



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0019691
(43) 공개일자 2011년02월28일

(51) Int. Cl.

H04B 7/04 (2006.01) H04B 1/06 (2006.01)

H04L 27/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0007879

(22) 출원일자 2010년01월28일

심사청구일자 2010년01월28일

(30) 우선권주장

1020090076965 2009년08월20일 대한민국(KR)

기술이전 희망 : 기술양도, 실시권허여, 기술지도

(71) 출원인

한국전자통신연구원

대전 유성구 가정동 161번지

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

장경희

서울특별시 양천구 목5동 신시가지아파트 220-702

모하이센, 마나

인천시 남구 용현4동 81-20번지 302호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 씨엔에스·로고스

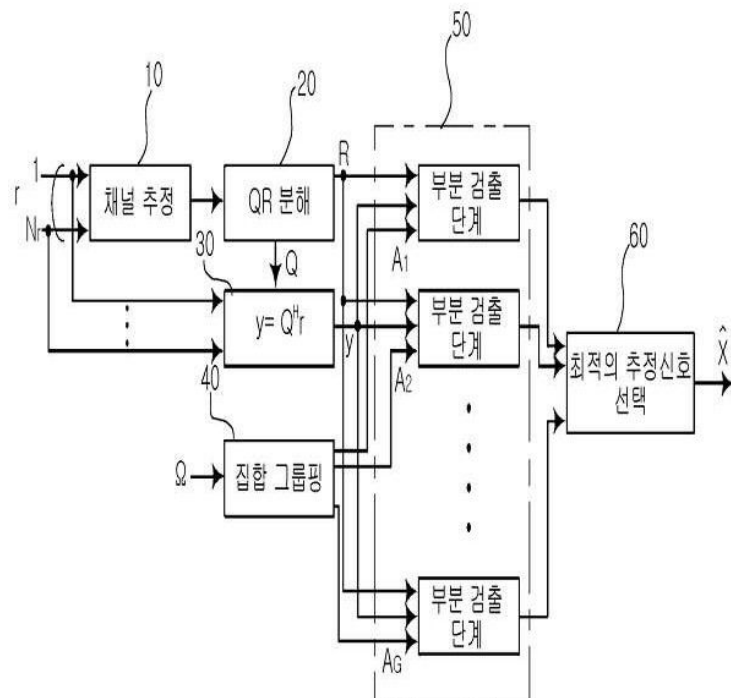
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 공간 다중화 방식의 다중 안테나 시스템에서 성상도 집합 그룹핑을 이용한 신호 검출 방법

(57) 요약

본 발명은 공간 다중화 방식의 다중 안테나 시스템에서 성상도 집합 그룹핑을 이용한 신호 검출 방법에 관한 것으로, 심볼 후보 집합인 성상도 집합에 대한 그룹핑을 통해 복수의 부분 집합으로 분할하는 단계; QRDM 알고리즘의 트리 검색 과정을 복수의 부분 검출 단계로 분할하는 단계; 및 상기 분할된 복수의 부분 검출 단계를 병렬적 또는 반복적으로 수행하는 단계를 포함하여 구성된다.

대표도



(72) 발명자

안홍선

인천광역시 연수구 선학동 375-6 301호

백영석

대전광역시 유성구 도룡동 381-29번지 20통3반

구본태

대전광역시 서구 갈마2동 경성큰마을아파트
108-207호

특허청구의 범위

청구항 1

심볼 후보 집합인 성상도 집합에 대한 그룹핑을 통해 복수의 부분 집합으로 분할하는 단계;

QRDM(QR-decomposition with M-algorithm) 알고리즘의 트리 검색 과정을 복수의 부분 검출 단계로 분할하는 단계; 및

상기 분할된 복수의 부분 검출 단계를 병렬적 또는 반복적으로 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 부분 집합으로 분할하는 단계는, 상기 성상도 집합을 동일한 카디널리티(cardinality)를 갖는 부분 집합으로 분할하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 그룹핑은 연속적 또는 분산적으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 부분 검출 단계들 각각에는 AQRDM(Adaptive QRDM) 알고리즘이 적용되는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 복수의 부분 검출 단계 중 i번째 부분 검출 단계의 N번째 검출 레벨(i 및 N은 임의의 자연수)에서 결정되는 심볼은 i번째 부분집합의 원소 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

각 검출 레벨에서 잔존하는 브랜치 수의 최대값은 벡터 $\mathbf{m} = [m_2, m_3, \dots, m_N]$ 으로 기 설정되는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 부분 검출 단계를 병렬적으로 수행하는 경우,

상기 부분 검출 단계는,

각 브랜치들의 거리를 계산하고 각 검출 레벨에 대한 최소 누적거리를 계산하는 단계;

상기 최소 누적거리를 이용하여 임계값을 계산하는 단계;

각 검출 레벨에 대해 계산된 최소 누적거리가 상기 임계값보다 큰 심볼을 제거하는 단계; 및

잔존 심볼들의 수가 기 설정된 m_N 값보다 큰 경우, 상기 잔존 심볼들 중 최소의 누적거리를 갖는 m_N 개의 심볼을 선택하는 단계를 포함하며,

상기 최소 누적거리를 계산하는 단계, 임계값을 계산하는 단계, 심볼을 제거하는 단계 및 심볼을 선택하는 단계를 각 검출 레벨에 대해 반복 수행하여 각 부분 검출 단계에서 최적의 추정신호 및 상기 추정신호에 대한 누적거리를 구하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

각 부분 검출 단계에서 구한 최적의 추정신호에 대한 누적거리 중 최소의 누적거리를 갖는 추정 신호를 최적의 해로 선택하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 부분 검출 단계를 반복적으로 수행하는 경우,

상기 부분 검출 단계는,

각 검출 레벨의 임계값을 계산하는 단계;

상기 임계값보다 큰 누적거리를 갖는 심볼을 제거하는 단계; 및

잔존 심볼들의 수가 기 설정된 m_N 값보다 큰 경우, 상기 잔존 심볼들 중 최소의 누적거리를 갖는 m_N 개의 심볼을 선택하는 단계를 포함하며,

상기 임계값을 계산하는 단계, 상기 심볼을 제거하는 단계 및 상기 심볼을 선택하는 단계를 각 검출 레벨에 대해 반복 수행하여 각 부분 검출 단계에서 최적의 추정신호 및 상기 추정신호에 대한 누적거리를 구하고,

상기 부분 검출 단계는 수신 신호 벡터 $\mathbf{y}$, 채널 행렬을 QR 분해하여 구한 $\mathbf{R}$ 행렬, 현재까지 추정된 최적의 추정신호에 대한 누적 거리 ζ 및 k 번째 부분집합 A_k 을 입력으로 받은 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

각 검출 레벨에서 계산된 최소의 누적거리가 상기 현재까지 추정된 최적의 추정신호에 대한 누적 거리 ζ 이상인 경우, 상기 ζ 및 검출 신호의 수정없이 반복 수행이 중단되는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

각 검출 레벨에서 계산된 최소의 누적거리가 상기 현재까지 추정된 최적의 추정신호에 대한 누적 거리 ζ 미만인 경우, 상기 계산된 임계값과 ζ 값 중 작은 값을 임계값으로 설정하는 것을 특징으로 하는 신호 검출 방법.

