



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0076291
(43) 공개일자 2017년07월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 12/24 (2006.01) H04L 29/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 41/0896 (2013.01)
H04L 41/142 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0186377
(22) 출원일자 2015년12월24일
심사청구일자 2015년12월24일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
박형곤
경기도 고양시 일산동구 강송로 156, 216동 1001호 (마두동, 강촌마을2단지아파트)
최지수
대전광역시 서구 도솔로327번길 55, 502호 (괴정동)
정승현
서울특별시 송파구 양산로8길 24, 201동 604호 (거여동, 거여2단지아파트)
(74) 대리인
특허법인 무한

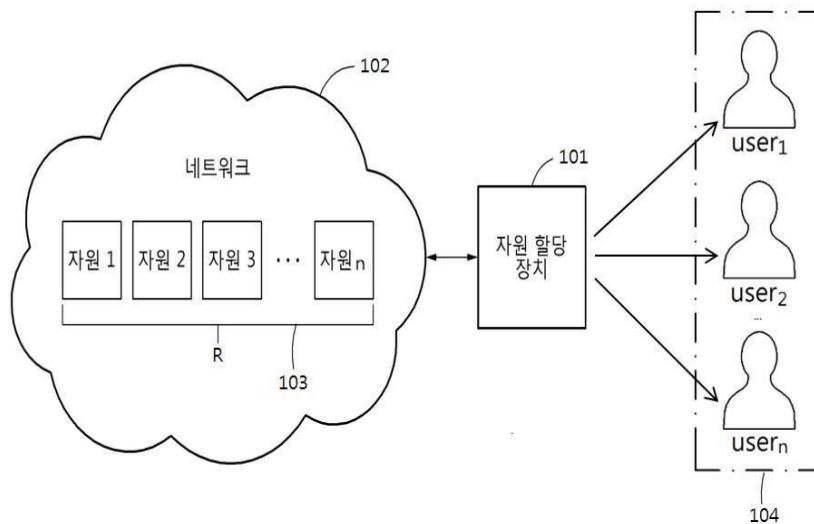
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법 기반의 자원 할당 방법

(57) 요약

본 발명은 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법 기반의 자원 할당 방법에 관한 것으로, 자원 할당 방법은 다중 멀티 미디어 사용자들 사이에서 네트워크 상의 자원을 효율적으로 분배하기 위해 각 사용자의 효용 함수를 재정의하고, 재정의된 효용 함수를 기반으로 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법을 적용함으로써, 대용량의 자원 및 다수의 사용자에 대한 효율적인 자원 할당을 수행할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04L 69/24 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711016403
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	기초연구사업(학술진흥)-중견연구자지원사업-도약연구지원사업(전략)(상향식)
연구과제명	지능적 사물 인터넷을 위한 네트워크 코딩 기반 자가 구성 스마트 네트워크 연구
기 여 율	34/100
주관기관	이화여자대학교 산학협력단
연구기간	2014.11.01 ~ 2017.10.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	IITP2015H8501151001
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	정보통신기술진흥센터
연구사업명	대학 ICT연구센터 육성지원사업
연구과제명	차세대 디지털 TV방송 시스템 (실감형/모바일/양방향)핵심기술개발
기 여 율	33/100
주관기관	연세대학교
연구기간	2015.01.01 ~ 2015.12.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	IITP2015H8501151007
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	정보통신기술진흥센터
연구사업명	대학 ICT연구센터 육성지원사업
연구과제명	초고속 무선 네트워크 기반 u-Office 서비스 연구 개발
기 여 율	33/100
주관기관	중앙대학교
연구기간	2015.01.01 ~ 2015.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

자원 할당 장치에서 수행하는 자원 할당 방법에 있어서,

n 명 사용자들 각각의 효용 함수를 m 개의 간격으로 조각 선형화하는 단계;

상기 m 개 구간별로 조각화된 효용 함수에 협상 이론을 적용함으로써, 상기 조각 선형화된 효용 함수에 기초하여 고정된 전체 자원에 대해 상기 n 명 사용자들 각각에 대한 최적 자원을 결정하는 단계;

를 포함하고,

상기 최적 자원을 결정하는 단계는,

상기 협상 이론이 적용된 효용 함수에 대해 선형 제약 조건을 만족하도록 최적 자원을 결정하는 자원 할당 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 조각 선형화된 효용 함수는,

상기 m 개 간격마다 기울기와 y 절편을 가지는 1차 선형 함수로 형성되는 자원 할당 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 m 개의 간격은,

선형 제약 조건을 고려하기 위해 상기 전체 자원에 대해 오목 형태의 효용 함수를 선형적으로 재구성하기 위해 설정되며,

상기 m 개는,

상기 n 명 사용자들 각각에 대응하여 서로 다른 개수로 결정되는 자원 할당 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 조각 선형화된 효용 함수는,

상기 m 개의 구간들 각각에 대해 상기 전체 자원에 대한 효용 함수의 조각화된 결과들 중 최소값을 나타내는 효용 함수로 결정하는 자원 할당 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 선형 제약 조건은,

i) 상기 n 명 사용자들 각각에 할당되는 자원의 크기 또는 ii) 상기 n 명 사용자들에 대한 자원의 총합과 전체 자원량이 동일하다는 조건을 포함하는 자원 할당 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법 기반의 자원 할당 방법에 관한 것으로, 구체적으로는 네트워크 환경에서 대용량의 자원 및 다수의 사용자를 대상으로 대용량의 자원 효율적으로 사용자에게 할당하는 자원 할당 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]최근에는 스마트폰, 태블릿 PC, 웨어러블 기기 등 모바일 기기가 널리 보급됨에 따라 다수의 기기가 하나의 통신 및 네트워크 환경을 공유하는 상황이 자주 발생하고 있다. 이에 따라, 멀티미디어 데이터 전송이 늘어나고 있으며, 멀티미디어 데이터는 용량이 방대하며 지연에 민감한 특성이 있어 사용자의 환경 및 미디어 특성에 맞게 네트워크 자원을 효율적으로 활용하는 것이 무엇보다도 중요한 이슈가 되었다.

