



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0048195
(43) 공개일자 2020년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/38 (2006.01) G06N 99/00 (2019.01)
H04L 1/00 (2006.01) H04L 1/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/38 (2013.01)
G06N 20/00 (2019.01)
(21) 출원번호 10-2018-0129987
(22) 출원일자 2018년10월29일
심사청구일자 2018년10월29일

(71) 출원인
중앙대학교 산학협력단
서울특별시 동작구 흑석로 84 (흑석동)
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
정진곤
서울특별시 동작구 흑석로 84, 중앙대학교 310관
634호(흑석동)
정방철
대전광역시 서구 관저동로90번길 15, 103동 602
호(관저동, 관저리슈빌)
(74) 대리인
송인호, 최관락

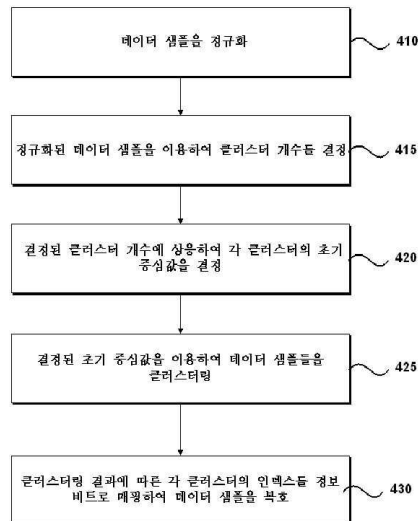
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법 및 그 장치

(57) 요약

기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법 및 그 장치가 개시된다. 기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법은, 시공간 선 부호화를 통해 전송된 다중 안테나를 통해 수신된 신호들의 성상점들을 정규화하는 단계; 및 상기 정규화된 성상점들을 이용하여 클러스터링하는 단계를 포함하되, 상기 수신된 신호들의 비트 시퀀스는 상기 클러스터링에 따른 클러스터들에 매핑될 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H04L 1/0038 (2013.01)

H04L 1/0631 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345285139

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(교육부)

연구과제명 기계학습 및 데이터 분석을 통한 무선 통신 시스템 물리계층 설계

기 여 율 1/2

주관기관 중앙대학교 산학협력단

연구기간 2018.09.01 ~ 2019.06.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711071855

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)

연구과제명 실시간 IoT서비스 실현을 위한 포그 컴퓨팅 네트워크 원천기술

기 여 율 1/2

주관기관 충남대학교 산학협력단

연구기간 2018.04.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법에 있어서,
 시공간 선 부호화를 통해 전송된 다중 안테나를 통해 수신된 신호들의 정상점들을 정규화하는 단계; 및
 상기 정규화된 정상점들을 이용하여 클러스터링하는 단계를 포함하되,
 상기 수신된 신호들의 비트 시퀀스는 상기 클러스터링에 따른 클러스터들에 매핑되어 있는 것을 특징으로 하는
 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,
 상기 정상점들은,
 상기 다중 안테나를 통해 수신된 홀수번째 신호들과 짝수번째 신호들을 결합하여 동일선상에 배열되도록 획득되
 되,
 동일선상에 배열되는 정상점들은 위상은 동일하나 진폭이 다른 일정 규칙을 가지도록 획득되는 것을 특징으로
 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,
 상기 클러스터링하는 단계 이전에,
 상기 정규화된 정상점들을 이용하여 클러스터 개수 및 각 클러스터의 초기 중심값을 결정하는 단계를 더 포함하
 되,
 상기 클러스터링하는 단계는,
 상기 초기 중심값을 이용하여 상기 결정된 클러스터 개수에 따라 상기 정규화된 정상점들을 클러스터링하는 것
 을 특징으로 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 4

제3 항에 있어서,
 상기 정상점들을 정규화하는 단계는,
 하나의 프레임 내의 각 리소스 블록(RB: resource block)의 정상점들의 평균 크기로 정규화하는 것을 특징으로
 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 5

제3 항에 있어서,
 상기 클러스터 개수를 결정하는 단계는,

클러스터 개수를 변경하여 클러스터링한 후 클러스터링 검증 방법에 따라 판별하여 최적의 클러스터 개수를 결정하는 것을 특징으로 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 검증 방법은 Clainski-Harabasz 인덱스, Gap statistics, davies-Bouldin 인덱스 및 silhouette 인덱스 중 어느 하나를 이용하는 것을 특징으로 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 7

제3 항에 있어서,

상기 클러스터 초기 중심값을 결정하는 단계는,

상기 클러스터 초기 중심값이 등간격으로 분포되도록 상기 클러스터 초기 중심값을 결정하는 것을 특징으로 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 8

제3 항에 있어서,

상기 각 클러스터의 초기 중심값에 기반하여 성상점들을 k-NN 알고리즘을 적용하여 클러스터링하는 것을 특징으로 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법.

청구항 9

시공간 선 부호 기법에 따른 QAM 변조 신호를 블라인드 복호하는 수신기에 있어서,

시공간 선 부호화를 통해 전송된 신호들을 수신하는 다중 수신 안테나;

상기 수신된 신호들을 결합하여 형성된 성상점들을 정규화하는 정규화부; 및

상기 정규화된 성상점들을 이용하여 클러스터링하는 클러스터링부를 포함하되,

상기 수신된 신호들의 비트 시퀀스는 상기 클러스터링에 따른 클러스터들에 매핑되어 있는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 정규화부는,

하나의 프레임 내의 각 리소스 블록(RB: resource block)의 데이터 샘플들의 평균 크기로 정규화하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 11

제9 항에 있어서,

상기 다중 수신 안테나를 통해 수신된 홀수번째 신호들과 짝수번째 신호들을 결합하여 동일선상에 배열되는 성

상점들을 형성하는 컴바이닝부를 더 포함하되,

동일선상에 배열되는 정상점들은 위상은 동일하나 진폭이 다른 일정 규칙을 가지도록 획득되는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 12

제9 항에 있어서,

상기 정규화된 정상점들을 이용하여 클러스터 개수를 결정하는 클러스터 유효성 검증부; 및

상기 정규화된 정상점들을 이용하여 각 클러스터의 초기 중심값을 결정하는 초기값 결정부를 더 포함하되,

상기 클러스터링부는,

상기 초기 중심값을 이용하여 상기 결정된 클러스터 개수에 따라 상기 정규화된 정상점들을 클러스터링하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 클러스터 유효성 검증부는,

상기 클러스터 개수를 변경하여 클러스터링한 후 클러스터링 검증 방법에 따라 판별하여 최적의 클러스터 개수를 결정하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 초기값 결정부는,

상기 정상점들을 이용하여 각 클러스터 초기 중심값이 등간격 분포되도록 상기 각 클러스터 초기 중심값을 결정하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 15

송신기; 및

시공간 선 부호화를 통해 전송된 다중 안테나를 통해 수신된 신호들의 정상점들을 정규화하고, 상기 정규화된 정상점들을 이용하여 클러스터링하는 수신기를 포함하되,

상기 수신된 신호들의 비트 시퀀스는 상기 클러스터링에 따른 클러스터들에 매핑되는 것을 특징으로 하는 통신 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 제안된 시공간 선 부호화 (STLC: space-time line code) 방식은 송신단에서 알고 있는 채널 정보를 사용하여 정보를 부호화하여 이를 단일 송신안테나를 통해 순차적으로 송신하고, 다중 수신안테나로 수신하여 최대 공간 다이버시티 이득을 얻는 기법이다.

