



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0004850
(43) 공개일자 2012년01월13일

(51) Int. Cl.

H04W 28/16 (2009.01)

(21) 출원번호 10-2010-0065548

(22) 출원일자 2010년07월07일

심사청구일자 2010년07월07일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

김승욱

서울특별시 송파구 위례성대로 50, 701호 (방이동, 한솔빌라트)

최윤호

서울특별시 강동구 양재대로 1656, 103동 609호 (명일동, 삼익그린맨션)

(74) 대리인

이지연

전체 청구항 수 : 총 7 항

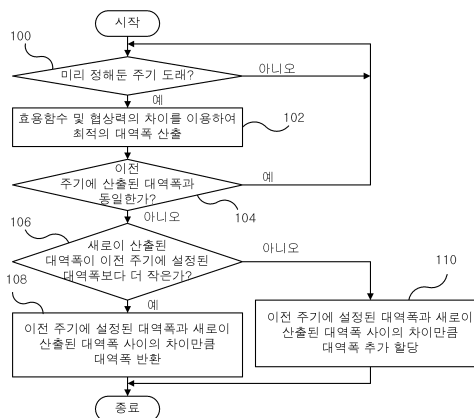
(54) 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리방법

(57) 요약

본 발명에 따르는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리방법은, 셀룰러 네트워크 시스템을 구성하는 셀이, 미리 정해진 주기마다 효율함수와 협상력의 차이를 이용하여 다수의 서비스에 따른 다수의 대역폭을 산출하는 단계; 상기 다수의 대역폭이 산출되면, 각 대역폭이 이전에 산출된 대역폭과 동일한지 체크하고, 두 대역폭들이 서로 동일하지 않으면 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 산출된 대역폭보다 작은 것에 대해서는 그 차이만큼 대역폭을 반환하고, 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 산출된 대역폭보다 큰 것에 대해서는 그 차이만큼 대역폭을 추가 할당하는 단계;를 구비함을 특징으로 한다.

또한 본 발명에 따르는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법은, 셀룰러 네트워크 시스템을 구성하는 셀이, 자신의 부하가 미리 정해진 값보다 크면, 클러스터 내 어떤 셀에게 각각 얼마만큼의 대역폭을 요구할지를 산출하여 결정하는 단계; 상기 결정된 셀들에 대해 산출된 대역폭 만큼의 대역폭의 차용을 요구하여 차용받는 단계;를 구비함을 특징으로 한다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리방법에 있어서,

셀룰러 네트워크 시스템을 구성하는 셀이,

미리 정해둔 주기마다 효용함수와 협상력의 차이를 이용하여 다수의 서비스에 따른 다수의 대역폭을 산출하는 단계;

상기 다수의 대역폭이 산출되면, 각 대역폭이 이전에 산출된 대역폭과 동일한지 체크하고,

두 대역폭들이 서로 동일하지 않으면 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 산출된 대역폭보다 작은 것에 대해서는 그 차이만큼 대역폭을 반환하고,

새로이 산출된 대역폭들 중 이전 산출된 대역폭보다 큰 것에 대해서는 그 차이만큼 대역폭을 추가 할당하는 단계;

를 구비함을 특징으로 하는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 효용함수와 협상력의 차이를 이용하여 다수의 서비스에 따른 다수의 대역폭을 산출하는 것은,

핸드오프 서비스와 신규 서비스에 대한 효용함수의 차이를 이용하여 대역폭을 핸드오프 서비스를 위한 대역폭과 신규 서비스를 위한 대역폭으로 분할하는 단계;

상기 핸드오프 서비스에 속하는 클래스 I 과 클래스 II에 대한 협상력의 차이를 이용하여 상기 핸드오프 서비스를 위한 대역폭을 클래스 I 과 클래스 II에 대한 대역폭으로 분할하는 단계;

상기 신규 서비스에 속하는 클래스 I 과 클래스 II에 대한 협상력의 차이를 이용하여 상기 신규 서비스를 위한 대역폭을 클래스 I 과 클래스 II에 대한 대역폭으로 분할하는 단계;를 구비함을 특징으로 하는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 대역폭의 반환은 해당 서비스에 대한 미사용 대역폭이 있을 경우에는 조정 풀(A_{pool})에 추가하고해, 해당 서비스가 종료될 때마다 해당 서비스에 할당되었던 대역폭을 조정 풀(A_{pool})에 추가하는 것임을 특징으로 하는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 대역폭의 추가시에는, 우선순위가 높은 서비스에 대한 대역폭들에 대해 조정 풀(A_{pool})의 대역폭을 먼저 추가하며,

상기 대역폭의 추가는, 모든 서비스에 대한 대역폭이 만족될 때까지 수행됨을 특징으로 하는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법.

청구항 5

셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리방법에 있어서,

셀룰러 네트워크 시스템을 구성하는 셀이,

자신의 부하가 미리 정해둔 값보다 크면, 클러스터 내 어떤 셀에게 각각 얼마만큼의 대역폭을 요구할지를 산출하여 결정하는 단계;

상기 결정된 셀들에 대해 산출된 대역폭 만큼의 대역폭의 차용을 요구하여 차용받는 단계;를 구비함을 특징으로 하는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 대역폭의 차용에 의해 부하가 안정되는지를 체크하는 단계;

상기 부하가 안정되면, 차용요구상태를 해제하고, 상기 부하가 안정되지 않으면 차용요구 상태를 유지하여 차용을 계속하여 시도하는 단계;를 더 구비함을 특징으로 하는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 대역폭의 차용후에 상기 셀이 저부하 상태가 되는지를 체크하는 단계;

상기 저부하 상태이면, 대역폭을 대여했던 셀에게 미리 정해둔 범위까지의 대역폭을 반환하는 단계;를 더 구비함을 특징으로 하는 대역폭 관리방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 셀룰러 네트워크 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 정보를 송,수신할 수 있는 통신 기술의 급격한 발달로 인하여 기존의 단순 데이터를 중심으로 한 정보교환에서 다양한 형태의 멀티미디어 데이터 서비스가 더욱 중요시되고 있는 추세이다. 또한, 무선통신 기술의 진보를 기반으로 사용자가 자유롭게 이동하면서 정보를 처리하는 셀룰러 네트워크에 대한 관심도가 증가하면서 기존의 유선 네트워크에서 제공하던 다양한 멀티미디어 서비스 지원을 무선 네트워크로 확장시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 셀룰러 네트워크에서는 서비스의 종류와 데이터의 형태에 따라 서로 다른 서비스 품질(QoS : Quality of Service)을 요구하며, 요구한 QoS에 민감한 특성을 가지고 있다. 그러나 단말기의 이동성과 무선 네트워크의 좁은 대역폭으로 인해 요구되는 수준의 QoS를 제공하기가 어렵다. 특히 단말기의 이동성으로 인한 핸드오프는 서비스를 어렵게 하는 주요 원인이 된다. 이는 단말기가 다른 셀로 이동하였을 경우, 이전 셀과 현재 셀의 네트워크 환경이 서로 다를 수 있기 때문이다. 만약 단말기가 대역폭이 없는 셀로 이동할 경우, 이 클라이언트는 필요한 대역폭을 할당받을 수 없게 되어 서비스가 강제로 종료되는 문제가 발생할 수 있고, 무선 네트워크의 좁은 대역폭은 이러한 문제를 더욱 가중시킨다. 따라서 셀룰러 네트워크 환경에서 서로 다른 멀티미디어 서비스의 QoS 요구를 효율적으로 제어하면서 사용자의 이동성을 효과적으로 지원하는 방법에 대한 연구의 중요성이 더욱 강조되고 있다.

[0004] 한편 게임 이론은 경쟁하는 상황에서의 의사결정에 관한 학문으로서 한편의 의사결정이 다른 편의 결정에 영향을 미치는 경쟁상황을 수학적 모델을 통하여 연구하였고 경제, 정치 등의 다양한 분야에 접목되었다. 주로 경제 및 정치분야에서 주로 사용되었던 게임 이론적 방법론이 최근 10여년간 공학분야의 여러 문제에 활발히 적용되기 시작하면서 새로운 융합 학문 분야를 창출하였다. 특히 통신 시스템에서는 통신 서비스에 대한 요구가 급격히 높아지고 그에 따른 기술 발전이 가속화 되면서 타 통신 주체들의 영향을 평균적인 추정치를 바탕으로 하는 것을 넘어서 통신 주체들간의 상호 영향을 분석하여 그에 따른 해결책을 찾는 연구들이 새롭게 관심을 받게 되었다. 또한 동일한 제어 범위에 존재하지 않는 통신 주체들은 제어할 수 없더라도 그 영향을 고려해야 하는 경우, 셀룰러 네트워크와 같은 시스템에서 인접 셀에 있는 통신 주체들을 적절히 제어할 방법은 없지만 그 영향이 크게 나타남에 따라 이들 영향을 분석하여야 할 경우에 게임 이론이 모델링에 적절한 도구로 사용되고 있다.