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 공간 다중화 방식의 다중 안테나 시스템에서 성상도 집합 그룹핑을 이용한 신호 검출 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 QRDM (QR-decomposition with M-algorithm) 알고리즘의 트리 검색 단계를 복수의 부분 검출 단계로 분할하여 이를 병렬적 또는 반복적으로 수행함으로써 기존의 QRDM 알고리즘에 비해 검출 지연 또는 하드웨어 요구량을 감소시키고, 연산 복잡도를 감소시키기 위한 기술에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 다중 안테나를 이용한 다중 입력 다중 출력(Multiple-Input Multiple-Output; MIMO) 시스템은 송/수신기가 각각 다중 안테나를 사용하는 시스템을 의미하는 것으로, 단일 안테나를 사용하는 시스템에 비하여 추가적인 주파수나 송신 전력의 할당 없이도 안테나 수에 비례하여 채널 전송 용량을 증가시킬 수 있어 최근에 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다.
- [0003] 이러한 MIMO 시스템의 채널 용량은 주로 전송된 심볼들의 블록을 복구하기 위해 수신기 측에서 사용되는 신호 검출 방법에 달려 있으며, 높은 성능과 낮은 복잡도 및 검출 지연을 달성하기 위한 MIMO 시스템의 신호 검출 기법을 설계하는 것은 중요한 문제이다.
- [0004] MIMO 시스템의 신호 검출 기법으로는 최대 우도(Maximum Likelihood; ML) 검출 기법, 스피어 디코딩(Sphere Decoding) 알고리즘, QRDM(QR-decomposition with M-algorithm) 알고리즘, AQRDM(Adaptive QRDM) 알고리즘 등을 들 수 있다.
- [0005] 최대 우도 검출 기법은 공간 다중화 방식의 다중 안테나 시스템에서 최적의 성능을 제공하지만, 송신 안테나 수가 증가하고 높은 차수의 변조 방법을 사용할 경우 연산 복잡도가 지수적으로 증가하므로 실용적이지 못하다는 단점이 있다.
- [0006] 스피어 디코딩 알고리즘은 최대 우도 검출 기법에 근사한 성능과 최대 우도 검출 기법에 비해 상당량 감소된 평균 연산 복잡도를 제공한다. 그러나, 스피어 디코딩 알고리즘에 의할 경우, 채널 매트릭스의 조건 수(condition number)와 잡음 분산에 따라서 순시적인 복잡도의 변화가 생기며, 그 결과 최악의 경우 최대 우도 검출 기법과 유사한 연산 복잡도를 나타낸다. 즉, 스피어 디코딩 알고리즘의 연산 복잡도는 표준편차가 크고 랜덤성이 있다. 따라서, 이동 기지국이 제한된 전력과 낮은 검출 지연 인내도(latency tolerance)를 갖는 실질적인 애플리케이션에 대해서 스피어 디코딩 알고리즘을 사용하기에는 문제점이 있다.
- [0007] QRDM 알고리즘은 성능과 복잡도 사이의 절충을 위하여 제안된 방법으로서, 신호의 검출시 요구되는 연산량이 채널 조건이나 잡음 전력에 상관없이 고정된다. 따라서 신호를 검출하기 위한 각 단계에서 보다 많은 정보를 고려함으로써, 추가적인 복잡도 감소가 가능하다. 다시 말해, 좋은(well-conditioned) 채널환경이나 낮은 잡음 전력 이 존재하는 경우 남겨지는 심볼 후보수를 줄임으로써, 각 브랜치에서 계산되는 누적거리 연산을 줄일 수 있다. 그러나 선택된 후보의 개수에 따라 검출 성능이 좌우되고 후보의 개수가 증가할수록 연산 복잡도가 증가한다는 단점이 있다.
- [0008] AQRDM 알고리즘은 상술한 QRDM 알고리즘이 각 검출 단계에서 남겨지는 브랜치의 수를 고정시킨 것과 달리, 잔존 브랜치의 수를 적응적으로 조절한다. 높은 신호대 잡음비(signal to noise ratio; SNR) 영역에서는 추정된 신호의 누적 거리가 다른 나머지 후보 심볼들의 누적거리에 비해 명확한 차이를 보이기 때문에 AQRDM 알고리즘은 상당한 복잡도 감소를 얻을 수 있다. 그러나 많은 심볼 후보들의 누적거리가 비슷한 수준을 가지는 낮은 신호대 잡음비 영역에서는 AQRDM 알고리즘이 기존의 QRDM 알고리즘과 유사한 복잡도를 갖는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, QRDM (QR-decomposition with M-algorithm) 알고리즘의 트리 검색 단계를 복수의 부분 검출 단계로 분할하여 이를 병렬적 또는 반복적으로 수행함으로써 기존의 QRDM 알고리즘에 비해 검출 지연 또는 하드웨어 요구량을 감소시키고, 연산 복잡도를 감소시킬 수 있는 공간 다중화 방식의 다중 안테나 시스템에서 성상도 집합 그룹핑을 이용한 신호 검출 방법을 제공하기

위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 신호 검출 방법은, 심볼 후보 집합인 정상도 집합에 대한 그룹핑을 통해 복수의 부분 집합으로 분할하는 단계; QRDM 알고리즘의 트리 검색 과정을 복수의 부분 검출 단계로 분할하는 단계; 및 상기 분할된 복수의 부분 검출 단계를 병렬적 또는 반복적으로 수행하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 의하면, 연속적 또는 분산적인 그룹핑에 의해 QRDM 알고리즘의 트리 검색 단계를 복수의 부분 검출 단계(PDPs)로 분할하고, 각각의 부분 검출 단계를 병렬적으로 수행하거나(APQRDM 알고리즘) 반복적으로 수행한다 (AIQRDM 알고리즘).

