



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0093415
(43) 공개일자 2020년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 7/544 (2017.01) G06F 17/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 7/5446 (2013.01)
G06F 17/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0144571
(22) 출원일자 2019년11월12일
심사청구일자 2019년11월12일
(30) 우선권주장
1020190010736 2019년01월28일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
박중선
서울특별시 서초구 신반포로 9 반포아파트
신동엽
경기도 용인시 기흥구 동백 5 로 41
(74) 대리인
이기성

전체 청구항 수 : 총 20 항

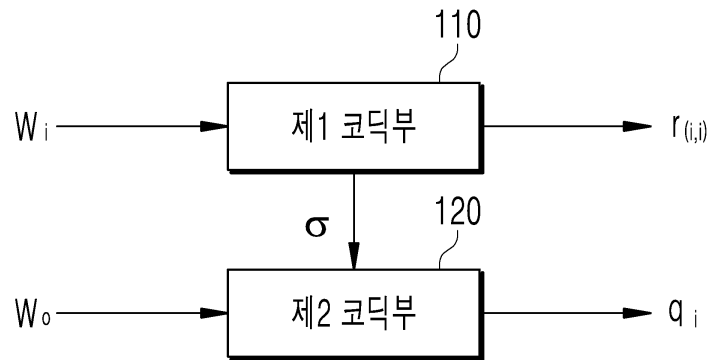
(54) 발명의 명칭 **그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기 및 그 동작 방법**

(57) 요약

본 출원의 일 실시예에 따르는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기는, QR 분해(QR decomposition) 동작 시, 채널 행렬에 기초하여 중간 행렬을 생성하는 다중입출력 수신기로서, 상기 중간 행렬의 열 벡터에 대해 반복적인 벡터링코드 동작을 수행하는 제1 코드부 및 상기 벡터링코드 동작에 따라 회전되는 회전 방향에 기초하여, 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터에 대해 반복적인 로테이션코드 동작을 수행하는 제2 코드부를 포함한다.

대표도 - 도2

100



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711071760
 부처명 과학기술정보통신부
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
 연구과제명 사물인터넷용 저면적/저전력 전용 프로세서 설계를 위한 맞춤형 임베디드 메모리 개발
 기 여 율 6/10
 주관기관 고려대학교
 연구기간 2018.04.01 ~ 2019.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711076106
 부처명 과학기술정보통신부
 연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
 연구사업명 전자정보디바이스산업원천기술개발(R&D)
 연구과제명 스마트 센서 SoC용 초저전압 회로 및 IP 설계 기술 개발
 기 여 율 4/10
 주관기관 연세대학교 산학협력단
 연구기간 2018.04.01 ~ 2019.01.31

명세서

청구범위

청구항 1

QR 분해(QR decomposition) 동작 시, 채널 행렬에 기초하여 중간 행렬을 생성하는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기로서,

상기 중간 행렬의 열 벡터에 대해 반복적인 벡터링코드 동작을 수행하는 제1 코덱부; 및

상기 벡터링코드 동작에 따라 회전되는 회전 방향에 기초하여, 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터에 대해 반복적인 로테이션코드 동작을 수행하는 제2 코덱부를 포함하는, 다중입출력 수신기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 코덱부는, 상기 열 벡터를 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산을 통해 제1 코덱 행렬을 출력하고,

상기 제1 코덱 행렬의 크기는 상삼각 행렬의 표준 요소의 크기에 대응되는, 다중입출력 수신기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 코덱부는, 상기 반복적인 벡터링코드 동작에 따라, 기설정된 회전 방정식으로부터 제1 코덱 연산식(1)을 결정하고,

상기 제1 코덱 연산식(1)은,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\sigma_i \cdot 2^{2-i} \\ \sigma_i \cdot 2^{2-i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{bmatrix} \quad (\theta \neq 90^\circ) \quad (1) \text{ 이고,}$$

여기서, x는 상기 제1 코덱 행렬의 x축 크기이고, y는 상기 제1 코덱 행렬의 y축 크기이며, i는 상기 반복적인 벡터링코드 동작의 i번째 순번을 나타내고, σ 는 벡터링 회전 방향을 나타내는, 다중입출력 수신기.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 벡터링 회전 방향은, 이전 순번의 제1 코덱 행렬의 y축 크기의 부호에 따라, 시계 방향 및 반시계 방향 중 어느 하나로 결정되는, 다중입출력 수신기.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 코덱부는, 상수에 해당하는 $\frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}}$ 를 누적하여, 상기 반복적인 벡터링코드 동작의 마지막 벡터링 동작에서 한번에 스케일 팩터를 연산하고,

상기 스케일 팩터는, $K_n = \prod_{i=2}^n \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}}$ 인, 다중입출력 수신기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제2 코덱부는, 상기 초기 열 벡터를 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산을 통해 제2 코덱 행렬을 출력하고,
상기 제2 코덱 행렬은 직교 행렬의 직교 열 벡터에 대응되는, 다중입출력 수신기.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제2 코덱부는, 상기 반복적인 로테이션코딩 동작에 따라 기설정된 회전 방정식으로부터 제2 코덱 연산식 (2)을 도출하고,

상기 제2 코덱 연산식(2)은,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\sigma_i \cdot 2^{2-i} \\ \sigma_i \cdot 2^{2-i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{bmatrix} \quad (i \geq 2) \quad (2) \text{이고,}$$

여기서, x는 상기 제2 코덱 행렬의 x축 크기이고, y는 상기 제2 코덱 행렬의 y축 크기이며, i는 상기 반복적인 로테이션코딩 동작의 i번째 순번을 나타내고, σ 는 로테이션 회전 방향을 나타내는, 다중입출력 수신기.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 로테이션 회전 방향은, 상기 초기 열 벡터와 상기 회전 각도를 이루는 라인을 기준으로, 이전 순번의 제2 코덱 행렬이 위치한 방향에 따라 시계 방향 및 반시계 방향 중 어느 하나로 결정되는, 다중입출력 수신기.

청구항 9

QR 분해(QR decomposition) 동작 시, 채널 행렬에 기초하여 중간 행렬을 생성하는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기로서,

상기 중간 행렬의 열 벡터에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하고, 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 코덱부; 및

상기 코덱부를 통해 획득되는 상삼각 행렬의 표준 요소와 직교 행렬의 직교 열 벡터에 기초하여, 적어도 하나의 곱셈기와 적어도 하나의 가산기를 통해 상기 상삼각 행렬의 나머지 요소들을 계산하고 상기 중간 행렬의 나머지 열 벡터들을 업데이트하는 프로젝션부를 포함하는, 다중입출력 수신기.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 코덱부는, 상기 반복적인 벡터링코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 벡터링코딩 모듈들을 포함하는 제1 코덱부;

상기 반복적인 로테이션코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 로테이션스텝 모듈들을 포함하는 제2 코덱부; 및

상기 제1 코덱부를 통해 획득되는 회전 방향과 부호 정보를 지연시켜 상기 제2 코덱부로 출력하는 플립플롭부를 포함하는, 다중입출력 수신기.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 복수의 벡터링코딩 모듈들의 개수와 상기 복수의 로테이션스텝 모듈들의 개수는 서로 동일한, 다중입출력 수신기.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 제2 코덱부는, 상기 복수의 로테이션스텝 모듈들 중 가장 우선 순위의 로테이션스텝 모듈을 동작시키는 한 쌍의 멀티플렉서; 및

나머지 로테이션스텝 모듈들 각각을 동작시키는 각 멀티플렉서를 포함하고,

상기 복수의 로테이션스텝 모듈들의 총개수는 상기 멀티플렉서의 총개수보다 적은, 다중입출력 수신기.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 코덱부를 제어하기 위한 제1 제어신호와 상기 프로젝션부를 제어하기 위한 제2 제어신호를 생성하는 글로벌 제어부;

상기 제1 제어신호에 기초하여, 벡터링코딩 모드와 로테이션코딩 모드 중 하나의 코딩모드를 결정하는 코딩 제어부; 및

상기 제2 제어신호에 기초하여, 적어도 하나의 곱셈기와 적어도 하나의 가산기 중 적어도 하나를 제어하는 프로젝션 제어부를 더 포함하는, 다중입출력 수신기.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 코덱부는, 상기 하나의 코딩모드가 상기 벡터링코딩 모드로 결정된 경우, 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하는 제1 코덱부;

상기 하나의 코딩모드가 상기 로테이션코딩 모드로 결정된 경우, 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 제2 코덱부; 및

상기 하나의 코딩모드의 동작 구간에 기초하여, 상기 제1 및 제2 코덱부 중 어느 하나로 변환하여 동작하는 적어도 하나의 변환부를 포함하는, 다중입출력 수신기.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 적어도 하나의 변환부의 개수는 상기 중간 행렬의 열 벡터의 개수보다 적은, 다중입출력 수신기.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 프로젝션부는, 상기 코덱부를 통해 출력된 각 출력 정보를 입력받는 제1 입력부;

상기 각 출력 정보에 기초하여, 복수의 계산기들을 통해 제1 계산정보를 계산하는 제1 계산부;

상기 제1 계산정보를 입력받아 전달하는 제2 입력부;

상기 제2 입력부를 통해 전달받는 상기 제1 계산정보에 기초하여, 복수의 가산기들을 통해 제2 계산정보를 계산하는 제2 계산부; 및

상기 제1 및 제2 계산정보를 합산하여, 상기 상삼각 행렬의 나머지 요소들, 상기 중간 행렬의 나머지 열 벡터 및 상기 채널 행렬의 일부 열 벡터를 출력하는 합산부를 포함하는, 다중입출력 수신기.

청구항 17

그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기의 동작 방법으로서,

제1 코덱부가 중간 행렬의 열 벡터에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하는 단계; 및

제2 코덱부가 상기 벡터링코딩 동작에 따라 회전되는 회전 방향에 기초하여, 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 단계를 포함하는, 다중입출력 수신기의 동작 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 반복적인 벡터링코드 동작을 수행하는 단계는, 상기 제1 코덱부가 복소수 열 벡터들을 입력받는 단계;

상기 제1 코덱부가 상기 복소수 열 벡터들로부터 허수부 벡터들을 제거하고, 실수부 벡터들을 획득하는 제1 벡터링모드를 수행하는 단계;

상기 제1 코덱부가 상기 실수부 벡터들로부터 절반을 제거된 나머지 실수부 벡터들을 획득하는 제2 벡터링모드를 수행하는 단계; 및

상기 제1 코덱부가 하나의 실수부 벡터를 획득하는 제3 벡터링모드를 수행하는 단계를 포함하는, 다중입출력 수신기의 동작 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 반복적인 로테이션코드 동작을 수행하는 단계는, 상기 제2 코덱부가 제1 내지 제3 스케일 팩터를 곱한 상기 초기 열 벡터를 입력받는 단계;

상기 제2 코덱부가 상기 제3 벡터링모드에 따라 회전되는 제3 회전 방향에 기초하여, 상기 초기 열 벡터를 회전시키는 제1 로테이션모드를 수행하는 단계;

상기 제2 코덱부가 상기 제2 벡터링모드에 따라 회전되는 제2 회전 방향에 기초하여, 상기 제1 로테이션모드를 통해 회전된 상기 초기 열 벡터를 회전시키는 제2 로테이션모드를 수행하는 단계;

상기 제2 코덱부가 상기 제1 벡터링모드에 따라 회전되는 제1 회전 방향에 기초하여, 상기 제2 로테이션모드를 통해 회전된 상기 초기 열 벡터를 회전시키는 제3 로테이션모드를 수행하는 단계; 및

상기 제2 코덱부가 상기 제3 로테이션모드를 통해 복소수 직교 열 벡터들을 출력하는 단계를 더 포함하고,

상기 복소수 직교 열 벡터들은, 실수부 직교 열 벡터들과 허수부 직교 열 벡터들을 포함하는, 다중입출력 수신기의 동작 방법.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 반복적인 벡터링코드 동작의 횟수는 상기 반복적인 로테이션코드 동작의 횟수보다 크거나 같은, 다중입출력 수신기의 동작 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기 및 그 동작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 통신에서는 필수적으로 MIMO 리시버를 사용하고 있다. 여기서, MIMO(Multiple Input Multiple Output)는 다중의 입출력이 가능한 안테나 시스템을 의미할 수 있다.

