



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년08월02일
(11) 등록번호 10-1170333
(24) 등록일자 2012년07월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 1/7105 (2011.01) H04B 7/08 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0010154

(22) 출원일자 2011년02월01일

심사청구일자 2011년02월01일

(56) 선행기술조사문헌

B. Shim, F. Abrishamkar, and I. Kang,
“Decision-Feedback Closest Lattice Point
Search for UMTS HSPA System,” IEEE Signal
Processing Letters, vol.16, no. 12, Dec.
2009.*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

심병효

서울특별시 용산구 원효로 40, 강변삼성아파트
103동 1002호 (원효로4가)

(74) 대리인

김정훈, 이진주

전체 청구항 수 : 총 6 항

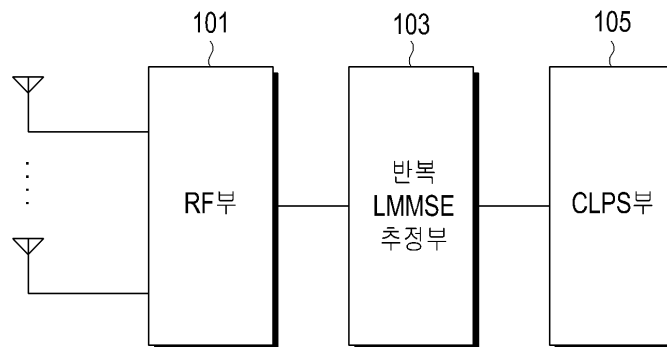
심사관 : 이주미

(54) 발명의 명칭 통신 시스템에서 가장 가까운 격자 점 탐색 알고리즘을 이용하여 다중 사용자를 검출하는 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 통신 시스템에서 다중 사용자 검출 방법 및 장치에 관한 것으로, 간섭을 포함하는 수신 신호를 수신하며, 상기 수신 신호로부터 심볼을 추정하고, 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 간섭을 제거하며, 상기 간섭이 제거된 수신 신호를 이용하여 현재 시점의 심볼들을 기준으로 CLPS(Closest Lattice Point Search)를 수행함으로써 심볼을 검출한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

통신 시스템에서 CLPS(Closest Lattice Point Search) 알고리즘을 이용하는 다중 사용자 검출 장치에 있어서, 간섭을 포함하는 수신 신호를 수신하며, 상기 수신 신호로부터 심볼을 추정하고, 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 간섭을 제거하는 간섭 제거부와,

상기 간섭이 제거된 수신 신호에 포함된 현재 시점의 심볼들을 고려하여 미리 지정되는 초구(hypersphere) 조건에 의해 생성되는 범위 내의 심볼들에 대해 CLPS를 수행하는 구 복호화(sphere decoding)를 이용하여 심볼을 검출하고, 상기 검출된 심볼과 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 검출된 심볼에 대한 제1패스 메트릭과 상기 추정된 심볼에 대한 제2패스 메트릭을 생성하고, 상기 제1패스 메트릭과 상기 제2패스 메트릭의 합과 같거나 크도록 상기 초구 조건을 변경하는 CLPS부를 포함함을 특징으로 하는 다중 사용자 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 간섭 제거부는 상기 추정된 심볼을 이용하여 수신 신호를 재 생성하고, 상기 간섭을 포함하는 수신 신호에서 상기 재 생성한 수신 신호를 제거하여 추정된 간섭에 의해 상기 간섭이 제거된 신호를 생성함을 특징으로 하는 다중 사용자 검출 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 간섭 제거부는 상기 재 생성과 상기 제거를 반복하여 수행함으로써 상기 간섭이 제거된 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 검출 장치.

청구항 4

삭제

청구항 5

통신 시스템에서 CLPS(Closest Lattice Point Search) 알고리즘을 이용하는 다중 사용자 검출 방법에 있어서, 간섭을 포함하는 수신 신호를 수신하며, 상기 수신 신호로부터 심볼을 추정하는 과정과,

상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 간섭을 제거하는 과정과,

상기 간섭이 제거된 수신 신호에 포함된 현재 시점의 심볼들을 고려하여 미리 지정되는 초구 조건에 의해 생성되는 범위 내의 심볼들에 대해 CLPS를 수행하는 구 복호화(sphere decoding)를 이용하여 심볼을 검출하는 과정과,

상기 검출된 심볼과 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 검출된 심볼에 대한 제1패스 메트릭과 상기 추정된 심볼에 대한 제2패스 메트릭을 생성하고, 상기 제1패스 메트릭과 상기 제2패스 메트릭의 합과 같거나 크도록 상기 초구 조건을 변경하는 과정을 포함하는 다중 사용자 검출 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 간섭을 제거하는 과정은, 상기 추정된 심볼을 이용하여 수신 신호를 재 생성하는 과정과,

상기 간섭을 포함하는 수신 신호에서 상기 재 생성된 수신 신호를 제거하여 추정된 간섭에 의해 상기 간섭이 제거된 신호를 생성하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 다중 사용자 검출 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 간섭을 제거하는 과정은, 상기 재 생성 과정과 상기 제거 과정을 반복함으로써 상기 간섭이 제거된 신호를 생성하는 과정을 더 포함함을 특징으로 하는 다중 사용자 검출 방법.

청구항 8

삭제

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 통신 시스템에서 다중 사용자 검출 방법 및 장치에 관한 것으로, 특히 가장 가까운 격자 점 탐색 (Closest Lattice Point Search) 방식을 이용하여 최적의 다중 사용자를 검출하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에, 고용량 데이터 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라, 고속으로 패킷을 전송하는 고속 패킷 접속 모바일 시스템들이 점차 발전하고 있다. 다중 사용자와 다중 경로 페이딩 상태에서 고속 및 고용량으로 데이터를 전송하기 위해서는 셀간 간섭 (InterCell Interference, 이하 'ICI'라 한다) 및 심볼간 간섭 (InterSymbol Interference, 이하 'ISI'라 한다)을 방지하는 수신기 알고리즘이 대단히 중요하다.

[0003] 이러한 수신기 알고리즘으로 다중 사용자 검출 (MultiUser Detection, 이하 'MUD'라 한다) 방식이 제안되었으며, MUD 방식은 채널 용량과 성능의 측면에서 중요한 이득을 얻을 수 있다. 그러나 MUD 방식은 커다란 계산 량에 의한 오버헤드를 발생시키기 때문에 배터리를 사용하는 이동 수신기에서는 적합하지 않은 방식으로 알려져 왔다.

