 본 발명의 목적은 통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 장치 및 방법을 제공함에 있다.

본 발명의 또 다른 목적은 통신 시스템에서 전체 사용자 유틸리티(utility) 총합을 최적화하는 비례 공평 스케줄링 개념을 적용하여 멀티캐스트 서비스 율(multicast service rate)을 결정하기 위한 장치 및 방법을 제공함에 있다.

본 발명의 또 다른 목적은 통신 시스템에서 평균 전송률과 각 사용자의 채널 상태를 고려하여 적응적으로 최적의 멀티캐스트 서비스율을 결정하기 위한 장치 및 방법을 제공함에 있다.

상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 실시 예에 따르면, 통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 방법은, 상기 시스템에서 제공하는 AMC(adaptive modulation and coding : 이하 'AMC'라 칭함) 레벨별로 단말들의 채널 상태 정보와 평균 전송률을 이용하여 멀티캐스트 비례 공평 메트릭을 계산하는 과정과, 상기 계산한 메트릭 값 중 가장 큰 메트릭 값을 가지는 AMC 레벨을 선택하여 멀티캐스트 서비스 율로 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 실시 예에 따르면, 통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 장치는, 단말들의 평균 전송률과 사용자 AMC(adaptive modulation and coding : 이하 'AMC'라 칭함) 레벨 정보를 수신하여 매 프레임마다 멀티캐스트 서비스 율 및 서비스 그룹을 결정하는 스케줄러와, 상기 매 프레임마다 결정한 멀티캐스트 서비스 전송률에 따라 서비스할 스트리밍 비디오를 인코딩하고, 상기 인코딩된 데이터를 이용하여 현 프레임에 전송할 메시지를 생성하는 메시지 생성부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 구성

이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

이하, 본 발명은 통신 시스템에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 장치 및 방법에 대해 설명한다.

도 1은 본 발명에 따른 통신 시스템 기지국의 구성을 도시한 블럭 다이어그램이다. 상기 기지국은 물리 계층(PHY Layer)(100)의 물리 인터페이스(PHY Interface)(101) 및 물리 모듈(PHY module)(103), 맥 계층(MAC Layer)(120)의 멀티캐스트 그룹 관리부(Multicast Group Management)(105)와 멀티캐스트 비례 공평 스케줄러(Multicast PF Scheduler)(107)와 비디오 소스 인코더(Video source encoder)(109)와 버퍼(Buffer)(111) 및 메시지 생성부(113)를 포함하여 구성된다.

상기 도 1을 참조하면, 먼저, 상기 물리 인터페이스(PHY Interface)(101)는 상기 물리 계층(PHY Layer)(100)으로부터 수신한 사용자 AMC 레벨(User AMC level) 정보를 상기 맥 계층(120)의 멀티캐스트 그룹 관리부(105)로 전달한다. 여기서, 상기 사용자 AMC 레벨은 각 사용자 단말로부터 수신되는 수신 가능 전송률 정보이다.

상기 물리 모듈(PHY module)(103)은 상기 맥 계층(120)의 상기 메시지 생성부(113)에서 생성된 메시지를 상기 시스템이 제공하는 AMC 기법에 따라 변조 및 코딩하여 에어링크(airlink) 상에 전송될 수 있는 전송 비트를 만드는 역할을 한다.

상기 멀티캐스트 그룹 관리부(Multicast Group Management)(105)는 멀티캐스트 서비스 대상인 사용자들을 관리한다. 상기 사용자들을 관리하기 위해 상기 사용자들의 평균 전송률(average rate)을 테이블에 저장 및 매 프레임마다 업데이트(update)하며, 임계(threshold)값 이하의 평균 전송률을 가진 사용자, 즉 채널 상태가 계속 나쁜 사용자들은 아웃티지(outage)로 처리하는 역할도 한다. 또한, 상기 멀티캐스트 서비스 대상인 사용자들의 평균 전송률과 상기 물리 인터페이스(101)로부터 수신되는 상기 사용자 AMC 레벨(User AMC level) 정보를 매 프레임마다 상기 멀티캐스트 비례 공평 스케줄러(107)로 제공하고, 상기 멀티캐스트 비례 공평 스케줄러(107)의 스케줄링에 의해 결정되는 멀티캐스트 서비스 율을 수신하며, 상기 수신한 멀티캐스트 서비스 율을 멀티캐스트 관리 정보(multicast management information)로서 상기 메시지 생성부(113)에 제공하는 역할을 한다.

