



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년01월13일  
 (11) 등록번호 10-1695716  
 (24) 등록일자 2017년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H04W 72/12 (2009.01) H04B 7/04 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2010-0074691  
 (22) 출원일자 2010년08월02일  
 심사청구일자 2015년08월03일  
 (65) 공개번호 10-2012-0012618  
 (43) 공개일자 2012년02월10일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 “Throughput Optimization in High Speed  
 Dwdnlink Pack Access (HSDPA)”, Tao Cui 외 3  
 인, Proceeding of IEEE International  
 Conference on Communicaions 2009,  
 (2009.06.18.)  
 KR1020080074915 A  
 US20100064185 A1

(73) 특허권자  
 삼성전자주식회사  
 경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)  
 한국교통대학교산학협력단  
 충청북도 충주시 대소원면 대학로 50  
 (72) 발명자  
 고재연  
 경기도 수원시 영통구 매탄동 419동 504호  
 윤순영  
 서울특별시 송파구 올림픽로4길 15, 아시아선수촌  
 아파트 9동 106호 (잠실동)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 권혁록, 이정순

전체 청구항 수 : 총 10 항

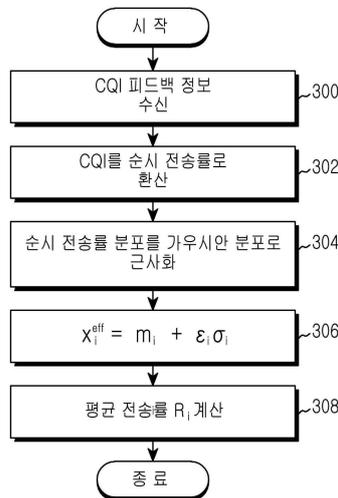
심사관 : 이종익

(54) 발명의 명칭 **다중안테나 시스템에서 평균 전송률을 제어하기 위한 스케줄링 방법 및 장치**

**(57) 요약**

무선 시스템에서 스케줄링 방법은, 단말들로부터 채널품질 지시자(Channel Quality Indicator: CQI)를 수신하는 과정과, 상기 CQI를 기반으로, 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하여, 각 단말의 평균 전송률을 결정하는 과정과, 상기 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하도록, 각 단말의 가중치를 결정하는 과정과, 상기 결정된 가중치를 적용하여, 단말 집합을 선택하는 과정을 포함하여,

**대표도** - 도3



(72) 발명자

**문철**

경기도 수원시 영통구 영통로 498, 황골마을1단지  
128동 701호 (영통동)

**정희진**

서울특별시 마포구 성미산로 184, 301호 (연남동)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

무선 시스템에서 스케줄링 방법에 있어서,  
 단말들로부터 채널품질 지시자(Channel Quality Indicator: CQI)를 수신하는 과정과,  
 상기 CQI를 기반으로, 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하여, 각 단말의 평균 전송률을 결정하는 과정과,  
 상기 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하도록, 각 단말의 가중치를 결정하는 과정과,  
 상기 결정된 가중치를 적용하여, 단말 집합을 선택하는 과정을 포함하는 방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,  
 상기 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하여, 각 단말의 평균 전송률을 결정하는 과정은,  
 각 단말에 대해 상기 CQI를 순시 전송률로 환산하여, 순시 전송률 분포를 결정하는 과정과,  
 상기 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하는 과정과,  
 상기 가우시안 분포로 근사화된 순시 전송률을 이용하여, 평균 전송률을 결정하는 과정을 포함하는 방법.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

제 1항에 있어서,  
 상기 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하도록, 각 단말의 가중치를 결정하는 과정은,  
 공평성 계수  $\alpha$ 를 결정하고, 각 단말에 대한 가중치를 초기화하는 과정과,  
 각 단말의 결정된 평균 전송률과 목표 전송률을 비교하여, 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하는 지 판단하는 과정과,  
 상기 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하지 못할 경우, 적어도 둘 이상의 단말을 선택하는 과정과,  
 상기 선택된 적어도 둘 이상의 단말 중 적어도 하나 이상의 제1 단말의 평균 전송률을 낮추고, 다른 나머지 제2 단말들의 평균 전송률을 높이도록, 가중치를 결정하는 방법.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

제 6항에 있어서,

상기 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하지 못할 경우, 적어도 둘 이상의 단말을 선택하는 과정은,

평균 전송률이 목표 전송률에 미달하는 적어도 하나 이상의 단말과 평균 전송률이 목표 전송률을 초과하는 적어도 하나 이상의 단말을 선택하는 방법.

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

무선 시스템에서 스케줄링 장치에 있어서,

단말들로부터 채널품질 지시자(Channel Quality Indicator: CQI)를 수신하는 수신기와,

상기 CQI를 기반으로, 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하여, 각 단말의 평균 전송률을 결정하는 평균 전송률 결정기와,

상기 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하도록, 각 단말의 가중치를 결정하는 평균 전송률 제어기와,

상기 결정된 가중치를 적용하여, 단말 집합을 선택하는 단말 선택기를 포함하는 장치.

**청구항 13**

제 12항에 있어서,

상기 평균 전송률 결정기는,

각 단말에 대해 상기 CQI를 순시 전송률로 환산하여, 순시 전송률 분포를 결정하고,

상기 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하고,

상기 가우시안 분포로 근사화된 순시 전송률을 이용하여, 평균 전송률을 결정하는 장치.

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**청구항 16**

삭제

**청구항 17**

제 12항에 있어서,

상기 평균 전송률 제어기는,

공평성 계수  $\alpha$  를 결정하고, 각 단말에 대한 가중치를 초기화하고,

각 단말의 결정된 평균 전송률과 목표 전송률을 비교하여, 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하는 지 판단하고,

상기 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하지 못할 경우, 적어도 둘 이상의 단말을 선택하고,

상기 선택된 적어도 둘 이상의 단말 중 적어도 하나 이상의 제1 단말의 평균 전송률을 낮추고, 다른 나머지 제2 단말들의 평균 전송률을 높이도록, 가중치를 결정하는 장치.