[0012] APQRDM 알고리즘에 의하면, 신호 검출 과정을 병렬적으로 수행하므로 기존의 QRDM 알고리즘에 비하여 상당한 검출 지연 감소를 얻을 수 있고, 12dB에서의 평균 연산 복잡도는 기존의 QRDM 알고리즘의 약 43.5% 정도로 감소된다.

[0013] 또한, AIQRDM 알고리즘에 의하면, 신호 검출 과정을 반복적으로 수행하므로 하드웨어와 메모리 요구량을 감소시킬 수 있으며, 0dB에서의 평균 연산 복잡도는 기존의 QRDM 알고리즘의 약 54.2% 정도로 감소된다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 $G = 4$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 연속적 그룹핑 방법을 나타내는 도면,
 도 2a는 $G = 2$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 분산적 그룹핑 방법을 나타내는 도면,
 도 2b는 $G = 4$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 분산적 그룹핑 방법을 나타내는 도면,
 도 2c는 $G = 8$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 분산적 그룹핑 방법을 나타내는 도면,
 도 3a는 본 발명의 일 측면에 의한 APQRDM 알고리즘의 블록 다이어그램,
 도 3b는 본 발명의 일 측면에 의한 APQRDM 알고리즘의 적용시, 잔존하는 심볼의 선택을 도식화한 도면,
 도 4는 본 발명의 일 측면에 의한 APQRDM 알고리즘을 의사코드로 나타내는 도면,
 도 5는 본 발명의 다른 측면에 의한 AIQRDM 알고리즘의 구조를 도시화한 도면,
 도 6은 본 발명의 다른 측면에 의한 AIQRDM 알고리즘을 의사코드로 나타내는 도면,
 도 7a는 4X4 MIMO 시스템에서 X , $G = 4$ 이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 APQRDM 알고리즘의 연산 복잡도를 나타내는 도면,
 도 7b는 4X4 MIMO 시스템에서 X , $G = 4$ 이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 AIQRDM 알고리즘의 연산 복잡도를 나타내는 도면,
 도 8a는 4X4 MIMO 시스템에서 $X = 4$, $G = 2$ 이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 본 발명에서 제안된 알고리즘의 BER 성능을 나타내는 도면, 그리고
 도 8b는 4X4 MIMO 시스템에서 X , $G = 4$ 이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 본 발명에서 제안된 알고리즘의 BER 성능을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 다만, 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 유사한 기능 및 작용을 하는 부분에 대해서는 도면 전체에 걸쳐 동일한 부호를 사용한다.

[0016] 덧붙여, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 '연결'되어 있다고 할 때, 이는 '직접적으로 연결'되어 있

는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 '간접적으로 연결'되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 구성요소를 '포함'한다는 것은, 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.

[0017] 본 발명에 의한 신호 검출 방법은, 사용되는 변조 기법이 가질 수 있는 모든 심볼을 고려한 심볼 후보의 집합 (즉, 성상도 집합)을 연속적 또는 분산적 그룹핑을 통해 동일한 카디널리티(cardinality)를 갖는 부분 집합으로 나누는 것을 기반으로 한다. 이에 따라, 기존의 QRDM 알고리즘의 트리 검색 단계가 각 검출 레벨에서 보다 적은 잔존 브랜치를 갖는 부분 검출 단계로 분리되고, 필요에 따라 부분 검출 단계가 병렬적 또는 반복적으로 수행되도록 한다.

[0018] 이하, 도 1 내지 도 8b를 참조하여 본 발명에서 사용되는 그룹핑 방법과 이를 이용한 신호 검출 방법을 보다 상세하게 설명한다.

[0019] 성상도(constellation) 집합 Ω 은 수학적 식 1로 표현되는 바와 같이 G개의 공통원소가 없는 부분 집합 $A_1, A_2, \dots, A_G$ 로 나뉘질 수 있다.

수학적 식 1

$$\Omega = \bigcup_{i=1}^G A_i$$

[0020]

[0021] 성상도 집합의 그룹핑 방법은 크게 연속적 그룹핑 방법과 분산적 그룹핑 방법으로 구분된다.

[0022] 구체적으로, 연속적 그룹핑 방법은 각 그룹에 속하게 되는 심볼 후보들을 성상도 상에서 연속적으로 선택하는 방법이고, 분산적 그룹핑 방법은 그룹 수(G개)에 따라 성상도 상에서 순차적으로 각 그룹에 속하게 되는 심볼 후보들을 선택하는 방법으로, 도 1 또는 도 2a 내지 도 2c에 도시된 바와 같이 연속적 또는 분산적으로 그룹핑할 수 있다.

[0023] 도 1은 $G = 4$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 연속적 그룹핑 방법을 나타내는 도면이다. 도 2a는 $G = 2$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 분산적 그룹핑 방법을 나타내는 도면이고, 도 2b는 $G = 4$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 분산적 그룹핑 방법을 나타내는 도면이고, 도 2c는 $G = 8$ 이고, 16QAM 변조가 사용된 경우의 분산적 그룹핑 방법을 나타내는 도면이다.

[0024] 도 1 및 도 2a, 2b, 2c에서 동일한 기호는 동일한 그룹에 속함을 의미하며, 연속적 또는 분산적 그룹핑 방법에 의해 분할된 각 그룹은 동일한 평균 전력을 갖는다.

[0025] 이하, G_1^a 와 G_2^a 는 각각 $G=a$ 인 경우의 연속적 그룹핑 방법과 분산적 그룹핑 방법을 나타낸다.

[0026] 본 발명에서는, 상술한 그룹핑 방법을 기반으로 하여 QRDM 알고리즘의 트리 검색 단계가 복수의 부분 검출 단계(PDPs)로 분할된다. 또한, i번째 PDP의 N번째 검출 레벨에서 결정되는 심볼은 A_i 의 원소 중에서 선택된다. 또한, 각 검출 레벨에서 잔존하는 브랜치 수의 최대값은 벡터 $\mathbf{m} = [m_2, m_3, \dots, m_N]$ 으로 미리 설정된다. 예를 들어, 전송 안테나의 개수 $N = 4$ 인 경우, 벡터 $\mathbf{m}$ 은 수학적 식 2와 같이 정의 된다. 여기서, $a = M / G$ 로 정의되며, M은 트리 구조의 각 검출 단계에서 남겨지는 후보의 개수이다.

