



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0071808
(43) 공개일자 2025년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)	(71) 출원인
<i>G06N 10/60</i> (2022.01) <i>G06N 10/20</i> (2022.01)	고려대학교 산학협력단
<i>G06N 10/40</i> (2022.01) <i>B82Y 10/00</i> (2017.01)	서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(52) CPC특허분류	(72) 발명자
<i>G06N 10/60</i> (2025.05)	이상현
<i>G06N 10/20</i> (2025.05)	서울특별시 동대문구 답십리로56길 105, 104동 1302호(답십리동, 답십리파크자이)
(21) 출원번호 10-2024-0048881	이옥진
(22) 출원일자 2024년04월11일	경기도 과천시 회망4길 37-19 (중앙동)
심사청구일자 2024년04월11일	(뒷면에 계속)
(30) 우선권주장	(74) 대리인
1020230157779 2023년11월15일 대한민국(KR)	송인호, 윤형근, 최관락

전체 청구항 수 : 총 8 항

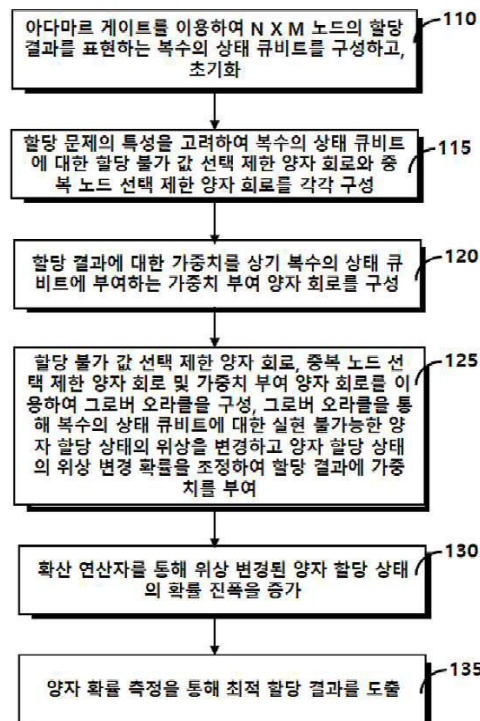
(54) 발명의 명칭 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법 및 그 장치

(57) 요약

양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법 및 그 장치가 개시된다. 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법은 (a) 아다마르 게이트를 이용하여 $N \times M$ 노드간의 할당 문제에 대한 할당 결과를 나타내는 복수의 상태 큐비트를 구성하고, 상기 복수의 상태 큐비트를 초기화하는 단계; (b) 상기 할당 문제의 특성을 고려하여 상

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



기 복수의 상태 큐비트에 대한 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로와 중복 노드 선택 제한 양자 회로를 구성하는 단계; (c) 상기 할당 결과에 대한 가중치를 상기 복수의 상태 큐비트에 부여하는 가중치 부여 양자 회로를 구성하는 단계; 및 (d) 상기 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 상기 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 상기 가중치 부여 양자 회로를 이용하여 그로버 오라클을 구성하고, 상기 구성된 그로버 오라클을 통해 상기 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경하고 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 조정하여 가중치를 부여하는 단계를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06N 10/40 (2025.05)

B82Y 10/00 (2013.01)

(72) 발명자

황준영

서울특별시 강남구 삼성로 212, 22동 306호(대치동, 은마아파트)

장용훈

서울특별시 구로구 오리로 1102-10, 215동 902호(천왕동, 천왕연지타운2단지)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193094
과제번호	2021-0-00467-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	6G핵심기술개발
연구과제명	지능형 6G 무선 액세스 시스템
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 아다마르 게이트를 이용하여 $N \times M$ 노드간의 할당 문제에 대한 할당 결과를 나타내는 복수의 상태 큐비트를 구성하고, 상기 복수의 상태 큐비트를 초기화하는 단계;
- (b) 상기 할당 문제의 특성을 고려하여 상기 복수의 상태 큐비트에 대한 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로와 중복 노드 선택 제한 양자 회로를 구성하는 단계;
- (c) 상기 할당 결과에 대한 가중치를 상기 복수의 상태 큐비트에 부여하는 가중치 부여 양자 회로를 구성하는 단계; 및
- (d) 상기 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 상기 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 상기 가중치 부여 양자 회로를 이용하여 그로버 오라클을 구성하고, 상기 구성된 그로버 오라클을 통해 상기 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경하고 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 조정하여 가중치를 부여하는 단계를 포함하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 복수의 상태 큐비트를 초기화하는 단계는,

상기 복수의 상태 큐비트의 양자 할당 상태가 동일한 확률 진폭을 가지도록 중첩하는 단계인 것을 특징으로 하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 가중치 부여 양자 회로는 회전 Y 게이트를 이용하여 구성되되,

$\cos^2 \frac{\theta}{2}$ 가 할당 결과에 따른 가중치를 가지도록 상기 회전 Y 게이트의 각도가 설정되며, θ 는 블로흐 구(Bloch sphere) 상에서의 각도인 것을 특징으로 하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 그로버 오라클은, 다중 제어 NOT 게이트를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 그로버 오라클은,