[0003]이를 위해, 네트워크 자원 할당에 대해 협력적인 접근 방법을 이용하여 이를 통해 멀티미디어 서비스 품질 보장과 동시에 전체 네트워크 효율을 높이고자 하는 연구 방법이 고려되었다. 연구 방법으로는 공리적 협상 해법을 기반으로 한 게임 이론적 방법으로 주어진 문제를 접근하며 자원 할당 방법으로 널리 알려진 NBS(Nash bargaining solution)을 이용한 방법을 제시되었다.

[0004]다시 말해, NBS는 사용자의 효용과 네트워크 자원 기반의 전략적인 자원 할당하는 방법이다. 그러나, NBS는 자원량과 사용자의 수가 증가할수록 NBS를 수행하는데 필요한 연산 복잡도가 기하급수적으로 증가한다는 문제가 발생함에 따라 이에 대한 효율성을 개선시키고자 하는 관련 연구가 지속되고 있다.

[0005]이러한 지속적인 연구를 통해 복잡도와 연산량을 줄이 방법으로 반복적 협상 전략을 이용해 한정된 시스템 내에서 자원을 효율적으로 할당하는 방법을 제안되었으며, 제안된 방법은 가능 유틸리티 세트를 복수 개의 서브 세트로 분할하여 각각에 대하여 NBS를 수행하는 접근 방식이다. 그러나, 제안한 방법은 참여하는 사용자의 수가 늘어날수록, 그리고 전체 자원량이 많아질수록 각각 서브 유틸리티 세트의 차원(탐색 차원), 그리고 세트의 크기(탐색 영역의 크기)가 증가하기 때문에 여전히 효율적이지 못하다는 문제점을 가지고 있다.

[0006]따라서, 상술한 자원 할당에 관한 한계를 해결하고, 이에 따라 네트워크 환경에서 사용되는 공유 자원을 보다 효율적으로 사용자에게 분배할 수 있는 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]본 발명은 대용량의 자원과 다수의 사용자를 대상으로 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법을 활용함으로써, 연산의 복잡도를 획기적으로 감소시킬 수 있는 자원 할당 방법을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0008]일실시예에 따른 자원 할당 장치에서 수행하는 자원 할당 방법은 n 명 사용자들 각각의 효용 함수를 m 개의 간격으로 조각 선형화하는 단계; 상기 m 개 구간별로 조각화된 효용 함수에 협상 이론을 적용함으로써, 상기 조각 선형화된 효용 함수에 기초하여 고정된 전체 자원에 대해 상기 n 명 사용자들 각각에 대한 최적 자원을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 최적 자원을 결정하는 단계는, 상기 협상 이론이 적용된 효용 함수에 대해 선형 제약 조건을 만족하도록 최적 자원을 결정하는 결정할 수 있다.

[0009]일실시예에 따른 조각 선형화된 효용 함수는 상기 m 개 간격마다 기울기와 y 절편을 가지는 1차 선형 함수로 형성될 수 있다.

[0010]일실시예에 따른 m 개의 간격은 상기 m 개의 간격은, 선형 제약 조건을 고려하기 위해 상기 전체 자원에 대해 오목 형태의 효용 함수를 선형적으로 재구성하기 위해 설정되며, 상기 m 개는, 상기 n 명 사용자들 각각에 대응하여 서로 다른 개수로 결정될 수 있다.

[0011]일실시예에 따른 최적 자원을 결정하는 단계는 상기 m 개의 구간들 각각에 대해 상기 전체 자원에 대한 효용 함수의 조각화된 결과들 중 최소값을 나타내는 효용 함수로 결정할 수 있다.

[0012]일실시예에 따른 선형 제약 조건은 i) 상기 n 명 사용자들 각각에 할당되는 자원의 크기 또는 ii) 상기 n 명 사용자들에 대한 자원의 총합과 전체 자원량이 동일하다는 조건을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 일실시예에 따른 자원 할당 방법은 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법을 활용함으로써, 연산 복잡도를 획기적으로 감소시킬 수 있다.

[0014] 본 발명의 일실시예에 따른 자원 할당 방법은 네트워크 상에 실시간으로 변화하는 자원을 가변적인 사용자에게 할당하기 위해 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법을 활용함으로써, 대용량의 자원을 사용자에게 대하여 보다 효율적으로 할당할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 일실시예에 따른 자원 할당 장치에 대한 전체 구성도를 도시한 도면이다.

도 2는 일실시예에 따른 n 명 사용자들 각각의 효용 함수를 조각 선형화한 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 일실시예에 따른 각 구간에서 조각 선형화된 효용 함수에 대한 최적 자원을 결정하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 일실시예에 따른 조각 선형화를 통해 효용 함수에 근사화된 선형 함수의 결과를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 일실시예에 따른 자원 할당 방법에 따른 성능 비교를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0017] 도 1은 일실시예에 따른 자원 할당 장치에 대한 전체 구성도를 도시한 도면이다.

[0018] 도 1을 참고하면, 자원 할당 장치(101)는 네트워크(102)에 접속하는 복수의 사용자가 공유하는 자원(103)을 전략적으로 분배할 수 있다. 다시 말해, 자원 할당 장치(101)는 네트워크(102)에서 제공하는 자원을 분배 받기 위해 접속한 n 명 사용자들(104) 각각의 효용성을 고려하여 자원(103)을 효율적으로 사용자에게 배분할 수 있다. 여기서, 자원(103)은 네트워크(102)에서 지원 가능한 자원으로써, 실시간으로 개수가 조정되거나 또는 고정된 개수로 존재할 수 있다. 그리고, n 명 사용자들(104)은 다중 멀티미디어를 사용하는 사용자들의 집합으로, 사용자의 이동성에 따라 사용자의 수가 고정되거나 또는 유동적으로 변화할 수 있다.

