



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0160418
(43) 공개일자 2022년12월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/04 (2009.01) G06N 10/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
H04W 72/0493 (2013.01)
G06N 10/00 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2021-0068639
(22) 출원일자 2021년05월27일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이권중
경기도 수원시 영통구 삼성로 129(매탄동)
강유진
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
윤앤리특허법인(유한)

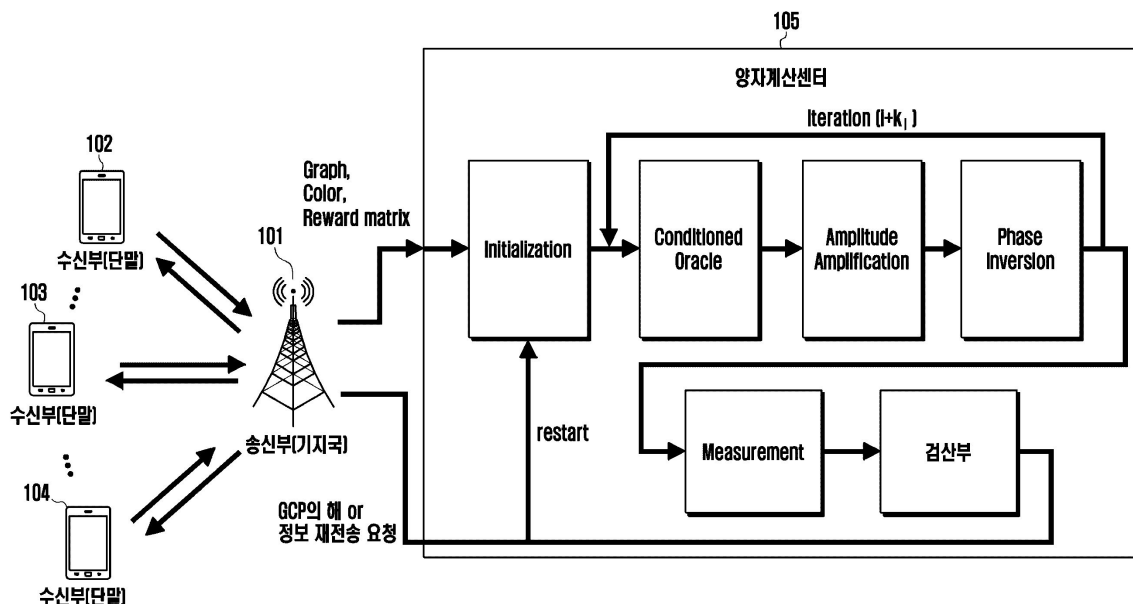
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 무선 통신 시스템에서 양자 컴퓨팅 기반 자원 할당을 위한 방법 및 장치

(57) 요약

본 개시는 LTE와 같은 4G 통신 시스템 이후 보다 높은 데이터 전송률을 지원하기 위한 5G 또는 6G 통신 시스템에 관련된 것이다. 본 개시는 무선 통신 시스템의 장치의 방법을 제공한다. 상기 방법은, 자원을 할당 받을 복수의 단말 간의 간섭과 관련된 제1 정보, 사용 가능한 자원의 수와 관련된 제2 정보, 및 상기 복수의 단말 각각에 대한 자원 할당 이득과 관련된 제3 정보를 기지국으로부터 수신하는 단계; 상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 복수의 큐비트를 선택하는 단계; 및 상기 제3 정보에 기반하여, 상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 자원 할당 정보를 생성하는 단계를 포함하고, 상기 자원 할당 정보에 기반하여 상기 복수의 단말에게 자원이 할당되는 것을 특징으로 한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H04W 72/0413 (2022.01)

H04W 72/042 (2022.01)

(72) 발명자

노광석

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)

서영진

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)

허준

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)

명세서

청구범위

청구항 1

무선 통신 시스템의 장치의 방법에 있어서,

자원을 할당 받을 복수의 단말 간의 간섭과 관련된 제1 정보, 사용 가능한 자원의 수와 관련된 제2 정보, 및 상기 복수의 단말 각각에 대한 자원 할당 이득과 관련된 제3 정보를 기지국으로부터 수신하는 단계;

상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 복수의 큐비트를 선택하는 단계; 및

상기 제3 정보에 기반하여, 상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 자원 할당 정보를 생성하는 단계를 포함하고,

상기 자원 할당 정보에 기반하여 상기 복수의 단말에게 자원이 할당되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 큐비트의 개수는,

상기 복수의 단말의 수와 상기 사용 가능한 자원의 수를 곱한 값인 것을 특징으로 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 자원 할당 정보를 생성하는 단계는,

상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 중첩된 양자 상태에서 상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 확인되는 조건을 만족하는 적어도 하나의 제1 양자 상태를 선택하는 단계;

제1 알고리즘에 기반하여 상기 적어도 하나의 제1 양자 상태의 검출 확률이 증가되도록 제어하는 단계;

상기 적어도 하나의 제1 양자 상태 중에서 상기 제3 정보에 상응하는 적어도 하나의 제2 양자 상태를 선택하는 단계;

제2 알고리즘에 기반하여 상기 적어도 하나의 제2 양자 상태의 검출 확률이 증가되도록 제어하는 단계; 및

상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘에 기반하여 상기 자원 할당 정보를 생성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 알고리즘을 반복 수행하는 횟수 및 상기 제2 알고리즘을 반복 수행하는 횟수는 상기 제3 정보에 기반하여 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 자원 할당 정보가 상기 조건을 만족하는지 여부를 판단하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 자원 할당 정보가 상기 조건을 만족하는 경우, 상기 자원 할당 정보와 상응하는 이득 값이 기설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 이득 값이 상기 기설정된 임계 값을 초과하는 경우, 상기 자원 할당 정보를 상기 기지국으로 전송하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 자원 할당 정보가 상기 조건을 만족하지 않는 경우, 상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘을 반복하는 횟수가 최대 값에 도달했는지 여부를 확인하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘을 반복하는 횟수가 최대 반복 횟수에 도달한 경우, 상기 제1 정보, 상기 제2 정보, 또는 상기 제3 정보 중 적어도 하나에 대한 재전송 요청을 상기 기지국으로 전송하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘을 반복하는 횟수가 최대 횟수에 도달하지 않은 경우, 상기 제1 알고리즘의 반복 횟수가 증가되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

무선 통신 시스템의 장치에 있어서,

송수신부; 및

자원을 할당 받을 복수의 단말 간의 간섭과 관련된 제1 정보, 사용 가능한 자원의 수와 관련된 제2 정보, 및 상기 복수의 단말 각각에 대한 자원 할당 이득과 관련된 제3 정보를 기지국으로부터 수신하도록 상기 송수신부를 제어하고, 상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 복수의 큐비트를 선택하고, 상기 제3 정보에 기반하여, 상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 자원 할당 정보를 생성하는 제어부를 포함하고,

상기 자원 할당 정보에 기반하여 상기 복수의 단말에게 자원이 할당되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 복수의 큐비트의 개수는,

상기 복수의 단말의 수와 상기 사용 가능한 자원의 수를 곱한 값인 것을 특징으로 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 중첩된 양자 상태에서 상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 확인되는 조건을 만족하는 적어도 하나의 제1 양자 상태를 선택하고, 제1 알고리즘에 기반하여 상기 적어도 하나의 제1 양자 상태의 검출 확률이 증가되도록 제어하고, 상기 적어도 하나의 제1 양자 상태 중에서 상기 제3 정보에 상응하는 적어도 하나의 제2 양자 상태를 선택하고, 제2 알고리즘에 기반하여 상기 적어도 하나의 제2 양자 상태의 검출 확률이 증가되도록 제어하고, 상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘에 기반하여 상기 자원 할당 정보를 생성하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제1 알고리즘을 반복 수행하는 횟수 및 상기 제2 알고리즘을 반복 수행하는 횟수는 상기 제3 정보에 기반하여 결정되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 자원 할당 정보가 상기 조건을 만족하는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 자원 할당 정보가 상기 조건을 만족하는 경우, 상기 자원 할당 정보와 상응하는 이득 값이 기설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 이득 값이 상기 기설정된 임계 값을 초과하는 경우, 상기 자원 할당 정보를 상기 기지국으로 전송하도록 상기 송수신부를 제어하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 자원 할당 정보가 상기 조건을 만족하지 않는 경우, 상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘을 반복하는 횟수가 최대 값에 도달했는지 여부를 확인하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘을 반복하는 횟수가 최대 반복 횟수에 도달한 경우, 상기 제1 정보, 상기 제2 정보, 또는 상기 제3 정보 중 적어도 하나에 대한 재전송 요청을 상기 기지국으로 전송하도록 상기 송수신부를 제어하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 20

제18항에 있어서,

상기 제1 알고리즘 및 상기 제2 알고리즘을 반복하는 횟수가 최대 횟수에 도달하지 않은 경우, 상기 제1 알고리즘의 반복 횟수가 증가되는 것을 특징으로 하는 장치.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 할당된 자원을 기반으로 하는 무선 통신 네트워크에서 유희 자원을 효율적으로 공유하기 위한 방법

[0001]

및 장치에 대한 것이다.

배경 기술

- [0002] 양자 컴퓨팅은 양자 상태에 기반한 새로운 계산 방식으로, 디지털 정보를 사용하는 기존 컴퓨터와는 다른 특성을 갖는다. 양자 알고리즘은 양자 컴퓨터에서 주어진 문제를 해결하기 위한 구체적인 양자 회로 구성 방법을 말한다. 양자 컴퓨팅에 사용되는 양자 상태는 수학적으로 복소 공간에 있는 벡터로 정보의 중첩이 가능하며, 기존 컴퓨팅보다 더 빠른 계산이 가능하다. 예를 들어, unsorted 데이터 베이스에서 특정 데이터를 찾을 때, 기존 컴퓨팅에서의 무작위 검색 방식보다 제공배 빨리 해결할 수 있다.
- [0003] 또한, 무선 통신 세대를 거듭하면서 발전한 과정을 돌아보면 음성, 멀티미디어, 데이터 등 주로 인간 대상의 서비스를 위한 기술이 개발되어 왔다. 5G (5th-generation) 통신 시스템 상용화 이후 폭발적인 증가 추세에 있는 커넥티드 기기들이 통신 네트워크에 연결될 것으로 전망되고 있다. 네트워크에 연결된 사물의 예로는 차량, 로봇, 드론, 가전제품, 디스플레이, 각종 인프라에 설치된 스마트 센서, 건설기계, 공장 장비 등이 있을 수 있다. 모바일 기기는 증강현실 안경, 가상현실 헤드셋, 홀로그램 기기 등 다양한 폼팩터로 진화할 것으로 예상된다. 6G (6th-generation) 시대에는 수천억 개의 기기 및 사물을 연결하여 다양한 서비스를 제공하기 위해, 개선된 6G 통신 시스템을 개발하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 이러한 이유로, 6G 통신 시스템은 5G 통신 이후 (Beyond 5G) 시스템이라 불리어지고 있다.
- [0004] 2030년쯤 실현될 것으로 예측되는 6G 통신 시스템에서 최대 전송 속도는 테라 (즉, 1,000기가) bps, 무선 지연 시간은 100마이크로초(μ sec)이다. 즉, 5G 통신 시스템 대비 6G 통신 시스템에서의 전송 속도는 50배 빨라지고 무선 지연시간은 10분의 1로 줄어든다.
- [0005] 이러한 높은 데이터 전송 속도 및 초저(ultra low) 지연시간을 달성하기 위해, 6G 통신 시스템은 테라헤르츠(terahertz) 대역 (예를 들어, 95기가헤르츠(95GHz)에서 3테라헤르츠(3THz)대역과 같은)에서의 구현이 고려되고 있다. 테라헤르츠 대역에서는 5G에서 도입된 밀리미터파(mmWave) 대역에 비해 더 심각한 경로손실 및 대기흡수 현상으로 인해서 신호 도달거리, 즉 커버리지를 보장할 수 있는 기술의 중요성이 더 커질 것으로 예상된다. 커버리지를 보장하기 위한 주요 기술로서 RF(radio frequency) 소자, 안테나, OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)보다 커버리지 측면에서 더 우수한 신규 파형(waveform), 빔포밍(beamforming) 및 거대 배열 다중 입출력(massive multiple-input and multiple-output (MIMO)), 전차원 다중입출력(full dimensional MIMO: FD-MIMO), 어레이 안테나(array antenna), 대규모 안테나(large scale antenna)와 같은 다중 안테나 전송 기술 등이 개발되어야 한다. 이 외에도 테라헤르츠 대역 신호의 커버리지를 개선하기 위해 메타물질(metamaterial) 기반 렌즈 및 안테나, OAM(orbital angular momentum)을 이용한 고차원 공간 다중화 기술, RIS(reconfigurable intelligent surface) 등 새로운 기술들이 논의되고 있다.
- [0006] 또한 주파수 효율 향상 및 시스템 네트워크 개선을 위해, 6G 통신 시스템에서는 상향링크(uplink)와 하향링크(downlink)가 동일 시간에 동일 주파수 자원을 동시에 활용하는 전이중화(full duplex) 기술, 위성(satellite) 및 HAPS(high-altitude platform stations)등을 통합적으로 활용하는 네트워크 기술, 이동 기지국 등을 지원하고 네트워크 운영 최적화 및 자동화 등을 가능하게 하는 네트워크 구조 혁신 기술, 스펙트럼 사용 예측에 기초한 충돌 회피를 통한 동적 주파수 공유 (dynamic spectrum sharing) 기술, AI (artificial intelligence)를 설계 단계에서부터 활용하고 종단간(end-to-end) AI 지원 기능을 내재화하여 시스템 최적화를 실현하는 AI 기반 통신 기술, 단말 연산 능력의 한계를 넘어서는 복잡도의 서비스를 초고성능 통신과 컴퓨팅 자원(mobile edge computing (MEC), 클라우드 등)을 활용하여 실현하는 차세대 분산 컴퓨팅 기술 등의 개발이 이루어지고 있다. 뿐만 아니라 6G 통신 시스템에서 이용될 새로운 프로토콜의 설계, 하드웨어 기반의 보안 환경의 구현 및 데이터의 안전 활용을 위한 메커니즘 개발 및 프라이버시 유지 방법에 관한 기술 개발을 통해 디바이스 간의 연결성을 더 강화하고, 네트워크를 더 최적화하고, 네트워크 엔티티의 소프트웨어화를 촉진하며, 무선 통신의 개방성을 높이려는 시도가 계속되고 있다.
- [0007] 이러한 6G 통신 시스템의 연구 및 개발로 인해, 사물 간의 연결뿐만 아니라 사람과사물 간의 연결까지 모두 포함하는 6G 통신 시스템의 초연결성(hyper-connectivity)을 통해 새로운 차원의 초연결 경험(the next hyper-connected experience)이 가능해질 것으로 기대된다. 구체적으로 6G 통신 시스템을 통해 초실감 확장 현실(truly immersive extended reality (XR)), 고정밀 모바일 홀로그램(high-fidelity mobile hologram), 디지털 복제(digital replica) 등의 서비스 제공이 가능할 것으로 전망된다. 또한 보안 및 신뢰도 증진을 통한 원격 수술(remote surgery), 산업 자동화(industrial automation) 및 비상 응답(emergency response)과 같은 서비스가

6G 통신 시스템을 통해 제공됨으로써 산업, 의료, 자동차, 가전 등 다양한 분야에서 응용될 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 통신 네트워크에서의 자원 할당을 수행할 때, 제안하는 선호도를 반영한 양자 알고리즘을 통해 해결하는 것이다. 자원 할당 문제라 함은 예를 들어 스펙트럼 공유 기법에서의 유희 대역 할당, 단말 간 직접 통신 (D2D: Device-to-Device) 시스템에서의 통신 자원 할당, 송신 신호 스케줄링 문제의 스케줄링 번호 할당 등을 의미할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 무선 통신 시스템의 장치의 방법에 있어서, 자원을 할당 받을 복수의 단말 간의 간섭과 관련된 제1 정보, 사용 가능한 자원의 수와 관련된 제2 정보, 및 상기 복수의 단말 각각에 대한 자원 할당 이득과 관련된 제3 정보를 기지국으로부터 수신하는 단계; 상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 복수의 큐비트를 선택하는 단계; 및 상기 제3 정보에 기반하여, 상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 자원 할당 정보를 생성하는 단계를 포함하고, 상기 자원 할당 정보에 기반하여 상기 복수의 단말에게 자원이 할당되는 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 무선 통신 시스템의 장치에 있어서, 송수신부; 및 자원을 할당 받을 복수의 단말 간의 간섭과 관련된 제1 정보, 사용 가능한 자원의 수와 관련된 제2 정보, 및 상기 복수의 단말 각각에 대한 자원 할당 이득과 관련된 제3 정보를 기지국으로부터 수신하도록 상기 송수신부를 제어하고, 상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 복수의 큐비트를 선택하고, 상기 제3 정보에 기반하여, 상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 자원 할당 정보를 생성하는 제어부를 포함하고, 상기 자원 할당 정보에 기반하여 상기 복수의 단말에게 자원이 할당되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면 선호도를 반영하는 GCP의 해를 양자계산센터를 이용하여 찾을 수 있다.