**청구항 18**

삭제

**청구항 19**

제 17항에 있어서,

상기 평균 전송률 제어기는,

평균 전송률이 목표 전송률에 미달하는 적어도 하나 이상의 단말과 평균 전송률이 목표 전송률을 초과하는 적어도 하나 이상의 단말을 선택하는 장치.

**청구항 20**

삭제

**청구항 21**

삭제

**청구항 22**

삭제

**청구항 23**

제1항에 있어서,

상기 각 단말의 가중치를 결정하는 과정은,

상기 평균 전송률이 상기 목표 전송률을 만족하는지 여부를 결정하는 과정과,

상기 목표 전송률을 만족하지 않는 상기 평균 전송률을 갖는 다른 단말에 주어진, 상기 목표 전송률을 만족하는 상기 평균 전송률을 갖는 단말의 데이터 전송 기회와 같은 상기 각 단말의 가중치를 결정하는 과정을 포함하는 방법.

**청구항 24**

제12항에 있어서,

상기 평균 전송률 제어기는, 상기 평균 전송률이 상기 목표 전송률을 만족하는지 여부를 결정하고, 상기 목표 전송률을 만족하지 않는 상기 평균 전송률을 갖는 다른 단말에 주어진, 상기 목표 전송률을 만족하는 상기 평균 전송률을 갖는 단말의 데이터 전송 기회와 같은 상기 각 단말의 가중치를 결정하는 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 다중 입출력 안테나를 포함하는 하향 링크 무선통신시스템에서, 단말들간 공평성(fairness)과 각 단말의 평균 전송률을 제어하는 스케줄링을 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근 무선통신 서비스에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이는 무선 통신시스템 용량 증가에 대한 요구로 이어지고 있다. 무선 통신 시스템 용량 증가를 위한 중요한 기술로써, 다중 입출력 안테나 기술(multi-input multi-output, MIMO)과 무선 자원을 관리하는 스케줄링(scheduling) 기술이 대표적으로 제안되어 개발되고 있다.

[0003] 상기 MIMO의 대표적인 기술로써 공간 다중화(Spatial Multiplexing: SM), 그리고 공간분할 다중접속(Space Division Multiple Access, SDMA) 기술들이 제안되었으며, 3PP LTE (3rd Generation Partnership Project Long Term Evolution)와 Mobile WiMAX에서 표준화되었다. 공간분할 다중접속 기술은 각 셀 별로 동시에 다수의 단말들에게 데이터 스트림을 동시에 전송하여 시스템 용량을 증가시키는 기술이다. 따라서, 데이터 전송을 원하는 모든 단말들 중에서, 기지국이 동시에 데이터를 전송할 단말들을 효과적으로 선택하는 방법, 즉 스케줄링 방법이 공간분할 다중접속 기술에 의한 시스템 용량 이득에 많은 영향을 미친다. 따라서, MIMO 기술, 특히 공간분할 다중접속 기술은 스케줄링 기술과 동시에 최적화(joint optimization) 되어야 한다.

[0004] 무선통신 시스템에서 스케줄링 기술은, 기지국이 데이터 전송을 원하는 많은 단말들 중에서 데이터를 전송할 단말을 선택하는 기술이다. 스케줄링은 데이터 전송률 면에 있어서 단말 간의 공평성(fairness)을 유지함은 물론 시스템 용량을 증가시키도록 설계되어야 한다.

[0005] 무선통신 시스템에서 사용되는 대표적인 스케줄링 알고리즘으로써 비례공정(Proportional Fair: 이하 PF라 칭함) 스케줄링 알고리즘이 있다. 상기 PF 스케줄링 알고리즘은, 기지국으로 피드백된 각 단말의 순시 전송률 정보를 이용하여, 순시 전송률 대 평균 전송률의 비가 가장 큰 단말이 데이터를 전송하도록 한다. 이를 통해, 순시적인 채널 상태가 평균적인 채널 상태보다 가장 좋은 단말에 데이터를 전송함으로써 시스템 전송 용량을 증가시키고, 모든 단말들이 동일한 횟수의 전송 기회를 갖도록 한다. 모든 단말들이 동일한 횟수의 전송 기회를 가짐으로써, 각 단말의 평균 전송률은 해당 단말의 평균 채널 상태에 비례하게 되고, 이를 단말간의 비례공정(proportional fairness)이라고 한다.

[0006] 하지만, PF 스케줄러는, 단말들간의 비례공정만을 보장하기 때문에 평균 수신 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)이 낮은 단말들에 대해서는 서비스를 위한 최소 필요 전송률을 보장할 수 없게 된다. 또한 채널 상황이 매우 좋은 단말들에 대해서는 서비스를 위한 최대 필요 전송률 이상으로 전송 기회를 제공할 수 있다.

[0007] 결론적으로, 다중 입출력 안테나를 포함하는 하향 링크 무선통신시스템에서, 단말들간의 공평성(fairness)을 제어하며, 각 단말들의 필요 전송률과 채널 환경에 따라 각 단말들의 전송률을 제어할 수 있는 스케줄링 방법 및 장치가 필요하다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 본 발명의 목적은 다중안테나 시스템에서 단말의 평균 전송률을 제어하기 위한 스케줄링 방법 및 장치를 제공함

에 있다.