상기 멀티캐스트 비례 공평 스케줄러(Multicast PF Scheduler)(107)는 상기 멀티캐스트 그룹 관리부(105)로부터 각 사용자들의 평균 전송률과 사용자 AMC 레벨(User AMC level) 정보를 수신하여 본 발명에서 제안하는 알고리즘에 따라 매 프레임마다 멀티캐스트 서비스 율을 결정하고, 상기 결정한 멀티캐스트 서비스 율을 상기 멀티캐스트 그룹 관리부(105) 및 상기 비디오 소스 인코더(109)로 전송하는 역할을 한다.

상기 비디오 소스 인코더(Video source encoder)(109)는 상기 버퍼(111)로부터 수신되는 스트리밍 비디오를 현재 프레임에서 정해진 멀티캐스트 전송률에 따라 인코딩하고, 상기 인코딩된 데이터를 상기 메시지 생성부(113)로 전송하는 역할을 한다.

상기 버퍼(Buffer)(111)는 스트리밍 서버(streaming server)로부터 수신되는 스트리밍 비디오를 저장해두었다가 상기 비디오 소스 인코더(109)로 제공하는 역할을 한다.

상기 메시지 생성부(113)는 상기 비디오 소스 인코더(109)로부터 수신되는 인코딩된 데이터와 상기 멀티캐스트 그룹 관리부(105)로부터 수신되는 멀티캐스트 관리 정보를 이용하여 현 프레임에 전송할 메시지를 생성하고, 상기 생성된 메시지를 상기 물리 계층(100)의 물리 모듈(103)로 제공하는 역할을 한다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 통신 시스템 기지국에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 방법의 절차를 도시한 도면이다. 여기서, 상기 스케줄링은 매 슬롯(slot) 혹은 매 프레임(frame) 혹은 매 슈퍼 프레임(super frame)마다 적용될 수 있다.

상기 도 2를 참조하면, 기지국은 201단계에서 멀티캐스트 서비스 대상자인 단말들로부터 채널 상태 정보를 수신한다. 여기서, 시스템에서 사용하는 AMC 레벨이 M개라고 가정할 시, 멀티캐스트 서비스 율의 경우의 수도 M개가 되며, 이때, 상기 AMC 레벨 인덱스 m을 1로 설정한다. 상기 채널 상태 정보는 상기 단말들이 파일럿(pilot)을 통해 매 프레임마다 추정된 파일럿 신호 대 간섭비(Ec/Io) 값으로서, 수신 가능한 AMC 레벨의 전송률을 결정하여 상기 기지국으로 피드백해준 정보이다.

이후, 상기 기지국의 멀티캐스트 비례공평 스케줄러(107)는 203단계로 진행하여 상기 단말들의 채널 상태 정보와 평균 전송률을 이용하여 멀티캐스트 비례공평(Proportional Fair : 이하 'PF'라 칭함) 메트릭(metric)을 계산한다.

여기서, 상기 멀티캐스트 비례공평 메트릭은 상기 PF의 정의를 이용하여 구하며, 상기 PF는, 하기 <수학식 1>과 같이, 전체 사용자의 평균 전송률의 로그함수의 합을 최대화하는 기법이다.

$$\sum_{k=1}^{|U|} \log(R_k)$$

여기서, 상기 k는 사용자 인덱스를 의미하고, |U|는 전체 사용자의 수를 나타낸다. 또한, 상기 R<sub>k</sub>는 사용자 k의 평균 전송률(average rate)이며, 하기 <수학식 2>와 같이 매 슬롯(slot)마다 업데이트된다.

$$R_k(t+1) = \begin{cases} \frac{(T-1)R_k(t) + r_k^{\min}(t+1)}{T}, & \text{if } k \in U_S \\ \frac{(T-1)R_k(t)}{T}, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