수학식 2

$$m_0^4 = \{a, a, a\}$$

$$m_1^4 = \left\{ \frac{a}{2}, \frac{3a}{2}, a \right\}$$

[0027]

[0028]

본 발명의 일 측면에 의한 APQRDM(Adaptive parallel QRDM) 알고리즘은 상술한 바에 따라 분할된 PDP를 병렬적으로 처리하여 낮은 검출 지연을 달성하고, 연산 복잡도를 줄이기 위한 것이다.

[0029]

도 3a는 본 발명의 일 측면에 의한 APQRDM 알고리즘의 블록 다이어그램이고, 도 3b는 본 발명의 일 측면에 의한 APQRDM 알고리즘의 적용시, 잔존하는 심볼의 선택을 도식화한 도면이다.

[0030]

도 3a를 참조하여 설명하면, 우선 다중 안테나를 통해 수신한 수신 신호 r 로부터 채널 행렬 H 를 추정하고(10), 유니타리 행렬 Q 와 상삼각 행렬 R 을 얻기 위해 상기 채널 행렬 H 를 분해한 후($r = QRs + n$, r 은 수신신호벡터, s 는 송신신호벡터, n 은 잡음벡터)(20), 상기 수식의 양변에 Q^H 를 곱한다(30).

[0031]

한편, 본 발명에서는 성상도 집합 Ω 를 상술한 연속적 그룹핑 또는 분산적 그룹핑 방법에 의해 G 개의 부분 집합 $A_1, A_2, \dots, A_G$ 로 그룹핑한다(40).

[0032]

이에 따라, 종래의 QRDM 알고리즘의 트리 검색 단계는 복수의 부분 검출 단계(50)로 분할되고, 분할된 각각의 부분 검출 단계에서는 종래의 AQRDM 알고리즘이 적용되며, i 번째 부분 검출 단계의 N 번째 검출 레벨에서 결정되는 심볼은 A_i 의 원소 중에서 선택된다.

[0033]

각각의 부분 검출 단계(50)에서는, 각 브랜치들의 거리를 계산하고 PDP당 최소 누적거리를 계산한다.

[0034]

구체적으로, 각 검출 레벨에서 최소 누적거리는 수학식 3과 같이 계산된다. 여기서, E_N^j 는 N 번째 검출 레벨에서 j 번째의 PDP에서 선택된 심볼 $x_N \in A_j$ 의 최소 거리를 의미한다.

수학식 3

$$E_{N,\min} = \min \{ E_{N,\min}^1, E_{N,\min}^2, \dots, E_{N,\min}^G \}$$

[0035]

[0036]

최소 누적거리를 계산한 후, 이를 바탕으로 하여 임계값(threshold)을 수학식 4에 따라 계산한다. 수학식 4에 대한 상세한 설명은 H. Kawai, K. Higuchi, N. Maeda, M. Sawahashi에 의하여 “Adaptive control of surviving symbol replica candidates in QRM-MLD for OFDM-MIMO multiplexing”란 제목으로 IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 24, no. 6, pp. 1130-1140, Jun. 2006에 소개되어 있으므로 이에 대한 구체적인 설명은 생략한다.

수학식 4

$$\Delta_N = E_{N,\min} + K \sigma_n^2$$

[0037]

[0038]

이후, 각 검출 레벨에서 계산된 최소 누적거리가 상기 임계값보다 큰 심볼들이 제거된다. 이후, 제거되고 남은 잔존 심볼들의 수가 기 설정된 m_N 값보다 많은 경우 잔존 심볼들 중 최소의 누적거리를 가지는 m_N 개의 심볼들만

을 선택하고 나머지는 제거된다. 반면, 잔존 심볼들의 수가 m_N 값보다 적은 경우 모든 잔존 심볼들이 다음 검출 레벨에서 이용된다.

[0039] 상술한 과정을 각 검출 레벨에 대해 반복 수행하여 각 부분 검출 단계에서 최적의 추정신호와 해당 추정신호의 누적거리를 얻는다. 상기와 같이 얻은 추정신호와 누적거리를 각각 $\hat{\mathbf{x}}^k$ 와 $E_{1,\min}^k$ 로 저장하고, 저장된 누적거리 중 최소의 누적거리를 선택하고 이에 해당하는 추정 신호를 최적의 해로 선택한다(60).

[0040] 도 4는 본 발명의 일 측면에 의한 APQRDM 알고리즘을 의사코드로 나타내는 도면으로, 상술한 APQRDM 과정을 의사코드로 표현한 것이다.

[0041] 한편, 본 발명의 다른 측면에 의한 AIQRDM(Adaptive iterative QRDM) 알고리즘은 상술한 바에 따라 분할된 PDPs를 반복적으로 처리하여 하드웨어 요구량을 낮추고, 연산 복잡도를 줄이기 위한 것이다.

[0042] 도 5는 본 발명의 다른 측면에 의한 AIQRDM 알고리즘의 구조를 도시화한 도면이다.

[0043] 도 5를 참조하여 설명하면, 반복적으로 수행되는 부분 검출 단계는 그 입력으로 $\mathbf{y}$, $\mathbf{R}$, A_k , ζ 를 수신한다. 여기서, $\mathbf{y}$ 는 수신 신호 벡터, $\mathbf{R}$ 은 채널 행렬을 QR 분해하여 얻어진 $\mathbf{R}$ 행렬, ζ 는 현재까지 추정된 최적의 신호 $\mathbf{x}$ 에 해당하는 누적 거리를 의미한다. 최초의 ζ 값은 무한대 값으로 초기화된다.

[0044] 상술한 APQRDM 알고리즘과 마찬가지로, 분할된 각각의 부분 검출 단계에서는 종래의 AQRDM 알고리즘이 적용되며, i 번째 부분 검출 단계의 N 번째 검출 레벨에서 결정되는 심볼은 A_i 의 원소 중에서 선택된다. 또한, 검출 레벨 i 에서 임계값은 수학식 5와 같이 계산된다.

수학식 5

$$\Delta_i^1 = E_{i,\min}^1 + X \sigma_n^2$$

[0045]

[0046] 이후, 상술한 바에 따라 계산된 임계값보다 큰 누적 거리를 갖는 심볼들은 제거되고, 제거되고 남은 잔존 심볼들의 수가 기 설정된 m_i 값보다 많은 경우 잔존 심볼들 중 최소의 누적거리를 가지는 m_i 개의 심볼들만을 다음 검출 레벨을 위해 선택하고 나머지는 제거된다. 반면, 잔존 심볼들의 수가 m_i 값보다 적은 경우 모든 잔존 심볼들이 다음 검출 레벨에서 이용된다.

