



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0067155
(43) 공개일자 2022년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06N 10/00 (2022.01) B82Y 10/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06N 10/00 (2022.01)
B82Y 10/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0153554
(22) 출원일자 2020년11월17일
심사청구일자 2020년11월17일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
신현동
경기도 수원시 영통구 청명로 132 벽산삼익아파트 323동 501호
아마드 파루크
경기 수원시 영통구 봉영로1482번길 17-12 104호(영통동)
무하마드 아사드 올라
경기도 수원시 영통구 청명로59번길 51 B03(영통동)
(74) 대리인
특허법인지원

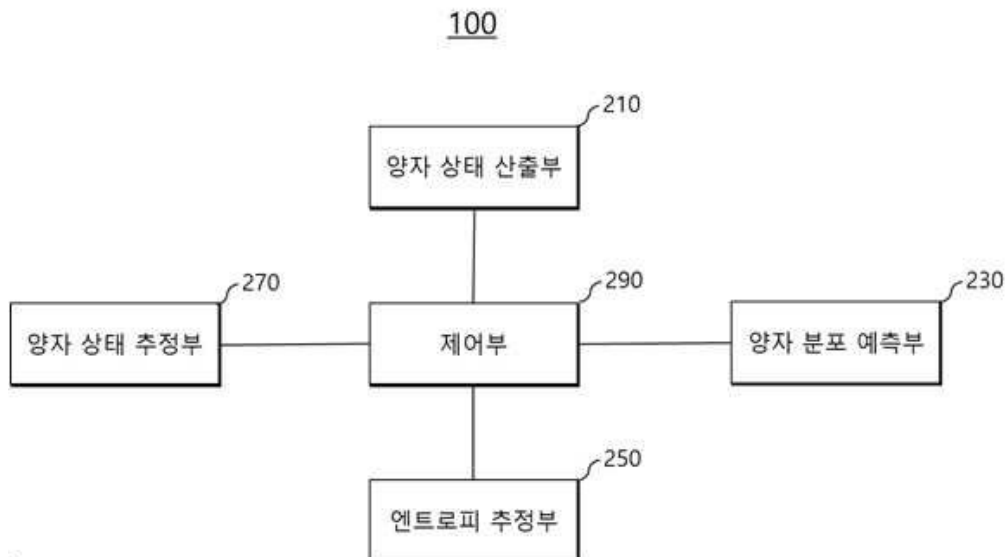
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 양자 상태 토모그래피 장치, 방법 및 프로그램

(57) 요약

본 발명은 양자 상태 토모그래피 장치, 방법 및 프로그램에 관한 것으로, 좀 더 상세하게는 큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출하는 양자 상태 산출 단계, 상기 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 양자 분포 예측 단계, 상기 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 엔트로피 추정 단계 및 상기 큐비트의 엔트로피에 따른 헛지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 양자 상태 추정 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711111536
과제번호	2019R1A2C2007037
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업/중견연구자지원사업
연구과제명	양자네트워킹 핵심기술 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2019.03.01 ~ 2024.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출하는 양자 상태 산출 단계;

상기 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 양자 분포 예측 단계;

상기 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 엔트로피 추정 단계; 및

상기 큐비트의 엔트로피에 따른 헛지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 양자 상태 추정 단계를 포함하는 양자 상태 토모그래피 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 양자 산출 단계는,

상기 후보 양자 상태들을 위상 별 행렬로 산출하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 양자 분포 예측 단계는,

상기 후보 양자 상태들의 평균값을 기준으로 상기 기여도를 결정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 양자 분포 예측 단계는,

상기 후보 양자 상태들의 분포를 분포 함수로 변경하는 제 1단계, 상기 분포 함수를 상기 후보 양자 상태들의 평균값으로 미분하는 제 2단계, 상기 제 2단계에서 생성된 미분 분포 함수가 0이 되는 예비 모수를 검출하는 제 3단계 및 상기 예비 모수를 기초로 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 제 4단계를 통해 상기 예측 분포 함수를 생성하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 엔트로피 추정 단계는,

상기 예측분포 함수의 큐비트의 분포를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 엔트로피 추정 단계는,

[수학식 1]을 통해 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 방법.

[수학식 1]

$$\begin{aligned} S(\rho) &= -\rho \log \rho \\ &= -\sum_i \lambda_i \log \lambda_i, \end{aligned}$$

(여기에서, $S(\rho)$ 는 큐비트의 엔트로피, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, λ_i 는 큐비트의 분포 행렬의 고유값이다.)

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 양자 상태 추정 단계는,

상기 큐비트의 엔트로피에 따른 엔트로피 종속 변수를 결정하는 제 1단계, 상기 종속 변수로 구성된 상기 헷지 함수를 결정하는 제 2단계, 상기 헷지 함수 및 상기 예측 분포 함수를 결합하여 큐비트 예측 함수를 생성하는 제 3단계 및 상기 큐비트 예측 함수가 특정 값을 만족하는 상기 큐비트의 분포를 결정하는 제 4단계를 통해 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 양자 상태 추정 단계는,

[수학식 2]에 따라 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 방법.