[0004] 이에 대한 대안으로, MUD 방식 대신에 레이크 (Rake) 및 선형 최소 자승 에러 (Linear Minimum Mean-square Error, 이하 'LMMSE'라 한다) 등화기와 같은 단일 사용자 검출 (SingleUser Detection, 이하 'SUD'라 한다) 방식이 사용되어 왔다. 이러한 SUD 방식은 낮은 복잡도 및 구현의 용이함 때문에 여전히 인기 있다. 하지만 긴 확산 시퀀스 (long spreading sequence)를 가진 칩 (chip)들을 평균하여 간섭을 경감하는 원리에 바탕을 두고 있기에 얻어지는 이득에는 한계가 있다.

[0005] 특히, 높은 데이터 율을 획득하기 위해 짧은 확산 팩터 (spreading factor, 이하 'SF'라 한다)를 사용하는 통신 시스템, 예를 들면 고속 패킷 접속 (High Speed Packet Access, 이하 'HSPA'라 한다) 시스템에서는 SUD를 사용할 때 간섭의 경감으로 얻어지는 이득은 미미하다.

[0006] 그러므로 상기 통신 시스템을 위한 수신기 알고리즘에 대한 필요성이 대두되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 통신 시스템에서 가장 가까운 격자 포인트 탐색 (Closest Lattice Point Search, 이하 'CLPS'라 한다)를 이용하는 다중 사용자를 검출하는 방법 및 장치를 제안한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명에 대한 과제를 해결하기 위한, 통신 시스템에서 CLPS(Closest Lattice Point Search) 알고리즘을 이용

하는 다중 사용자 검출 장치에 있어서, 간섭을 포함하는 수신 신호를 수신하며, 상기 수신 신호로부터 심볼을 추정하고, 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 간섭을 제거하는 간섭 제거부와, 상기 간섭이 제거된 수신 신호를 이용하여 현재 시점의 심볼들을 기준으로 CLPS를 수행하는 구 복호화(sphere decoding)를 이용하여 심볼을 검출하고, 상기 검출된 심볼과 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 검출된 심볼에 대한 제1패스 메트릭과 상기 추정된 심볼에 대한 제2패스 메트릭을 생성하고, 상기 제1패스 메트릭과 상기 제2패스 메트릭의 합과 같거나 코드로 상기 초기 조건을 변경하는 CLPS부를 포함함을 특징으로 한다.

[0009] 본 발명에 대한 과제를 해결하기 위한, 통신 시스템에서 CLPS(Closest Lattice Point Search) 알고리즘을 이용하는 다중 사용자 검출 방법에 있어서, 간섭을 포함하는 수신 신호를 수신하며, 상기 수신 신호로부터 심볼을 추정하며, 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 간섭을 제거하고, 상기 간섭이 제거된 수신 신호를 이용하여 현재 시점의 심볼들을 기준으로 CLPS를 수행하는 구 복호화(sphere decoding)를 이용하여 심볼을 검출하고, 상기 검출된 심볼과 상기 추정된 심볼을 이용하여 상기 검출된 심볼에 대한 제1패스 메트릭과 상기 추정된 심볼에 대한 제2패스 메트릭을 생성하고, 상기 제1패스 메트릭과 상기 제2패스 메트릭의 합과 같거나 코드로 상기 초기 조건을 변경하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명은 통신 시스템에서 가장 가까운 격자 포인트 탐색 방식을 이용하여 다중 사용자를 검출함으로써, 낮은 복잡성을 가진 MUD 방식을 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 수신 장치의 블록 구성도,
 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 반복 LMMSE 추정부의 블록 구성도,
 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 수신 장치가 수신한 수신 신호의 구조,
 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 y -Rs의 구조,
 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 장치의 흐름도,
 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 CLPS부의 흐름도,
 도 7은 본 발명에서 제안한 MDU 방식과 다른 MDU 방식에 대한 비트 오류율을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 하기의 설명에서는 본 발명에 따른 동작을 이해하는데 필요한 부분만이 설명되며 그 이외 부분의 설명은 본 발명의 요지를 흐트리지 않도록 생략될 것이라는 것을 유의하여야 한다.

[0013] 일반적인 통신 시스템에서 전체 셀 수가 N_c 개라고 가정하면, 복수의 수신 안테나들을 통해 수신한 칩 레벨(chip level)의 수신 신호 벡터는 다음과 같다.

수학식 1

$$\mathbf{r} = \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{T}_i \mathbf{s}_i + \mathbf{v} = \sum_i \mathbf{H}_i \mathbf{C}_i \mathbf{W} \mathbf{G}_i \mathbf{s}_i + \mathbf{v}$$

[0015] 여기서, $\mathbf{r}$ 은 수신 신호 벡터이며, $\mathbf{H}_i$ 는 i 번째 셀에 대한 채널 행렬이고, $\mathbf{C}_i$ 는 i 번째 셀에 대한 스크램블링(scrambling) 코드 행렬이고, $\mathbf{G}_i$ 는 i 번째 셀에 대한 사용자 이득 행렬이고, $\mathbf{W}$ 는 하다마드 행렬(channelization 코드 행렬이라고 말함)이다. 그리고 $\mathbf{T}_i = \mathbf{H}_i \mathbf{C}_i \mathbf{W} \mathbf{G}_i$ 이며, $\mathbf{T}_i$ 는 i 번째 셀의 합성 시스템

템 행렬이며, $\mathbf{s}_i$ 는 i 번째 셀 내의 사용자들의 심볼 벡터이고, $\mathbf{v} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 \mathbf{I})$ 은 백그라운드 가우시안 노이즈 벡터이다.

[0016] 한편, 수신기가 i 번째 셀에서 심볼을 검출하기 위해서는 ICI와 셀 내 간섭 (intracell interference)을 고려해야 한다. 여기서, ICI는 i 번째 셀이 아닌 다른 셀로부터 오는 신호 벡터가 될 수 있다. 그리고 셀 내 간섭은 분산적인 다중 경로 채널들에 의해 발생하는 간섭을 말한다. 예를 들면, 통신 시스템이 HSPA 시스템인 경우, 대부분의 물리적인 채널들은 직교 확산 코드가 할당되며, 그렇게 함으로써 상호간에 직교하는 다운 링크 신호들이 생성된다. 그러나, 수신기가 분산적인 다중 경로 채널들을 통해 수신한 다운 링크 신호들은 이미 서로 간에 직교성을 유지하지 못한다.