[0019] 그리고, 자원 할당 장치(101)는 네트워크(102)에서 제공하는 자원을 분배 받기 위해 접속한 n 명 사용자들(104) 사이에서 자원을 보다 효율적으로 분할하고, 이를 배정할 수 있다. 이를 위해, 자원 할당 장치(101)는 최적화 문제의 한 종류인 컨벡스 최적화 기법(convex optimization)을 이용함으로써, 자원을 보다 효율적으로 사용자에게 할당할 수 있다.

[0020] 구체적으로, 자원 할당 장치(101)는 n 명 사용자들(104) 각각의 효용 함수를 조각 선형화할 수 있다. 여기서, n 명 사용자들(104) 각각에 대한 효용 함수는 원래 오목한 형태의 비선형을 나타낸다. 그래서, 본 발명의 일실시예에 따르면, m 개 간격에 대해 효용 함수를 선형적으로 조각화함으로써, n 명 사용자들(104) 각각에 대한 최적 자원을 보다 용이하게 도출할 수 있다.

[0021] 자원 할당 장치(101)는 선형 제약 조건을 만족시키기 위하여 조각 선형화를 이용하여 n 명 사용자들(104) 각각의 효용 함수를 재정의할 수 있다. 다시 말해, 자원 할당 장치(101)는 n 명 사용자들(104)에 속하는 각 사용자의 효용 함수를 조각 임의의 크기로 조각화하여 곡선으로 표현된 효용 함수를 직선으로 근사화함으로써, n 명 사용자들(104) 각각의 효용 함수를 직선의 형태로 재정의할 수 있다.

[0022] 여기서, 조각 선형화란, 각 사용자의 효용 함수에 대하여 임의의 크기로 조각화하여, 오목 함수(concave function)으로 표현된 효용 함수를 직선 구간으로 표현함으로써, 곡선을 직선으로 근사화하여 표현하는 것 일 수 있다. 즉, 조각 선형화란 그래프를 표현함에 있어서, 곡선을 직선으로 근사화하여 변경하는 것을 의미할 수 있다.

[0023] 그리고, 자원 할당 장치(101)는 m 개로 조각 선형화된 효용 함수의 각각의 구간에 대응하는 최적 자원을 결정하기 위해 협상 이론을 이용할 수 있다. 구체적으로, 자원 할당 장치(101)는 네트워크(102)에서 사용자에게 대해 실시간으로 빠르게 자원을 분배하기 위한 전략으로 협력 게임 이론의 내쉬 협상 해법(Nash Bargaining Solution, NBS)을 이용할 수 있다.

[0024] 여기서, 게임 이론의 한 분야인 협력 게임 이론은 게임에 참여한 사용자들이 효율적이며 공평한 자원 분할에 초

점을 맞추기 위한 이론으로써, 공리적 협상 해법을 포함한다. 또한, 협력 게임 이론은 협상 문제를 통하여 참여한 사용자들이 공평하고 최적화된 합의점(agreement point)에 도달했을 때, 이에 대하여 협상 문제의 해법이라고 하며 이러한 합의점을 공리적인 접근 방법으로 제시한 해법을 공리적 협상 해법이라 할 수 있다.

[0025] 이에 따라, 자원 할당 장치(101)는 상술한 협력 게임 이론에 기초하여 네트워크(102)에 접속한 n명 사용자들 각각에 자원을 할당하는 과정을 협상 문제로 파악하고, 내쉬 협상 해법(NBS: Nash Bargaining Solution)을 이용할 수 있다. 이 때, 자원 할당 장치(101)는 내쉬 협상 해법을 수행하는데 필요한 연산 복잡도를 획기적으로 감소시키기 위하여 컨벡스 최적화 기법을 이용할 수 있다. 즉, 컨벡스 최적화 기법은 주어진 문제를 최적화 문제로 해결하는 기법 중 하나의 기법으로써, 선형 제약 조건 하에서 최적의 해법(optimal solution)을 도출하는 기법일 수 있다.

[0026] 다시 말해, 자원 할당 장치(101)는 네트워크(102)에 접속한 n명 사용자들 각각에 자원을 할당하는 과정에 대한 협상 문제를 컨벡스 최적화 기법을 기반으로 해결함으로써, NBS를 수행하기 위한 연산 복잡도를 획기적으로 감소시킬 수 있다. 즉, 자원 할당 장치(101)는 곡선 형태의 효용 함수를 직선 형태의 효용 함수로 재정의함에 따라 조각 선형화를 위해 구분한 각 구간에 대응하는 최적 함수만을 결정함으로써, NBS를 수행하기 위한 연산 복잡도를 감소시킬 수 있다. 컨벡스 최적화 기법에 대한 더 자세한 구성은 도 2를 통해 설명하도록 한다.

[0027] 결국, 자원 할당 장치(101)는 컨벡스 최적화 기법을 활용하여 네트워크(102)에서 제공하는 자원(103)의 양과 사용자의 수가 늘어날수록 NBS를 수행하기 위한 연산 복잡도가 기하급수적으로 증가하는 문제점을 해결함에 따라 대용량의 자원(103) 및 n명 사용자(104)에 대한 효율적인 자원 분배가 가능할 수 있다.

