



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0090134  
(43) 공개일자 2012년08월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04J 11/00 (2006.01) H04B 7/04 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2011-0003119  
(22) 출원일자 2011년01월12일  
심사청구일자 2011년01월12일

(71) 출원인  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대  
학교)  
(72) 발명자  
송형규  
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320동 30  
3호 (서현동, 한양아파트)  
윤재선  
서울특별시 광진구 면목로5길 43, 경원 403호 (군  
자동, 리치하우스)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 5 항

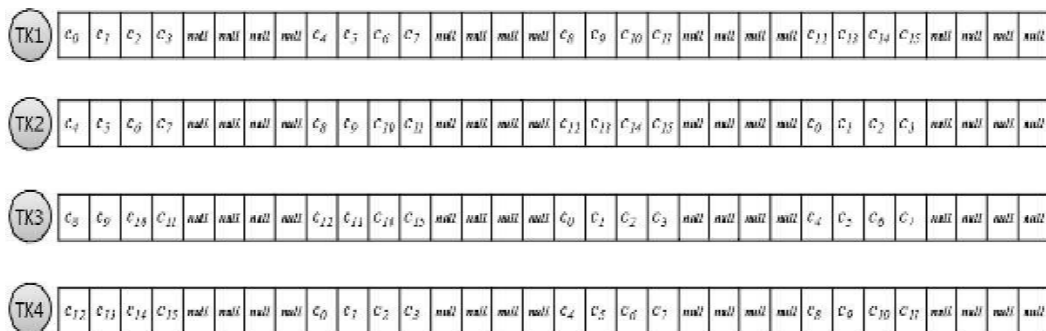
(54) 발명의 명칭 OFDM 시스템 및 그것을 이용한 채널 추정 방법

(57) 요약

본 발명은 OFDM 시스템 및 그것을 이용한 채널 추정 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 OFDM 시스템은 null이 삽입되어 확장된 제1 CAZAC(Constant-amplitude Zero-autocorrelation) 시퀀스를 생성하고, 상기 제1 CAZAC 시퀀스를 포함하는 신호를 다중안테나를 통하여 전송하는 송신장치, 그리고 null이 삽입되어 확장된 제2 CAZAC 시퀀스를 생성하고, 상기 제2 CAZAC 시퀀스를 상기 송신장치로부터 수신된 신호와 자기 상관 처리하여, 상기 제1 CAZAC 시퀀스의 다중 경로 채널을 추정하는 수신장치를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 채널 추정 방법에 의하면, 확장된 CAZAC 시퀀스를 사용하여 각각의 MIMO 채널을 보다 효과적으로 추정함으로써, 다중 안테나를 사용하는 OFDM 기반의 통신 시스템에서 보다 정확하게 추정된 채널을 1-탭 등화를 통해 전송신호와 유사하게 복원할 수 있다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

**김지훈**

서울특별시 구로구 오리로 1265, 20동 204호 (궁  
동, 우신빌라)

**여소영**

서울특별시 광진구 자양로48길 4-1 (구의동)

**임형묵**

경기도 남양주시 도농로 34, 부영아파트 503동  
2002호 (도농동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10035547

부처명 지식경제부

연구사업명 지식경제 기술혁신 사업

연구과제명 DVB 2.0 기반 컨버전스 다중화 및 가변 수신 기술개발

주관기관 전자부품연구원

연구기간 2010.03.01 ~ 2011.02.28

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

null이 삽입되어 확장된 제1 CAZAC(Constant-amplitude Zero-autocorrelation) 시퀀스를 생성하고, 상기 제1 CAZAC 시퀀스를 포함하는 신호를 다중안테나를 통하여 전송하는 송신장치, 그리고

null이 삽입되어 확장된 제2 CAZAC 시퀀스를 생성하고, 상기 제2 CAZAC 시퀀스를 상기 송신장치로부터 수신된 신호와 자기 상관 처리하여, 상기 제1 CAZAC 시퀀스의 다중 경로 채널을 추정하는 수신장치를 포함하는 OFDM 시스템.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 CAZAC 시퀀스 및 상기 제2 CAZAC 시퀀스는 다음의 수학적식을 통하여 생성되는 OFDM 시스템:

$$e_{m \cdot L/T + n} = \begin{cases} j^{mn} & \text{for } n < T \\ \text{null} & \text{for } n \geq T \end{cases}$$

여기서, e는 확장된 CAZAC 시퀀스를 구성하는 심볼이고,  $m \in 0, 1, 2, 3, \dots, T-1$ ,  $n \in 0, 1, \dots, (L/T)-1$ 이며, T는 다중안테나의 개수이고, L은 null이 추가된 시퀀스 길이를 나타낸다.