[0017] 이와 같이, ICI와 셀 내 간섭이 야기되는 이러한 상황에서는 합성 시스템 행렬 $\mathbf{T}_i$ 를 i 번째 셀에 대한 이전, 현재, 다음 심볼들 대한 합성 시스템 행렬을 각각 나타내는 세 개의 서브 행렬들(도 3의 301, 303, 305)로 나누는 것이 바람직하다. 이에 따라, 수학식 1은 다음과 같이 변경될 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{T}_i \mathbf{s}_i + \mathbf{v} \\ &= \sum_{i=1}^{N_c} \left(\mathbf{T}_i^{n,l} \mathbf{s}_i^{n-1} + \mathbf{T}_i^n \mathbf{s}_i^n + \mathbf{T}_i^{n,r} \mathbf{s}_i^{n+1} \right) + \mathbf{v} \end{aligned}$$

[0018]

[0019] 여기서, $\mathbf{T}_i$ 는 $\mathbf{T}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_i^{n,l} & \mathbf{T}_i^n & \mathbf{T}_i^{n,r} \end{bmatrix}$ 이며, $\mathbf{s}_i$ 는 $\mathbf{s}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_i^{n-1} \\ \mathbf{s}_i^n \\ \mathbf{s}_i^{n+1} \end{bmatrix}$ 이고, $\mathbf{T}_i^{n,l}$, $\mathbf{T}_i^n$, $\mathbf{T}_i^{n,r}$ 각각은 i 번째 셀의 이전, 현재, 다음 심볼들 대한 합성 시스템 행렬들을 나타내며, $\mathbf{s}_i^{n-1}$, $\mathbf{s}_i^n$, $\mathbf{s}_i^{n+1}$ 각각은 이전, 현재, 다음 심볼들을 나타낸다.

[0020] 위와 같은 간섭들이 존재하는 상황에서, 이상적인 다중 사용자 검출은 수신 신호 벡터 $\mathbf{r}$ 의 원인이 되는 모든 심볼들을 고려하는 것이다. 즉, 원하는 셀과 간섭 셀들의 이전 심볼들과 다음 심볼들은 관심 있는 사용자에게 대한 최상의 검출을 위해 필요하다. 여기서, 원하는 셀과 간섭 셀들의 이전 심볼들과 다음 심볼들에 관한 정보를 다중 사용자 정보라고 말하며, 간섭 셀은 원하는 셀에 간섭이 되는 신호를 제공하는 셀을 말한다.

[0021] 이와 같이, 다중 사용자 정보를 고려하여 다중 사용자를 검출하는 방식을 최대 우도 다중 사용자 검출 (Maximum Likelihood-MUD, 이하 'ML-MUD'라 한다)이라고 한다. 상기 최대 우도 다중 사용자 검출은 다음과 같은 수학식으로 정의할 수 있다.

수학식 3

$$\begin{aligned} &\max_{\mathbf{s}_1 \in \mathcal{X}_1^{3SF}, \dots, \mathbf{s}_{N_c} \in \mathcal{X}_{N_c}^{3SF}} P(\mathbf{r} | \mathbf{T}_1, \dots, \mathbf{T}_{N_c}, \mathbf{s}_1, \dots, \mathbf{s}_{N_c}) \\ &= \min_{\mathbf{s}_1 \in \mathcal{X}_1^{3SF}, \dots, \mathbf{s}_{N_c} \in \mathcal{X}_{N_c}^{3SF}} \left\| \mathbf{r} - \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{T}_i \mathbf{s}_i \right\|^2 \end{aligned}$$

[0022]

[0023] 여기서 $\mathbf{x}$ 는 i 번째 셀에서의 심볼들의 성상도 설정이며, $\mathbf{r}$ 은 수신 신호이며, $\mathbf{T}_i$ 는 i 번째 셀의 합성 시스템 행렬이며, $\mathbf{s}_i$ 는 i 번째 셀 내의 사용자들의 심볼 벡터이고, N_c 는 통신 시스템 내의 전체 셀 개수이다.

[0024] 만약에, 16-QAM 변조 및 세 개의 셀들 ($N_c=3$)을 가지는 HSPA 시스템 ($SF=16$)이라고 가정한다면, 격자 점 (lattice point)의 개수는 $16^{144} \approx 2.5 \times 10^{175}$ 개 이다. 비록 CLPS의 해법이 ML 해법과 동일할지라도, 말할 필요도 없이, 상기 격자 점의 개수를 고려하여 CLPS 알고리즘을 수행하는 것은 현실적으로 불가능하다.

[0025] 따라서, 본 발명은 이전 심볼과 다음 심볼의 간섭은 무시하고, 단지 현재 시점의 심볼만을 고려하는 CLPS 알고리즘을 제안한다. 이와 같이 새로이 제안한 CLPS는 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 4

$$\min_{\mathbf{s}_1 \in \mathcal{X}_1^{SF}, \dots, \mathbf{s}_{N_c} \in \mathcal{X}_{N_c}^{SF}} \left\| \mathbf{r} - \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{T}_i^n \mathbf{s}_i^n \right\|^2$$

[0027] ML 검출과 비교하면, 격자 포인트의 개수는 원래 격자 포인트의 개수의 $1/10^{116}$ 개인 16^{48} 로 줄어든다.

[0028] 이와 같이, 격자 포인트 개수의 감소는 경이적이지만, 간섭이 적당하게 제어되지 않으므로, 이러한 CLPS 알고리즘은 그다지 효율적이지 않다. 특히, CLPS의 복잡성이 시스템의 SNR과 강하게 연결된 것에 주목하면, 이 CLPS 알고리즘의 복잡성은 SNR (Signal to Noise Ratio)이 낮은 환경에서 엄청날 것이며, 또한 성능은 ML 해법보다 훨씬 나쁠 것이다.

[0029] 따라서, ML-MUD와 가장 가까운 실행을 달성하는 CLPS-MUD 알고리즘을 위해서는 CLPS 차원을 줄이는 것과 CLPS에 포함되지 않은 간섭을 경감시키는 것이 필요하다. 이러한 두 가지 이슈를 해결하기 위해, 본 발명에서는 다중 사용자 정보의 획득 및 간섭의 제거를 위해 반복적 LMMSE 추정을 이용하며, 간섭이 제거된 수신 신호를 수학식 4에 적용함으로써 좀 더 정확한 해법을 가지는 CLPS 알고리즘을 제안한다. 더욱이, 본 발명에서는 LMMSE 추정의 부산물인 추정된 심볼들을 CLPS의 초구(hypersphere) 조건을 개선하고, 개선된 초구 조건을 상기 CLPS 알고리즘에 적용한다.