여기서, 상기 U<sub>S</sub>는 임의의 스케줄러에 의해 결정되는 멀티캐스트 스케줄링 그룹을 나타내며, 상기 r<sup>min</sup><sub>k</sub>(t)는 상기 스케줄러에 의해 선택된 사용자들의 전송률 중 최소 전송률을 나타낸다. 상기 사용자 k가 상기 멀티캐스트 서비스 그룹 U<sub>S</sub>에 속한다면, 상기 사용자 k는 상기 r<sup>min</sup><sub>k</sub>의 전송률로 멀티캐스트 데이터를 수신할 것이고, 그 다음 평균 전송률 R<sub>k</sub>(t+1)은 이전 평균 전송률 R<sub>k</sub>(t)와 상기 최소 전송률 r<sup>min</sup><sub>k</sub>에 의해 획득될 것이다. 만약, 상기 사용자 k가 상기 멀티캐스트 서비스 그룹 U<sub>S</sub>에 속하지 않는다면, 상기 사용자 k는 상기 멀티캐스트 서비스를 수신하지 못할 것이고, 따라서, 다음 평균 전송률 R<sub>k</sub>(t+1)은 오직 이전 평균 R<sub>k</sub>(t)에 의해서만 업데이트될 것이다. 여기서, 상기 최소 전송률 값을 적용하는 이유는 멀티캐스트 그룹 내 사용자들의 전송 속도 중 가장 낮은 전송 속도로 데이터를 전송해야 모든 사용자들이 데이터를 수신할 수 있기 때문이다. 상기 T는 가변 평균(moving average)을 결정하는 윈도우 사이즈(window size)로, T 슬롯동안에 받은 데이터량으로 평균 전송률값을 계산한다는 의미이다.

여기서, 상기 PF의 특성에 의해 하기 <수학식 3>이 성립한다.

$$\sum_{k \in U} \log R_k^{U_P}(t+1) \geq \sum_{k \in U} \log R_k^{U_S}(t+1)$$

여기서, 상기 U<sub>P</sub>는 상기 PF 스케줄러가 현재 슬롯에서 스케줄링해주는 멀티캐스트 서비스 대상자들(user set)을 나타내고, 상기 U<sub>S</sub>는 임의의 스케줄러(arbitrary scheduler)가 스케줄링해주는 서비스 대상자들(user set)을 나타낸다. 또한, 상

기  $R_k^{U_P}$ 는 상기 PF 스케줄링에서 상기 사용자 k의 평균 전송률을 나타내며, 상기  $R_k^{U_S}$ 는 임의의 스케줄링에서 상기 사용자 k의 평균 전송률을 나타낸다.

여기서, 상기 <수학식 3>은 하기 <수학식 4>와 같이 간단하게 나타낼 수 있다.

$$\prod_{k \in U} R_k^{U_P}(t+1) \geq \prod_{k \in U} R_k^{U_S}(t+1)$$

여기서, 상기 U<sub>P</sub> 또는 U<sub>S</sub>에 속하지 않는 사용자들의 평균 전송률은 같으므로 소거될 수 있으며, 따라서, 하기 <수학식 5>와 같이 나타낼 수 있다.

$$\prod_{k \in U_p \cup U_s} R_k^{U_p}(t+1) \geq \prod_{k \in U_p \cup U_s} R_k^{U_s}(t+1)$$

$$\prod_{k \in U_p} R_k^{U_p}(t+1) \cdot \prod_{k \in U_s - U_p} R_k^{U_p}(t+1) \geq \prod_{k \in U_s} R_k^{U_s}(t+1) \cdot \prod_{k \in U_p - U_s} R_k^{U_s}(t+1)$$

여기서, 상기 <수학식 5>에 상기 <수학식 1>을 대입하면, 하기 <수학식 6>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \prod_{k \in U_p} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) + \frac{1}{T} \cdot r_k^{\min}(t+1) \right\} \cdot \prod_{k \in U_s - U_p} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) \right\} \\ & \geq \prod_{k \in U_s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) + \frac{1}{T} \cdot r_k^{\min}(t+1) \right\} \cdot \prod_{k \in U_p - U_s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) \right\} \end{aligned}$$

여기서, 양변에  $\prod_{k \in U_s \cap U_p} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) \right\}$ 를 곱하면, 하기 <수학식 7>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \prod_{k \in U_p} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) + \frac{1}{T} \cdot r_k^{\min}(t+1) \right\} \cdot \prod_{k \in U_s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) \right\} \\ & \geq \prod_{k \in U_s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) + \frac{1}{T} \cdot r_k^{\min}(t+1) \right\} \cdot \prod_{k \in U_p} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) \right\} \end{aligned}$$

여기서, 상기 <수학식 7>을 정리하면, 하기 <수학식 8>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{\prod_{k \in U_p} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) + \frac{1}{T} \cdot r_k^{\min}(t+1) \right\}}{\prod_{k \in U_p} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) \right\}} \geq \frac{\prod_{k \in U_s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) + \frac{1}{T} \cdot r_k^{\min}(t+1) \right\}}{\prod_{k \in U_s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot R_k^U(t) \right\}} \\ & \prod_{k \in U_p} \left( 1 + \frac{r_k^{\min}(t+1)}{(T-1)R_k^U(t)} \right) \geq \prod_{k \in U_s} \left( 1 + \frac{r_k^{\min}(t+1)}{(T-1)R_k^U(t)} \right) \end{aligned}$$