[0012] 또한 본 발명의 일 실시예에 따르면 선호도를 반영할 수 있는 양자 알고리즘을 동작하여 이득(Reward)을 증가시킬 수 있다.

[0013] 또한 본 발명의 일 실시예에 따르면 선호도를 반영하여 GCP의 해를 찾는 과정에서 모든 해를 탐색하여 찾는 고전 알고리즘 방법보다 제공배 낮은 복잡도를 갖고 해를 찾을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 전체적인 동작 구조를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당할 때, 송신부에서 수신부에 자원을 할당함으로써 얻을 수 있는 이득(Reward)을 요청하고 보고받는 과정을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당할 때, 송신부가 다수의 수신부로부터 자원 할당을 위한 정보를 수신하는 동작을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 자원 할당 문제를 GCP로 변환하는 과정을 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 자원 할당 문제를 GCP로 변환했을 때 GCP의 해와 양자 탐색 알고리즘의 동작 결과의 최종 양자 상태를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산하는 과정을 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때, 처음에 수행하는 양자 상태 준비(Initialization) 과정을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때, 조건부 오라클(Conditioned oracle) 연산 과정을 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때, 증폭(Amplitude amplification) 연산 과정을 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때, 위상 반전(Phase inversion) 연산 과정을 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때 위상 조건부 오라클 연산부터 위상 반전 연산까지의 알고리즘을 반복하는 동작을 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때 알고리즘을 반복한 이후 측정(measurement) 과정을 나타낸 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때 검산부의 동작 과정을 나타낸 도면이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따라 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 구현하기 위한 회로 구성의 예시를 도시한 도면이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따라 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 반복할 때 회로 설계의 예시를 도시한 도면이다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따라 신호도를 반영하는 자원 할당 방법을 도시한 시퀀스도이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따라 신호도를 반영하는 자원 할당 방법에서 기지국의 동작을 도시한 순서도이다.

도 18은 본 발명의 일 실시예에 따라 신호도를 반영하는 자원 할당 방법에서 양자계산장치의 동작을 도시한 순서도이다.

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국의 구조를 도시한 도면이다.

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자계산장치의 구조를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 명세서에서 실시 예를 설명함에 있어서 본 발명이 속하는 기술 분야에 익히 알려져 있고 본 발명과 직접적으로 관련이 없는 기술 내용에 대해서는 설명을 생략한다. 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 발명의 요지를 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.

[0016] 마찬가지로 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 개략적으로 도시되었다. 또한, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다. 각 도면에서 동일한 또는 대응하는 구성요소에는 동일한 참조 번호를 부여하였다.

[0017] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0018] 이 때, 처리 흐름도 도면들의 각 블록과 흐름도 도면들의 조합들은 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들에 의해 수행될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 범용 컴퓨터, 특수용 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 프로세서에 탑재될 수 있으므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 프로세서를 통해 수행되는 그 인스트럭션들이 흐름도 블록(들)에서 설명된 기능들을 수행하는 수단을 생성하게 된다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 특정 방식으로 기능을 구현하기 위해 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 지향할 수 있는 컴퓨터 이용 가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장되는 것도 가능하므로, 그 컴퓨터 이용가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장된 인스트럭션들은 흐름도 블록(들)에서 설명된 기능을 수행하는 인스트럭션 수단을 내포하는 제조 품목을 생산하는 것도 가능하다. 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에 탑재

되는 것도 가능하므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에서 일련의 동작 단계들이 수행되어 컴퓨터로 실행되는 프로세스를 생성해서 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 수행하는 인스트럭션들은 흐름도 블록(들)에서 설명된 기능들을 실행하기 위한 단계들을 제공하는 것도 가능하다.

[0019] 또한, 각 블록은 특정된 논리적 기능(들)을 실행하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 인스트럭션들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또, 몇 가지 대체 실행 예들에서는 블록들에서 언급된 기능들이 순서를 벗어나서 발생하는 것도 가능함을 주목해야 한다. 예컨대, 잇달아 도시되어 있는 두 개의 블록들은 사실 실질적으로 동시에 수행되는 것도 가능하고 또는 그 블록들이 때때로 해당하는 기능에 따라 역순으로 수행되는 것도 가능하다.

[0020] 이 때, 본 실시 예에서 사용되는 '~부'라는 용어는 소프트웨어 또는 FPGA또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, '~부'는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 '~부'는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. '~부'는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, 일 예로서 '~부'는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들, 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 '~부'들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 '~부'들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 '~부'들로 더 분리될 수 있다. 뿐만 아니라, 구성요소들 및 '~부'들은 디바이스 또는 보안 멀티미디어카드 내의 하나 또는 그 이상의 CPU들을 재생시키도록 구현될 수도 있다.

[0021] 양자 컴퓨팅에서 unsorted 데이터 베이스의 특정 데이터를 찾는 문제를 해결하는 양자 알고리즘에는 Quantum Search Algorithm(또는 Grover algorithm, 이하 “QSA” 라 칭하겠다.)이 있다. QSA는 양자 상태의 양자적 특성을 활용하여 무작위 검색 방식보다 제공배 더 빠르게 문제를 해결할 수 있다.

[0022] QSA의 방식은 unsorted 데이터 베이스의 데이터 사이즈의 수 이상의 양자 상태를 중첩하여, oracle을 통해 찾고자 하는 특정 데이터만 선택하여 위상을 반전한다. 위상이 반전된 특정 데이터의 확률을 증가시키고, 위상 반전과 확률 증가 과정을 반복하여 특정 데이터의 측정 확률을 높인다. QSA는 최종적으로, 특정 데이터의 확률이 높아진 양자 상태를 측정하여 특정 데이터를 검출하는 양자 알고리즘이다.

[0023] 특정 데이터는 중첩된 양자 상태로 존재하기 때문에, 측정을 하지 않고 실제로 외부에서 확인하는 것은 불가능하다. 그 이유는 양자적 특성과 연결되는데, 양자 상태는 측정하는 순간 중첩된 양자 상태들의 각각의 확률에 따라 특정 양자 상태로 붕괴된다. 즉, oracle을 통해 찾고자 하는 특정 데이터의 위상은 반전할 수 있지만, 찾고자 하는 데이터의 정보는 알 수 없기 때문에 확률을 높이는 과정을 통해 찾고자 하는 데이터를 찾을 수 있게 된다.

[0024] QSA에서 찾고자 하는 특정 데이터의 확률을 높일 때, 위상 반전과 확률 증가 과정의 반복 횟수가 알고리즘의 직접적인 복잡도와 연결된다. Unsorted 데이터 베이스의 데이터 사이즈에 따라 알고리즘의 반복 횟수가 바뀌게 되는데, unsorted 데이터 베이스의 데이터 사이즈를 N 이라 한다면 양자 알고리즘은 $O(\sqrt{N})$ 의 반복 복잡도를 갖는데, 기존 컴퓨팅에서 무작위 검색을 할 경우 $O(N)$ 의 복잡도를 갖게 되어, QSA보다 제공배 느리다.

[0025] 5G에 이어 6G 네트워크에서도 Carrier Aggregation(CA)의 인접 대역 할당, 스펙트럼 공유(Spectrum sharing), 스케줄링 기법 등 한정된 자원을 효율적으로 할당하는 기술이 꾸준히 연구되고 있다. 해당 기술의 핵심은 할당 대상(객체), 사용 가능한 자원, 각 자원의 이용 시 발생할 이득(대역의 throughput 등)을 정의하고, 인접 객체 간 간섭이 발생하지 않도록 자원을 할당하는 것이다.

[0026] 본 발명에서 주목한 방식은 자원 할당 문제를 Graph Theory로 기술하고 풀이하는 것으로, 해당 문제를 Graph Coloring Problem(이하 “GCP” 라 칭한다.)로 치환하고, 탐색 알고리즘을 사용하여 해를 구하는 방식에서 기초하였다.

[0027] GCP는 다수의 정점(Vertex)이 연결선(Edge)로 이어진 그림에서, 모든 정점을 한 가지 색으로 칠하되 선으로 이어진 정점은 반드시 다른 색으로 칠하는 문제이다. 이때 사용 가능한 색의 개수는 사전에 정해질 수 있고, 정점마다 어떤 색을 사용하는가에 따라 다른 이득(Reward)을 지니는 문제로 확장될 수 있다. 따라서 자원 할당 문제의 각 요소를 표 1과 같이 GCP의 요소로 대응하면, 해당 문제를 GCP로 치환할 수 있고 최적의 자원 할당 조합

은 GCP의 해(또는 색상 할당 조합)를 탐색하여 찾아낼 수 있다. 한편 본 발명에서 자원 할당 문제를 GCP로 치환한다는 것은 기술 및 이해의 편의를 위한 것으로 GCP의 탐색 알고리즘을 사용하여 자원 할당 문제를 해결한다는 의미이며 'graph', 'coloring' 과 같은 단어의 사전적 의미에 본 발명의 범위가 제한되는 것은 아니다.

표 1

자원 할당 문제의 구성요소	설명	GCP의 구성요소
통신 유닛, u_m	m 번째 자원 할당 객체(단말, 기지국)	-
통신 링크, l_i	i 번째 링크에서 한 쌍의 객체 u_n 와 u_m 이 송수신 시, $l_i = (u_n, u_m)$	Vertex, v_i
사용 가능 자원, s_p	p 번째 사용 가능한 자원	Color, c_p
인접 객체 간 간섭, $f_i(i, j, q)$	s_p 사용 시, $l_i = (u_n, u_m)$ 와 $l_j = (u_s, u_t)$ 의 간섭 여부 지표 s_p 사용 시, l_i 의 Unit 중 하나 이상이 l_j 의 Unit과 간섭 시, l_i 과 l_j 는 서로 간섭 $f_i(i, j, p) = \begin{cases} 1, & \text{if } l_i \text{ and } l_j \text{ interfere on } s_p \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	Edge, (v_i, v_j)
자원 사용 이득 (Reward), $r_{i,p}$	l_i 에서 자원 s_p 사용 시 얻게 되는 이득 (예: 대역 throughput, Channel Quality Indication(CQI) 등)	Reward, $r_{i,p}$

[0028]

[0029]

GCP의 해를 도출하는 과정에는 정점의 연결 여부를 확인할 수 있는 탐색 알고리즘이 필요하다. QSA는 oracle이 조건에 부합하는 데이터를 위상 반전시켜 표시할 수 있고, $O(\sqrt{N})$ 의 반복 복잡도로 해당 데이터를 검출할 수 있다.

[0030]

GCP를 QSA로 해결하는 과정을 요약하면, 총 5가지 단계로 나눌 수 있다. 5가지 단계는 각각 양자 상태 준비 단계, 오라클 단계, 증폭 단계, 반복 단계, 측정 단계로 나뉘어 질 수 있다.

[0031]

양자 상태 준비(Initialization) 단계에서는, 하나의 상태에 모든 정점 별 할당된 색상을 표기할 수 있는 큐비트(Qubit)를 부여한다. 예를 들어, 정점의 개수가 N_i 이고 사용 가능한 색의 개수가 N_c 라고 하면, 각 정점에서 사용할 색을 나타내는 N_c 개의 비트가 N_i 개 쌍이 존재하므로 총 $N_i \times N_c$ 개의 $|0\rangle$ 상태의 큐비트를 부여할 수 있다. $|0\rangle$ 상태의 큐비트는 Hadamard gate를 이용하여 연결 여부를 고려하지 않은 할당 조합이 모두 중첩된 양자 상태로 대응될 수 있다. 예를 들어, 정점의 개수가 3이고 사용 가능한 색의 개수가 2개라고 한다면, 총 6개의 큐비트를 할당할 수 있고, 일례로 정점 1, 2, 3에 대하여 각각 첫 번째, 두 번째, 첫 번째의 색을 칠하는 양자 상태는 $|10\ 01\ 10\rangle$ 과 같이 표현할 수 있다.

[0032]

오라클(Oracle) 단계에서는, 정점의 연결 여부를 확인하여 GCP의 해가 될 수 있는 상태를 표시한다. Oracle 단계에서 표시되는 양자 상태는 위상 반전 연산을 통해 위상이 반전된 양자상태를 의미할 수 있다. 이 경우 실제로 위상이 반전된 양자 상태는 알 수 없으며, 위상이 반전된 양자 상태의 개수 또한 알 수 없다.

[0033]

증폭(Amplitude amplification) 단계에서는, Hadamard gate연산과 $|0\rangle$ 상태의 위상을 반전하는 연산을 한 후에 다시 Hadamard gate 연산을 함으로써 오라클 단계에서 표시된 양자 상태의 확률을 증가시킬 수 있다.

[0034]

반복(Iteration) 단계에서는, 앞서 오라클 단계와 증폭 단계를 반복하여 확률이 증가된 양자 상태의 확률을 반복적으로 증가시킨다.

[0035]

측정(Measurement) 단계에서는, 반복 단계를 통해 얻은 양자 상태를 측정하여, 확률에 따라 측정된 양자상태의 인덱스를 얻는다. 양자 상태를 측정하여 얻은 최종 값(인덱스)은, 고전 정보(비트, Bit)로 환산되어 고전 알고리즘으로 얻은 해와 동일하게 활용될 수 있다. GCP를 QSA로 푸는 경우, 최종 값(인덱스)은 각 정점이 사용할 수 있는 색의 경우로 정답이 얻어지게 된다. 예를 들어, 정점의 개수가 3이고 사용 가능한 색의 개수가 2개라고 했을 때, (해석의 편의를 위해 반복 단계에서 충분한 반복횟수를 거쳐 정답인 양자 상태의 확률이 '1'이라고 가정한다.) 측정 단계에서 얻은 최종 값(인덱스)이 $10\ 01\ 10$ 이면, 최종적으로 측정된 양자 상태는 $|10\ 01\ 10\rangle$ 이고 정점 1, 2, 3에 대하여 각각 첫 번째, 두 번째, 첫 번째 색을 할당한다는 의미일 수 있다.

