

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2013 년 8 월 15 일 (15.08.2013)



(10) 국제공개번호
WO 2013/118931 A1

- (51) 국제특허분류:
H03M 13/03 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/001291
- (22) 국제출원일: 2012 년 2 월 21 일 (21.02.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2012-0012746 2012 년 2 월 8 일 (08.02.2012) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **고려대학교 산학협력단 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION)** [KR/KR]; 136-713 서울시 서울 성북구 안암동 5 가 1 고려대학교, Seoul (KR).
- (72) 발명자; 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **허준 (HEO, Jun)** [KR/KR]; 135-947 서울특별시 강남구 일원본동 상록수 아파트 210 동 1103 호, Seoul (KR). **신정환 (SHIN, Jeong Hwan)** [KR/KR]; 136-073 서울특별시 성북구 안암동 3 가 132-9 번지, Seoul (KR).
- (74) 대리인: **특허법인 무한 (MUHANN PATENT & LAW FIRM)**; 135-814 서울시 강남구 논현동 51-8 명림빌딩 2, 5, 6 층, Seoul (KR).

- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

규칙 4.17 에 의한 선언서:

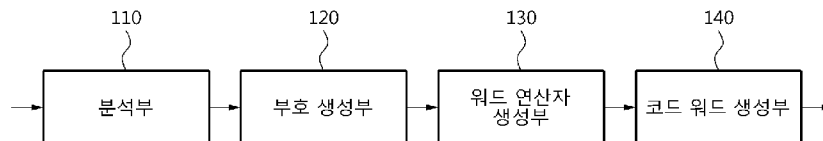
- 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

공개:

- 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

(54) Title: APPARATUS AND METHOD FOR DESIGNING QUANTUM CODE

(54) 발명의 명칭 : 양자 부호 설계 장치 및 방법



110 ... Analyzing unit
120 ... Code generating unit
130 ... Word operator generating unit
140 ... Code word generating unit

(57) Abstract: Provided is a quantum code designing apparatus comprising: an analyzing unit for analyzing one or more quantum errors generated in a quantum error channel into one or more binary errors using a standard form of a code word stabilized (CWS) quantum code; a code generating unit for generating binary error correcting codes for correcting said one or more binary errors; a word operator generating unit for generating one or more word operators of the CWS quantum code using said one or more binary error correcting codes; and a code word generating unit for generating one or more code words including one or more entangled qubits (ebits) using said one or more word operators.

(57) 요약서: CWS(Code Word Stabilized Quantum) 코드의 표준 방식(standard form)을 이용하여 양자 오류 채널에서 발생하는 하나 이상의 양자 오류를 하나 이상의 이진 오류(binary error)로 분석하는 분석부, 상기 하나 이상의 이진 오류를 수정하는 이진 오류 정정 부호를 생성하는 부호 생성부, 상기 하나 이상의 이진 오류 정정 부호를 이용하여 상기 CWS 코드의 하나 이상의 워드 연산자(word operator)를 생성하는 워드 연산자 생성부 및 상기 하나 이상의 워드 연산자를 이용하여 하나 이상의 얽힘 큐비트(ebit: entangled qubit)을 포함하는 하나 이상의 코드 워드를 생성하는 코드 워드 생성부를 포함하는 양자 부호 설계 장치를 제공한다.



