



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0131183
(43) 공개일자 2009년12월28일

(51) Int. Cl.

H04B 7/08 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0057033

(22) 출원일자 2008년06월17일

심사청구일자 2008년06월17일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

김진상

경기도 용인시 수지구 죽전1동 반도보라빌
104-803

현 트롱안

베트남 쿠앙 은가이 독 포 포 안 안 타크 도이 9
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

장한특허법인

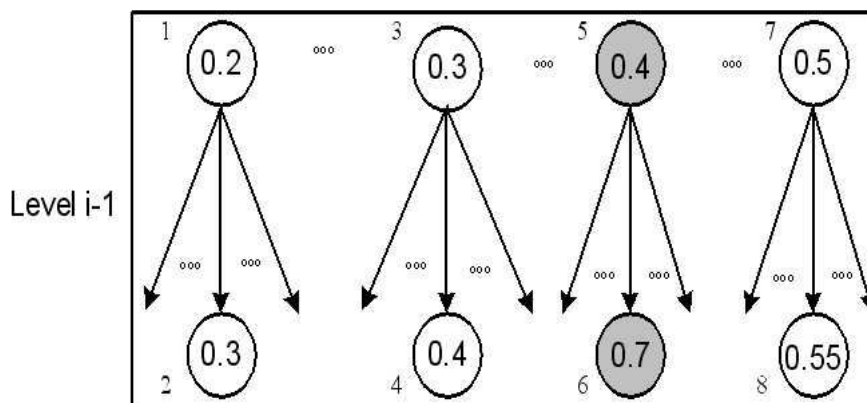
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법

(57) 요약

본 발명은 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에 관한 것으로서, 다중 입력 다중 출력 채널을 통해 전송된 신호를 수신하는 단계와; 상기 수신된 신호의 각 노드의 PED(partial Euclidean distance)값을 초기화하는 단계와; 상기 각 노드의 소정 레벨에서 검색된 노드의 심벌과 그 이전 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계와; 상기 연산된 PED값들을 크기가 작은 순서로 미리 정해진 K개 선택하는 단계와; 선택된 상기 K개의 심벌 쌍을 저장하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 의해, 공간적으로 다중화되어 있는 데이터를 검출하기 위해 최적의 후보군을 검출하는 경우, 검출 복잡도를 감소시키는 한편 검출된 신호의 정확도를 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

조종민

경기도 안양시 만안구 박달2동 114번지 한라비발디
아파트 101동1703호

조원경

경기도 수원시 영통구 영통동 살구골 성지아파트
713-1003

특허청구의 범위

청구항 1

다중 입력 다중 출력 채널을 통해 전송된 신호를 수신하는 단계와;

상기 수신된 신호의 각 노드의 PED(partial Euclidean distance)값을 초기화하는 단계와;

상기 각 노드의 소정 레벨에서 검색된 노드의 심벌과 그 이전 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계와;

상기 연산된 PED값들을 크기가 작은 순서로 미리 정해진 K개 선택하는 단계와;

선택된 상기 K개의 심벌 쌍을 저장하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 트리탐색의 이전 레벨에서 검색된 노드의 심벌과 현재 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계는,

레벨 $i = M, M-1, M-2, \dots, 1$ 이고, 레벨 i 에서의 PED $L_i(s^{(j-1)})$ 일 경우, 하기 [수학식 6]에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법.

수학식 6

$$L_i(s^{(j-1)}) = L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_i - \sum_{k=j}^{2M} R_{j,k} s_k \right|^2 + \left| y_{j-1} - \sum_{k=j-1}^{2M} R_{j-1,k} s_k \right|^2$$

여기서, $j=2i$ 이고, $s^{(j+1)} = [s_{j+1} \ s_{j+2} \ \dots \ s_{2M}]$ 는 트리 탐색의 이전 레벨에서 찾아진 심벌의 부분 벡터이다.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 트리탐색의 이전 레벨에서 검색된 노드의 심벌과 현재 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계는,

레벨 $i = M, M-1, M-2, \dots, 1$ 이고, 레벨 i 에서의 PED $L_i(s^{(j-1)})$ 일 경우, 하기 [수학식 7]에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법.