[0009] 본 발명의 다른 목적은 다중 입출력 안테나를 포함하는 하향 링크 무선통신시스템에서, 단말들간의 공평성(fairness)을 제어하며, 각 단말들의 필요 전송률과 채널 환경에 따라 각 단말들의 전송률을 제어할 수 있는 스케줄링 방법 및 장치를 제공함에 있다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 제 1 견지에 따르면, 무선 시스템에서 스케줄링 방법에 있어서, 단말들로부터 채널품질 지시자(Channel Quality Indicator: CQI)를 수신하는 과정과, 상기 CQI를 기반으로, 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하여, 각 단말의 평균 전송률을 결정하는 과정과, 상기 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하도록, 각 단말의 가중치를 결정하는 과정과, 상기 결정된 가중치를 적용하여, 단말 집합을 선택하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 제 2 견지에 따르면, 무선 시스템에서 스케줄링 장치에 있어서, 단말들로부터 채널품질 지시자(Channel Quality Indicator: CQI)를 수신하는 수신기와, 상기 CQI를 기반으로, 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하여, 각 단말의 평균 전송률을 결정하는 평균 전송률 결정기와, 상기 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하도록, 각 단말의 가중치를 결정하는 평균 전송률 제어기와, 상기 결정된 가중치를 적용하여, 단말 집합을 선택하는 단말 선택기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

[0012] 상술한 바와 같이, 평균 전송률을 가우시안 분포를 구하여, 목표 전송률에 도달하도록 가중치와 공평성 계수를 결정함으로써, 단말들간의 공평성(fairness)을 제어하며, 각 단말들의 필요 전송률과 채널 환경에 따라 각 단말들의 전송률을 효율적으로 제어할 수 있는 이점이 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0013] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 Generalized PF 스케줄러 구조

도 2는 본 발명의 실시 예에 따라 K 값에 따른  $\epsilon(K)$  값을 나타내는 표,

도 3은 본 발명의 실시 예에 따라 단말 평균 전송률 추정 알고리즘

도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 단말 평균 전송률 제어 알고리즘 및,

도 5는 시뮬레이션 결과 그래프.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0014] 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 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0015] 본 발명은 다중 입출력 안테나를 포함하는 하향 링크 무선통신시스템에서, 사용자들간 공평성과 각 사용자의 평균 전송률을 조절하는 스케줄링 장치 및 방법을 제안한다.

[0016] Generalized PF 스케줄링 알고리즘

[0017] 하향 링크 셀룰러 네트워크에서, 하향 링크 데이터 수신을 원하는 K개의 단말들은 하향 링크 채널을 추정하고 해당 링크를 통해 전송할 수 있는 최대 전송률을 계산한다. 각 단말은 계산된 최대 전송률 정보를 역방향 링크 채널을 통해 기지국으로 피드백하고, 기지국 스케줄러는 피드백된 각 단말의 최대 전송률 정보를 이용하여 주어진 스케줄링 알고리즘에 따라 다음 하향 링크 타임 슬롯에서 서비스할 단말을 결정한다.

[0018] 대표적인 스케줄링 알고리즘인, PF 스케줄링 알고리즘은, 하기 <수학식 1>과 같이 주어진 유틸리티 함수 (utility function)  $f_i(R_i[n])=\log(R_i[n])$  를 최적화하도록 단말 집합  $O_s[n]$  을 선택한다.

**수학식 1**

$$O_s[n] = \arg \max_O \left( \sum_{i \in O} f_i(R_i[n]) \right) \\ = \arg \max_O \left( \sum_{i \in O} \log(R_i[n]) \right)$$

[0019]

[0020] 여기서,  $O$  는 데이터 전송을 원하는 K개의 단말들에 대한 모든 가능한 부집합(subset)들을 나타내며,  $O_s[n]$  는 n번째 시간 슬롯에서 서비스받도록 스케줄러  $S$  에 의해 선택된 단말 집합을 나타낸다.

$R_i[n]$  은 i번째 단말의 평균 전송률을 나타내며, 하기 <수학식 2>와 같이 구해진다.

**수학식 2**

$$R_i[n] = \begin{cases} \frac{T-1}{T} R_i[n-1] + \frac{1}{T} r_i[n], & \text{if } i \in O_s[n] \\ \frac{T-1}{T} R_i[n-1], & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0021]

[0022] 여기서,  $r_i[n]$  은 n번째 시간 슬롯에서 전송 가능한 i번째 단말의 순시 전송률을 나타내며, T는 지수 이동 평균(Exponential Moving Average)을 구하기 위한 시간 상수이다. 상기 <수학식 1>에 의하면, PF 스케줄링 알고리즘은, 단말의 평균 전송률의 로그 값의 합을 최대로 하는 단말 부집합을 선택한다. 즉, 모든 가능한 단말의 부집합들  $O$  에 대해 속한 단말들의 평균 전송률의 로그 합을 구하고, 최대 로그 합을 가지는 하나의 부집합을 선택하고, 선택된 부집합에 속한 단말들에게 데이터를 전송한다.

[0023] 하지만, 실제 시스템에서 PF 스케줄링 알고리즘은 상기 <수학식 1>의 유틸리티 함수 최적화 문제를 그대로 적용하지 않고, 하기 <수학식 3>과 같이 순시 전송률 대 평균 전송률의 비의 합을 최대로 하는 단말 집합을 선택하는 최적화 문제로 변환하여 구현한다.

수학식 3

$$O_S [n] = \arg \max_O \sum_{i \in O} \frac{r_i [n]}{R_i [n-1]}$$

[0024]

[0025]

상기 <수학식 3>의 계산이 상기 <수학식 1>의 계산보다 간단하고, 상기 <수학식 3>은 순시 전송률이 평균 전송률보다 큰 단말들이 스케줄링 된다는 스케줄링 알고리즘 동작에 대한 물리적인 이해를 제공하고, 또한 이론적인 용량 분석을 가능하게 한다. 따라서, 상기 <수학식 1>과 같은 유틸리티 함수에 대한 최적화 문제를, <수학식 1>과 등가이지만 더욱 간단한 <수학식 3>과 같은 최적화 문제로 변환하는 것이, 실제 시스템 적용을 위해 필요하다.

[0026]

기존의 PF 스케줄링 알고리즘은 단말들간의 공평성 정도, 즉 단말 평균 전송률간의 차이 정도를 조절할 수 없다. 또한, 단말의 평균 전송률을 개별적으로 조절할 수 없다는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해,

Generalized PF 스케줄링 알고리즘이 제안되고 있다. Generalized PF 스케줄링 알고리즘은 파라미터  $\alpha$ 를 이용하여 단말들간의 공평성을 조절할 수 있으며, 각 단말들의 평균 전송률을 우선순위(priority) 파라미터  $P_i$ 를 이용하여 개별적으로 조절할 수 있다. Generalized PF 스케줄러의 유틸리티 함수는 하기 <수학식 4>와 같이 주어진다.