[0047] 상술한 과정을 각 검출 레벨에 대해 반복 수행한 후, 다음의 수학식 6를 이용하여 구한 ζ 값을 현재까지 얻어진 최적의 해가 가지는 누적 거리로 정한다. 검출 신호 $\hat{\mathbf{x}}$ 에는 $\hat{\mathbf{x}}^1$ 값을 저장한다.

수학식 6

$$\zeta = \Delta_1^1 = \|\mathbf{y} - \mathbf{R} \hat{\mathbf{x}}^1\|^2$$

[0048]

[0049] k 번째 반복 검출 과정에서 첫 번째 검출되는 심볼은 성상도 부분 집합 A_k 로부터 선택되지만 남겨지는 심볼은 전체 성상도 집합 Ω 로부터 선택된다. x_N 개의 심볼 검출을 위하여 최소 누적거리 $E_{1,\min}^k$ 를 계산한 후, 이를 ζ 값과 비교한다. $\zeta \leq E_{1,\min}^k$ 인 경우, 이미 검출된 심볼이 현재 검출중인 심볼보다 작은 누적거리를 가진다

는 의미이므로 ζ 값이나 검출 신호 $\hat{\mathbf{X}}$ 의 수정없이 반복 수행은 중단된다. 반면, $\zeta > E_{1, \min}^k$ 인 경우에는 임계값은 수학식 7과 같이 계산된다. 이와 같이 수정된 임계값은 보다 더 엄격한 조건을 제시하는 것으로, 그 결과 연산 복잡도의 추가적인 감소를 얻을 수 있게 된다.

수학식 7

$$\Delta_i^k = \min \{ \zeta, E_{i, \min}^k + X \sigma_n^2 \}$$

[0050]

[0051]

도 6은 본 발명의 다른 측면에 의한 AIQRDM 알고리즘을 의사코드로 나타내는 도면으로, 상술한 AIQRDM 과정을 의사코드로 표현한 것이다.

[0052]

도 7a는 4X4 MIMO 시스템에서 X, G = 4이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 APQRDM 알고리즘의 연산 복잡도를 나타내는 도면이고, 도 7b는 4X4 MIMO 시스템에서 X, G = 4이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 AIQRDM 알고리즘의 연산 복잡도를 나타내는 도면이다. 도 7a 및 7b로부터, 본 발명에서 제안된 APQRDM 및 AIQRDM 알고리즘에 의한 경우 종래의 QRDM 및 AQRDM 알고리즘에 비해 연산 복잡도가 낮아짐을 알 수 있다.

[0053]

도 8a는 4X4 MIMO 시스템에서 X = 4, G = 2이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 본 발명에서 제안된 알고리즘의 BER 성능을 나타내는 도면이고, 도 8b는 4X4 MIMO 시스템에서 X, G = 4이고, 16QAM 변조기법을 사용한 경우의 본 발명에서 제안된 알고리즘의 BER 성능을 나타내는 도면이다. 도 8a 및 8b로부터, 본 발명에서 제안된 알고리즘에 의한 경우 종래의 QRDM 알고리즘에 비해 BER 성능이 향상됨을 알 수 있다.

[0054]

본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명에 따른 구성요소를 치환, 변형 및 변경할 수 있다는 것이 명백할 것이다.

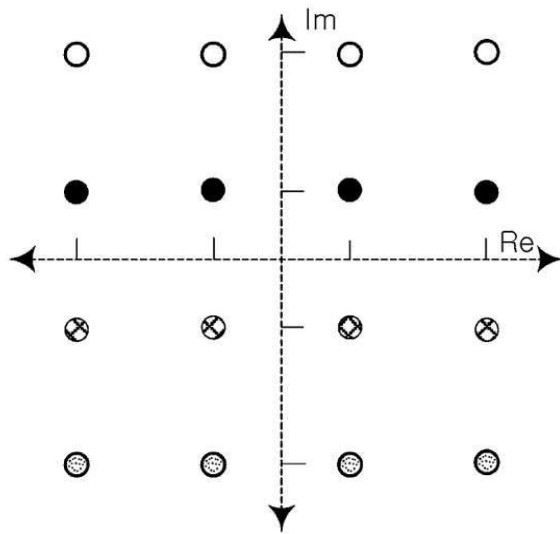
부호의 설명

[0055]

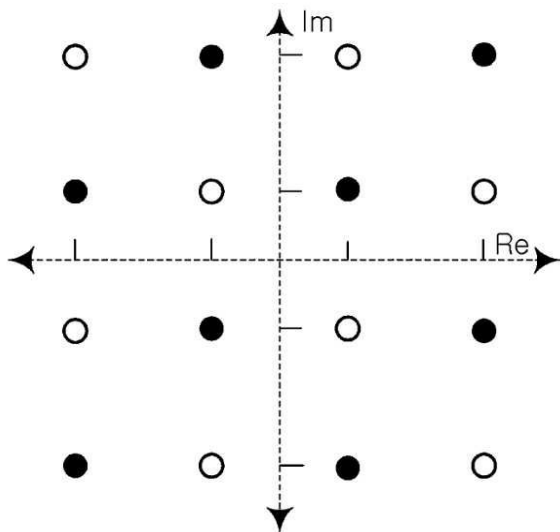
10: 채널 추정	20: QR분해
30: $y = Q^H r$	40: 집합 그룹핑
50: 부분 검출 단계	60: 최적의 추정신호 선택