[수학식 7]

$$\begin{aligned}
 L_i(s^{(j-1)}) &= L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_{j-1} - R_{j,j} s_j - \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j,k} s_k \right|^2 \\
 &\quad + \left| y_j - R_{j-1,j-1} s_{j-1} - R_{j-1,j} s_j - \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k \right|^2 \\
 &= L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_{j-1} - R_{j,j} s_j - a_j(s^{(j+1)}) \right|^2 \\
 &\quad + \left| y_j - R_{j-1,j-1} s_{j-1} - R_{j-1,j} s_j - b_j(s^{(j+1)}) \right|^2 \\
 a_j(s^{(j+1)}) &= \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j,k} s_k \quad \text{항과} \quad b_j(s^{(j+1)}) = \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k
 \end{aligned}$$

여기서, $s^{(j+1)}$ 에 의해서만 영향을 받는다.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 연산된 PED값들을 크기가 작은 순서로 미리 정해진 K개 선택하는 단계는,

상기 연산된 PED값들을 오름차순으로 정렬하는 단계와;

상기 정렬된 PED값 중 크기가 작은 순서로 상기 K개를 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

선택된 상기 K개의 심벌 쌍을 저장한 후, 상기 연산이 완료된 레벨의 다음 레벨과 그 다음 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계와;

상기 연산된 PED값들을 크기가 작은 순서로 미리 정해진 K개 선택하는 단계와;

선택된 상기 K개의 심벌 쌍을 저장하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 트리의 제1레벨에서의 상기 K값은 1인 것을 특징으로 하는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

<1> 본 발명은 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 공간분할다중화(Space-Division Multiplexing) 방식으로 신호를 송수신하는 다중 입력 다중 출력(Multiple-Input Multiple-Output)시스템에서, 공간적으로 다중화되어 있는 데이터를 검출하기 위해 최적의 후보군을 검출하는 경우, 검출 복잡도를 감소시키는 한편 검출된 신호의 정확도를 향상시킬 수 있는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 최근 무선 통신 환경에서 고품질 및 고속의 데이터 전송이 요구됨에 따라, 한정된 주파수를 효율적으로 사용하기 위하여 다중 안테나를 이용한 다중 입력 다중 출력(Multiple-Input Multiple-Output : 이하 'MIMO'라 칭함)시스템이 사용되고 있다.
- <3> MIMO 시스템은 시공간부호화(Space-Time Coding) 방식, 혹은, 공간분할다중화(Space-Division Multiplexing) 방식으로 운용될 수 있다. 시공간부호화 방식은 서로 다른 안테나에서 전송되는 데이터를 인코딩함으로써 무선 통신 시스템의 신뢰성을 높일 수 있는 기술이다. 그리고, 공간분할다중화(Space-Division Multiplexing) 방식은, 각 안테나에서 서로 독립적인 데이터를 동시에 전송함으로써 데이터 전송률을 증가시키는 기술이다.
- <4> MIMO 시스템에서 공간분할다중화를 통해 송신 안테나별로 각각 독립적인 심벌을 전송하는 경우, 수신단에서 수신 심벌로부터 송신 심벌을 검출해 내는 다양한 기술들이 제안된바 있다. 특히, ML(Maximum Likelihood) 검출 기법은 심벌 검출을 위해 전송 가능한 모든 경우의 심벌 벡터에 대해 유클리디언 거리(Euclidean distance)를 계산, 비교하는 기술로서 성능 측면에서 가장 우수한 기술이다. 그러나, 안테나 수와 변조방식의 크기가 증가하면 그 복잡도가 지수적으로 증가하기 때문에 구현이 매우 어렵다는 문제점이 있다.
- <5> 이러한 ML 검출의 복잡도를 감소시키기 위하여 스피어 디코딩(sphere decoding) 기법이 개발되었다. 스피어 디코딩 기법은 잡음 분산과 채널 상태를 고려하여 초기에 설정된 반경으로 이루어진 구 내에 존재하는 심벌 벡터 셋에 대해서만 유클리디언 거리 계산이 수행함으로써, ML 검출의 복잡도를 감소시킨다.
- <6> 일반적으로 스피어 디코딩 기법은 깊이 우선(depth-first) 탐색과 너비 우선(width-first) 탐색 방법으로 분류할 수 있다.
- <7> 깊이 우선(depth-first) 탐색 알고리즘은 전후방으로 트리탐색을 함으로써 ML 검출의 복잡도를 낮출 수 있다. 그러나, 디지털 회로에서 처리량(throughput)을 높일 수 있는 파이프라인 특성을 이용하여 구현할 수 없으며, 연산량이 가변적이기 때문에 최악의 경우 ML 검출의 복잡도를 갖는 탐색을 해야 하는 문제점이 있다.
- <8> 반면에 너비 우선(breadth-first) 탐색 알고리즘은 전방 방향으로만 최적의 후보군을 찾도록 되어 있으며, 특히, K-best 스피어 디코딩 알고리즘은 각 트리탐색 레벨에서 K개의 최적의 후보군만을 저장한다.
- <9> 도 1은 종래의 스피어 디코딩 방법에 따른 노드 선택 상태도로서, K-best 스피어 디코딩 알고리즘에 따라 최적의 후보군을 선택하는 과정을 도시한 것이다.
- <10> 도 1에 도시된 바와 같이, 레벨 i 에는 노드 1, 3, 5, 7이 존재하며, 각각의 노드는 0.2, 0.3, 0.4, 0.5의 누적 PED(partial Euclidean distance)값을 가지고 있다. 여기서, 노드 7은 PED 값이 0.5로 가장 높으므로 후보군에서 탈락된다.
- <11> 레벨 i 에서 선택된 후보군 노드들은 레벨 $i-1$ 로 확장되어 새로운 PED 값을 연산하고 다시 후보군 노드를 갱신하면 노드 2, 4, 6이 선택된다. 여기서, 노드 8은 PED값이 0.55이고 노드 6은 PED값이 0.7로써, 노드 8이 더 낮은 PED 값을 가지고 있지만 이미 레벨 i 에서 노드 7값이 버려 졌기 때문에 두 레벨의 탐색과정 동안 최적의 후보군은 노드 쌍 (1, 2), (3, 4), (5, 6)이 된다.
- <12> 이러한 K-best 스피어 디코딩 알고리즘은 파이프라인 구성이 가능하여 일정한 처리량(throughput)을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 ML 수신기에 가까운 성능을 내기 위해 충분히 큰 K값을 적용할 경우 여전히 높은 복잡도를 가지게 된다. 이에, 구현에 좀 더 적합하도록 작은 K값을 적용할 경우, 이전 레벨의 오차 전달에 의해 성능 저하가 발생하고 처리량을 일정하게 유지시킬 수 있다 할지라도 디코딩 지연이 증가하게 되는 단점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <13> 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위해 안출 된 것으로서, 공간분할다중화(Space-Division Multiplexing) 방식으로 신호를 송수신하는 다중 입력 다중 출력(Multiple-Input Multiple-Output)시스템에서, 공간적으로 다중화되어 있는 데이터를 검출하기 위해 최적의 후보군을 검출하는 경우, 검출 복잡도를 감소시키는 한편 검출된 신호의 정확도를 향상시킬 수 있는 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