- [0036] 측정 단계 이후, 얻은 최종 값(인덱스)가 GCP의 조건을 만족하지 않는 '오답'이라고 판단되면 알고리즘을 재동작할 수 있다. 이때, 반복 단계에서 반복되는 횟수를 증가시켜 알고리즘을 재동작할 수 있다. 예를 들어 Boyer-Brassard-Hø (BBHT) algorithm을 통해 반복횟수를 증가시킬 수 있다.
- [0037] 한편, 측정되길 원하는 상태는 한 개가 아니라 다수일 수 있으며, 다수의 해는 동일한 확률을 갖도록 증폭된다. 따라서 일반적인 QSA를 사용하여 GCP를 풀이할 경우, 모든 GCP의 해의 측정 확률을 증폭시킬 수 있으며 측정 시, 모든 해는 동등한 확률로 검출된다. 다만 이러한 방식은 각 GCP 해의 이득을 고려하지 않고 동일한 확률을 갖기 때문에 이득을 고려한 GCP로 확장할 경우, 최적의 알고리즘으로 작용할 수 없다.
- [0038] 본 발명의 목적은 통신 네트워크에서의 자원 할당을 수행할 때, 제안하는 선호도를 반영한 양자 알고리즘을 통해 해결하는 것이다. 자원 할당 문제라 함은 예를 들어 스펙트럼 공유 기법에서의 유휴 대역 할당, 단말 간 직접 통신 (D2D: Device-to-Device) 시스템에서의 통신 자원 할당, 송신 신호 스케줄링 문제의 스케줄링 번호 할당 등을 의미할 수 있다.
- [0039] 본 발명에서 선호도란 각 자원을 할당 받는 대상이 가질 수 있는 이득(Reward) 또는 할당 받을 자원에 대한 요구 정도를 의미할 수 있다. 이때 이득(Reward)이란 자원을 할당 받는 대상(단말)이 할당된 자원 스펙트럼을 사용할 경우 얻을 수 있는 최대 대역폭 또는 throughput 등을 의미할 수 있다. 일반적인 QSA 방법에 의하면 자원 할당 시에 상기의 이득(Reward)을 반영할 수 없다. 본 발명에서 제안하는 알고리즘은 자원 할당 시에 상기의 이득(Reward)을 반영하여 통신 네트워크에서 보다 높은 이득(Reward)을 갖도록 자원을 할당할 수 있다. 할당 받을 자원에 대한 요구 정도는 통신 시스템에서의 기지국 또는 단말과 같이 자원 할당 과정에서 정보를 제공하고 이를 판단하고 결정하는 객체들이 특정한 자원에 대한 선호 정도일 수 있으며, 이는 이득(Reward)과 연결될 수 있다. 예를 들면, 특정 자원에 대한 요구 정도가 크다면 그 객체의 해당 자원에 대한 이득(Reward)을 크게 증가시킬 수 있다. 따라서, 하기에서는 기술의 편의를 위해 이득(Reward)을 중심으로 기술한다.
- [0040] 본 발명은 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당하는 문제가 GCP로 치환된다고 가정하였을 때, 자원을 할당함으로써 얻을 수 있는 이득(Reward)을 고려하여 선호도를 반영하는 GCP를 양자 알고리즘으로 해결하는 방법을 제시한다.
- [0041] 본 발명에서 언급하는 자원 할당 문제는 GCP로 치환될 수 있다. GCP로 치환될 때 요구되는 조건은 다음의 세 가지를 예로 들 수 있다.
- [0042] 1. 인접한 정점은 서로 다른 색을 칠한다.
- [0043] 2. 정점마다 사용 가능한 색의 개수는 사전에 결정된다.
- [0044] 3. 정점마다 어떤 색을 사용하는가에 따라 다른 이득(Reward)을 갖는다.
- [0045] 본 발명은 요구 조건에 의해 이득(Reward)이 최대가 되도록 하는 해를 구하는 것을 목표로 한다.
- [0046] 또한, 본 발명은 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당할 때, 전체 시스템을 고려하지 않고 일부 사용자에게 대해 새롭게 자원 할당이 필요한 사용자만을 고려할 수 있으며, 이미 자원이 할당된 사용자는 제외하고 그래프를 구성할 수 있다. 또는 이미 자원이 할당되어 있는 사용자에게 대해서도 전체 시스템 관점에서 이득(Reward)을 높이기 위해 새로운 자원할당이 필요한 경우에도 적용할 수 있다. 즉, 자원 할당 과정은 주기적으로 전체 자원을 대상으로 수행할 수도 있으며, 또는 비주기적/주기적으로 자원 할당이 필요한 단말의 요구 또는 기지국의 판단에 의해 수행될 수 있다.
- [0047] 본 발명에서는 양자 알고리즘을 사용하여 양자 계산을 수행하는 양자계산센터(또는 양자계산장치, 이하 혼용하기로 한다.)라는 개념을 도입한다. 양자 알고리즘을 동작하는 컴퓨팅 기술은 논리적 큐비트 연산 단계에서 양자 알고리즘을 동작할 수 있다고 가정한다. 또한 논리적 큐비트는 양자 알고리즘 전체를 동작하는 동안 상태가 붕괴되지 않음을 가정하고, 모든 큐비트가 2-큐비트 연산 이상의 연산을 할 수 있다고 가정한다. 양자계산센터는 통신 네트워크 시스템에서 별도의 물리적 엔티티로 구성될 수도 있고 기지국 내부에 포함될 수도 있다.
- [0048] 본 발명에서는 일반적인 QSA에서 solution의 선호도를 반영할 수 없는 문제를 개선하여 선호도를 반영할 수 있는 새로운 양자 알고리즘 기법을 제안한다. 본 발명에서 제안하는 과정에서 일반적인 QSA 과정의 오라클 연산 과정은 조건부 오라클(conditioned oracle) 연산 과정으로 치환되고, 위상 반전(phase inversion) 연산 과정이 추가될 수 있다. 또한 각각의 큐비트에 대해서 선호도를 반영할 수 있도록, 알고리즘의 입력 정보로 선호도 matrix를 필요로 할 수 있다.

[0049] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 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.

[0050] 도 1은 본 발명의 전체적인 동작 구조를 도시한 도면이다.

[0051] 도 1을 참조하면, 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당하는 문제를 GCP로 치환 가능할 때, 송신부(기지국)(101)에서 수신부(단말)(102~104)로부터 수신한 정보를 바탕으로 생성한 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보를 양자계산센터(105)에 전송할 수 있다. 양자계산센터(105)에선 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 동작하여 최종적으로 GCP의 해를 전송하거나 정보 재전송을 요청할 수 있다.

[0052] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당할 때, 송신부에서 수신부에 자원을 할당함으로써 얻을 수 있는 이득(Reward)을 요청하고 보고받는 과정을 나타낸 도면이다.

[0053] 도 2를 참조하면, 송신부(201)와 수신부(202)는 각각 통신 시스템에서의 기지국(203)과 단말(204)일 수 있으며, 이득(Reward)은 CQI, RI(Rank index) 등의 값의 조합을 이용할 수 있다. 예를 들어, 통신 시스템에서 기지국(203)은 단말(204)에게 Channel Quality Indication(CQI) 값을 요청하는 신호를 전송하고 단말(204)은 기지국(203)에게 CQI 값을 보고할 수 있다. 또는, 단말(204)은 기지국으로부터의 CQI 요청 없이도 주기적으로 CQI를 보고할 수도 있다.

[0054] CQI는 표 2에서와 같이 목표 블록에러율(block error rate; BLER)을 16개 값으로 구분하여 4bit(0~15)으로 표현되어 단말(204)이 기지국(203)에게 보고할 수 있다. 표 2은 3GPP TS38.214에 포함된 다수의 CQI table 중 일부 table을 예시한다. 본 발명에서는 표 2에 대한 CQI table을 예시하였지만, 이득(Reward)로 활용될 수 있는 CQI table은 표 2에 한정하지 않고 3GPP TS38.214에 포함된 CQI table도 사용할 수 있다.

표 2

CQI index	modulation	Code rate x 1024	Efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

[0056] 한편 도 2의 통신 시스템은 CR Network에서 Primary User가 사용하지 않는 유휴 대역을 Cognitive user에게 할당되, 네트워크의 간섭 조건을 만족하고 할당 이득을 극대화하는 Dynamic Spectrum Management(DSM) 방식을 예로 들 수 있다. 예를 들어 Cognitive Base Station(기지국)(이하 “Cognitive BS” 라 칭한다.)이 송신부(201)가 되어 수신부(202)인 Cognitive user에게 CQI 값을 요청하거나, Cognitive user가 주기적으로 Cognitive BS에게 CQI 값을 보고할 수 있다.

[0057] 이득(Reward) 보고를 위해 CQI와 같은 일반적인 통신 방법에서 사용하는 정보를 그대로 이용할 수 있지만, 사용자가 요청이 필요한 경우 해당 정보의 일부만 사용할 수도 있다. 예를 들어, CQI를 2비트로 단계를 낮추어 사용할 수 있다.

- [0058] 또는 예를 들어 단말(204)이 기지국(203)에게 보고하는 값은 CQI, RI와 같이 기존 신호를 이용하지 않고, 현재 사용중인 자원을 유지하고 싶다는 것에 대한 1-bit signal이 포함된 신호(이후 자원 지정 신호로 칭함)를 사용할 수 있다. 예를 들어 단말이 해당 자원에 맞추어 지속적인 동작을 수행하고자 하는 경우, 해당 자원을 계속 사용하고자 하는 요청을 1-bit signal을 전송할 수 있다.
- [0059] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당할 때, 송신부가 다수의 수신부로부터 자원 할당을 위한 정보를 수신하는 동작을 나타낸 도면이다.
- [0060] 도 3을 참조하면, 송신부(301)가 할당 받을 대상 및 간섭여부에 대한 정보를 바탕으로 Graph 정보를 생성할 수 있으며, 할당 가능한 자원에 대한 정보는 Color 정보로 생성할 수 있다. 또한, 송신부(301)는 수신부(302~306)로부터 이득(Reward) 값도 수신하여, 수신한 이득(Reward) 값을 바탕으로 송신부(301)에서 각 수신부(302~306)에 대한 Reward matrix r 를 생성할 수 있다. 생성된 Graph, Color 수, Reward matrix r 은 이후 양자계산센터에 전송되는 정보로 활용될 수 있다.
- [0061] 송신부(301)가 받은 이득(Reward) 값은 통신 시스템의 성능과 다항적인 증가 관계가 있을 수 있으며, 이득(Reward) 값은 모든 실수 값을 가질 수 있으며, 각각의 수신부(302~306)에서 전송한 이득(Reward) 값의 범위가 다를 경우, 송신부(301)는 이득(Reward) 값의 범위를 조정할 수 있다.
- [0062] 예를 들어, 도 3의 단말(308~311)에서 기지국(307)에 0~8까지의 CQI index 값을 전송하였고, 단말(312)에서 기지국(307)에 6~10까지의 CQI index 값을 전송하였다면, 기지국(307)에서 Reward matrix를 생성할 때, 단말(312)로부터 수신한 6~10의 CQI index 값은 4~8까지의 CQI index로 이득(Reward) 값의 범위를 조정하여 Reward matrix를 생성할 수 있다.
- [0063] 도 3의 일부 수신부만 이득(Reward) 값을 전송한 경우, 송신부는 해당 수신부에 대해서만 Reward matrix를 만들어 알고리즘을 수행할 수 있고, 또는 이득(Reward) 값을 전송하지 않은 수신부를 포함하여 Reward matrix를 구성하여 알고리즘을 수행할 수 있다. 이때, 이득(Reward) 값을 전송하지 않은 수신부에 대해서는 이전에 사용하던 이득(Reward) 값을 사용할 수 있다.
- [0064] 또는 만약 특정 수신부에서 이득(Reward) 값이 아닌 자원 지정 신호를 전송하는 경우, Reward matrix에서의 이득 값은 해당 자원을 유지하는 경우의 이득(Reward) 값이 최댓값으로 설정되거나 또는 일부 증가된 값으로 설정될 수 있고, 해당 자원을 유지하지 않는 경우의 이득(Reward) 값은 최솟값 또는 일부 감소된 값으로 설정될 수 있다.
- [0065] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 자원 할당 문제를 GCP로 변환하는 과정을 도시한 도면이다.
- [0066] 도 4를 참조하면, 자원 할당 문제를 GCP로 변환하는 과정은 사전에 할당 가능한 자원 탐색(401), 할당 받을 객체 및 간섭 여부 확인(402), 그래프로의 변환(403) 순으로 수행될 수 있다. 예를 들어, CR Network에서는 primary user (PU)가 일시적으로 사용하지 않는 대역 $\{s_1, s_2, s_3\}$ 을 탐색하여 할당 가능 자원으로 정의할 수 있다. 이는 앞선 GCP 조건에서 사용가능한 색의 수를 파악하기 위함이다. 통신 유닛이 서로 송수신하는 경우는 점선으로 표시하였으며, 실선은 서로 간섭이 발생할 수 있음을 의미한다. 도 4에서는 하나의 통신 링크가 하나의 스펙트럼을 할당 받기 때문에 그래프의 정점에 대응될 수 있다. 인접한 통신 링크의 간섭 여부(실선)는 정점의 연결선으로 치환되어 서로 다른 자원이 할당되도록 할 수 있다. 따라서 최종 그래프는 자원 할당 대상 및 간섭 여부가 그대로 반영된 형태를 가질 수 있다.
- [0067] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 자원 할당 문제를 GCP로 변환했을 때 GCP의 해와 양자 탐색 알고리즘의 동작 결과의 최종 양자 상태를 도시한 도면이다.
- [0068] 도 5를 참조하면, 자원 할당 문제를 GCP로 변환한 도면이 도시되어 있다(500). CR Network에서 사용 가능한 자원의 집합 $\{s_1, s_2, s_3\}$ 을 GCP에서 사용 가능한 색 $Available\ Colors = \{c_1, c_2, c_3\}$ 로 대응시킬 수 있다. 또한 자원을 할당 받을 객체(예를 들어, 단말)들을 GCP의 다수의 정점 $v_1, v_2, \dots, v_5$ 로 대응시키고 서로 간섭이 일어나는 인접 객체 간 간섭 상황은 각각의 정점을 연결하는 연결선(Edge)으로 대응시킬 수 있다. 여기서 모든 정점 $v_1, v_2, \dots, v_5$ 각각에 대하여 $Available\ Colors = \{c_1, c_2, c_3\}$ 중 어느 한 가지 색으로 칠하되, 연결선으로 이어진 정점은 다른 색으로 칠해지는 경우들이 GCP의 해이며, 양자 탐색 알고리즘(QSA)을 이용하여 상기 GCP의 해를 도출할 수 있다. 이후 도출된 GCP의 해와 상응하도록 자원을 할당함으로써 자원을 할당 받은 객체들 간에 서로 간섭이 일어나지 않도록

록 할 수 있다. 본 도면에서는 예시로 세 가지의 GCP의 해(510, 520, 530)만을 도시하였으나 이보다 더 많은 해를 가질 수 있다.

[0069] 한편 GCP의 해를 양자 탐색 알고리즘을 이용하여 도출할 때 GCP의 해가 아닌 양자 상태를 α , GCP의 해인 양자 상태를 β_1, β_2 로 지칭할 수 있다. 예를 들어 GCP의 해(510)의 양자 상태를 β_1 , GCP의 해(520)의 양자 상태를 β_2 라고 하면, 이때 GCP의 해(510)가 GCP의 해(520)보다 더 높은 선호도를 가진다고 가정한다. 즉 GCP의 해(510)에 상응하는 자원을 할당하는 경우, GCP의 해(520)에 상응하는 자원을 할당하는 경우보다 더 높은 이득(Reward)을 가진다. 일반적인 QSA를 사용하여 GCP를 풀이할 경우 모든 GCP의 해는 동일한 확률을 갖도록 증폭된다(540). 따라서 모든 GCP의 해가 동등한 확률로 검출되며 이러한 방식은 각 GCP의 해의 선호도를 고려할 수 없게 된다. 본 발명에서는 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘을 제안한다. 본 발명에서 제안하는 방법에 따르면 상기 예시에서 더 높은 선호도를 가지는 GCP의 해(510)의 양자 상태인 β_1 이 GCP의 해(520)의 양자 상태인 β_2 보다 더 높은 확률을 갖도록 증폭될 수 있다(550). 따라서 본 발명에 따른 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘을 이용하면 더 높은 이득(Reward)을 가지는 GCP의 해(510)가 도출될 확률이 증가하고 도출된 GCP의 해와 상응하도록 자원을 할당하여 일반적인 방법보다 개선된 통신 효율을 기대할 수 있다.

[0070] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산하는 과정을 나타내는 도면이다.

[0071] 도 6을 참조하면, 통신 네트워크에서 한정된 자원을 할당할 때, 송신부(또는 기지국, 이하 혼용하기로 한다.) (601)에서 Graph, Color, Reward matrix r 에 대한 정보를 양자계산센터(또는 양자계산장치, 이하 혼용하기로 한다.) (602)에 전송하고 해의 정보 또는 정보 재전송 요청을 받는 과정이 도시되어 있다.

[0072] 송신부(601)는 Graph, Color 수, Reward matrix r 에 대한 정보를 양자계산센터(602)에 전송할 수 있다. 이때, 송신부(601)에서 전송하는 Graph의 노드(정점) 수는 N_i 이고, Color 수는 N_c 라고 하면, Reward matrix r 은 $N_i \times N_c$ matrix이다. 이때, 양자계산센터(602)는 송신부(601) 내에 위치할 수 있고 또는 송신부(601)와는 별도로 위치할 수 있다. 양자계산센터(602)에서 전송되는 Reward matrix r 은 CQI 값 외에도 RI(Rank Index) 등 성능에 활용되는 특정 지표 값도 활용될 수 있다. 양자계산센터(602)는 물리적으로 한 곳에 모여있을 수 있고, 여러 개의 양자 알고리즘을 수행할 수 있는 장치들의 논리적인 모임일 수 있다. 즉, 물리적으로 분산된 형태의 장치들의 모임일 수 있다.

[0073] 양자계산센터(600)는 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 도출하고 도출된 해를 송신부(601)로 전송할 수 있다. 또는 특정 조건에 따라 양자계산센터(600)는 송신부(601)에게 Graph, Color, Reward matrix r 을 재전송할 것을 요청하거나 상기 양자 알고리즘을 다시 동작할 수 있다. 이후 송신부(기지국)(601)는 양자계산센터(600)로부터 수신한 GCP의 해(또는 선호도를 반영한 통신 네트워크의 사용 가능 자원 할당 정보)에 기반하여 단말에게 자원을 할당할 수 있다.

[0074] 본 발명에서 제안하는 양자계산센터(600)에서 선호도를 반영 양자 알고리즘의 세부 동작(700~1300)에 대한 설명은 하기 도 7 내지 도 13에서 기술한다.

[0075] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때, 처음에 수행하는 양자 상태 준비(Initialization) 과정을 나타낸 도면이다.

[0076] 도 7를 참조하면, 송신부로부터 수신한 Graph, Color 정보로부터 큐비트 생성부(701)를 통해 $|x\rangle$ 양자 상태를 생성할 수 있다. 큐비트 생성부(701)에선 Graph의 노드 개수 N_i 와 Color 수 N_c 을 바탕으로 $N_i \cdot N_c$ 개의 큐비트를 가진 $|0\rangle$ 양자 상태로 초기화하고, Hadamard gate를 통해 0부터 $2^{N_i \cdot N_c} - 1$ 까지 총 $2^{N_i \cdot N_c}$ 개의 양자상태가 중첩되어 있는 수학적 1과 같은 양자상태를 생성할 수 있다.