수학식 4

$$f_i (R_i [n]) = \begin{cases} p_i \log (R_i [n]), & \alpha = 1 \\ p_i \frac{(R_i [n])^{1-\alpha}}{1-\alpha}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0027]

[0028]

여기서,  $\alpha = 1$  이고 모든  $P_i$ 에 대해  $P_i = 1$  인 경우, PF 스케줄링 알고리즘과 동일하다.  $\alpha$ 값이 증가

할수록 단말의 평균 전송률간의 차이가 줄어들며, 큰 값의  $P_i$ 를 갖는 단말일수록 작은 값의  $P_i$ 를 갖는 단말보다 더 많은 전송 기회를 가지게 함으로써 단말의 평균 전송률을 개별적으로 조절할 수 있다.

[0029]

본 발명에서는 실제 시스템에 적용 하기 위한 Generalized PF 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안하는 Generalized PF 스케줄링 알고리즘은, 상기 <수학식 4>의 유틸리티 함수에 대한 최적화 문제로부터 이론적으로 유도되지만, 유도과정은 생략한다. 제안하는 Generalized PF 스케줄링 알고리즘은, 상기 <수학식 4>의 유틸리티 함수에 대한 최적화 문제와 등가이지만, 보다 계산이 간단하고 이론적인 용량 분석을 가능하게 한다. 따라서, 본 발명에서 제안할 Generalized PF 스케줄링에 의한 단말의 평균 전송률 예측 방법과 평균 전송률 제어 방법을 가능하게 한다. 본 발명에서 제안하는 Generalized PF 스케줄링 알고리즘은 상기 <수학식 5>와 같다.

수학식 5

$$O_S [n] = \arg \max_O \sum_{i \in O} \left\{ p_i \frac{r_i [n]}{(R_i [n-1])^\alpha} \right\}$$

[0030]

[0031] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 Generalized PF 스케줄러 구조의 일례를 나타내는 도면이다.

[0032] 상기 도 1을 참조하면, 상기 스케줄러(100)는 CQI 피드백 정보 수신기(102), 평균 전송률 추정기(104), 평균 전송률 제어기(106) 및 단말 선택기(108)를 포함하여 구성된다. 상기 스케줄러(100)는 또한 기지국에 포함되어, 하향링크 데이터 스케줄링에 이용된다.

[0033] 상기 CQI 피드백 정보 수신기(102)는 상향링크 피드백 채널을 통해 각 단말로부터 CQI(Channel Quality Indicator) 정보를 수신한다. 상기 CQI 정보는 단말에서 측정된 신호대잡음비(예: SNR(Signal-to-Noise Ratio), SINR(Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio), CNR(Carrier-to-Noise-Ratio), 또는 CINR(Carrier-to-Interference-plus-Noise-Ratio))를 소정의 비트(예: 5비트 혹은 4비트)로 표현한 것이다.

[0034] 상기 평균 전송률 추정기(104)는 단말들로부터 피드백된 CQI 정보를 바탕으로 해당 무선링크를 통해 전송할 수 있는 평균 전송률을 추정한다. 상기 평균 전송률 추정은 본 발명에서 순시 전송률 분포를 가우시안 분포로 근사화하여 추정하는 단말의 평균 전송률 예측 방법에 의해 수행된다. 하기에서 상세히 설명하기로 한다.

[0035] 상기 평균 전송률 제어기(106)에서는 추정된 각 단말의 평균 전송률과 각 단말의 목표 전송률을 비교하여, 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률에 도달하도록 Generalized PF 스케줄러의  $\alpha$  값과  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  값을 결정한다. 이러한 평균 전송률 제어는 본 발명에서 제안할 단말의 평균 전송률 제어 방법에 의해 수행된다. 이하 도 4에서 상세히 설명하기로 한다.

[0036] 상기 단말 선택기(108)에서는 각 시간 슬롯에서 서비스받을 단말 집합  $O_S[n]$  을 선택하기 위해 상기 <수학식 5>의 최적화 문제의 해를 구한다. 즉, 모든 가능한 단말의 부집합들  $O$  에 대해  $\sum_{i \in O} \left\{ p_i \frac{r_i [n]}{(R_i [n-1])^\alpha} \right\}$  을 계산하고, 최대 값을 가지는 하나의 부집합을 해로써 선택한다. 이때, 상기 평균 전송률 제어기(106)에서 결정된 Generalized PF 스케줄러의  $\alpha$  값과  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  값을 사용한다.

[0037] 마지막으로, 기지국은 상기 단말 선택기(108)에서 선택된 부집합에 속한 단말들에게 데이터를 전송한다.

[0038] Generalized PF 스케줄링에 의한 단말의 평균 전송률 예측 방법

[0039] Generalized PF 스케줄러는 단말간의 공평성을 조절하는  $\alpha$  값과 각 단말의 평균 전송률을 개별적으로 조절할 수 있는  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  값을 조절한다. 이를 위해서는, Generalized PF 스케줄러가 주어진  $\alpha$  값과  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  값에 따라, 각 단말이 수신할 수 있는 평균 전송률을 예측할 수 있어야 한다. 본 발명에서 상기 도 1의 평균 전송률 추정기(104)에서 수행될, 주어진  $\alpha$  값과  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  값에 따라 각 단말이 수신할 수 있는 평균 전송률을 예측하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 실시간 연산을 통해 실제 시스템에 적용 가

능하도록 하기 위해, 필요 연산량을 최소화하도록 한다.

[0040] Generalized PF 스케줄링 알고리즘을 사용하는 시스템에서,  $\alpha$  값과  $\{p_i\}_{i=1,\dots,K}$  값이 주어졌을 때,  $i$  번

째 단말이 수신할 수 있는 평균 전송률,  $R_i$  는 하기 <수학식 6>을 이용하여 계산된다. 하기 <수학식 6>은 이론적으로 유도되지만, 유도과정은 생략한다.