상기 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 상기 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 상기 가중치 부여 양자 회로

에 대한 역연산 게이트를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 복수의 상태 큐비트는 적어도 두개의 상태 큐비트가 큐비트 번들로서 각 노드의 할당 결과를 표현하되, 상기 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로는 상기 할당 문제의 특성을 기초로 각 큐비트 번들에 실현 불가능한 양자 상태를 가지는 경우 0을 출력하고,

상기 중복 노드 선택 제한 양자 회로는 큐비트 번들이 다른 큐비트 번들과 동일한 양자 상태를 가지는 경우 0을 출력하는 것을 특징으로 하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,

(e) 상기 그로버 오라클을 통해 위상 변경된 상태 큐비트의 양자 상태의 확률 진폭을 증가시키는 단계를 더 포함하되,

상기 (b) 단계 내지 상기 (e) 단계를 복수회 반복한 후 양자 확률 측정을 통해 최종 할당 결과를 도출하는 것을 특징으로 하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법.

청구항 8

아다마르 게이트를 이용하여 $N \times M$ 노드간의 할당 문제에 대한 할당 결과를 나타내는 복수의 상태 큐비트를 구성하고, 상기 복수의 상태 큐비트를 초기화하는 초기화 양자 회로; 및

상기 할당 문제의 특성을 고려하여 상기 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 선택을 제한하는 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 동일 집단의 적어도 두개의 서로 다른 노드에 상응하는 적어도 두개의 상태 큐비트들이 다른 집단의 동일한 노드의 할당 결과를 나타내는 타겟 상태 큐비트로의 매칭을 제한하는 중복 노드 선택 제한 양자 회로, 및 할당 결과에 대한 가중치를 상기 복수의 상태 큐비트에 부여하는 가중치 부여 양자 회로를 포함하여 구성되는 그로버 오라클 양자 회로를 포함하되,

상기 그로버 오라클 양자 회로는,

복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경하고 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 조정하여 할당 결과에 따른 상기 복수의 상태 큐비트 각각의 양자 할당 상태에 대해 가중치를 부여하되, 상기 부여된 가중치를 고려하여 실현 가능한 할당 결과가 입력된 상태 큐비트의 위상 반전 여부를 결정하는 것을 특징으로 하는 가중치 할당을 위한 그로버 양자 회로 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 양자 통신 및 컴퓨팅과 같은 양자 기술이 급속히 발전하고 있으며, 그 응용 방법에 관한 관심이 점점 커지고 있다. 양자 컴퓨팅은 고전적인 이진 비트와는 다른 큐비트 기반의 정보 처리 방식을 활용한다. 큐비트는 일

반적인 통념의 고전 역학과는 다르게 얽힘, 중첩과 같은 특이한 양자 역학의 성질을 가진다. 이러한 큐비트는 발생할 수 있는 다수의 상황을 확률적으로 중첩되도록 표현할 수 있다.

[0004] 양자 게이트를 이용하여 큐비트를 활용한 여러 연산을 수행할 수 있으며, 중첩된 상황들의 확률을 동시에 처리할 수 있다. 이로 인해, 양자 컴퓨팅은 기존 컴퓨팅보다 특정 응용 분야에서 더 우월한 연산 속도를 가지게 된다는 것이 증명되었다.

[0005] 대표적으로 양자 알고리즘은 주어진 데이터베이스에서 원하는 정보를 검색하는 탐색 문제를 고전적 알고리즘보다 낮은 계산 복잡도로 해결할 수 있으며, 그로버 탐색 알고리즘(GSA: Grover's search algorithm, 이하 GSA라 칭하기로 함)은 이러한 양자 탐색 알고리즘의 대표적 예시이다.

[0006] GSA는 N개의 데이터 가운데 원하는 데이터를 탐색하는 알고리즘이다. 고전 알고리즘과 양자 알고리즘인 GSA를 비교하자면, GSA는 고전 알고리즘에 비해 quadratic 하게 가속된 탐색을 가능하게 한다. 즉, 크기가 N인 데이터베이스에서 원하는 정보를 찾아내기 위해 고전적 알고리즘의 경우에는 $O(N)$ 의 계산 복잡도가 필요하지만, GSA의 경우 $O(\sqrt{N})$ 의 복잡도만이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 양자의 중첩, 얽힘 성질을 활용하여 종래보다 낮은 계산 복잡도를 가지는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것이다.