수학식 1

$$|x\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^{N_l N_c}}} \sum_0^{2^{N_l N_c}-1} |q\rangle$$

기술의 편의를 위하여 도 5에 도시된 예를 들면 $N_l = 5$, $N_c = 3$ 이고 따라서 총 15개의 큐비트를 하기의 수학식 2와 같이 부여하고 총 2^{15} 개의 양자상태가 중첩되어 있는 수학식 3과 같은 양자상태를 생성할 수 있다

수학식 2

$$|q_{11}q_{12}q_{13} q_{21}q_{22}q_{23} q_{31}q_{32}q_{33} q_{41}q_{42}q_{43} q_{51}q_{52}q_{53}\rangle = |000\ 000\ 000\ 000\ 000\rangle, \dots, |001\ 010\ 001\ 100\ 010\rangle, \dots, |111\ 111\ 111\ 111\ 111\rangle$$

수학식 3

$$|x\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^{15}}} |000\ 000\ 000\ 000\ 000\rangle + \dots + \frac{1}{\sqrt{2^{15}}} |001\ 010\ 001\ 100\ 010\rangle + \dots + \frac{1}{\sqrt{2^{15}}} |111\ 111\ 111\ 111\ 111\rangle$$

한편 도 7를 참조하면, r matrix는 k matrix 생성부(702)를 통해 k matrix로 변환될 수 있다. r matrix의 행렬 요소 r_{pq} ($p = 1 \dots N_l, q = 1 \dots N_c$)는 각 노드(정점)의 해당 Color에 대한 선호도를 의미할 수 있다. 다시 말해 통신 시스템의 자원 할당 대상 (예를 들어, 단말)이 해당 자원을 할당 받았을 때의 이득을 의미할 수 있다. 상기의 예시에서 r matrix는 일례로 하기의 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$r = \begin{bmatrix} 6 & 1 & 7 \\ 3 & 4 & 8 \\ 2 & 9 & 5 \\ 8 & 4 & 4 \\ 1 & 9 & 1 \end{bmatrix}$$

r matrix는 송신부(기지국)에서 단말로부터 수신한 채널 정보 (예를 들어 CQI)를 기반으로 생성하여 양자계산센터로 전송할 수 있고 또는 송신부(기지국)에서 전달한 정보를 바탕으로 양자계산센터에서 생성할 수도 있다.

r matrix에서 k matrix로의 변환 과정은 r matrix를 r' matrix로 변환하는 과정부터 진행될 수 있다. r matrix는 $f_{r'}(t)$ 와 quantization level R 에 의해 r' matrix로 변환될 수 있다. $\{f_{r'}(t)\}$ 와 quantization level R 은 사전에 설정될 수 있으며, $t = 1, 2, \dots, R$ 을 만족한다. r matrix에서 r_{pq} 는 가장 가까운 $f_{r'}(t)$ 값으로 대응되어 $r'_{pq} = f_{r'}(t)$ 로 변환될 수 있다. 예를 들어 r'_{pq} 는 하기의 수학식 5와 같이 계산될 수 있다.

수학식 5

$$r'_{pq} = f_{r'}\left(\underset{t}{\operatorname{argmin}}|f_{r'}(t) - r_{pq}|\right)$$

[0086] 예를 들어 $R=3$ 으로 quantization 되고 $\{f_{r'}(t)\} = \{2, 5, 8\}$ 인 것으로 가정하면 $f_{r'}(1) = 2, f_{r'}(2) = 5, f_{r'}(3) = 8$ 로 표현될 수 있다. 따라서 수학식 4에서 예시로 든 r matrix는 하기 수학식 6과 같은 r' matrix로 변환될 수 있다.

수학식 6

$$r' = \begin{bmatrix} 5 & 2 & 8 \\ 2 & 5 & 8 \\ 2 & 8 & 5 \\ 8 & 5 & 5 \\ 2 & 8 & 2 \end{bmatrix}$$

[0087]

[0088] 이후 변환된 r' matrix를 통해 k matrix를 생성할 수 있다. k matrix에서 k_{pq} 는 $r'_{pq} = f_{r'}(t)$ 을 만족하는 t 를 이용하여 $k_{pq} = t-1$ 로 결정될 수 있다.

[0089] 도 7를 참조하면, 송신부(501)에서 받은 r matrix 정보로부터, k matrix 생성부(702)를 통해 각 큐비트에 대해 신호도를 반영할 수 있는 k matrix를 생성한다. k matrix는 $N_t \times N_c$ matrix이고, k_{pq} 는 p 번째 수신부에서 q 번째 대역을 사용할 경우의 신호도를 반영하는 알고리즘의 반복횟수를 의미한다. 즉, $k_{pq} = 3$ 이라면, 0부터 $2^{N_t N_c} - 1$ 까지 총 $2^{N_t N_c}$ 개의 중첩된 양자 상태에서 p 번째 수신부(예를 들어, 단말)가 q 번째 대역을 사용할 때를 나타내는 양자 상태이면서, GCP 해에 포함되는 양자 상태들의 신호도 반영 횟수가 3임을 의미한다. 신호도 반영은 QSA에서 Oracle과 Amplitude amplification 과정을 통해 확률이 증가하는 것과 같이, 신호도 반영 대상이 된 양자 상태의 확률도 증가한다. 상기의 예시에 따르면 k matrix는 하기의 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

$$k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

[0090]

[0091] 한편 도 7을 참조하면 양자 상태 준비(700) 과정 이후의 각 양자 상태의 확률(710)이 도시되어 있다. 상술한 도 5의 설명과 마찬가지로 GCP의 해가 아닌 양자 상태를 α , GCP의 해인 양자 상태를 β_1, β_2 로 지칭하고 β_1 이 β_2 보다 더 높은 신호도를 가진다고 가정했을 때, 양자 상태 준비(700) 단계에서는 각 양자 상태의 확률이 동일하다.

[0092] 도 8는 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 신호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때, 조건부 오라클(Conditioned oracle) 연산 과정을 나타낸 도면이다.

[0093] 도 8를 참조하면, 조건부 오라클 과정(800)에서는 양자 상태 준비 과정을 통해 생성된 중첩된 양자 상태 $|x\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^{N_t N_c}}} \sum_0^{2^{N_t N_c}-1} |q\rangle$ 와 k matrix를 수신할 수 있다. 그 다음, 조건 판단부(801)에서 신호도를 반영하는 경우와 신호도를 반영하지 않는 경우를 나눌 수 있다. 신호도를 반영하지 않고 (조건부) 오라클(800), 증폭(900) 단계의 알고리즘을 반복하는 횟수를 i 라고하고(신호도를 반영하지 않는 경우 위상 반전(1000) 단계는 생략된다.), 신호도를 반영하여 조건부 오라클(800), 증폭(900), 위상 반전(1000) 단계의 알고리즘을 반복하는 횟수를 k_i 으로 나타낼 수 있다. 상기 i, k_i 을 결정하는 방법은 도 11에서 후술하기로 한다.

[0094] 만약 신호도를 반영하지 않는 반복횟수 i 번까지 알고리즘이 반복되지 않았다면, k matrix에 관계없이 조건 판단

부(801)에서 GCP의 해에 해당되는 양자 상태를 선택하여 위상 반전부(802)에 전달할 수 있다. 만약 선호도를 반영하지 않는 반복횟수 l 번까지 알고리즘이 반복되었다면, 조건 판단부(801)는 GCP의 해에 해당하는 양자 상태에서 선호도를 반영하는 k matrix를 고려하여 위상을 반전할 양자 상태를 선택하고 위상 반전부(802)에 전달할 수 있다. 이때 선호도 반영은 k matrix의 첫 번째 열(row)부터 N_l 번째 열(row)까지 순차적으로 수행될 수 있다. 그 다음, 위상 반전부(802)는 조건 판단부(801)로부터 받은 위상 반전 대상이 되는 양자 상태의 위상을 반전하여 $|x'\rangle$ 를 출력할 수 있다.

[0095] 한편 도 8을 참조하면 조건부 오라클(800) 과정 이후, 선호도를 반영하지 않는 경우의 각 양자 상태의 확률(810)과 선호도를 반영하는 경우의 각 양자 상태의 확률(820)이 도시되어있다. 선호도를 반영하지 않는 경우에는 β_1 , β_2 의 위상이 모두 반전되는 반면, 선호도를 반영하는 경우에는 β_1 이 β_2 보다 더 높은 선호도를 가진다고 가정했을 때 β_1 만 위상이 반전되고, β_2 는 GCP의 해임에도 불구하고 위상이 반전되지 않을 수 있다.

[0096] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 찾을 때, 증폭(Amplitude amplification) 연산 과정을 나타낸 도면이다.

[0097] 도 9를 참조하면, 증폭 연산 과정(900)은 증폭부(901)에서 하기의 수학적 8과 같이 조건부 오라클 연산 과정 이후 전달 받은 $|x'\rangle$ 에 Hadamard gate를 연산하고 $|0\rangle$ 양자 상태의 위상을 반전한 다음 다시 Hadamard gate를 연산하여 $|x''\rangle$ 을 출력하는 것으로 이루어질 수 있다.

수학적 8

[0098]
$$HI_0H|x'\rangle = |x''\rangle$$

[0099] 상기 수학적 8에서 I_0 는 $|0\rangle$ 양자 상태의 위상을 반전하는 연산자를 의미할 수 있다.

[0100] 한편 도 9를 참조하면 증폭 연산 과정(900) 이후, 선호도를 반영하지 않는 경우의 각 양자 상태의 확률(910)과 선호도를 반영하는 경우의 각 양자 상태의 확률(920)이 도시되어있다. 증폭 연산 과정(900)에서는 상기 수학적 8과 같이 β_1 , β_2 의 위상이 모두 반전된다. 따라서 선호도를 반영하지 않는 경우에는 β_1 , β_2 의 위상이 모두 양의 값을 가지는 반면, 선호도를 반영하는 경우에는 β_1 의 위상은 양의 값을 가지고 β_2 는 위상은 음의 값을 가지게 된다. 따라서 β_2 의 위상이 양의 값을 가지도록 위상을 다시 반전 시킬 필요가 있다.

[0101] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때, 위상 반전(Phase inversion) 연산 과정을 나타낸 도면이다.

[0102] 도 10을 참조하면, 위상 반전 연산(1000)에서 조건 판단부(1001)는 증폭 연산 과정(900)을 통해 얻은 양자 상태 $|x''\rangle$ 와 양자 상태 준비 과정(700)을 통해 얻은 k matrix를 이용하여, GCP의 해이지만 조건부 오라클 단계(800)에서 위상 반전되지 않았던 양자 상태를 선택한 후 위상 반전부(1002)로 전달할 수 있다. 그 다음, 위상 반전부(1002)는 조건 판단부(1001)로부터 전달 받은 위상 반전 대상이 되는 양자 상태의 위상을 반전하여 $|x'''\rangle$ 를 출력할 수 있다. 한편 선호도를 반영하지 않는 경우에는 조건부 오라클 단계(800)에서 GCP의 해에 해당하는 양자 상태는 모두 위상 반전되었으므로 증폭 연산(900) 단계 이후 모두 양의 값을 가지게 된다. 따라서 이때는 위상 반전 연산(1000) 단계는 생략된다.

[0103] 한편 도 10을 참조하면, 위상 반전 연산(1000) 이전의 각 양자 상태의 확률(1010)과 위상 반전 연산(1000) 이후의 각 양자 상태의 확률(1020)이 도시되어있다. 앞선 예시에서 서술한 바와 같이 선호도를 반영한 경우 증폭 연산(900) 이후 β_1 의 위상은 양의 값을 가지며, 조건부 오라클(800)에서 위상 반전되지 않았던 양자 상태 β_2 는 증폭 연산(900) 이후 β_2 의 위상이 음의 값을 가지게 된다. 따라서 위상 반전 연산(1000) 이후 β_2 의 위상은 양의 값을 가지게 된다. 위상 반전 연산(1000) 이후의 각 양자 상태의 확률(1020)을 참조하면 일반적인 양자 탐색 알고리즘과 달리, 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘을 이용하면 더 높은 선호도(이익)를 가지는 β_1 이 β_2 보다 더 높은 확률을 갖도록 증폭될 수 있다.

[0104] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때 조건부 오라클 연산부터 위상 반전 연산까지의 알고리즘을 반복하는 동작을 나타낸 도면이다.

[0105] 도 11을 참조하면, 선호도를 반영하지 않고 (조건부) 오라클(800), 증폭(900) 단계의 알고리즘을 반복하는 횟수를 i 라고하고(선호도를 반영하지 않는 경우 위상 반전(1000) 단계는 생략된다.), 선호도를 반영하여 조건부 오라클(800), 증폭(900), 위상 반전(1000) 단계의 알고리즘을 반복하는 횟수를 k_i 으로 나타낼 수 있다.

[0106] 이때 선호도를 반영하지 않는 최소 반복 횟수 $i_{\min}$ 를 구하고, 기존 알고리즘의 최대 반복 횟수는 $\sqrt{N}$ 임이 알려져 있으므로, $i_{\min} \leq i < \sqrt{N}$ 를 만족하는 i 를 선택할 수 있다. 따라서 선호도를 반영하지 않고 (조건부) 오라클(800), 증폭(900) 단계의 알고리즘을 i 번 반복할 수 있다. $i_{\min}$ 은 k matrix를 이용하여 하기의 수학식 9와 같이 계산될 수 있다.

수학식 9

$$i_{\min} = \sum_{p=1}^{N_l} \left(\max_q k_{pq} - \min_q k_{pq} \right)$$

[0108] 또한 선호도를 반영하는 알고리즘 반복 횟수 k_l 은 k matrix로부터 하기의 수학식 10과 같이 계산될 수 있다.

수학식 10

$$k_l = \sum_{p=1}^{N_l} \max_q k_{pq}$$

[0110] 이하에서는 상술한 $N_l = 5$, $N_e = 3$ 인 경우의 예시를 들어 조건부 오라클 연산부터 위상 반전 연산까지의 알고리즘을 반복하는 과정(1100)을 설명한다.

[0111] k matrix가 상기의 수학식 7과 같이 계산된 경우, $i_{\min}$ 은 하기의 수학식 11과 같이 구할 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned} i_{\min} &= \left(\max_q k_{1q} - \min_q k_{1q} \right) + \left(\max_q k_{2q} - \min_q k_{2q} \right) + \left(\max_q k_{3q} - \min_q k_{3q} \right) + \left(\max_q k_{4q} - \min_q k_{4q} \right) \\ &\quad + \left(\max_q k_{5q} - \min_q k_{5q} \right) \\ &= (2 - 0) + (2 - 0) + (2 - 0) + (2 - 1) + (2 - 0) \\ &= 9 \end{aligned}$$

[0113] 따라서 선호도를 반영하지 않고 (조건부) 오라클(800), 증폭(900) 단계의 알고리즘을 최소 9번 반복하고 이후부터는 선호도를 반영하여 조건부 오라클(800), 증폭(900), 위상 반전(1000) 단계의 알고리즘을 k_i 번 반복할 수 있다. 마찬가지로 k matrix가 상기의 수학식 7과 같이 계산된 경우, k_l 은 하기의 수학식 12와 같이 구할 수 있다.

수학적 12

$$\begin{aligned} k_l &= \max_q k_{1q} + \max_q k_{2q} + \max_q k_{3q} + \max_q k_{4q} + \max_q k_{5q} \\ &= 2 + 2 + 2 + 2 + 2 \\ &= 10 \end{aligned}$$

[0114]

[0115]

한편 선호도 반영은 k matrix의 첫 번째 열(row)부터 l 번째 열(row)까지 순차적으로 수행될 수 있다. 따라서 k matrix가 수학적 7인 예시에서 첫 번째 열(row)는 $[1 \ 0 \ 2]$ 이므로 첫 번째로 선호도를 반영하여 알고리즘을 반복할 때, 조건부 오라클(800) 과정에서 조건 판단부(801)는 $|q_{11}q_{12}q_{13}\rangle = |100\rangle$ 을 포함하는 양자 상태와 $|q_{11}q_{12}q_{13}\rangle = |001\rangle$ 을 포함하는 양자 상태를 선택하고 위상 반전부(802)로 전달한 후 증폭(900), 위상 반전(1000) 단계를 차례로 적용할 수 있다. 다음으로, 두 번째로 선호도를 반영하여 알고리즘을 반복할 때는, 조건부 오라클(800) 과정에서 조건 판단부(801)는 $|q_{11}q_{12}q_{13}\rangle = |001\rangle$ 을 포함하는 양자 상태를 선택하고 위상 반전부(802)로 전달한 후 증폭(900), 위상 반전(1000) 단계를 차례로 적용할 수 있다. 이후 순차적으로 마찬가지로 방법을 적용하여 조건부 오라클(800), 증폭(900), 위상 반전(1000) 단계의 알고리즘을 k 번까지 반복할 수 있다. 따라서 알고리즘을 $i+k$ 번 반복한 결과, 상술한 예시에서는 GCP의 해 중 양자 상태 $|001\ 010\ 001\ 100\ 010\rangle$ 가 가장 큰 확률을 가지도록 증폭될 수 있다.

[0116]

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때 알고리즘을 반복한 이후 측정(measurement) 과정을 나타낸 도면이다.