**수학식 6**

$$R_i = \frac{(p_i x_i^{eff})^{1/\alpha}}{\sum_{k=1}^K \frac{(p_k x_k^{eff})^{1/\alpha}}{x_k^{eff}}}$$

[0041]

[0042] 여기서,  $x_i^{eff}$  는 하기 <수학식 7>과 같이 계산된다.

**수학식 7**

$$x_i^{eff} = m_i + \epsilon_i \sigma_i$$

[0043]

[0044] 여기서,  $i$  번째 단말이 수신할 수 있는 순시 전송률 분포를 가우시안(Gaussian) 분포로 근사화하였을 때의 평균과 표준편차를 각각  $m_i$  와  $\sigma_i$  로 정의한다.  $\epsilon_i$  는 사용자 수에 따라 결정되는 실수 값이다.

[0045] 즉,  $m_i$ ,  $\sigma_i$ , 그리고  $\epsilon_i$  는 기지국 스케줄러가 각 단말로부터 피드백된 순시 전송률을 가우시안 분포로 근사화함으로써 구해 질 수 있다. 또한, 상기 <수학식 7>에서  $\epsilon_i$  는 하기 <수학식 8>과 같이 계산된다.

**수학식 8**

$$\epsilon_i \approx \epsilon(K) = K \int_{x=0}^{\infty} x f_{(0,1)}(x) (F_{(0,1)}(x))^{K-1} dx$$

[0046]

[0047] 여기서,  $f_{(0,1)}$  와  $F_{(0,1)}$  는 표준정규분포의 확률밀도함수(Probability Distribution Function, PDF)와 누적확률함수(Cumulative Distribution Function, CDF)를 나타낸다.  $\epsilon_i$  는 하향 링크 데이터 수신을 원하는 단말 수  $K$  값에 의해 결정되는  $\epsilon(K)$  으로 근사화되며,  $K$  값에 따라 값은 도 2와 같이 결정된다. 따라서, 기지국 스케줄러는  $\epsilon(K)$  값을  $K$  값에 따라 미리 계산하여 이를 저장하고, 단말의 평균 전송률 예측 시 마다 저장

된 값들을 참조하여 사용함으로써, 스케줄링 시에 요구되는 실시간 계산량을 줄일 수 있다.

[0048] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따라 단말 평균 전송률 추정 알고리즘의 흐름도를 도시하고 있다.

[0049] 상기 도 3을 참조하면, 스케줄러는 300단계에서 상향링크 피드백채널을 통해 각 단말의 CQI 정보를 수신한다.

[0050] 이후, 상기 스케줄러는 302단계에서 수신된 각 단말의 CQI 정보를 해당 무선링크로 전송할 수 있는 순시 전송률로 환산한다. 이때, 각 단말로부터 피드백된 CQI에 매 시간 back off를 적용하여 이를 순시 전송률로 환산하고, 전송 중에 발생하는 프레임 에러를 고려하여 스케일링한다. 매 타임 슬롯에서 환산된 순시 전송률 정보는 가우시안 분포 근사화를 위해 저장된다.

[0051] 이후, 상기 스케줄러는 304단계에서 저장된 각 단말에 대한 순시 전송률 샘플들에 대한 분포를 가우시안 분포로 근사화 수행하고, 이때의 평균과 표준편차를 <수학식 7>의  $m_i$  와  $\sigma_i$  로 결정한다.

[0052] 이후, 상기 스케줄러는 306단계에서 도 2의 표를 참고하여 K 값에 따른  $\epsilon(K)$  값을 <수학식 7>의  $\epsilon_i$  으로 결정하고, 결정된  $m_i$  와  $\sigma_i$  값을 이용하여, 상기 <수학식 7>의  $x_i^{eff} = m_i + \epsilon_i \sigma_i$  를 계산한다.

[0053] 이후, 상기 스케줄러는 308단계에서 주어진  $\alpha$  값과  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  값 그리고 계산된 각 단말의  $x_i^{eff}$  값을 상기 <수학식 6>에 대입하여, 각 단말의 평균 전송률  $R_i$  를 계산한다.

[0054] Generalized PF 스케줄링에서 단말의 평균 전송률 제어 방법

[0055] 본 발명에서 상기 도 1의 평균 전송률 제어기(106)에서 수행될, 추정된 각 단말의 평균 전송률과 각 단말의 목표 전송률을 비교하여 각 단말의 평균 전송률이 목표 전송률에 도달하도록 Generalized PF 스케줄러의  $\alpha$  값과  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  값을 결정하는 방법을 제안한다.

[0056] Generalized PF 스케줄러에서  $\alpha$  값은 전체 단말 간의 공평성을 조절하는데,  $\alpha=0$  일 때는 maximum throughput 스케줄링,  $\alpha=1$  일 때는 proportional fair 스케줄링, 그리고  $\alpha=\infty$  일 때는 max-min 스케줄링을 구현한다.  $\alpha$  값은 전체 단말의 평균 전송률에 영향을 미치므로, 매 스케줄링 주기마다 새로운 값으로 변화시킬 수 없다. 따라서, 무선 네트워크에서 요구되는 공평성 정도를 정의하고, 요구된 공평성 정도에 맞춰  $\alpha$  값을 지정한다.

[0057]  $\alpha$  값을 결정하는 한 예로써, 각 단말에 대한 초기 가중치 값  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$  가 주어질 경우, 시스템 전송률 (단말 평균 전송률의 전체 합,  $\sum_{i=1}^K R_i$ ) 을 원하는 값  $R^{sum}$  으로 만족하면서 최대 공평성을 만족하는  $\alpha$  값을 하기 <수학식 9>로부터 구할 수 있다.