여기서, 상기 <수학식 8>을 정리하여 상기 멀티캐스트 비례 공평 메트릭을 하기 <수학식 9>와 같이 정의할 수 있다.

$$f(m) = \prod_{k \in U_p} \left( 1 + \frac{r_k^{\min}(t+1)}{(T-1)R_k^U(t)} \right), \text{ for } m=1..M$$

여기서, 상기  $f(m)$ 은  $m$ 번째 AMC 레벨의 함수를 의미하며, 시스템에서 제공할 수 있는 모든 AMC 레벨을 상기 멀티캐스트 서비스율  $r_k^{\min}$ 에 대입하여 계산한다. 이때, 상기 대입하는 해당 AMC 레벨의 전송률에 따라 서비스 가능한 사용자들의 평균 데이터 전송률은 다르게 적용될 수 있다. 상기  $f(m)$  값을 최대로 만드는 AMC 레벨이 상기 시스템에서 멀티캐스트 서비스되는 AMC 레벨이 되고, 멀티캐스트 스케줄링 그룹은 상기 AMC 레벨로 멀티캐스트 데이터를 수신할 수 있는 사용자들로 구성될 수 있다.

이후, 상기 기지국의 멀티캐스트 비례공평 스케줄러(107)는 205단계에서 상기 AMC 레벨 인덱스  $m$ 이 AMC 레벨의 수  $M$ 보다 작는지 검사한다. 만약, 상기  $m$ 이 상기  $M$ 보다 작으면, 상기 기지국은 207단계로 진행하여 상기  $m$ 에 1을 더한 값으로 상기  $m$ 을 갱신한 후, 203단계로 돌아가 해당 AMC 레벨에서의 멀티캐스트 비례공평 메트릭을 계산한다. 만약, 상기  $m$ 이 상기  $M$ 보다 작지 않으면, 상기 기지국의 멀티캐스트 비례공평 스케줄러(107)는 모든 AMC 레벨마다 상기 메트릭 값을 계산하였음을 판단하고, 209단계에서 상기 PF 스케줄링의 정의를 만족하는 즉, 상기 계산한 메트릭 값 중 가장 큰 메트릭 값을 가지는 AMC 레벨을 선택하며, 상기 선택한 AMC 레벨을 멀티캐스트 서비스율  $r_k^{\min}$ 으로 결정한다. 이때, 상기 결정되는 서비스율을 수용하기에 충분한 채널 품질을 보고하는 사용자들의 그룹으로 상기 멀티캐스트 스케줄링 그룹이 결정되며, 또한, 전체 사용자들, 즉 전체 단말들의 평균 전송률이 변화하게 된다. 따라서, 상기 기지국은 상기 변화에 따른 상기 단말들의 평균 전송률을 상기 <수학식 2>와 같이 갱신한다. 따라서, 어떤 사용자가 이번 프레임에서 서비스를 받지 못했다면, 이는 상기 <수학식 9>의  $R_k^u(t)$ 에 반영되어 상기 사용자가 다음 슬롯에서 서비스를 받을 확률이 높아진다. 즉, 사용자의 채널 상태가 매 슬롯마다 변화하므로 멀티캐스트 서비스율이 고정되어 있다고 해서 멀티캐스트를 받는 사용자 그룹이 고정되어 있는 것은 아니며, 매 슬롯마다 본 발명에 따른 알고리즘으로 멀티캐스트 전송률을 결정하면, 사용자들의 채널 상태와 평균 전송률을 반영하여 스케줄링할 수 있다.