- [0005] 통신 시스템 운용과 관련된 문제들 중에서 가장 먼저 게임 상황적 특성을 포착하고 게임 이론을 적용한 분석을 시도하기 시작한 분야들 중에는 네트워크 라우팅(routing), 혼잡 제어(congestion control) 또는 흐름 제어(flow control) 분야를 꼽을 수 있다. 특히 인터넷의 TCP 프로토콜 하에서의 혼잡제어 문제는 약 10년 전부터 활발하게 게임 이론을 응용한 분석이 이루어지고 있는 분야이다. 그리고 무선 네트워크, 특히 최근의 애드혹 네트워크의 특성이 전형적인 게임 상황의 범주에 포함된다는 사실에 주목하고, 그러한 네트워크의 전반적인 운용 문제를 게임 이론을 통해서 해결하고자 하는 연구들이 많이 발표되고 있다. 또한 희귀 자원인 무선 스펙트럼 혹은 파워 자원을 어떻게 분산 환경에서 잘 할당할 것인가라는 이슈가 무선 애드혹 네트워크 혹은 셀룰러 네트워크에서 발생하고 그런 환경에서의 자원 할당 문제를 풀기 위하여 게임 이론이 적용되었다.
- [0006] 일반적으로 셀룰러 네트워크에서 데이터는 일반적으로 음성 데이터와 같은 클래스 I(Class I) (실시간) 데이터와 멀티미디어 데이터와 같은 클래스 II(Class II) (비실시간) 데이터로 구분된다. 또한 서비스의 종류에 따라 핸드 오프 서비스와 신규 서비스로 구분한다. 이와 같은 구분은 QoS 제어를 위해 대역폭을 할당하는 우선순위를 정하는데 사용되는데, 서비스의 연속성을 고려해서 신규 서비스보다는 핸드 오프 서비스에, 비실시간 트래픽보다는 지연에 민감한 실시간 트래픽에 높은 우선순위를 부여한다.
- [0007] 셀룰러 네트워크에서의 대역폭 할당을 위한 기술로는 완전 공유 방법, 완전 분할 방법, 우위 공유 방법 3가지 기법이 있다.
- [0008] 상기 완전 공유 방법(CS ; Complete Sharing)은 모든 트래픽 클래스에 대하여 자원들을 전체적으로 공유하는 기법으로 주된 단점은 하나의 트래픽 클래스에 대하여 일시적인 과부하가 다른 모든 형태의 연결 품질을 떨어뜨리는 단점이 있다.
- [0009] 그리고 상기 완전 분할 방법(CP ; Complete Partitioning)은 대역폭을 구간으로 구분하여 각각의 트래픽에 미리 할당하는 기법으로 특정한 트래픽 클래스 형태에 대하여 예약된 대역폭 요구 사항이 실제 대역폭 요구 사항보다 클 경우 대역폭 낭비가 발생하는 문제가 생긴다.
- [0010] 상기 완전 공유 방법과 완전 분할 방법은 서로 상반되는 전략인데 비해 우위 공유 방법(PS ; Priority Sharing)은 트래픽간의 우선 순위를 고려한 이들의 절충안으로 위 두 가지 방법들의 단점들을 보완하기 위해 트래픽 특성과 우선 순위를 고려하여 자원을 할당한다. 예를 들어 동적으로 할당되는 자원의 한계가 여러 트래픽 클래스에 대하여 할당된 대역폭 사이에 존재하게 됨을 고려하여 우선 순위가 높은 사용자(실시간 트래픽)는 우선 순위가 낮은 사용자(비실시간 트래픽)로부터 대역폭을 가져오는 것을 허락한다.
- [0011] 또한 핸드 오프 서비스를 위한 고정 보호 대역을 갖는 완전 분할 방법을 개선한 동적 보호대역방법(dynamic guard bandwidth scheme)도 있다. 이 방법은 이웃 셀에 현재 진행중인 서비스의 개수와 이동패턴을 고려하여 핸드 오프 서비스의 도착률을 추정하여 보호 대역의 채널 수를 동적으로 결정한다. 그러나 이러한 동적 채널 할당 방법은 중앙 제어를 요구하기 때문에 트래픽의 오버헤드가 증가하며, 자원이용률 향상 및 원하는 핸드 오프 서비스 손실률을 얻는 것이 어렵다.
- [0012] 이러한 단점을 해결할 수 있는 방법으로 적응 대역폭 예약 기법(adaptive bandwidth reservation scheme)이 있다. 이 방법은 현재의 망 상태를 반영하여 예약할 대역폭의 양을 조정하는 방법으로 특정 셀에 서비스가 발생하면 자원을 할당하고, 서비스가 발생한 이웃 셀에 대역폭을 예약하여 사용자의 이동(핸드 오프)에 대비한다. 사용자가 이웃 셀로 핸드 오프를 하면 예약된 대역폭을 할당하고, 그 외의 이웃 셀에 예약된 대역폭은 해제한다. 하지만 이 방법 역시 이동하지 않을 수도 있는 이웃 셀에 대역폭을 예약함으로써 생기는 비효율적인 측면을 감수해야만 한다. 또한 게임 이론을 적용한 보호 대역 기법이 있지만 데이터 종류만을 게임의 경기자로 간주하기 때문에 다양한 네트워크 상황 속에서 적응적으로 대처할 수 없는 한계가 있다.
- [0013] 대역폭 예약은 우선 순위가 높은 핸드 오프 서비스 중 발생할 수 있는 단절 현상을 피하기 위해 일정 양의 대역폭을 예약해 두는 방법이다. 그러나 이 기법은 예약된 대역폭 미사용에 따른 손실로 신규 서비스 요구의 성공률과 대역폭 사용률을 감소시키는 단점이 있다. 따라서, 전체적인 네트워크 효율을 위하여 대역폭 예약 기법에서는 예약할 대역폭의 양을 결정하는 것이 매우 중요한 이슈이다. 너무 많은 대역폭을 예약하면 핸드 오프 서비스나 실시간 트래픽이 빈번하지 않은 상황에서는 자원 낭비를 초래할 수 있고, 너무 적은 양을 예약하게 되면 이 방법의 궁극적 목적인 우선 순위가 높은 서비스의 강제 종료율을 낮출 수 없기 때문이다. 또 다른 하나의 이슈는 예약 대역폭의 양을 결정하기 위하여 많은 처리를 요구하거나 많은 제어 트래픽이 발생한다면 과부화된 네트워크 상황을 더욱 악화시킬 수 있다는 문제점이 있으므로 이 기법을 사용하기 위해 요구되는 오버헤드도 최소화해야 한다는 것이다.

[0014] 그리고 대역폭 차용(borrowing) 방법은 셀룰러 네트워크에서 과부하가 발생한 특정 셀이 트래픽 부하가 작은 셀로부터 대역폭 차용을 통해 과다한 부하를 감소시키는 것을 의미한다. 이러한 방식은 셀룰러 네트워크에서 시/공간적으로 발생할 수 있는 급격한 트래픽 변동에 적절하게 대응하여 효율적인 대역폭 사용이 가능하게 해준다. 한 셀 내에 포함된 채널들의 집합이 모두 이용될 때 대역폭 차용 메커니즘을 사용하는 방법은 오직 이웃 셀로부터 대역폭을 차용한다. 한 셀 내의 대역폭은 7개의 그룹으로 구성되어 있다. 한 그룹은 해당 셀의 사용자들에 대한 서비스를 전담하며 그 외의 6개 그룹은 이웃 셀들로부터의 대역폭 요청을 위해 제공된다. 만일 자신의 셀 내 서비스를 전담한 그룹의 대역폭이 모두 사용된다면 가입자는 다른 그룹 내 유향 대역폭을 사용할 수 있지만 과다 셀 문제에서 심각한 성능저하를 보인다. 유용한 채널들의 집합이 소모되기 전에 해당 셀에 의해 선택적 대역폭 차용을 이용하는 방법은 저부하 셀로부터 과부하 셀로 대역폭을 이전하며 작업을 수행하게 된다. 이전 받은 대역폭들은 사용자의 우선 순위에 따라 할당된다. 하지만 사용자들의 우선순위를 고려하기 때문에 많은 연산이 필요하며 또한 부하분산 수행시 최적의 대여자를 계산하기 때문에 상대적으로 많은 연산이 필요한 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 음성 트래픽과 멀티미디어 트래픽이 동시에 존재하는 셀룰러 네트워크에서 트래픽과 서비스의 종류에 따라 실시간 트래픽, 비실시간 트래픽과 핸드오프 서비스, 신규 서비스로 구별하여 각각의 QoS를 정의하고 게임 이론의 협상 해법을 이용하여 한정된 무선 대역폭 자원을 효율적으로 사용하도록 지원하는 대역폭 관리 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따르는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리방법은, 셀룰러 네트워크 시스템을 구성하는 셀이, 미리 정해진 주기마다 효용함수와 협상력의 차이를 이용하여 다수의 서비스에 따른 다수의 대역폭을 산출하는 단계; 상기 다수의 대역폭이 산출되면, 각 대역폭이 이전에 산출된 대역폭과 동일한지 체크하고, 두 대역폭들이 서로 동일하지 않으면 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 산출된 대역폭보다 작은 것에 대해서는 그 차이만큼 대역폭을 반환하고, 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 산출된 대역폭보다 큰 것에 대해서는 그 차이만큼 대역폭을 추가 할당하는 단계;를 구비함을 특징으로 한다.

[0017] 또한 본 발명에 따르는 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법은, 셀룰러 네트워크 시스템을 구성하는 셀이, 자신의 부하가 미리 정해진 값보다 크면, 클러스터 내 어떤 셀에게 각각 얼마만큼의 대역폭을 요구할지를 산출하여 결정하는 단계; 상기 결정된 셀들에 대해 산출된 대역폭 만큼의 대역폭의 차용을 요구하여 차용받는 단계;를 구비함을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0018] 상기한 본 발명은 이동 셀룰러 네트워크 환경에서 한정된 자원인 무선대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 클러스터내 셀간의 대역폭 차용과 셀 내에서 대역폭 예약을 게임 이론을 이용하여 효율적으로 수행할 수 있게 하는 효과가 있다.

[0019] 그리고 본 발명은 게임 이론의 협상 해법 중 대표적인 NBS 기법을 이용하여 상대적으로 적은 연산을 통해 전체 시스템의 효용을 극대화할 수 있다.