### 청구항 3

다중안테나를 가지는 송신장치로부터 null이 삽입되어 확장된 제1 CAZAC(Constant-amplitude Zero-autocorrelation) 시퀀스를 포함하는 신호를 수신하는 단계,

Null이 삽입되어 확장된 제2 CAZAC 시퀀스를 생성하는 단계, 그리고

상기 제2 CAZAC 시퀀스를 상기 송신장치로부터 수신된 신호와 자기 상관 처리하여, 상기 제1 CAZAC 시퀀스의 다중 경로 채널을 추정하는 단계를 포함하는 OFDM 시스템의 채널 추정 방법.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 CAZAC 시퀀스 및 상기 제2 CAZAC 시퀀스는 다음의 수학적식을 통하여 생성되는 OFDM 시스템의 채널 추정 방법:

$$e_{m \cdot L/T + n} = \begin{cases} j^{mn} & \text{for } n < T \\ \text{null} & \text{for } n \geq T \end{cases}$$

여기서, e는 확장된 CAZAC 시퀀스를 구성하는 심볼이고,  $m \in 0, 1, 2, 3, \dots, T-1$ ,  $n \in 0, 1, \dots, (L/T)-1$ 이며, T는 다중안테나의 개수이고, L은 null이 추가된 시퀀스 길이를 나타낸다.

### 청구항 5

컴퓨터에 제3항 및 제4항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

## 명세서

## 기술분야

본 발명은 OFDM 시스템 및 그것을 이용한 채널 추정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다중 안테나를 사

용하는 OFDM 기반의 통신 시스템에서 최적의 CAZAC 시퀀스를 사용하는 채널을 추정하는 방법에 관한 것이다.

## 배경 기술

- [0002] 점차 증가하는 다양한 멀티미디어 전송에 대한 요구를 만족시키기 위해 송수신단 모두에 다수의 안테나를 사용하는 다중 안테나 기술은 추가적인 주파수 할당이나 전력증가 없이도 통신 용량 및 송수신 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 방법이다. 또한 차세대 무선 시스템 전송 기술인 다중 입출력 시스템(Multi-Input Multi-Output: MIMO system)은 송수신단에 설치된 여러 개의 안테나를 이용해 대역폭의 증가 없이 전송률을 증대시키고 수신 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0003] 다중 송수신 안테나가 적용된 시공간 다이버시티 기법은 간단한 연산으로 전송 다이버시티 효과를 얻을 수 있어 성능개선으로 인한 안정성의 증가는 가능하지만, 다중 안테나의 사용으로 인해 현재의 채널 추정 시퀀스를 그대로 사용할 경우 방송 권역이 넓어 다수의 다중경로가 발생하는 디지털 방송 시스템 환경의 특성상 MIMO 채널을 효과적으로 추정할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.
- [0004] 더구나 채널 추정이 불가능해지면, OFDM 시스템의 장점인 1-탭 등화를 통해서도 전송신호를 복원할 수 없으므로 실제 다중 안테나의 시스템 적용이 매우 어렵다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0005] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는, 다중 안테나를 사용하는 OFDM 기반의 통신 시스템에서 최적의 CAZAC 시퀀스를 사용하는 채널을 추정하는 방법을 제공하기 위한 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0006] 이러한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 한 실시예에 따른 OFDM 시스템은, null이 삽입되어 확장된 제1 CAZAC(Constant-amplitude Zero-autocorrelation) 시퀀스를 생성하고, 상기 제1 CAZAC 시퀀스를 포함하는 신호를 다중안테나를 통하여 전송하는 송신장치, 그리고 null이 삽입되어 확장된 제2 CAZAC 시퀀스를 생성하고, 상기 제2 CAZAC 시퀀스를 상기 송신장치로부터 수신된 신호와 자기 상관 처리하여, 상기 제1 CAZAC 시퀀스의 다중 경로 채널을 추정하는 수신장치를 포함한다.
- [0007] 상기 제1 CAZAC 시퀀스 및 상기 제2 CAZAC 시퀀스는 다음의 수학적식을 통하여 생성될 수 있다.