[0004] 수신기는 모든 채널 정보가 아닌 채널의 실제 이득값 (effective channel gain)을 사용하여 STLC 수신 신호로부터 noncoherent 검파를 수행하고, 정보를 복원할 수 있다. 기존 STLC 기술은 채널 정보를 전혀 사용하지 않고 Phase Shift Keying (PSK) 변조 신호를 검파 및 복조 할 수 있다. 하지만, QAM등의 변조 신호의 검파를 위해서는 부분적인 채널 정보, 즉 effective channel gain을 추정해야 할 필요가 있다. 이는 완벽한 블라인드 수신기를 지향하는 STLC 수신기 효율성을 낮추는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) (01) 대한민국 공개특허공보 제10-2015-0062116호(2015.06.05.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것이다.

[0008] 또한, 본 발명은 채널 정보를 전혀 사용하지 않고, QAM 변조 신호의 검파 및 복호가 가능한 기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 측면에 따르면, 기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법이 제공된다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법에 있어서, 시공간 선 부호화를 통해 전송된 다중 안테나를 통해 수신된 신호들의 성상점들을 정규화하는 단계; 및 상기 정규화된 성상점들을 이용하여 클러스터링하는 단계를 포함하되, 상기 수신된 신호들의 비트 시퀀스는 상기 클러스터링에 따른 클러스터들에 매핑되어 있는 것을 특징으로 하는 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법이 제공될 수 있다.

[0012] 상기 성상점들은, 상기 다중 안테나를 통해 수신된 홀수번째 신호들과 짝수번째 신호들을 결합하여 동일선상에 배열되도록 획득되되, 동일선상에 배열되는 성상점들은 위상은 동일하나 진폭이 다른 일정 규칙을 가지도록 획득될 수 있다.

[0013] 상기 클러스터링하는 단계 이전에, 상기 정규화된 성상점들을 이용하여 클러스터 개수 및 각 클러스터의 초기 중심값을 결정하는 단계를 더 포함하되, 상기 클러스터링하는 단계는, 상기 초기 중심값을 이용하여 상기 결정된 클러스터 개수에 따라 상기 정규화된 성상점들을 클러스터링할 수 있다.

[0014] 상기 성상점들을 정규화하는 단계는, 하나의 프레임 내의 각 리소스 블록(RB: resource block)의 성상점들의 평균 크기로 정규화할 수 있다.

[0015] 상기 클러스터 개수를 결정하는 단계는, 클러스터 개수를 변경하여 클러스터링한 후 클러스터링 검증 방법에 따라 판별하여 최적의 클러스터 개수를 결정할 수 있다.

[0016] 상기 검증 방법은 Clainski-Harabasz 인덱스, Gap statistics, davies-Bouldin 인덱스 및 silhouette 인덱스 중 어느 하나를 이용할 수 있다.

[0017] 상기 클러스터 초기 중심값을 결정하는 단계는, 상기 클러스터 초기 중심값이 등간격으로 분포되도록 상기 클러스터 초기 중심값을 결정할 수 있다.

- [0018] 상기 각 클러스터의 초기 중심값에 기반하여 성장점들을 k-NN 알고리즘을 적용하여 클러스터링할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 시공간 선 부호 기법에 따른 QAM 변조 신호를 블라인드 복호를 위한 장치가 제공된다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 시공간 선 부호 기법에 따른 QAM 변조 신호를 블라인드 복호하는 수신기에 있어서, 시공간 선 부호화를 통해 전송된 신호들을 수신하는 다중 수신 안테나; 상기 수신된 신호들을 결합하여 형성된 성장점들을 정규화하는 정규화부; 및 상기 정규화된 성장점들을 이용하여 클러스터링하는 클러스터링부를 포함하되, 상기 수신된 신호들의 비트 시퀀스는 상기 클러스터링에 따른 클러스터들에 매핑되어 있는 것을 특징으로 하는 수신기가 제공될 수 있다.
- [0022] 상기 정규화부는, 하나의 프레임 내의 각 리소스 블록(RB: resource block)의 데이터 샘플들의 평균 크기로 정규화할 수 있다.
- [0023] 상기 다중 수신 안테나를 통해 수신된 홀수번째 신호들과 짝수번째 신호들을 결합하여 동일선상에 배열되는 성장점들을 형성하는 컴바이닝부를 더 포함하되, 동일선상에 배열되는 성장점들은 위상은 동일하나 진폭이 다른 일정 규칙을 가지도록 획득될 수 있다.
- [0024] 상기 정규화된 성장점들을 이용하여 클러스터 개수를 결정하는 클러스터 유효성 검증부; 및 상기 정규화된 성장점들을 이용하여 각 클러스터의 초기 중심값을 결정하는 초기값 결정부를 더 포함하되, 상기 클러스터링부는, 상기 초기 중심값을 이용하여 상기 결정된 클러스터 개수에 따라 상기 정규화된 성장점들을 클러스터링할 수 있다.
- [0025] 상기 클러스터 유효성 검증부는, 상기 클러스터 개수를 변경하여 클러스터링한 후 클러스터링 검증 방법에 따라 판별하여 최적의 클러스터 개수를 결정할 수 있다.
- [0026] 상기 초기값 결정부는, 상기 성장점들을 이용하여 각 클러스터 초기 중심값이 등간격 분포되도록 상기 각 클러스터 초기 중심값을 결정할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 송신기; 및 시공간 선 부호화를 통해 전송된 다중 안테나를 통해 수신된 신호들의 성장점들을 정규화하고, 상기 정규화된 성장점들을 이용하여 클러스터링하는 수신기를 포함하되, 상기 수신된 신호들의 비트 시퀀스는 상기 클러스터링에 따른 클러스터들에 매핑되는 것을 특징으로 하는 통신 시스템이 제공될 수 있다.