WO 2013/118931 A1

명세서

발명의 명칭: 양자 부호 설계 장치 및 방법

기술분야

- [1] 본 발명의 실시예들은 얽힘 큐비트를 이용한 코드워드 안정 양자 부호 설계 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 현재 진행되고 있는 대부분의 양자 오류 정정 부호에 대한 기술은 기존 오류 정정 부호 설계 기법을 적용하여 새로운 양자 오류 정정 부호를 만든 추세이다.
- [3] 양자 오류 정정 부호는 그 구성 방법에 의해 크게 선형 부호와 비선형 부호로 나뉘질 수 있다.
- [4] 선형 부호 중 안정 부호(stabilizer code)는 기존 선형 블록 부호 중 듀얼 컨테이닝(dual-containing) 조건을 만족하는 부호를 이용하여 쉽게 양자 오류 정정 부호를 구성하는 방법을 제시하고 있으며, 대부분의 양자 오류 정정 부호 기술은 안정 부호를 기반으로 진행되고 있다.
- [5] 최근에는, 선형 부호와 비선형 부호를 모두 기술할 수 있는 코드워드 안정 양자 부호(codeword stabilized quantum (CWS) code)라는 보다 일반적인 부호 설계 기법이 소개 되었다.
- [6] CWS 코드는 기존 오류 정정 부호를 이용하여 양자 오류 정정 부호를 설계할 수 있는 기법을 제시할 수 있다.
- [7] 양자 오류 정정 부호 중 선형 부호는 구성과 부호의 확장이 쉽지만 비선형 부호로 얻을 수 있는 부호의 최대 성능에 미치지 못하는 경우가 있으며, 비선형 부호는 선형 부호보다 좋은 성능을 보여줄 수 있지만 그 구성이 쉽지 않기 때문에 아직 다양하게 개발되지 못 했다.
- [8] 비선형 양자 부호 구성의 어려움으로 인하여 아직 다양한 비선형 양자 오류 정정 부호가 개발되지 못했으며, CWS 부호를 포함하여 원형 그래프를 기반으로 현재까지 개발된 비선형 부호가 수정할 수 있는 오류는 단일 오류로 제한되어 있다.
- [9] 최근 양자의 얽힘 현상을 이용하여 양자 오류 정정 부호(Entanglement-assisted quantum error-correcting codes, EAQECCs)를 설계 하는 기법이 제안되었으며, EAQECCs 기법은 안정 부호에 얽힘 큐비트(entangled qubit, ebit)을 적용하여 안정 부호의 듀얼 컨테이닝 제한 없이 기존 선형 블록 부호로부터 양자 오류 정정 부호를 설계할 수 있는 방법을 제시할 수 있다.
- [10] 최근 EAQECCs에 대한 추가적인 연구는 ebit을 사용하는 경우 안정 부호의 성능을 향상시킬 수 있다는 결과를 보여주고 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [11] 본 발명의 일실시예는 CWS 코드의 설계 기법에 얽힘 큐비트를 적용하여 양자 오류 정정 부호를 설계함으로써, 양자 오류 정정 부호의 성능 향상시키는 것을 목적으로 한다.
- [12] 본 발명의 일실시예는 2개 이상의 오류를 수정할 수 있는 비선형 양자 오류 정정 부호를 설계하는 장치 및 방법을 제공한다.

과제 해결 수단

- [13] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 CWS(Code Word Stabilized Quantum) 코드의 표준 방식(standard form)을 이용하여 양자 오류 채널에서 발생하는 하나 이상의 양자 오류를 하나 이상의 이진 오류(binary error)로 분석하는 분석부, 상기 하나 이상의 이진 오류를 수정하는 이진 오류 정정 부호를 생성하는 부호 생성부, 상기 하나 이상의 이진 오류 정정 부호를 이용하여 상기 CWS 코드의 하나 이상의 워드 연산자(word operator)를 생성하는 워드 연산자 생성부 및 상기 하나 이상의 워드 연산자를 이용하여 하나 이상의 얽힘 큐비트(ebit: entangled qubit)을 포함하는 하나 이상의 코드 워드를 생성하는 코드 워드 생성부를 포함한다.
- [14] 본 발명의 일측에 따르면, 송신부와 수신부는 상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 공유한다.
- [15] 본 발명의 일측에 따르면, 상기 하나 이상의 워드 연산자 생성은 송신부에서 독립적으로 수행될 수 있다.
- [16] 본 발명의 일측에 따른 양자 부호 설계 장치는 상기 하나 이상의 양자 오류를 큐비트(qubit)의 초기 상태에 상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 적용하여 초기 상태로 만드는 초기화부를 더 포함할 수 있다.
- [17] 본 발명의 일측에 따른 양자 부호 설계 장치는 상기 CWS 코드의 표준 방식의 안정기(stabilizer generator)를 생성하는 유니터리 부호화 연산을 이용하여 상기 초기 상태를 부호화 하는 부호화부를 더 포함할 수 있다.
- [18] 본 발명의 일측에 따른 양자 부호 설계 장치는 상기 하나 이상의 워드 연산자에 상기 안정기를 적용하여 상기 하나 이상의 워드 연산자 중 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거하는 제거부를 더 포함할 수 있다.
- [19] 본 발명의 일측에 따르면, 상기 워드 연산자 생성부는 상기 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거한 워드 연산자에 유니터리 부호화 연산을 적용하여 상기 초기 상태에 대한 워드 연산자를 생성할 수 있다.
- [20] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 방법은 CWS(Code Word Stabilized Quantum) 코드의 표준 방식(standard form)을 이용하여 양자 오류 채널에서 발생하는 하나 이상의 양자 오류를 하나 이상의 이진 오류(binary error)로 분석하는 단계, 상기 하나 이상의 이진 오류를 수정하는 이진 오류 정정 부호를 생성하는 단계, 상기 하나 이상의 이진 오류 정정 부호를 이용하여 상기 CWS 코드의 하나 이상의 워드 연산자(word operator)를 생성하는 단계 및 상기 하나