$$e_{m \cdot L/T + n} = \begin{cases} j^{mn} & \text{for } n < T \\ \text{null} & \text{for } n \geq T \end{cases}$$

- [0008]
- [0009] 여기서, e는 확장된 CAZAC 시퀀스를 구성하는 심볼이고,  $m \in 0, 1, 2, 3, \dots, T-1$ ,  $n \in 0, 1, \dots, (L/T)-1$ 이며, T는 다중안테나의 개수이고, L은 null이 추가된 시퀀스 길이를 나타낸다.
- [0010] 본 발명의 다른 실시예에 따른 OFDM 시스템의 채널 추정 방법은, 다중안테나를 가지는 송신장치로부터 null이 삽입되어 확장된 제1 CAZAC(Constant-amplitude Zero-autocorrelation) 시퀀스를 포함하는 신호를 수신하는 단계, null이 삽입되어 확장된 제2 CAZAC 시퀀스를 생성하는 단계, 그리고
- [0011] 상기 제2 CAZAC 시퀀스를 상기 송신장치로부터 수신된 신호와 자기 상관 처리하여, 상기 제1 CAZAC 시퀀스의 다중 경로 채널을 추정하는 단계를 포함한다.
- [0012] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면 상기 방법 중 하나를 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 포함한다.

### 발명의 효과

- [0013] 이와 같이 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 채널 추정 방법에 의하면, 확장된 CAZAC 시퀀스를 사용하여 각각의 MIMO 채널을 보다 효과적으로 추정함으로써, 다중 안테나를 사용하는 OFDM 시스템에서 보다 정확하게 추정된 채널을 1-탭 등화를 통해 전송신호와 유사하게 복원할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 CAZAC 시퀀스의 자기 상관 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 다중경로가 3개인 경우 CAZAC 시퀀스의 자기 상관을 이용하여 채널 추정하는 방식을 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 3은 4개의 다중 안테나를 사용하는 경우의 CAZAC 시퀀스를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 다중안테나를 사용하는 OFDM 기반의 통신 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 null이 삽입된 CAZAC 시퀀스를 나타낸다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 null이 삽입된 CAZAC 시퀀스의 채널 추정 성능을 실험한 결과 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 다중 안테나를 사용하는 OFDM 기반의 디지털 방송 시스템에서 간섭을 최소화하는 채널 추정 방법의 실시 예를 첨부한 도면을 참조로 보다 구체적으로 설명한다.
- [0016] 도 1은 CAZAC 시퀀스의 자기 상관 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0017] 일반적으로 CAZAC(Constant-amplitude Zero-autocorrelation) 시퀀스는 그 이름에서 알 수 있듯이, 일정 진폭(CA) 및 주기적인 자기 상관값(ZAC)을 갖는 특징이 있으며, 이러한 특징은 낮은 SNR의 상황에서도 빠르고 우수한 채널 추정 성능과 동기화를 제공하여, 4-위상 16-길이의 CAZAC 시퀀스는 다음의 수식을 이용하여 생성할 수 있다.

### 수학식 1

[0018] 
$$C_{4o+p} = j^{op}$$

- [0019] 여기서  $0 \leq p \leq \{0, 1, 2, 3\}$ 이고,  $C = \{1, 1, 1, 1, 1, j, -1, -j, 1, -1, 1, -1, 1, -j, -1, j\}$ 으로 나타낼 수 있다. 이 외에도 다양한 형태의 CAZAC 시퀀스를 생성할 수 있는데, 본 발명의 실시예에서는 수학식 2와 같은 Zadoff-Chu CAZAC 시퀀스 생성식을 나타낸다.