[0030] 이제부터 도 1을 참조하여 LMMSE 기반 반복적인 간섭 제거와, LMMSE 추정을 이용하는 CLPS-NP(Noncausal Path metric, 이하 'NP'라 한다) 알고리즘을 설명하고자 한다.

[0031] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 수신 장치의 블록 구성도이다.

[0032] 도 1을 참조하면, 수신 장치는 복수의 수신 안테나들과 RF부(101)와 반복 LMMSE 추정부(103)와 CLPS부(105)를 포함한다.

[0033] 여기서, 복수의 수신 안테나들은 송신 장치로부터 신호를 수신하며, RF부(101)는 수신된 신호를 기저대역으로 변환하고, 반복 LMMSE 추정부(103)는 ISI를 제거함으로써 검출되는 사용자들에 대한 SINR을 최대화한다. 그리고 CLPS부(105)는 반복 LMMSE 추정부(103)에 의해 획득된 간섭 추정을 이용하여 초구 조건인 패스 메트릭(path metric)을 변경하고, 간섭이 제거된 수신 신호와 변경된 패스 메트릭을 이용하여 다중 사용자를 검출한다.

[0034] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 반복 LMMSE 추정부(103)의 블록 구성도이다.

[0035] 반복 LMMSE 추정부(103)는 CLPS부(105)에서 사용되는 다중 사용자 정보를 생성한다. 이러한 다중 사용자 정보는 간섭을 제거하기 위해 사용되며, 본 발명에서 제안하는 CLPS-NP 알고리즘을 위해 사용된다.

[0036] 반복 LMMSE 추정부(103)는 MMSE 추정부(201)와 가중치 생성부(203)과 디스크램블링부(205)와 역 하다마드 변환부(207)와 이득 추정부(209)와 슬라이싱부(211)와 하다마드 변환부(213)와 스크램블링부(215)와 재전송부(217)와 합산기(219)를 포함한다.

[0037] LMMSE 추정부(203)와 가중치 생성부(203)는 복수의 수신 안테나들을 통해 다음과 같은 수신 신호를 수신한다.

수학식 5

$$\mathbf{r} = \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{r}_i + \mathbf{v} = \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{H}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{v}$$

[0038]

[0039] 여기서 $\mathbf{r}$ 은 수신 신호를 나타내며, $\mathbf{x}_i$ 는 송신기에서 송신되는 칩 레벨(chip level) 신호이며, $\mathbf{x}_i = \mathbf{C}_i \mathbf{W} \mathbf{G}_i \mathbf{s}_i = \mathbf{C}_i \mathbf{W} \mathbf{u}_i$ 이다. 본질적으로, 수신 신호 $\mathbf{r}$ 은 칩 벡터 $\mathbf{x}_i$ 와 채널 임펄스 응답(channel impulse response)(토폴리츠 행렬 $\mathbf{H}_i$ 의 열)간의 선형 컨볼루션(convolution)이다.

[0040] 그리고 가중치 생성부(203)은 수신 신호를 이용하여 LMMSE 추정에 필요한 가중치를 생성하고, 생성된 가중치를 LMMSE 추정부(103)로 출력한다.

[0041] 그리고 LMMSE 추정부(103)는 가중치 생성부(203)로부터 출력된 가중치와 다음과 같은 수학식 6 및 7을 이용하여 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 를 추정한 후, 추정된 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 를 디스크램블링부(205)로 출력한다.

수학식 6

$$\hat{\mathbf{x}}_i = \mathbf{R}_{\mathbf{x}_i \mathbf{r}} \mathbf{R}_{\mathbf{r} \mathbf{r}}^{-1} (\mathbf{r} - E[\mathbf{r}])$$

[0042]

[0043] 여기서 $E[\mathbf{x}_j \mathbf{x}_j^H] = E[\mathbf{C}_j \mathbf{W} \mathbf{G}_j \mathbf{s}_j \mathbf{s}_j^H \mathbf{G}_j^H \mathbf{W}^T \mathbf{C}_j^H] = \text{tr}(\mathbf{G}_j^2)$ 이며, $E[|\mathbf{v}|^2] = \sigma_v^2 \mathbf{I}$ 이고, $\mathbf{r}$ 과 $\mathbf{x}_i$ 간의 상호상관(crosscorrelation)은 $\mathbf{R}_{\mathbf{x}_i \mathbf{r}} = E[\mathbf{x}_i (\sum_{j=1}^{N_c} \mathbf{H}_j \mathbf{x}_j + \mathbf{v})^H] = \text{tr}(\mathbf{G}_i^2) \mathbf{H}_i^H$ 이 된다. 그리고 $\mathbf{r}$ 의 자기 상관(autocorrelation)은 $\mathbf{R}_{\mathbf{r} \mathbf{r}} = E[(\sum_{j=1}^{N_c} \mathbf{H}_j \mathbf{x}_j + \mathbf{v})(\sum_{j=1}^{N_c} \mathbf{H}_j \mathbf{x}_j + \mathbf{v})^H] = \left(\sum_{j=1}^{N_c} \text{tr}(\mathbf{G}_j^2) \mathbf{H}_j \mathbf{H}_j^H + \sigma_v^2 \mathbf{I} \right)$ 이다. 여기서 $E[\mathbf{r}] = \mathbf{0}$ 이므로, 수학식 6은 다음과 같이 유도된다.

수학식 7

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_i &= \mathbf{R}_{\mathbf{x}_i \mathbf{r}} \mathbf{R}_{\mathbf{r} \mathbf{r}}^{-1} \mathbf{r} \\ &= \mathbf{H}_i^H \left(\mathbf{H}_i \mathbf{H}_i^H + \sum_{j \neq i} \frac{\text{tr}(\mathbf{G}_j^2)}{\text{tr}(\mathbf{G}_i^2)} \mathbf{H}_j \mathbf{H}_j^H + \sigma_v^2 \mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{r} \end{aligned}$$

[0044]

[0045] 그리고 디스크램블링부(205)는 추정된 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 를 디스크램블링하고, 디스크램블링된 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 를 역 하다마드 변환부(207)로 출력하고, 역 하다마드 변환부(207)는 디스크램블링된 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 를 역 하다마드 변환함으로써, $\hat{\mathbf{u}}_i$ 를 추정한다. 여기서 $\hat{\mathbf{u}}_i$ 는 다음과 같은 수학식으로 정의된다.