[0009] 또한, 본 발명은 할당 결과에 선호도를 부여하여 시스템 전체 할당 선호도를 최대화하는 할당 결과 도출이 가능한 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 측면에 따르면, 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법이 제공된다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, (a) 아다마르 게이트를 이용하여 $N \times M$ 노드간의 할당 문제에 대한 할당 결과를 나타내는 복수의 상태 큐비트를 구성하고, 상기 복수의 상태 큐비트를 초기화하는 단계; (b) 상기 할당 문제의 특성을 고려하여 상기 복수의 상태 큐비트에 대한 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로와 중복 노드 선택 제한 양자 회로를 구성하는 단계; (c) 상기 할당 결과에 대한 가중치를 상기 복수의 상태 큐비트에 부여하는 가중치 부여 양자 회로를 구성하는 단계; 및 (d) 상기 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 상기 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 상기 가중치 부여 양자 회로를 이용하여 그로버 오라클을 구성하고, 상기 구성된 그로버 오라클을 통해 상기 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경하고 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 조정하여 가중치를 부여하는 단계를 포함하는 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법이 제공될 수 있다.

[0013] 상기 복수의 상태 큐비트를 초기화하는 단계는, 상기 복수의 상태 큐비트의 양자 할당 상태가 동일한 확률 진폭을 가지도록 중첩하는 단계이다.

[0014] 상기 가중치 부여 양자 회로는 회전 Y 게이트를 이용하여 구성되며, $\cos^2 \frac{\theta}{2}$ 가 할당 결과에 따른 가중치를 가지도록 상기 회전 Y 게이트의 각도가 설정되며, θ 는 블로흐 구(Bloch sphere) 상에서의 각도이다.

[0015] 상기 그로버 오라클은, 다중 제어 NOT 게이트를 더 포함하여 구성될 수 있다.

[0016] 상기 그로버 오라클은, 상기 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 상기 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 상기 가중치 부여 양자 회로에 대한 역연산 게이트를 더 포함하여 구성될 수 있다.

[0017] 상기 복수의 상태 큐비트는 적어도 두개의 상태 큐비트가 큐비트 번들로서 각 노드의 할당 결과를 표현하되, 상기 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로는 상기 할당 문제의 특성을 기초로 각 큐비트 번들에 실현 불가능한 양자

상태를 가지는 경우 0을 출력하고, 상기 중복 노드 선택 제한 양자 회로는 큐비트 번들이 다른 큐비트 번들과 동일한 양자 상태를 가지는 경우 0을 출력할 수 있다.

[0018] (e) 상기 그로버 오라클을 통해 위상 변경된 상태 큐비트의 양자 상태의 확률 진폭을 증가시키는 단계를 더 포함하되, 상기 (b) 단계 내지 상기 (e) 단계를 $\lceil \pi/4\sqrt{p/q} \rceil$ 번 반복한 후 양자 확률 측정을 통해 최종 할당 결과를 도출할 수 있다. 여기서, $q = 2^{\min(M \log_2 M, N \log_2 M)}$ 는 전체 상태의 개수를 나타내고, p는 할당 가능 상태의 개수를 나타내며 q에서 할당 불가 상태를 제외한 상태의 개수로 해결하고자 하는 할당 문제에 따라 달라질 수 있다.

[0020] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 가중치 할당을 위한 양자 회로가 제공된다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 아다마르 게이트를 이용하여 $N \times M$ 노드간의 할당 문제에 대한 할당 결과를 나타내는 복수의 상태 큐비트를 구성하고, 상기 복수의 상태 큐비트를 초기화하는 초기화 양자 회로; 및 상기 할당 문제의 특성을 고려하여 상기 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 선택을 제한하는 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 동일 집단의 적어도 두개의 서로 다른 노드에 상응하는 적어도 두개의 상태 큐비트들이 다른 집단의 동일한 노드의 할당 결과를 나타내는 타겟 상태 큐비트로의 매칭을 제한하는 중복 노드 선택 제한 양자 회로, 및 할당 결과에 대한 가중치를 상기 복수의 상태 큐비트에 부여하는 가중치 부여 양자 회로를 포함하여 구성되는 그로버 오라클 양자 회로를 포함하되, 상기 그로버 오라클 양자 회로는, 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경하고 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 조정하여 할당 결과에 따른 상기 복수의 상태 큐비트 각각의 양자 할당 상태에 대해 가중치를 부여하되, 상기 부여된 가중치를 고려하여 실현 가능한 할당 결과가 입력된 상태 큐비트의 위상 반전 여부를 결정하는 것을 특징으로 하는 가중치 할당을 위한 그로버 양자 회로 장치가 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법 및 그 장치를 제공함으로써, 양자의 중첩, 얽힘 성질을 활용하여 종래보다 낮은 계산 복잡도로 선형 할당이 가능한 이점이 있다.