[0020] 그리고 본 발명의 대역폭 예약 기법은 CBP에서 가지는 PS의 장점과 CDP에서 가지는 CS의 장점 모두에 근접하는 성능을 가지고 있으며, 트래픽이 비대칭인 경우에는 NBS를 이용한 기존의 Fair-Efficient CAC 기법보다 월등히 좋은 성능을 보이는 효과가 있다.

[0021] 그리고 본 발명의 대역폭 차용 기법은 NBS의 적용 이외에도 차용과 대여에 적절한 제한 조건을 둬으로써 전반적으로 네트워크의 부하가 커질 경우에도 좋은 성능을 보이는 효과가 있다.

[0022] 그리고 본 발명은 효용함수와 협상력을 적용하는 방식에 따라라 다양한 QoS를 반영할 수 있는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 게임 이론에 따른 경기자별 효용 관계를 도시한 도면.

도 2는 효용과 손실 사이의 관계를 도시한 도면.

도 3 내지 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법의 흐름도.

도 6a 내지 도 6e는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 셀룰러 네트워크 시스템에서의 대역폭 관리 방법과 다른 기술들을 비교한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 설명에 앞서 게임 이론에 대해 설명한다.
- [0025] 게임은 하나 이상의 사람들이 모여서 각자의 어떤 의사 결정을 통해서 승패를 가르는 것이다. 따라서 게임이 성립되기 위해서는 게임 참가자(또는 선수)들과 게임의 규칙이 있어야 한다. 그리고 여기서 게임의 규칙이라는 것은 참가자들이 취할 수 있는 행동과 해서는 안될 것들 그리고 게임의 승패를 결정짓는 방법을 규정한다.
- [0026] 게임 이론에서는 여러 주체가 모여서 의사 결정을 내리고, 그 결과에 의해서 정해진 보수를 얻는 상황을 게임 상황(game situation)이라고 부른다. 이러한 게임 상황을 분석하기 위한 도구인 게임 이론의 구성요소로는 경기자(player), 전략집합(strategy set), 그리고 효용 함수(utility function) 또는 보수(payoff)의 세 가지가 있다. 여기서 경기자는 게임 상황에서 의사 결정을 하는 주체로서 일반적인 게임에 있어서 참가자에 대응되는 개념이다. 그리고 전략 집합은 경기자가 게임 중에 의사 결정을 내릴 수 있는 선택의 범위를 의미하는 것이고, 보수는 각 경기자가 전략을 선택하여 최종적으로 게임 상황이 종료되었을 때 얻는 효용의 크기를 의미하는 것으로서, 이는 일반적인 게임에 있어서 게임의 규칙과 승패를 가르는 방법에 대응되는 개념으로 이해할 수 있다.
- [0027] 상기 게임 이론은 크게 협조적 게임 이론(cooperative game theory)과 비협조적 게임 이론(non-cooperative game theory)으로 나누어진다. 상기 협조적 게임 이론은 게임에 참여하는 경제 주체들 전체 혹은 일부가 연합(coalition)을 이루어 그들 사이에 강제가 아닌 자발적으로 구속력 있는 계약(binding agreement)을 맺을 수 있는 상황을 분석한다. 상기 구속력 있는 계약이란 한 경제 주체가 그 계약을 위반할 경우, 법과 같이 권위 있는 제 삼자에게 호소하여 다른 경제 주체들이 계약 내용을 위반한 사람을 처벌할 수 있는 것을 말한다. 상기 비협조적 게임 이론은 게임의 규칙에서 허용하는 구속력 있는 계약은 맺을 수 있지만, 게임의 규칙에 있지 않는 어떤 다른 계약도 구속력을 가지지 못하는 경우를 의미한다. 상기 협조적 게임 이론은 다중 사용자들이 어떻게 하면 한정된 자원을 효율적이고 공평하게 공유할 수 있는지에 초점을 맞추며, 상기 비협조적 게임 이론은 여러 의사 결정자들이 서로 영향을 미치는 환경에서 상호 영향에 따른 성능을 분석하고 그로부터 합리적인 의사 결정을 유도하는데 초점을 맞춘다. 따라서 상기 협조적 게임 이론은 한정된 자원인 무선 대역폭을 사용하는 셀룰러 네트워크에서 효율적인 대역폭 관리에 이론적인 바탕을 제공할 수 있다.
- [0028] 상기 협조적 게임 이론에서의 협상 문제와 해법에 대해 설명한다.
- [0029] 게임 이론의 한 분야인 협조적 게임 이론(cooperative game theory)은 사용자들의 효율적이며 공평한 자원 분할에 초점을 맞추고 있다. 특히 협조적 게임 이론의 협상 해법(bargaining solutions)은 각 사용자들만의 서로 다른 상황을 고려할 수 있기 때문에, 사용자들간 요구 사항이 편차가 큰 경우에서의 자원 관리에 유용하게 사용될 수 있다. 상기 협상 문제는 이익 상충 관계에 있는 다수의 사용자가 자신들의 이익 또는 효용(utility)을 극대화하려고 하기 때문에 발생하며, 서로의 의견을 조율하여 사용자들이 어떠한 합의점(agreement point)에 도달했을 때, 이 합의점을 협상 문제의 해법이라고 한다.
- [0030] 이러한 협상 문제는 다수 사용자가 사용하는 통신 및 네트워크 환경에서도 쉽게 발견할 수 있다. 예를 들어, 하나의 유/무선 인터넷 공유기를 여러 컴퓨터가 사용하는 경우, 각각의 컴퓨터들은 그 공유기에 할당된 한정된 자원, 예를들어 대역폭을 공유하게 된다. 하지만 각각의 컴퓨터들은 자신들에게 할당되는 자원을 최대화하려고 하기 때문에 협상 문제가 발생하게 된다. 게다가 만일 각각의 컴퓨터들이 수행하는 응용 프로그램이 다른 경우, 예를 들어 다른 종류의 멀티미디어 서비스인 경우에, 할당되는 자원의 중요도는 각 컴퓨터마다 다를 수 있다. 따라서 협상 문제는 이러한 모든 조건을 고려하여 해결되어야 하며, 그 해결점은 협상 문제에 대한 해법이 된다.
- [0031] 그리고 공리적 협상 해법에 대해 설명한다.
- [0032] 상기 공리적 협상 해법은 협상 문제에 대한 해법이 여러 가지의 공리(axioms)를 만족시키는 점에서 결정된다. 상기 여러 가지의 공리는 협상 문제에 참여하는 이성적인(rational) 사용자들이 모두 만족할 수 있는 조건들을

특징짓는데, 그 공리들을 만족하는 협상 문제의 해법은 공유된 자원의 사용 측면에서 효율적이며 자원의 할당을 통하여 얻게 되는 각 사용자들의 효용은 공평하다. 대표적인 공리적 협상 해법은 Nash가 제시한 Nash 협상 해법(Nash Bargaining Solution, NBS), Kalai와 Smorodinsky가 제시한 Kalai-Smorodinsky 협상 해법(Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution, KSBS)을 비롯하여 Egalitarian bargaining solution(EBS), Proportional bargaining solution(PBS) 등이 있다.

[0033] 도 1은 공리적 협상 해법에 관한 간단한 예를 보여준다. 이 협상 문제에는 두 명의 사용자가 있고, 유한한 자원을 공유하고 있다. 자원 할당의 모든 경우에 대해 각 사용자는 자신의 효용 함수(utility function)에 따라 자신의 효용을 결정할 수 있고, 결정된 효용들은 유효 효용 집합(feasible utility set)을 이룬다. 이 유효 효용 집합 중 파레토 최적이며 합의 실패점에서의 효용보다 더 큰 효용 집합을 협상 집합(bargaining set)이라고 한다. 공리적 협상 해법은 이 효용 집합 중에서 하나의 효용 쌍(utility pair)을 결정한다. 그 중에서 Nash 협상 해법은 다음의 공리 1을 통해 효율성을, 공리 2, 3, 4를 통해 공평성을 특징지으며, 전체 시스템의 효용을 극대화할 수 있다.

[0034] <공리 1> 파레토 최적(Pareto Optimality) : 협상해는 효율성을 만족해야 한다. 즉 협상해 상태에서는 두 경기자 가운데 한 사람에게 더 많은 보수를 주려면 다른 사람의 보수는 반드시 줄어든다.

[0035] 다중 사용자 환경에서는 각 사용자들이 이중성을 분산적으로 고려하기 위하여, 정해진 시스템의 효용을 최대화하는 자원 할당이 아닌 각 사용자의 효용을 최적화하는 자원 할당 방법이 유용할 수 있다. 이 경우 각 사용자에게 할당된 자원 또는 그에 해당하는 각 사용자의 효용이 '파레토 최적'이면 효율적인 자원 할당이라고 할 수 있는데, 이는 파레토 최적인 자원 할당에서는 한정된 자원을 이용하여 더 이상 모든 사용자들의 효용을 동시에 개선시킬 수 없기 때문이다. 만일 사용자들이 동시에 개선되는 다른 효용 합의점을 찾을 수 있다면, 이성적인 사용자들은 그 다른 합의점에서 합의를 할 것이다. 따라서 이성적인 사용자들은 파레토 최적인 자원 할당점에서 협상 문제에 대한 해법을 찾을 것이며, 이러한 점들의 집합을 협상 집합(bargaining set)이라고 부른다. 일반적으로 협상 집합의 크기는 무한대이기 때문에, 유일한(unique) 하나의 협상점, 즉 협상 해법을 결정하기 위해서는 추가적인 조건들이 필요하다. 이 추가적인 조건들은 각 공리적 협상 해법마다의 독특한 공평성(Fairness)에 의하여 결정된다. 한정된 자원은 각 사용자들에게 공평하게 공유되고 할당되어야 한다. 이러한 공평한 자원 할당은 각 사용자에게 협상에 참여하여 합의에 이르게 하는 보상(incentive)으로 작용한다. 또한, 공평성은 각 사용자들의 이중적 특성을 고려하여 정의될 수 있기 때문에, 다양한 필요조건을 만족시키며 여러 자원 할당 문제에 적합하게 변형 및 응용되어 사용될 수 있다. 위의 두 조건들은 협상 해법의 공리들에 의하여 정의되기 때문에, 공리적 협상 해법에 의하여 결정된 합의점은 파레토 최적이며 공평성을 이루는 유일한 자원 할당점을 결정한다.