이상의 워드 연산자를 이용하여 하나 이상의 얽힘 큐비트(ebit: entangled qubit)을 포함하는 하나 이상의 코드 워드를 생성하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [21] 본 발명의 일실시예에 따르면 CWS 코드의 설계 기법에 얽힘 큐비트를 적용하여 양자 오류 정정 부호를 설계함으로써, 양자 오류 정정 부호의 성능 향상시킬 수 있다.
- [22] 본 발명의 일실시예는 2개 이상의 오류를 수정 가능한 비선형 양자 오류 정정 부호를 설계하는 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [23] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치의 구성을 도시한 블록도이다.
- [24] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 방법을 도시한 흐름도이다.
- [25] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치의 상세 구성을 도시한 블록도이다.
- [26] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 부호 구성을 이용하여 양자 정보를 부호화하는 과정을 도시한 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [27] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.
- [28] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 본 명세서에서 사용되는 용어(terminology)들은 본 발명의 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [29] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 CWS 코드의 설계 기법에 얽힘 큐비트를 적용하여 양자 오류 정정 부호를 설계하는 방법을 제공한다.
- [30] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 정보의 송/수신부가 얽힘 큐비트를 공유하고, 얽힘 큐비트를 포함한 코드워드가 CWS 코드 설계 기법에 의해 송신부에 의해서만 독립적으로 부호화 될 수 있다.
- [31] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 상기와 같은 기법을 적용하여 2개 이상의 오류를 수정할 수 있는 비선형 양자 오류 정정 부호를 설계할 수 있다.
- [32] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치의 구성을 도시한 블록도이다.

- [33] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 CWS(Code Word Stabilized Quantum) 코드의 표준 방식(standard form)을 이용하여 양자 오류 채널에서 발생하는 하나 이상의 양자 오류를 하나 이상의 이진 오류(binary error)로 분석하는 분석부(110), 상기 하나 이상의 이진 오류를 수정하는 이진 오류 정정 부호를 생성하는 부호 생성부(120), 상기 하나 이상의 이진 오류 정정 부호를 이용하여 상기 CWS 코드의 하나 이상의 워드 연산자(word operator)를 생성하는 워드 연산자 생성부(130) 및 상기 하나 이상의 워드 연산자를 이용하여 하나 이상의 얽힘 큐비트(ebit: entangled qubit)을 포함하는 하나 이상의 코드 워드를 생성하는 코드 워드 생성부(140)로 구성된다.
- [34] 본 발명의 일측에 따르면, 송신부와 수신부는 상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 공유한다.
- [35] 본 발명의 일측에 따르면, 상기 하나 이상의 워드 연산자 생성은 송신부에서 독립적으로 수행될 수 있다.
- [36] 아래에서는 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치의 상세 구성을 통하여 양자 부호를 설계하는 방법을 설명하도록 한다.
- [37] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 방법을 도시한 흐름도이고, 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치의 상세 구성을 도시한 블록도이다.
- [38] 도 2 및 도 3을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 초기화부(310)를 이용하여 상기 하나 이상의 양자 오류를 큐비트(qubit)의 초기 상태에 상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 적용하여 초기 상태로 만들 수 있다.
- [39] 예를 들어, 본 발명의 일측에 따른 초기화부(310)는 e 개의 양자 오류를 수정하기 위해서 n -큐비트의 초기 상태에 c 개의 얽힘 큐비트를 적용하여 하기 수학적 식 1과 같이 초기 상태로 만들 수 있다.

[40] [수학적 식 1]

$$\begin{aligned} |S'\rangle_{EA} &= |0\rangle^{\otimes(n-c)} |\Phi_+\rangle^{\otimes c} \\ &\equiv |0 \cdots 0\rangle |e_0 \cdots e_0\rangle. \end{aligned}$$

[41] 이 때, $|e_0\rangle = |\Phi_+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$ 을 의미한다.

[42] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 부호화부(320)를 이용하여 상기 CWS 코드의 표준 방식의 안정기(stabilizer generator)를 생성하는 유니터리 부호화 연산을 이용하여 상기 초기 상태를 부호화 할 수 있다.