[0028] 그리고, 자원 할당 장치(101)는 m개로 조각화된 효용 함수에 협상 이론을 적용하여 상기 간격에 따른 각 구간에 서의 최적 자원을 결정할 수 있다. 이 때, 자원 할당 장치(101)는 조각 선형화된 효용 함수에 기초하여 고정된 전체 자원에 대해 n명 사용자들 각각에 대한 최적 자원을 결정할 수 있다. 여기서, n명 사용자들 각각에 대해 전체 자원에 대한 효용 함수는 m개 간격마다 기울기와 y 절편을 가지는 1차 선형함수 형태로 재구성될 수 있다. 그리고, 선형 조각화된 효용 함수는 조각 선형화를 위한 간격의 개수가 증가할수록 선형 조각화된 효용 함수가 실제 효용 함수에 더 가깝도록 근사화될 수 있다.

[0029] 이 때, 자원 할당 장치(101)는 m개 간격으로 구별된 구간별로 최소값을 나타내는 효용 함수를 이용하여 m개 간격에 대응하는 선형 함수를 도출할 수 있다. 그리고, 자원 할당 장치(101)는 조각 선형화된 효용 함수에 기초하여 전체 자원에 대해 n명 사용자들 각각에 대한 최적 자원을 결정할 수 있다. 자세한 구성은 도 3을 통해 설명하도록 한다.

[0030] 본 발명에서 제안하는 자원 할당 장치는 대용량의 자원과 다수의 사용자를 대상으로 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법을 활용함으로써, 연산의 복잡도를 획기적으로 감소시킬 수 있다. 이에 따라, 자원 할당 장치는 전체 자원량에 관계없이 비교적 항상 일정한 연산 복잡도를 나타냄으로써 일정한 성능을 보장할 수 있다.

[0031] 도 2는 일실시예에 따른 n명 사용자들 각각의 효용 함수를 조각 선형화한 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0032] 도 2를 참고하면, 자원 할당 장치는 네트워크 상의 자원을 보다 효율적으로 관리하기 위하여 협상 해법으로 NBS를 사용할 수 있다. 도 1을 통해 상술한 바와 같이 NBS는 하나의 특징한 효용쌍으로 특징한 공평성에 관한 공리들에 의해 결정될 수 있다. 그리고, 다양한 공리들에 의해 결정되는 NBS는 Nash Product를 최대화할 수 있으며, 이는 자원 할당 장치의 전반적인 효용을 극대화할 수 있다.

[0033] 따라서, 본 발명에서 제안하는 자원 할당 장치는 네트워크 상에 존재하는 자원을 할당받기 위한 사용자에게 대하여 n명 사용자가 있다고 가정했을 때, Nash Product는 수학적 식 1과 같이 정의될 수 있다.

수학적 식 1

$$G(u_1(x_1), \dots, u_n(x_n)) = \prod_{i=1}^n (u_i(x_i) - d_i)$$

[0034]

[0035] 여기서, u_i 는 n명 사용자들에 대한 각각의 사용자 i의 효용을 나타내고, x_i 는 n명 사용자들에 대한 각각의

사용자 i 가 할당 받은 자원의 양, d_i 는 n 명 사용자들에 대한 각각의 사용자 i 에 대한 합의 실패 점에서의 효용을 나타낼 수 있다.

[0036] 또한, 자원 할당 장치는 내쉬 협상 해법을 수행하는데 필요한 연산 복잡도를 획기적으로 감소시키기 위하여 컨벡스 최적화 기법을 이용할 수 있다. 구체적으로, 컨벡스 최적화 기법은 볼록 함수(convex function)인 목적 함수를 최소화 또는 오목 함수(concave function)인 목적 함수를 최대화하는 최적화 문제를 다루는 기법이다. 그리고, 이러한 컨벡스 최적화 기법은 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned} & \text{minimize } f_0(x) \\ & \text{subject to } f_k(x) \leq b_k, k = 1, \dots, r \\ & \left(\begin{array}{l} \text{maximize } -f_0(x) \\ \text{subject to } f_k(x) \leq b_k, k = 1, \dots, r \end{array} \right) \end{aligned}$$

[0037]

[0038] 여기서, $f_0, f_1, \dots, f_r$ 함수는 수학식 2에 따른 컨벡스(convex)를 만족하는 함수 일 수 있다.

[0039] 그리고, 위에 상술한 내용을 기반으로 자원 할당 장치는 n 명 사용자들에 대한 각각의 사용자의 효용 함수를 조각 임의의 크기로 조각화하여 곡선으로 표현된 효용 함수를 직선으로 근사화할 수 있다. 다시 말해, 상술한 컨벡스 최적화 기법을 이용하기 위해, 본 발명에서 제안하는 n 명 사용자들 각각의 효용 함수는 오목(concave)/증가(increasing) 형태를 갖는다고 가정할 수 있다. 그리고, 자원 할당 장치는 오목(concave)/증가(increasing) 형태를 갖는 n 명 사용자들 각각의 효용 함수를 m 개의 간격으로 조각 선형화할 수 있다. 이 때, 자원 할당 장치는 m 개의 간격(201)으로 n 명 사용자들 각각의 효용 함수를 조각 선형화할 수 있다. 여기서, m 개의 간격은 n 명 사용자들 각각의 효용 함수에 대하여 조각 선형화를 통해 직선으로 근사화하기 위한 간격의 개수를 나타낼 수 있다. 간격의 개수는 상기 n 명 사용자들 각각에 대응하여 서로 다른 개수로 결정될 수 있다. 그리고, 간격의 개수는 효용 함수를 어느 정도로 근사화하느냐에 따라 개수가 달라질 수 있다.

[0040] 일례로, 조각 선형화된 효용 함수는 m 개의 간격이 증가할수록 실제 사용자의 효용 함수에 대한 근사화의 정확도가 높아지고, 반대로, 조각 선형화된 효용 함수는 m 개의 간격이 감소할수록 효용 함수에 근사화의 정확도가 떨어질 수 있다.