과제 해결수단

<14> 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법은, 다중 입력 다중 출력 채널을 통해 전송된 신호를 수신하는 단계와; 상기 수신된 신호의 각 노드의 PED(partial Euclidean distance)값을 초기화하는 단계와; 상기 각 노드의 소정 레벨에서 검색된 노드의 심벌과 그 이전 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계와; 상기 연산된 PED값들을 크기가 작은 순서로 미리 정해진 K개 선택하는 단계와; 선택된 상기 K개의 심벌 쌍을 저장하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<15> 여기서, 상기 트리탐색의 이전 레벨에서 검색된 노드의 심벌과 현재 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계는, 레벨 $i = M, M-1, M-2, \dots, 1$ 이고, 레벨 i 에서의 PED $L_i(s^{(j-1)})$ 일 경우, 하기 [수학식 6]에 의해 산출되는 것이 가능하다.

<16> [수학식 6]

$$L_i(s^{(j-1)}) = L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_i - \sum_{k=j}^{2M} R_{j,k} s_k \right|^2 + \left| y_{j-1} - \sum_{k=j-1}^{2M} R_{j-1,k} s_k \right|^2$$

<17> 여기서, $j=2i$ 이고, $s^{(j+1)} = [s_{j+1} \ s_{j+2} \ \dots \ s_{2M}]$ 는 트리 탐색의 이전 레벨에서 찾아진 심벌의 부분 벡터이다.

<18> 또한, 상기 트리탐색의 이전 레벨에서 검색된 노드의 심벌과 현재 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계는, 레벨 $i = M, M-1, M-2, \dots, 1$ 이고, 레벨 i 에서의 PED $L_i(s^{(j-1)})$ 일 경우, 하기 [수학식 7]에 의해 산출되는 것이 가능하다.

<19> [수학식 7]

$$L_i(s^{(j-1)}) = L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_{j-1} - R_{j,j} s_j - \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j,k} s_k \right|^2 + \left| y_j - R_{j-1,j-1} s_{j-1} - R_{j-1,j} s_j - \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k \right|^2$$

$$= L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_{j-1} - R_{j,j} s_j - a_j(s^{(j+1)}) \right|^2 + \left| y_j - R_{j-1,j-1} s_{j-1} - R_{j-1,j} s_j - b_j(s^{(j+1)}) \right|^2$$

<20> 여기서, $a_j(s^{(j+1)}) = \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k$ 항과 $b_j(s^{(j+1)}) = \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k$ 항은 이전 레벨에서 검출된 $s^{(j+1)}$ 에 의해서만 영향을 받는다.