[0117]

도 12를 참조하면, 상술한 방법으로 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 $i+k$ 번 반복한 이후 최종적으로 얻은 양자 상태 $|x_f\rangle$ 를 측정(1200) 과정에서 측정하여 하나의 인덱스 s 를 도출할 수 있다. 인덱스 s 는 $|x_f\rangle$ 의 각 양자 상태들에 대한 확률을 바탕으로 도출될 수 있다. 예를 들어 인덱스 s 는 고정 비트로 획득될 수 있다. 측정(1200)에 대한 자세한 과정은 양자 상태에 따라 다르며, 본 발명에서는 특정 양자 플랫폼을 가정하지 않는다.

[0118]

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따라 양자계산센터에서 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 이용하여 GCP의 해를 계산할 때 검산부의 동작 과정을 나타낸 도면이다.

[0119]

도 13을 참조하면, 검산부(1300)는 측정(1200) 과정에서 얻은 인덱스 s 와 알고리즘의 반복 횟수 $i+k$ 에 대해 알고리즘을 다시 동작하거나 중단할 수 있다.

[0120]

예를 들어 검산부(1300)는 인덱스 s 가 GCP의 해인지 여부를 판단할 수 있다(1301). 만약 인덱스 s 가 GCP의 해가 아닌 경우 알고리즘의 반복 횟수 $i+k_1 \geq \sqrt{N}$ 를 만족하는지 여부(최대 반복 횟수에 도달했는지 여부)를 판단할 수 있다(1302). 만약 $i+k_1 \geq \sqrt{N}$ 를 만족하지 않는 경우(최대 반복 횟수에 도달하지 않은 경우) 선호도를 반영하지 않는 반복횟수 i 를 증가시켜 알고리즘을 다시 동작할 수 있다. 이때 i 의 증가 방식은 예를 들어 BBHT algorithm을 따를 수 있다. 만약 $i+k_1 \geq \sqrt{N}$ 를 만족하는 경우(최대 반복 횟수에 도달한 경우)에는 알고리즘을 중단하고 송신부(기지국)에게 Graph, Color, Reward matrix 중 적어도 하나에 대한 정보의 재전송을 요청할 수 있다. 한편 인덱스 s 가 GCP의 해인지 여부를 판단(1301)한 결과 인덱스 s 가 GCP의 해인 경우, 인덱스 s 가 갖는 이득(reward)이 특정 임계값 이상인지 여부를 판단할 수 있다(1303). 만약 인덱스 s 가 갖는 이득(reward)이 특정 임계값 미만인 경우 k matrix를 변화하여 알고리즘을 다시 동작할 수 있다. 이때 k matrix를 변화하는 방식은 k matrix에 특정 자연수를 곱하는 방식을 사용할 수 있다. 만약 인덱스 s 가 갖는 이득(reward)이 특정 임계값 이상인 경우 송신부(기지국)에게 인덱스 s (또는 인덱스 s 에 상응하는 자원 할당 정보)를 전송할 수 있다.

[0121]

양자계산센터에서 송신부(기지국)에게 인덱스 s (또는 인덱스 s 에 상응하는 자원 할당 정보)를 전송한 경우, 송신부(기지국)은 수신된 정보에 기반하여 통신 시스템의 자원을 할당할 수 있다. 도 4를 참조하면 일례로 인덱스

s 가 (001 010 001 100 010)으로 도출된 경우, 기지국은 단말 $[u_1, u_2, u_3, u_4, u_5]$ 에 대하여 각각 순서대로 자원 $[s_3, s_2, s_3, s_1, s_2]$ 을 할당할 수 있다.

- [0122] 양자계산센터에서 송신부(기지국)에게 정보의 재전송을 요청한 경우, 송신부(기지국)은 Reward matrix를 구성하는데 참여한 단말에게 자원 할당 실패여부를 알려줄 수 있다. 또는 원하는 자원 할당을 받기까지 시도한 횟수를 고려하여 기지국이 Reward matrix를 구성하는데 참여한 단말 중 일부 단말에게만 재전송을 요청할 수 있다. 기지국은 재전송된 이득(Reward) 값을 원하는 자원 할당 시도 여부 등을 반영하여 Reward matrix를 구성할 수 있다. 재전송 요청을 받은 단말은 이전 이득(Reward) 값을 다시 보낼 수도 있고, 또는 변경된 이득(Reward) 값을 보낼 수 있다. 예를 들어, 단말 u_1 가 원하는 자원이 s_1, s_2 이었고, 처음에 자원 s_1 에 대한 이득(Reward) 값을 전송했었다면, 재전송 요청을 받은 후에는 자원 s_2 에 대한 이득(Reward) 값을 전송할 수 있다. 따라서, 단말이 기지국에 이득(Reward) 값을 전송하는 경우 이전 이득(Reward) 값을 그대로 사용하겠다는 신호를 포함할 수 있다. 예를 들어, 이득(Reward) 값을 2bit로 표현하는 경우 00, 01, 10의 이득(Reward) 값을 전송할 수 있고, 11은 이전 이득(Reward) 값을 사용하는 것을 지시할 수 있다.
- [0123] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따라 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 구현하기 위한 회로 구성의 예시를 도시한 도면이다.
- [0124] 도 14를 참조하면, 양자 상태 준비(Initialization)(1401) 동작을 위해 총 $N_i \times N_c$ 개의 $|0\rangle$ 상태의 큐비트를 부여할 수 있다. $|0\rangle$ 상태의 큐비트는 Hadamard gate를 이용하여 연결 여부를 고려하지 않은 할당 조합이 모두 중첩된 양자 상태로 대응될 수 있다. 다음으로, 조건부 오라클(Conditioned oracle)(1402) 동작을 위해 선호도 반영 여부를 고려하여 Z gate로 대상 양자 상태의 위상을 반전할 수 있다. 다음으로, 증폭(Amplitude amplification)(1403) 동작을 위해 Hadamard gate연산과 $|0\rangle$ 상태의 위상을 반전하는 연산을 수행한 후에 다시 Hadamard gate 연산을 수행할 수 있다. 다음으로, 위상 반전(Phase inversion)(1404) 동작을 위해 선호도 반영 여부를 고려하여 Z gate로 대상 양자 상태의 위상을 반전할 수 있다. 예를 들어 GCP의 해임에도 조건부 오라클(Conditioned oracle)(1402) 동작에서 반전되지 않았던 양자 상태의 위상을 반전할 수 있다. 이후 양자 상태를 측정(1405)하여 하나의 인덱스를 도출할 수 있다.
- [0125] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따라 선호도를 반영하는 양자 알고리즘을 반복할 때 회로 설계의 예시를 도시한 도면이다.
- [0126] 본 도면에서는 기술의 편의를 위해 $N_i = 3$, $N_c = 3$ 이고 선호도를 반영하지 않는 반복 횟수는 $i = 3$ 이고 k matrix는 $[1 \ 0 \ 1; 0 \ 0 \ 1; 0 \ 1 \ 0]$ 인 경우를 가정한다. 도 15를 참조하면, 양자 상태 준비(Initialization)(1510) 동작을 위해 총 9개의 $|0\rangle$ 상태의 큐비트를 부여할 수 있다. 선호도를 반영하지 않는 양자 알고리즘을 구현하는 Q operator(1520, 1530, 1540)는 일반적인 오라클(Oracle) 및 증폭(Amplitude amplification)단계를 수행할 수 있으며 총 3번 반복될 수 있다. 이후, r_{11}, r_{13} 의 선호도를 반영(1550)하는 조건부 오라클(1551), 증폭(1552), 위상 반전(1553)을 구현하는 회로 구성이 포함되고 다음으로 r_{23} 의 선호도를 반영(1560)하는 양자 알고리즘과 r_{32} 의 선호도를 반영(1570)하는 양자 알고리즘을 구현하는 회로 구성이 포함될 수 있다. 즉 선호도를 반영하지 않는 양자 알고리즘은 $k_i = 3$ 번 반복될 수 있다.
- [0127] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따라 선호도를 반영하는 자원 할당 방법을 도시한 시퀀스도이다.
- [0128] 기지국(1602)은 S1605 단계에서, 단말(1601)에게 채널 정보를 요청할 수 있다. 예를 들어 채널 정보는 단말(1601)에게 자원을 할당함으로써 얻을 수 있는 이득(Reward)을 나타내는 정보일 수 있다. 이때 이득(Reward)이란 자원을 할당 받는 대상(단말)이 할당된 자원 스펙트럼을 사용할 경우 얻을 수 있는 최대 대역폭 또는 throughput 등을 의미할 수 있다. 또는 예를 들어 기지국(1602)은 단말(1601)에게 CQI 값을 요청하는 정보를 전송할 수 있다.
- [0129] 단말(1601)은 S1610 단계에서, 기지국(1602)에게 요청 받은 채널 정보를 보고할 수 있다. 예를 들어 단말(1601)은 기지국(1602)에게 CQI 값을 전송할 수 있다. 또는 일 실시예에 따르면 단말(1601)은 주기적으로 CQI 값을 기지국(1602)으로 전송할 수도 있고, 이 경우 상기 S1605 단계는 생략될 수 있다.
- [0130] 기지국(1602)은 S1615 단계에서, 단말(1601)로부터 수신한 채널 정보에 기반하여 Graph 및 Color 정보와 선호도

를 반영하기 위한 Reward matrix 정보를 생성할 수 있다. 예를 들어, 기지국(1602)은 단말(1601)로부터 수신한 채널 정보에 기반하여 자원을 할당 받을 단말들을 다수의 정점(vertex)으로 대응시키고 간섭이 일어나는 단말 간에는 연결선(edge)으로 대응시켜 Graph 정보를 생성할 수 있다. 또한 기지국(1602)은 할당 가능한 자원에 기반하여 Color 정보로 생성할 수 있다. 이때 할당 가능한 자원의 수는 사용 가능한 Color의 수일 있다. 또한, 기지국(1602)은 각 단말(1601)에 대해 해당 자원을 할당했을 때 통신 이득을 나타내는 Reward matrix 정보를 생성할 수 있다.

- [0131] 기지국(1602)은 S1620 단계에서, 양자계산장치(1603)로 생성된 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보를 전송할 수 있다.
- [0132] 양자계산장치(1603)는 S1625 단계에서, 기지국(1602)으로부터 수신된 정보에 기반하여 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘을 동작하고 GCP의 해를 도출할 수 있다. 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘은 양자 상태 준비(Initialization), 조건부 오라클(Conditioned oracle), 증폭(Amplitude amplification), 위상 반전(Phase inversion), 반복(Iteration), 및 측정(Measurement) 과정을 포함할 수 있으며 구체적인 내용은 상술하였다.
- [0133] 양자계산장치(1603)는 S1630 단계에서, GCP에 해에 해당하는 자원 할당 정보를 전송할 수 있다. 또는 기지국(1602)에게 정보의 재전송을 요청할 수도 있다. 만약 기지국(1602)이 양자계산장치(1603)로부터 정보의 재전송을 요청 받은 경우, Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보 중 적어도 하나를 다시 생성하여 양자계산장치(1603)에게 전송할 수 있다.
- [0134] 기지국(1602)은 S1635 단계에서, 양자계산장치(1603)로부터 수신된 자원 할당 정보에 기반하여 단말(1601)에게 자원을 할당할 수 있다. 예를 들어 수신된 자원 할당 정보에 따라 어떤 단말에게 어떤 자원을 할당할지 결정할 수 있다.
- [0135] 기지국(1602)은 S1640 단계에서, 자원 할당을 위한 제어 정보 (예를 들어, downlink control information; DCI)를 단말(1601)에게 전송할 수 있다.
- [0136] 한편 시스템 상에서의 설정 및/또는 정의 등에 따라 상기 설명된 단계가 반드시 모두 포함되어야 하는 것은 아니며, 일부 단계는 생략될 수도 있다. 또한 편의를 위해 기지국과 양자계산장치를 별도의 엔티티로 기술하였으나, 하나의 물리적 엔티티에서 기지국과 양자계산장치의 동작이 수행될 수도 있다.
- [0137] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따라 선호도를 반영하는 자원 할당 방법에서 기지국의 동작을 도시한 순서도이다.
- [0138] 기지국은 S1705 단계에서, 단말로부터 수신한 채널 정보(예를 들어, CQI)에 기반하여 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보를 생성할 수 있다. 예를 들어, 기지국은 단말로부터 수신한 채널 정보에 기반하여 자원을 할당 받을 단말들을 다수의 정점(vertex)으로 대응시키고 간섭이 일어나는 단말 간에는 연결선(edge)으로 대응시켜 Graph 정보를 생성할 수 있다. 또한 기지국은 할당 가능한 자원에 기반하여 Color 정보로 생성할 수 있다. 이때 할당 가능한 자원의 수는 사용 가능한 Color의 수일 있다. 또한, 기지국은 각 단말에 대해 해당 자원을 할당했을 때 통신 이득을 나타내는 Reward matrix 정보를 생성할 수 있다.
- [0139] 기지국은 S1710 단계에서, 생성된 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보를 양자계산장치로 전송할 수 있다. 양자계산장치로 전송된 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보는 양자계산장치에서 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘에 사용될 수 있다.
- [0140] 기지국은 S1715 단계에서, 양자계산장치로부터 자원 할당 정보를 수신하거나 또는 양자계산장치로부터 정보 재전송 요청을 수신할 수 있다. 이때 자원 할당 정보는 양자계산장치에서 계산된 GCP의 해일 수 있으며 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘의 결과로 도출될 수 있다.
- [0141] 만약 양자계산장치로부터 자원 할당 정보를 수신한 경우, 기지국은 S1720 단계에서, 수신된 자원 할당 정보에 기반하여 단말에게 자원을 할당할 수 있다. 예를 들어 수신된 자원 할당 정보에 따라 어떤 단말에게 어떤 자원을 할당할지 결정할 수 있다.
- [0142] 또는 만약 양자계산장치로부터 정보 재전송 요청을 수신한 경우, 기지국은 S1725 단계에서, Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보 중 적어도 하나를 다시 생성하여 양자계산장치에게 전송할 수 있다.
- [0143] 한편 시스템 상에서의 설정 및/또는 정의 등에 따라 상기 설명된 단계가 반드시 모두 포함되어야 하는 것은 아

니며, 일부 단계는 생략될 수도 있다.

- [0144] 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따라 선호도를 반영하는 자원 할당 방법에서 양자계산장치의 동작을 도시한 순서도이다.
- [0145] 양자계산장치는 S1805 단계에서, Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보를 획득할 수 있다. 예를 들어 상기 정보는 기지국으로부터 수신될 수 있다.
- [0146] 양자계산장치는 S1810 단계에서, 획득한 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보에 기반하여 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘을 동작하고 GCP의 해를 도출할 수 있다. 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘은 양자 상태 준비(Initialization), 조건부 오라클(Conditioned oracle), 증폭(Amplification), 위상 반전(Phase inversion), 반복(Iteration), 및 측정(Measurement) 과정을 포함할 수 있으며 구체적인 내용은 상술하였다.
- [0147] 양자계산장치는 S1815 단계에서, 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘의 동작 결과 도출된 값이 GCP의 해인지 여부를 판단할 수 있다.
- [0148] 만약 도출된 값이 GCP의 해인 경우, 양자계산장치는 S1820 단계에서, 상기 GCP의 해에 해당하는 인덱스(또는 자원 할당 정보)의 이득 값이 기설정된 임계값을 초과하는지 여부를 판단할 수 있다. 예를 들어 이득 값은 상기 인덱스(또는 자원 할당 정보)에 따라 단말에게 자원을 할당할 경우 얻어지는 통신 효율을 의미할 수 있다.
- [0149] 만약 상기 GCP의 해에 해당하는 인덱스(또는 자원 할당 정보)의 이득 값이 기설정된 임계값을 초과하는 경우, 양자계산장치는 S1825 단계에서, 상기 GCP의 해에 해당하는 인덱스(또는 자원 할당 정보)를 기지국으로 전송할 수 있다.
- [0150] 한편, 만약 도출된 값이 GCP의 해가 아닌 경우, 양자계산장치는 S1830 단계에서, 알고리즘의 반복 횟수 $i + k_i \geq \sqrt{N}$ 를 만족하는지 여부(최대 반복 횟수에 도달했는지 여부)를 판단할 수 있다.
- [0151] 만약 $i + k_i \geq \sqrt{N}$ 를 만족하는 경우(최대 반복 횟수에 도달한 경우)에는, 양자계산장치는 S1835 단계에서, 기지국에게 Graph, Color, Reward matrix 중 적어도 하나에 대한 정보의 재전송을 요청할 수 있다.
- [0152] 만약 $i + k_i \geq \sqrt{N}$ 를 만족하지 않는 경우(최대 반복 횟수에 도달하지 않은 경우), 양자계산장치는 S1840 단계에서, 선호도를 반영하지 않는 반복횟수 i 를 증가시켜 알고리즘을 다시 동작할 수 있다.
- [0153] 한편, 만약 상기 GCP의 해에 해당하는 인덱스(또는 자원 할당 정보)의 이득 값이 기설정된 임계값을 초과하지 않는 경우, 양자계산장치는 S1845 단계에서, k matrix를 변화하여 알고리즘을 다시 동작할 수 있다. 이때 k matrix를 변화하는 방식은 k matrix에 특정 자연수를 곱하는 방식을 사용할 수 있다.
- [0154] 한편 시스템 상에서의 설정 및/또는 정의 등에 따라 상기 설명된 단계가 반드시 모두 포함되어야 하는 것은 아니며, 일부 단계는 생략될 수도 있다.
- [0155] 도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국의 구조를 도시한 도면이다.
- [0156] 도 19를 참고하면, 기지국은 송수신부 (1910), 제어부 (1920), 저장부 (1930)을 포함할 수 있다. 본 발명에서 제어부는, 회로 또는 어플리케이션 특정 통합 회로 또는 적어도 하나의 프로세서라고 정의될 수 있다.
- [0157] 송수신부 (1910)는 다른 네트워크 엔티티와 신호를 송수신할 수 있다. 예를 들어, 송수신부(1910)는 단말에 시스템 정보를 전송할 수 있으며, 동기 신호 또는 기준 신호를 전송할 수 있다. 또는 예를 들어, 송수신부(1910)는 단말에 채널 정보를 요청하는 신호를 전송하고 단말로부터 채널 정보를 수신할 수 있다. 또는 예를 들어, 송수신부(1910)는 양자계산장치와 신호를 송수신할 수 있다. 또는 예를 들어, 송수신부(1910)는 양자계산장치에게 Graph, Color, Reward matrix에 대한 정보를 전송하고 양자계산장치로부터 자원 할당과 관련된 정보를 수신할 수 있다.
- [0158] 제어부 (1920)은 본 발명에서 제안하는 실시예에 따른 기지국의 전반적인 동작을 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어부 (1920)는 상기에서 기술한 순서도에 따른 동작을 수행하도록 각 블록 간 신호 흐름을 제어할 수 있다. 또는 예를 들어, 제어부 (1920)는 단말로부터 수신한 채널 정보(CQI)에 기반하여 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보를 생성할 수 있다. 또한 양자계산장치로부터 자원 할당 정보가 수신된 경

우, 제어부 (1920)는 수신된 자원 할당 정보에 기반하여 단말에게 자원을 할당할 수 있다. 또는 예를 들어 제어부 (1920)는 수신된 자원 할당 정보에 따라 어떤 단말에게 어떤 자원을 할당할지 결정할 수 있다. 또는 양자계산장치로부터 정보 재전송 요청이 수신된 경우, 제어부 (1920)는 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보 중 적어도 하나를 다시 생성할 수 있다.