[0036] <공리 2> 선형 변환에 대한 불변성(Independence of Linear Transformations) : 두 경기자의 보수가 어떤 단위로 측정되든지간에 협상해가 변해서는 안된다.

[0037] 예를 들어, 경기자의 보수 x 가 $2x+1$ 이라는 단위로 측정되어도 협상해는 동일해야 한다.

[0038] <공리 3> 관련성없는 대안들에 대한 불변성(Independence of irrelevant alternatives) : 선택가능 대안들이 줄어들더라도 원래의 협상해를 포함하고 있는 이상 새로운 협상문제의 해는 여전히 기존의 협상해와 똑같아야 한다.

[0039] 예를 들어, 경기자의 선택 사양이 X, Y, Z 가 있을 때 X 를 선택하였다면, X 와 Y 두 가지 선택 사양만 주어졌을 때에도 마찬가지로 X 가 선택되어야 한다.

[0040] <공리 4> 대칭성(Symmetry) : 두 경기자의 신분을 바꾸더라도 협상해가 달라져서는 안 된다.

[0041] 예를 들어, 경기자 A와 B의 선택 유효 효용 집합을 S , 합의 실패점에서의 효용을 d 라고 하고, f_A 를 경기자 A의 협상해법 함수, f_B 를 경기자 B의 협상해법 함수라 하자. 두 경기자의 신분을 바꾼 선택 유효 효용 집합을 S' , 합의 실패점에서의 효용을 d' 라 할 때, $f_A(S, d) = f_B(S', d')$, $f_B(S, d) = f_A(S', d')$ 가 성립해야 한다.

[0042] 상기 공리 1, 2, 3, 4에 의해 결정되는 Nash 협상 해법은 내쉬 곱을 최대화한다고 알려져 있으며, n 명의 경기자가 있을 때의 내쉬 곱 $G(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 는 수학식 1과 같이 정의된다.

수학식 1

$$G(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n (X_i - d_i)^{a_i}$$

[0043]

[0044]

X_i 는 자원할당에 따른 경기자 i 의 효용이고, d_i 는 최악의 경우 협상이 무위로 끝날 때 참가자들이 각자 얻게 되는 합의 실패점(disagreement point)에서 경기자 i 의 효용이다. 그리고 a_i 는 경기자 i 의 협상에서 경기자들 간의 상대적인 힘의 차이를 표현한 협상력(bargaining power)으로 모든 경기자들의 협상력이 동일할 경우는 생략이 가능하다. 협상력이 서로 같은 경우 같은 자원에 대해 상대적으로 낮은 효용을 갖고 있거나 합의 실패점에서 얻는 효용이 상대적으로 큰 경기자에게 그렇지 않은 경기자에 비해 많은 자원이 할당되며, 협상력이 서로 다른 경우 협상력이 상대적으로 큰 경기자에게 그렇지 않은 경기자에 비해 많은 자원이 할당된다.

[0045]

즉, 경기자들의 상태를 나타내는 효용 함수와 합의 실패점에서의 효용과 협상력을 고려하여 전체 시스템의 효용을 극대화할 수 있도록 총 자원이 각 경기자에게 최적으로 분배되는 것이다.

[0046]

본 발명은 상기한 게임 이론을 토대로 한정된 대역폭의 효율적인 사용을 위한 셀 내에서의 대역폭 예약방법과 클러스터 내 셀간의 대역폭 차용방법을 제공한다.

[0047]

<대역폭 예약 알고리즘>

[0048]

이제 본 발명에 따른 협동적 게임 이론의 협상 해법 중 대표적인 Nash 협상 해법을 이용하여 최적의 대역폭 예약량을 결정하는 방법을 설명한다.

[0049]

무선 대역폭은 한정되어 있으므로 트래픽의 양이 일정 수준 넘어가게 되면 모든 서비스를 수용할 수 없게 된다. 이와 같은 상황에서 여러 종류의 트래픽이 각기 다른 QoS를 요구할 경우 Nash 협상 해법을 이용하여 각 트래픽에 얼마만큼씩의 무선 대역폭을 할당하는 것이 전체 시스템의 효용을 극대화하는지 결정할 수 있다.

[0050]

본 발명은 효용 함수의 차이를 통해 핸드오프 서비스와 신규 서비스에 할당되는 자원의 양을 결정하고 이후 각 서비스 내에서 협상력의 차이를 통해 음성 트래픽과 같은 실시간 트래픽과 멀티미디어 트래픽과 같은 비실시간 트래픽에 할당되는 자원의 양을 결정한다.

[0051]

즉, 핸드오프 서비스와 신규 서비스를 게임의 경기자로 설정하게 되면, 두 서비스의 관계가 한정된 자원 속에서 서로 더 많은 자원을 확보하려는 관계이기 때문에 협조적 게임 이론을 적용할 수 있다. 이때 각 경기자는 수학식 2와 같은 효용함수 u_i 를 가진다고 정의한다.

수학식 2

$$u_i = \frac{1}{1-\sigma_i} \max(0, 1 - \sigma_i \exp(LSP_i))$$

[0052]

[0053]

상기 수학식 2에서 LSP_i 는 서비스 i 의 손실률이고, σ_i 는 서비스 i 의 효용 함수를 조절하기 위한 매개변수이다. 그리고 경기자의 효용은 도 2에 도시한 바와 같이 손실률이 일정하게 늘어날수록 점점 큰 감소폭으로 줄어들게 되며, 그 감소정도는 매개변수 σ_i 를 통해 조절할 수 있다.

[0054]

상기 σ_i 는 0보다 크고 1보다 작은 값으로 1에 가까울수록 같은 손실률에 대해 가지게 되는 효용이 더 작게 된다. 여기서 핸드오프 서비스가 신규 서비스보다 상대적으로 보다 높은 QoS를 요구하기 때문에 같은 손실률에 대하여 핸드오프 서비스가 신규 서비스보다 더 낮은 효용값을 가지도록 $\sigma_{\text{andoff}} > \sigma_{\text{ew}}$ 로 설정한다. 상기 수학식 2의 서비스 손실률(LSP)은 트래픽 점유율이 $E(\text{Erlang})$ 이고 채널이 $m(\text{개})$ 일 때 수학식 3의 Erlang 손실 공식(Erlang B Formula)에 의해 계산된다.

수학식 3

$$LPS = B(E, m) = \frac{E^m}{m!} / \sum_{i=0}^m \frac{E^i}{i!}$$

[0055]

[0056]

상기 수학식 3에서 E (트래픽 점유율)은 셀 내 단위시간당 서비스 요구 수(개인별 시간당 서비스 요구 수와 총 가입자 수의 곱)와 평균 서비스 지속시간의 곱이다. 총 대역폭(B_{total})은 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{handoff}$)과 신규 서비스에 할당되는 대역폭(B_{new})의 합으로 정의할 수 있고, 두 서비스에 할당되는 대역폭의 가능 집합을 $S = \{ (B_{handoff}, B_{new}) / B_{total} = B_{handoff} + B_{new} \}$ 로 표현할 수 있다.

[0057]

핸드오프 서비스와 신규 서비스의 트래픽 점유율은 각 서비스의 단위 시간 당 평균 요구 수와 평균 서비스 지속시간의 곱으로 계산할 수 있기 때문에 할당되는 대역폭(채널 개수)에 따른 각 서비스의 예상 손실률을 추정할 수 있어, 수학식 2로부터 각 서비스의 효용값을 계산할 수 있다. 따라서 효용함수의 차이에 따라 수학식 4에 따라 Nash 협상 해법을 이용하여 내쉬 곱을 최대화하는 s^* , 즉 핸드오프 서비스와 신규 서비스 각각에 얼마만큼의 대역폭을 할당하는 것이 전체 시스템의 효용을 극대화하는지를 산출할 수 있다.

수학식 4

$$s^* = \arg \max_{s \in S} \prod_{i=1}^2 (u_i - d_i)$$

$$\begin{cases} i = 1 : \text{handoff service} \\ i = 2 : \text{new service} \end{cases}$$

[0058]

[0059]

상기 수학식 4에서 상기 u_i 는 경기자 i 의 효용이고, 상기 d_i 는 최악의 경우 협상이 무위로 끝날 때에 참가들이 각자 얻게되는 합의 실패점에서의 경기자 i 의 효용이다.

[0060]

이와 같이 Nash 협상 해법을 이용하여 핸드오프 서비스와 신규 서비스에 할당될 대역폭을 구한다. 이때 핸드오프 서비스에 할당된 대역폭($B_{handoff}$)을 Class I 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{I_handoff}$)과 Class II 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{II_handoff}$)의 합으로 정의할 때, 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭의 가능 집합을 $H = \{ (B_{I_handoff}, B_{II_handoff}) / B_{handoff} = B_{I_handoff} + B_{II_handoff} \}$ 로 표현할 수 있다. Class I 핸드오프 서비스와 Class II 핸드오프 서비스의 트래픽 점유율은 각 서비스의 단위 시간 당 평균 요구 수와 평균 서비스 지속시간의 곱으로 계산할 수 있기 때문에 할당되는 대역폭(채널 개수)에 따른 각 서비스의 예상 손실률을 추정할 수 있어, 수학식 2로부터 각 서비스의 효용값을 계산할 수 있다. 이후 서비스의 협상력의 차이에 따라 수학식 5의 Nash 협상 해법을 이용하여 내쉬 곱을 최대화하는 h^* , 즉 Class I 핸드오프 서비스와 Class II 핸드오프 서비스 각각에 얼마만큼의 대역폭을 할당하는 것이 전체 시스템의 효용을 극대화하는지 계산할 수 있다.