<21> 한편, 상기 연산된 PED값들을 크기가 작은 순서로 미리 정해진 K개 선택하는 단계는, 상기 연산된 PED값들을 오름차순으로 정렬하는 단계와; 상기 정렬된 PED값 중 크기가 작은 순서로 상기 K개를 선택하는 단계를 포함하는 것이 가능하다.

<22> 그리고 선택된 상기 K개의 심벌 쌍을 저장한 후, 상기 연산이 완료된 레벨의 다음 레벨과 그 다음 레벨에서 검색된 노드의 심벌에 기초하여 PED값을 연산하는 단계와; 상기 연산된 PED값들을 크기가 작은 순서로 미리 정해진 K개 선택하는 단계와; 선택된 상기 K개의 심벌 쌍을 저장하는 단계를 더 포함하는 것이 가능하다.

<23> 또한, 상기 트리의 제1레벨에서의 상기 K값은 1인 것이 가능하다.

효 과

<26> 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법은, 공간분할다중화(Space-Division Multiplexing) 방식으로 신호를 송수신하는 다중 입력 다중 출력(Multiple-Input Multiple-Output)시스템에서, 공간적으로 다중화되어 있는 데이터를 검출하기 위해 최적의 후보군을 검출하는 경우, 트리 탐색 시 2개의 레벨에서 동시에 심벌 검출을 수행하도록 하고 있다. 이에 따라, 잠재적인 후보군이 삭제될 가능성을 배제하여 검출된 신호의 정확도를 향상시킬 수 있으며, 탐색 레벨의 수는 절반으로 감소시켜 검출 복잡도를 감소시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <27> 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에 대해서 상세하게 설명한다. 다만, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- <28> 도 2는 본 발명의 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에 따른, 최적의 후보 노드 선택 상태도이다.
- <29> 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명에서는 최적의 후보군을 선택하기 위해, 두 개의 레벨에서 동시에 탐색을 수행한다. 즉, 레벨 i 에 존재하는 노드 1, 3, 5, 7과, 레벨 $i-1$ 에 존재하는 노드 2, 4, 6, 8을 동시에 탐색하여 최적의 후보군 노드 쌍을 선택한다.
- <30> 레벨 i 에는 노드 1, 3, 5, 7이 존재하며, 각각의 노드는 0.2, 0.3, 0.4, 0.5의 누적 PED 값을 가지고 있다. 그리고, 레벨 $i-1$ 에는 노드 2, 4, 6, 8이 존재하며, 각각의 노드는 0.3, 0.4, 0.7, 0.55의 누적 PED 값을 가지고 있다.
- <31> 이에, 레벨 i 의 노드 및 레벨 $i-1$ 의 노드를 동시에 탐색하면, 노드 쌍 (7, 8)의 최종 누적 PED 값은 0.55이고 노드 (5, 6)의 최종 누적 PED는 0.7이기 때문에 현재 레벨에서의 최종적으로 선택된 후보군은 (7, 8), (1, 2), (3, 4)가 된다.
- <32> 이상 설명한 바와 같이, 본 발명은 최적의 후보군을 찾는 과정에서 성능 향상에 도움을 줄 수 있는 잠재적인 후보군이 삭제될 가능성을 배제하기 위해서 트리 탐색시 2개 레벨에서 동시에 심벌검출을 수행한다. 탐색의 각 레벨에서는 K_i 개의 심벌 쌍이 유지된다. 기존의 알고리즘과 비교했을 때 제안된 알고리즘의 탐색 레벨의 수는 절반으로 감소되었고, 잠재적인 후보군을 찾기 위한 심벌탐색 공간이 확장되었기 때문에 성능을 향상시킬 수 있다.
- <33> 상술한 바와 같은, 본 발명이 적용되는 다중 입력 다중 출력(Multiple-Input Multiple-Output : 이하 'MIMO'라 칭함)시스템은 M 개의 송신 안테나와 N 개의 수신 안테나로 이루어지고, 기저대역 N 차원 수신 심벌 벡터는 [수학식 1]로 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\hat{y} = \hat{H}\hat{s} + \hat{n}$$