### 수학식 2

[0020] 
$$C_n = \exp j \frac{\eta \pi n^2}{N}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

- [0021] 여기서 N은 시퀀스의 길이이고,  $\eta$ 와 N은 서로소인 정수이다.  $\eta$ 을 1로 선택하면 생성된 시퀀스  $C_n$ 은 다음의 수학식 3 및 수학식 4와 같은 특성을 만족한다.

### 수학식 3

[0022] 
$$a_0 = \sum_{n=0}^{N-1} C_n C_n^*$$

#### 수학식 4

$$a_i = \sum_{n=0}^{N-i-1} C_n C_{n-i}^* + \sum_{n=N-i}^{N-1} C_n C_{n+i-N}^* = 0, \quad i=1,2,\dots,N-1$$

다시 말해서 CAZAC 시퀀스는 수학식 3과 같이  $a_0$ 의 자기 상관 값을 갖고, 수학식 4와 같이 한 심벌이상 순환 이동시킨 시퀀스와의 상관 값은  $a_i=0$ 이 된다.  $a_i$ 의 값이 0이 되는 것을 증명하기 위해 수학식 2를 수학식 4에 대입하면 다음의 수학식 5와 같다.

#### 수학식 5

$$a_i = \sum_{n=0}^{N-i-1} \exp j \frac{\eta\pi}{N} [n^2 - (n+i)^2] + \sum_{n=N-i}^{N-1} \exp j \frac{\eta\pi}{N} [n^2 - (n+i-N)^2], \quad i=1,2,\dots,N-1$$

그리고, 수학식 6을 수학식 5에 대입하면 수학식 7과 같다.

#### 수학식 6

$$\begin{aligned} \exp j \frac{\eta\pi}{N} (n+i-N)^2 &= \exp \left( j \frac{\eta\pi}{N} (n-i)^2 \right) \exp(-j2\pi\eta(n-i)) \exp(j\pi N\eta) \\ &= \exp j \frac{\eta\pi}{N} (n-i)^2 \end{aligned}$$

#### 수학식 7

$$\begin{aligned} a_i &= \sum_{n=0}^{N-1} \exp j \frac{\eta\pi}{N} [n^2 - (n+i)^2] \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \exp j \frac{\eta\pi}{N} [-2ni - i^2] \\ &= \exp \left( -j \frac{\eta\pi i^2}{N} \right) \sum_{n=0}^{N-1} \left[ \exp \left( -j \frac{2\pi\eta i}{N} \right) \right]^n, \quad i=1,2,\dots,N-1 \\ &= 0 \end{aligned}$$

결국 N - 길이 CAZAC 시퀀스의 자기 상관 함수는 도 1과 같이 나타난다.

[0030] 한편, 이와 같은 CAZAC 시퀀스의 자기 상관 특징들을 이용하여 CAZAC 시퀀스를 채널 추정에 활용하면,  $1 \leq N$ 일 때 다양한 경로로 수신되는 신호들을 다음의 수학식 8 내지 10의 과정들과 같이 자기 상관을 통해 분리함으로써 다중 경로 채널을 추정할 수 있다.

수학식 8

$$r(k) = \sum_{l=0}^{L-1} h(l) C(k-l) + w(k)$$

[0031]

[0032] 여기서  $r(k)$ 는 수신된 신호이고,  $w(k)$ 는 가산 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 간단한 LS(Least Square) 추정 방식으로 채널 임펄스 응답을 추정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \hat{h}(i) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} r(i+n) C^*(n) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{L-1} h(l) C(i+n-l) C^*(n) + \bar{w}(i) \\ &= h(i) + \bar{w}(i) \end{aligned}$$

[0033]

[0034] 여기서,  $\hat{h}(i)$ 는  $i$ 번째 채널 임펄스 응답을 나타내며, 가산 백색 가우시안 잡음( $w(k)$ )의 추정치는 다음의 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$\bar{w}(i) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} w(i+n) C^*(n)$$

[0035]

[0036] 도 2는 다중경로가 3개인 경우 CAZAC 시퀀스의 자기 상관을 이용하여 채널 추정하는 방식을 설명하기 위한 예시도이고, 도 3은 4개의 다중 안테나를 사용하는 경우의 CAZAC 시퀀스를 나타내는 도면이다.