수학식 8

$$\hat{\mathbf{u}}_i = \mathbf{W} \mathbf{C}_i^H \hat{\mathbf{x}}_i$$

[0046]

[0047] 그리고 이득 추정부(209)는 $\hat{\mathbf{u}}_i$ 을 이용하여 슬라이싱(slicing)을 위해 필요한 이득(gain)을 추정하고, 추정된 이득을 슬라이싱부(211)로 출력한다. 그리고 슬라이싱부(211)는 이득 추정부(209)로부터 입력된 이득을 이용하여 $\hat{\mathbf{u}}_i$ 를 symbol 단위로 슬라이싱한 후, 슬라이싱 된 심볼 벡터 $\tilde{\mathbf{u}}_i$ 를 하다마드 변환부(213)으로 출력한다.

[0048]

그리고 하다마드 변환부(213)는 $\tilde{\mathbf{u}}_i$ 를 하다마드 변환한 후, 스크램블링부(215)로 출력하고, 스크램블링부(215)는 하다마드 변환된 $\tilde{\mathbf{u}}_i$ 를 스크램블링함으로써, $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 를 생성한 후, 재전송부(217)로 출력한다. 즉, 하다마드 변환부(213)와 스크램블링부(215)는 $\tilde{\mathbf{u}}_i$ 를 송신 장치에서 송신한 신호인 $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 로 변환한다. 그리고 재전송부(217)는 $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 에 채널 벡터 $\mathbf{H}_i$ 를 적용함으로써, 수신 장치가 채널을 통해 수신한 신호를 재생성하고, 합산부(219)는 수신 신호에서 재생성된 신호를 제거한다.

[0049]

이와 같이, LMMSE 추정부(103)는 추정된 심볼을 이용하여 수신 장치에서 수신하는 신호를 재생성하고, 수신 신호에서 재생성된 신호를 제거함으로써, 추정되는 심볼의 품질을 개선할 수 있다. 좀 더 자세히 설명하면, LMMSE 추정부(103)는 전체 셀들을 신호 세기가 가장 강한 셀부터 신호 세기가 가장 약한 셀까지의 내림차순으로 정렬하며, 정렬된 순서대로 수신 신호를 이용하여 해당 셀에 대한 심볼을 생성하고, 생성된 심볼을 이용하여 수신 신호를 재생성한 후, 수신 신호에서 재생성된 수신신호를 제거한다. 여기서 LMMSE 추정의 한 번 반복이란 가장 강한 셀로부터 가장 약한 셀까지의 수신 신호를 재생성하고 삭제하는 과정까지를 말한다.

[0050]

상기의 과정을 I번 반복한 후, i번째 셀의 재-검출을 위해 사용되는 observation 벡터 $\mathbf{r}_i$ 는 다음과 같이 정의된다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_i &= \mathbf{r} - \left(\sum_{j < i} \mathbf{H}_j \hat{\mathbf{x}}_j^{(\ell)} + \sum_{j > i} \mathbf{H}_j \hat{\mathbf{x}}_j^{(\ell-1)} \right) \\ &= \mathbf{H}_i \mathbf{x}_i + \sum_{j < i} \mathbf{H}_j \epsilon_j^{(\ell)} + \sum_{j > i} \mathbf{H}_j \epsilon_j^{(\ell-1)}. \end{aligned}$$

[0051]

[0052] 여기서 $\hat{\mathbf{x}}_j^{(1)}$ 은 1번째 반복으로부터 생성된 chip 추정을 말하며, $\hat{\mathbf{x}}_j^{(0)} = 0$ 이라고 가정하고, $\epsilon_j^{(1)} = \mathbf{x}_j - \hat{\mathbf{x}}_j^{(1)}$ 이다. 반복 index l을 분명히 표현하는 이유는 모든 추정치들이 가장 최근에 얻어진 것이라는 것을 강조하기 위한 것이다. 실제로, 셀의 순서에 의존하여, 몇몇 추정들은 1번째 검출로부터이고 다른 것들은 (l-1)번째 검출로부터 이다.

[0053]

LMMSE 추정부(103)은 이러한 동작을 수행함으로써, ICI을 제거한 후, 간섭이 제거된 수신 신호를 CLPS부(105)로 출력한다.

[0054]

여기서 CLPS부(105)가 수신한 신호는 다음과 같이 정의된다.

수학식 10

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} - \sum_{i=1}^{N_c} \left(\mathbf{T}_i^{n,l} \hat{\mathbf{s}}_i^{n-1} + \mathbf{T}_i^{n,r} \hat{\mathbf{s}}_i^{n+1} \right) \approx \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{T}_i^n \mathbf{s}_i^n + \mathbf{v}'$$

그리고 CLPS부(105)는 수신된 신호에 다음과 같은 수학식을 적용하여 CLPS-LP 알고리즘을 수행한다.

수학식 11

$$\min_{\mathbf{s}_1^n \in \mathcal{X}^{SF}, \dots, \mathbf{s}_{N_c}^n \in \mathcal{X}^{SF}} \left\| \mathbf{r}' - \sum_{i=1}^{N_c} \mathbf{T}_i^n \mathbf{s}_i^n \right\|^2$$

비록, 수학식 11이 수학식 3과 비슷하게 보이지만, 간섭 제거된 observation $\mathbf{r}'$ 를 사용하기 때문에 명확하게 구별된다. 수학식 11은 간섭이 제거된 수신 신호를 이용하여 CLPS 알고리즘을 수행하는 것을 나타내므로, 수학식 3의 CLPS 알고리즘 보다 우수한 성능을 나타내며 좀 더 빠르게 수행된다.

특히, CLPS(105)는 CLPS의 복잡도를 줄이고 탐색시간을 짧게 하기 위해 초구 조건을 변경한다. 좀 더 자세히 설명하면, 본 발명에서는 LMMSE 추정부(103)에 의해 추정된 심볼들과 연관 관계있는 패스 매트릭과 상기 추정된 심볼들과 연관 관계 없는 패스 매트릭을 이용하는 새로운 패스 매트릭을 제안한다.