발명의 효과

- [0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습 기반 시공간 선 부호화를 위한 블라인드 복호 방법 및 그 장치를 제공함으로써, 채널 정보를 전혀 사용하지 않고, QAM 변조 신호의 검파 및 복호가 가능한 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 통신 시스템을 개략적으로 도시한 블록도.
- 도 2는 16-QAM 변조 방식에 따른 수신 신호의 성장도가 도시한 도면.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 16-QAM 변조에 따른 변조 신호에 대한 데이터 샘플의 성장도.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 시공간 선 부호화 기법에 따른 QAM 변조 신호를 블라인드 복호하는 방법을 나타낸 순서도.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 정규화된 $\bar{d}_k[t]$ 의 성장도를 예시한 도면.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 클러스터링 결과를 도시한 도면.
- 도 7은 종래의 클러스터링 결과를 도시한 도면.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 수신기의 내부 구성을 개략적으로 도시한 블록도.

도 9 및 도 10은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 BER 성능을 비교한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0033] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 통신 시스템을 개략적으로 도시한 블록도이고, 도 2는 16-QAM 변조 방식에 따른 수신 신호의 성상도가 도시한 도면이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 16-QAM 변조에 따른 변조 신호에 대한 데이터 샘플의 성상도이다.
- [0036] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 통신 시스템(100)은 송신기(110) 및 수신기(120)를 포함하여 구성된다.
- [0037] 송신기(110)는 복수의 송신 안테나를 가지며, 시공간 선 부호화 기법에 기반하여 정보를 부호화하여 전송할 수 있다. 여기서, 송신 안테나의 개수는 N(자연수)개일 수 있다. 시공간 선 부호화 기법에 기반하여 정보를 부호화하고 전송하는 송신기의 구성은 종래와 동일하므로 이에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0038] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 수신기(120)는 시공간 선 부호화 기법에 따른 채널 정보를 전혀 사용하지 않고, QAM 변조 방식에 따른 변조 신호를 복호할 수 있다. 이하에서는 별다른 설명이 없더라도 변조 신호는 QAM 변조 방식에 따른 변조 신호인 것으로 해석되어야 할 것이다. 물론, 본 발명은 QAM 변조 방식에만 적용되는 것이 아니라 시공간 선 부호화 (STLC: Space-time line code, 이하 STCL라 칭하기로 함) 방식을 사용하는 모든 변조 방식에 가능하나, 설명의 편의를 위하여 QAM 변조 방식으로 가정한다.
- [0039] 본 발명의 일 실시예에서는 수신기(120)가 복수의 안테나를 구비하는 것을 가정하기로 한다. 예를 들어, 수신기(120)는 M개의 수신 안테나를 구비할 수 있다. 여기서, M은 2 이상의 자연수일 수 있다.
- [0040] 이하에서는 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 수신기(120)가 2개의 수신 안테나를 구비하는 것을 가정하여 이를 중심으로 설명하기로 한다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 수신기(120)는 시공간 선 부호화 기법에 기반한 QAM 신호 검파 및 복호를 위해 추가적인 정보를 전혀 사용하지 않으며, 비지도 기계학습(unsupervised machine learning) 기반의 완전한 블라인드 검파 및 복호가 가능하다.
- [0042] 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 시공간 선 부호화 기법에 따른 송수신 과정에 대해 간략하게 설명하기로 한다.
- [0043] n번째 송신 안테나와 r번째 수신 안테나 사이의 t번째 RB의 채널 이득을 $h_{r,n}[t]$ 라고 하기로 한다. 여기서, $n \in \{1, \dots, N\}$, $r \in \{1, 2\}$ 및 $t \in \{1, \dots, T\}$ 이다. M-크기 변조를 고려하면, M 대체 심볼은 성상도 상에 존재한다. $\log_2 M$ 비부호화(uncoded)/부호화 정보 비트는 $E[x] = 0$ 이고, $E[|x|^2] = 1$ 를 따르는 M 심볼(x_i) 중 어느 하나로 변조된다.
- [0044] n번째 송신 안테나의 t번째 RB를 위한 x_i 의 STCL 프로세싱을 고려하기로 한다. 채널은 하나의 RB 내에서 정적 이고, 모든 안테나의 STLC 처리는 동일한 것으로 가정하기로 한다.

[0045] n번째 안테나를 통해 전송된 K개의 연속적인 STLC 심볼은 $\text{CSI } h_n[t] = [h_{1,n}[t] \ h_{2,n}[t]]^T$ 를 가지는 STLC 처리에 의해 획득되며, 이를 수학식으로 나타내면 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$[0046] \begin{bmatrix} s_{2k'-1,n}^*[t] \\ s_{2k',n}[t] \end{bmatrix} = \frac{1}{\|h_n[t]\|} \begin{bmatrix} h_{1,n}[t] & h_{2,n}[t] \\ h_{2,n}^*[t] & -h_{1,n}[t] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{2k'-1}^*[t] \\ x_{2k'}[t] \end{bmatrix}$$

[0047] 여기서, $k' = 1 \dots, K/2$ 이고, $s_{k,n}[t]$ 는 n번째 송신 안테나를 통해 전송되는 t번째 RB의 k번째 STLC 심볼을 나타내며, $E |s_{k,n}[t]|^2 = 1$ 이다. n번째 송신 안테나를 통해 전송된 t번째 RB의 STLC 심볼은 수학식 2와 같은 벡터 형태로 표현될 수 있다.

수학식 2

$$[0048] s_n[t] = [s_{1,n}[t] \ s_{2,n}[t] \ \dots \ s_{k,n}[t] \ \dots \ s_{K,n}[t]]^T \in \mathbb{C}^{K \times 1}$$

[0049] 모든 송신 안테나의 모든 STLC 심볼 벡터들을 스택킹(stacking)하면, t번째 RB에 대한 STLC 심볼 매트릭스는 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$[0050] S[t] = [s_1[t] \ \dots \ s_n[t] \ \dots \ s_N[t]]^T \in \mathbb{C}^{N \times K}$$

[0051] $S[t]$ 를 사용하여, t번째 RB의 수신된 신호는 수학식 4와 같은 매트릭스 형태로 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$[0052] Y[t] = H[t]S[t] + V[t] \in \mathbb{C}^{2 \times K}$$

[0053] 여기서, $H[t]$ 는 채널 매트릭스이고, $V[t]$ 는 복소 가산 백색 가우시안 잡음(AWGN: additive white Gaussian noise) 매트릭스를 나타내며, $v_{r,k}[t]$ 는 평균이 0이고, 분산 σ_v^2 인 정규 분포를 따른다 ($V[t] \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_v^2 I_K)$).