[0024] 또한, 본 발명은 할당 결과에 선호도를 부여하여 시스템 전체 할당 선호도를 최대화하는 할당 결과 도출이 가능케 할 수도 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 알고리즘 기반 가중치 할당 문제 해결 방법을 나타낸 순서도.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 3×3 선형 할당을 설명하기 위해 도시한 도면.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로를 도시한 도면.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 중복 노드 선택 제한 양자 회로를 도시한 도면.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 가중치 부여 양자 회로를 도시한 도면.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 가중치 할당 양자 회로도를 도시한 도면.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 확률 측정을 통한 할당 결과를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명

세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

- [0028] 본 발명은 선형 할당 최적화를 위한 양자 회로(알고리즘)에 관한 것으로, 서로 다른 복수의 집단(그룹)내 구성 요소들(편의상 이하에서는 노드라 칭하기로 함)간의 매칭 문제를 해결하기 위한 것이다. 여기서, 본 발명은 복수의 집단내 각 노드를 선형 할당함에 있어, 할당 결과에 가중치를 부여하여 시스템 전체 할당 선호도를 최대화할 수 있는 할당 결과 도출이 가능케 할 수 있다. 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 알고리즘을 이용한 가중치 할당 문제 해결 방법을 나타낸 순서도이다.
- [0031] 단계 110에서 그로버 양자 회로 장치(100)는 아다마르 게이트를 이용하여 $N \times M$ 노드의 할당 결과를 표현하는 복수의 상태 큐비트를 구성하고, 초기화한다.
- [0032] 본 발명의 일 실시예에서는 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 $N \times M$ 노드를 가지는 두 집단간의 일대일 할당 문제를 해결하는 방법에 대해 설명하기로 한다. 여기서, N , M 은 자연 수 일 수 있다.
- [0033] 도 2에 도시된 바와 같이, 3×3 노드로 구성된 두 집단에 대한 일대일 할당 문제를 가정하기로 한다. 편의상 제1 집단의 노드들을 노드 1, 노드 2, 노드 3라 칭하기로 하며, 제2 집단의 노드들을 노드 a, 노드 b, 노드 c라 칭하기로 한다.
- [0034] 도 2와 같이, 3×3 노드로 구성된 두 집단에 대한 할당 결과는 6개의 큐비트($q_0q_1q_2q_3q_4q_5$)로 나타낼 수 있다.
- [0035] 예를 들어, q_0q_1 은 노드 1의 상태를 나타내고, q_2q_3 는 노드 2의 상태를 나타내며, q_4q_5 는 노드 3의 상태를 나타낼 수 있다. 즉, 00은 노드 a, 01은 노드 b, 10은 노드 c를 나타낼 수 있다.
- [0036] 할당 결과가 010010라고 가정하면, 제1 집단의 노드 1은 제2 집단의 노드 b에 매칭되고, 노드 2와 노드 a가 매칭되며, 노드 3과 노드 c가 서로 매칭된 것을 표현할 수 있다.
- [0037] 따라서, 그로버 양자 회로 장치(100)는 두 집단을 구성하는 노드의 수에 비례하여 복수의 상태 큐비트를 구성할 수 있다.
- [0038] 예를 들어, 제1 집단의 구성 요소의 개수가 N 이고, 제2 집단의 구성 요소의 개수가 M 인 경우, 두 집단에 대한 모든 할당 결과를 나타내기 위해서 필요한 큐비트의 개수는 $\min(M[\log_2 N], N[\log_2 M])$ 이다.
- [0039] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 그로버 양자 회로 장치(100)는 아다마르 게이트를 이용하여 복수의 상태 큐비트를 초기화할 수 있다. 즉, 그로버 양자 회로 장치(100)는 아다마르 게이트를 이용하여 복수의 상태 큐비트의 양자 상태가 동일한 확률 진폭을 갖도록 중첩할 수 있다. 초기 입력값 $|0\rangle^{\otimes n}$ 에 아다마르 게이트를 적용하며 N 개의 큐비트가 생성 가능한 2^N 개 상태의 중첩 상태 $|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} |i\rangle$ 가 형성될 수 있다.
- [0040] 단계 115에서 그로버 양자 회로 장치(100)는 할당 문제의 특성을 고려하여 복수의 상태 큐비트에 대한 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로와 중복 노드 선택 제한 양자 회로를 각각 구성한다.
- [0041] 도 2의 일 예에서 두개의 상태 큐비트는 하나의 노드에 대한 선형 할당을 나타낼 수 있다. 예를 들어, q_0q_1 은 노드 1의 상태를 나타내고, q_2q_3 는 노드 2의 상태를 나타내며, q_4q_5 는 노드 3의 상태를 나타낸다고 가정하기로 한다. 00은 노드 a, 01은 노드 b, 10은 노드 c의 할당 결과를 나타내는 경우, 11은 실현 불가능한 할당 값이므로, 그로버 양자 회로 장치(100)는 해당 실현 불가능한 할당 결과인 11을 선택하지 않아야 한다.
- [0042] 따라서, 그로버 양자 회로 장치(100)는 해당 실현 불가능한 할당 값이 선택되지 않도록 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로를 구성할 수 있다. 그로버 양자 회로 장치(100)는 해당 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로를 통해 실현 불가능한 양자 상태(할당 결과)가 입력되는 경우 0을 출력할 수 있다.
- [0043] 도 3에는 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로의 일 예가 도시되어 있다. 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로는 할

당 문제의 특성에 기초하여 구성되되, X 게이트를 이용하여 구성될 수 있다.