본 발명에서 제안하는 초구 조건을 설명하기에 앞서서, LMMSE 추정에 의해 추정된 심볼은 $\hat{\mathbf{s}}$ 로 나타내며, 구 탐색(sphere search)에 의해 검출된 심볼은 $\tilde{\mathbf{s}}$ 로 나타내고, 추정된 심볼과 검출된 심볼의 혼합은 $\hat{\tilde{\mathbf{s}}}$ 로 나타낸다.

일반적으로, node k에 대한 패스 매트릭은 다음과 같이 정의된다.

수학식 12

$$J(\mathbf{s}) = \|\mathbf{y} - \mathbf{R}\mathbf{s}\|^2 = \|\mathbf{y} - (\mathbf{R}_l \mathbf{s}_u + \mathbf{R}_r \mathbf{s}_d)\|^2$$

여기서 $\mathbf{R} = [\mathbf{R}_l \ \mathbf{R}_r]$ 이며, $\mathbf{s} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_u \\ \mathbf{s}_d \end{bmatrix}$ 이고, $\mathbf{s}_d = \begin{bmatrix} s_k \\ \vdots \\ s_m \end{bmatrix}$ 이며, $\mathbf{s}_u = \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_{k-1} \end{bmatrix}$ 이다.

좀 더 자세하게, 도 4를 참조하면, $\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_u \\ \mathbf{y}_d \end{bmatrix}$, $\mathbf{R}_l = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{lu} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$, $\mathbf{R}_r = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{ru} \\ \mathbf{R}_{rd} \end{bmatrix}$ 이므로, $J(\mathbf{s})$ 는 다음과 같은 수학식으로 정의된다.

수학식 13

$$\begin{aligned} J(\mathbf{s}) &= \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{y}_u \\ \mathbf{y}_d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{lu} & \mathbf{R}_{ru} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}_{rd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_u \\ \mathbf{s}_d \end{bmatrix} \right\|^2 \\ &= \left\| \mathbf{y}_u - \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{lu} & \mathbf{R}_{ru} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_u \\ \mathbf{s}_d \end{bmatrix} \right\|^2 + \left\| \mathbf{y}_d - \mathbf{R}_{rd}\mathbf{s}_d \right\|^2 \end{aligned}$$

여기서, $J_u(\mathbf{s}_u, \mathbf{s}_d) = \left\| \mathbf{y}_u - \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{lu} & \mathbf{R}_{ru} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_u \\ \mathbf{s}_d \end{bmatrix} \right\|^2$ 이며, $J_d(\mathbf{s}_d) = \left\| \mathbf{y}_d - \mathbf{R}_{rd}\mathbf{s}_d \right\|^2$ 라고 한다면, $J(\mathbf{s})$ 는 다음과 같은 수학식으로 정의된다.

수학식 14

$$J(\mathbf{s}) = J_u(\mathbf{s}_u, \mathbf{s}_d) + J_d(\mathbf{s}_d) = J_u(\bar{\mathbf{s}}) + J_d(\mathbf{s}_d).$$

여기서, 수신 장치가 node k에 위치 하므로, CLPS부(105)는 이미 구 탐색 (sphere search)에 의해 획득되는 심볼 $\tilde{\mathbf{s}}_d$ 를 이미 알고 있다. 그러므로, $J_d(\tilde{\mathbf{s}}_d)$ 는 다음과 같이 정의된다.

수학식 15

$$J_d(\tilde{\mathbf{s}}_d) = \left\| \mathbf{y}_d - \mathbf{R}_{rd}\tilde{\mathbf{s}}_d \right\|^2.$$

그리고 $\hat{\mathbf{s}}_u$ 도 LMMSE 추정에 의해 알고 있으므로, $J_u(\bar{\mathbf{s}})$ 는 다음과 같이 정의된다.

수학식 16

$$J_u(\bar{\mathbf{s}}) = \left\| \mathbf{y}_u - \mathbf{R}_{lu}\hat{\mathbf{s}}_u - \mathbf{R}_{ru}\tilde{\mathbf{s}}_d \right\|^2$$

$J_d(\tilde{\mathbf{s}}_d)$ 와 $J_u(\bar{\mathbf{s}})$ 를 결합함으로써, 본 발명은 다음과 같이 새로운 초구 조건을 제안한다.

수학식 17

$$J(\bar{\mathbf{s}}) = J_u(\bar{\mathbf{s}}) + J_d(\tilde{\mathbf{s}}_d) \leq d_0$$

여기서, $J_u(\bar{\mathbf{s}})$ 가 직감적으로 타당한 이유는 다음과 같다. 구 탐색에 의해 검출된 심볼이 정확하면 ($\tilde{\mathbf{s}}_d = \mathbf{s}_d$), $\hat{\mathbf{s}}_u \approx \mathbf{s}_u$ 이 된다. 이 경우, $J_u(\bar{\mathbf{s}}) = \left\| \mathbf{R}_{lu}(\mathbf{s}_u - \hat{\mathbf{s}}_u) + \mathbf{n}_u \right\|^2$ 는 $\left\| \mathbf{n}_u \right\|^2$ 이 된다. 이와 달리, $\hat{\mathbf{s}}_d \neq \mathbf{s}_d$ 인 경우, $J_u(\bar{\mathbf{s}})$ 가 $\left\| \mathbf{n}_u \right\|^2$ 보다 크도록

$J_u(\bar{s}) = \|\mathbf{R}_{lu}(\mathbf{s}_u - \hat{\mathbf{s}}_u) + \mathbf{R}_{ru}(\mathbf{s}_d - \hat{\mathbf{s}}_d) + \mathbf{n}_u\|^2$ 이 된다. 여기서, $\mathbf{n}_u$ 은 잡음 신호를 말하며, $\|\mathbf{n}_u\|^2$

은 잡음 신호의 전력(power)을 말한다. 이러한 시나리오에서, $J_d(\hat{\mathbf{s}}_d) + J_u(\bar{\mathbf{s}})$ 를 이용하여 부정확한 경로의 모든 children이 탐색 트리로부터 배제되도록 한다.

[0075] 따라서 CLPS부(105)는 상기 수학적 식 17을 이용하여 초기 조건을 변경하고, 변경된 초기 조건을 이용하여 CLPS-LP 알고리즘을 수행함으로써, 다중 사용자 검출을 수행한다.

[0076] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 장치의 흐름도이다.