도면

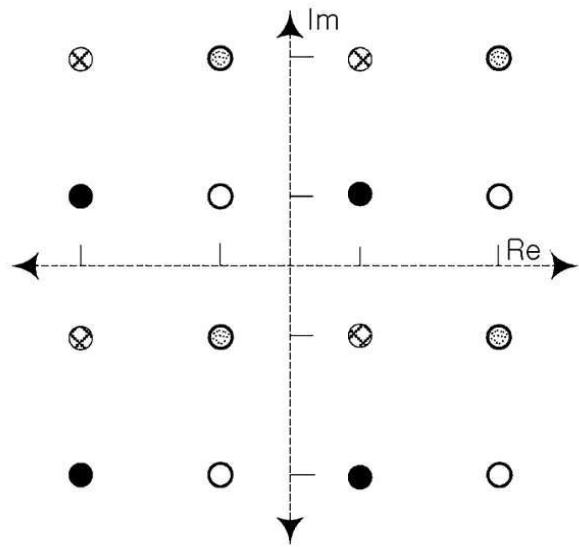
도면1



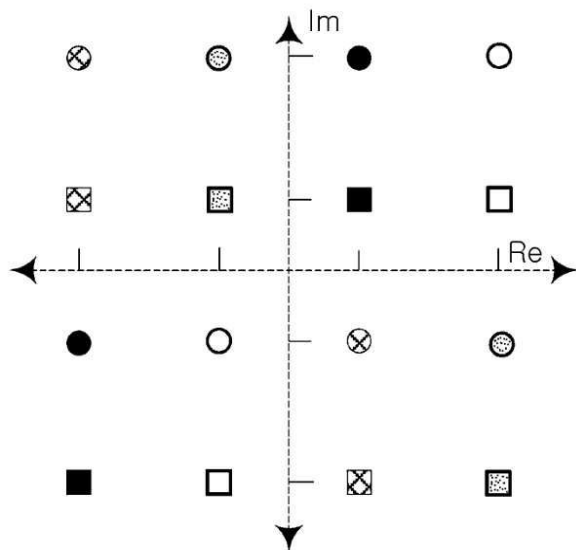
도면2a



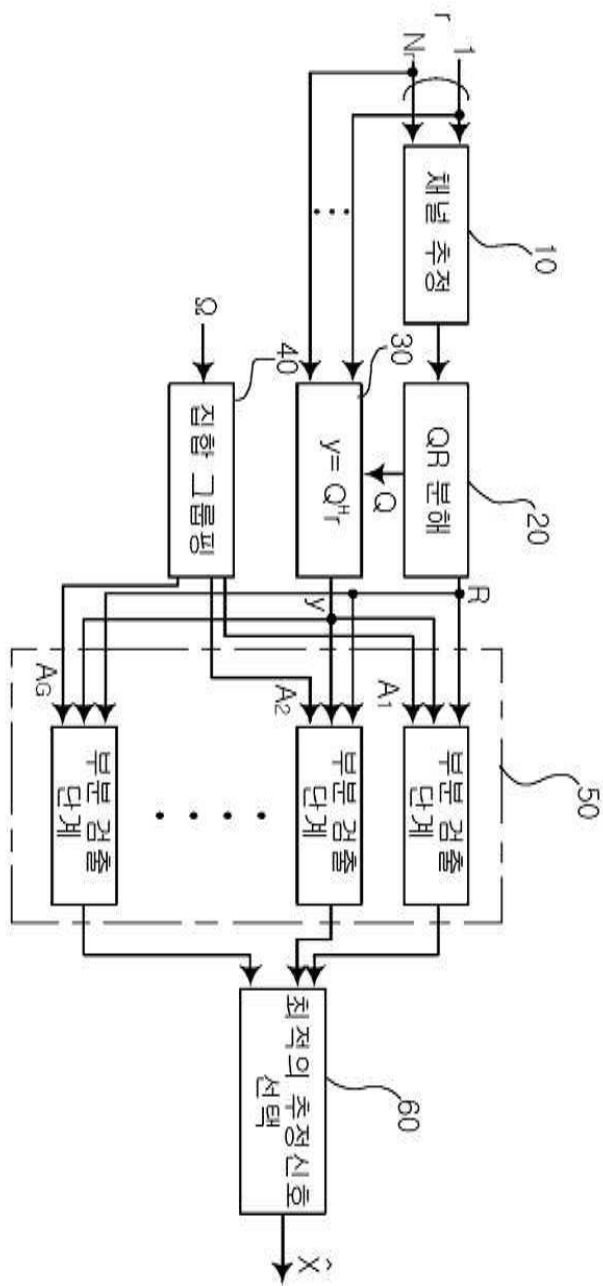
도면2b



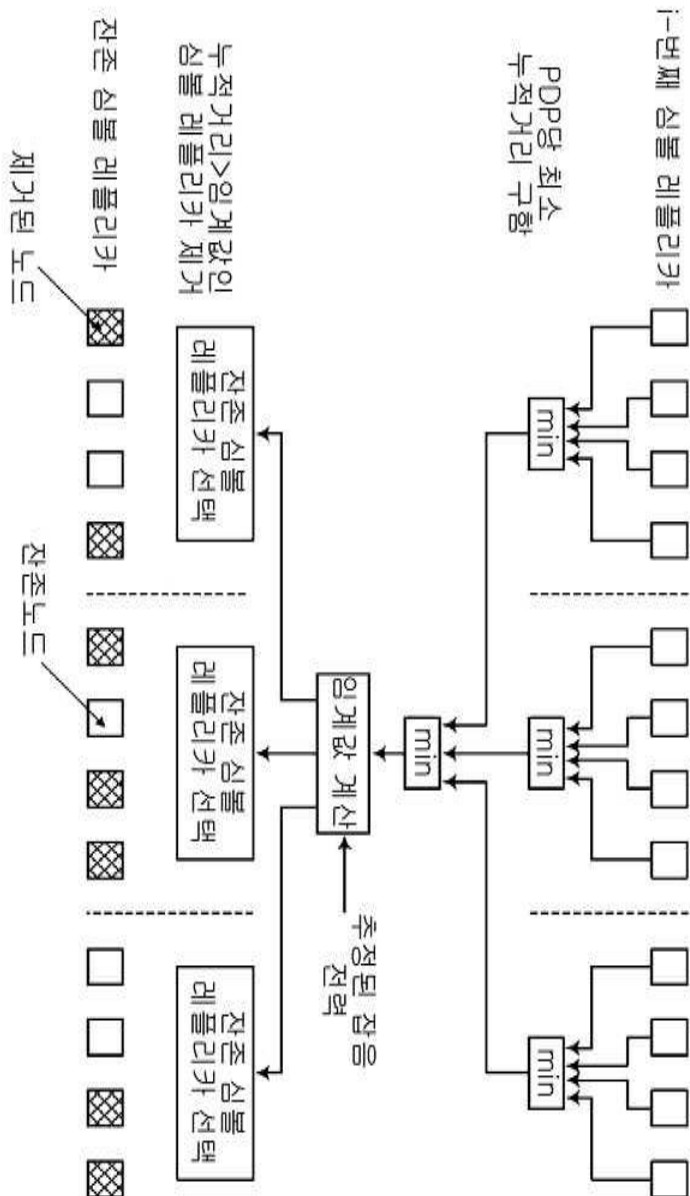
도면2c



도면3a



도면3b



도면4

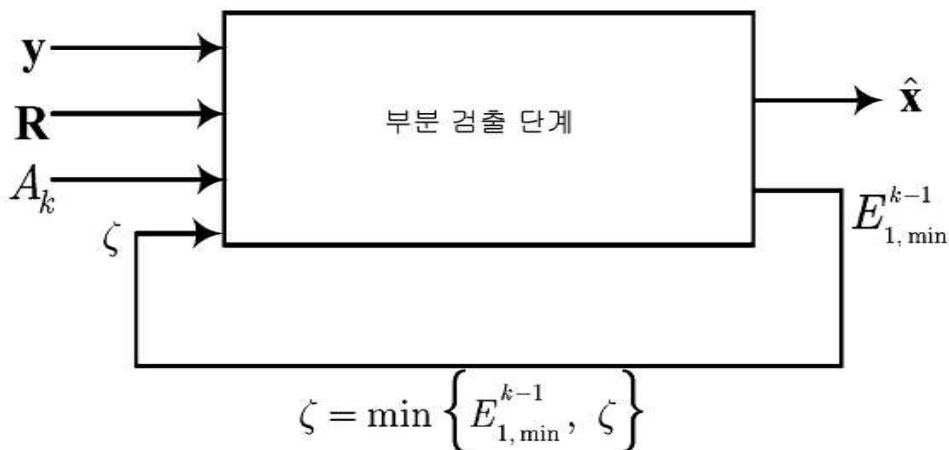
Input: y, R, m, A_j for $j = 1$ to G, Ω, N, X

```

1:  $i \leftarrow N$ 
2:  $K \leftarrow G$ 
3: while  $i > 0$  do
4:   for  $k = 1$  to  $K$  do
5:     if  $i = N$  then
6:       Calculate branch metric for all possible symbol replicas  $x_N \in A_k$ 
7:     else
8:       Extend all retained branches to all possible replicas  $x_i \in \Omega$ 
9:     end if
10:    Find the minimum accumulative branch metric  $E_{i,min}^k$ 
11:  end for
12:  if  $i \neq 1$  then
13:    Find  $E_{i,min} = \min \{E_{i,min}^1, E_{i,min}^2, \dots, E_{i,min}^K\}$ 
14:    Calculate the threshold  $\Delta_i = E_{i,min} + X\sigma_n^2$ 
15:    for  $k = 1$  to  $K$  do
16:      Exclude all replicas with (accumulative metric  $> \Delta_i$ )
17:      Retain at most  $m_i$  symbol replicas
18:      if retained symbol replicas = 0 then
19:         $K \leftarrow K - 1$ 
20:      end if
21:    end for
22:     $i \leftarrow i - 1$ 
23:  else
24:    for  $k = 1$  to  $K$  do
25:      Find the solution  $\hat{x}^k$  with the minimum accumulative metric  $E_{1,min}^k$ 
26:    end for
27:  end if
28: end while
29:  $k = \arg \min_{i=1, \dots, K} E_{1,min}^i$ 
30:  $\hat{x} \leftarrow \hat{x}^k$ 
Output:  $\hat{x}$ 