수학식 9

$$R^{sum} = \sum_{i=1}^K (p_i x_i^{eff})^{1/\alpha} / \sum_{k=1}^K \frac{(p_k x_k^{eff})^{1/\alpha}}{x_k^{eff}}$$

[0058]

[0059] 초기 가중치 값  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$ 과 상기 도 3의 단말 평균 전송률 추정 알고리즘에 의해 예측된 각 단말이 수신할 수 있는 평균 전송률  $\{x_i^{eff}\}_{i=1, \dots, K}$ , 그리고 목표 시스템 전송률  $R^{sum}$ 가 주어지면, 상기 <수학식 9>를 만족하는  $\alpha$  값 (최대 공평성을 만족하는)을 결정할 수 있다. 이때, 목표 시스템 전송률  $R^{sum}$ 은  $R_{\alpha=0}^{sum}$ 보다 낮은 값을 가져야 한다. 여기서,  $R_{\alpha=0}^{sum}$ 은  $\alpha=0$ 일 경우 달성할 수 있는 시스템 전송률(즉, maximum throughput 스케줄링에 의해 얻을 수 있는 시스템 전송률)을 의미한다. 상기 <수학식 9>에서  $\{p_i\}_{i=1, \dots, K}$ ,  $\{x_i^{eff}\}_{i=1, \dots, K}$ , 그리고  $R^{sum}$ 을 입력 변수로 하여  $\alpha$  값을 결정할 수 있는 단순 역함수가 존재하지 않기 때문에, 다양한 값 (예를 들어, 0, 0.1, ..., 3.9, 4)을 각각 상기 <수학식 9>에 대입하여, 상기 <수학식 9>의 양변의 값들을 가장 비슷하게 하는 (즉, 양변 값들의 차이를 가장 적게 하는)  $\alpha$  값을 선정한다.

[0060]

$\alpha$  값이 결정된 후, Generalized PF 스케줄러는 각 단말의 개별적인 가중치 값  $p_i$ 를 설정한다.  $p_i$ 가 클수록 해당 단말은 보다 자주 선택되어 평균 전송률이 높아지고, 낮을수록 단말은 보다 드물게 선택되어 평균 전송률이 낮아진다. 또한, 한 단말의  $p_i$ 를 변화시키면 다른 모든 단말의 평균 전송률에 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 발명에서는 시스템 전송 용량, 즉 모든 단말의 평균 전송률 합을 변화시키지 않으면서, 매우 낮은 평균 전송률을 가지는 단말의 전송률을 증가시키도록  $p_i$ 를 조절하는 방법을 제안한다.

[0061]

모든 단말의 평균 전송률 합을 변화시키지 않으면서, 낮은 평균 전송률을 가지는 단말의 전송률을 증가시키는 것은 다른 단말의 평균 전송률을 감소시켜야 함을 의미한다. 따라서, 한 단말의 평균 전송률이 서비스에서 요구되는 평균 전송률에 미달하는 동시에 한 단말의 평균 전송률이 요구 평균 전송률을 초과할 경우, 초과되는 평균 전송률을 가지는 단말의 데이터 전송 기회를 미달되는 평균 전송률을 가지는 단말에게 양보하는 알고리즘이 요구된다. 이때, 다른 단말의 평균 전송률이 그대로 유지되도록 해야 한다. 제안하는 알고리즘은 다음과 같다.

[0062]

서비스에서 요구되는 평균 전송률에 미달하는 평균 전송률을 가지는 N개의 단말을 가정할 때, N개의 단말에 대해서 평균 전송률을 요구 전송률까지 증가시키는  $p_i$  해를 동시에 구하는 것은, N차원 가능한 해 공간(feasible solution space)에서 최적 해를 구하는 문제이기 때문에, 연산 복잡도가 매우 높다. 따라서, 제안하는 알고리즘은, 요구 전송률에 미달하는 평균 전송률을 가지는 N개의 단말들 중 하나의 단말과 초과하는 평균 전송률을 가지는 단말들 중 하나의 단말을 각각 선택하여, 초과되는 평균 전송률을 가지는 단말의 데이터 전송 기회를 미달되는 평균 전송률을 가지는 단말에 양보하도록 가중치 값  $p_i$ 를 결정하는 알고리즘을 제안한다. 매 단계별로 위와 같은 선택된 두 단말에 대한 가중치 결정 과정을 N 단계에 걸쳐 실시함으로써, N명의 단말들이

목표 전송률을 만족시킬 수 있는 가중치 값  $P_i$  를 결정할 수 있다.

[0063]

먼저, 단말 m과 n의 현재 평균 전송률을 각각  $R_m$  과  $R_n$  이라고 하고,  $\tilde{R}_m$  과  $\tilde{R}_n$  을 목표로 하는 평균 전송률이라고 하면, 단말 m과 n의 현재 가중치 값  $P_m$  과  $P_n$  을 하기 <수학식 10>과 같이  $\tau_m$  과  $\tau_n$  로 변경한다.

**수학식 10**

[0064]

$$\tilde{P}_m = \tau_m P_m, \tilde{P}_n = \tau_n P_n$$

[0065]

여기서,  $\tau_m$  과  $\tau_n$  은 하기 <수학식 11>과 같이 구해진다.

**수학식 11**

[0066]

$$\tau_m = \left( \frac{\tilde{R}_m}{R_m} \right)^\alpha, \tau_n = \left( \frac{\tilde{R}_n}{R_n} \right)^\alpha$$

[0067]

이때,  $\tau_m, \tau_n$  는 하기 <수학식 12>을 조건을 만족해야 한다.

**수학식 12**

[0068]

$$0 \leq \tau_n \leq \left( 1 + \left( \frac{P_m}{P_n} \right)^{1/\alpha} \left( \frac{x_m^{eff}}{x_n^{eff}} \right)^{1/\alpha - 1} \right)^\alpha,$$

[0069]

$$\tau_m = \left( 1 + (1 - \tau_n^{1/\alpha}) \left( \frac{P_m}{P_n} \right)^{1/\alpha} \left( \frac{x_m^{eff}}{x_n^{eff}} \right)^{1/\alpha - 1} \right)^\alpha$$

[0070]

특히,  $\alpha = 1$  인 PF 스케줄링의 경우, 하기 <수학식 13>과 같은 간단한 조건을 만족하면 된다.