수학식 5

$$h^* = \arg \max_{h \in H} \prod_{i=3}^4 (u_i - d_i)^{h_i}$$

$$\begin{cases} i = 3 : \text{class I handoff service} \\ i = 4 : \text{class II handoff service} \end{cases}$$

[0061]

[0062]

상기 수학식 5에서 상기 u_i 는 경기자 i 의 효용이고, 상기 d_i 는 최악의 경우 협상이 무위로 끝날 때에 참가들이 각자 얻게 되는 합의 실패점에서의 경기자 i 의 효용이고, 상기 h_i 는 경기자 i 의 협상에서 경기자들간의 상대적인

힘의 차이를 표현한 협상력이다.

[0063] 마찬가지로, 신규 서비스에 할당된 대역폭(B_{new})을 Class I 신규 서비스에 할당되는 대역폭($B_{\text{I_new}}$)과 Class II 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{\text{II_new}}$)의 합으로 정의할 때, 신규 서비스에 할당되는 대역폭의 가능집합을 $N = \{ (B_{\text{I_new}}, B_{\text{II_new}}) / B_{\text{new}} = B_{\text{I_new}} + B_{\text{II_new}} \}$ 로 표현할 수 있다. Class I 신규 서비스와 Class II 신규 서비스의 트래픽 점유율은 각 서비스의 단위 시간 당 평균 요구 수와 평균 서비스 지속시간의 곱으로 계산할 수 있기 때문에 할당되는 대역폭(채널 개수)에 따른 각 서비스의 예상 손실률을 추정할 수 있어, 수학적 2로부터 각 서비스의 효용값을 계산할 수 있다. 이후 서비스의 협상력의 차이에 따라 수학적 6의 Nash 협상 해법을 이용하여 내쉬 곱을 최대화하는 n^* , 즉 Class I 신규 서비스와 Class II 신규 서비스 각각에 얼마만큼의 대역폭을 할당하는 것이 전체 시스템의 효용을 극대화하는지 계산할 수 있다.

수학적 6

$$n^* = \arg \max_{n \in N} \prod_{i=5}^6 (u_i - d_i)^{n_i}$$

$$\begin{cases} i = 5 : \text{class I new service} \\ i = 6 : \text{class II new service} \end{cases}$$

[0064]

[0065] 상기 수학적 5에서 상기 u_i 는 경기자 i 의 효용이고, 상기 d_i 는 최악의 경우 협상이 무위로 끝날 때에 참가들이 각자 얻게 되는 합의 실패점에서의 경기자 i 의 효용이고, 상기 n_i 는 경기자 i 의 협상에서 경기자들간의 상대적인 힘의 차이를 표현한 협상력이다.

[0066] 상기한 본 발명에 따라 시간 t 에서의 최적 $B_{\text{I_handoff}}^t, B_{\text{II_handoff}}^t, B_{\text{I_new}}^t, B_{\text{II_new}}^t$ 가 산출되면 이전 주기 $t-1$ 에서 산출된 $B_{\text{I_handoff}}^{t-1}, B_{\text{II_handoff}}^{t-1}, B_{\text{I_new}}^{t-1}, B_{\text{II_new}}^{t-1}$ 와 비교하여 각각의 증감에 따라 대역폭 예약 재설정을 이행한다.

[0067] 또한 상기한 대역폭 예약량은 주기마다 변할 수 있으므로 이전 주기에 예약되었던 대역폭을 반환하고 재할당하는 과정에서 편의를 위해 본 발명은 가상의 조정 풀(A_{pool})을 사용한다.

[0068] 이제 상기 대역폭 예약 및 재설정 과정을 도 3 및 도 4를 참조하여 상세히 설명한다.

[0069] 셀룰러 네트워크 시스템을 구성하는 셀은 미리 정해진 주기가 도래되었는지를 체크한다(100단계).

[0070] 상기 미리 정해진 주기가 도래하면, 상기 셀은 효용함수 및 협상력의 차이를 이용하여 최적의 대역폭들을 산출한다(102단계). 상기 산출되는 대역폭들은 핸드오프 서비스 중 Class I 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{\text{I_handoff}}$)과 Class II 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{\text{II_handoff}}$), 신규 서비스 중 Class I 신규 서비스에 할당되는 대역폭($B_{\text{I_new}}$)과 Class II 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{\text{II_new}}$)으로 구성된다.

[0071] 상기 셀은 이전 주기에 산출된 대역폭들과 새로이 산출된 대역폭들이 각각 동일한지 체크한다. 상기 두 대역폭들이 각각 동일하면, 상기 셀은 현재 상태를 그대로 유지한다(104단계).

[0072] 이와 달리 상기 셀은 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 주기에 산출된 대역폭들보다 작은 것이 있는지를 체크한다(106단계).

[0073] 상기 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 주기에 산출된 대역폭들보다 작은 것들에 대해, 상기 셀은 이전 주기에 설정된 대역폭들과 새로이 산출된 대역폭들 사이의 차이만큼 대역폭을 반환한다(108단계). 상기 대역폭의 반환은 미사용 대역폭이 있을 경우에는 조정 풀(A_{pool})에 추가하고, 서비스가 종료될 때마다 해당 서비스에 할당되었던 대역폭을 조정 풀(A_{pool})에 추가하는 것으로 이루어진다.

[0074] 그리고 상기 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 주기에 산출된 대역폭들보다 z 큰 것들이 있으면(106단계), 상기 새로이 산출된 대역폭들 중 이전 주기에 산출된 대역폭들보다 큰 것들에 대해, 상기 셀은 새로이 산출된 대역폭

들을 만족할 때까지 조정 풀(A_{pool})의 대역폭을 추가 할당한다(110단계). 상기 조정 풀(A_{pool})의 대역폭은 우선순위가 높은 서비스에 대한 대역폭들에 대해 먼저 추가하고, 각 서비스에 할당된 대역폭들이 모두 만족할 때까지 반복된다.

- [0075] 여기서, 효용함수 및 협상력의 차이를 이용하여 최적의 대역폭들을 산출하는 과정을 도 4를 참조하여 좀더 설명한다.
- [0076] 상기 셀은 효용함수의 차이를 이용하여 대역폭을 핸드오프 서비스를 위한 대역폭과 신규 서비스를 위한 대역폭으로 분할한다(200단계).
- [0077] 이후 상기 셀은 협상력의 차이를 이용하여 핸드오프 서비스를 위한 대역폭을 클래스 I에 대한 대역폭과 클래스 II에 대한 대역폭으로 분할한다(202단계).
- [0078] 또한 상기 셀은 협상력의 차이를 이용하여 신규 서비스를 위한 대역폭을 클래스 I에 대한 대역폭과 클래스 II에 대한 대역폭으로 분할한다(204단계).
- [0079] 본 발명에 따른 셀은 대역폭 예약 및 재설정 과정을 미리 정해둔 일정 주기마다 반복하여, 대역폭의 갱신을 이행한다.
- [0080] <대역폭 차용 알고리즘>
- [0081] 이제 본 발명에 따른 대역폭 차용 알고리즘을 설명한다. 셀룰러 네트워크에서 의미하는 부하 분산은 과부하가 발생한 특정 셀이 트래픽 부하가 작은 셀로부터 대역폭 차용을 통해 과다한 부하를 감소시키는 것을 의미한다.
- [0082] 이런 방식은 셀룰러 네트워크에서 시/공간적으로 발생할 수 있는 급격한 트래픽 변동에 적절하게 대응하여 효율적인 대역폭 사용이 가능하도록 한다. 본 발명의 대역폭 차용 알고리즘은 네트워크상 트래픽의 부하 균등을 위해 과부하 셀이 대역폭 차용을 요청할 때 어느 저부하 셀이 얼마 만큼씩 차용시켜 줄 것인가를 결정하기 위해 Nash 협상 해법을 적용한다.
- [0083] 본 발명에서는 N 개의 셀이 존재하는 클러스터 내 셀 i 의 전체 대역폭을 T_i , 가용 대역폭을 R_i 이고, 부하 균형을 위한 매개변수를 α 와 β 라 정의할 때, 셀의 부하 상태를 표 1과 같이 구분하였다.

표 1

부하 상태	기 준
저부하	$\frac{R_i}{T_i} > \alpha$
정상부하	$\beta < \frac{R_i}{T_i} < \alpha$
과부하	$\frac{R_i}{T_i} < \beta$

- [0084]
- [0085] 정상 부하 셀이 대역폭을 대여해 줌으로써 과부하가 되어 연쇄적으로 대역폭 차용을 요구하게 되는 상황을 방지하기 위하여 저부하 셀로부터만 대역폭이 대여되도록 한다. 임의의 셀이 과부하가 될 경우 대역폭 차용을 위한 알고리즘을 수행하며, 초기에 각 셀에 할당되는 대역폭을 T 라 할 때, 과부하가 된 셀 i 의 대역폭 요구량(H_i)을 수학적 7과 같이 정의한다.