[0159] 저장부(1930)는 상기 송수신부 (1910)를 통해 송수신되는 정보 및 제어부 (1920)을 통해 생성되는 정보 중 적어도 하나를 저장할 수 있다.

[0160] 도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자계산장치의 구조를 도시한 도면이다.

[0161] 도 20를 참고하면, 양자계산장치는 송수신부 (2010), 제어부 (2020), 저장부 (2030)을 포함할 수 있다. 본 발명에서 제어부는, 회로 또는 어플리케이션 특정 통합 회로 또는 적어도 하나의 프로세서라고 정의될 수 있다.

[0162] 송수신부 (2010)는 다른 네트워크 엔티티와 신호를 송수신할 수 있다. 예를 들어, 송수신부(2010)는 기지국으로부터 Graph, Color, Reward matrix에 대한 정보를 수신할 수 있다. 또는 예를 들어, 송수신부(2010)는 기지국으로 자원 할당과 관련된 정보를 전송하거나 기지국으로 정보의 재전송 요청을 전송할 수 있다. 또는 예를 들어, 송수신부(2010)는 자원을 할당 받을 복수의 단말 간의 간섭과 관련된 제1 정보, 사용 가능한 자원의 수와 관련된 제2 정보, 및 상기 복수의 단말 각각에 대한 자원 할당 이득과 관련된 제3 정보를 기지국으로부터 수신할 수 있다.

[0163] 제어부 (2020)은 본 발명에서 제안하는 실시예에 따른 양자계산장치의 전반적인 동작을 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어부 (2020)는 상기에서 기술한 순서도에 따른 동작을 수행하도록 각 블록 간 신호 흐름을 제어할 수 있다. 또는 예를 들어, 제어부 (2020)는 Graph 및 Color 정보와 선호도를 반영하기 위한 Reward matrix 정보에 기반하여 선호도를 반영하는 양자 탐색 알고리즘을 동작하고 GCP의 해를 도출할 수 있다. 또는 예를 들어, 제어부 (2020)는 상기 제1 정보 및 상기 제2 정보에 기반하여 복수의 큐비트를 선택하고, 상기 제3 정보에 기반하여, 상기 복수의 큐비트로부터 도출되는 자원 할당 정보를 생성할 수 있다. 여기서, 상기 자원 할당 정보에 기반하여 상기 복수의 단말에게 자원이 할당될 수 있다.

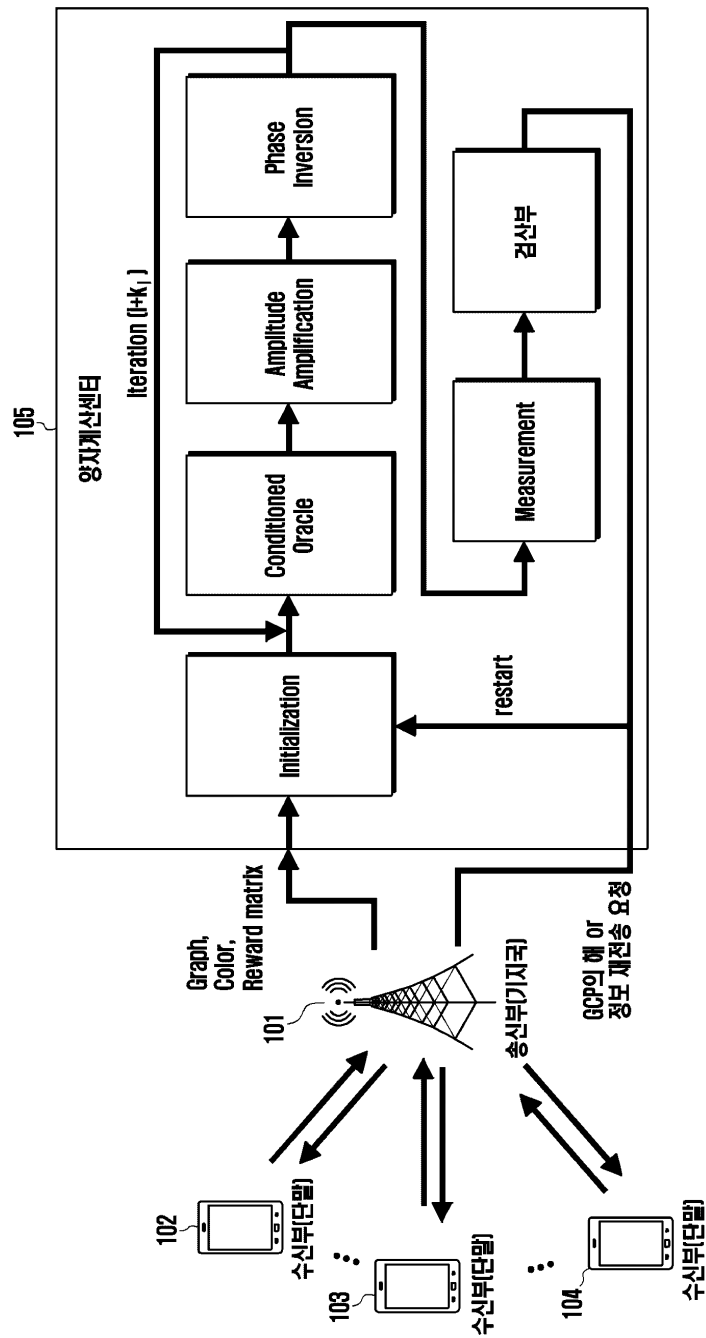
[0164] 저장부(2030)는 상기 송수신부 (2010)를 통해 송수신되는 정보 및 제어부 (2020)을 통해 생성되는 정보 중 적어도 하나를 저장할 수 있다.

[0165] 상기에서는 설명의 용이를 위해 하나의 단말과 하나의 기지국에 대한 하나의 링크가 하나의 자원에 대응되는 것을 고려하였지만, 하나의 노드를 여러 개의 링크를 포함하는 그룹으로 간주할 수 있다. 즉, 노드에 따라 여러 개의 링크를 포함함에 따라 여러 개의 자원을 할당 받을 수 있다. 전이중 통신(Full Duplex Radio)과 같이 상향/하향 자원을 같이 사용하는 경우에도 자원 간 간섭을 고려한 GCP로 변환하여 본 발명을 적용할 수 있다. 또한 편의를 위해 기지국과 양자계산장치를 별도의 엔티티로 기술하였으나, 하나의 물리적 엔티티에서 기지국과 양자계산장치의 동작이 수행될 수도 있다.

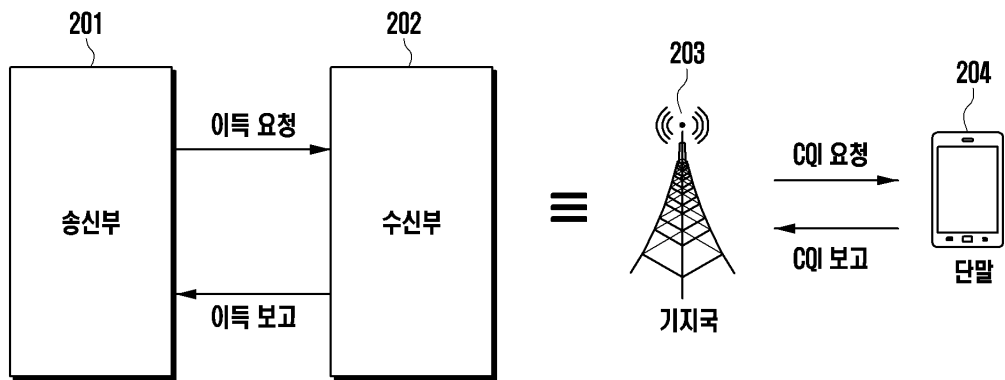
[0166] 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시예들은 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 본 발명의 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것일 뿐이며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