<34>

<35> 여기서 $\hat{s} = [\hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_M]^T$ 는 M 차원 송신 신호 벡터이고 각 신호성분들은 BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM과 같은 복소성좌도 내에서 독립적으로 나타나는 심벌이다. $\hat{H}$ 는 $N \times M$ 채널 행렬이고, 행렬 내의 $\hat{h}_{ij}$ 는 j 번째 송신안테나와 i 번째 수신안테나 사이의 전달함수이다. 모든 $\hat{h}_{ij}$ 는 각 차원마다 평균값이 0이고 분산이 0.5인 i.i.d 복소 랜덤 가우시안 변수이고, 수신기에서는 이 채널 정보를 모두 알고 있다고 가정한다. $\hat{n} = [\hat{n}_1, \hat{n}_2, \dots, \hat{n}_N]^T$ 는 평균 0, 분산 σ^2 인 i.i.d 복소 가우시안 잡음이다. [수학식 1]의 복소수 형태의 식은 아래의 [수학식 2]로 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\hat{y} = \begin{bmatrix} \mathcal{R}(\hat{y}) \\ \mathcal{I}(\hat{y}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{R}(\hat{H}) - \mathcal{I}(\hat{H}) \\ \mathcal{I}(\hat{H}) \quad \mathcal{R}(\hat{H}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathcal{R}(\hat{s}) \\ \mathcal{I}(\hat{s}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathcal{R}(\hat{n}) \\ \mathcal{I}(\hat{n}) \end{bmatrix}$$

<36>

여기서 $\mathcal{I}(\cdot)$ 과 $\mathcal{R}(\cdot)$ 는 $(\cdot)$ 의 실수부와 허수부이다. n 을 $2N$, m 을 $2M$ 이라 할 경우, [수학식 2]의 $N \times M$ 채널 행렬 $\hat{H}$ 는 아래의 [수학식 3]과 같이 QR분할방식으로 삼각행렬로 표현할 수 있다.

수학식 3

$$\hat{H} = QR$$

<38>

여기서 R 은 $n \times m$ 상삼각행렬이고 Q 는 직교하는 열을 갖는 $n \times m$ 행렬이다. [수학식 2]에 Q^H 를 곱하면 다음의 [수학식 4]와 같이 표현할 수 있다.

수학식 4

$$y = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \cdots & R_{1,2M} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & \cdots & R_{2,2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{2M,1} & R_{2M,2} & \cdots & R_{2M,2M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathcal{R}(\hat{s}) \\ \mathcal{I}(\hat{s}) \end{bmatrix} + Q^H \begin{bmatrix} \mathcal{R}(\hat{n}) \\ \mathcal{I}(\hat{n}) \end{bmatrix}$$

$$= Rs + n'$$

<40>

여기서 $y = Q^H \tilde{y}$ 이고 $n' = Q^H n$ 이다. MIMO 검출의 목적은 성상도 상에서 가장 가까운 심벌위치, $\hat{s}$ 를 찾는 것이고 이는 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\hat{s} = \operatorname{argmin}_{s \in \Omega} \|y - Rs\|^2$$

<42>

여기서 각 s 의 값은 실수 성좌도내의 점 Ω , 즉 $s \in \Omega$ 에서 정의된다.

<43>

이러한 구성을 갖는 MIMO 시스템에서, 본 발명에 따른 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법은 도 3에 도시된 바와 같다.

<44>

도 3은 본 발명의 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법의 흐름도이다.

<45>

먼저, 초기 PED $L_{M+1} = 0$, 입력 y , R 을 설정하여 PED 값을 초기화한다(S10).

<46>

각 레벨 i 에서 PED 값을 연산한다(S12). 여기서, $i = M, M-1, M-2, \dots, 1$ 일 때, 레벨 i 에서 PED $L_i(s^{(j-1)})$ 는 [수학식 6]과 같이 산출될 수 있다.

<47>

<48> [수학식 6]

$$L_i(s^{(j-1)}) = L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_i - \sum_{k=j}^{2M} R_{j,k} s_k \right|^2 + \left| y_{j-1} - \sum_{k=j-1}^{2M} R_{j-1,k} s_k \right|^2$$

<49>

<50> 여기서 $j=2i$ 이다. [수학식 6]에서 $s^{(j+1)} = [s_{j+1} \ s_{j+2} \ \dots \ s_{2M}]$ 는 트리 탐색의 이전 레벨에서 찾아진 심벌의 부분 벡터이다. [수학식 6]은 [수학식 7] 같이 다시 나타낼 수 있다.