[0041] 다시 말해, 자원 할당 장치는 오목(concave)/증가(increasing) 형태로 구현된 효용 함수를 직선 형태의 선형 함수로 변형시키기 위해, 효용 함수에 대하여 m 개의 구간(201)으로 구분하고, 각 구간(202)에 대하여 조각 선형화를 수행할 수 있다. 그리고, m 개의 구간(201)은 동일한 간격으로 설정될 수 있다. 또한, 조각 선형화를 한다는 것은 효용 함수를 직선으로 근사화한다는 것임에 따라, 자원 할당 장치는 네트워크 상의 자원의 양과 사용자의 수를 고려하여 사용자에 따라 서로 다른 간격으로 효용 함수를 조각화 할 수 있다.

[0042] 결국, 자원 할당 장치는 m 개의 간격으로 조각 선형화하고, 조각 선형화된 효용 함수는 각 구간에 대응하여 기울기와 y 절편을 가지는 1차 선형 함수로 형성될 수 있다. 조각 선형화된 효용 함수는 수학식 3과 같이 정의될 수 있다(Example of piecewise-linearized utility function).

수학식 3

$$\begin{aligned} u_1(x) &= \min_{j=1, \dots, m_1} (p_{1j}^T x + q_{1j}) \\ u_2(x) &= \min_{j=1, \dots, m_2} (p_{2j}^T x + q_{2j}) \\ &\vdots \\ u_i(x) &= \min_{j=1, \dots, m_i} (p_{ij}^T x + q_{ij}) \cdots (1) \\ &\vdots \\ u_n(x) &= \min_{j=1, \dots, m_n} (p_{nj}^T x + q_{nj}) \end{aligned}$$

[0043]

[0044] 여기서, $\mathbf{x}$ 는 n명 사용자에게 할당된 자원의 양을 포함할 수 있다. 그리고, $\mathbf{x} = [x_1^* \ x_2^* \ \dots \ x_n^*]^T \in R^n$ 일 때, $\mathbf{p}_{ij}^T$ 는 n명 사용자들에 대한 각각의 사용자 i의 효용 함수 정보를 포함하고 있는 $1 \times n$ 의 행렬을 의미할 수 있다. 그리고, q_{ij} 는 상수(constant)를 나타내며, m_i 는 n명 사용자들에 대한 각각의 사용자 i의 조각 선형화를 위한 간격의 개수를 의미할 수 있다.

[0045] 따라서, 상술한 과정을 통해 자원 할당 장치는 n명 사용자들 각각의 효용 함수를 m개의 간격으로 기울기와 y 절편을 가지는 1차원 선형 함수로 조각 선형화할 수 있다.

[0046] 도 3은 일실시예에 따른 각 구간에서 조각 선형화된 효용 함수에 대한 최적 자원을 결정하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0047] 도 3을 참고하면, 자원 할당 장치는 m개로 조각화된 효용 함수에 협상 이론을 적용하여 상기 간격에 따른 각 구간에서의 최적 자원을 결정할 수 있다. 이 때, 자원 할당 장치는 각 구간에서 협상 이론이 적용된 효용 함수에 대한 선형 제약 조건을 만족하는 최적 자원을 결정할 수 있다.

[0048] 구체적으로, 본 발명에서 제안하는 자원 할당 장치는 n명 사용자들에 대하여 $d_i = 0$ 으로 가정할 수 있다. 즉, 자원 할당 장치는 n명 사용자들에 대한 각각의 사용자 i에 대한 합의 실패 점에서의 효용을 '0'으로 설정할 수 있다. 그리고, 자원 할당 장치는 목적 함수인 Nash Product에 대하여 로그를 취해도 concavity가 보존되는 성질을 이용하여 NBS를 구하는 문제를 각 사용자의 로그를 취한 효용 함수의 합을 최대화하는 문제로 동치 변환할 수 있다. 로그를 취한 Nash Product는 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned} \arg \max G(u_1(x_1), \dots, u_n(x_n)) &= \arg \max u_1(x)u_2(x) \dots u_i(x) \dots u_n(x) \\ &= \arg \max \{\log u_1(x) + \log u_2(x) + \dots + \log u_i(x) + \dots + \log u_n(x)\} \dots (2) \end{aligned}$$

[0050] 이후, 수학식 4에 도 2에 개시된 수학식 3을 대입하면, 다음의 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\arg \max \left\{ \min_{j=1, \dots, m_1} (p_{1j}^T \mathbf{x} + q_{1j}) + \min_{j=1, \dots, m_2} (p_{2j}^T \mathbf{x} + q_{2j}) + \dots + \min_{j=1, \dots, m_i} (p_{ij}^T \mathbf{x} + q_{ij}) + \dots + \min_{j=1, \dots, m_n} (p_{nj}^T \mathbf{x} + q_{nj}) \right\}$$

[0052] 여기서, 수학식 5를 통해 고정된 $\mathbf{x}$ 에 대하여 각 사용자의 효용 함수에 대하여 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 을 도입하여 $p_{1j}^T \mathbf{x} + q_{1j}, p_{2j}^T \mathbf{x} + q_{2j}, \dots, p_{nj}^T \mathbf{x} + q_{nj}$ 의 하한 범위 (lower bound)로 정리할 수 있다.