[0077] 도 5를 참조하면, 501단계에서, 수신 장치는 송신 장치로부터 신호를 수신한 후, 503단계로 진행한다. 그리고 503단계에서, 수신 장치는 ICI를 제거한 수신 신호를 생성한 후, 505단계로 진행한다. 좀 더 자세히 설명하면, 수신 장치는 LMMSE 추정 방식을 이용하여 간섭이 포함된 수신 신호로부터 심볼을 추정하고, 추정된 심볼로 수신 신호를 재생성하고, 간섭이 포함된 수신 신호로부터 재생성된 수신신호를 제거함으로써, ICI를 제거한다.

[0078] 특히, 본 발명의 수신 장치는 전체 셀들을 신호 세기가 가장 강한 셀부터 신호 세기가 가장 약한 셀까지의 내림차순으로 정렬하며, 정렬된 순서대로 수신 신호를 이용하여 해당 셀에 대한 심볼을 생성하고, 생성된 심볼을 이용하여 수신 신호를 재생성한 후, 간섭이 포함된 수신 신호에서 재생성된 수신신호를 제거한다. 이러한 과정을 여러 번 반복함으로써, 수신 장치는 ICI를 제거한다.

[0079] 그리고 505단계에서, 수신 장치는 ICI가 제거된 수신 신호를 이용하여 CLPS를 수행함으로써, 심볼을 검출한다. 특히, 수신 장치는 ICI가 제거된 수신 신호와 현재 시점의 심볼들을 이용하여 CLPS 알고리즘을 수행함으로써, 심볼을 검출한다. 예를 들면, 수신 장치는 심볼을 검출할 때, 수학적 식 11을 이용하여 심볼을 검출할 수 있다.

[0080] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 CLPS부(105)의 흐름도이다.

[0081] 도 6을 참조하면, 601단계에서, CLPS부(105)는 구 복호화(sphere decoding)을 통해 심볼들을 검출한 후, 603단계로 진행한다.

[0082] 그리고 603단계에서, CLPS부(105)는 LMMSE 추정부(103)에 의해 미리 추정된 심볼들과 구 복호화에 의해 검출된 심볼들을 이용하여 초기 조건을 변경한 후, 605단계로 진행한다. 특히, CLPS부(105)는 초기 조건을 변경하기 위해, 수학적 식 22를 이용한다.

[0083] 그리고 605단계에서, CLPS부(105)는 ICI가 제거된 수신 신호와 변경된 초기 조건을 이용하여 CLPS 알고리즘을 수행함으로써 심볼을 검출한다. 특히, CLPS부(105)는 ICI가 제거된 수신 신호와 현재 시점의 심볼들을 이용하여 CLPS 알고리즘을 수행함으로써, 심볼을 검출한다. 예를 들면, CLPS부(105)는 심볼을 검출할 때, 수학적 식 11을 이용할 수 있다.

[0084] 도 7은 본 발명에서 제안한 MDU 방식과 다른 MDU 방식에 대한 비트 오류율을 비교한 그래프이다.

[0085] 701그래프는 HSPA 시스템의 다운링크에 제안된 방식 및 다른 방식을 이용하여 심볼을 검출하였을 경우의 에러율을 비교한 결과이다. 여기서 이동 단말기의 수신된 신호는 다중 경로 환경에서 두 비동기 동작 셀로부터 수신된 신호라고 가정한다. 그리고 가상의 전파 채널은 ITU 모델을 기반으로 생성된다고 가정한다. 그리고 타겟 셀 내의 원하는 사용자들뿐만 아니라 제2셀 내의 간섭자들도 모두 QPSK 변조를 가진 다섯 개의 물리적 데이터 채널들(HS-PDSCH)를 이용한다고 가정한다.

[0086] 701 그래프를 참조하면, 반복 LMMSE 등화기는 반복 증가의 수에 비례하는 성능향상을 얻는다. 하지만 반복 LMMSE 등화기의 이득은 상당한 양의 잔류 간섭 때문에 포화 상태가 되는 반면에, 본 발명에서 제안하는 방식은 상당한 실행 이득을 제공한다. 예를 들면, 제안된 방식은 5% BER에서 반복 LMMSE 등화기를 통해 8dB 이득 이상을 제공하고, 그 이득은 타겟 셀의 SNR과 함께 증가한다. 이와 대조되게, 우리는 수학적 식 4의 CLPS는 낮은 SINR 상태에서 동작되기 때문에 잘 수행되지 않는다는 것을 알 수 있다.

[0087] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

[0088] 예를 들면, 본 발명에서는 ICI를 제거하기 위해, LMMSE 방식을 이용하였으나, LMMSE 방식뿐만 아니라 레이크 등화기 등과 같은 다른 방식도 사용될 수 있다. 그리고 본 발명에서는 HSPA 시스템을 예로 들어 설명하였으나, 본

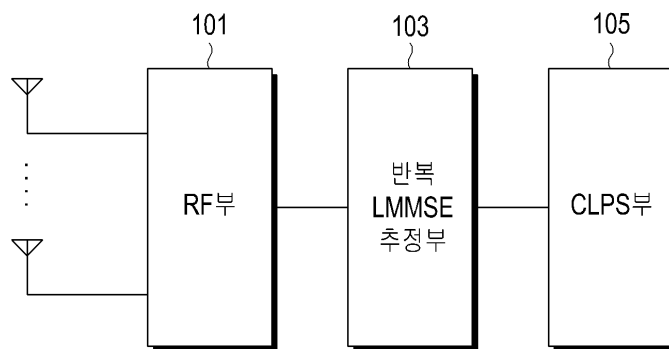
발명은 HSPA 시스템에만 국한되는 것이 아니라 직교 주파수 분할 접속(OFDMA) 시스템 등의 다른 시스템에도 사용될 수 있다.