- [0044] 본 발명의 일 실시예에 따른 그로버 양자 회로 장치(100)는 두 집단의 각 노드들간의 일대일 선행 할당을 최적화를 가정한다. 따라서, 그로버 양자 회로 장치(100)는 두 집단 내 노드간의 중복 할당을 제한하는 중복 노드 선택 제한 양자 회로를 구성한다.
- [0045] 중복 노드 선택 제한 양자 회로는 동일 집단내 서로 다른 복수의 노드가 다른 집단의 하나의 구성 요소(노드)를 선택하면 0을 출력할 수 있다.
- [0046] 도 4에는 중복 노드 선택 제한 양자 회로의 일 예가 도시되어 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 중복 노드 선택 제한 양자 회로는 X 게이트를 이용하여 구성될 수 있다.
- [0047] 이러한 상태 큐비트들에 대한 제한 조건인 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로와 중복 노드 선택 제한 양자 회로의 충족 여부는 보조 큐비트에 기록될 수 있다.
- [0048] 단계 120에서 그로버 양자 회로 장치(100)는 할당 결과에 대한 가중치를 상기 복수의 상태 큐비트에 부여하는 가중치 부여 양자 회로를 구성한다.
- [0049] 가중치 부여 양자 회로는 회전 Y 게이트(RY 게이트)를 이용하여 구성될 수 있다. RY 게이트는 회전 각도(RY 게이트로 입력되는 실수 가중치 값)에 따라 상태 큐비트가 반전될 확률을 조정할 수 있다.
- [0050] RY 게이트들의 반전될 확률은 θ 에 대해 $\cos^2 \frac{\theta}{2}$ 이다. 여기서, θ 는 블로흐 구 상에서의 각도를 나타낸다. 최대 확률값 1($\theta = 180^\circ$)을 기준으로 각 상태 큐비트에 대해 주어진 가중치 값을 갖도록 RY 게이트의 각도 θ 가 설정될 수 있다.
- [0051] 도 5에는 가중치 부여 양자 회로의 일 예가 도시되어 있다. 노드 1이 노드 a에 매칭되는 할당 결과에 RY 게이트가 적용되어 해당 매칭을 선택하는 상황의 가중치가 확률의 형식으로 나타날 수 있다.
- [0052] 예를 들어, 노드 n과 노드 m 사이의 가중치를 r_{nm} 로 표현하는 경우, $r = [r_{1a} \ r_{1b} \ r_{1c}; r_{2a} \ r_{2b} \ r_{2c} \ r_{3a} \ r_{3b} \ r_{3c}] = [2 \ 9 \ 5; 3 \ 4 \ 8; 6 \ 1 \ 7]$ 인 경우를 가정하기로 한다. 각 할당 결과에 대한 가중치는 가중치 부여 양자 회로에 적용되기 위해 최대값이 1이 되도록 $r = [0.22 \ 1.00 \ 0.56; 0.33 \ 0.44 \ 0.89; 0.67 \ 0.11 \ 0.78]$ 와 같이 정규화될 수 있다. 이어, $\cos^2 \frac{\theta}{2}$ 가 해당 가중치 값을 갖도록 RY 게이트의 각도가 설정될 수 있다.
- [0053] 단계 125에서 그로버 양자 회로 장치(100)는 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 가중치 부여 양자 회로를 이용하여 그로버 오라클을 구성한다.
- [0054] 본 발명의 일 실시예에서는 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 가중치 부여 양자 회로를 구성하는 단계 115 내지 단계 120가 선행되는 것으로 기재되어 있으나, 해당 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 가중치 부여 양자 회로는 오라클 양자 회로 내에 구성될 수 있다.
- [0055] 양자 오라클은 다른 양자 할당 상태는 바꾸지 않고 타겟 양자 할당 상태의 위상만 반전시킬 수 있다. 따라서, 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 가중치 부여 양자 회로는 양자 오라클의 일 구성으로, 별도의 설명이 없더라도, 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로는 실현 불가능한 양자 할당 상태인 타겟 상태만 위상을 반전시키는 것으로 이해되어야 할 것이다. 나머지, 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 가중치 부여 양자 회로 또한 오라클 연산자내에 위치하는 것으로, 해당 제한 조건을 만족하는 타겟 상태의 위상만 반전시키는 것은 당연하다.
- [0056] 그로버 양자 회로 장치(100)는 구성된 그로버 오라클을 통해 복수의 상태 큐비트에 대한 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경하고 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 조정하여 할당 결과에 가중치를 부여할 수 있다.
- [0057] 본 발명의 일 실시예에 따르면 그로버 오라클은 다중 제어 NOT 게이트를 더 포함하여 구성될 수 있다. 이로 인해, 그로버 오라클은 제한 조건들이 모두 1이 출력되어야 입력을 반전시킬 수 있다.
- [0058] 복수의 상태 큐비트들에 실현 가능한 양자 할당 결과가 주어지는 경우 그로버 오라클은 양자 할당 상태의 위상

을 반전시킬 수 있다. 그로버 양자 회로 장치(100)는 구성된 그로버 오라클을 통해 실현 가능한 상태를 솔루션으로 위상 반전하고, 실현 가능하지 않은 양자 할당 상태는 위상을 반전하지 않을 수 있다. 그로버 오라클은 실현 가능한 할당 결과일지라도 부여된 가중치에 따라 위상을 반전하지 않을 수도 있다. 가중치의 총 합이 큰 할당 결과의 위상이 반전될 확률이 가장 높을 수 있다.