[0003] 최근, 모바일 환경에서 MIMO 리시버를 구현하기 위해서는, 복잡도가 큰 QR 분해를 효율적으로 구현하는 것이 매우 중요하다. 여기서, QR 분해(QR decomposition)는 실수 행렬을 직교 행렬(Q)과 상삼각 행렬(R)의 곱으로 나타내는 행렬 분해를 의미할 수 있다.

[0004] 이러한 QR 분해는, 연속 간섭 제거(successive interference cancellation), V-BLAST, K-Best, 구 디코딩(sphere decoding) 등 다양한 타입의 MIMO 탐지기(detector)에 전처리 과정으로 널리 사용되고 있다. 구체적으로, QR 분해는 기븐스 로테이션(Givens rotation)방법, 하우스홀더 변환(Householder transformation)방법 그

리고 그람-슈미트 방법이 있다.

- [0005] 특히, 그람-슈미트 QR 분해는 낮은 알고리즘 복잡도에도 불구하고, 벡터 크기(norm)와 단위 벡터(unit vector: 크기가 1인 벡터)를 구하는데 사용되는 제곱근과 나눗셈 연산의 하드웨어 구현 복잡도로 인해, 모바일 환경에서 기븐스 로테이션이나 하우스홀더 변환에 비해 잘 사용되지 않고 있는 상황이다.
- [0006] 반면, 그람-슈미트의 제곱근 및 나눗셈 연산을 간단하게 구현할 수 있다면, 상대적으로 낮은 알고리즘 복잡도로 기존 QR 분해 하드웨어에 비해, 거의 동일한 coded/uncoded 비트 오류율 성능과 이득을 얻을 수 있고, 저 지연 시간 면적 효율적 QR 분해 하드웨어 구현에 사용하기 적합하다.
- [0007] 또한, 기존의 곱셈과 나눗셈을 이용한 그람-슈미트 QR 분해 및 코딩 기반의 기븐스 로테이션/하우스홀더 QR 분해보다 낮은 하드웨어 복잡도로 거의 동일한 coded/uncoded 비트 오류율 성능을 보이는 것이 가능하며, 저 지연 시간 면적 효율적 QR 분해 하드웨어 구현에 사용하기 적합하다. 이러한 그람-슈미트의 벡터 크기 연산은 코딩의 벡터링(vectoring) 모드 연산을 통해 얻을 수 있고, 단위 벡터는 첫 번째 원소만 1이고 나머지 원소 값들은 전부 0인 벡터의 코딩 로테이션(rotation) 모드 연산으로 얻을 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 출원의 목적은, 상삼각 행렬의 표준 요소와 직교 행렬의 직교 열 벡터를 획득하는 종래의 복잡한 연산을 간단한 연산으로 대체할 수 있는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기 및 그 동작 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 출원의 일 실시예에 따르는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기는, QR 분해(QR decomposition) 동작 시, 채널 행렬에 기초하여 중간 행렬을 생성하는 다중입출력 수신기로서, 상기 중간 행렬의 열 벡터에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하는 제1 코딩부 및 상기 벡터링코딩 동작에 따라 회전되는 회전 방향에 기초하여, 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 제2 코딩부를 포함한다.

- [0010] 실시예에 있어서, 상기 제1 코딩부는, 상기 열 벡터를 슈프팅 연산 및 덧셈 연산을 통해 제1 코딩 행렬을 출력하고, 상기 제1 코딩 행렬의 크기는 상삼각 행렬의 표준 요소의 크기에 대응된다.

- [0011] 실시예에 있어서, 상기 제1 코딩부는, 상기 반복적인 벡터링코딩 동작에 따라, 기설정된 회전 방정식으로부터 제1 코딩 연산식(1)을 결정하고, 상기 제1 코딩 연산식(1)은,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\sigma_i \cdot 2^{2-i} \\ \sigma_i \cdot 2^{2-i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{bmatrix} \quad (\theta \neq 90^\circ)$$

(1) 이고, 여기서, x는 상기 제1 코딩 행렬의 x축 크기이고, y는 상기 제1 코딩 행렬의 y축 크기이며, i는 상기 반복적인 벡터링코딩 동작의 i번째 순번을 나타내고, σ 는 벡터링 회전 방향을 나타낸다.

- [0012] 실시예에 있어서, 상기 벡터링 회전 방향은, 이전 순번의 제1 코딩 행렬의 y축 크기의 부호에 따라, 시계 방향 및 반시계 방향 중 어느 하나로 결정된다.

- [0013] 실시예에 있어서, 상기 제1 코딩부는, 상기 상수 $\frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}}$ 를 누적하여, 상기 반복적인 벡터링코딩 동작의

마지막 벡터링 동작에서 한번에 스케일 팩터를 연산하고, 상기 스케일 팩터는, $K_n = \prod_{i=2}^n \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}}$ 이다.

- [0014] 실시예에 있어서, 상기 제2 코딩부는, 상기 초기 열 벡터를 슈프팅 연산 및 덧셈 연산을 통해 제2 코딩 행렬을 출력하고, 상기 제2 코딩 행렬은 직교 행렬의 직교 열 벡터에 대응된다.

- [0015] 실시예에 있어서, 상기 제2 코딩부는, 상기 반복적인 로테이션코딩 동작에 따라 기설정된 회전 방정식으로부터 제2 코딩 연산식(2)을 도출하고, 상기 제2 코딩 연산식(2)은,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\sigma_i \cdot 2^{2-i} \\ \sigma_i \cdot 2^{2-i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{bmatrix} \quad (i \geq 2)$$

[0016]

(2)이고,

[0017]

여기서, x 는 상기 제2 코딩 행렬의 x 축 크기이고, y 는 상기 제2 코딩 행렬의 y 축 크기이며, i 는 상기 반복적인 로테이션코딩 동작의 i 번째 순번을 나타내고, σ 는 로테이션 회전 방향을 나타낸다.

[0018]

실시예에 있어서, 상기 로테이션 회전 방향은, 상기 초기 열 벡터와 상기 회전 각도를 이루는 라인을 기준으로, 이전 순번의 제2 코딩 행렬이 위치한 방향에 따라 시계 방향 및 반시계 방향 중 어느 하나로 결정된다.

[0019]

본 출원의 다른 실시예에 따르는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기는, QR 분해(QR decomposition) 동작 시, 채널 행렬에 기초하여 중간 행렬을 생성하는 다중입출력 수신기로서, 상기 중간 행렬의 열 벡터와 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터를 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하는 코딩부 및 상기 코딩부를 통해 획득되는 상삼각 행렬의 표준 요소와 직교 행렬의 직교 열 벡터에 기초하여, 적어도 하나의 곱셈기와 적어도 하나의 가산기를 통해 상기 상삼각 행렬의 나머지 요소들을 계산하고 상기 중간 행렬의 나머지 열 벡터들을 업데이트하는 프로젝션부를 포함한다.

[0020]

실시예에 있어서, 상기 코딩부는, 상기 표준 요소를 획득하기 위하여, 반복적인 벡터링코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 벡터링코딩 모듈들을 포함하는 제1 코딩부, 상기 직교 열 벡터를 획득하기 위하여, 반복적인 로테이션코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 로테이션스텝 모듈들을 포함하는 제2 코딩부 및 상기 제1 코딩부를 통해 획득되는 회전 방향과 부호 정보를 지연시켜 상기 제2 코딩부로 출력하는 플립플롭부를 포함한다.

[0021]

실시예에 있어서, 상기 복수의 벡터링코딩 모듈들의 개수와 상기 복수의 로테이션스텝 모듈들의 개수는 서로 동일하다.

[0022]

실시예에 있어서, 상기 제2 코딩부는, 상기 복수의 로테이션스텝 모듈들 중 가장 우선 순위의 로테이션스텝 모듈을 동작시키는 한쌍의 멀티플렉서 및 나머지 로테이션스텝 모듈들 각각을 동작시키는 각 멀티플렉서를 포함하고, 상기 멀티플렉서의 총개수는 복수의 로테이션스텝 모듈들의 총개수보다 많다.

[0023]

실시예에 있어서, 상기 코딩부를 제어하기 위한 제1 제어신호와 상기 프로젝션부를 제어하기 위한 제2 제어신호를 생성하는 글로벌 제어부, 상기 제1 제어신호에 기초하여, 벡터링코딩 모드와 로테이션코딩 모드 중 하나의 코딩모드를 결정하는 코딩 제어부 및 상기 제2 제어신호에 기초하여, 적어도 하나의 곱셈기와 적어도 하나의 가산기 중 적어도 하나를 제어하는 프로젝션 제어부를 더 포함한다.

[0024]

실시예에 있어서, 상기 코딩부는, 상기 하나의 코딩모드가 상기 벡터링코딩 모드로 결정된 경우, 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하는 제1 코딩부, 상기 하나의 코딩모드가 상기 로테이션코딩 모드로 결정된 경우, 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 제2 코딩부 및 상기 제1 및 제2 코딩부 중 동작 클럭 구간에 따라 어느 하나로 동작하는 적어도 하나의 변환부를 포함한다.

[0025]

실시예에 있어서, 상기 적어도 하나의 변환 모듈의 개수는 상기 중간 행렬의 열 벡터의 개수보다 적다.

[0026]

실시예에 있어서, 상기 프로젝션부는, 상기 코딩부를 통해 출력된 각 출력 정보를 입력받는 제1 입력부, 상기 각 출력 정보에 기초하여, 복수의 계산기들을 통해 제1 계산정보를 계산하는 제1 계산부, 상기 제1 계산정보를 입력받아 전달하는 제2 입력부, 상기 제2 입력부를 통해 전달받는 상기 제1 계산정보에 기초하여, 복수의 가산기들을 통해 제2 계산정보를 계산하는 제2 계산부 및 상기 제1 및 제2 계산정보를 합산하여, 상기 상삼각 행렬의 나머지 요소들, 상기 중간 행렬의 나머지 열 벡터 및 상기 채널 행렬의 일부 열 벡터를 출력하는 합산부를 포함한다.

[0027]

본 출원의 일 실시예에 따르는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기로서, QR 분해(QR decomposition) 동작 시, 채널 행렬에 기초하여 중간 행렬을 생성하는 다중입출력 수신기로서, 상기 중간 행렬의 열 벡터에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하고, 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 코딩부 및 상기 코딩부를 통해 획득되는 상삼각 행렬의 표준 요소와 직교 행렬의 직교 열 벡터에 기초하여, 적어도 하나의 곱셈기와 적어도 하나의 가산기를 통해 상기 상삼각 행렬의 나머지 요소들을 계산하고 상기 중간 행렬의 나머지 열 벡터들을 업데이트하는 프로젝션부를 포함한다.

[0028]

실시예에 있어서, 상기 코딩부는, 상기 반복적인 벡터링코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 벡터링코딩 모듈들을 포함하는 제1 코딩부, 상기 반복적인 로테이션코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 로테이션스텝 모

들들을 포함하는 제2 코딩부 및 상기 제1 코딩부를 통해 획득되는 회전 방향과 부호 정보를 지연시켜 상기 제2 코딩부로 출력하는 플립플롭부를 포함한다.