<51> [수학식 7]

$$L_i(s^{(j-1)}) = L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_{j-1} - R_{j,j} s_j - \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j,k} s_k \right|^2 + \left| y_j - R_{j-1,j-1} s_{j-1} - R_{j-1,j} s_j - \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k \right|^2$$

$$= L_{i+1}(s^{(j+1)}) + \left| y_{j-1} - R_{j,j} s_j - a_j(s^{(j+1)}) \right|^2 + \left| y_j - R_{j-1,j-1} s_{j-1} - R_{j-1,j} s_j - b_j(s^{(j+1)}) \right|^2$$

<52>

<53> [수학식 7]에서의 $a_j(s^{(j+1)}) = \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k$ 항과 $b_j(s^{(j+1)}) = \sum_{k=j+1}^{2M} R_{j-1,k} s_k$ 항은 이전 레벨에서 검출된 $s^{(j+1)}$ 에 의해서만 영향을 받는다. Ω 가 Q 개이고 레벨 $i-1$ 에서 K_{i-1} 개의 후보군 $s^{(j+1)}$ 을 갖는다면, 이 단계에서 전체 PED 값의 개수는 $G=K_{i-1} \times Q$ 가 된다.

<54> PED 연산이 완료되면, PED $L_i(s^{(j-1)})$ 을 오름차순으로 정렬하고 K_i 의 최소값을 선택한다(S14).

<55> PED 값에 의해 정해진 K_i 개의 심벌 쌍 (s_j, s_{j-1}) 를 저장한다(S16).

<56> 이 후, S12단계로 되돌아가 최적 심벌 쌍을 저장하며, 레벨 1이 트리탐색의 마지막 레벨이기 때문에 $i=1$ 인 경우 $K_1=1$ 이 되며, 신호 탐색이 종료된다(S18).

<57> 이상 설명한 바와 같이, 본 발명의 신호 검출 방법은 트리탐색의 소정 레벨과 그 이전 레벨을 동시에 탐색하여 PED값이 작은 최적의 노드 쌍을 검출해 내고 있다. 따라서, 하나의 레벨씩 순차적으로 탐색할 경우 성능 향상에 영향을 주는 중간단계의 후보군이 버려지는 것을 방지할 수 있다.

<58> 도 4는 본 발명의 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법과 종래의 스피어 디코딩 방법에 따른 시뮬레이션 결과 그래프이다.

<59> 4×4 MIMO 시스템에서 16-QAM 변조를 사용했을 때 기존 스피어 디코딩 알고리즘과 제안된 알고리즘의 BER(Bit Error Rate) 성능을 보여준다. 후보군의 탐색영역을 확장한 제안된 알고리즘이 BER 측면에서 더 좋은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다.

<60> 본 발명에서는 K_i 값이 제안된 알고리즘의 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해서 다양한 K_i 값으로 시뮬레이션을 수행하였다.

<61> 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에서 K_i 값 설정에 따른 시뮬레이션 결과 그래프이다.

<62> 제안된 MIMO 검출기에 3가지 서로 다른 K_i 값을 초기화($K_1 = 1, K_2 = 4, K_3 = 4, K_4 = 4$), ($K_1 = 1, K_2 = 5, K_3 =$

5, $K_4 = 5$), ($K_1 = 1, K_2 = 6, K_3 = 6, K_4 = 6$) 함으로써 나타나는 BER의 변화에 대해서 보여준다. 도 5와 같이 K_1 을 ($K_1 = 1, K_2 = 6, K_3 = 6, K_4 = 6$)로 설정할 때가 가장 좋은 성능을 가지는 것을 볼 수 있고, 작은 K_1 값은 성능의 열화를 가져오는 것을 알 수 있다. 제안된 MIMO 검출기가 충분히 큰 K_1 값을 갖는다면 BER 곡선이 Damen 등에 의해 제안된 depth-first 알고리즘에 근접하는 것을 알 수 있다.

<63> 이상 설명한 바와 같이, 본 발명은 최적의 후보군을 찾는 과정에서 성능 향상에 도움을 줄 수 있는 잠재적인 후보군이 삭제될 가능성을 배제하기 위해서 트리탐색시 2개 레벨에서 동시에 심벌검출을 수행하며, 탐색의 각 레벨에서는 K_i 개의 심벌 쌍이 유지된다. 기존의 알고리즘과 비교했을 때 제안된 알고리즘의 탐색 레벨의 수는 절반으로 감소되었고, 잠재적인 후보군을 찾기 위한 심벌탐색 공간이 확장되었기 때문에 성능을 향상시킬 수 있다.