[43] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 분석부(330)를 이용하여 CWS(Code Word Stabilized Quantum) 코드의 표준 방식(standard form)을 이용하여 양자 오류 채널에서 발생하는 하나 이상의 양자 오류를 하나 이상의 이진 오류(binary error)로 분석한다(210).

[44] 본 발명의 일측에 따른 분석부(330)는 상기 안정기를 이용하여 하기 수학식 2와 같이 상기 하나 이상의 양자 오류를 상기 하나 이상의 이진 오류로 변환할 수 있다.

[45] [수학식 2]

$$Cl_G(E = \pm Z^v X^u) = v \oplus \bigoplus_{l=1}^n u_l r_l,$$

[46] 여기서, 상기 E 는 채널에서 발생한 오류를 나타내며, 상기 v 와 상기 u 는 이진 벡터를 의미하고 상기 r_l 는 안정 생성자를 구성하는 원형 그래프를 나타내는 이진행렬의 l -번째 행을 의미하며, 상기 x 와 상기 z 는 파울리 연산자를 의미한다.

[47] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 부호 생성부(340)를 이용하여 상기 하나 이상의 이진 오류를 수정하는 이진 오류 정정 부호를 생성한다(220).

[48] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 상기 하나 이상의 이진 오류 정정 부호를 이용하여 상기 CWS 코드의 하나 이상의 워드 연산자(word operator)를 생성한다(230).

[49] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 제거부(350)를 이용하여 상기 하나 이상의 워드 연산자에 상기 안정기를 적용하여 상기 하나 이상의 워드 연산자 중 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거할 수 있다.

[50] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 워드 연산자 생성부(360)를 이용하여 상기 하나 이상의 워드 연산자를 이용하여 하나 이상의 얽힘 큐비트(ebit: entangled qubit)을 포함하는 하나 이상의 코드 워드를 생성한다(240).

[51] 본 발명의 일측에 따른 워드 연산자 생성부(360)는 상기 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거한 워드 연산자에 유니터리 부호화 연산을 적용하여 상기 초기 상태에 대한 워드 연산자를 생성할 수 있다.

[52] 본 발명의 일실시예에 따른 양자 부호 설계 장치는 부호 구성부(370)를 이용하여 상기 생성된 초기 상태의 워드 연산자를 하기 수학식 3을 적용하여 양자 오류 정정 부호를 구성할 수 있다.

[53] [수학식 3]

$$w'_l = X^{x_l} \otimes Z^{v_l} X^{u_l} |I^{\otimes c}.$$

[54] 여기서, 상기 w'_l 은 CWS 부호의 워드 연산자를 의미한다.

[55] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 부호 구성을 이용하여 양자 정보를 부호화 하는 과정을 도시한 도면이다.

[56] 본 발명의 일측에 따른 부호 구성부(370)는 도 4에 도시된 바와 같이 양자 정보를 부호화 할 수 있다.

- [57] 본 발명에 따른 실시예들은 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. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(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. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [58] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] CWS(Code Word Stabilized Quantum) 코드의 표준 방식(standard form)을 이용하여 양자 오류 채널에서 발생하는 하나 이상의 양자 오류를 하나 이상의 이진 오류(binary error)로 분석하는 분석부; 상기 하나 이상의 이진 오류를 수정하는 이진 오류 정정 부호를 생성하는 부호 생성부; 상기 하나 이상의 이진 오류 정정 부호를 이용하여 상기 CWS 코드의 하나 이상의 워드 연산자(word operator)를 생성하는 워드 연산자 생성부; 및 상기 하나 이상의 워드 연산자를 이용하여 하나 이상의 얽힘 큐비트(ebit: entangled qubit)을 포함하는 하나 이상의 코드 워드를 생성하는 코드 워드 생성부를 포함하는 양자 부호 설계 장치.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 송신부와 수신부는, 상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 공유하는 것을 특징으로 하는 양자 부호 설계 장치.
- [청구항 3] 제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 워드 연산자 생성은, 송신부에서 독립적으로 수행되는 것을 특징으로 하는 양자 부호 설계 장치.
- [청구항 4] 제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 양자 오류를 큐비트(qubit)의 초기 상태에 상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 적용하여 초기 상태로 만드는 초기화부를 더 포함하는 양자 부호 설계 장치.
- [청구항 5] 제4항에 있어서, 상기 CWS 코드의 표준 방식의 안정기(stabilizer generator)를 생성하는 유니터리 부호화 연산을 이용하여 상기 초기 상태를 부호화 하는 부호화부를 더 포함하는 양자 부호 설계 장치.
- [청구항 6] 제5항에 있어서, 상기 분석부는, 상기 안정기를 이용하여 하기 수학식 1과 같이 상기 하나 이상의 양자 오류를 상기 하나 이상의 이진 오류로 변환하는 양자 부호 설계 장치.