- [0029] 실시예에 있어서, 상기 복수의 벡터링코딩 모듈들의 개수와 상기 복수의 로테이션스텝 모듈들의 개수는 서로 동일하다.
- [0030] 실시예에 있어서, 상기 제2 코딩부는, 상기 복수의 로테이션스텝 모듈들 중 가장 우선 순위의 로테이션스텝 모듈을 동작시키는 한쌍의 멀티플렉서 및 나머지 로테이션스텝 모듈들 각각을 동작시키는 각 멀티플렉서를 포함하고, 상기 복수의 로테이션스텝 모듈들의 총개수는 상기 멀티플렉서의 총개수보다 적다.
- [0031] 실시예에 있어서, 상기 코딩부를 제어하기 위한 제1 제어신호와 상기 프로젝션부를 제어하기 위한 제2 제어신호를 생성하는 글로벌 제어부, 상기 제1 제어신호에 기초하여, 벡터링코딩 모드와 로테이션코딩 모드 중 하나의 코딩모드를 결정하는 코딩 제어부 및 상기 제2 제어신호에 기초하여, 적어도 하나의 곱셈기와 적어도 하나의 가산기 중 적어도 하나를 제어하는 프로젝션 제어부를 더 포함한다.
- [0032] 실시예에 있어서, 상기 코딩부는, 상기 하나의 코딩모드가 상기 벡터링코딩 모드로 결정된 경우, 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하는 제1 코딩부, 상기 하나의 코딩모드가 상기 로테이션코딩 모드로 결정된 경우, 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 제2 코딩부 및 상기 하나의 코딩모드의 동작 구간에 기초하여, 상기 제1 및 제2 코딩부 중 어느 하나로 변환하여 동작하는 적어도 하나의 변환부를 포함한다.
- [0033] 실시예에 있어서, 상기 적어도 하나의 변환부의 개수는 상기 중간 행렬의 열 벡터의 개수보다 적다.
- [0034] 실시예에 있어서, 상기 프로젝션부는, 상기 코딩부를 통해 출력된 각 출력 정보를 입력받는 제1 입력부, 상기 각 출력 정보에 기초하여, 복수의 계산기들을 통해 제1 계산정보를 계산하는 제1 계산부, 상기 제1 계산정보를 입력받아 전달하는 제2 입력부, 상기 제2 입력부를 통해 전달받는 상기 제1 계산정보에 기초하여, 복수의 가산기들을 통해 제2 계산정보를 계산하는 제2 계산부 및 상기 제1 및 제2 계산정보를 합산하여, 상기 상삼각 행렬의 나머지 요소들, 상기 중간 행렬의 나머지 열 벡터 및 상기 채널 행렬의 일부 열 벡터를 출력하는 합산부를 포함한다.
- [0035] 본 출원의 일 실시예에 따르는 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기의 동작 방법으로서, 제1 코딩부가 중간 행렬의 열 벡터에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하는 단계 및 제2 코딩부가 상기 벡터링코딩 동작에 따라 회전되는 회전 방향에 기초하여, 상기 열 벡터에 대응되는 초기 열 벡터에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 단계를 포함한다
- [0036] 실시예에 있어서, 상기 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행하는 단계는, 상기 제1 코딩부가 복소수 열 벡터들을 입력받는 단계, 상기 제1 코딩부가 상기 복소수 열 벡터들로부터 허수부 벡터들을 제거하고, 실수부 벡터들을 획득하는 제1 벡터링모드를 수행하는 단계, 상기 제1 코딩부가 상기 실수부 벡터들로부터 절반을 제거된 나머지 실수부 벡터들을 획득하는 제2 벡터링모드를 수행하는 단계 및 상기 제1 코딩부가 하나의 실수부 벡터를 획득하는 제3 벡터링모드를 수행하는 단계를 포함한다.
- [0037] 실시예에 있어서, 상기 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행하는 단계는, 상기 제2 코딩부가 제1 내지 제3 스케일 팩터를 곱한 상기 초기 열 벡터를 입력받는 단계, 상기 제2 코딩부가 상기 제3 벡터링모드에 따라 회전되는 제3 회전 방향에 기초하여, 상기 초기 열 벡터를 회전시키는 제1 로테이션모드를 수행하는 단계, 상기 제2 코딩부가 상기 제2 벡터링모드에 따라 회전되는 제2 회전 방향에 기초하여, 상기 제1 로테이션모드를 통해 회전된 상기 초기 열 벡터를 회전시키는 제2 로테이션모드를 수행하는 단계, 상기 제2 코딩부가 상기 제1 벡터링모드에 따라 회전되는 제1 회전 방향에 기초하여, 상기 제2 로테이션모드를 통해 회전된 상기 초기 열 벡터를 회전시키는 제3 로테이션모드를 수행하는 단계 및 상기 제2 코딩부가 상기 제3 로테이션모드를 통해 복소수 직교 열 벡터들을 출력하는 단계를 더 포함하고, 상기 복소수 직교 열 벡터들은, 실수부 직교 열 벡터들과 허수부 직교 열 벡터들을 포함한다.
- [0038] 실시예에 있어서, 상기 반복적인 벡터링코딩 동작의 횟수는 상기 반복적인 로테이션코딩 동작의 횟수보다 크거나 같다.

발명의 효과

- [0039] 본 출원의 실시 예에 따른 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기 및 그 동작 방법은 상삼각 행렬의 표준 요소와 직교 행렬의 직교 열 벡터를 획득하는 종래의 복잡한 연산을 간단한 연산으로 대체할 수 있다.

[0040] 또한, 그램-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기 및 그 동작 방법은 연산을 수행하는 하드웨어의 지연시간, 면적 및 에너지 소모를 감소시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 본 출원의 일 실시예에 따른 그램-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 시스템의 블록도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 도 1의 다중입출력 수신기의 블록도이다.

도 3은 도 2의 제1 및 제2 코덱부의 동작을 설명하기 위한 도이다.

도 4a는 일 실시예에 따른 도 2의 제1 코덱부의 반복적인 벡터링코딩 동작도이다.

도 4b는 다른 실시예에 따른 도 2의 제1 코덱부의 반복적인 벡터링코딩 동작도이다.

도 5a는 일 실시예에 따른 도 2의 제2 코덱부의 반복적인 로테이션코딩 동작도이다.

도 5b는 다른 실시예에 따른 도 2의 제2 코덱부의 반복적인 로테이션코딩 동작도이다.

도 6은 도 2의 다중입출력 수신기의 동작 프로세스이다.

도 7은 도 2의 제1 및 제2 코덱부의 동작을 구체적으로 보여주는 도이다.

도 8은 도 2의 제1 코덱부의 동작 프로세스이다.

도 9는 도 2의 제2 코덱부의 동작 프로세스이다.

도 10은 다른 실시예에 따른 도 1의 다중입출력 수신기의 블록도이다.

도 11은 도 10의 다중입출력 수신기가 세미파이프 라인 QR 분해구조로 적용된 일 예이다.

도 12는 도 11의 제0 내지 제3 코덱스테이지들 각각을 구체적으로 보여주는 블록도이다.

도 13은 도 11의 제2 프로젝션의 타이밍 도이다.

도 14는 도 10의 다중입출력 수신기가 반복적인 QR 분해 구조로 적용된 일 예이다.

도 15는 도 14의 다중입출력 수신기의 동작 타이밍도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 본 명세서에 개시되어 있는 본 출원의 개념에 따른 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 출원의 개념에 따른 실시 예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 출원의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시 예들에 한정되지 않는다.

[0043] 본 출원의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 출원의 개념에 따른 실시 예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 출원의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0044] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 출원의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1구성요소는 제2구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2구성요소는 제1구성요소로도 명명될 수 있다.

[0045] 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.

[0046] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 출원을 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 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

- [0047] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 출원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0048] 도 1은 본 출원의 일 실시예에 따른 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 시스템(1000)의 블록도이다.
- [0049] 도 1을 참조하면, 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 시스템(1000)은 다중입출력 수신기(100)와 다중입출력 송신기(500)를 포함할 수 있다.
- [0050] 먼저, 다중입출력 송신기(500)는 송신신호 벡터(X)를 다중입출력 수신기(100)에 송신할 수 있다. 이때, 다중입출력 송신기(500)는 N_t 개의 송신 안테나를 포함할 수 있다.
- [0051] 다음으로, 다중입출력 수신기(100)는 다중입출력 송신기(500)로부터 수신신호 벡터(Y)를 수신할 수 있다. 이때, 다중입출력 수신기(100)는 N_t 개의 수신 안테나를 포함할 수 있다.
- [0052] 여기서, 수신신호 벡터(Y)는 채널 행렬(H)과 송신신호 벡터(X) 사이의 곱에 잡음벡터(n)를 더한 값으로, 채널 행렬(H)은 각 송신 안테나와 각 수신 안테나 쌍 사이에서의 채널 이득 정보에 기초하는 행렬일 수 있다. 예를 들면, 채널 행렬(H)의 j번째 행, i번째 열에 해당하는 $(h_{j,i})$ 요소는 j번째 수신 안테나와 i번째 송신 안테나 사이에 형성된 채널의 신호 이득 정보를 의미할 수 있다. 이때, n은 추가적인 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise) 벡터일 수 있다.
- [0053] 이러한 다중입출력 수신기(100)는 채널 행렬(H)을 단위 행렬(Q)과 상삼각 행렬(R)의 곱으로 분해하는 QR 분해(QR decomposition) 동작을 통해 중간 행렬(W)을 생성할 수 있다. 이때, 다중입출력 수신기(100)는 상기 QR 분해 동작을 통해 도출된 상삼각 행렬(R)에 기초하여, 수신신호 벡터(Y)로부터 송신신호 벡터(X)를 복원할 수 있다.
- [0054] 예를 들면, 채널 행렬(H)은 단위 행렬(Q)과 상삼각 행렬(R)의 곱이므로, 상삼각 행렬(R)은 채널 행렬(H)과 단위 행렬(Q)의 직교 행렬(Q^H)과의 곱일 수 있다. 여기서, 직교 행렬(Q^H)은 단위 행렬(Q)의 에르미트 행렬이라 지칭될 수 있다. 이때, 중간 행렬(W)은 채널 행렬(H)로부터 QR 분해 동작에 따라 갱신되는 행렬일 수 있다.
- [0055] 이하, 도 2를 참조하여, 본 출원의 실시예에 따른 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기(100)에 대해 보다 구체적으로 설명될 것이다.
- [0056] 도 2는 일 실시예에 따른 도 1의 다중입출력 수신기(100)의 블록도이고, 도 3은 도 2의 제1 및 제2 코덱부(110, 120)의 동작을 설명하기 위한 도이다.
- [0057] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 다중입출력 수신기(100)는 제1 코덱부(110)와 제2 코덱부(120)를 포함할 수 있다.
- [0058] 먼저, 제1 코덱부(110)는 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행할 수 있다.
- [0059] 구체적으로, 제1 코덱부(110)는 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)를 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여, 제1 코덱 행렬을 출력할 수 있다. 여기서, 제1 코덱 행렬의 X축 크기는 상삼각 행렬(R)의 표준 요소($r_{i,i}$)의 크기에 대응될 수 있다. 예를 들면, 상삼각 행렬(R)의 표준 요소($r_{i,i}$)는 행렬의 대각선에 위치한 요소들(r_{11} , r_{22} , r_{33} , r_{44})일 수 있다.
- [0060] 즉, 제1 코덱부(110)는 상삼각 행렬(R)의 표준 요소를 획득하기 위한 종래의 제곱 연산과 제곱근 연산을 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산으로 간단하게 구현할 수 있다.
- [0061] 다음으로, 제2 코덱부(120)는 제1 코덱부(110)를 통해 회전되는 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)의 회전 방향(σ)에 기초하여, 열 벡터(w_i)의 초기 열 벡터(w_0)에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행할 수 있다.
- [0062] 구체적으로, 제2 코덱부(120)는 제1 코덱부(110)를 통해 반복적인 벡터링코딩 동작에 따라 회전되는 회전 방향(σ)에 기초하여, 초기 열 벡터(w_0)를 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여 제2 코덱 행렬을 출력할 수 있다. 여기서,

제2 코딩 행렬은 직교 행렬(Q^H)의 직교 열 벡터(q_i)에 대응될 수 있다.

[0063] 즉, 제2 코딩부(120)는 직교 열 벡터(q_i)를 획득하기 위한 종래의 나눗셈 연산을 제2 코딩부(120)를 통해 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산으로 간단하게 구현할 수 있다.