[0054] 수학식 2 및 수학식 3을 수학식 4로 대체하면, 수신 안테나 r에서 수신되는 t번째 RB의 k번째 심볼은 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

[0055]

$$y_{r,k}[t] = \sum_{n=1}^N h_{r,n}[t] s_{k,n}[t] + v_{r,k}[t]$$

[0056]

여기서, $r = \{1, 2\}$, $k = \{1, \dots, K\}$, 및 $t = \{1, \dots, T\}$ 이다. 수학식 1 내지 수학식 5를 사용하면, 수학식 6(6a, 6b)과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

[0057]

$$y_{r,2k'-1}[t] = \sum_{n=1}^N \frac{h_{r,n}[t]}{\|h_n[t]\|} (h_{1,n}^*[t] x_{2k'-1}[t] + h_{2,n}^*[t] x_{2k'}^*[t]) + v_{1,2k'-1}[t],$$

[0059]

$$y_{r,2k'}[t] = \sum_{n=1}^N \frac{h_{r,n}[t]}{\|h_n[t]\|} (h_{2,n}^*[t] x_{2k'-1}^*[t] - h_{1,n}^*[t] x_{2k'}[t]) + v_{1,2k'}[t].$$

-수학식 6b

[0060]

STLC 복호를 위해 홀수번째 및 짝수번째 신호를 결합하면 수학식 7(7a, 7b)와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0061]

$$y_{1,2k'-1}[t] + y_{2,2k'}^*[t] = \alpha[t] x_{2k'-1}[t] + v_{1,2k'-1}[t] + v_{2,2k'}^*[t]$$

[0063]

$$-y_{1,2k'}[t] + y_{2,2k'-1}^*[t] = \alpha[t] x_{2k'}[t] - v_{1,2k'}[t] + v_{2,2k'-1}^*[t]$$

-수학식 7b

[0064]

여기서, $\alpha[t]$ 는 STLC 시스템의 실제 채널 이득(effective channel gain) 값이며, 수학식 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

[0065]

$$\alpha[t] = \sum_{n=1}^N \|h_n[t]\|$$

[0066]

$\alpha[t]$ 는 양의 실수값이기 때문에, 수학식 7(7a, 7b)dp 송신 정보 심볼 x가 PSK로 변조된 심볼이라면, $\alpha[t]$ 값

은 위상 검파에 영향을 주지 않으며, 수학적식 7(7a, 7b)의 신호를 최대우도검파(ML: maximum likelihood detection) 방식을 사용하여 $x_{2k'-1}[t]$ 및 $x_{2k'}[t]$ 을 추정할 수 있다.

[0067] 그러나, 수학적식 7(7a, 7b)에 신호의 크기에 정보도 있는 QAM 변조로 x가 변조되었을 경우, 수학적식 8의 $\alpha[t]$ 값을 알아야 x 정보를 복호할 수 있다.

[0068] 본 발명의 일 실시예에서는 QAM 변조 방식에 따른 변조 신호를 $\alpha[t]$ 값을 이용하지 않고 완전하게 블라인드 복호가 가능하도록 할 수 있다. 이를 위해, 본 발명의 일 실시예에서는 수학적식 7(7a, 7b)의 수신 신호를 수학적식 9와 같이 새로운 데이터 샘플로 정의하기로 한다. 본 발명의 일 실시예에서는 16-QAM 변조를 가정하여 이를 중심으로 설명하기로 한다.

수학적식 9

[0069]
$$d_k[t] \triangleq \alpha[t]x_k[t] + v_k[t]$$

[0070] 여기서, 만일 $k = 2k' - 1$ 이면, $d_k = y_{1,2k'-1}[t] + y_{2,2k'}^*[t]$ 와 $v_k[t] = v_{1,2k'-1}[t] + v_{2,2k'}^*[t]$. 이고, 만일 $k = 2k'$ 이면, $d_k = -y_{1,2k'}[t] + y_{2,2k'-1}^*[t]$ 와 $v_k[t] = -v_{1,2k'}[t] + v_{2,2k'-1}^*[t]$ 이다.

[0071] STLC의 유효 채널 이득($\alpha[t]$)은 실수이므로, 성상점의 형태는 유지되며, 복소수 채널로부터의 위상 왜곡이 제거된다. 이것에 기반하여, $d_k[t]$ 는 쉽게 집단화(클러스터)될 수 있다. 클러스터의 개수는 이상적으로 변조 크기(M)과 동일하다. 각 클러스터는 $\log_2 M$ 비트 시퀀스에 고유하게 매핑된다. 그러므로, 복호(decoding)는 수신기가 $d_k[t]$ 의 클러스터 인덱스를 결정하면 완료될 수 있다.

[0072] 도 2는 16-QAM 변조 방식에 따른 수신 신호의 성상도가 도시되어 있으며, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 16-QAM 변조에 따른 변조 신호에 대한 데이터 샘플의 성상도가 도시되어 있다. 동일선상의 $d_k[t]$ 들은 위상은 동일하고 진폭은 다른 샘플들이다.

[0073] 즉, 다중 안테나를 통해 수신된 홀수번째 신호들과 짝수번째 신호들을 결합하여 동일선상에 배열되는 성상점(데이터 샘플)이 획득되며, 동일선상에 배열되는 성상점들은 위상은 동일하나 진폭이 다른 일정 규칙을 가진다. 이러한 배열 및 규칙을 가지는 성상도가 획득되는 한 다중 안테나를 통해 수신된 신호들의 조합 방법은 다양하게 변형될 수 있다.

[0074] 이에 대해 도 4를 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0076] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 시공간 선 부호화 기법에 따른 QAM 변조 신호를 블라인드 복호하는 방법을 나타낸 순서도이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 정규화된 $\bar{d}_k[t]$ 의 성상도를 예시한 도면이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 클러스터링 결과를 도시한 도면이고, 도 7은 종래의 클러스터링 결과를 도시한 도면이다.

[0077] 단계 410에서 수신기(120)는 데이터 샘플(성상점)을 정규화한다.

[0078] 이러한 정규화는 후술하는 바와 같이, 격자 배열의 클러스터를 획득하기 위해서 수행된다. 이러한 정규화가 수행되지 않은 경우 격자 배열의 클러스터 획득이 용이하지 않다.

[0079] 하나의 RB내에 포함되는 데이터 샘플의 개수는 정확하게 클러스터링하기에는 불충분하다. 예를 들어, 만일 하나의 RB(t)가 160 16-QAM 샘플로 구성된다고 가정하기로 하며, 하나의 클러스터는 약 16개 샘플이 되어야 하나 만일 부가적인 잡음이 심해진다면 명확하게 클러스터링되기에는 불충분하다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에서는 하나의 프레임내의 모든 RB들의 전체 데이터 샘플을 클러스터링에 이용할 수 있다.