[수학식 2]

$$L'(\rho) = \det(\rho)^\beta L(\rho)$$

(여기에서, $L'(\rho)$ 는 헷지 함수, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, β 는 엔트로피 종속 변수, $L(\rho)$ 는 예측 분포 함수이다.)

청구항 9

큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출하는 양자 상태 산출부;

상기 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 양자 분포 예측부;

상기 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 엔트로피 추정부; 및

상기 큐비트의 엔트로피에 따른 헷지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 양자 상태 추정부를 포함하는 양자 상태 토모그래피 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 양자 산출부는,

상기 후보 양자 상태들을 위상 별 행렬로 산출하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 장치.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 양자 분포 예측부는,

상기 후보 양자 상태들의 평균값을 기준으로 상기 기여도를 결정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 양자 분포 예측부는,

상기 후보 양자 상태들의 분포를 분포 함수로 변경하는 제 1단계, 상기 분포 함수를 상기 후보 양자 상태들의 평균값으로 미분하는 제 2단계, 상기 제 2단계에서 생성된 미분 분포 함수가 0이 되는 예비 모수를 검출하는 제 3단계 및 상기 예비 모수를 기초로 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 제 4단계를 통해 상기 예측 분포 함수를 생성하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 장치.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 엔트로피 추정부는,

상기 예측분포 함수의 큐비트의 분포를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 엔트로피 추정부는,

[수학식 1]을 통해 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 장치.

[수학식 1]

$$\begin{aligned} S(\rho) &= -\rho \log \rho \\ &= -\sum_i \lambda_i \log \lambda_i, \end{aligned}$$

(여기에서, $S(\rho)$ 는 큐비트의 엔트로피, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, λ_i 는 큐비트의 분포 행렬의 고유값이다.)

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 양자 상태 추정부는,

상기 큐비트의 엔트로피에 따른 엔트로피 종속 변수를 결정하는 제 1단계, 상기 종속 변수로 구성된 상기 헷지 함수를 결정하는 제 2단계, 상기 헷지 함수 및 상기 예측 분포 함수를 결합하여 큐비트 예측 함수를 생성하는 제 3단계 및 상기 큐비트 예측 함수가 특정 값을 만족하는 상기 큐비트의 분포를 결정하는 제 4단계를 통해 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 양자 상태 추정부는,

[수학식 2]에 따라 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 것을 특징으로 하는 양자 상태 토모그래피 장치.

[수학식 2]

$$L'(\rho) = \det(\rho)^\beta L(\rho)$$

(여기에서, $L'(\rho)$ 는 헷지 함수, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, β 는 엔트로피 종속 변수, $L(\rho)$ 는 예측 분포 함수이다.)

청구항 17

큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출하는 양자 상태 산출 동작;

상기 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 양자 분포 예측 동작;

상기 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 엔트로피 추정 동작; 및

상기 큐비트의 엔트로피에 따른 헷지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 양자 상태 추정 동작을 포함하는 컴퓨터 판독가능 저장 매체에 저장된 양자 상태 토모그래피 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 양자 상태 토모그래피 기술에 관한 것으로, 기존의 양자 상태 추정 방법에서, 큐비트의 양자 상태를 정확하게 계산하지 못하는 문제를 헷지 함수를 통해 큐비트의 양자 상태를 정확하게 계산할 수 있는 양자 상태 토모그래피 장치, 방법 및 프로그램에 대한 것이다.

배경 기술

[0003] 현재 가정에 보급되어 있는 컴퓨터는 폰 노이만 설계방식을 따르고 있어, 폰 노이만 병목 현상이라는 기술적인 한계를 피할 수 없다는 문제점이 있다. 이에 따라, 새로운 패러다임의 컴퓨터 등장의 필요성이 대두되었고, 이에 대한 가능성을 열어주고 있는 것이 양자 컴퓨터이다.

[0004] 양자 컴퓨터에서 처리되는 정보의 기본 단위는 큐비트라고 부르는 2차원 힐버트 공간 벡터이다. 원자 또는 분자의 양자역학적 파동함수는 힐버트 공간의 벡터로 표현되기 때문에 큐비트는 양자역학적 파동함수가 된다.

[0005] 이러한 큐비트의 양자 상태를 추정하는 것은 양자 컴퓨터 성능에서 매우 중요한 요소인데, 기존의 방법은 큐비트의 양자 상태를 추정할 때, 큐비트 밀도 행렬이 Full rank가 아닌, 즉, Rank deficient 문제가 존재하였고, 이로 인해, 큐비트의 분포가 정규 분포를 만족하지 못하여 정확하게 큐비트의 양자 상태를 추정하지 못하는 문제점이 있었다.