[0064] 본 출원의 일 실시예에 따른 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기(100)는 회전 방향(σ)을 공유하는 제1 및 제2 코딩부(110, 120)의 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산을 통해 표준 요소($r_{i,i}$)와 직교 열 벡터(q_i)를 획득할 수 있다. 이에 따라, 그람-슈미트 QR 분해 기반의 다중입출력 수신기(100)는 표준 요소($r_{i,i}$)와 직교 열 벡터(q_i)를 획득하기 위하여, 종래의 복잡한 연산에 필요한 하드웨어의 지연시간, 면적 및 에너지 소모를 감소시킬 수 있다.

[0065] 도 4a는 일 실시예에 따른 도 2의 제1 코딩부(110)의 반복적인 벡터링코딩 동작도이고, 도 4b는 다른 실시예에 따른 도 2의 제1 코딩부(110)의 반복적인 벡터링코딩 동작도이다.

[0066] 먼저, 도 4a를 참조하면, 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)가 벡터(x, y)인 경우, 제1 코딩부(110)는 열 벡터(w_i)가 X 축에 수렴되도록 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 순차적으로 수행할 수 있다. 여기서, 회전 동작들(Iterative Rotations)은 벡터링코딩 동작을 의미할 수 있다. 예를 들면, 도 4a에 도시된 바와 같이, 제1 코딩부(110)는 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 1 내지 4 순서로 수행할 수 있다.

[0067] 또한, 도 4b를 참조하면, 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)가 벡터(x, y)인 경우, 제1 코딩부(110)는 열 벡터(w_i)가 X 축에 수렴되도록 기설정된 시계열 회전 각도에 따라, 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 순차적으로 수행할 수 있다. 예를 들면, 제1 코딩부(110)는 90도, 45도, 26.565도, 14.036도, ...와 같은 기설정된 시계열 회전 각도에 따라, 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 순차적으로 수행할 수 있다.

[0068] 실시예에 따른 제1 코딩부(110)는 기설정된 시계열 회전 각도에 따라 수행되는 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)에 따라, 기설정된 회전 방정식(1)으로부터 제1 코딩 연산식(4)을 도출할 수 있다.

[0069] 구체적으로, 기설정된 회전 방정식(1)은
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$
 (1)로서, 일반적인 벡터(x, y)의 회전에 대한 행렬식일 수 있다. 또한, 기설정된 회전 방정식(1)은 탄젠트 치환식(2)로 치환될 수 있다.

[0070] 여기서, 탄젠트 치환식(2)은,

[0071]
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2(\theta)}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\tan(\theta) \\ \tan(\theta) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (\theta \neq 90^\circ)$$
 (2)이고, 이때, θ 가 90도, 45도, 26.565도, 14.036도, ...인 기설정된 시계열 회전 각도이므로, $\tan(\theta)$ 는 2^k 로 치환될 수 있다.

[0072] 이러한 탄젠트 치환식(2)은 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations) 횟수에 기초하는 다음의 회전각 방정식(3)으로 치환될 수 있다.

[0073] 여기서, 회전각 방정식(3)은,

[0074]
$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -2^{2-i} \\ 2^{2-i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{bmatrix} \quad (\theta \neq 90^\circ)$$
 (3)일 수 있다.

[0075] 이러한 회전각 방정식(3)은 회전 방향(σ)을 적용하기 위하여, 다음의 제1 코딩 연산식(4)로 치환될 수 있다.

[0076] 여기서, 다음의 제1 코딩 연산식(4)은,

[0077]
$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\sigma_i \cdot 2^{2-i} \\ \sigma_i \cdot 2^{2-i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{bmatrix} \quad (\theta \neq 90^\circ)$$
 (4) 이고,

[0078] 이때, x 는 상기 제1 코딩 행렬의 x 축 크기이고, y 는 상기 제1 코딩 행렬의 y 축 크기이며, i 는 상기 반복적인 벡터링코딩 동작의 i 번째 순번을 나타내고, σ 는 벡터링 회전 방향을 나타낼 수 있다.

[0079] 구체적으로, 벡터링 회전 방향(σ)은 이전 순번의 제1 코딩 행렬(x_{i-1}, y_{i-1})의 y 축 정보(y_{i-1})의 부호에 따라 시계 방향 및 반시계 방향 중 어느 하나로 결정될 수 있다.

[0080] 예를 들면, 이전 순번의 제1 코딩 행렬(x_{i-1}, y_{i-1})의 y 축 정보(y_{i-1})가 (-)부호인 경우, 벡터링 회전 방향(σ)은 반시계 방향(Counter Clock-Wise)인 +1일 수 있다. 또한, 이전 순번의 제1 코딩 행렬(x_{i-1}, y_{i-1})의 y 축 정보(y_{i-1})가 (+)부호인 경우, 벡터링 회전 방향(σ)은 시계 방향(Clock-Wise)인 -1일 수 있다.

[0081] 실시예에 따라, 제1 코딩부(110)는 제1 코딩 연산식(1)에서, 상수 $\frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}}$ 를 누적하여, 반복적인 벡터링코딩 동작의 마지막 벡터링 동작에서 스케일 팩터를 한번에 연산할 수 있다.

[0082] 여기서, 스케일 팩터는 다음의 스케일 팩터 연산식(5)을 통해 계산되고,

[0083] 이때, 스케일 팩터 연산식(5)은
$$K_n = \prod_{i=2}^n \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \quad (5)$$
일 수 있다.

[0084] 도 5a는 일 실시예에 따른 도 2의 제2 코딩부(120)의 반복적인 로테이션코딩 동작도이고, 도 5b는 다른 실시예에 따른 도 2의 제2 코딩부(120)의 반복적인 로테이션코딩 동작도이다.

[0085] 먼저, 도 5a를 참조하면, 초기 열 벡터(w_0)가 벡터(x, y)인 경우, 제2 코딩부(120)는 상기 벡터(x, y)와 θ 각을 이루는 라인(이하, ' θ 라인'이라 칭함)에 수렴되도록 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 순차적으로 수행할 수 있다. 여기서, 회전 동작들(Iterative Rotations)은 로테이션코딩 동작을 의미할 수 있다. 예를 들면, 도 5a에 도시된 바와 같이, 제2 코딩부(120)는 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 1 내지 4 순서로 수행할 수 있다.

[0086] 또한, 도 5b를 참조하면, 초기 열 벡터(w_0)가 벡터(x, y)인 경우, 제2 코딩부(120)는 벡터(x, y)가 θ 라인에 수렴되도록 기설정된 시계열 회전 각도에 따라, 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 순차적으로 수행할 수 있다. 예를 들면, 제2 코딩부(120)는 90도, 45도, 26.565도, 14.036도, ...와 같은 시계열 회전 각도에 따라, 벡터(x, y)에 대한 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)을 순차적으로 수행할 수 있다.

[0087] 실시예에 따른 제2 코딩부(120)는 기설정된 시계열 회전 각도에 따라 수행되는 반복적인 회전 동작들(Iterative Rotations)에 따라, 기설정된 회전 방정식(1)으로부터 제2 코딩 연산식(6)을 도출할 수 있다. 이하, 제2 코딩 연산식(6)은 제1 코딩 연산식(4)을 도출하는 과정과 유사하므로, 제2 코딩 연산식(6)을 도출하는 상세한 설명은 생략될 것이다.

[0088] 여기서, 제2 코딩 연산식(6)은,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+(2^{2-i})^2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\sigma_i \cdot 2^{2-i} \\ \sigma_i \cdot 2^{2-i} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{bmatrix} \quad (i \geq 2) \quad (6)$$

[0089] (6)이고,

[0090] 이때, x 는 상기 제2 코딩 행렬의 x 축 크기이고, y 는 상기 제2 코딩 행렬의 y 축 크기이며, i 는 상기 반복적인 로테이션코딩 동작의 i 번째 순번을 나타내고, σ 는 로테이션 회전 방향을 나타낼 수 있다.

[0091] 구체적으로, 제2 코딩 연산식(6)의 로테이션 회전 방향(σ)은 θ 라인을 기준으로, 이전 순번의 제2 코딩 행렬(x_{i-1}, y_{i-1})이 위치한 방향에 따라 시계 방향 및 반시계 방향 중 어느 하나로 결정될 수 있다.

[0092] 예를 들면, 이전 순번의 제2 코딩 행렬(x_{i-1}, y_{i-1})이 θ 라인을 기준으로, 시계 방향(Clock-Wise)에 위치한 경우, 제2 코딩 연산식(6)의 로테이션 회전 방향(σ)은 반시계 방향(Counter Clock-Wise)인 -1일 수 있다. 또한, θ 라인을 기준으로, 이전 순번의 제2 코딩 행렬(x_{i-1}, y_{i-1})이 반시계방향(Counter Clock-Wise)에 위치한 경우, 제2 코딩 연산식(6)의 로테이션 회전 방향(σ)은 시계 방향(Clock-Wise)인 +1일 수 있다.

- [0093] 도 6은 도 2의 다중입출력 수신기(100)의 동작 프로세스이다.
- [0094] 도 6을 참조하면, S110 단계에서, 제1 코덱부(110)는 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 수행할 수 있다.
- [0095] 그런 다음, S120 단계에서, 제2 코덱부(120)는 벡터링코딩 동작에 따라 회전되는 회전 방향에 기초하여, 초기 열 벡터(w_0)에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 수행할 수 있다. 이때, 반복적인 벡터링코딩 동작의 횟수는 반복적인 로테이션코딩 동작의 횟수보다 크거나 같을 수 있다.
- [0096] 도 7은 도 2의 제1 및 제2 코덱부(110, 120)의 동작을 구체적으로 보여주는 도이고, 도 8은 도 2의 제1 코덱부(110)의 동작 프로세스이고, 도 9는 도 2의 제2 코덱부(120)의 동작 프로세스이다.
- [0097] 먼저, 도 7과 도 8을 참조하면, S210 단계에서, 제1 코덱부(110)는 복소수 열 벡터들을 입력받을 수 있다. 여기서, 복소수 열 벡터들은 허수부 벡터들{ $\text{Im}(h_{1i})$, $\text{Im}(h_{2i})$, $\text{Im}(h_{3i})$, $\text{Im}(h_{4i})$ }과 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{2i})$, $\text{Re}(h_{3i})$, $\text{Re}(h_{4i})$ }을 포함할 수 있다.
- [0098] 그런 다음, S220 단계에서, 제1 코덱부(110)는 복소수 열 벡터들로부터 허수부 벡터들{ $\text{Im}(h_{1i})$, $\text{Im}(h_{2i})$, $\text{Im}(h_{3i})$, $\text{Im}(h_{4i})$ }을 제거하고, 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{2i})$, $\text{Re}(h_{3i})$, $\text{Re}(h_{4i})$ }을 획득하는 제1 벡터링모드를 수행할 수 있다. 여기서, 제1 벡터링모드는 복소수 열 벡터들에 대해 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여, 실수부 벡터들을 포함하는 코딩 행렬을 출력하기 위한 제1 코덱부(110)의 동작모드일 수 있다. 이때, 제1 코덱부(110)는 제1 벡터링모드에 따라 연산되는 제1 스케일 팩터(K_1)를 획득할 수 있다.
- [0099] 그런 다음, S230 단계에서, 제1 코덱부(110)는 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{2i})$, $\text{Re}(h_{3i})$, $\text{Re}(h_{4i})$ }로부터 절반을 제거하고, 나머지 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{3i})$ }을 획득하는 제2 벡터링모드를 수행할 수 있다. 여기서, 제2 벡터링모드는 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{2i})$, $\text{Re}(h_{3i})$, $\text{Re}(h_{4i})$ }에 대해 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여, 나머지 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{3i})$ }을 포함하는 코딩 행렬을 출력하기 위한 제1 코덱부(110)의 동작모드일 수 있다. 이때, 제1 코덱부(110)는 제2 벡터링모드에 따라 연산되는 제2 스케일 팩터(K_2)를 획득할 수 있다.
- [0100] 그런 다음, S240 단계에서, 제1 코덱부(110)는 나머지 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{3i})$ }로부터 하나의 실수부 벡터{ $\text{Re}(h_{1i})$ }를 획득하는 제3 벡터링모드를 수행할 수 있다. 여기서, 제3 벡터링모드는 나머지 실수부 벡터들{ $\text{Re}(h_{1i})$, $\text{Re}(h_{3i})$ }에 대해 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여, 하나의 실수부 벡터{ $\text{Re}(h_{1i})$ }를 포함하는 코딩 행렬을 출력하기 위한 제1 코덱부(110)의 동작모드일 수 있다. 이때, 제1 코덱부(110)는 제3 벡터링모드에 따라 연산되는 제3 스케일 팩터(K_3)를 획득할 수 있다.
- [0101] 이후, S250 단계에서, 제1 코덱부(110)는 하나의 실수부 벡터{ $\text{Re}(h_{1i})$ }와 제1 내지 제3 스케일 팩터(K_1 , K_2 , K_3)에 기초하여, 삼삼각 행렬(R)의 표준 요소($r_{i,i}$)를 획득할 수 있다. 구체적으로, 제1 코덱부(110)는 제3 벡터링모드를 통해 획득된 하나의 실수부 벡터{ $\text{Re}(h_{1i})$ }와 제1 내지 제3 벡터링모드를 통해 획득된 제1 내지 제3 스케일 팩터(K_1 , K_2 , K_3)를 곱하여, 삼삼각 행렬(R)의 표준 요소($r_{i,i}$)를 계산할 수 있다. 여기서, 제1 내지 제3 스케일 팩터(K_1 , K_2 , K_3)는 표준 요소($r_{i,i}$)의 에러 보정동작을 수행하기 위함이다.
- [0102] 다음으로, 도 7과 도 9를 참조하면, S310 단계에서, 제2 코덱부(120)는 제1 내지 제3 스케일 팩터(K_1 , K_2 , K_3)가 미리 곱해진 초기 열 벡터(w_0)를 입력받을 수 있다.
- [0103] 그런 다음, S320 단계에서, 제2 코덱부(120)는 제3 벡터링모드에 따라 회전되는 제3 회전 방향($\sigma_{\text{vec}, 3}$)에 기초하여, 초기 열 벡터(w_0)를 회전시키는 제1 로테이션모드를 통해 제1 로테이션출력을 획득할 수 있다. 여기서, 제1 로테이션모드는 초기 열 벡터(w_0)에 대해 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여, 적어도 둘의 실수부 직교열 벡터들을 포함하는 제1 로테이션출력을 획득하기 위한 동작모드일 수 있다.
- [0104] 그런 다음, S330 단계에서, 제2 코덱부(120)는 제2 벡터링모드에 따라 회전되는 제2 회전 방향($\sigma_{\text{vec}, 2}$)에 기초하여, 제1 로테이션출력을 회전시키는 제2 로테이션모드를 통해 제2 로테이션출력을 획득할 수 있다. 여기서, 제2 로테이션모드는 적어도 둘의 실수부 벡터들에 대해 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여, 실수부 직교열 벡터들을 모두 포함하는 제2 로테이션출력을 획득하기 위한 동작모드일 수 있다.
- [0105] 이후, S340 단계에서, 제2 코덱부(120)는 제1 벡터링모드에 따라 회전되는 제1 회전 방향($\sigma_{\text{vec}, 1}$)에 기초하여,