[0053] 다시 말해, 수학식 5에 기재된 $\min_{j=1, \dots, m_1}$ 에 대한 조건을 만족하기 위하여, 자원 할당 장치는 구간 내 존재하는 m개의 조각 선형화된 효용 함수 중 최소값을 나타내는 조각 선형화된 효용 함수를 최적의 자원으로 결정할 수 있다. 구체적으로, m개의 조각 선형화된 효용 함수는 기울기와 y 절편을 가지는 1차 선형 함수로 형성될 수 있다. 이 때, 도 2에 도시된 도면에서는 각 구간 별로 선형 함수의 일부분만 표시되었으나, 실제로는 도 3에 도시된 것과 같이 각 구간 별로 형성된 선형 함수는 y절편을 통과하는 직선 형태로 표현될 수 있다. 그리고, y 절편을 통과하는 직선 형태의 선형 함수는 각 구간에 따라 서로 다른 기울기를 가지고 있다.

[0054] 자원 할당 장치는 각 구간에서 조각 선형화된 효용 함수에 대한 최적 자원을 결정하기 위해서 각 구간에 형성된 선형 함수(① ~ ⑤) 중에서 최소값을 나타내는 선형 함수(①)를 각 구간에 대한 선형화된 효용 함수로 결정할 수 있다. 이는 효용 함수에 대응하여 근사화된 각 구간을 도출하기 위함일 수 있다.

[0055] 따라서, 자원 할당 장치는 각 구간 내에서 최소값을 나타내는 선형 함수를 각 구간에 대한 선형화된 효용 함수로 설정함으로써, 전체 자원에 대한 효용 함수를 선형적으로 조각화할 수 있다. 그러면, 최적 자원은 각 구간 내에 최소값을 나타내는 선형화된 효용 함수에 기초하여 결정될 수 있다. 즉, 최적 자원은 $p_{1j}^T x + q_{1j}, p_{2j}^T x + q_{2j}, \dots, p_{nj}^T x + q_{nj}$ 에 대한 하한 범위(lower bound)로 결정될 수 있다.

[0056] 그리고, 정리된 하한 범위에 대하여 주어진 최적화 문제를 수학적식 6과 같이 표현할 수 있다.

수학적식 6

$$\begin{aligned} & \arg \max \sum_{i=1}^n \log t_i \\ & t_1 \leq p_{1j}^T x + q_{1j}, j = 1, \dots, m_1 \\ & t_2 \leq p_{2j}^T x + q_{2j}, j = 1, \dots, m_2 \\ & \vdots \\ \text{subject to } & t_i \leq p_{ij}^T x + q_{ij}, j = 1, \dots, m_i \\ & \vdots \\ & t_n \leq p_{nj}^T x + q_{nj}, j = 1, \dots, m_n \end{aligned}$$

[0057]

[0058] 여기서, 수학적식 6은 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 문제와 동일한 문제를 포함할 수 있다. 다시 말해, 컨벡스 최적화 기법은 주어진 문제를 최적화 문제로 해결하는 기법으로, 효용 함수를 조각 선형화를 통해 선형 함수로 재정의되고, 이에 대한 하한 범위에 대하여 주어진 수학적식 6의 최적화 문제와 컨벡스 최적화 기법에서 사용하는 최적화 문제는 동일한 조건을 만족할 수 있다.

[0059] 또한, 자원 할당 장치는 i) n명 사용자들 각각에 할당되는 자원의 크기 또는 ii) n명 사용자들에 대한 자원의 총합과 전체 자원량이 동일하다는 조건, 그리고 선형 제약 조건을 고려하여 각 구간에서 조각 선형화된 효용 함수에 대한 최적 자원을 결정할 수 있다.

[0060] 다시 말해, 자원 할당 장치는 선형 제약 조건에 따른 n명 사용자들 각각의 사용자의 자원량을 '0'보다 크거나 같으며, 각 사용자가 받은 자원의 합이 전체 자원량과 동일하다는 조건을 추가하고, 이에 따라 최종적으로 정리할 수 있다. 최종적으로 정리된 조건은 수학적식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학적식 7

$$\begin{aligned} & \arg \max \sum_{i=1}^n \log t_i \\ & t_1 \leq p_{1j}^T x + q_{1j}, j = 1, \dots, m_1 \\ & t_2 \leq p_{2j}^T x + q_{2j}, j = 1, \dots, m_2 \\ & \vdots \\ \text{subject to } & t_i \leq p_{ij}^T x + q_{ij}, j = 1, \dots, m_i \\ & \vdots \\ & t_n \leq p_{nj}^T x + q_{nj}, j = 1, \dots, m_n \\ & \sum_{i=1}^n x_i^* \leq R_{\max} \\ & -\sum_{i=1}^n x_i^* \leq -R_{\max} \\ & 0 \leq x_i^* \end{aligned}$$

[0061]

[0062] 여기서, x_i^* 는 사용자 i 가 할당 받은 자원량을 나타내고, R_{max} 은 전체 자원량을 의미할 수 있다.

[0063] 자원 할당 장치는 선형 제약 조건을 가진 컨벡스 최적화 기법을 이용한 협상 해법을 기반으로 대용량의 자원 및 다수의 사용자에 따른 자원을 보다 효율적으로 사용자에게 할당할 수 있다. 자원 할당 장치는 선형 제약 조건을 만족하는 하한 범위(lower bound)를 이용하여 각 구간에서의 최적 자원을 결정하고, 결정된 최적 자원을 활용하여 사용자에게 자원을 할당할 수 있다.

[0064] 도 4는 일실시예에 따른 조각 선형화를 통해 효용 함수에 근사화된 선형 함수의 결과를 설명하기 위한 도면이다.

[0065] 도 4를 참고하면, 그래프는 네트워크 상에서 존재하는 전체 자원에 대한 최대의 내쉬 협상에 따른 공급을 나타낼 수 있다. 이 때, 그래프는 사용자의 효용 함수를 조각 선형화하기 위한 조각 선형에 대한 간격의 개수가 증가할수록 최대의 내쉬 협상에 따른 공급 또한 증가하는 경향을 보일 수 있다. 이는 블록 형태의 효용 함수를 직선 형태의 선형 함수로 변환하기 위해 각 구간을 치밀하게 조각 선형을 수행할수록 근사화된 실제 효용 함수에 가까워지기 때문이다. 아래의 표 1은 그래프에 대응하는 결과값을 나타낸 것이다.