부호의 설명

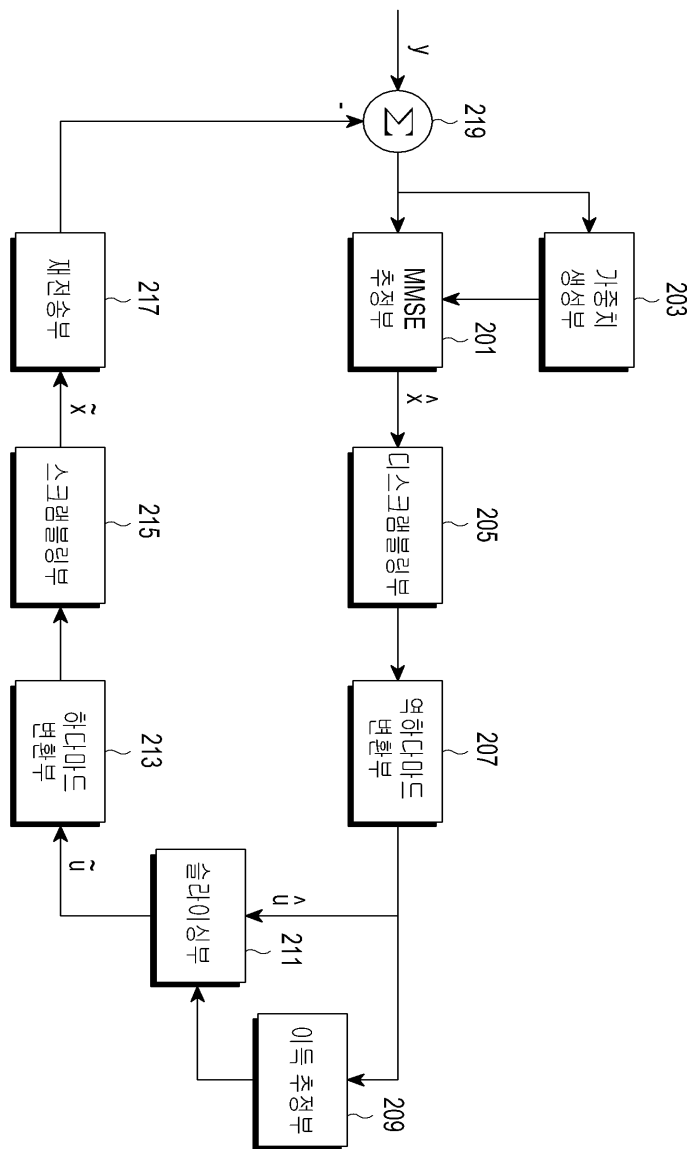
- [0089]
- 101: RF부
 - 103: 반복 LMMSE 추정부
 - 105: CLPS부
 - 201: MMSE 추정부
 - 203: 가중치 생성부
 - 205: 디스크램블링부
 - 207: 역 하다마드 변환부
 - 209: 이득 추정부
 - 211: 슬라이싱부
 - 213: 하다마드 변환부
 - 215: 스크램블링부
 - 217: 재전송부
 - 219: 합산기

도면

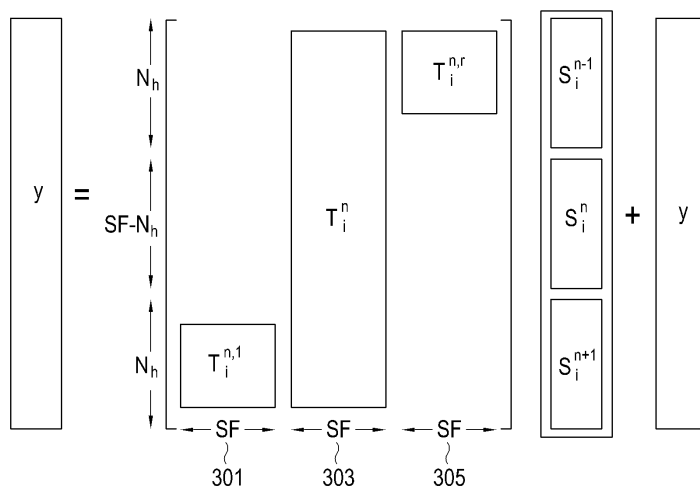
도면1



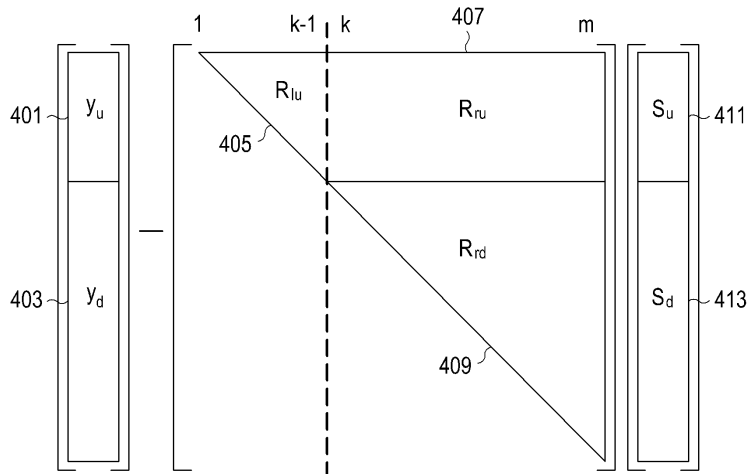
도면2



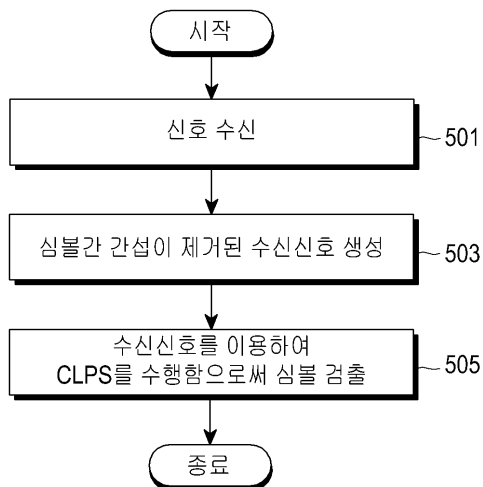
도면3



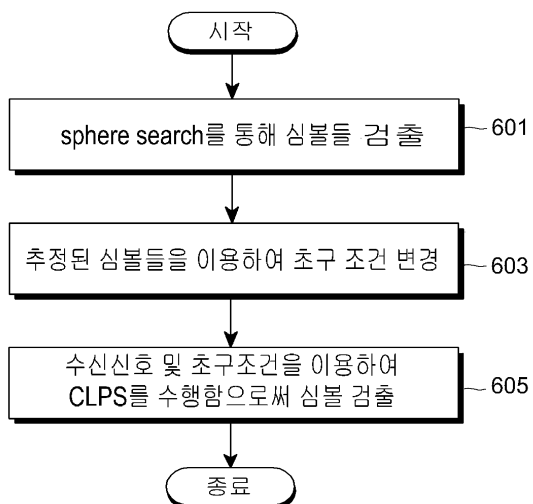
도면4



도면5



도면6



도면7