제2 로테이션출력을 회전시키는 제3 로테이션모드를 통해 제3 로테이션출력을 획득할 수 있다. 여기서, 제3 로테이션모드는 실수부 직교열 벡터들에 대해 쉬프팅 연산 및 덧셈 연산하여, 복소수 직교열 벡터들을 포함하는 제3 로테이션출력을 획득하기 위한 동작모드일 수 있다. 이때, 복소수 직교 열 벡터들은 실수부 직교 열 벡터들 $\{\text{Re}(q_{1i}), \text{Re}(q_{2i}), \text{Re}(q_{3i}), \text{Re}(q_{4i})\}$ 과 허수부 직교 열 벡터들 $\{\text{Im}(q_{1i}), \text{Im}(q_{2i}), \text{Im}(q_{3i}), \text{Im}(q_{4i})\}$ 을 포함할 수 있다.

[0106] 도 10은 다른 실시예에 따른 도 1의 다중입출력 수신기(100_1)의 블록도이다.

[0107] 도 10을 참조하면, 다중입출력 수신기(100_1)는 코덱부(150)와 프로젝션부(200)를 포함할 수 있다.

[0108] 먼저, 코덱부(150)는 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)에 대해 반복적인 벡터링코딩 동작을 순차적으로 수행하여, 상삼각 행렬(R)의 표준 요소($r_{i,i}$)를 출력할 수 있다. 또한, 코덱부(150)는 반복적인 벡터링코딩 동작에 따라 회전되는 열 벡터(w_i)의 회전 방향에 기초하여, 초기 열 벡터(w_0)에 대해 반복적인 로테이션코딩 동작을 순차적으로 수행할 수 있다. 이때, 코덱부(150)는 반복적인 로테이션코딩 동작을 통해 직교 행렬(Q^H)의 직교 열 벡터(q_i)를 출력할 수 있다.

[0109] 여기서, 초기 열 벡터(w_0)는 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)에 대응되는 벡터일 수 있다. 예를 들면, 중간 행렬(W)의 열 벡터(w_i)가 (3, 5)인 경우, 초기 열 벡터(w_0)는 (3, 0)일 수 있다.

[0110] 이러한 코덱부(150)는 도 2 내지 도 5에서 설명된 제1 및 제2 코덱부(110, 120)를 포함하며, 도 2 내지 도 5에서 설명된 제1 및 제2 코덱부(110, 120)의 기능을 동일하게 수행할 수 있다. 이하, 도 2 내지 도 5에서 설명된 제1 및 제2 코덱부(110, 120)를 포함하는 코덱부(150)에 대한 중복된 설명은 생략될 것이다.

[0111] 다음으로, 프로젝션부(200)는 표준 요소($r_{i,i}$)와 직교 열 벡터(q_i)에 응답하여, 표준 요소($r_{i,i}$)와 동일한 행에 위치한 나머지 요소들($r_{i,j \neq i}$)과 중간 행렬(W)의 나머지 열 벡터들($w_{j \neq i}$)을 출력할 수 있다.

[0112] 구체적으로, 프로젝션부(200)는 직교 열 벡터(q_i)의 에르미트 행렬(q_i^H)과 채널 행렬(H)의 나머지 열($h_{j \neq i}$)에 기초하여, 표준 요소($r_{i,i}$)와 동일한 행에 위치한 나머지 요소들($r_{i,j \neq i}$)을 획득할 수 있다. 여기서, 나머지 요소들($r_{i,j \neq i}$)은 표준 요소($r_{i,i}$)의 동일한 행에 위치한 우측 요소들일 수 있다. 이때, 프로젝션부(200)는 곱셈기와 가산기를 이용하여, 직교 열 벡터(q_i)의 에르미트 행렬(q_i^H)과 채널 행렬(H)의 나머지 열($h_{j \neq i}$)을 계산할 수 있다.

[0113] 또한, 프로젝션부(200)는 채널 행렬(H)의 나머지 열($h_{j \neq i}$), 나머지 요소들($r_{i,j \neq i}$) 및 직교 열 벡터(q_i)에 기초하여, 중간 행렬(W)의 나머지 열 벡터들($w_{j \neq i}$)을 업데이트할 수 있다. 이때, 프로젝션부(200)는 채널 행렬(H)의 나머지 열($h_{j \neq i}$), 나머지 요소들($r_{i,j \neq i}$) 및 직교 열 벡터(q_i)를 곱셈기와 가산기를 통해 계산할 수 있다.

[0114] 도 11은 도 10의 다중입출력 수신기(100_1)가 세미파이프 라인 QR 분해구조로 적용된 일 예이다.

[0115] 도 11을 참조하면, 다중입출력 수신기(100_1)는 제0 내지 제3 코덱스테이지들(151~154)와 제0 내지 3 프로젝션들(201~204)을 포함할 수 있다.

[0116] 먼저, 제0 내지 제3 코덱스테이지들(151~154) 각각은 도 10에서 설명된 코덱부(150)와 동일한 기능을 수행하는 모듈이고, 제0 내지 3 프로젝션들(201~204) 각각은 도 10에서 설명된 프로젝션부(200)와 동일한 기능을 수행하는 모듈일 수 있다. 이하에서는, 도 10의 코덱부(150)와 중복된 제0 내지 제3 코덱스테이지들(151~154)의 동작 설명과 도 10의 프로젝션부(200)와 중복된 제0 내지 3 프로젝션들(201~204)의 동작 설명은 생략될 것이다.

[0117] 예를 들면, 제0 코덱스테이지(151)는 4×4 채널 행렬의 제1 열 벡터(h_1)에 기초하여, 제1 표준 요소($r_{1,1}$)와 제1 직교 열 벡터(q_1)를 출력할 수 있다. 여기서, 제1 열 벡터(h_1)는 중간 행렬(W)의 제1 열 벡터(w_1)와 동일할 수 있다.

[0118] 그런 다음, 제0 프로젝션(201)과 제1 프로젝션(202)은 제1 직교 열 벡터(q_1), 제1 직교 열 벡터(q_1)의 에르미트 행렬(q_1^H) 및 채널 행렬(H)의 나머지 열 벡터(h_2, h_3, h_4)에 기초하여, 제1 표준 요소($r_{1,1}$)와 동일한 행에 위치한 나머지 요소들($r_{1,2}, r_{1,3}, r_{1,4}$)을 획득할 수 있다.

[0119] 이때, 제0 프로젝션(201)은 채널 행렬(H)의 나머지 열 벡터 중 하나(h_2), 나머지 요소들 중 하나($r_{1,2}$) 및 제1

직교 열 벡터(q_1)에 기초하여, 중간 행렬(W)의 나머지 열 벡터들(w_2, w_3, w_4)을 업데이트할 수 있다.