[수학식 1]

$$Cl_G(E = \pm Z^v X^u) = v \oplus \bigoplus_{l=1}^n u_l r_l,$$

(여기서, 상기 E 는 채널에서 발생한 오류, 상기 v 와 상기 u 는 이진 벡터, 상기 r_l 는 안정 생성자를 구성하는 원형 그래프를 나타내는 이진행렬의 l -번째 행, 상기 x 와 상기 z 는 파울리 연산자에 대응 됨.)

[청구항 7]

제5항에 있어서,
상기 하나 이상의 워드 연산자에 상기 안정기를 적용하여 상기 하나 이상의 워드 연산자 중 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거하는 제거부를 더 포함하는 양자 부호 설계 장치.

[청구항 8]

제7항에 있어서,
상기 워드 연산자 생성부는,
상기 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거한 워드 연산자에 유니터리 부호화 연산을 적용하여 상기 초기 상태에 대한 워드 연산자를 생성하는 양자 부호 설계 장치.

[청구항 9]

제8항에 있어서,
상기 생성된 초기 상태의 워드 연산자를 하기 수학식 2를 적용하여 양자 오류 정정 부호를 구성하는 부호 구성부를 더 포함하는 양자 부호 설계 장치.

[수학식 2]

$$w'_i = X^{x_i} \otimes Z^{v_i} X^{u_i} |I^{\otimes c}.$$

(여기서, 상기 w'_i 은 상기 CWS 부호의 워드 연산자에 대응 됨.)

[청구항 10]

CWS(Code Word Stabilized Quantum) 코드의 표준 방식(standard form)을 이용하여 양자 오류 채널에서 발생하는 하나 이상의 양자 오류를 하나 이상의 이진 오류(binary error)로 분석하는 단계;
상기 하나 이상의 이진 오류를 수정하는 이진 오류 정정 부호를 생성하는 단계;
상기 하나 이상의 이진 오류 정정 부호를 이용하여 상기 CWS 코드의 하나 이상의 워드 연산자(word operator)를 생성하는 단계;
및
상기 하나 이상의 워드 연산자를 이용하여 하나 이상의 얽힘 큐비트(ebit: entangled qubit)을 포함하는 하나 이상의 코드 워드를 생성하는 단계

- 를 포함하는 양자 부호 설계 방법.
- [청구항 11] 제10항에 있어서,
송신부와 수신부는,
상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 공유하는 것을 특징으로 하는 양자 부호 설계 방법.
- [청구항 12] 제10항에 있어서,
상기 하나 이상의 위드 연산자를 생성하는 단계는,
송신부에서 독립적으로 수행되는 것을 특징으로 하는 양자 부호 설계 방법.
- [청구항 13] 제10항에 있어서,
상기 하나 이상의 양자 오류를 큐비트(qubit)의 초기 상태에 상기 하나 이상의 얽힘 큐비트를 적용하여 초기 상태로 만드는 단계를 더 포함하는 양자 부호 설계 방법.
- [청구항 14] 제13항에 있어서,
상기 CWS 코드의 표준 방식의 안정기(stabilizer generator)를 생성하는 유니터리 부호화 연산을 이용하여 상기 초기 상태를 부호화 하는 단계를 더 포함하는 양자 부호 설계 방법.
- [청구항 15] 제14항에 있어서,
상기 안정기를 이용하여 하기 수학식 3과 같이 상기 하나 이상의 양자 오류를 상기 하나 이상의 이진 오류로 변환하는 단계를 더 포함하는 양자 부호 설계 방법.

[수학식 3]

$$Cl_G(E = \pm Z^v X^u) = v \oplus \bigoplus_{l=1}^n u_l r_l$$

(여기서, 상기 E 는 채널에서 발생한 오류, 상기 v 와 상기 u 는 이진 벡터, 상기 r 는 안정 생성자를 구성하는 원형 그래프를 나타내는 이진행렬의 l -번째 행, 상기 x 와 상기 z 는 파울리 연산자에 대응 됨.)