[0080] t번째 RB를 위한 유효 채널 이득이 다른 RB들과는 다르기 때문에, 실수값 채널 이득($\alpha[t]$)을 억제하여 하나의 프레임내의 모든 데이터 샘플들을 정렬하기 위해 정규화할 필요가 있다.

[0081] 본 발명의 일 실시예에서는 각 RB 내의 데이터 샘플들의 평균 크기를 도출하고, 이를 이용하여 각 RB 내의 데이터 샘플을 정규화할 수 있다.

[0082] 이를 수학식으로 나타내면 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$\bar{d}_k[t] = \frac{d_k[t]}{\|[d_1[t] \ d_2[t] \ \dots \ d_K[t]\|_F}, \forall k \in \{1, \dots, K\}$$

[0083] 수학식 10에서, $\|\bar{d}[t]\|_F^2 = 1$ 이고, $\bar{d}[t] = [\bar{d}_1[t] \ \bar{d}_2[t] \ \dots \ \bar{d}_K[t]]^T$ 이며, $\|\cdot\|_F$ 는 벡터의 Frobenius norm 이다. 특징 정규화 과정을 통해 채널 효과는 스무스(smooth)하게 되고, 모든 데이터 샘플($\bar{d}_k[t], \forall k, \forall t$)은 도 3의 세번째 열과 같이 정렬되며, 클러스터링을 위해 사용이 가능하게 된다.

[0084] 데이터 샘플들을 각 RB내의 데이터 샘플의 평균 크기로 정규화한 경우 그 정상도는 도 5와 같다.

[0085] 단계 415에서 수신기(120)는 정규화된 데이터 샘플을 이용하여 클러스터 개수를 결정한다.

[0086] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 최적의 클러스터 개수를 결정하기 위해 클러스터 개수를 변경하면서 클러스터링 하고, 클러스터링 검증 방법을 통해 검증하여 최적의 클러스터 개수를 결정할 수 있다.

[0087] 예를 들어, 클러스터링 검증 방법으로는 Calinski-Harabasz 인덱스, gap statistics, DB 인덱스, silhouette 인덱스 중 어느 하나가 사용될 수 있다.

[0088] 본 발명의 일 실시예에서는 DB 인덱스와 silhouette 인덱스가 k-NN 알고리즘에 적절하므로 이를 이용하여 클러스터링을 검증하여 최적의 클러스터 개수를 결정하는 것으로 가정하기로 한다.

[0089] 또한, 본 발명의 일 실시예에서는 수신기(120)가 QAM 변조 방식에 따른 변조 신호의 최대 및 최소 크기, 즉 클러스터의 최대 및 최소 크기를 알고 있는 것을 가정하기로 한다.

[0090] 예를 들어, 예측된 클러스터 개수를 $\tilde{M}$ 이라 가정하기로 한다. 만일 클러스터링이 에러 없이 완벽하게 수행된다면, 클러스터 개수는 변조 크기와 동일할 수 있다($\tilde{M} = M$).

[0091] 단계 420에서 수신기(120)는 결정된 클러스터 개수에 상응하여 각 클러스터의 초기 중심값을 결정한다.

[0092] 일반적으로 각 클러스터의 초기 중심값을 결정하는 방법으로는 데이터 샘플 가운데 무작위로 선택하는 방식이 사용된다. 그러나, 이는 집단화 성능이 좋지 않다. 따라서, STLC 신호는 송신단에서 전송된 변조 신호와 유사한 분포를 갖는다는 사실을 바탕으로 좀더 빠르고 정확한 클러스터를 하도록 하기 위해 초기 중심값(C_m)을 설계할 수 있다. 여기서, C_m 의 좌표를 (a_m, b_m) 라고 할 때, 설계 기준은 초기 중심값들이 등간격으로 분포한다는 것을 가정한다. 이는 송신단에서 변조할 때 각 심볼간 최소 거리가 최대가 되도록 하는 것이 최적의 설계 기법이라는 것을 고려한 것이다. 예를 들어, PSK 신호를 위한 초기 중심값 (a_m, b_m) 은 $(m = 1, \dots, \tilde{M}): a_m = \cos(\bar{\theta}_m), b_m = \sin(\bar{\theta}_m)$ 이다. 여기서, $\bar{\theta}_m = 2\pi(m-1)/(\tilde{M}+1)$

이다. QAM 신호를 위한 초기 중심값 $(a_m, b_{m'})$ 은 $(m, m' \in \{1, \dots, \tilde{M}^{0.5}\})$ 에 의해 설계된다. 따라서, 이를 수학식으로 나타내면, 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$a_m = \min\{\Re(\bar{d})\} + (m-1) \frac{\max\{\Re(\bar{d})\} - \min\{\Re(\bar{d})\}}{\tilde{M}^{0.5} - 1},$$

$$b_{m'} = \min\{\Im(\bar{d})\} + (m'-1) \frac{\max\{\Im(\bar{d})\} - \min\{\Im(\bar{d})\}}{\tilde{M}^{0.5} - 1}$$

여기서, $\bar{d} = [\bar{d}[1]^T \dots \bar{d}[T]^T]^T$ 이고, $\Re(\bar{d})$ 와 $\Im(\bar{d})$ 는 각각 $\bar{d}$ 의 실수와 허수를 나타낸다. 도 5 에
서 설계된 초기 중심값은 16-QAM을 사용하는 경우 'o'로 표기되어 있다. 설계된 초기 중심값(C_m)에 의해, 프
레이밍 내의 모든 $\bar{d}_k[t]$ 들은 k-NN 알고리즘을 10회 반복함으로써 초기 중심값이 최종 결정되고, 이를 기반으로 클
러스터링될 수 있다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 초기 중심값을 이용하여 클러스터링된 결과를 도시한 도면이고, 도 7은 종
래의 무작위 초기 중심값을 이용하여 클러스터링된 결과를 도시한 도면이다.

도 6에서 보여지는 바와 같이, 도 7과 같은 종래의 무작위 초기 중심값을 이용하는 것에 비해, 본 발명의 일 실
시예에 따른 등간격 분포되도록 초기 중심값을 결정하는 방법이 클러스터링 성능이 더 좋은 것을 알 수 있다.
본 발명의 일 실시예에서는 클러스터의 개수 및 초기 중심값이 결정되면, 도 6에서 보여지는 바와 같이, 각 클
러스터가 동일한 크기를 가지는 격자 형태를 가지도록 클러스터링될 수 있다.