여기서, 도 3과 같이, 멀티캐스트 서비스 대상자가 A와 B인 시스템을 예로 들어 설명하면 다음과 같다. 우선, 상기 시스템에서 제공하는 AMC 레벨은 100, 200, 300이며, 윈도우 사이즈  $T$ 는 1000이라고 가정한다. 또한, 데이터 전송률이 높은 영역(300)에 있는 단말 A(301)의 평균 전송률은 150이고, AMC 레벨의 전송률은 300이며, 상기 데이터 전송률이 상기 영역(300)보다 낮은 영역(310)에 있는 단말 B(311)의 평균 전송률은 20이고, AMC 레벨의 전송률은 100이라고 가정한다. 상기 AMC 레벨이 100인 경우, 상기 AMC 레벨의 전송률로 서비스 받을 수 있는 단말은 상기 A(301)와 B(311) 모두이고, 이때, 상기 메트릭은  $(1 + 100/(999 \cdot 150))(1 + 100/(999 \cdot 20)) = 1.0057$ 의 값을 가진다. 상기 AMC 레벨이 200인 경우, 상기 AMC 레벨의 전송률로 서비스 받을 수 있는 단말은 상기 A(301)이고, 이때, 상기 메트릭은  $(1 + 200/(999 \cdot 150)) = 1.0013$ 의 값을 가진다. 또한, 상기 AMC 레벨이 300인 경우, 상기 AMC 레벨의 전송률로 서비스 받을 수 있는 단말은 상기 A(301)이고, 이때, 상기 메트릭은  $(1 + 300/(999 \cdot 150)) = 1.0020$ 의 값을 가진다. 따라서, 이 경우, 상기 AMC 레벨 중 가장 큰 메트릭 값을 가지는 AMC 레벨은 100이 되고, 따라서, 상기 기지국은 상기 AMC 레벨의 전송률을 100으로 결정하여 멀티캐스트 서비스를 제공할 수 있다. 이때, 상기 멀티캐스트 서비스를 제공받는 단말은 상기 A(301)가 된다.

이후, 상기 기지국은 211단계로 진행하여 상기 멀티캐스트 서비스율로 멀티캐스트 서비스하고자 하는 비디오 스트리밍 비트를 인코딩하고, 상기 인코딩된 비디오로 멀티캐스트 메시지를 생성하여 상기 정해진 사용자 그룹의 단말들로 전송한다. 상기와 같이, 매 슬롯(slot)마다 평균 전송률(average rate)과 각 사용자의 채널 상태를 고려하여 멀티캐스트 서비스율을 결정하면, 오랜 기간 비례 공평을 보장할 수 있다. 이후, 상기 기지국은 본 발명에 따른 알고리즘을 종료한다.

도 4와 도 5는 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법과 종래 기술에 따른 고정된 전송률 멀티캐스트 기법의 스루풋(throughput) 성능을 비교한 도면이다. 여기서, 상기 성능 비교를 위해 CDMA 1x EV-DO 시스템을 적용하였으나, TDMA모드에서 적응적 AMC를 가진 다른 시스템을 적용할 수도 있다. 상기 1x EV-DO 시스템은 각 사용자들의  $E_c/I_0$  값에 따라 38.4kbps에서 2457.6kbps까지 11개의 AMC 레벨의 데이터율을 제공한다. 서비스 영역은 19개의 셀로 구성되고, 중심셀에서 사용자는 랜덤하게 분포하며, 기지국은 상기 셀들의 가운데 위치한다고 가정한다. 또한, 모든 단말의 속도는 3km/h로 고정되어 있으며, 내부 셀 잡음은 경로 손실(path loss)만 고려한다. 좀 더 자세한 시뮬레이션 환경은 하기 <표 1>과 같다.

[표 1]

파라미터	값
셀의 수	19
경로 손실 모델	$28.6 + 35 \log_{10}(d)$ dB

로그-노멀 셰도잉	표준 편차 = 8.9 dB
열 잡음 농도	-174 dBm/Hz
반송파 주파수	2 GHz
단말 안테나 이득	-1 dB
그 외 손실	10dBi
기지국 최고 PA 파워	20mW
슬롯 사이즈	1.67 ms

상기 도 4는 모든 사용자들의 평균 전송률(average rate)의 평균값을 이용하여 전반적인 시스템 성능을 비교한 도면이다. 우선, 첫 번째 막대는 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 스케줄링의 성능을 나타내고, 나머지 9개의 막대는 고정된 전송률 멀티캐스트 스케줄링의 성능을 나타낸다. 상기 고정된 전송률 멀티캐스트 스케줄링의 경우, 1228.8 kbps의 멀티캐스트 서비스 율까지는 상기 멀티캐스트 서비스 율의 증가에 따라 성능이 증가한다. 하지만, 그 이상의 멀티캐스트 서비스 율에서는 상기 멀티캐스트 서비스 율의 증가에 따라 상기 성능이 감소한다. 이는 아주 높은 레벨 AMC 모드를 핸드들링할 수 있는 사용자의 수가 적기 때문이다. 반면, 본 발명에 따른 상기 멀티캐스트 비례 공평 스케줄링은 적정 수준 이상의 사용자에게 서비스를 하고, 채널 상태가 나쁜 사용자들은 채널 상태가 좋아지기를 기다렸다가 서비스를 하기 때문에 상기 고정된 전송률 멀티캐스트 스케줄링이 제공할 수 있는 최대의 성능보다 사용자들의 평균 전송률 평균값 측면에서 더 높은 성능을 얻을 수 있다.