- [청구항 16] 제14항에 있어서,
상기 하나 이상의 위드 연산자에 상기 안정기를 적용하여 상기 하나 이상의 위드 연산자 중 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거하는 단계를 더 포함하는 양자 부호 설계 방법.
- [청구항 17] 제16항에 있어서,
상기 수신부에서 수행되는 얽힘 큐비트를 제거한 위드 연산자에

유니터리 부호화 연산을 적용하여 상기 초기 상태에 대한 워드 연산자를 생성하는 단계
를 더 포함하는 양자 부호 설계 방법.

[청구항 18]

제17항에 있어서,

상기 생성된 초기 상태의 워드 연산자를 하기 수학식 4를 적용하여 양자 오류 정정 부호를 구성하는 단계
를 더 포함하는 양자 부호 설계 방법.

[수학식 4]

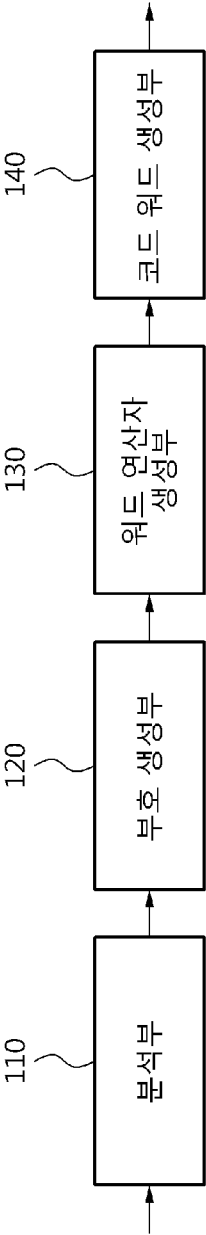
$$w'_i = X^{x_i} \otimes Z^{v_i} X^{u_i} |I^{\otimes c}.$$

(여기서, 상기 w'_i 은 상기 CWS 부호의 워드 연산자에 대응 됨.)

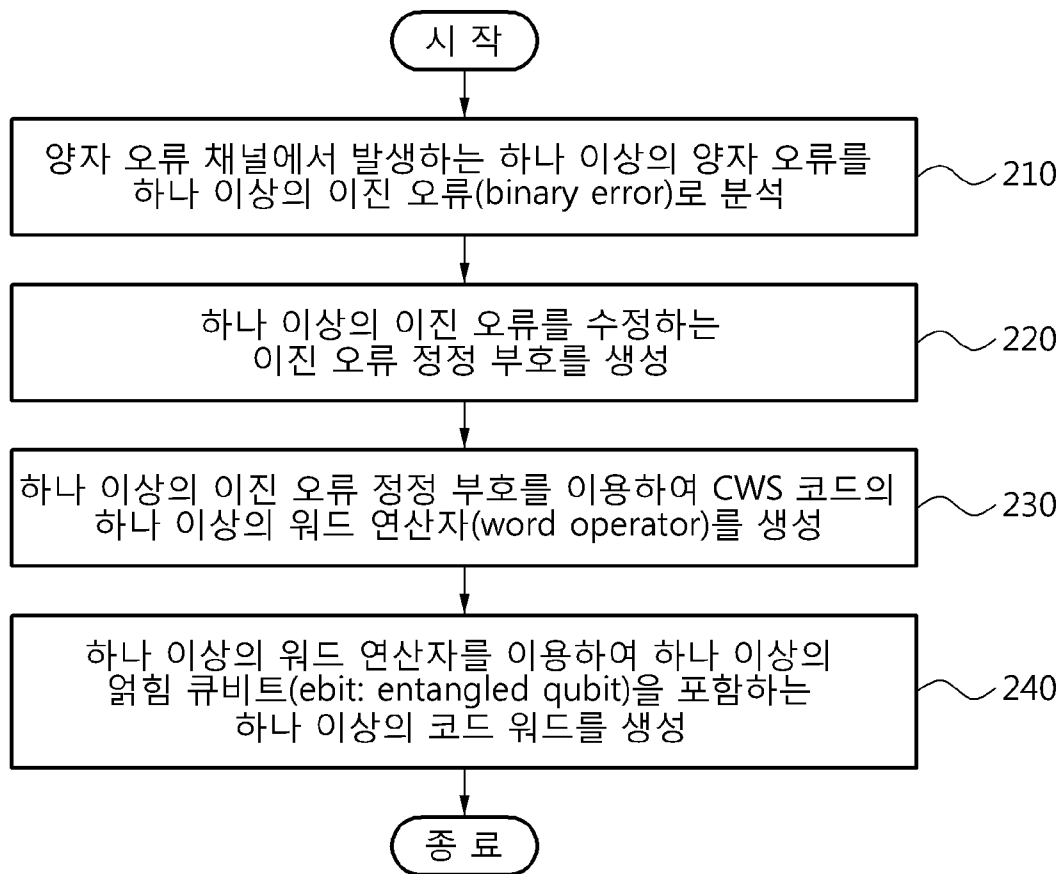
[청구항 19]

제10항 내지 제18항 중 어느 한 항의 방법을 수행하는 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능 기록 매체.