수학식 7

$$H_i = \left[\left(\frac{\sum_{i=0}^N R_i}{N \times T} - \frac{R_i}{T_i} \right) \times T_i \right]$$

[0086]

[0087]

상기 H_i 는 대역폭 차용 이후 클러스터내 셀들의 평균 부하에 도달하기 위해 필요한 채널(대역폭)의 양이다. 따라서 전체적으로 네트워크가 저부하인 경우에는 많은 양을 요구하고, 과부하인 경우에는 적은 양을 요구하게 된다. 셀 i 의 효용함수 u_i 를 셀의 부하상태를 나타내는 R_i/T_i 라 정의한다. 클러스터내 저부하 셀 집합을 C_{LOW} , 저부하 셀 i 가 대여해주는 대역폭 양을 B_i 라 할 때, 임의의 과부하 셀에 대여되는 대역폭의 가능집합을 수학식 8과 같이 정의한다.

수학식 8

$$S = \{(B_1, B_2, \dots, B_N) | H \geq \sum_{C_{LOW} \in C} B_i\}$$

$$\text{where } \frac{R_i - B_i}{T_i} \geq \frac{\alpha + \beta}{2}$$

[0088]

[0089]

그런데 저부하 셀이 과부하 셀에 너무 많은 대역폭을 대여해주게 되면 대여해준 셀이 과부하 셀 상태가 되어 연쇄적으로 대역폭 차용을 요구하는 상황이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 저부하 셀 입장에서 대여해 줄 수 있는 대역폭에 한계를 설정해 준다.

[0090]

본 발명에서는 저부하 셀이 차용 이후 부하 상태가 표 1에서의 α 와 β 의 평균, 즉 정상부하의 평균보다 작아지지 않도록 설정하여 과도한 대역폭을 대여해주는 것을 방지한다. 이와 같은 상황에서 수학식 9의 Nash 협상 해법을 이용하여 내쉬 곱을 최대화하는 s^* , 즉 어느 저부하 셀이 얼마만큼씩 대역폭을 차용시켜 줄 때 전체 시스템의 효용을 극대화하는지 계산한다.

수학식 9

$$S^* = \arg \max_{s \in S} \prod_{i=1}^N (u_i - d_i)$$

[0091]

[0092]

대역폭 차용을 요구하는 셀의 입장에서 요구한 대역폭이 모두 차용되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우에는 해당 셀은 대기상태에 놓이게 되며, 자신의 부하 상태가 호전되어 정상 부하가 됨으로써 더 이상 대역폭 차용이 필요없거나, 전체 네트워크의 상황이 호전되어 저부하 셀들로부터 추가적으로 대역폭을 차용 받아 정상 부하가 될 경우에 대기 상태로부터 빠져나오게 된다.

[0093]

또한 대역폭을 차용한 셀의 부하가 저부하가 되면 대여해 주었던 셀에 차용했던 대역폭을 반납하게 된다. 이는 정상부하일 때 반납하게 되어 다시 과부하가 되는 현상을 막기 위함이다. 반납할 때도 마찬가지로 Nash 협상 해법을 이용하여 어느 저부하 셀에 얼마만큼씩 반납할 때 전체 시스템의 효용을 극대화하는지 계산하여 대역폭 반납을 수행한다.

[0094]

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 대역폭 차용방법을 도 5를 참조하여 설명한다.

[0095]

셀룰러 네트워크를 형성하는 클러스터내의 셀들 중 어느 한 셀이 과부하 상태가 되면(300단계), Nash 협상 해법을 이용하여 클러스터 내 어떤 셀에게 각각 얼마만큼의 대역폭을 요구할지를 산출한다(302단계).

[0096]

이후 상기 셀은 선택된 셀들에 대해 산출된 대역폭 만큼의 대역폭의 차용을 요구하여 차용받는다(304단계).

- [0097] 이후 상기 셀은 상기 대역폭의 차용에 의해 부하가 안정되면(306단계), 차용요구상태를 해제하고(310단계), 상기 부하가 안정되지 않으면(306단계) 차용요구 상태를 유지하여 차용을 계속하여 시도한다(308단계).
- [0098] 이후 상기 셀은 거부하 상태, 즉 부하상태가 a 가 되는지를 체크한다(312단계). 상기 거부하 상태이면, 상기 셀은 a 와 β 의 평균의 범위까지 다른 셀에게 대여했던 대역폭을 반환한다(314단계).
- [0099] <성능평가>
- [0100] 본 발명에서 제안한 온라인 대역폭 관리 방법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존에 존재하는 타 기법들과 비교 및 분석하였다.
- [0101] 본 발명의 성능을 평가하기 위해서 가정한 셀룰러 네트워크의 시스템 환경은 다음과 같다.
- [0102] 1. 대역폭 예약 성능평가에서 하나의 셀에 존재하는 채널의 개수는 50개, 대역폭 차용 성능평가에서 하나의 셀에 존재하는 채널의 개수는 100개이다.
- [0103] 2. 하나의 클러스터 내에 존재하는 셀의 개수는 7개이다.
- [0104] 3. 성능 평가 시간은 1시간이다.
- [0105] 4. 수학적 2에서의 매개변수 σ_{andoff} 와 σ_{ew} 를 각각 0.3, 0.2로 설정한다.
- [0106] 5. Class I의 협상력과 Class II의 협상력을 각각 0.55, 0.45로 설정한다.
- [0107] 6. 부하 균형을 위한 매개변수 a 와 β 를 각각 0.4, 0.2로 설정한다.

표 2

Number of channels in a cell	50 / 100
Number of cells in a cluster	7
Simulation time	3600 seconds
σ_{handoff}	0.3
σ_{new}	0.2
Bargaining power of Class I	0.55
Bargaining power of Class II	0.45
α	0.4
β	0.2

- [0108]
- [0109] 각 실험의 평가 기준은 핸드오프 서비스의 실패율(Call Dropping Probability: CDP)과 신규 서비스의 실패율(Call Blocking Probability: CBP), 그리고 통합 서비스 실패율(Call Failure Probability: CFP)이다.
- [0110] 본 발명에 따른 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 기존의 제안된 대역폭 관리기법인 완전공유기법과 우위공유기법, Fair & Efficient CAC 기법, Fixed Assignment 기법, LBSB 기법들을 비교 대상으로 선정하였다. 각 실험은 시뮬레이션을 50번씩 반복 수행하여 그 평균값을 사용하였다.
- [0111] 도 6a는 다양한 네트워크 트래픽 상황에서 본 발명에 따른 제안기법과 CS, PS 기법의 핸드오프 서비스의 실패율(CDP)을 도시하였다. 그 실험결과, PS 기법은 좋은 성능을 보였지만 CS 기법은 상대적으로 성능이 좋지 않았다. 그 이유는 CS가 서비스 간의 우선순위를 반영하지 못하기 때문에 신규 서비스보다 우선 순위가 높은 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭이 다른 기법들에 비해 상대적으로 작기 때문이다. 반면 PS기법은 우선순위가 높은 핸드오프 서비스가 신규 서비스로부터 대역폭을 가져오는 것을 허락하기 때문에 좋은 성능을 보였다. 그리고 본 발명에 따른 제안기법은 CDP에서 PS기법에 근접하는 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.