[0059] 단계 130에서 그로버 양자 회로 장치(100)는 확산 연산자를 통해 위상 변경된 양자 할당 상태의 확률 진폭을 증가시킨다.

[0060] 그로버 양자 회로 장치(100)는 아다마르 게이트를 이용하여 복수의 상태 큐비트의 양자 할당 상태를 중첩시킬 수 있다. 이어, 그로버 양자 회로 장치(100)는 할당 문제의 특성을 고려한 할당 불가 값 선택 제한과 중복 노드 선택 제한을 통해 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경할 수 있다.

[0061] 또한, 그로버 양자 회로 장치(100)는 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 변경하여 할당 결과에 대해 가중치를 부여하고, 확산 연산자를 통해 위상 변경된 양자 할당 상태의 확률 진폭을 증가시킨다. 해당 과정을 최대 $\lceil \pi/4\sqrt{p/q} \rceil$ 번 반복하여 검출을 진행할 수 있다. 여기서, $q = 2^{\min(M \log_2 N, N \log_2 M)}$ 는 전체 상태의 개수를 나타내고, p는 할당 가능 상태의 개수를 나타내며 q에서 할당 불가 상태를 제외한 상태의 개수로 해결하고자 하는 할당 문제에 따라 달라질 수 있다.

[0062] 단계 135에서 그로버 양자 회로 장치(100)는 양자 확률 측정을 통해 최적 할당 결과를 도출한다.

[0063] 양자 회로는 가역적 게이트만 이용할 수 있으므로, 양자 정보를 측정하기 전에 큐비트에 적용한 회로를 돌려주는 역연산 게이트가 그로버 오라클내에 포함될 수 있다.

[0065] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 가중치 할당을 위한 그로버 양자 회로 장치를 개략적으로 도시한 블록도이다.

[0066] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 그로버 양자 회로 장치(100)는 초기화 양자 회로(610), 그로버 오라클 양자 회로(615), 확산 양자 회로(620) 및 측정 양자 회로(625)를 포함하여 구성된다.

[0067] 초기화 양자 회로(610)는 아다마르 게이트를 이용하여 N x M 노드간의 할당 문제에 대한 할당 결과를 나타내는 복수의 상태 큐비트를 구성하고, 상기 복수의 상태 큐비트를 초기화한다.

[0068] 그로버 오라클 양자 회로(615)는 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 중복 노드 선택 제한 양자 회로 및 가중치 부여 양자 회로를 이용하여 구성된다.

[0069] 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로는 할당 문제의 특성을 고려하여 상기 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 선택을 제한한다.

[0070] 중복 노드 선택 제한 양자 회로는 모든 노드간 중복되는 노드 선택을 제한한다.

[0071] 복수의 상태 큐비트는 적어도 두개의 상태 큐비트가 큐비트 번들로서 각 노드의 할당 결과를 표현할 때, 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로는 할당 문제의 특성을 기초로 각 큐비트 번들에 실현 불가능한 양자 상태를 가지는 경우 0을 출력할 수 있다. 또한, 중복 노드 선택 제한 양자 회로는 큐비트 번들이 다른 큐비트 번들과 동일한 양자 상태를 가지는 경우 0을 출력할 수 있다.

[0072] 가중치 부여 양자 회로는 할당 결과에 대한 가중치를 복수의 상태 큐비트에 부여한다. 전술한 바와 같이, 가중치 부여 양자 회로는 RY 게이트로 구성될 수 있다. 따라서, $\cos^2 \frac{\theta}{2}$ 가 할당 결과에 따른 가중치를 가지도록 RY 게이트의 각도가 설정될 수 있다.

[0073] 구성된 그로버 오라클 양자 회로(615)는 복수의 상태 큐비트의 실현 불가능한 양자 할당 상태의 위상을 변경하고 양자 할당 상태의 위상 변경 확률을 조정하여 할당 결과에 따른 상기 복수의 상태 큐비트 각각의 양자 할당 상태에 대해 가중치를 부여하되, 상기 부여된 가중치를 고려하여 실현 가능한 할당 결과가 입력된 상태 큐비트의 위상 반전 여부를 결정할 수 있다.

[0074] 또한, 그로버 오라클 양자 회로(615)는 다중 제어 NOT 게이트를 더 포함할 수 있으며, 도 6에 도시된 바와 같이 할당 불가 값 선택 제한 양자 회로, 중복 노드 선택 제한 양자 회로 가중치 부여 양자 회로에 대한 역연산 게이트

트를 더 포함할 수 있다.

[0075] 확산 양자 회로(620)는 위상 변경된 양자 할당 상태의 확률 진폭을 증가시킨다.

[0076] 측정 양자 회로(625)는 양자 확률 측정을 통해 최적 할당 결과를 도출한다.