- [0120] 그런 다음, 제1 코덱스테이지(152)는 제0 프로젝션(201)을 통해 업데이트되는 중간 행렬(W)의 제2 열 벡터(w_2)에 기초하여, 제2 표준 요소($r_{2,2}$)와 제2 직교 열 벡터(q_2)를 출력할 수 있다.
- [0121] 이때, 제2 프로젝션(201)은 제2 직교 열 벡터(q_2), 제2 직교 열 벡터(q_2)의 에르미트 행렬(q_2^H) 및 중간 행렬(W)의 제3 및 제4 열 벡터(w_3, w_4)에 기초하여, 제2 표준 요소($r_{2,2}$)와 동일한 행에 위치한 나머지 요소들($r_{2,3}, r_{2,4}$)을 획득하고, 중간 행렬(W)의 제3 및 제4 열 벡터(w_3, w_4)를 업데이트 할 수 있다.
- [0122] 그런 다음, 제2 코덱스테이지(153)는 제2 프로젝션(203)을 통해 업데이트되는 중간 행렬(W)의 제3 열 벡터(w_3)에 기초하여, 제3 표준 요소($r_{3,3}$)와 제3 직교 열 벡터(q_3)를 출력할 수 있다.
- [0123] 이때, 제3 프로젝션(204)은 제3 직교 열 벡터(q_3), 제3 직교 열 벡터(q_3)의 에르미트 행렬(q_3^H) 및 중간 행렬(W)의 제3 열 벡터(w_4)에 기초하여, 제3 표준 요소($r_{3,3}$)와 동일한 행에 위치한 나머지 요소($r_{3,4}$)를 획득하고, 중간 행렬(W)의 제4 열 벡터(w_4)를 업데이트할 수 있다.
- [0124] 이후, 제3 코덱스테이지(154)는 제3 프로젝션(204)을 통해 업데이트되는 중간 행렬(W)의 제4 열 벡터(w_4)에 기초하여, 제4 표준 요소($r_{4,4}$)와 제4 직교 열 벡터(q_4)를 출력할 수 있다.
- [0125] 실시예에 따라, 다중입출력 수신기(100_1)는 하나의 코덱스테이지와 적어도 둘의 프로젝션들을 한쌍으로 하여, 컬럼 별로 직교 열 벡터(q_i)를 연속적으로 출력할 수 있다.
- [0126] 도 12는 도 11의 제0 내지 제3 코덱스테이지들(151~154) 각각을 구체적으로 보여주는 블록도이고, 도 13은 도 11의 제2 프로젝션(120)의 타이밍 도이다.
- [0127] 도 12와 도 13을 참조하면, 제0 내지 제3 코덱스테이지(151~154) 각각은 제1 코덱부(110), 제2 코덱부(120), 플립플롭부(130)를 포함할 수 있다.
- [0128] 먼저, 제1 코덱부(110)는 표준 요소($r_{i,i}$)를 획득하기 위하여, 반복적인 벡터링코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 벡터링스텝 모듈들을 포함할 수 있다. 여기서, 복수의 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step1~Vec.Step3)은 제1 내지 제3 동작 구간들에 따라 반복적인 벡터링코딩 동작을 단계별로 수행할 수 있다. 이때, 제1 내지 제3 동작 구간 각각은 4 단위의 클럭 시간을 갖을 수 있다.
- [0129] 구체적으로, 제1 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step1)은 제1 동작 구간에서 벡터링코딩 동작을 동시에 수행하기 위한 적어도 네개의 모듈들을 포함할 수 있다. 또한, 제2 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step2)은 제2 동작 구간에서 벡터링코딩 동작을 동시에 수행하기 위한 적어도 둘의 모듈들을 포함할 수 있다. 또한, 제3 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step3)은 제3 동작 구간에서 벡터링코딩 동작을 수행하기 위한 적어도 하나의 모듈을 포함할 수 있다.
- [0130] 다음으로, 제2 코덱부(120)는 직교 열 벡터(q_i)를 획득하기 위하여, 반복적인 로테이션코딩 동작을 순차적으로 수행하는 복수의 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step1~Rot.Step3)을 포함할 수 있다. 여기서, 복수의 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step1~Rot.Step3)은 제1 내지 제3 동작 구간들에 따라 반복적인 로테이션코딩 동작을 단계별로 수행할 수 있다. 이때, 제1 내지 제3 동작 구간 각각은 4 클럭 사이클을 갖을 수 있다.
- [0131] 또한, 복수의 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step1~Rot.Step3)의 개수와 복수의 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step1~Vec.Step3)의 개수는 서로 동일하므로, 벡터링코딩 동작의 횟수와 로테이션코딩 동작의 횟수는 서로 동일할 수 있다. 예를 들면, 복수의 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step1~Vec.Step3)이 8번의 벡터링코딩 동작을 수행할 때, 복수의 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step1~Rot.Step3)은 8번의 로테이션코딩 동작을 수행할 수 있다.
- [0132] 실시예에 있어서, 제2 코덱부(120)는 복수의 멀티플렉서들(170, 175_1~175_6)를 더 포함할 수 있다. 구체적으로, 복수의 멀티플렉서들(170, 175_1~175_6) 중 한쌍의 멀티플렉서(170)는 복수의 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step1~Rot.Step3) 중 가장 우선 순위의 제1 로테이션스텝 모듈(Rot.Step1)을 동작시킬 수 있다. 예를 들면, 한쌍의 멀티플렉서(170)는 제3 벡터링스텝 모듈(Vec.Step3)을 통해 출력된 회전 방향($\sigma_{Vec.Step3,1}$)과 부호비트(sign_a)에 응답하여, 제1 로테이션스텝 모듈(Rot.Step1)의 반복적인 로테이션코딩 동작을 동작시킬 수 있다.

다.

- [0133] 또한, 복수의 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step1~Rot.Step3) 중 나머지 멀티플렉서들(175_1~175_6) 각각은 나머지 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step2~Rot.Step3) 각각을 동작시킬 수 있다. 예를 들면, 나머지 멀티플렉서들(175_1~175_6)은 제1 및 제2 벡터링 스텝 모듈(Vec.Step1, Vec.Step2)를 통해 출력된 부호 비트에 응답하여, 나머지 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step2~Rot.Step3)의 반복적인 로테이션코딩 동작을 동작시킬 수 있다.
- [0134] 실시예에 있어서, 도 13에 도시된 바와 같이, 제3 벡터링 스텝 모듈(Vec.Step3)이 1번의 벡터링코딩 동작을 수행한 이후, 나머지 7번의 벡터링코딩 동작을 수행하는 경우, 제1 로테이션스텝 모듈(Rot.Step1)은 로테이션코딩 동작을 수행할 수 있다. 이에 따라, 제3 벡터링 스텝 모듈(Vec.Step3)을 통해 출력되는 부호 비트의 지연 시간은 감소될 수 있다.
- [0135] 다음으로, 플립플롭부(130)는 복수의 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step1~Vec.Step3)을 통해 회전되는 열 벡터(hi)의 회전 방향(σ)과 복수의 벡터링스텝 모듈들(Vec.Step1~Vec.Step3)을 통해 결정된 부호 비트를 지연시켜, 복수의 로테이션스텝 모듈들(Rot.Step1~Rot.Step3)로 출력할 수 있다.
- [0136] 도 14는 도 10의 다중입출력 수신기(100_1)가 반복적인 QR 분해 구조로 적용된 일 예이고, 도 15는 도 14의 다중입출력 수신기(100_1)의 동작 타이밍도이다.
- [0137] 도 14와 도 15를 참조하면, 다중입출력 수신기(100_1)는 코딩부(150), 프로젝션부(200), 글로벌 제어부(310), 코딩 제어부(320) 및 프로젝션 제어부(330)를 포함할 수 있다. 이하, 도 10에서 설명된 동일한 부재번호의 코딩부(150)와 프로젝션부(200)에 대한 중복된 설명은 생략될 것이다.
- [0138] 먼저, 글로벌 제어부(310)는 코딩부(150)를 제어하기 위한 제1 제어신호와 프로젝션부(200)를 제어하기 위한 제2 제어신호를 생성할 수 있다.
- [0139] 다음으로, 코딩 제어부(320)는 글로벌 제어부(310)를 통해 생성된 제1 제어신호에 기초하여, 벡터링코딩 모드와 로테이션코딩 모드 중 하나의 코딩모드를 결정할 수 있다.
- [0140] 다음으로, 프로젝션 제어부(330)는 글로벌 제어부(310)를 통해 생성된 제2 제어신호에 기초하여, 적어도 하나의 곱셈기와 적어도 하나의 가산기 중 적어도 하나를 제어할 수 있다.
- [0141] 다음으로, 코딩부(150)는 제1 코딩부(110), 제2 코딩부(120), 제0 입력부(111) 및 적어도 하나의 변환부(161~163)를 포함할 수 있다.
- [0142] 구체적으로, 하나의 코딩모드가 코딩 제어부(320)를 통해 벡터링코딩 모드로 결정된 경우, 제1 코딩부(110)는 반복적인 벡터링코딩 동작을 순차적으로 수행할 수 있다. 또한, 하나의 코딩모드가 코딩 제어부(320)를 통해 로테이션코딩 모드로 결정된 경우, 제2 코딩부(120)는 반복적인 로테이션코딩 동작을 순차적으로 수행할 수 있다.
- [0143] 실시예에 있어, 적어도 하나의 변환부(161~163)는 하나의 코딩모드의 동작 구간에 기초하여, 제1 및 제2 코딩부(110, 120) 중 어느 하나로 변환할 수 있다. 이때, 제0 입력부(111)는 4×4 채널 행렬(H)의 제1 내지 제4 열 벡터(h1i~h4i)를 입력받는 별도의 구성으로 도시되지만, 실시예에 따라 제1 코딩부(110)에 포함된 구성일 수 있다.
- [0144] 다음으로, 프로젝션부(200)는 제1 입력부(211), 제1 계산부(210), 제2 입력부(221), 제2 계산부(220) 및 합산부(230)를 포함할 수 있다.
- [0145] 구체적으로, 제1 입력부(211)는 프로젝션 제어부(330)의 제어에 따라, 코딩부(150)를 통해 출력된 각 출력 정보(out_0~out_4)를 제1 계산부(210)로 전달할 수 있다. 이때, 제1 계산부(210)는 각 출력 정보(out_0~out_4)에 기초하여, 복수의 곱셈기들을 통해 계산되는 제1 계산정보를 합산부(230)와 제2 입력부(221)로 출력할 수 있다. 여기서, 복수의 곱셈기들의 개수는 16개일 수 있다.
- [0146] 그런 다음, 제2 입력부(221)는 프로젝션 제어부(330)의 제어에 따라, 제1 계산부(210)를 통해 출력받는 제1 계산정보를 제2 계산부(220)로 전달할 수 있다. 이때, 제2 계산부(220)는 제1 계산정보에 기초하여, 복수의 가산기들을 통해 계산되는 제2 계산정보를 합산부(230)로 출력할 수 있다. 여기서, 복수의 가산기들의 개수는 16개일 수 있다.
- [0147] 그런 다음, 합산부(230)는 제1 내지 제4 클럭 구간 동안, 제1 및 제2 계산정보에 기초하여, 직교 열 벡터(qi)를 컬럼 별로 순차적으로 출력할 수 있다. 또한, 합산부(230)는 제1 내지 제4 클럭 구간 동안 제1 및 제2 계산정보

에 기초하여, 상삼각 행렬(R)의 나머지 요소들($r_{1,2}$, $r_{1,3}$, $r_{1,4}$, $r_{2,3}$, $r_{2,4}$, $r_{3,4}$), 중간 행렬(W)의 나머지 열 벡터(w_2 , w_3 , w_4), 및 채널 행렬(H)의 일부 열 벡터(h_3 , h_4)를 출력할 수 있다.