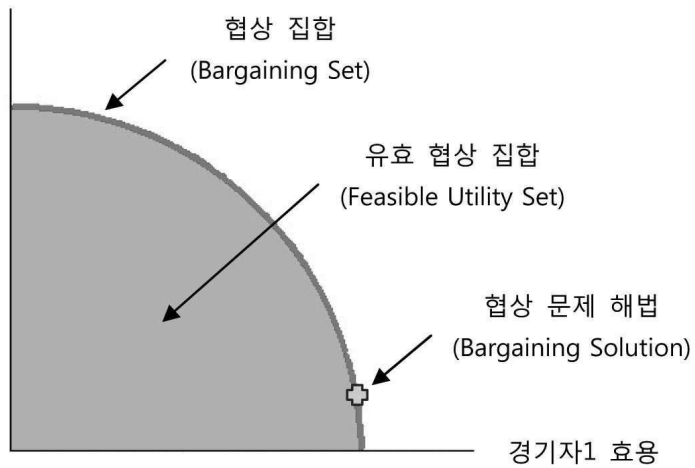
- [0112] 도 6b는 다양한 네트워크 트래픽 상황에서 신규 서비스의 실패율(CBP)을 도시한 것이다. CS 기법은 좋은 성능을 보였지만 PS 기법은 상대적으로 성능이 좋지 않았다. 그 이유는 CS 기법이 서비스 간의 우선순위를 반영하지 못하기 때문에 우선순위가 낮은 신규 서비스에 할당되는 대역폭이 다른 기법들에 비해 상대적으로 많기 때문이다. 반면 PS 기법은 우선순위가 낮은 신규 서비스가 핸드오프 서비스로부터 대역폭을 빼앗길 수 있기 때문에 좋지 않은 성능을 보였다. 그리고 본 발명에 따른 제안 기법은 CBP에서 CS기법에 근접하는 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.
- [0113] 도 6c는 핸드오프 서비스의 트래픽이 신규 서비스보다 약 4배 가량 많은 상황에서 Class I 데이터의 신규 서비스의 실패율(CBP)을 보여준다. 본 발명에 따른 제안기법이 Fair-Efficient CAC 기법보다 CDP에서 월등한 성능을 보였다. 그 이유는 각각의 Class만을 게임의 경기자로 간주하고 핸드오프 서비스에 제공되는 질을 우선적으로 중요하게 처리하기 때문이다.
- [0114] 도 6d는 도 6c와 동일한 상황에서 Class I 데이터의 핸드오프 서비스의 실패율 (CDP)을 도시한 것이다. 성능 평가결과, 본 발명에 따른 제안된 기법이 CBP에서 월등히 좋은 성능을 보임과 동시에 CDP에서도 Fair-Efficient CAC 기법과 거의 동일한 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.
- [0115] 도 6e는 신규 서비스와 핸드오프 서비스의 통합 실패율 (CFP)을 보여준다. Fixed Assignment 기법은 각 기지국에 채널이 고정적으로 할당되는 기법으로 제어가 간편하지만, 인접 셀에 여분의 채널이 존재하더라도 자신의 셀에서 가용할 채널이 없으면 서비스를 지원할 수 없는 단점이 있다. LBSB 기법은 제안 기법과 차용 대역폭 요구량과 대역자 선택에서 주된 차이를 보이는 기법이다. 제안 기법보다 상대적으로 차용 대역폭 요구량이 많고, 대역자 선택의 폭이 좁기 때문에 네트워크의 전체적인 부하가 커질 경우 성능이 저하되는 단점이 있다. Fixed Assignment 기법은 전반적으로 성능이 좋지 않았고, LBSB 기법은 전반적으로 네트워크의 부하가 커짐에 따라 제안 기법보다 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0116] 이와 같이 본 발명은 이동 셀룰러 네트워크 환경에서 한정된 자원인 무선대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 클러스터내 셀 간의 대역폭 차용과 셀 내에서 대역폭 예약을 게임 이론을 이용하여 효율적으로 수행하는 알고리즘을 제안한다.
- [0117] 특히 본 발명은 게임 이론의 협상 해법 중 대표적인 NBS 기법을 이용하여 상대적으로 적은 연산을 통해 전체 시스템의 효율을 극대화한다.
- [0118] 또한 본 발명은 CBP에서 가지는 PS의 장점과 CDP에서 가지는 CS의 장점 모두에 근접하는 성능을 가지고 있으며, 트래픽이 비대칭인 경우 NBS를 이용한 기존의 Fair-Efficient CAC 기법보다 월등히 좋은 성능을 보인다. 그리고 본 발명은 NBS의 적용 이외에도 차용과 대역에 적절한 제한 조건을 둬으로써 전반적으로 네트워크의 부하가 커질 경우에도 좋은 성능을 보인다.
- [0119] 이러한 본 발명의 효과는 시뮬레이션을 통해 제안 기법은 많은 네트워크 상황에 대응하여 탄력적으로 운영할 수 있음을 확인할 수 있고, 또한 어떠한 효율함수와 협상력을 적용하느냐에 따라 다양한 QoS를 반영할 수 있음도 자명하다.
- [0120] 본 발명은 클래스간 우선순위의 차이를 협상력으로 설정하였기 때문에 각 클래스에 어떠한 협상력을 정의하느냐에 따라 결과에 많은 차이를 보일 수 있다. 이를 보완하기 위한 또 다른 방식으로 우선순위가 높은 클래스에 최소한의 요구조건이 추가될 수도 있다.
- [0121] 예를 들어, 클래스 I이 $x\%$ 이하의 손실률을 요구하는 경우를 설명한다. 전체적으로 네트워크의 상태가 과부하인 경우에 요구조건을 충족시키기 위해서는 클래스 II의 손실률이 급격히 높아지기 때문에 전체 시스템의 입장에서는 효율이 줄어 들 수 있다. 반대로, 전체적으로 네트워크의 상태가 저부하인 경우에 클래스 I의 요구조건을 충족시키고 남은 잉여대역폭을 클래스 II에 할당할 경우 클래스 II의 손실률이 오히려 클래스 I의 손실률보다 더 낮게 되어 우선순위가 역전된 상황이 초래될 수 있다. 따라서 클래스 I의 요구조건을 전체 네트워크 상황에 맞게 적절히 적용시키는 것이 중요한 이슈이다. 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로 NBS에서 합의 실패점에서 효율을 이용할 수 있다. 위와 같은 예의 경우, NBS를 $\{ u_{\text{class I}} - (\text{손실률이 } x\% \text{ 일 때 Class I의 효율}) \} \cdot \{ u_{\text{class II}} \}$ 로 정의하여 클래스 I의 요구조건이 반영된 상태에서 전체 시스템의 효율이 극대화되는 자원 할당의 계산이 가능하다.
- [0122] 앞서 보았듯이, NBS는 구성하는 변수들의 설정에 따라 다양한 응용이 가능하다. 또한 NBS뿐만 아니라 여러 공리적 협상 해법들의 특징을 이용하여 네트워크 자원 관리에 게임 이론이 적절한 도구로 이용될 것으로

기대된다.