표 1

Total Rate [Mbps]	Maximized NP of CVX			
	Interval-3	Interval-5	Interval-7	Interval-10
0.5	676029394.7	688764269.1	687193009.8	689420521.9
0.8	2889241356	2942327418	2950984276	2957269112
1	5614495388	5721293697	5751703135	5761574960
1.3	12031603231	12287333427	12378821237	12397773775
1.5	18079990559	18504797483	18653436312	18684570126
1.7	25691022435	26366082120	26577938087	26630972953
2	40265086817	41527674543	41821726702	41938985021
2.3	58888303942	61091747661	61405453125	61648223432
2.5	73673988190	76764307720	77022625941	77399227570

[0066]

[0067] 도 5는 일실시예에 따른 자원 할당 방법에 따른 성능 비교를 설명하기 위한 도면이다.

[0068] 도 5의 (a)를 살펴보면, 그래프는 본 발명에서 제안하는 자원 할당 방법과 기존 방법에 대한 최대의 내쉬 협상에 관한 공급을 나타낼 수 있다.

[0069] 도 5의 (b)를 살펴보면, 그래프는 네트워크 상에서 제공하는 전체 자원량에 따른 실행 시간을 나타내며, 본 발명에서 제안하는 자원 할당 방법이 기존 방법에 비해 연산 복잡도 면에서 획기적으로 좋은 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 본 발명에서 제안하는 자원 할당 방법은 전체 자원량에 관계없이 비교적 항상 일정한 연산 복잡도를 나타냄으로써 일정한 성능을 보장할 수 있다.

[0070] 본 발명에서 제안하는 자원 할당 방법은 NBS를 수행하는 경우, 매우 낮은 연산 복잡도에 기반하여 근접 최적의 해법(nearly-optimal solution)을 얻을 수 있다. 또한, 자원 할당 방법은 전체 자원량이 실시간으로 변화하는 동적 네트워크 환경에 적용하여 일정 수준 이상의 성능을 보장받을 수 있으며, 이는 제안 알고리즘이 네트워크 환경 변화에 매우 강인하다는 것을 의미할 수 있다.

[0071] 따라서, 본 발명에서 제안하는 자원 할당 방법은 각 사용자의 효용 함수를 조각 선형화하여 주어진 최적화 문제를 컨벡스 최적화기법(convex optimization)으로 모델링하고, 모델링된 효용 함수를 기반으로 NBS를 구하는 방법을 제안하였다. 이를 통해 기존 방법 대비 연산 복잡도를 획기적으로 감소시켜 대용량의 자원 및 다수의 사용자를 대상으로 빠르고 효율적인 자원 분배를 가능케 하였다. 결국, 자원 할당 방법은 전체 자원량이 실시간으로 변화하는 네트워크 환경에 적용할 수 있으므로 보다 다양한 자원 관리 분야에서 효율적이고 공평한 최적의

해법을 찾는 데에 실질적으로 이용될 수 있다.

[0072] 또한, 자원 할당 방법은 대용량 자원 및 가변적인 사용자들에게 자원을 효율적으로 할당하고자 할 때 본 발명을 사용하면 낮은 계산 복잡도에 기반하여 실시간으로 빠르게 자원을 분배할 수 있다.

[0073] 본 발명의 실시 예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.

[0074] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0075] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0076] 101: 자원 할당 장치