[0148] 다음으로,

부호의 설명

[0149] 100: 다중입출력 수신기

110: 제1 코덱부

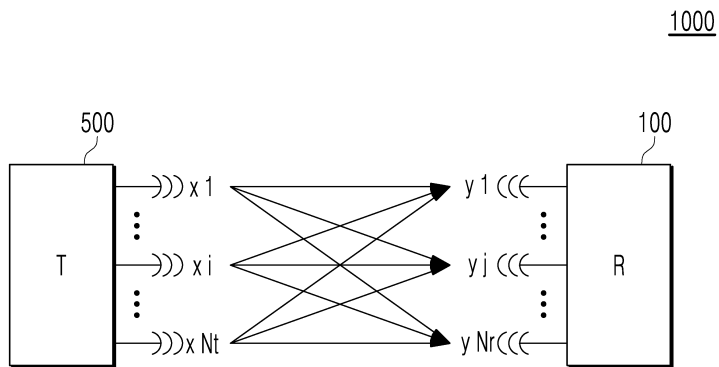
120: 제2 코덱부

150: 코덱부

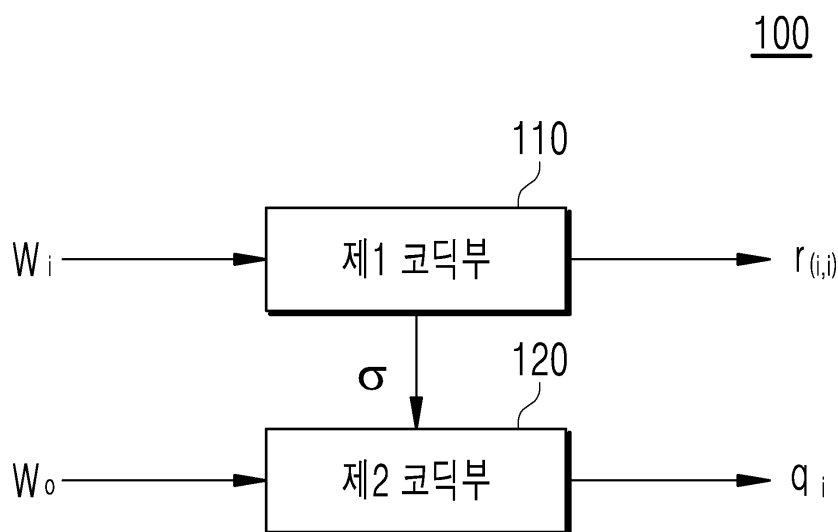
200: 프로젝션부

도면

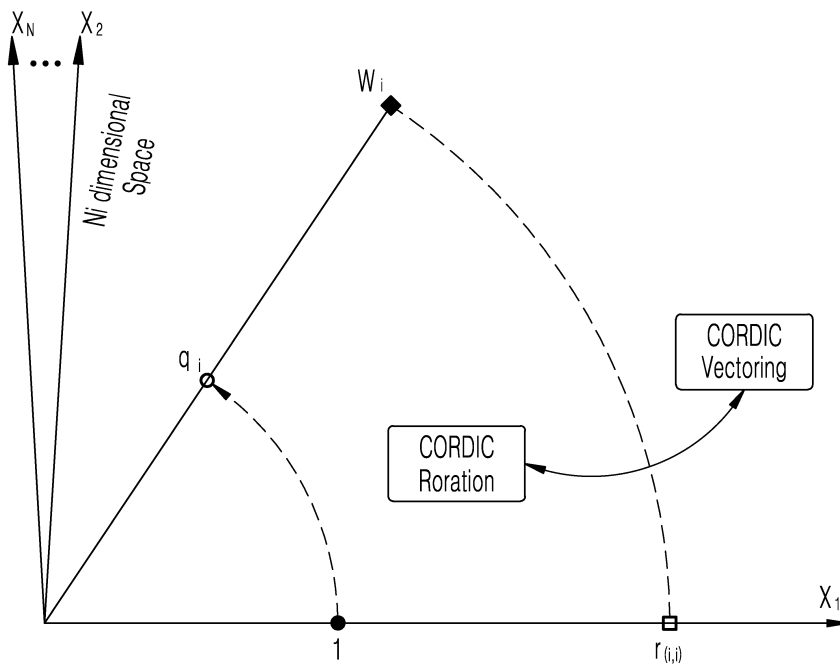
도면1



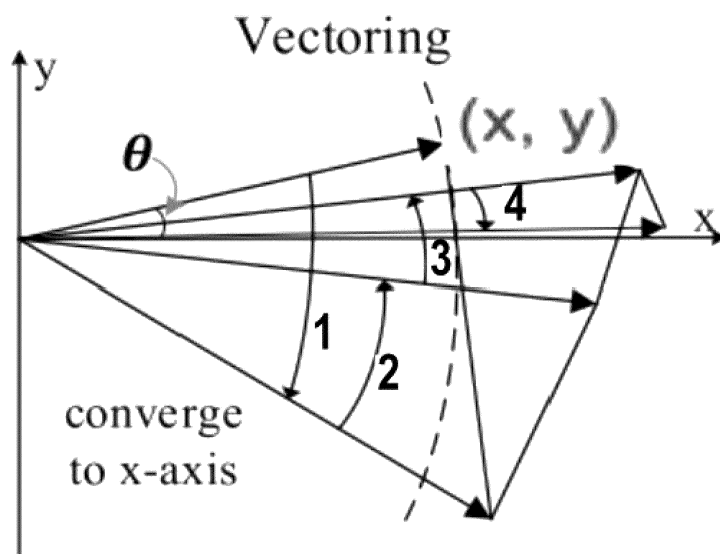
도면2



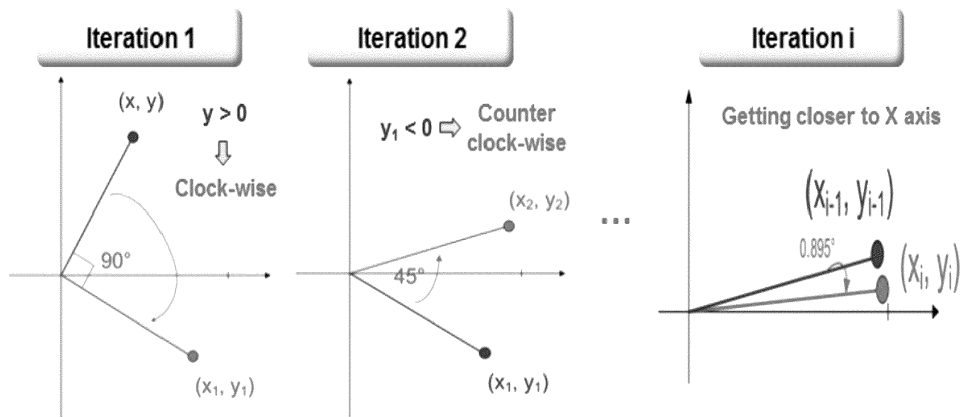
도면3



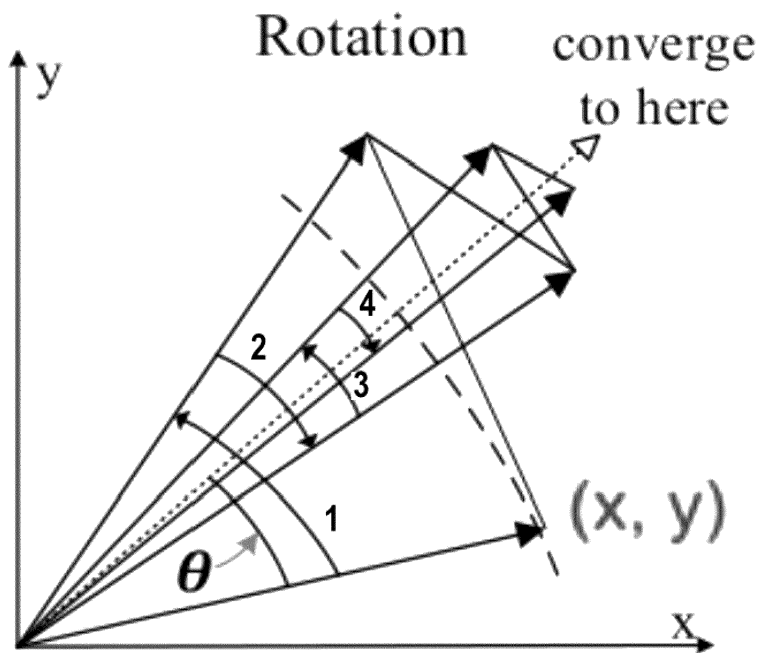
도면4a



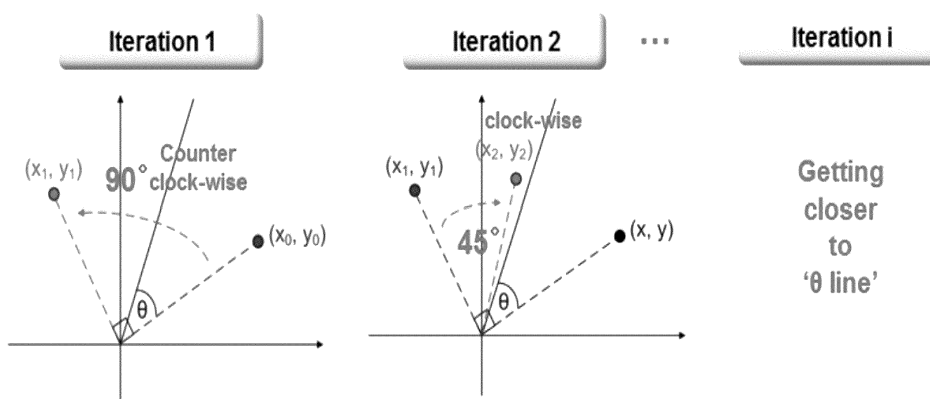
도면4b