[0077] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 확률 측정을 통한 할당 결과가 도시되어 있다. 도 7에 도시된 바와 같이, 100,000번 검출을 시도하였을 때, 주어진 가중치에 맞추어 검출 확률이 정렬되는 것을 확인할 수 있다. 할당 결과에 따른 가중치의 합이 도 8의 오른쪽에 도시되어 있다.

[0078] 총 가중치 합이 최대가 되는 경우는 노드 1에 노드 b를 선택하고, 노드 2가 노드 c를 선택하며, 노드 3이 노드 a를 선택하여 총 가중치가 23인 경우이다. 양자 회로 시뮬레이션 결과 해당 상황에 대응하는 큐비트 상태인 011000이 해당 가중치에 비례한 검출 확률을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

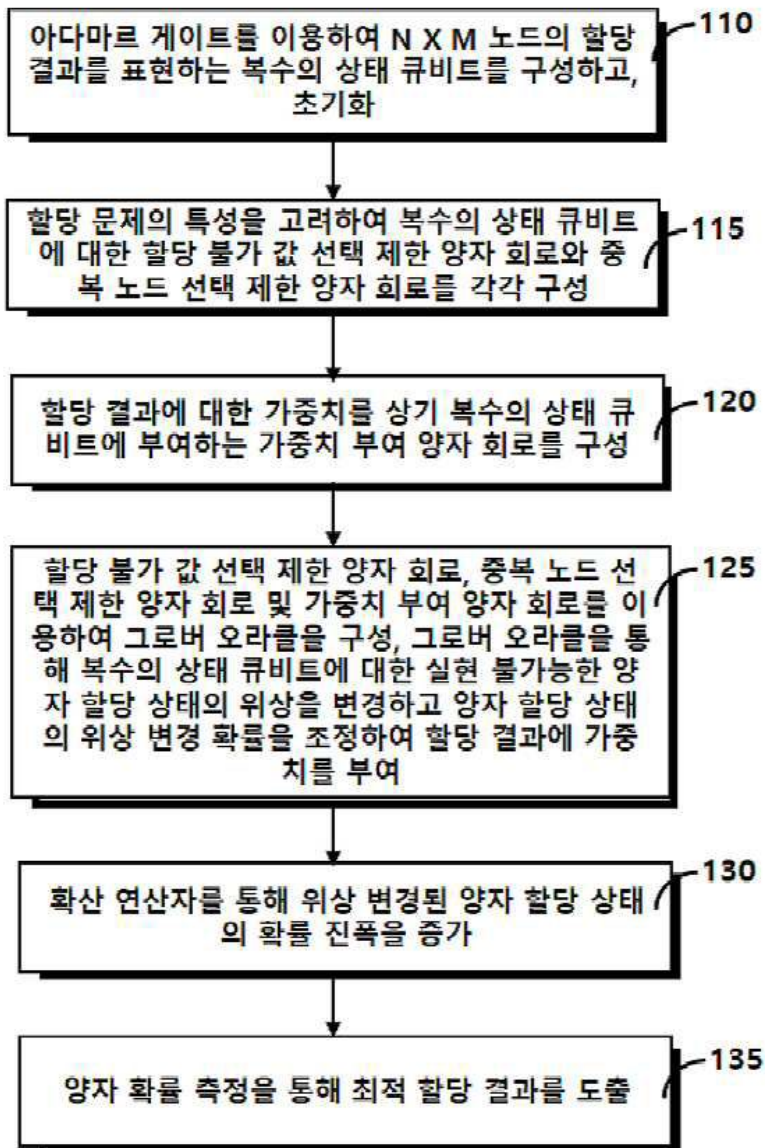
[0080] 본 발명의 실시예에 따른 장치 및 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 분야 통상의 기술자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0081] 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

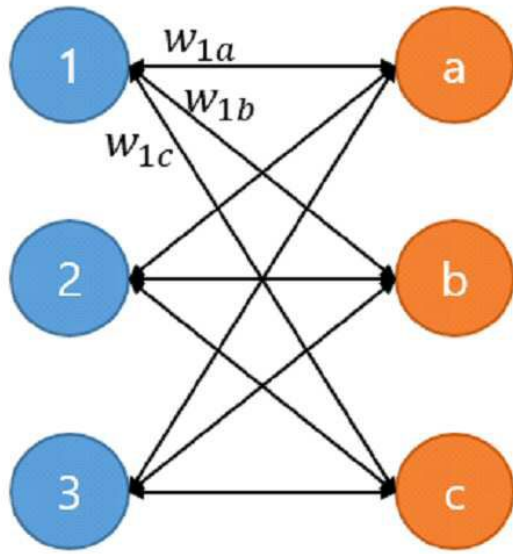
[0082] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