상기 도 5는 상기 사용자 간 공평성(fairness)에 관련된 성능을 비교한 도면이다.

상기 도 5를 참조하면, 우선, 1228.8kbps의 멀티캐스트 서비스 율을 가진 고정된 전송률 멀티캐스트 스케줄링의 경우, 기지국 근처에 있는 두 명의 사용자는 매우 높은 성능을 가진다. 하지만, 셀 경계에 있는 사용자들은 그들의 채널 상황에서 수신하기에 너무 높은 멀티캐스트 서비스 율 때문에 멀티캐스트 데이터를 거의 수신할 수 없다. 따라서, 상기 고정된 전송률 멀티캐스트 스케줄링의 경우, 상기 1288.8kbps의 멀티캐스트 서비스 율에서 높은 성능을 가지지만, 모든 사용자 간의 공평(fairness)을 보장하지는 않는다. 반면, 본 발명에서 제안하는 상기 멀티캐스트 비례 공평 스케줄링의 경우, 좋은 환경의 사용자와 나쁜 환경의 사용자 간 공평(fairness)을 보장한다. 상기 멀티캐스트 비례 공평 스케줄링에서 각 사용자의 평균 데이터 전송률과 수신되는 멀티캐스트 데이터의 양을 반영하여 PF 메트릭을 계산하기 때문이다.

도 7은 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법과 종래 기술에 따른 고정된 전송률 멀티캐스트 기법의 비디오 퀄리티(Video Quality) 성능을 비교한 도면이다.

기지국은 매 슬롯마다 본 발명에서 제안하는 알고리즘 혹은 종래 기술에 따른 알고리즘에 따라 서비스 율을 결정하고, 상기 결정된 서비스 율에 따라 결정된 전송 비트 수만큼 상기 단말에게 전송한다. 하지만, 멀티캐스트 서비스에서 멀티캐스트 스케줄링 그룹이 사용자의 시간 변화 채널 상태에 대해 계속적으로 보장되지 않기 때문에 사용자는 모든 전송되는 비디오 스트리밍을 수신할 수 없다. 따라서, 상기 단말은, 도 6과 같이, 0.5초 혹은 1초 단위로 수신된 비트들을 모아 비디오 이미지로 디코딩하여 재생할 수 있다. 이때, 상기 시간 동안 받은 상기 비트 수가 많을수록 높은 율로 재생할 수 있어 PSNR (peak signal to noise ratio : 이하 'PSNR'이라 칭함)이 높아진다. 비디오 코딩에서 비디오 퀄리티를 측정할 때 기준으로 삼는 것은 원본 영상과의 퀄리티 차이를 나타내는 파라미터인 상기 PSNR이지만, 일정 시간 동안 받은 비트의 수(평균 전송률)의 변화(variation)이 크게 되면, 비디오 퀄리티가 변화하기 때문에 사용자가 느끼는 서비스 퀄리티는 낮아지기 때문에, 성능 평가에 있어서 상기 영상의 PSNR은 물론 상기 PSNR의 변화(variation)를 살펴보도록 한다. 즉, 상기 영상의 PSNR의 변화가 크지 않을수록 사용자는 안정적인 스트리밍 서비스를 지원받을 수 있다.

상기 도 7을 참조하면, 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법의 PSNR이 더 높을 뿐만 아니라, 상기 PSNR의 변화도 낮음을 알 수 있다. 이는, 상기 멀티캐스트 비례 공평 기법을 적용하였을 시, 사용자가 안정적인 스트리밍 서비스를 지원받을 수 있음을 의미한다. 여기서, 40dB이상의 PSNR은 아주 높은 퀄리티의 이미지를 지시하고, 30-40dB의 PSNR은 높은 퀄리티의 이미지를 지시하며, 20-30dB의 PSNR은 낮은 퀄리티의 이미지를 지시한다. 여기서, 도 8을 참조하면, 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법(8a)의 이미지 퀄리티가 종래 기술에 따른 고정된 전송률 멀티캐스트 기법(8b)보다 더 높음을 알 수 있다.