단계 225에서 수신기(120)는 결정된 초기 중심값을 이용하여 데이터 샘플들을 클러스터링한다.

본 발명의 일 실시예에서는 k-NN 알고리즘을 기반으로 초기 중심값을 이용하여 데이터 샘플들을 클러스터링할
수 있다. 2개의 데이터 샘플들 사이에 포함된 각도의 코사인에서 1을 뺀 각도 유사성은 PSK 신호의 거리 척도를
위해 사용되는 반면, 본 발명의 일 실시예에 따른 QAM 변조 신호에서는 유클리드 거리가 이용될 수 있다.

성상도 정규화 후 격자 형태의 클러스터가 획득되는 한 클러스터를 획득하기 위해 수행하는 알고리즘은 다양하
게 변형될 수 있다. 위에서는 클러스터 개수 및 초기 중심값을 이용하여 클러스터링하였으나, 정규화후 격자 형
태의 클러스터를 획득할 수 있는 한 그 알고리즘은 다양하게 변형될 수 있다.

단계 230에서 수신기(120)는 클러스터링 결과에 따른 각 클러스터의 인덱스를 정보 비트로 매핑하여 데이터 샘
플을 복호한다.

도 6에는 각 클러스터 인덱스와 매핑되는 비트 시퀀스가 예시되어 있다. 이를 기반으로 데이터 샘플들을 복호할
수 있다. 예를 들어, 인덱스 7 클러스터의 데이터 샘플들은 '0010' 4-비트로 매핑되어 복호될 수 있다. 이는 변
조 크기가 4인 16-QAM 변조 심볼을 전송한 경우이며, 변조 크기가 상이한 경우 각 클러스터의 인덱스는 상이해
질 수 있음은 당연하다.

전술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 수신기(120)는 수신단에서 아무런 정보를 사용하지 않고, STLC
복호가 가능하도록 할 수 있다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 수신기의 내부 구성을 개략적으로 도시한 블록도이고, 도 9 및 도 10은 종
래와 본 발명의 일 실시예에 따른 BER 성능을 비교한 그래프이다.

도 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 수신기(120)는 안테나(810), 컴바이닝부(815), 정규화부(820),
클러스터 유효성 검증부(825), 초기값 결정부(830), 클러스터링부(835), 매핑부(840)를 포함하여 구성된다.

안테나(810)는 수신 안테나이다. 이미 전술한 바와 같이, 안테나(810)는 송신단에서 전송된 수신 신호를 수신할

수 있다.

- [0108] 컴바이닝부(815)는 복수의 안테나를 통해 수신된 수신 신호를 컴바이닝한 후 QAM 변조 신호에 따른 데이터 샘플을 출력한다.
- [0109] 정규화부(820)는 데이터 샘플들을 정규화한다. 이미 전술한 바와 같이, 각 RB내의 데이터 샘플들에 대한 평균 크기로 각 RB 내의 데이터 샘플을 정규화할 수 있다.
- [0110] 클러스터 유효성 검증부(825)는 정규화된 데이터 샘플을 이용하여 클러스터 개수를 결정한다. 이때, 클러스터 유효성 검증부(825)는 클러스터 개수를 변경해가면서 복수회 클러스터링하고, 클러스터 검증 방법에 따라 각 클러스터 상관 지수를 도출하여 최적의 클러스터 개수를 결정할 수 있다. 이는 도 2에서 설명한 바와 동일하므로 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0111] 초기값 결정부(830)는 각 클러스터의 초기 중심값을 결정한다. 도 2에서 설명한 바와 동일하므로 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0112] 클러스터링부(835)는 초기 중심값을 이용하여 결정된 클러스터 개수에 따라 정규화된 데이터 샘플을 클러스터링한다.
- [0113] 매핑부(840)는 클러스터링 결과에 따른 각 클러스터 인덱스를 정보 비트로 매핑하여 각 데이터 샘플을 복호한다.
- [0114] 도 9 및 도 10에는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 완전한 블라인드 STLC 복호에 따른 BER 성능을 비교한 그래프가 도시되어 있다. 도 9 및 도 10에서 보여지는 바와 같이, 송신 안테나 수가 충분하거나, 변조 크기가 작을 때, 또는 잡음의 영향이 낮을 때, 본 발명의 일 실시예에 따른 완전한 블라인드 STLC 복호 방법이 기존 부분 블라인드 STLC 방식과 거의 유사한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- [0116] 본 발명의 실시 예에 따른 장치 및 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 분야 통상의 기술자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.
- [0117] 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0118] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

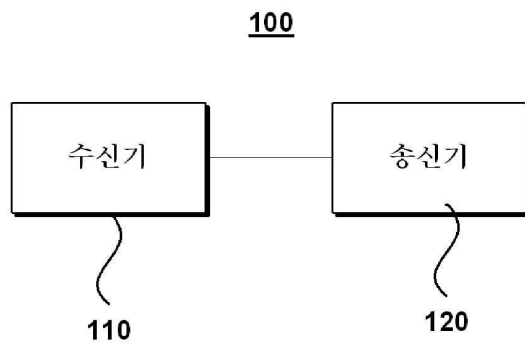
부호의 설명

- [0120] 100: 통신 시스템
- 110: 송신기
- 120: 수신기
- 810: 수신 안테나

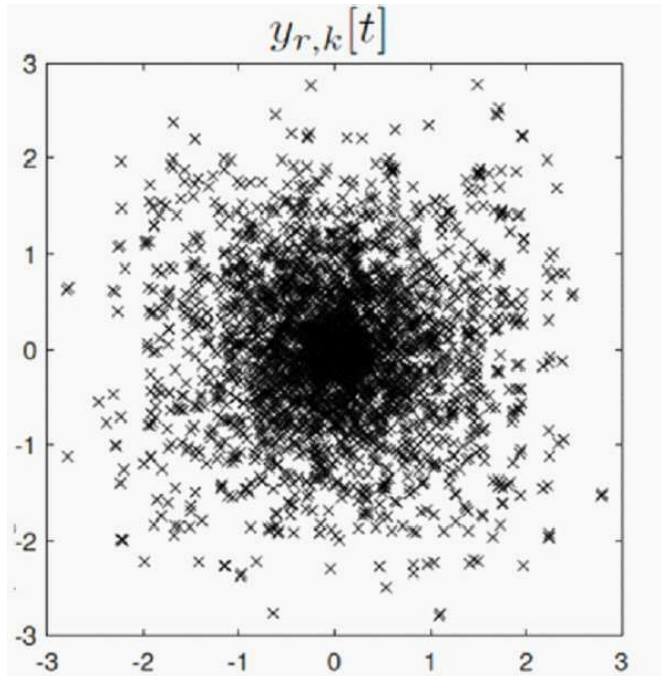
- 815: 컴바이닝부
- 820: 정규화부
- 825: 클러스터 유효성 검증부
- 830: 초기값 결정부
- 835: 클러스터링부
- 840: 매핑부