[0006] 한국공개특허 제10-2012-0046121(2012.05.09)호는 양자 리피터 및 연장된 얽힘을 생성하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것으로, 양자 리피터는: 상기 로컬 링크 광학 채널(62, 63)을 통해 송신된 광필드에 의해 각각 상기 좌측 및 우측 이웃 노드에서 큐비트와 얽히도록(entanglement) 좌측 및 우측 큐비트를 지원하여, 각각의 로컬 링크 얽힘(LLE; local link entanglement)을 형성하도록 각각 구성된 좌측 및 우측 리피터 부분(L, R)을 제공하는 양자 물리적 하드웨어(60), 상기 양자 물리적 하드웨어(60)는 좌측 및 우측 큐비트에 대해 로컬로 동작함으로써, 이러한 좌측 및 우측 큐비트가 각각 관련된 2개의 얽힘을 병합하도록 동작하는 단계; 상기 좌측 및 우측 이웃 노드와 협력하여 좌측 및 우측 LLE의 생성을 일으키기 위해 상기 양자 물리적 하드웨어(60)를 제어하기 위한 좌측 및 우측 LLE 제어 유닛(72, 73) 및 좌측 및 우측 큐비트가 적어도 각각 좌향 및 우향으로 얽혀 있다고 예상될 때 이러한 좌측 및 우측 큐비트가 각각 관련된 얽힘의 병합의 개시를 가능하게 하기 위해, 상기 양자 리피터(100; 210)가 상기 좌측 이웃 노드로부터 트리거(99)를 수신하는 것에 응하여 동작하는 최상위 레벨 제어 요소(77), 상기 최상위 레벨 제어 요소(77)는 상기 얽힘의 병합이 일어나기를 기다리지 않고 상기 우측 이웃 노드로 상기 트리거를 전달하도록 추가로 동작하는 단계를 포함할 수 있다.

[0007] 한국공개특허 제10-2007-0078666(2007.08.01)호는 전송 큐비트를 매개로 생성된 얽힘 상태를 이용한 양자암호 분배 및 직접 통신 방법에 관한 것으로, 암호 키를 전달하고자 하는 자와 받는 자는 각각 자신의 큐비트를 준비한 후 보내는 자는 다시 특정 축으로 편향된 전송 큐비트를 생성하여 전송하기 전에 자신의 큐비트와 최대 양자 얽힘 상태를 만드는 작용을 실시한 후 전송하며, 받는 자는 받은 전송 큐비트를 전송자와 같은 작용으로 자신의 큐비트와 작용 시킨 후 이 전송 큐비트를 전송자의 특정 축으로 측정하여 전송자와 받는 자의 큐비트를 벨 얽힘 상태로 만들며, 받는 자가 다시 자신의 큐비트를 측정한 후 자신의 결과를 공개적으로 알리고, 전송자는 이결과에 따라 받는 자가 어느 암호 키를 생성하였는지를 알게 되며, 이를 이용하여 자신의 암호 비트를 공개 키 비트를 이용하여 받는 자에게 전달하는 방법이 제공된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2012-0046121(2012.05.09)호
(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2007-0078666(2007.08.01)호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 일 실시예는 큐비트의 양자 상태를 추정하는 과정에서 헷지 함수를 이용하여 정확도 높은 양자 상태를 추정할 수 있는 양자 상태 토모그래피 장치, 방법 및 프로그램을 제공하고자 한다.

[0011] 본 발명의 일 실시예는 큐비트의 후보 양자 상태를 측정하여 해당 후보 양자 상태를 통해 상기 큐비트의 엔트로피를 측정할 수 있는 양자 상태 토모그래피 장치, 방법 및 프로그램을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 실시예들 중에서, 양자 상태 토모그래피 방법은 큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출하는 양자 상태 산출 단계; 상기 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 양자 분포 예측 단계; 상기 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 엔트로피 추정 단계; 및 상기 큐비트의 엔트로피에 따른 헷지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입

하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 양자 상태 추정 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 양자 산출 단계는, 상기 후보 양자 상태들을 위상 별 행렬로 산출할 수 있다.

[0015] 상기 양자 분포 예측 단계는, 상기 후보 양자 상태들의 평균값을 기준으로 상기 기여도를 결정할 수 있다.

[0016] 상기 양자 분포 예측 단계는, 상기 후보 양자 상태들의 분포를 분포 함수로 변경하는 제 1단계, 상기 분포 함수를 상기 후보 양자 상태들의 평균값으로 미분하는 제 2단계, 상기 제 2단계에서 생성된 미분 분포 함수가 0이 되는 예비 모수를 검출하는 제 3단계 및 상기 예비 모수를 기초로 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 제 4단계를 통해 상기 예측 분포 함수를 생성할 수 있다.

[0017] 상기 엔트로피 추정 단계는, 상기 예측분포 함수의 큐비트의 분포를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다.

[0018] 상기 엔트로피 추정 단계는, [수학식 1]을 통해 상기 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다.