한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

### 발명의 효과

상술한 바와 같이, 본 발명은 멀티캐스트 서비스를 지원하는 통신 시스템에서 평균 전송률과 각 사용자의 채널 상태를 고려하여 적응적으로 최적의 멀티캐스트 서비스율 및 멀티캐스트 서비스 그룹을 결정함으로써, 사용자의 채널 분포에 따라 최적의 서비스 율을 결정할 수 있어 사용자들의 평균 전송률 평균값 측면에서 높은 성능을 얻을 수 있으며, 좋은 환경의 사용자와 나쁜 환경의 사용자 간 공평(fairness)을 보장하는 이점이 있다. 또한, 상기 스케줄링에 따라 제공되는 멀티캐스트 데이터를 재생하였을 시, 상기 재생되는 영상의 PSNR이 높으며, 상기 PSNR의 변화가 낮아 사용자가 안정적인 스트리밍 서비스를 지원받을 수 있는 이점이 있다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 통신 시스템 기지국의 구성을 도시한 블럭 다이어그램,

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 통신 시스템 기지국에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링 방법의 절차를 도시한 도면,

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 통신 시스템 기지국에서 멀티캐스트 서비스(Multicast service)를 위한 비례 공평(Proportional Fair) 스케줄링의 예를 도시한 예시도,

도 4는 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법과 종래 기술에 따른 고정된 전송률 멀티캐스트 기법의 전반적인 시스템 성능을 비교한 도면,

도 5는 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법과 종래 기술에 따른 고정된 전송률 멀티캐스트 기법의 사용자 간 공평성(fairness)에 관련된 성능을 비교한 도면,

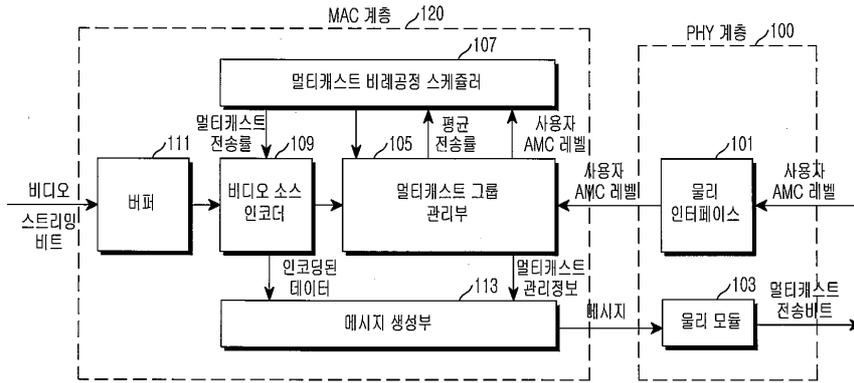
도 6은 본 발명에 따른 단말이 멀티캐스트 스케줄링에 따라 수신되는 비디오 스트리밍(video streaming)을 재생하는 방법을 도시한 도면,

도 7은 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법과 종래 기술에 따른 고정된 전송률 멀티캐스트 기법의 비디오 퀄리티(Video Quality) 성능을 비교한 도면, 및

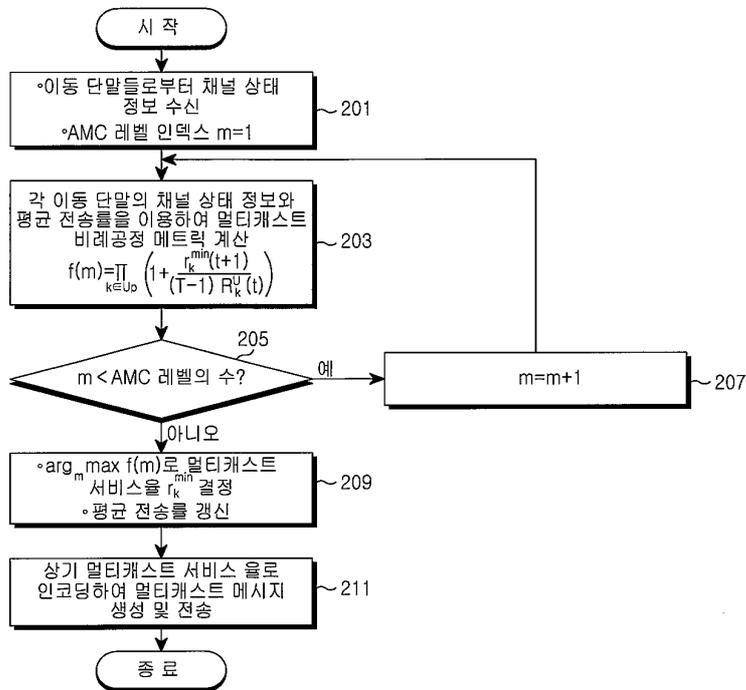
도 8은 본 발명에서 제안하는 멀티캐스트 비례 공평 기법과 종래 기술에 따른 고정된 전송률 멀티캐스트 기법의 이미지 퀄리티를 비교한 도면.