도면

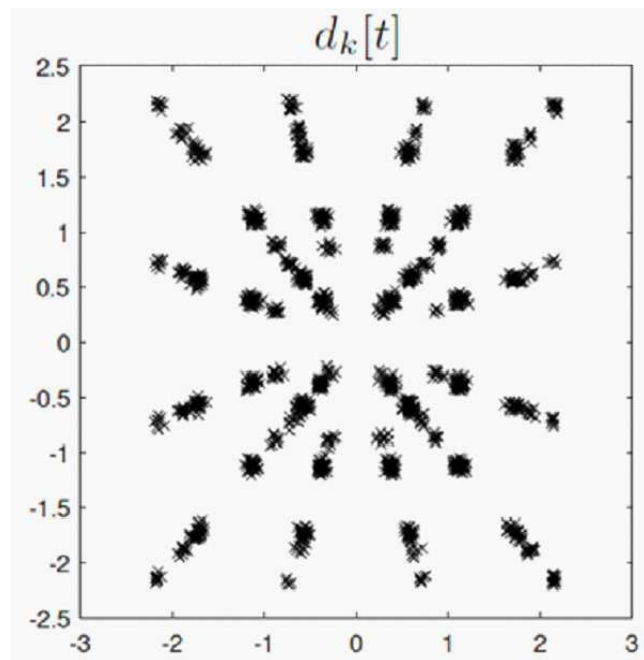
도면1



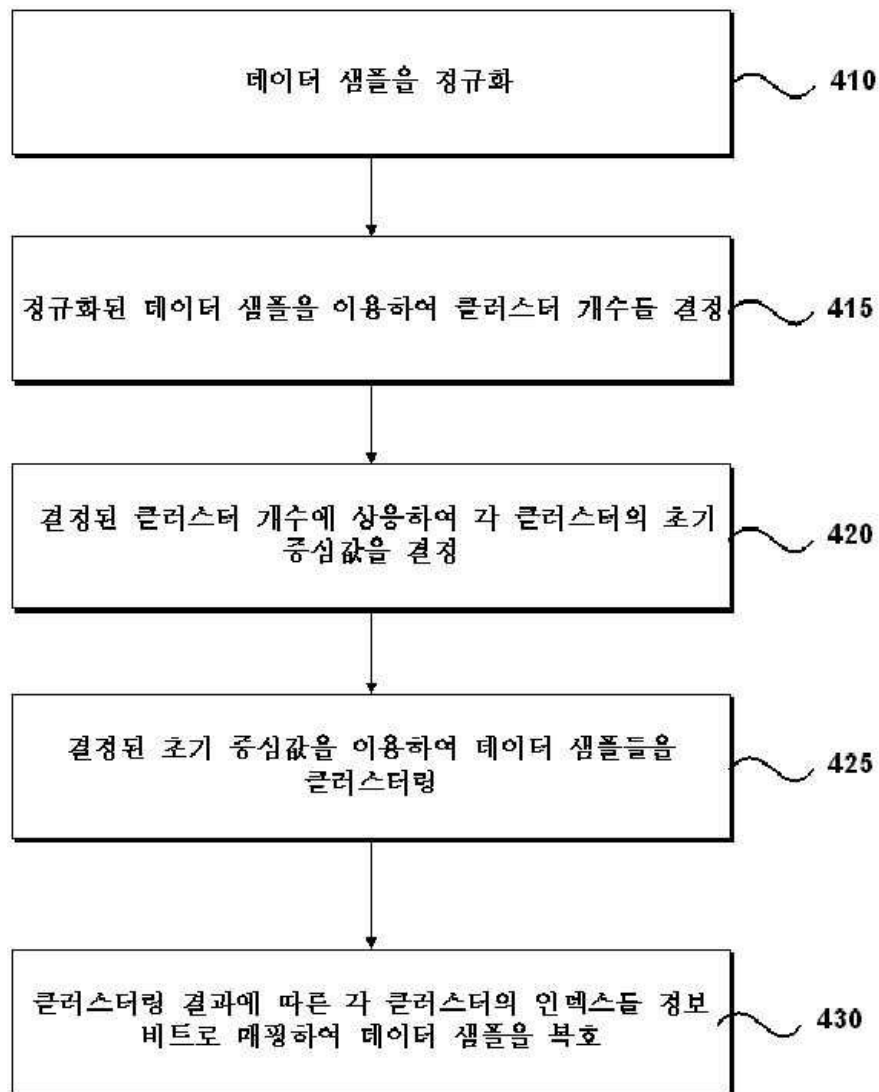
도면2



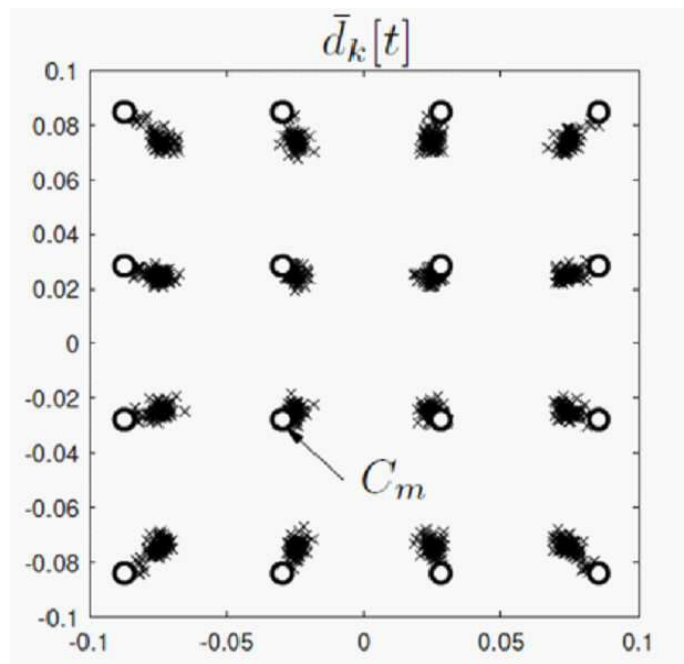
도면3



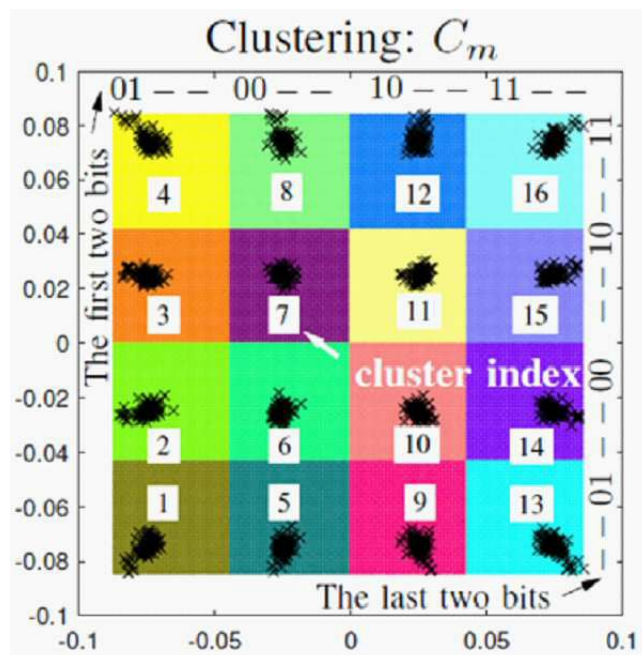