수학식 13

[0071] 
$$\tilde{p}_m + \tilde{p}_n = p_m + p_n$$

[0072] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 단말 평균 전송률 제어 알고리즘의 흐름도를 도시하고 있다.

[0073] 상기 도 4를 참조하면, 상기 스케줄러는 400단계에서 사용할  $\alpha$  값을 결정한다.  $\alpha$  값은 전체 단말의 평균 전송률에 영향을 미치므로, 무선 네트워크에서 요구되는 공평성 정도를 정의하고, 요구된 공평성 정도에 맞춰  $\alpha$  값을 지정한다. 한 예로써, 시스템 전송률을 원하는 값  $R^{sim}$  으로 만족하면서 최대 공평성을 만족하는  $\alpha$  값을 상기 <수학식 9>와 같이 결정할 수 있다.

[0074] 상기 스케줄러는 402단계에서 각 단말의 가중치 값을 모두 1로 초기화, 즉  $\{p_i\}_{i=1,\dots,K} = 1$  한다. 이후의 과정을 통해 각 단말의 가중치 값은 목표 전송률을 만족하도록 지속적으로 갱신된다.

[0075] 상기 스케줄러는 404단계에서 상기 도 3의 단말 평균 전송률 추정 알고리즘을 이용하여, 결정된  $\alpha$  값과 각 단말의 가중치 값  $\{p_i\}_{i=1,\dots,K} = 1$  를 이용하여, 각 단말의 평균 전송률을 추정한다.

[0076] 상기 스케줄러는 406단계에서 추정된 각 단말의 평균 전송률과 목표 전송률을 비교하여, 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하는지 판단한다. 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족할 경우, 408단계로 진행하여 현재  $\alpha$  값과 단말 가중치 값  $\{p_i\}_{i=1,\dots,K}$  을 이용하여, [도 1]의 단말 선택기(14)에서 데이터를 전송할 단말들을 선택한다.

[0077] 반면, 모든 단말의 평균 전송률이 목표 전송률을 만족하지 못할 경우, 410단계에서 내지 416단계를 통해 단말 가중치 값  $\{p_i\}_{i=1,\dots,K}$  을 조절한다.

[0078] 상기 스케줄러는 410단계에서, 가중치 값을 변경할 필요가 있는 단말 m과 단말 n을 선택한다. 이때, 평균 전송률이 목표 전송률에 미달하는 단말과 평균 전송률이 목표 전송률을 초과하는 단말을 선택한다. 이는, 초과되는 평균 전송률을 가지는 단말의 데이터 전송 기회를 미달되는 평균 전송률을 가지는 단말에게 양보하기 위해서이다.

[0079] 상기 스케줄러는 412단계에서,  $\tau_m$  과  $\tau_n$  을 상기 <수학식 11>과 같이 목표 전송률과 평균 전송률의 비로써 계산한다.

[0080] 상기 스케줄러는 414단계에서, 상기 412단계에서 계산된  $\tau_m$  과  $\tau_n$  이 상기 <수학식 12>의 조건을 만족하는지 확인한다. 조건을 만족하지 못할 경우, 410단계에서, 412단계를 되풀이한다. 만약, 조건을 만족할 경우, 416단계로 진행한다.

[0081] 상기 스케줄러는 416단계에서는, 상기 <수학식 10>과 같이 단말 m과 단말 n의 가중치를 변경한다. 416단계가 끝난 후 406단계로 진행하여, 모든 단말이 목표 전송률을 만족하는지 판단한다. 가능한 범위 내에서 모든 단말이 목표 전송률을 만족할 때까지, 410단계 내지 416단계를 반복한다.

[0082] 408단계에서, 400단계에서 결정된  $\alpha$  값과 (410단계 내지 416단계를 통해 업데이트된 단말 가중치 값  $\{p_i\}_{i=1,\dots,K}$  을 이용하여, 데이터를 전송할 단말들을 선택한다.

[0083] 본 발명 제안 기술의 성능 분석

[0084] 본 발명에서는 다중 입출력 안테나를 포함하는 하향 링크 무선통신 시스템에서, 사용자들간 형평성과 각 사용자의 평균 전송률을 조절할 수 있는 스케줄링을 위한 장치 및 방법을 제안하였다. 제안하는 기술들의 성능을 분석하기 위해, Mobile WiMAX의 MIMO mode 2에 대한 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템 레벨 시뮬레이션 결과를 통해 본 발명에서 제안하는 Generalized PF 스케줄러의 평균을 추정 및 제어 알고리즘의 성능 분석을 수행하였다.

[0085] 도 5는 본 발명에 따른 각 섹터 별로 12명이 분포하는 WiMAX의 MIMO mode 2의 시스템에서 각 단말의 평균 전송률을 나타낸다. Generalized PF 스케줄러에서 사용하는  $\alpha$  값은 1로 가정한다. “Before Control” 결과는 모

든 단말의 가중치 값이 1인 경우, 즉  $[p_1, p_2, p_3, \dots, p_{12}] = [1, 1, 1, \dots, 1]$  의 경우의 단말의 평균 전송률을 나타낸다. “Actual Throughput” 은 단말의 가중치 값을  $[\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \tilde{p}_3, \dots, \tilde{p}_{12}] = [0.5, 1.5, 1, \dots, 1]$  로 변경하였을 경우, 각 단말의 실제 평균 전송률이다. “

Estimated Throughput” 은 단말의 가중치 값을  $[\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \tilde{p}_3, \dots, \tilde{p}_{12}] = [0.5, 1.5, 1, \dots, 1]$  로 변경하였을 경우, 본 발명에서 제안한 평균 전송률 추정방법에 의해 예측된 단말의 평균 전송률 결과이다. 상기 도 5의 결과를 보면, 단말 1과 단말 2의 예측된 평균 전송률이 1.3% 정도의 오차만을 가지고 목표 전송률에 근접해 있음을 확인할 수 있다. 이때, 가중치가 변하지 않는 단말 3에서 단말 12의 평균 전송률은 변하지 않음을 확인할 수 있다. 따라서, 본 발명에서 제안하는 Generalized PF 스케줄러에서의 단말의 평균 전송률 예측과 제어 방법이, 실제 시스템에서 상당히 정확하고 효과적으로 동작함을 확인할 수 있다.