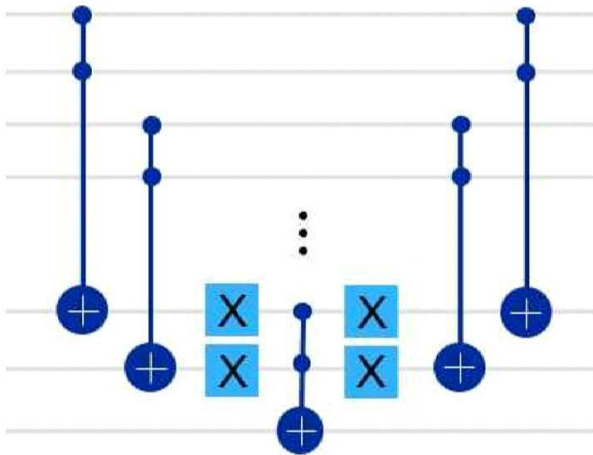
도면1



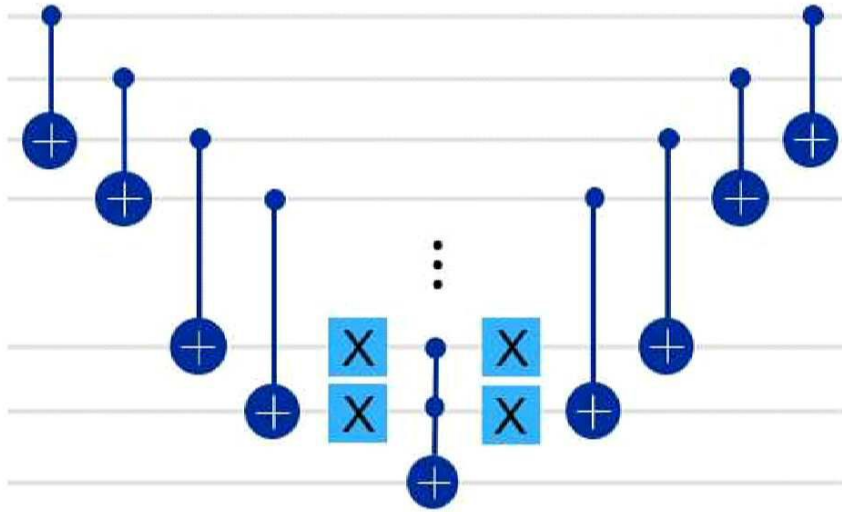
도면2



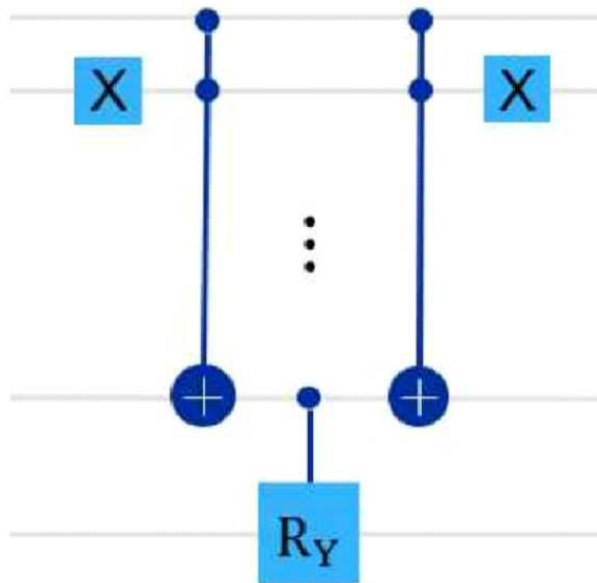
도면3



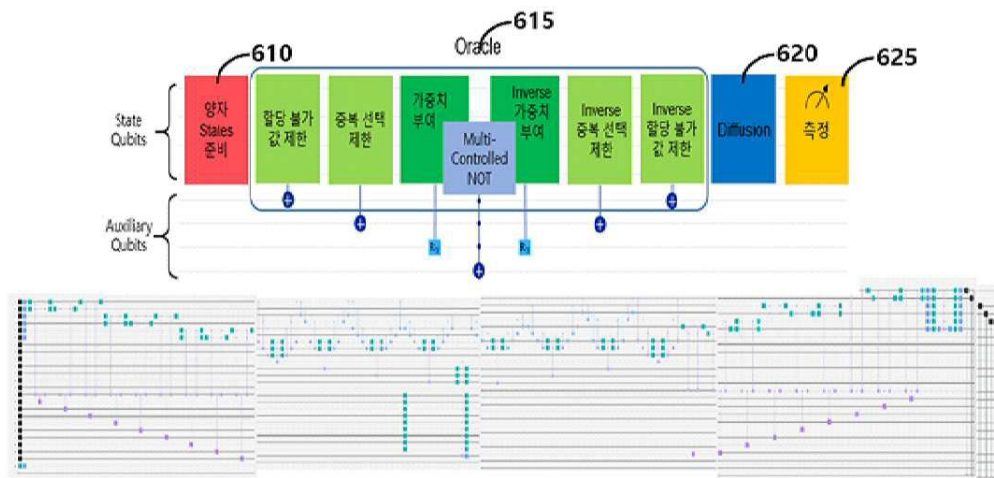
도면4



도면5



도면6



도면7