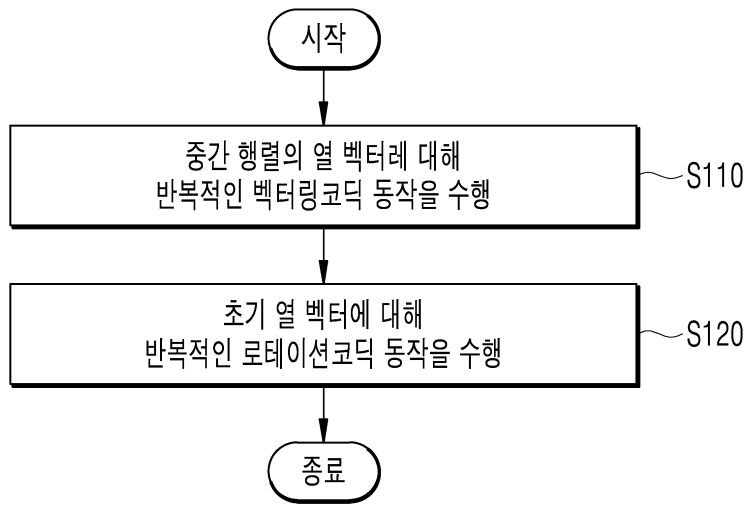
도면5a



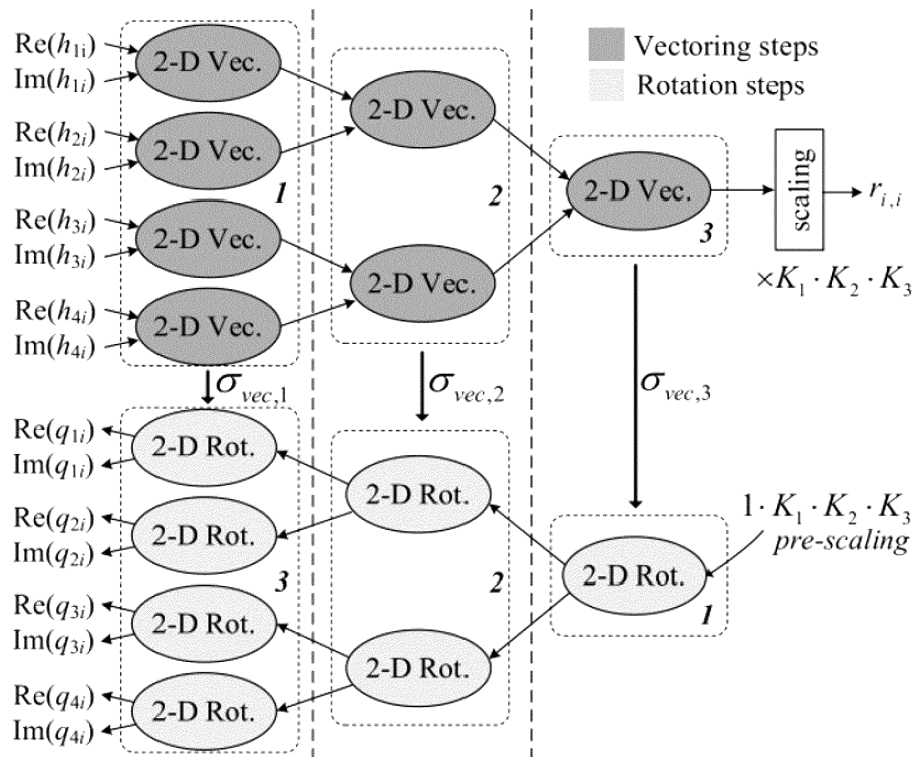
도면5b



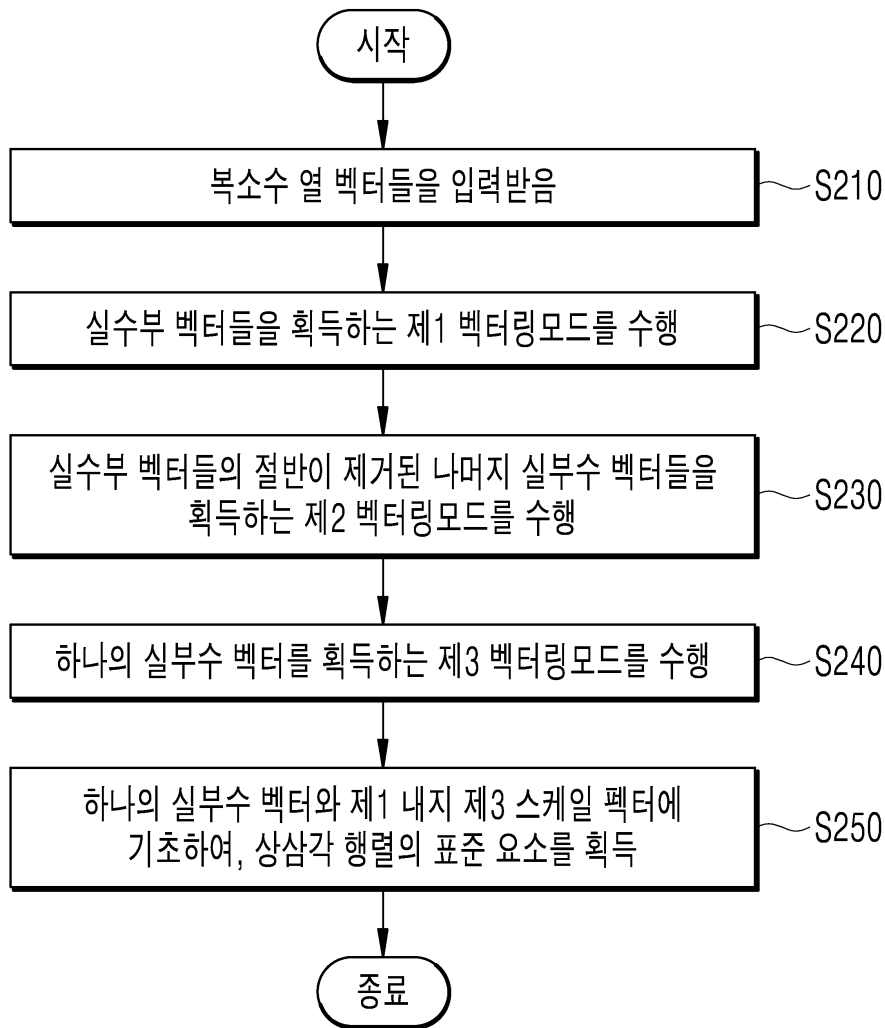
도면6



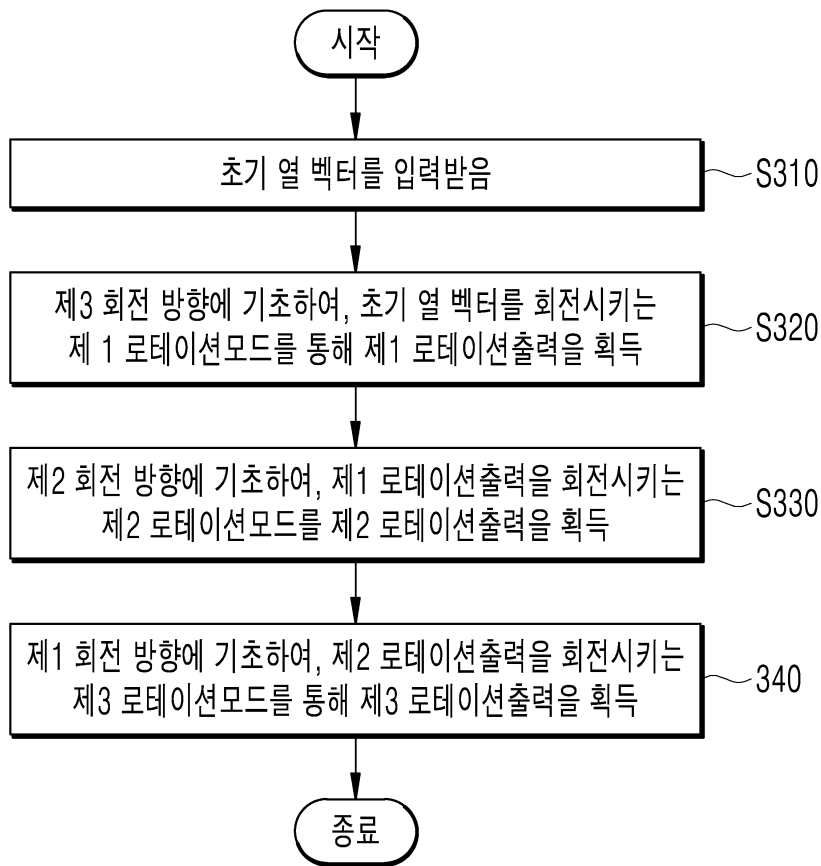
도면7



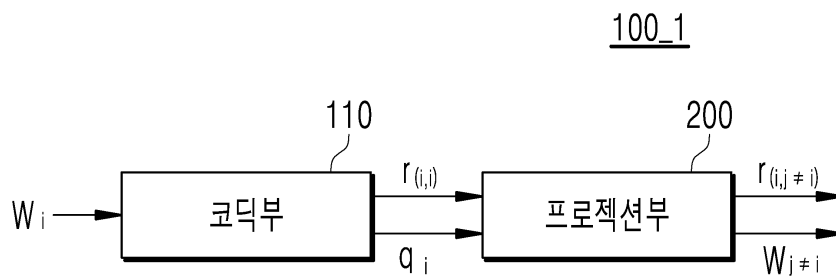
도면8



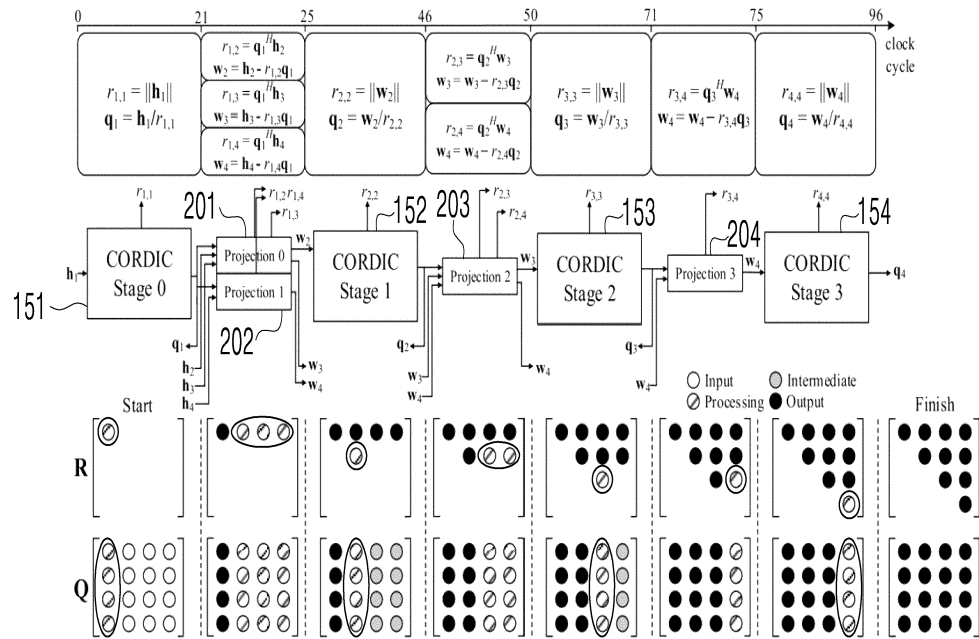
도면9



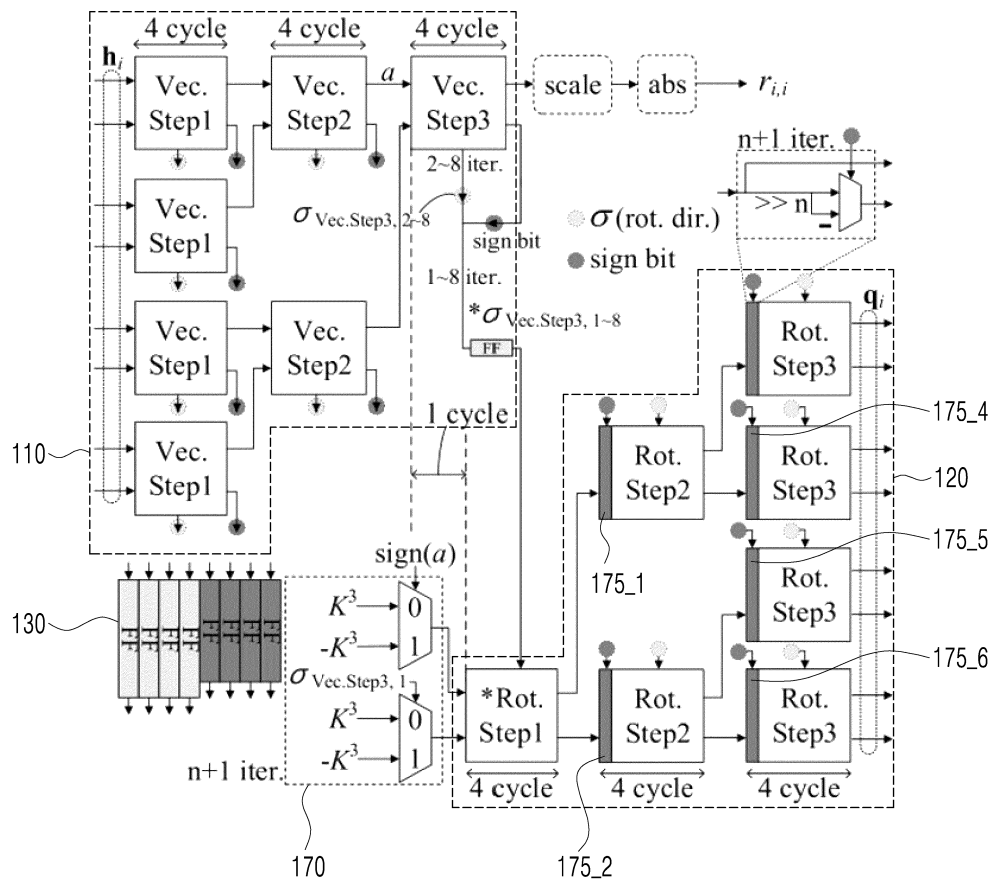
도면10



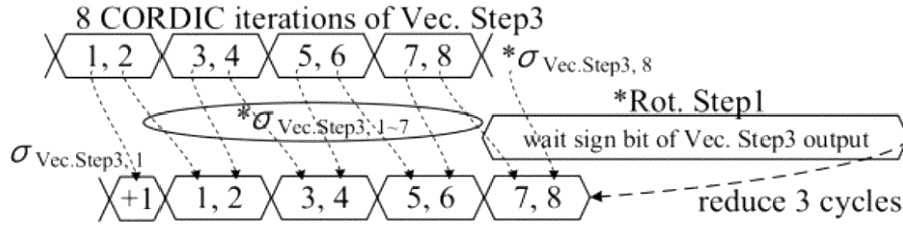
도면11



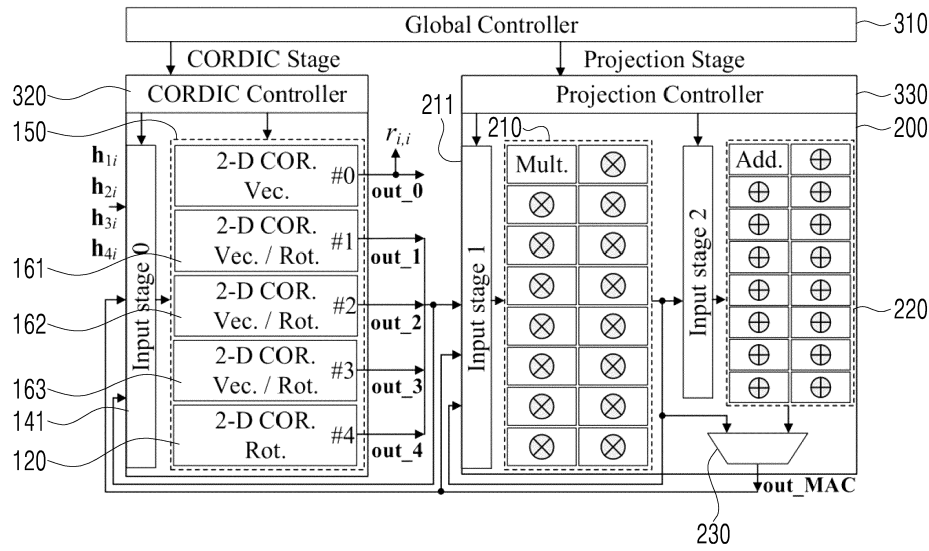
도면12



도면13



도면14



도면15