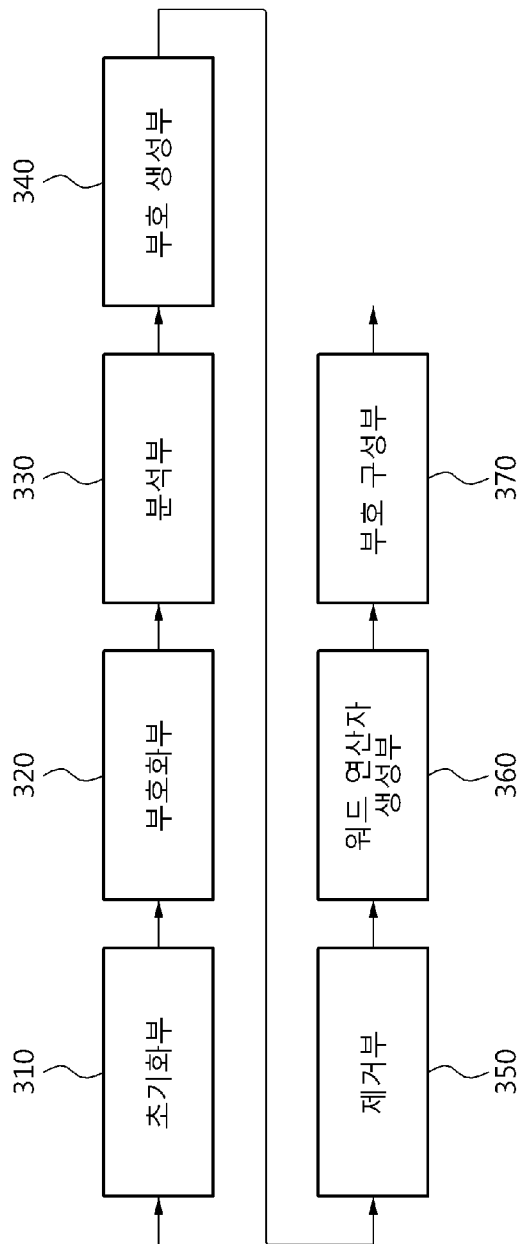
[Fig. 1]



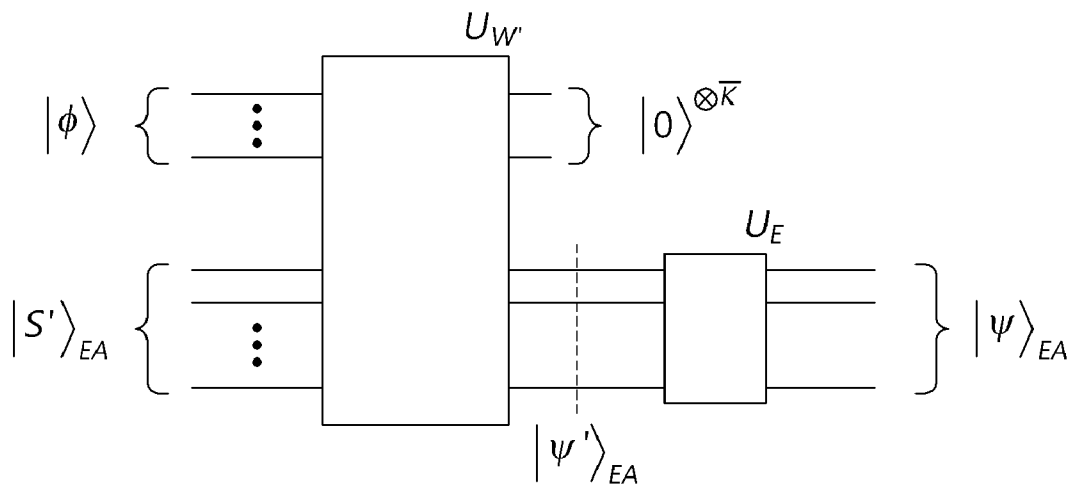
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2012/001291**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H03M 13/03(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03M 13/03; H04L 9/08; H01L 39/00; H03M 13/05; H04L 9/22; H04B 10/08; G06F 11/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: "quantum*, quantum*, qubit*, quantum*, qubit*, error*, error*, binary*, binary*, error*, binary*, operator*, opera*, word*, codeword*, operat*, word*, codeword*, entangl*, entangl*, entangl*, stability, stabil*"