```

도면5



도면6

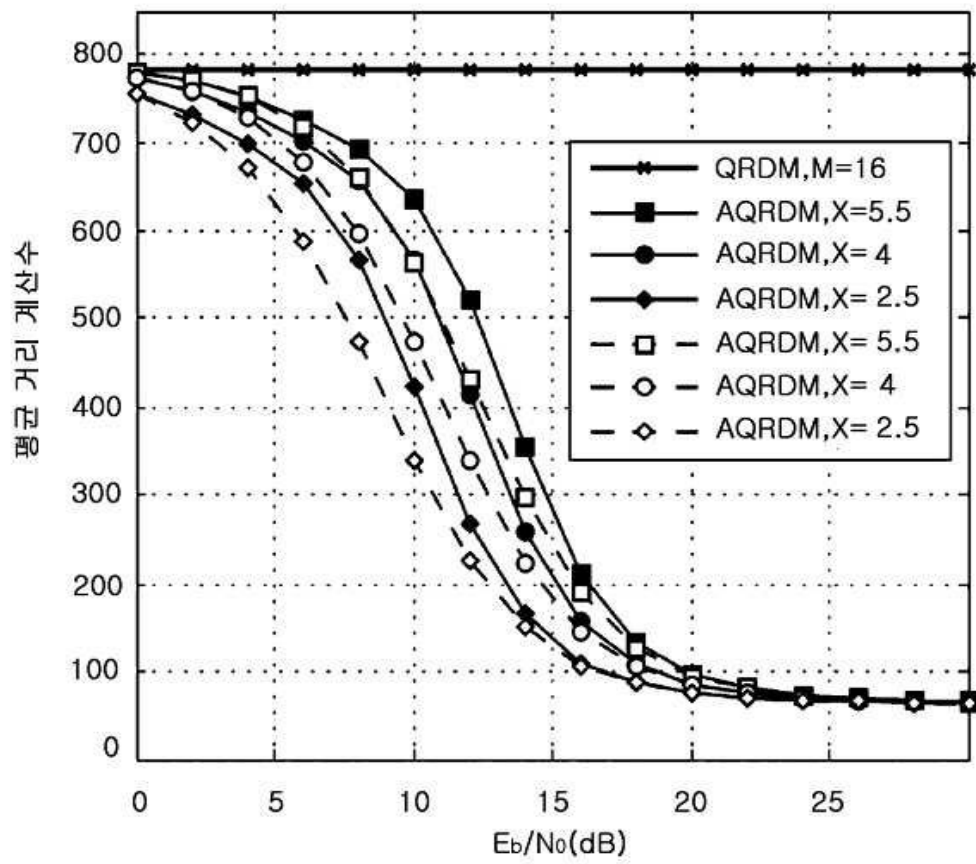
Input: y, R, m, A_j for $j = 1$ to G , $\Omega, N, X, \zeta = \infty$

```

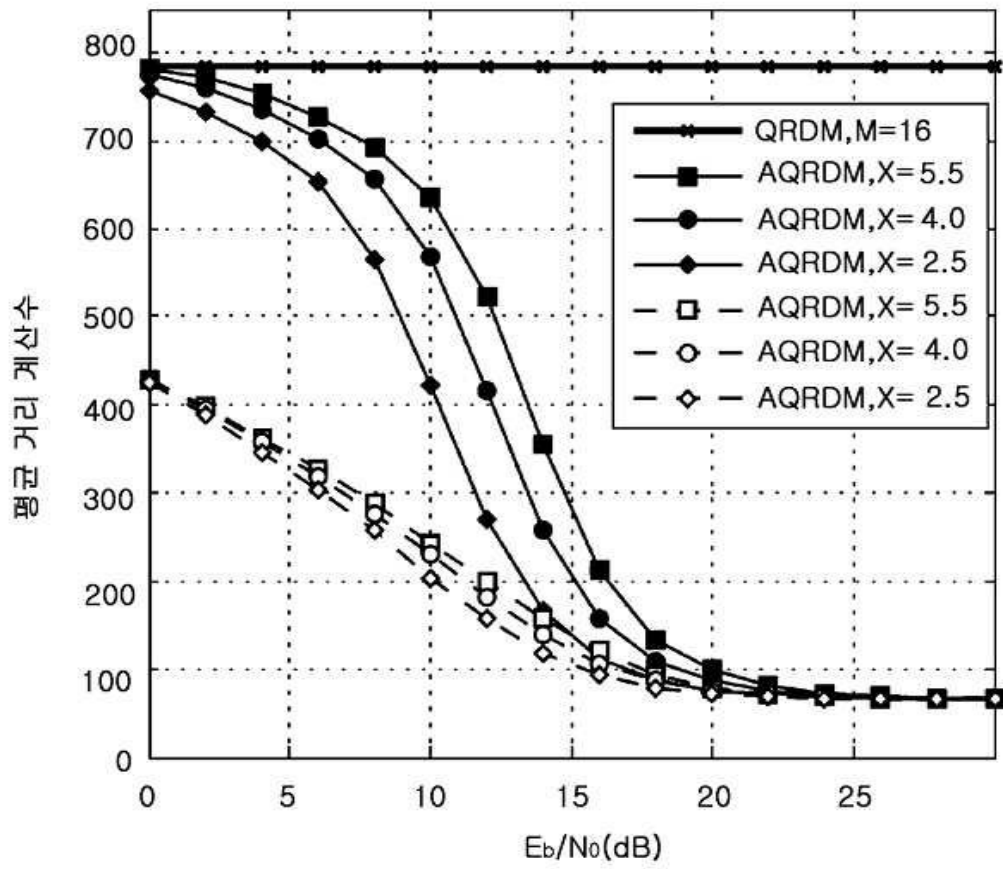
1:  $K = G$ 
2: for  $k = 1$  to  $G$  do
3:    $i \leftarrow N$ 
4:   while  $i > 0$  do
5:     if  $i = N$  then
6:       Calculate branch metric for all possible symbol replicas  $x_N \in A_k$ 
7:     else
8:       Extend all retained branches to all possible symbol replicas  $x_i \in \Omega$ 
9:     end if
10:    Find the minimum accumulative branch metric  $E_{i,min}^k$ 
11:    if  $E_{i,min}^k > \zeta$  then
12:       $K \leftarrow K - 1$ 
13:      Break
14:    else
15:      Calculate the threshold
16:       $\Delta_i^k = \min \{ \zeta, E_{i,min}^k + X\sigma_n^2 \}$ 
17:    end if
18:    if  $i \neq 1$  then
19:      Exclude all replicas with (accumulative metric  $> \Delta_i^k$ )
20:      Retain at most  $m_i$  symbol replicas
21:    else
22:      Find the solution  $\hat{x}^k$  with the minimum accumulative metric  $E_{1,min}^k$ 
23:      if  $E_{1,min}^k < \zeta$  then
24:         $\zeta = E_{1,min}^k$ 
25:         $\hat{x} \leftarrow \hat{x}^k$ 
26:      end if
27:    end if
28:     $i \leftarrow i - 1$ 
29:  end while
30: end for
Output:  $\hat{x}$ 

```

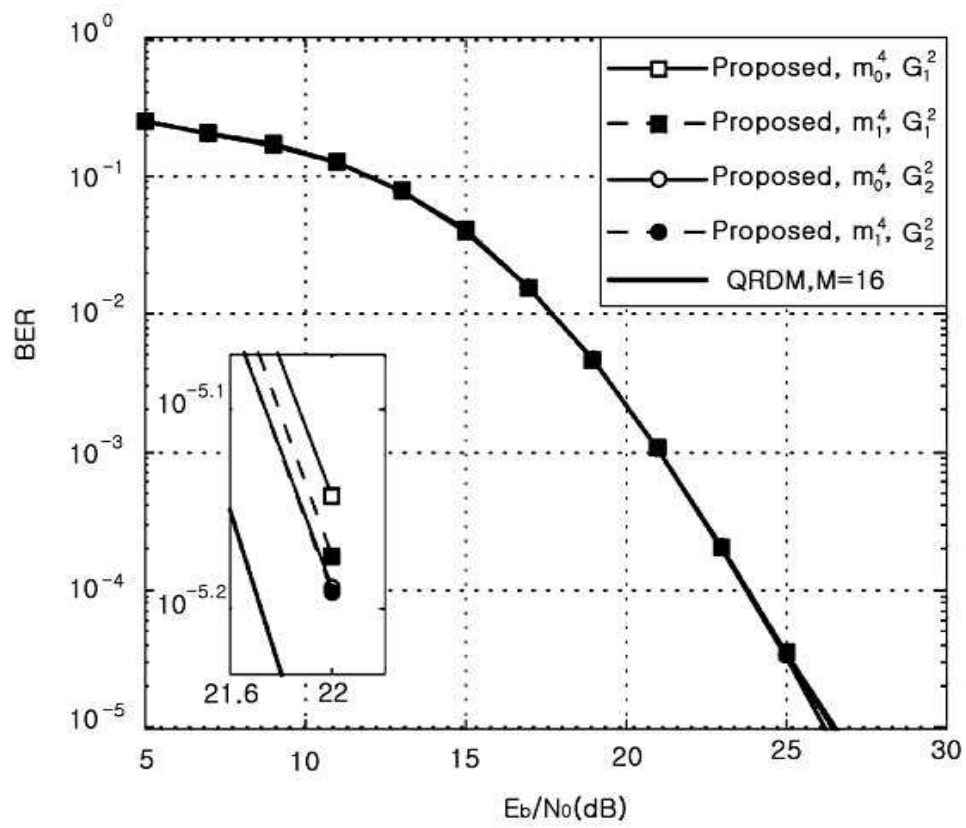
도면7a



도면7b



도면8a



도면8b