[0019] [수학식 1]

$$S(\rho) = -\rho \log \rho \\ = -\sum_i \lambda_i \log \lambda_i,$$

[0020]

[0021] (여기에서, $S(\rho)$ 는 큐비트의 엔트로피, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, λ_i 는 큐비트의 분포 행렬의 고유값이다.)

[0022] 상기 양자 상태 추정 단계는, 상기 큐비트의 엔트로피에 따른 엔트로피 종속 변수를 결정하는 제 1단계, 상기 종속 변수로 구성된 상기 헷지 함수를 결정하는 제 2단계, 상기 헷지 함수 및 상기 예측 분포 함수를 결합하여 큐비트 예측 함수를 생성하는 제 3단계 및 상기 큐비트 예측 함수가 특정 값을 만족하는 상기 큐비트의 분포를 결정하는 제 4단계를 통해 상기 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다.

[0023] 상기 양자 상태 추정 단계는, [수학식 2]에 따라 상기 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다.

[0024] [수학식 2]

[0025] $L'(\rho) = \det(\rho)^\beta L(\rho)$

[0026] (여기에서, $L'(\rho)$ 는 헷지 함수, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, β 는 엔트로피 종속 변수, $L(\rho)$ 는 예측 분포 함수이다.)

[0027] 실시예들 중에서, 양자 상태 토모그래피 장치는 큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출하는 양자 상태 산출부; 상기 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 양자 분포 예측부; 상기 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 엔트로피 추정부; 및 상기 큐비트의 엔트로피에 따른 헷지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 양자 상태 추정부를 포함할 수 있다.

[0028] 상기 양자 산출부는, 상기 후보 양자 상태들을 위상 별 행렬로 산출할 수 있다.

[0029] 상기 양자 분포 예측부는, 상기 후보 양자 상태들의 평균값을 기준으로 상기 기여도를 결정할 수 있다.

[0030] 상기 양자 분포 예측부는, 상기 후보 양자 상태들의 분포를 분포 함수로 변경하는 제 1단계, 상기 분포 함수를 상기 후보 양자 상태들의 평균값으로 미분하는 제 2단계, 상기 제 2단계에서 생성된 미분 분포 함수가 0이 되는 예비 모수를 검출하는 제 3단계 및 상기 예비 모수를 기초로 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 제 4단계를 통해 상기 예측 분포 함수를 생성할 수 있다.

[0031] 상기 엔트로피 추정부는, 상기 예측분포 함수의 큐비트의 분포를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다.

[0032] 상기 엔트로피 추정부는, [수학식 1]을 통해 상기 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다.

[0033] [수학식 1]

$$S(\rho) = -\rho \log \rho \\ = -\sum_i \lambda_i \log \lambda_i,$$

[0034]

[0035] (여기에서, $S(\rho)$ 는 큐비트의 엔트로피, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, λ_i 는 큐비트의 분포 행렬의 고유값이다.)

[0036] 상기 양자 상태 추정부는, 상기 큐비트의 엔트로피에 따른 엔트로피 종속 변수를 결정하는 제 1단계, 상기 종속 변수로 구성된 상기 헷지 함수를 결정하는 제 2단계, 상기 헷지 함수 및 상기 예측 분포 함수를 결합하여 큐비트 예측 함수를 생성하는 제 3단계 및 상기 큐비트 예측 함수가 특정 값을 만족하는 상기 큐비트의 분포를 결정하는 제 4단계를 통해 상기 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다.

[0037] 상기 양자 상태 추정부는, [수학식 2]에 따라 상기 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다.

[0038] [수학식 2]

[0039] $L'(\rho) = \det(\rho)^\beta L(\rho)$

[0040] (여기에서, $L'(\rho)$ 는 헷지 함수, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, β 는 엔트로피 종속 변수, $L(\rho)$ 는 예측 분포 함수이다.)

[0041] 실시예들 중에서, 컴퓨터 관독가능 저장 매체에 저장된 양자 상태 토모그래피 프로그램은 큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출하는 양자 상태 산출 동작; 상기 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 양자 분포 예측 동작; 상기 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정하는 엔트로피 추정 동작; 및 상기 큐비트의 엔트로피에 따른 헷지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정하는 양자 상태 추정 동작을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0043] 개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

[0044] 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 장치, 방법 및 프로그램은 큐비트의 양자 상태를 추정하는 과정에서 헷지 함수를 이용하여 정확도 높은 양자 상태를 추정할 수 있다.

[0045] 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 장치, 방법 및 프로그램은 큐비트의 후보 양자 상태를 측정하여 해당 후보 양자 상태를 통해 상기 큐비트의 엔트로피를 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 장치의 물리적 구성을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 장치의 기능적 구성을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 큐비트의 불성실도를 나타내는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 방법의 순서도를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] 본 명세서 또는 출원에 개시되어 있는 본 발명의 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명에 따른 실시 예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명에 따른 실시 예들은 다양한 형태로

실시될 수 있으며 본 명세서 또는 출원에 설명된 실시 예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.