도면4



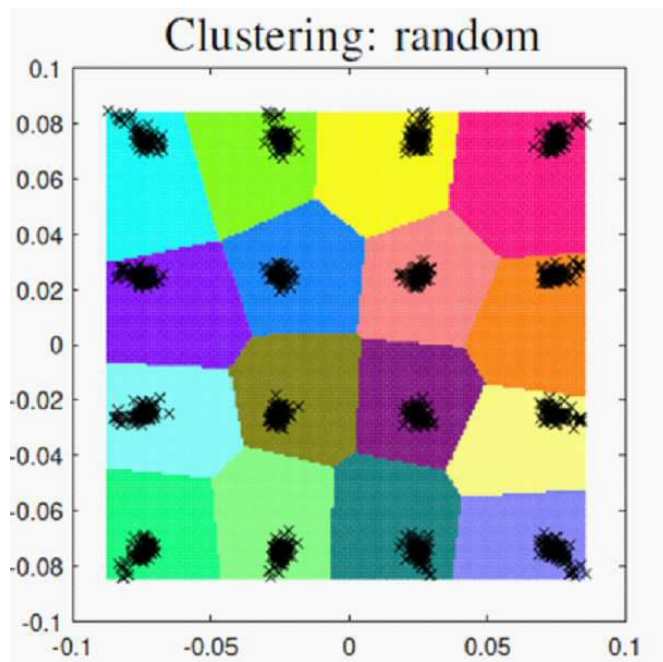
도면5



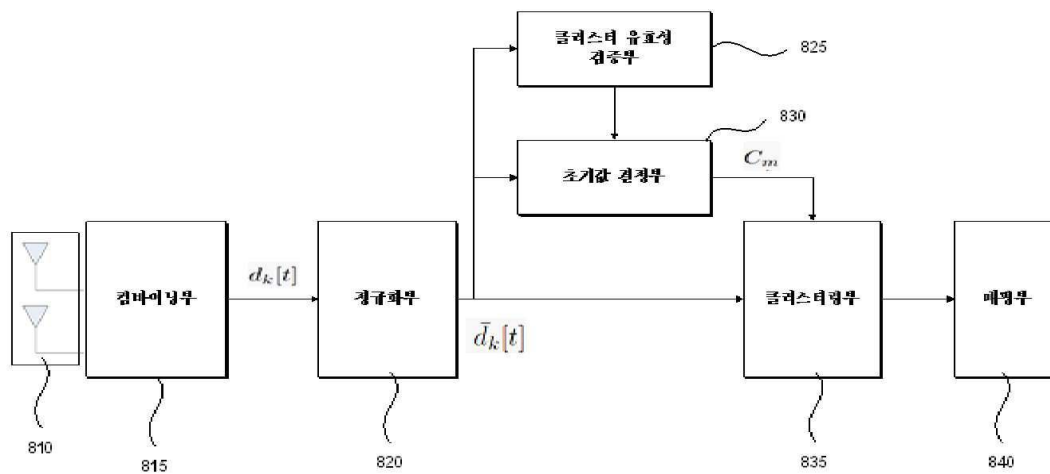
도면6



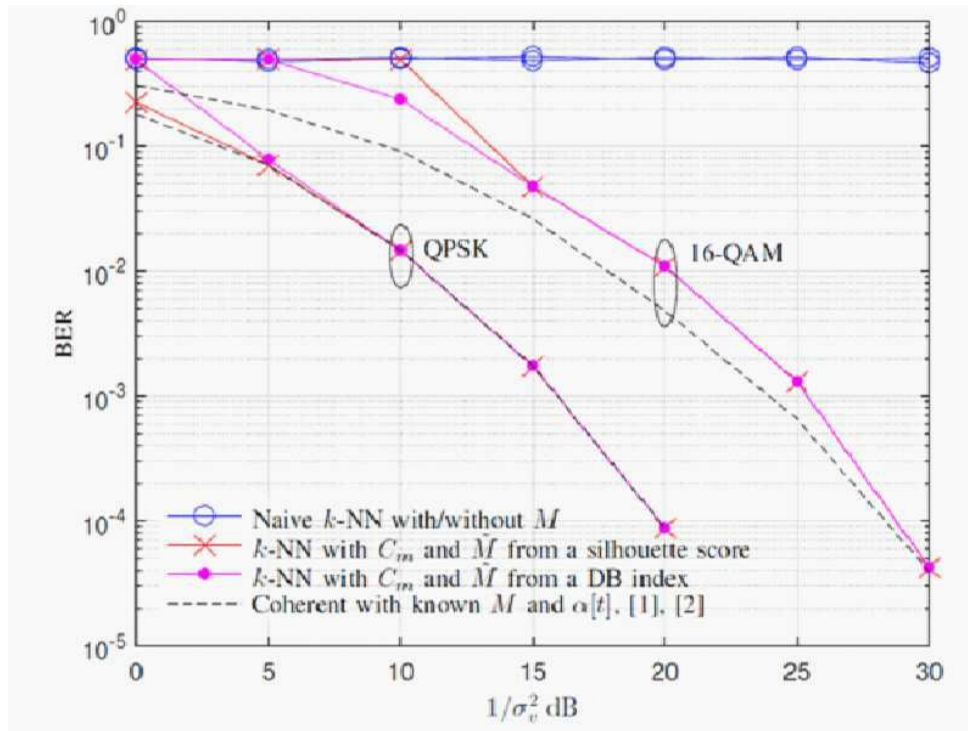
도면7



도면8



도면9



도면10