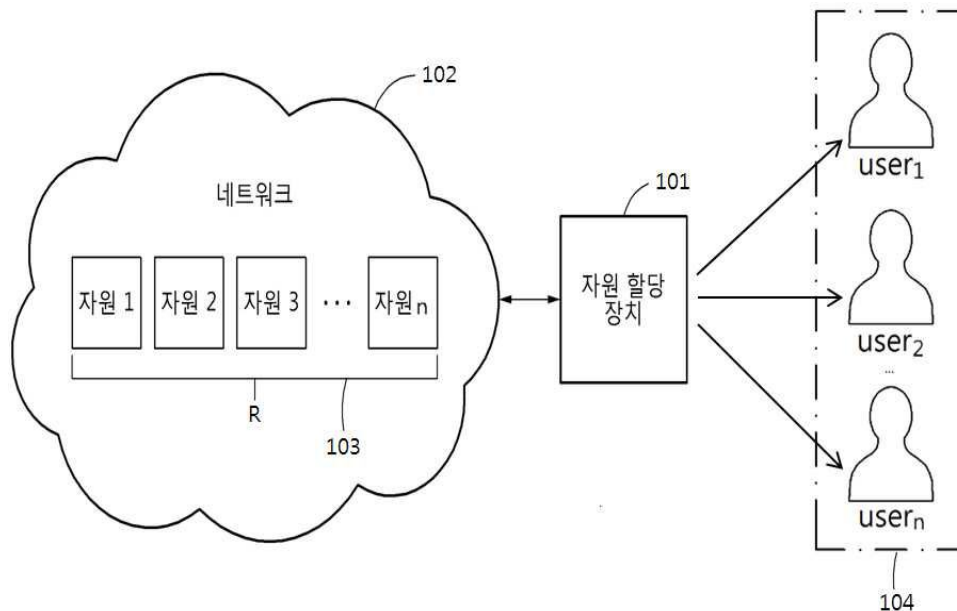
102: 네트워크

103: 자원

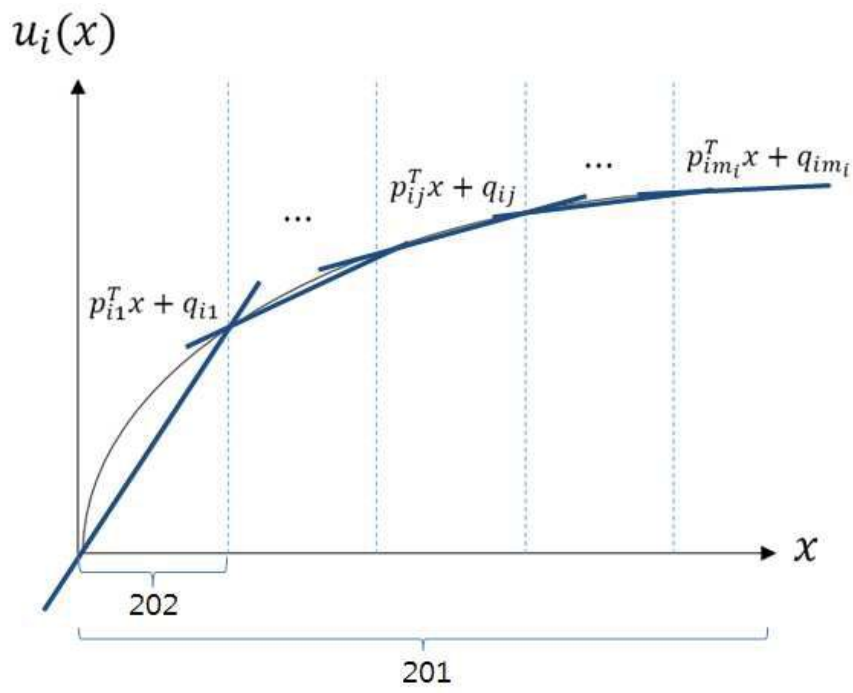
104: n명 사용자

도면

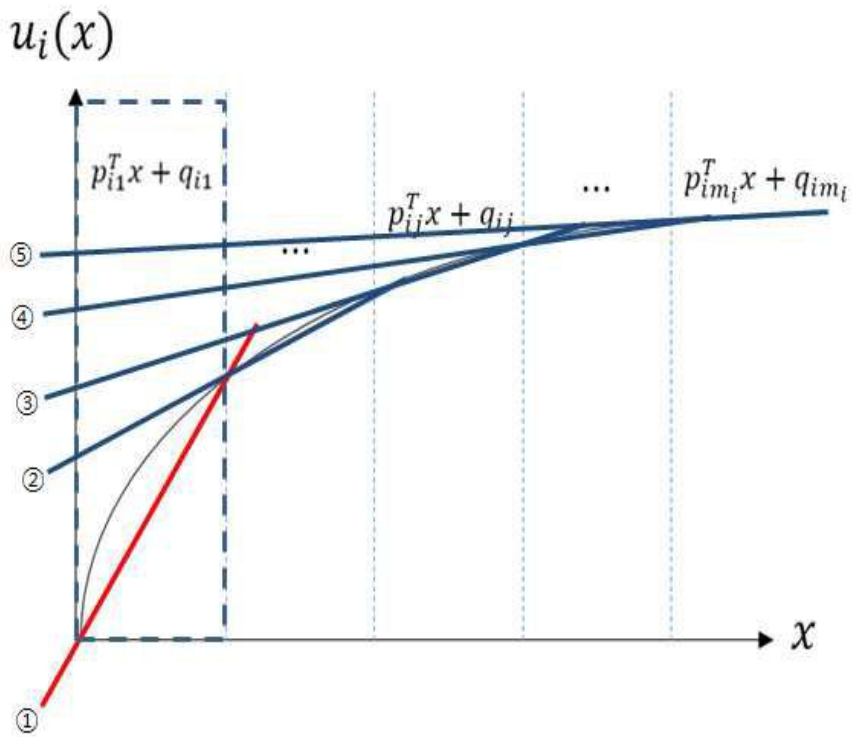
도면1



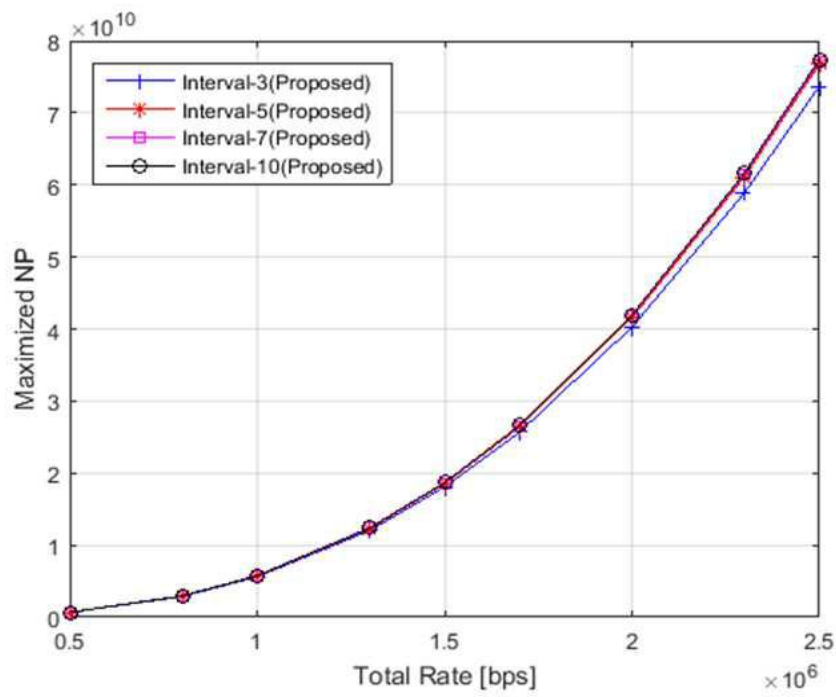
도면2



도면3



도면4



도면5