도면

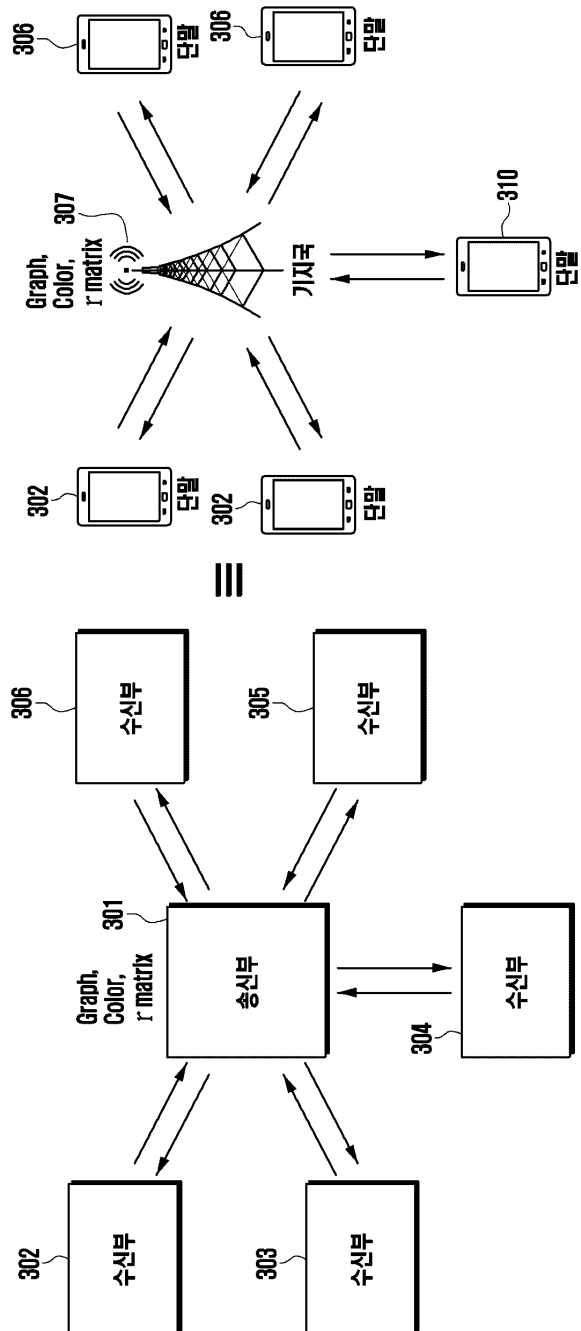
도면1



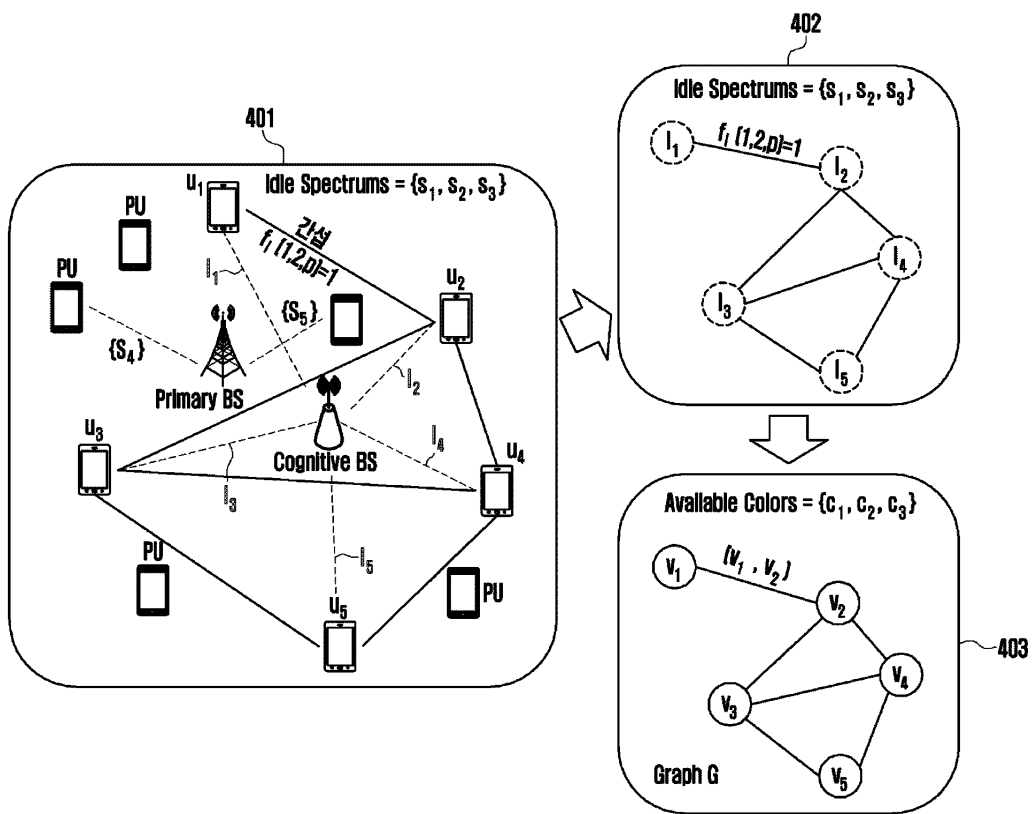
도면2



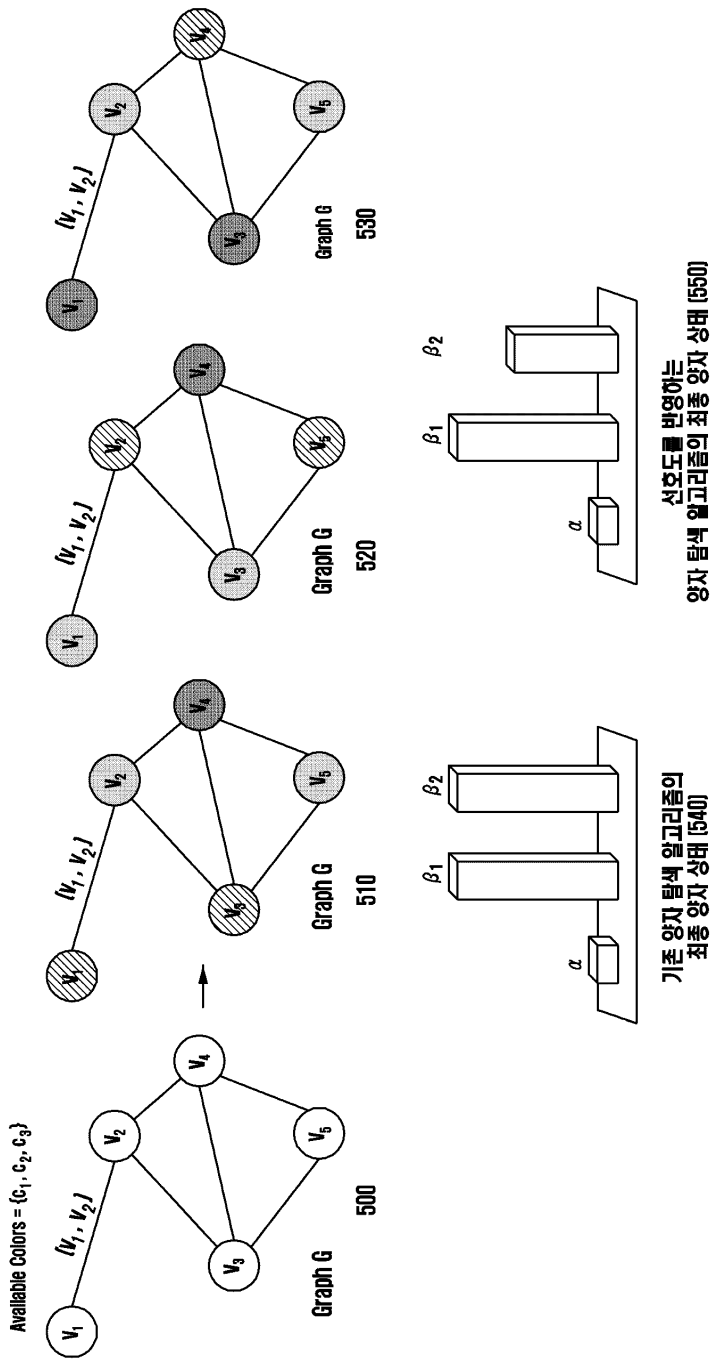
도면3



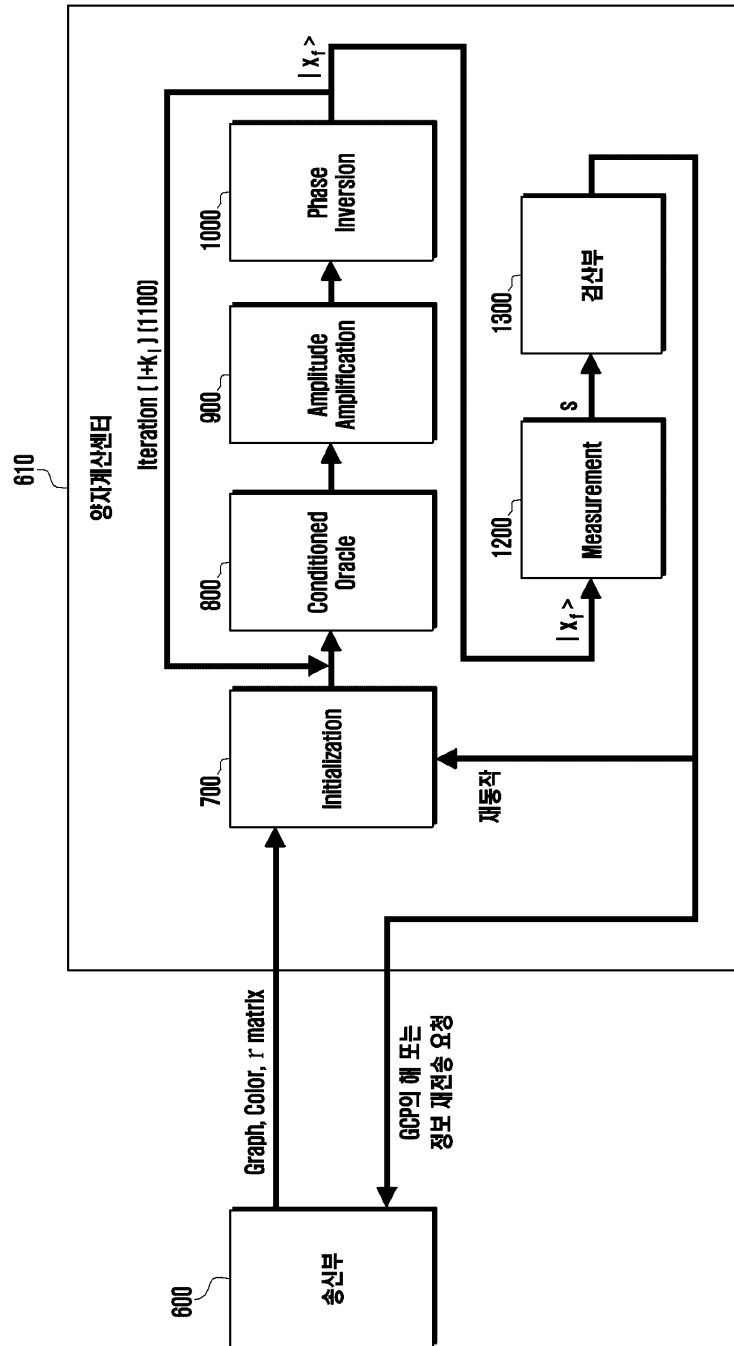
도면4



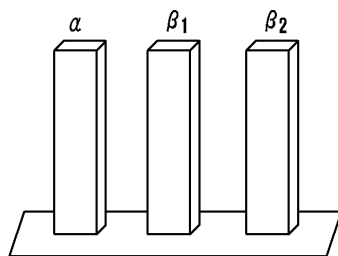
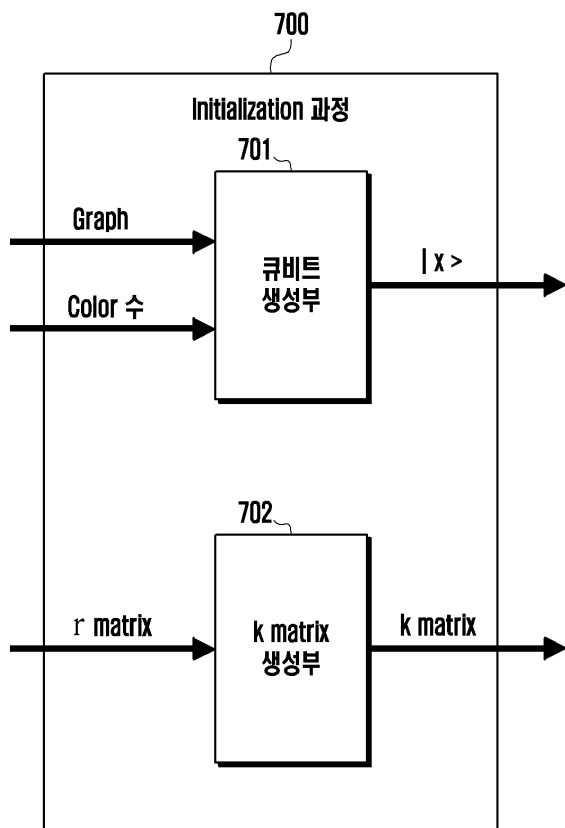
도면5



도면6

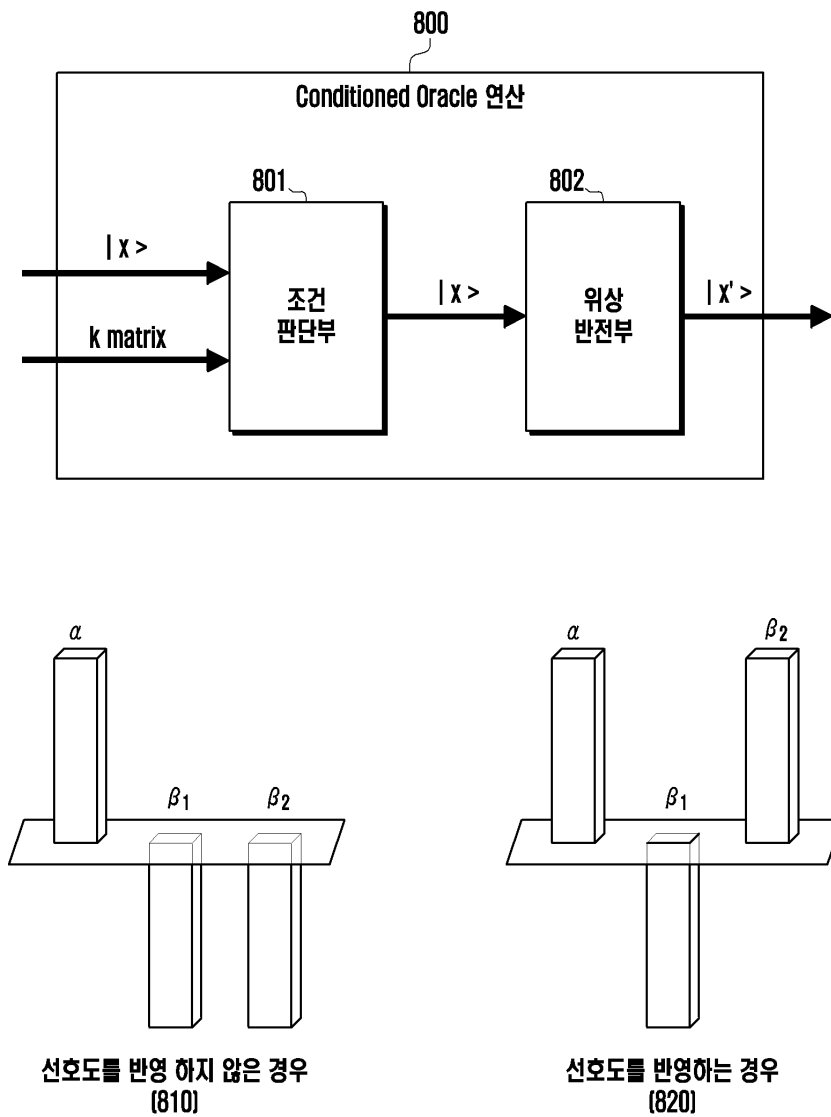


도면7

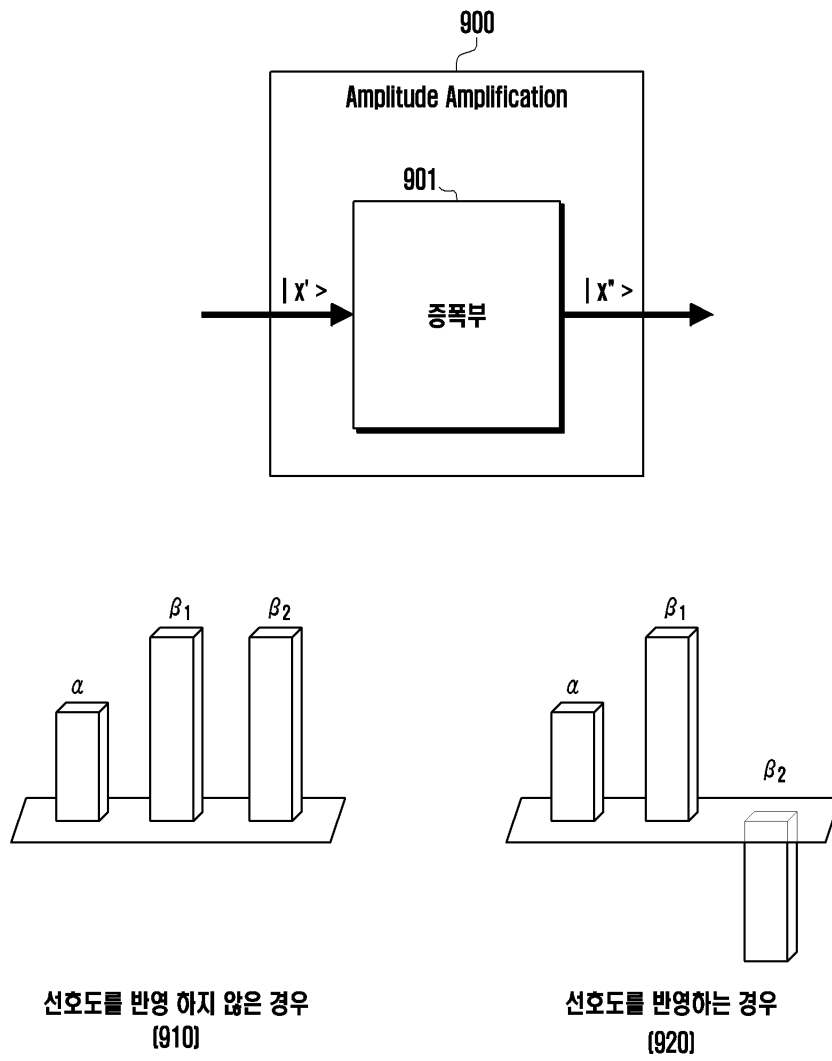


Initialization 단계의 양자 상태 [710]