- [0049] 본 발명에 따른 실시 예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0050] 제1 및/또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0051] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0052] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0053] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미이다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0054] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0056] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 장치(100)의 물리적 구성을 나타내는 도면이다.
- [0057] 도 2를 참조하면, 양자 상태 토모그래피 장치(100)는 프로세서(110), 메모리(130), 사용자 입출력부(150) 및 네트워크 입출력부(170)를 포함하여 구현될 수 있다.
- [0058] 프로세서(110)는 큐비트의 양자 상태를 측정하여 후보 양자 상태들을 산출하고 해당 후보 양자 상태의 큐비트 분포에 대한 기여도에 따라서 큐비트의 예측 분포 함수를 생성 및 큐비트의 엔트로피를 측정하고 해당 큐비트의 양자 상태를 추정하는 프로시저를 실행할 수 있고, 그 과정 전반에서 읽혀지거나 작성되는 메모리(130)를 관리할 수 있으며, 메모리(130)에 있는 휘발성 메모리와 비휘발성 메모리 간의 동기화 시간을 스케줄할 수 있다. 프로세서(110)는 양자 상태 토모그래피 장치(100)의 동작 전반을 제어할 수 있고, 메모리(130), 사용자 입출력부(150) 및 네트워크 입출력부(170)와 전기적으로 연결되어 이들 간의 데이터 흐름을 제어할 수 있다. 프로세서(110)는 양자 상태 토모그래피 장치(100)의 CPU(Central Processing Unit)로 구현될 수 있다.
- [0059] 메모리(130)는 SSD(Solid State Drive) 또는 HDD(Hard Disk Drive)와 같은 비휘발성 메모리로 구현되어 양자 상태 토모그래피 장치(100)에 필요한 데이터 전반을 저장하는데 사용되는 보조기억장치를 포함할 수 있고, RAM(Random Access Memory)과 같은 휘발성 메모리로 구현된 주기억장치를 포함할 수 있다.
- [0060] 사용자 입출력부(150)는 사용자 입력을 수신하기 위한 환경 및 사용자에게 특정 정보를 출력하기 위한 환경을 포함할 수 있다. 예를 들어, 사용자 입출력부(150)는 터치 패드, 터치 스크린, 화상 키보드 또는 포인팅 장치와 같은 어댑터를 포함하는 입력장치 및 모니터 또는 터치스크린과 같은 어댑터를 포함하는 출력장치를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 사용자 입출력부(150)는 원격 접속을 통해 접속되는 컴퓨팅 장치에 해당할 수 있고, 그러

한 경우, 양자 상태 토모그래피 장치(100)는 서버로서 수행될 수 있다.

[0061] 네트워크 입출력부(170)는 네트워크를 통해 외부 장치 또는 시스템과 연결하기 위한 환경을 포함하고, 예를 들어, LAN(Local Area Network), MAN(Metropolitan Area Network), WAN(Wide Area Network) 및 VAN(Value Added Network) 등의 통신을 위한 어댑터를 포함할 수 있다.

[0063] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 장치(100)의 기능적 구성을 나타내는 도면이다.

[0064] 도 2를 참조하면, 양자 상태 토모그래피 장치(100)는 양자 상태 산출부(210), 양자 분포 예측부(230), 엔트로피 추정부(250), 양자 상태 추정부(270) 및 제어부(290)를 포함할 수 있다.

[0065] 양자 상태 산출부(210)는 큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출할 수 있다. 일 실시예에서, 양자 상태 산출부(210)는 후보 양자 상태들을 위상 별 행렬로 산출할 수 있다. 예를 들어, 큐비트는 일정 영역 이내에 존재하는 입자가 될 수 있다. 큐비트는 일정영역 이내에서 확률적으로 존재할 수 있고, 예를 들어, 큐비트는 [수학식 1]과 같이 위상 별 행렬로 나타낼 수 있다.

[0066] [수학식 1]

$$\rho = \sum_i p_i |\psi_i\rangle \langle \psi_i|$$

[0067] (여기에서, ρ 는 밀도 행렬, p_i 는 큐비트가 해당 위치에 존재할 확률, $|\psi_i\rangle$ 는 특정 위치의 고유벡터, $|\psi_i\rangle \langle \psi_i|$ 는 두 고유벡터간의 외적을 의미하고, $0 \leq p_i \leq 1$, $\sum_i p_i = 1$ 을 만족한다.)