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2005-0100074 A (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 18 October 2005 Abstract, claims 1-5 and figures 1,2	1-19
A	US 2011-0222848 A1 (LUKIN, Mikhail et al.) 15 September 2011 Abstract, claim 1 and figures 1a-1c	1-19
A	JP 2005-269105 A (CANON INC) 29 September 2005 Abstract, claims 1-16 and figure 1	1-19
A	KR 10-2004-0058326 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 03 July 2004 Abstract, claim 1 and figures 1,3-5	1-19
A	MATHPHYS ISAAC L. CHUNG et al. "Codeword stabilized quantum codes: algorithm and structure " J. Math. Phys. 50, 042109, 28 April 2009 Pages 2,5	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 FEBRUARY 2013 (12.02.2013)

Date of mailing of the international search report

13 FEBRUARY 2013 (13.02.2013)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2012/001291

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2005-0100074 A	18.10.2005	US 2005-0249352 A1 US 7496203 B2	10.11.2005 24.02.2009
US 2011-0222848 A1	15.09.2011	WO 2007-044759 A2 WO 2007-044759 A3	19.04.2007 16.08.2007
JP 2005-269105 A	29.09.2005	NONE	
KR 10-2004-0058326 A	03.07.2004	EP 1445890 A1 EP 1445890 A4 EP 1445890 B1 JP 04-398374 B2 US 2005-0157875 A1 US 7590244 B2 US 7649996 B2 WO 2004-030270 A1	11.08.2004 26.01.2005 09.05.2007 30.10.2009 21.07.2005 15.09.2009 19.01.2010 08.04.2004

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H03M 13/03(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H03M 13/03; H04L 9/08; H01L 39/00; H03M 13/05; H04L 9/22; H04B 10/08; G06F 11/08 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: "양자*,퀀텀*,퀀툼*,큐비*,quantum*,qubit*,오류*,에러*,이진*,바이너리*,error*,binary*,연산자*,오퍼레이*,워드*,코드워*,operat*,word*,codeword*,얽힘*,얽힌*,entangl*,안정*,stabil*"		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-2005-0100074 A (한국전자통신연구원) 2005.10.18 요약, 청구항 1-5 및 도면 1,2	1-19
A	US 2011-0222848 A1 (LUKIN MIKHAIL 외 3명) 2011.09.15 요약, 청구항 1 및 도면 1a-1c	1-19
A	JP 2005-269105 A (CANON INC) 2005.09.29 요약, 청구항 1-16 및 도면 1	1-19
A	KR 10-2004-0058326 A (미쓰비시덴키 가부시키키가이샤) 2004.07.03 요약, 청구항 1 및 도면 1,3-5	1-19
A	MATHPHYS ISAAC L. CHUNG et al. 'Codeword stabilized quantum codes: algorithm and structure' J. Math. Phys. 50, 042109, 2009.04.28 페이지 2, 5	1-19
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2013년 02월 12일 (12.02.2013)		국제조사보고서 발송일 2013년 02월 13일 (13.02.2013)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소  대한민국 특허청 (302-701) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 82-42-472-7140		심사관 장석환 전화번호 82-42-481-8250 

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2005-0100074 A	2005. 10. 18	US 2005-0249352 A1 US 7496203 B2	2005. 11. 10 2009. 02. 24
US 2011-0222848 A1	2011. 09. 15	WO 2007-044759 A2 WO 2007-044759 A3	2007. 04. 19 2007. 08. 16
JP 2005-269105 A	2005. 09. 29	없음	
KR 10-2004-0058326 A	2004. 07. 03	EP 1445890 A1 EP 1445890 A4 EP 1445890 B1 JP 04-398374 B2 US 2005-0157875 A1 US 7590244 B2 US 7649996 B2 WO 2004-030270 A1	2004. 08. 11 2005. 01. 26 2007. 05. 09 2009. 10. 30 2005. 07. 21 2009. 09. 15 2010. 01. 19 2004. 04. 08