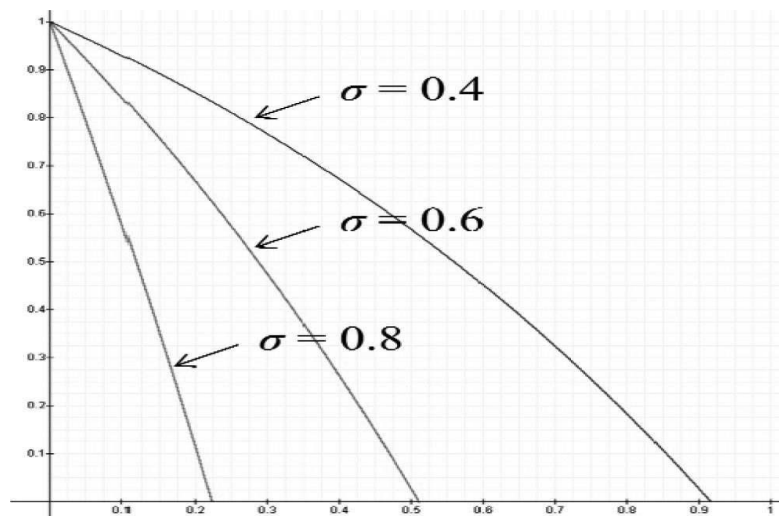
도면

도면1

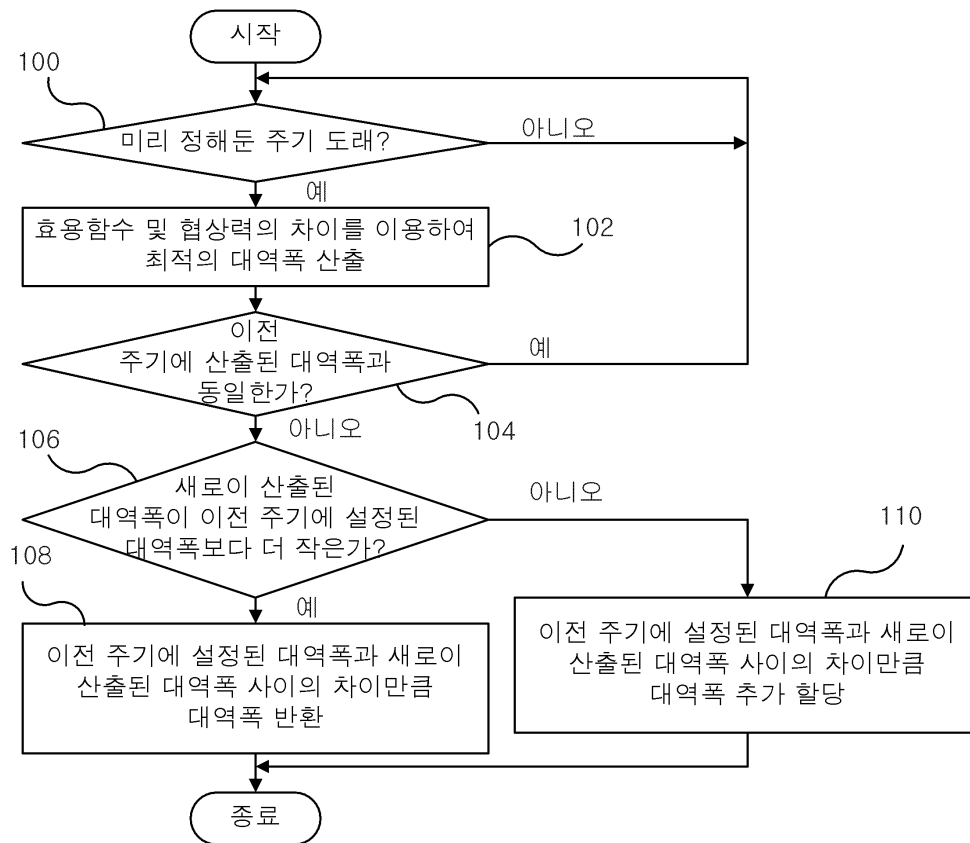
경기자2 효용



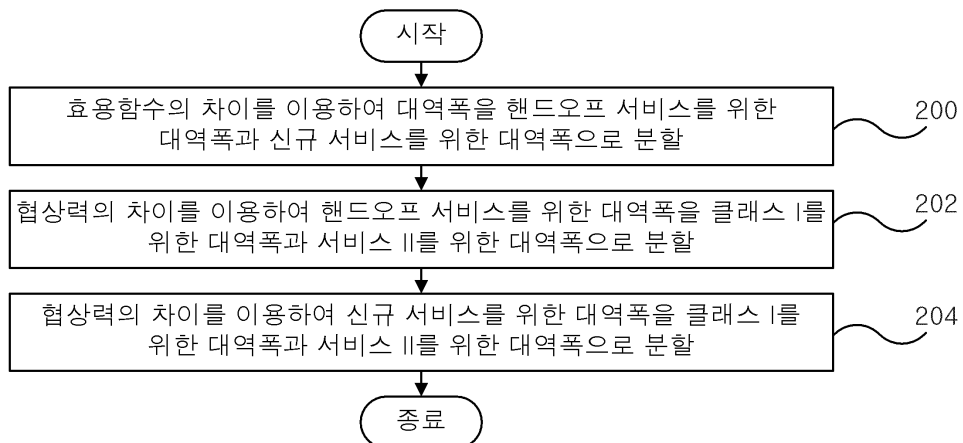
도면2



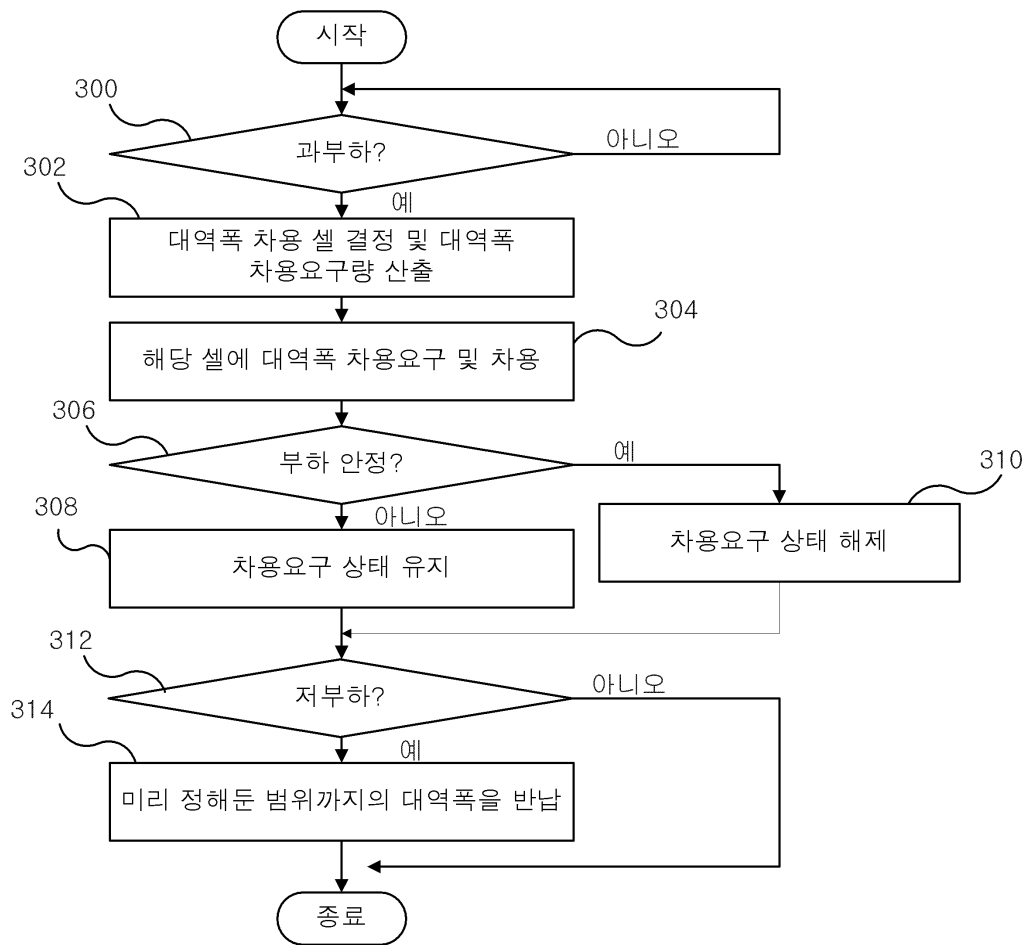
도면3



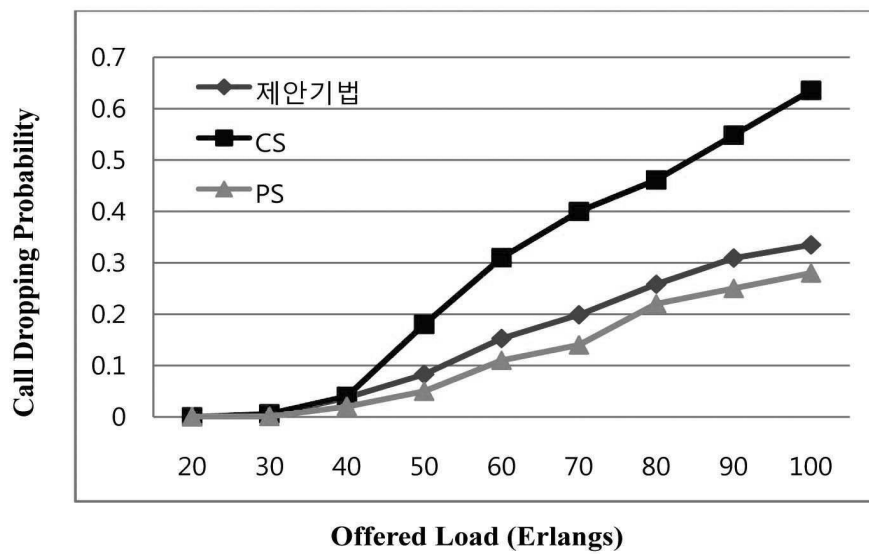
도면4



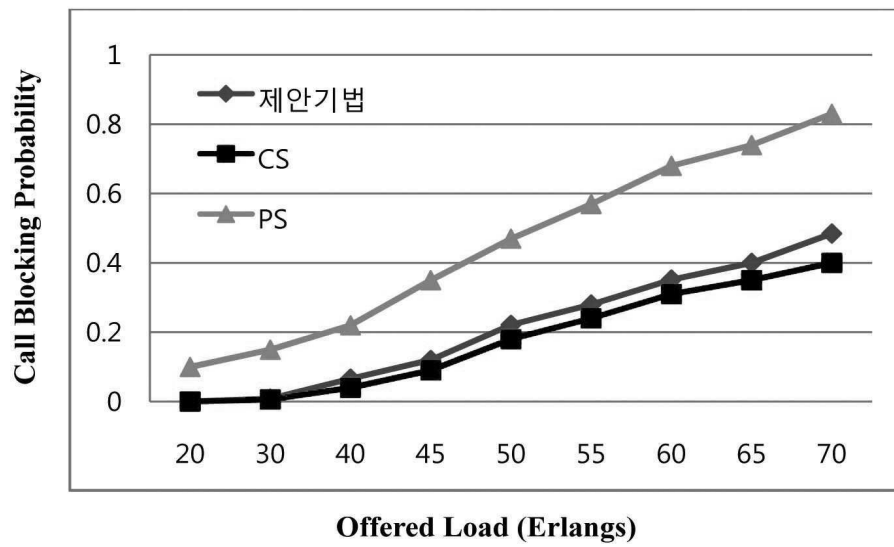
도면5



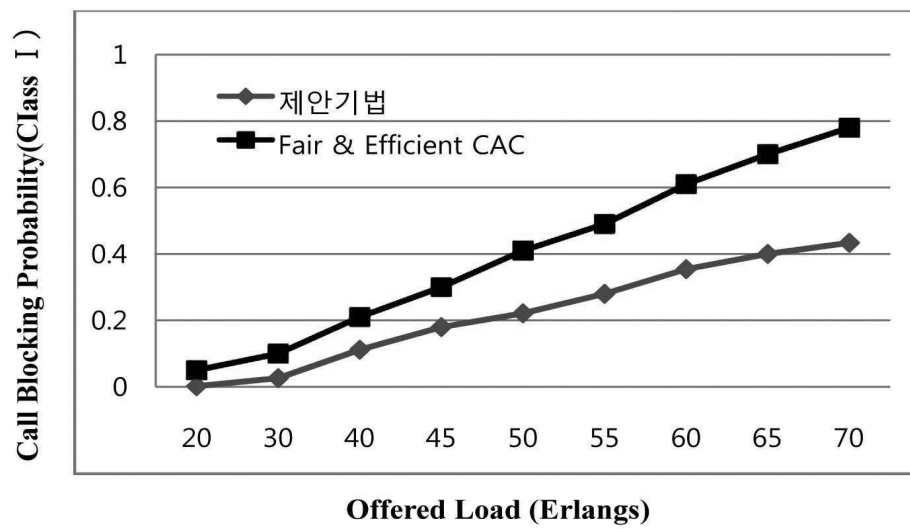
도면6a



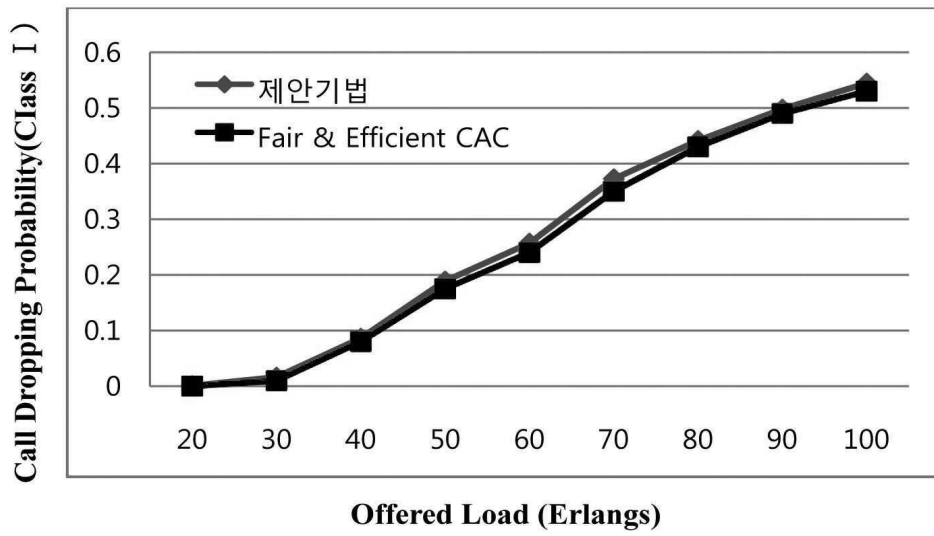
도면6b



도면6c



도면6d



도면6e