[0069] 예를 들어, 후보 양자 상태는 복수번의 양자 상태를 측정하여 나타나는 해당 큐비트의 양자 상태를 의미할 수 있다. 예를 들어, 양자 상태 산출부(210)는 큐비트의 양자 상태를 n번 측정할 수 있고, 그러한 경우, 해당 큐비트의 후보 양자 상태는 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0070] [수학식 2]

$$\rho = \sum_i^n p_i |\psi_i\rangle \langle \psi_i|$$

[0071] (여기에서, ρ 는 밀도 행렬, p_i 는 큐비트가 해당 위치에 존재할 확률, $|\psi_i\rangle$ 는 특정 위치의 고유벡터, $|\psi_i\rangle \langle \psi_i|$ 는 두 고유벡터간의 외적을 의미하고, $0 \leq p_i \leq 1$, $\sum_i p_i = 1$ 을 만족한다.)

[0073] 양자 분포 예측부(230)는 후보 양자 상태 각각의 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 큐비트의 예측 분포 함수를 생성할 수 있다. 예를 들어, 양자 분포 예측부(230)는 양자 상태 산출부(210)에서 산출한 후보 양자 상태의 각각의 큐비트 위치에 대해서 해당 예측 분포 함수에 미치는 기여도를 결정하고 해당 기여도가 높은 경우 예측 분포 함수에 영향을 많이 주도록 해당 예측 분포 함수를 생성할 수 있다.

[0074] 일 실시예에서, 양자 분포 예측부(230)는 후보 양자 상태들의 평균값을 기준으로 기여도를 결정할 수 있다. 좀 더 상세하게는, 양자 분포 예측부(230)는 후보 양자 상태들의 평균벡터와 단일의 후보 양자 상태의 벡터 간의 거리가 가까울수록 해당 단일의 후보 양자 상태의 기여도를 높게 결정할 수 있다. 예를 들어, 양자 분포 예측부(230)는 후보 양자 상태 각각의 큐비트의 분포를 선형적으로 혹은 비선형적으로 결정할 수 있다. 구체적으로, 양자 분포 예측부(230)는 후보 양자 상태 각각의 큐비트의 분포를 후보 양자 상태들의 평균 벡터를 중심으로 정규분포를 가지는 기여도를 해당 큐비트의 기여도로 결정할 수 있다. 또한, 양자 분포 예측부(230)는 후보 양자 상태들의 평균 벡터를 중심으로 정규분포를 가지는 기여도를 해당 큐비트에 기여도로 결정할 때, 해당 정규분포의 분산을 후보 양자 상태들 간의 거리에 따라서 결정할 수 있다. 예를 들어, 양자 분포 예측부(230)는 [수학식 3]에 따라 분산을 결정할 수 있다.

[0075] [수학식 3]

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

[0077] (여기에서, σ 는 분산, n 은 후보 양자 상태를 산출한 횟수, x_i 는 해당 큐비트의 위치 벡터, μ 는 후보 양자 상태들의 평균 벡터이다.)

[0078] 일 실시예에서, 양자 분포 예측부(230)는 후보 양자 상태들의 분포를 분포 함수로 변경하는 제 1단계, 분포 함수를 상기 후보 양자 상태들의 평균값으로 미분하는 제 2단계, 제 2단계에서 생성된 미분 분포 함수가 0이 되는 예비 모수를 검출하는 제 3단계 및 예비 모수를 기초로 큐비트의 예측 분포 함수를 생성하는 제 4단계를 통해 해당 예측 분포 함수를 생성할 수 있다.

[0079] 예를 들어, 양자 분포 예측부(230)는 제 1단계에서, 분포 함수를 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

[0080] [수학식 4]

$$f_{\mu, \sigma^2}(x_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$P(x|\theta) = \prod_{i=1}^n f_{\mu, \sigma^2}(x_i)$$

[0083] (여기에서, $P(x|\theta)$ 는 분포 함수이다.)

[0084] 다른 예를 들어, 양자 분포 예측부(230)는 분포 함수를 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[0085] [수학식 5]

$$L(x|\theta) = \sum_{i=1}^n \log \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0087] (여기에서, $L(x|\theta)$ 는 분포 함수이다.)

[0088] 양자 분포 예측부(230)는 분포 함수의 최대값을 구하기 위해 해당 분포 함수를 미분한 도분포 함수가 0이되는 x 값을 결정할 수 있다. 예를 들어, 양자 분포 예측부(230)는 예비 모수를 [수학식 6]과 같이 나타낼 수 있다.

[0089] [수학식 6]

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

[0091] (여기에서, $\hat{\mu}$ 는 예비 모수이다.)

[0092] 양자 분포 예측부(230)는 예비 모수를 해당 분포 함수에 대입하여, 예측 분포 함수를 결정할 수 있다. 구체적으로, 양자 분포 예측부(230)는 해당 분포 함수에서 큐비트의 평균값을 예비 모수로 대체하여 예측 분포 함수를 결정할 수 있다.

[0093] 다른 일 실시예에서, 양자 분포 예측부(230)는 [수학식 7]에 따라 예측 분포 함수를 결정할 수 있다.

[0094] [수학식 7]

$$\mathcal{L}(\rho) = \prod_{i=1}^N \text{tr}(\prod_i \rho)^{n_i}$$

[0096] (여기에서, $\mathcal{L}(\rho)$ 는 예측 분포 함수이다.)