### 도면

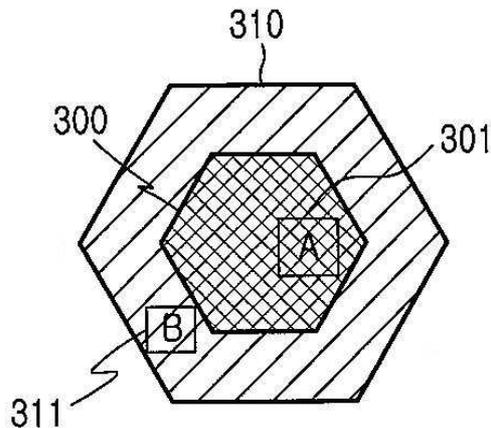
도면1



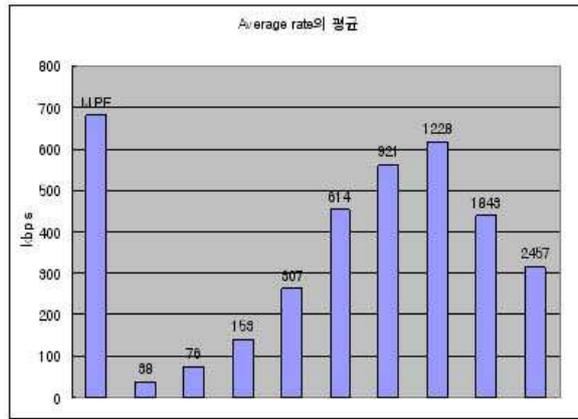
도면2



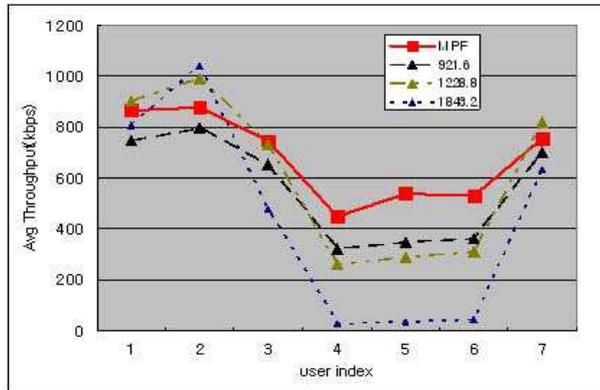
도면3



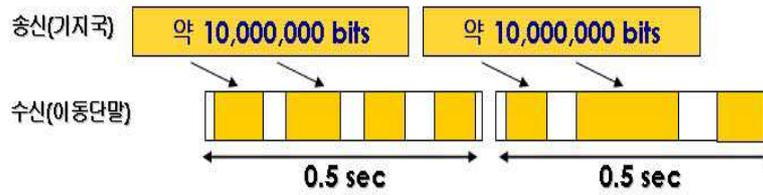
도면4



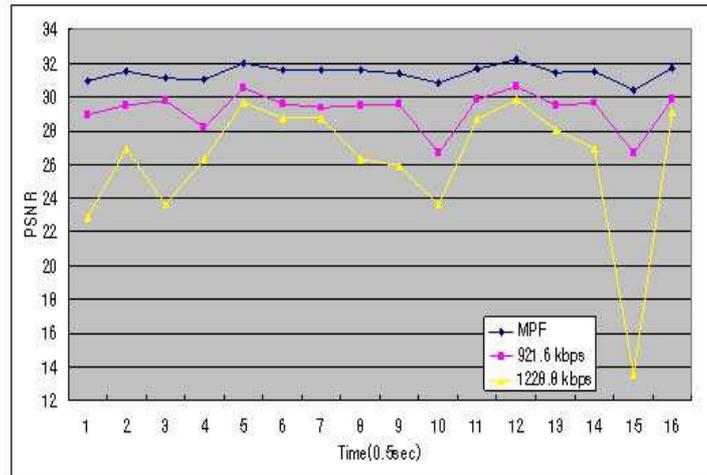
도면5



도면6



도면7



도면8



(8a)

(8b)