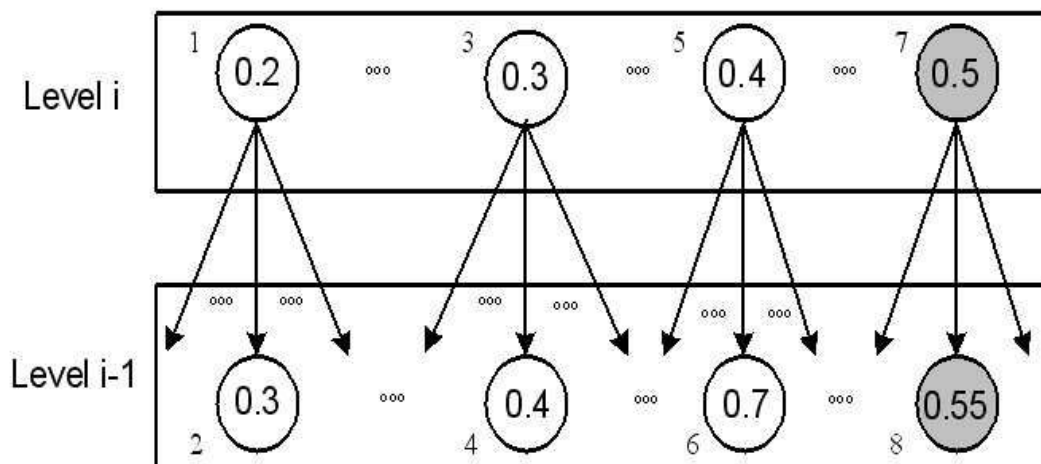
<64> 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면의 간단한 설명

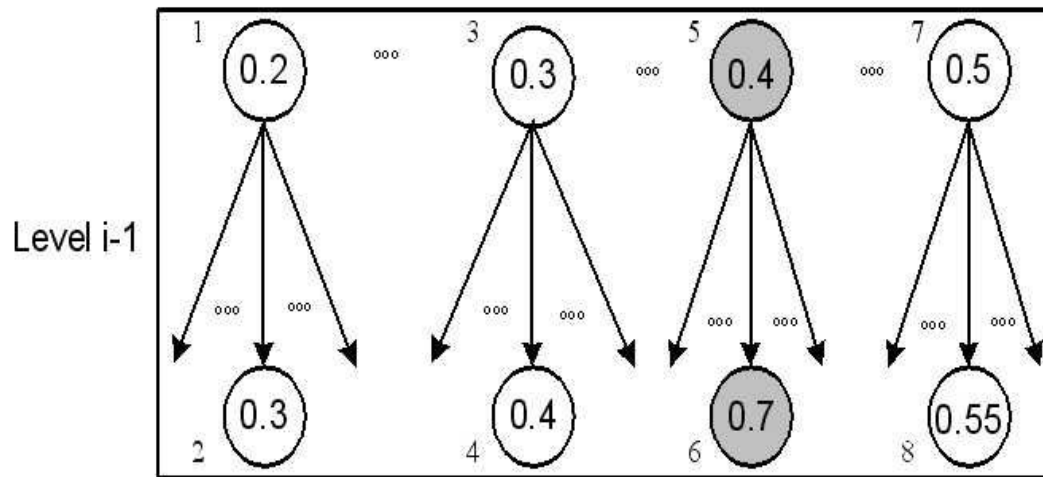
- <65> 도 1은 종래의 스피어 디코딩 방법에 따른 노드 선택 상태도
- <66> 도 2는 본 발명의 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에 따른, 최적의 후보 노드 선택 상태도,
- <67> 도 3은 본 발명의 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법의 흐름도,
- <68> 도 4는 본 발명의 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법과 종래의 스피어 디코딩 방법에 따른 시뮬레이션 결과 그래프,
- <69> 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 다중 입력 다중 출력 시스템의 신호 검출 방법에서 K_i 값 설정에 따른 시뮬레이션 결과 그래프이다.