[0097] 엔트로피 추정부(250)는 예측 분포 함수를 기초로 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다. 일 실시예에서, 엔트로피 추정부(250)는 예측 분포 함수의 큐비트의 분포를 기초로 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다. 예측 분포 함수의 큐비트 분포는 위상 별 행렬에 따라 결정될 수 있다. 일 실시예에서, 엔트로피 추정부(250)는 [수학식 8]을 통해 상기 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다.

[0099] [수학식 8]

$$S(\rho) = -\rho \log(\rho) = -\sum_i \lambda_i \log \lambda_i$$

[0101] (여기에서, $S(\rho)$ 는 큐비트의 엔트로피, λ_i 는 해당 분포 행렬의 고유값이다.)

[0102] 양자 상태 추정부(270)는 큐비트의 엔트로피에 따른 헛지 함수를 예측 분포함수에 대입하여 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다.

[0103] 일 실시예에서, 양자 상태 추정부(270)는 큐비트의 엔트로피에 따른 엔트로피 종속 변수를 결정하는 제 1단계, 상기 종속 변수로 구성된 상기 헛지 함수를 결정하는 제 2단계, 상기 헛지 함수 및 상기 예측 분포 함수를 결합하여 큐비트 예측 함수를 생성하는 제 3단계 및 상기 큐비트 예측 함수가 특정 값을 만족하는 상기 큐비트의 분포를 결정하는 제 4단계를 통해 상기 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다. 예를 들어, 양자 상태 추정부(270)는 엔트로피 종속 변수를 양수의 범위를 가지도록 결정할 수 있다. 구체적으로, 양자 상태 추정부(270)는 해당 큐비트의 엔트로피의 값이 Pure State인 경우, 0에 가까운 값으로 결정할 수 있다. 다른 예를 들어, 양자 상태 추정부(270)는 해당 큐비트의 엔트로피의 값에 따라 해당 큐비트가 Mixed State인 경우 1/2이상으로 결정할 수 있다. 예를 들어, 양자 상태 추정부(270)는 아래의 [수학식 10]와 같이 예측 함수를 생성할 수 있다. 양자 상태 추정부(270)는 [수학식 9]와 같이 큐비트의 분포를 결정할 수 있다.

[0104] [수학식 9]

$$\widehat{p}_k = \frac{n_k + \beta}{N + K\beta}$$

[0106] (여기에서, $\widehat{p}_k$ 는 큐비트의 분포, n_k 는 해당 큐비트가 발견된 횟수, β 는 엔트로피 종속 변수, N은 큐비트를 측정한 횟수, K는 사용자에 의해 결정되는 상수이다.)

[0107] 일 실시예에서, 양자 상태 추정부(270)는 [수학식 10]에 따라 상기 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다.

[0108] [수학식 10]

$$L'(\rho) = \det(\rho)^\beta L(\rho)$$

[0110] (여기에서, $L'(\rho)$ 는 헛지 함수, ρ 는 큐비트의 분포 행렬, β 는 엔트로피 종속 변수, $L(\rho)$ 는 예측 분포 함수이다.)

[0111] 제어부(290)는 양자 상태 토모그래피 장치(100)의 전체적인 동작을 제어하고, 양자 상태 산출부(210), 양자 분포 예측부(230), 엔트로피 추정부(250) 및 양자 상태 추정부(270) 간의 제어 흐름 또는 데이터 흐름을 관리할 수 있다.

[0112] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 큐비트의 불성실도를 나타내는 그래프이다. 도 3을 참조하면, 양자 상태 토모그래피 장치(100)가 헛지 함수를 추가하여 양자 상태를 추정할 때, 측정하는 횟수가 많아지면 불성실도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

[0114] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 상태 토모그래피 방법의 순서도를 나타내는 도면이다.

[0115] 도 4를 참조하면, 양자 상태 산출 단계에서, 큐비트의 양자 상태를 측정하여 복수개의 후보 양자 상태들을 산출할 수 있다(S410).