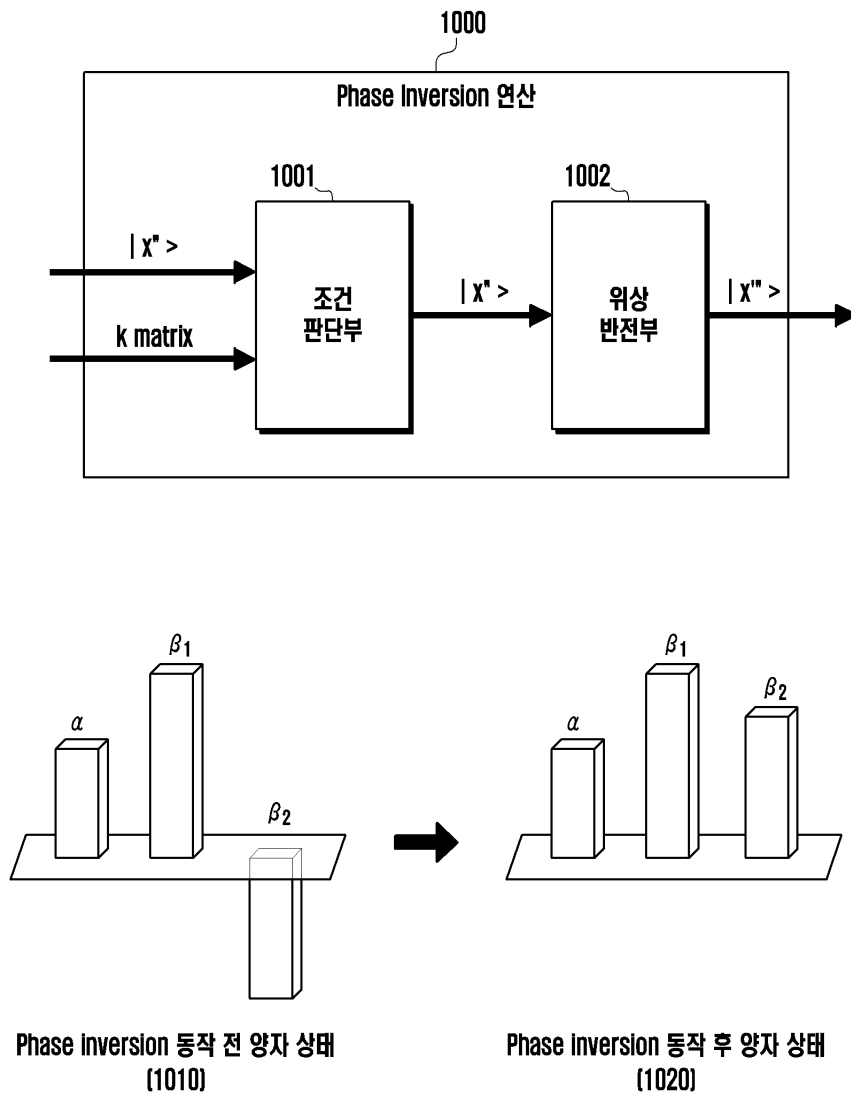
도면8



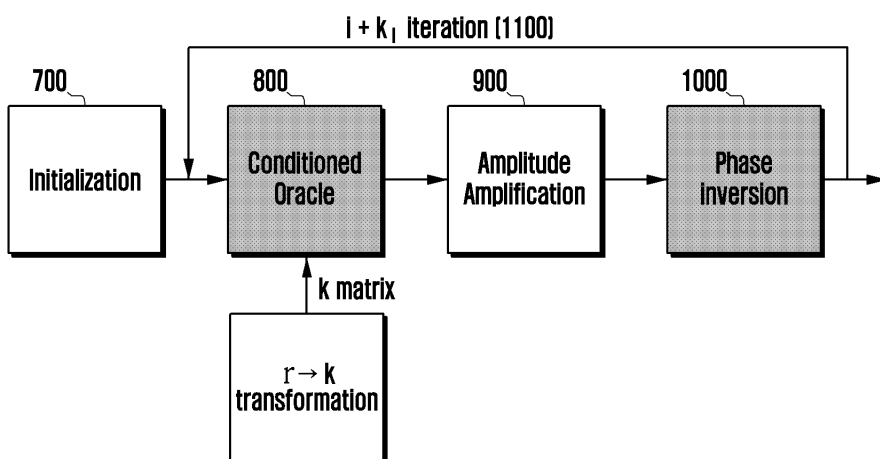
도면9



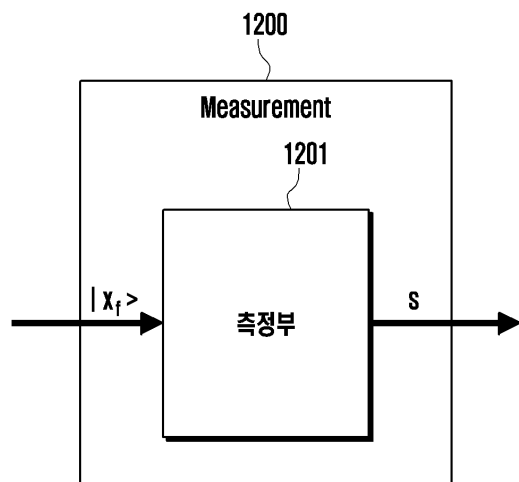
도면10



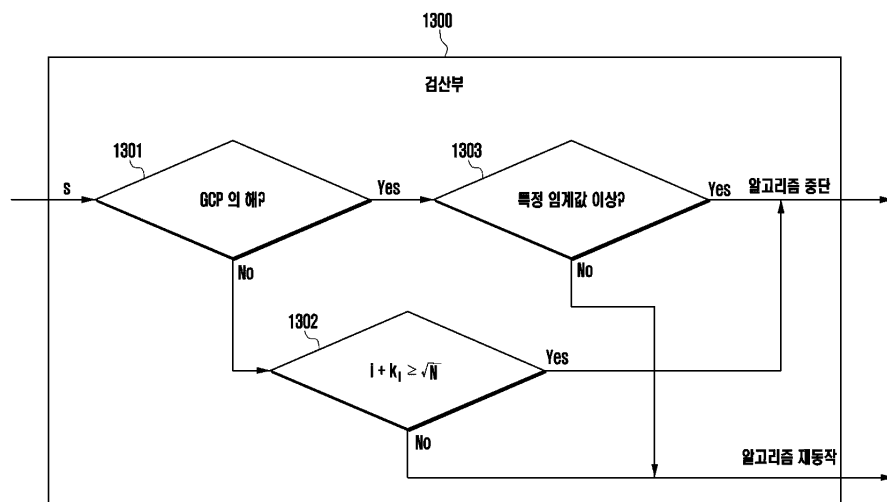
도면11



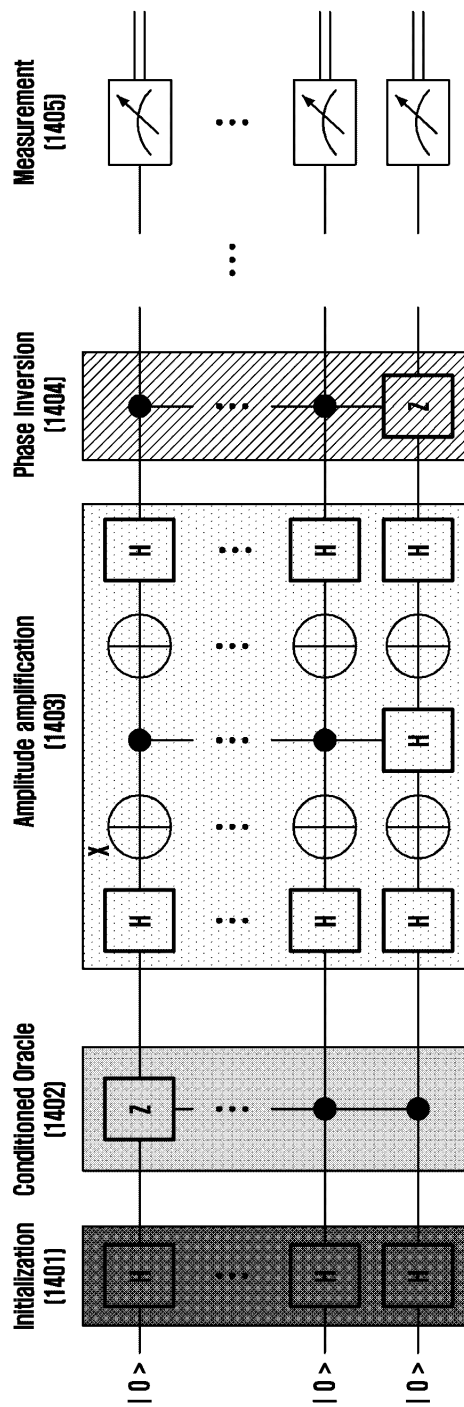
도면12



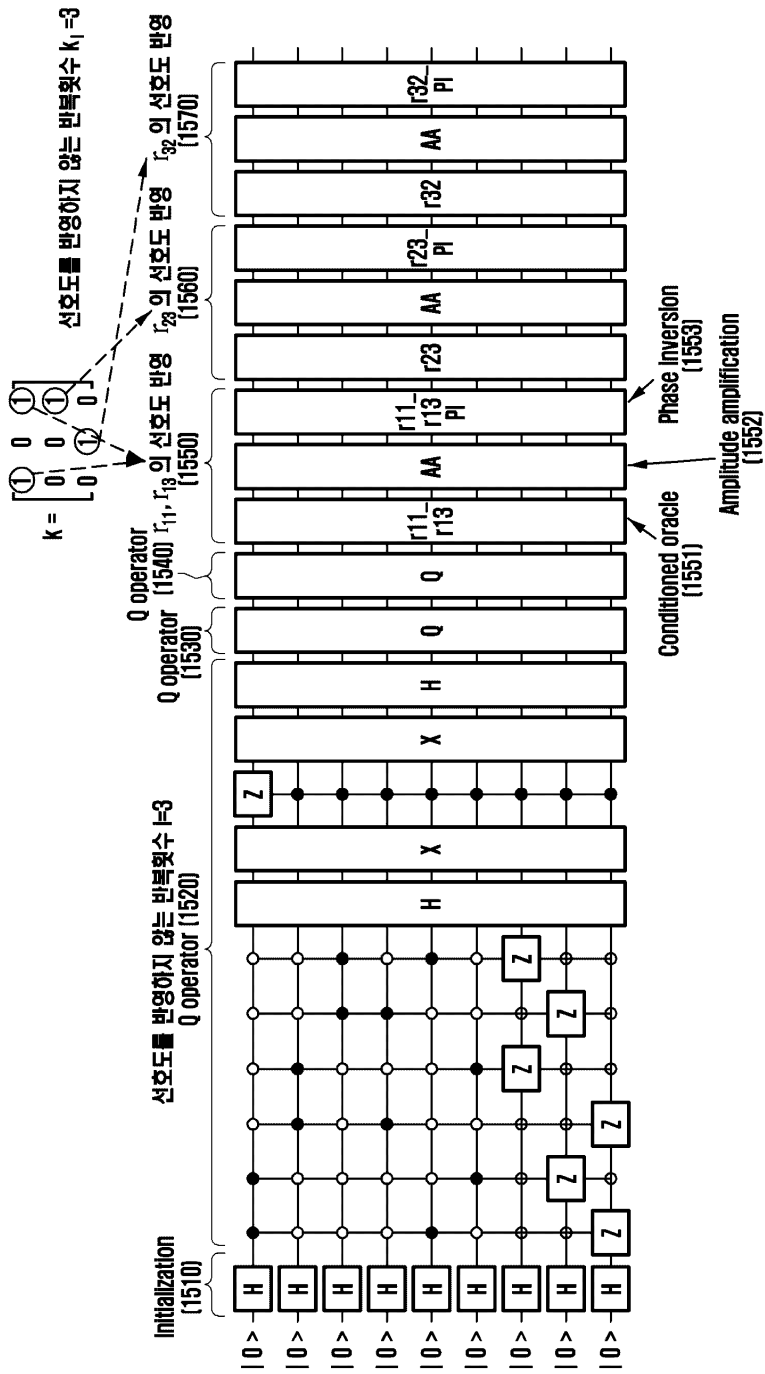
도면13



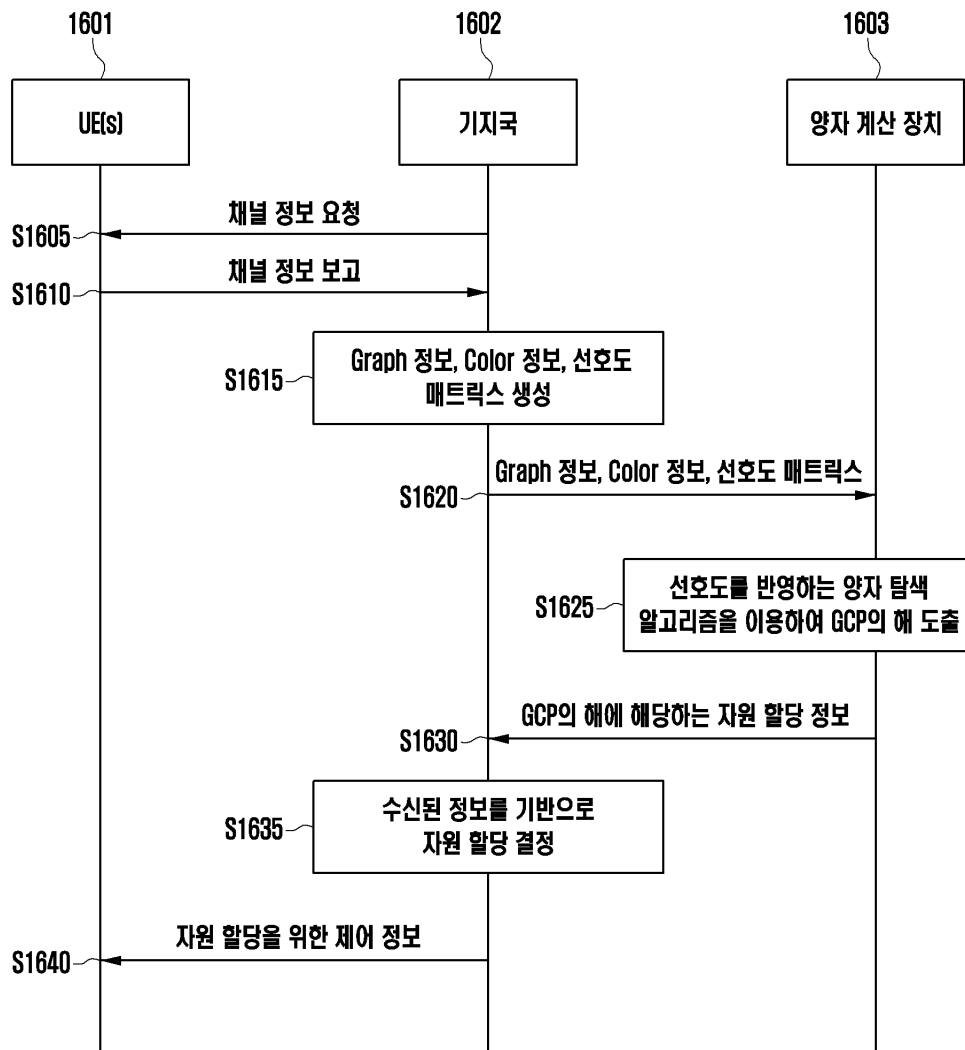
도면14



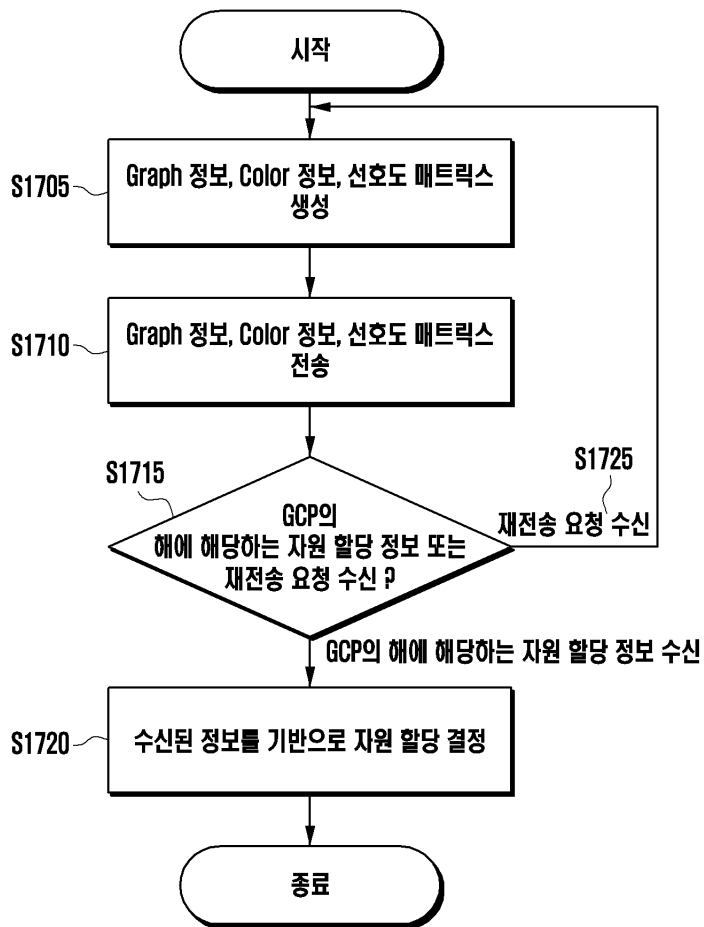
도면15



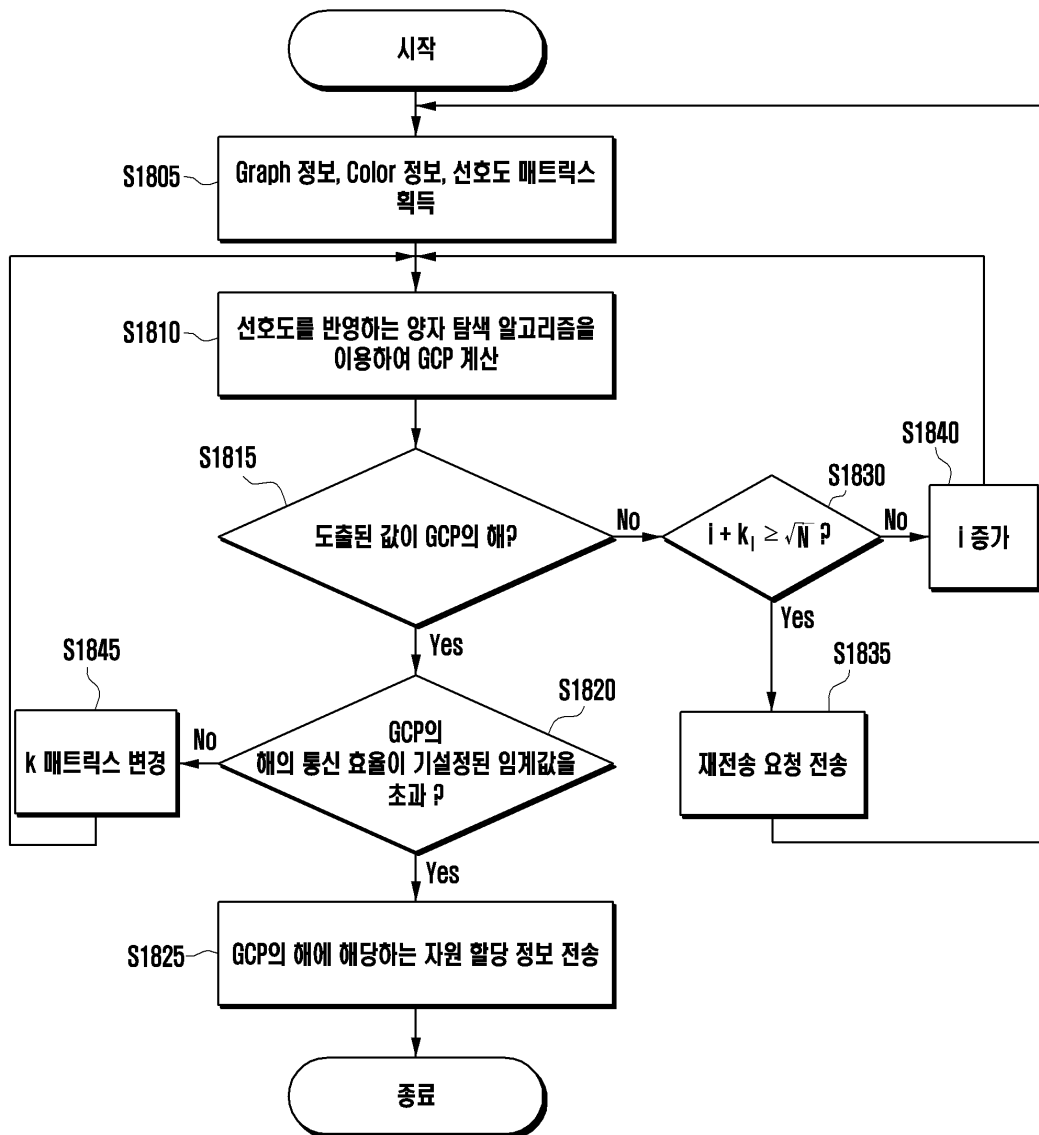
도면16



도면17



도면18



도면19



도면20