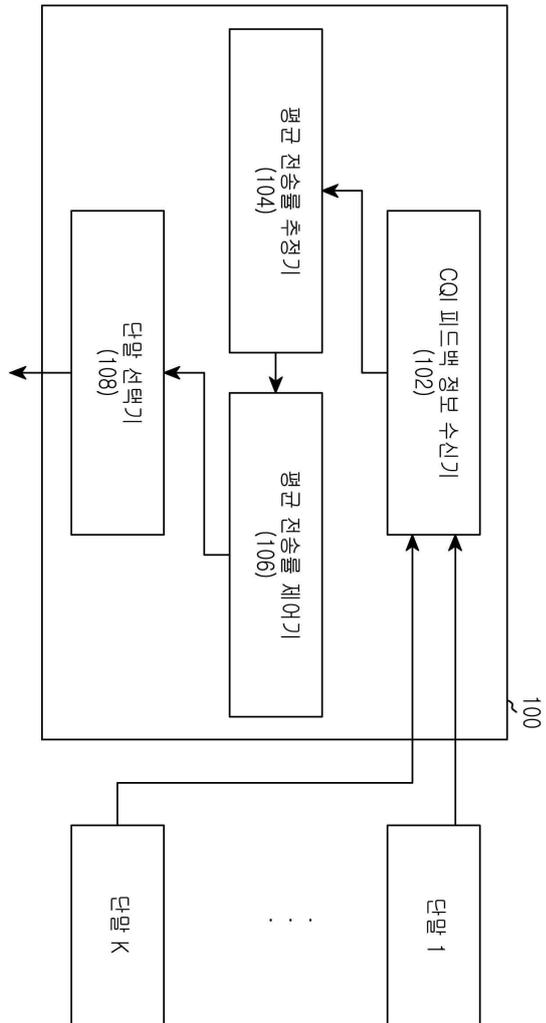
[0086] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

**부호의 설명**

[0087] 104: 평균 전송률 추정기, 106: 평균 전송률 제어기, 108: 단말 선택기

도면

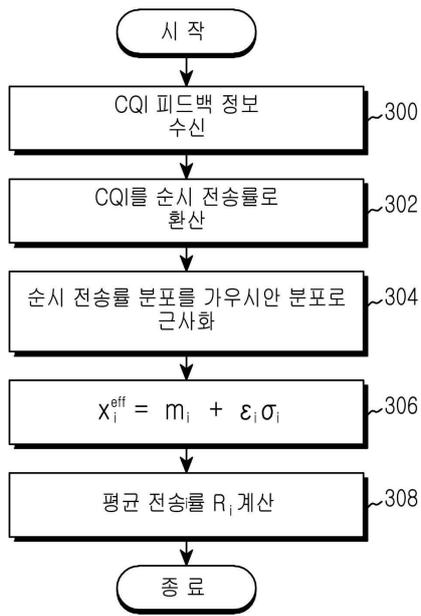
도면1



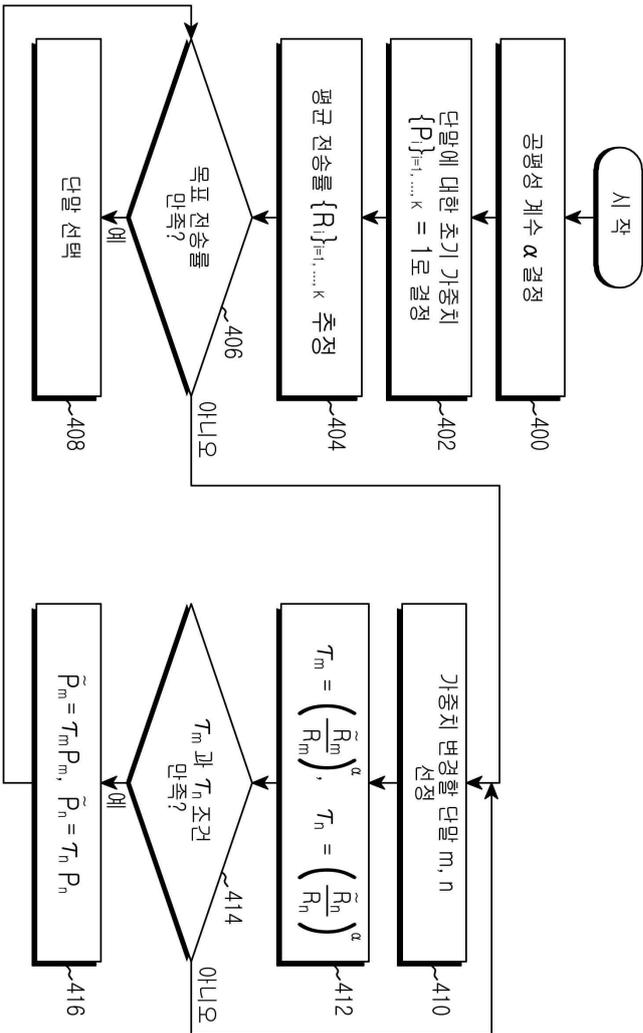
도면2

K	$\varepsilon(K)$	K	$\varepsilon(K)$
1	0.00000	11	1.58642
2	0.56419	12	1.62921
3	0.84628	13	1.66797
4	1.02937	14	1.70336
5	1.16296	15	1.73589
6	1.26720	16	1.76597
7	1.35217	17	1.79392
8	1.42359	18	1.82001
9	1.48500	19	1.84445
10	1.53874	20	1.86745

도면3



도면4



도면5