도면

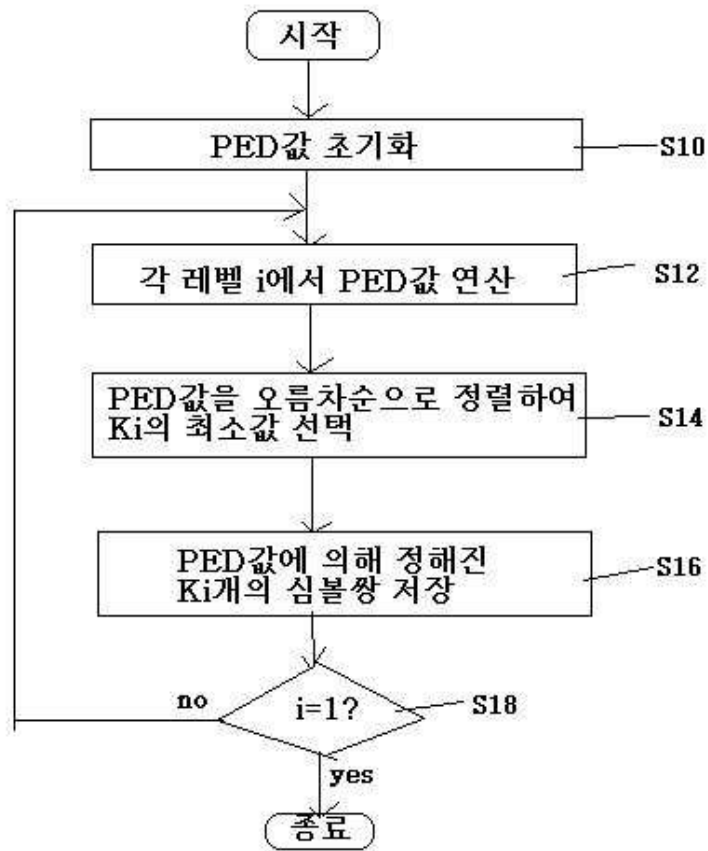
도면1



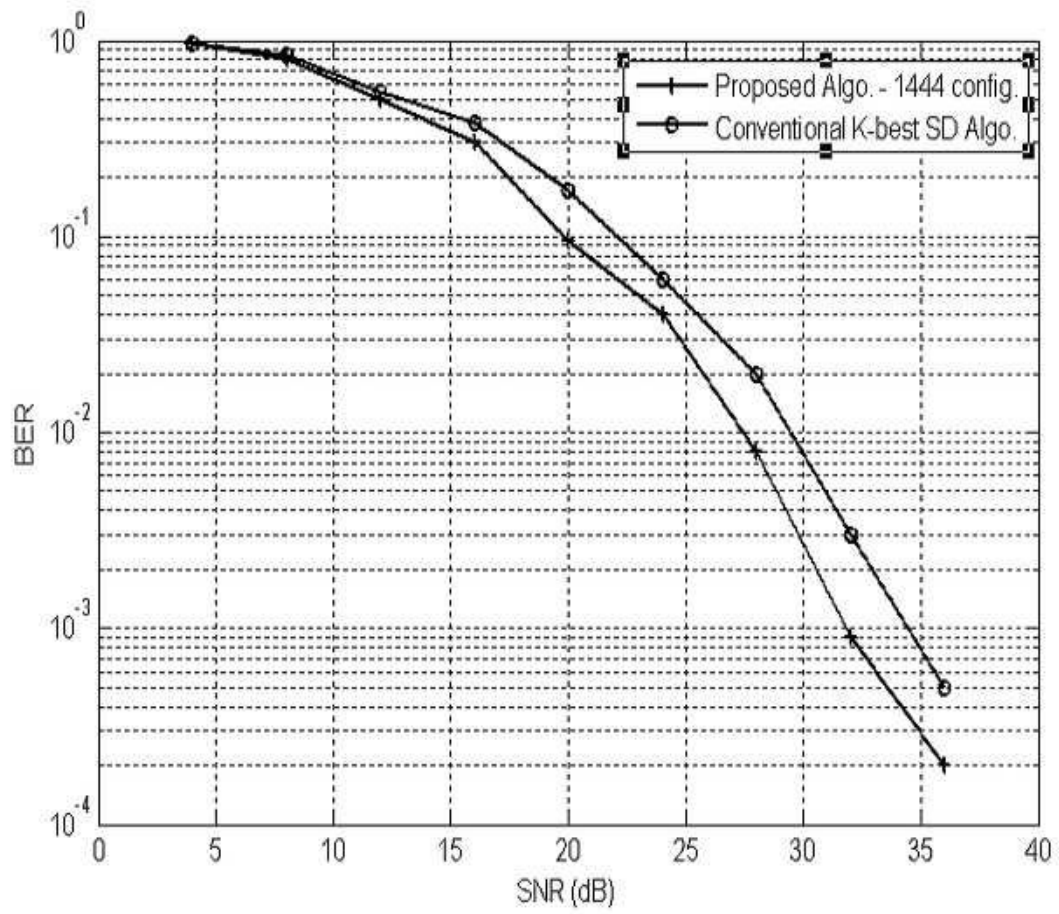
도면2



도면3



도면4



도면5