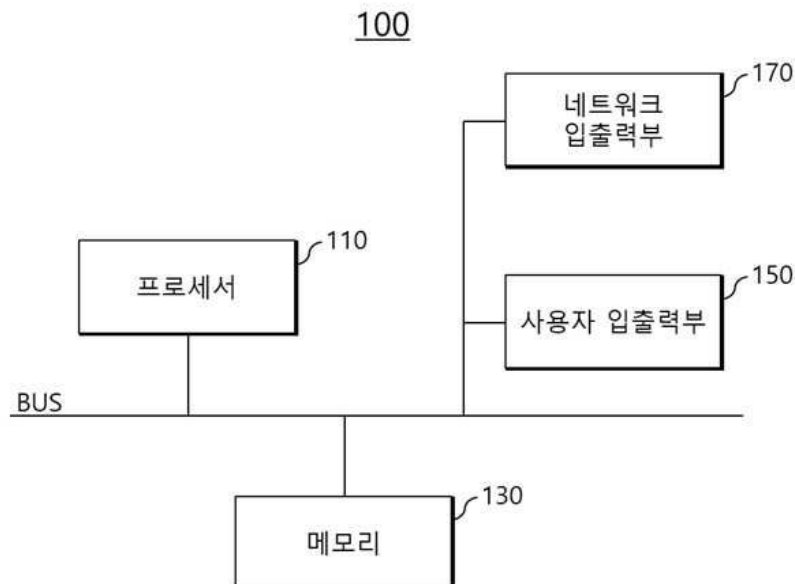
- [0116] 양자 상태 토모그래피 장치(100)는 양자 분포 예측 단계에서, 후보 양자 상태 각각의 상기 큐비트의 분포에 대한 기여도에 따라 상기 큐비트의 예측 분포 함수를 생성할 수 있다(S430).
- [0117] 양자 상태 토모그래피 장치(100)는 엔트로피 추정 단계에서, 예측 분포 함수를 기초로 상기 큐비트의 엔트로피를 추정할 수 있다(S450).
- [0118] 양자 상태 토모그래피 장치(100)는 양자 상태 추정 단계에서, 큐비트의 엔트로피에 따른 헷지 함수를 상기 예측 분포함수에 대입하여 상기 큐비트의 양자 상태를 추정할 수 있다(S470).
- [0120] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

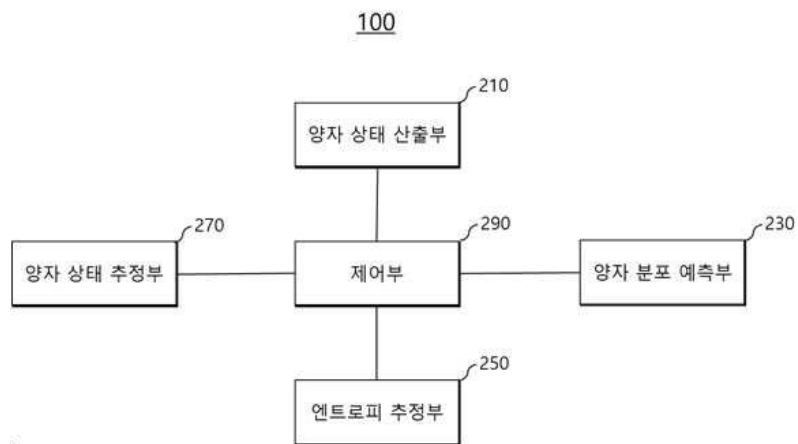
- [0122] 100: 양자 상태 토모그래피 장치
 110: 프로세서 130: 메모리
 150: 사용자 입출력부 170: 네트워크 입출력부
 210: 양자 상태 산출부 230: 양자 분포 예측부
 250: 엔트로피 추정부 270: 양자 상태 추정부
 290: 제어부

도면

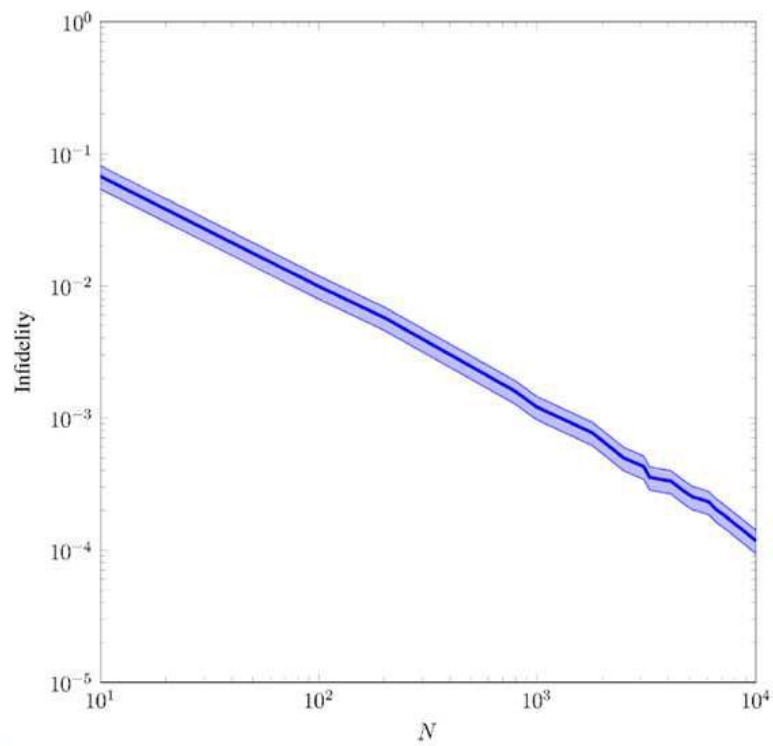
도면1



도면2



도면3



도면4