[0037] 앞에서 설명한 것처럼, Zadoff-Chu CAZAC 시퀀스의 경우 16개의 다중경로까지 시퀀스의 자기상관 특성을 깨뜨리지 않기 때문에, 단일 안테나를 사용하는 OFDM 시스템에서는 최대 16개의 다중경로 신호를 추정할 수 있다. 일반적으로 OFDM 기반의 디지털 방송 시스템의 채널 환경은 단일 주파수 방송망을 기준으로 8개의 다중경로를 가진다. 따라서 단일 안테나를 사용하는 OFDM 기반의 디지털 방송 시스템에서는 4-위상 16-길이의 CAZAC 시퀀스를 사용할 경우 간섭이 발생하지 않는다.

[0038] 하지만 도 3과 같이 4개의 다중 안테나를 사용하는 OFDM 기반의 통신 시스템에서는 독립적인 4개의 MIMO 채널을 추정해야 하기 때문에, 일반적으로 기존의 CAZAC 시퀀스를 각각의 안테나에서 간섭이 발생하지 않도록 4개의 전송 안테나에서 각각 4개의 위상만큼 이동시켜 4개의 MIMO 채널을 추정할 수 있다. 하지만 단일 안테나를 사용하는 경우와는 달리 4개 이하의 다중경로만 추정가능하기 때문에 일반적으로 8개의 다중 경로를 갖는 통

신 시스템에서는 MIMO 채널의 추정이 불가능하다.

[0039] 따라서 본 발명의 실시예에서는 CAZAC 시퀀스를 사용하는 OFDM 기반의 통신 시스템에서 4개의 안테나가 8개의 다중 경로를 가지는 채널을 간섭 없이 효과적으로 추정할 수 있도록, null 삽입을 이용한 확장된 CAZAC 시퀀스를 제안한다. 위와 같이 8개의 다중 경로를 갖는 방송 채널에서 기존의 CAZAC 시퀀스의 채널 추정을 위한 제약조건은 아래와 같다.

### 수학식 11

$$1 \leq P \leq \frac{L}{T}$$

[0040]

[0041] 여기서 P는 다중 경로의 수, T는 안테나의 개수, L은 CAZAC 시퀀스의 심볼 길이를 나타낸다. 수학식 11에서 16개의 길이와 4개의 위상을 가지고 있는 CAZAC 시퀀스는 2개 이상의 안테나를 가지고 있는 시스템에서는 채널 추정이 불가능하다.

[0042] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템의 구성을 나타낸 도면이다. 도 4와 같이 다중안테나를 사용하는 OFDM 기반의 통신 시스템은 다중안테나를 사용하는 송신장치(400)와 다중안테나를 사용하는 수신장치(500)를 포함하며, 송신장치(400)와 수신장치(500)는 CAZAC 시퀀스를 이용하여 데이터 통신을 수행한다.

[0043] 송신장치(400)는 null이 삽입되어 확장된 CAZAC(Constant-amplitude Zero-autocorrelation) 시퀀스를 생성하고, 확장된 CAZAC 시퀀스를 포함하는 신호를 다중안테나를 통하여 수신장치(500)로 전송한다.

[0044] 수신장치(500)는 null이 삽입되어 확장된 CAZAC 시퀀스를 생성하고, 확장된 CAZAC 시퀀스를 송신장치(400)로부터 수신된 신호와 자기 상관 처리하여, 수신장치(400)로부터 전송된 CAZAC 시퀀스의 다중 경로 채널을 추정한다.

[0045] 먼저 송신장치(400)는 변조부(410), CAZAC 시퀀스 생성부(420) 및 RF 송신부(430)를 포함한다. 변조부(410)는 전송하고자 하는 아날로그 형태의 신호를 디지털 형태의 신호로 변조한다. CAZAC 시퀀스 생성부(420)는 CAZAC 시퀀스 초기값이 미리 저장되어 있는 저장장치(일 예로 register, 미도시)와 시프트 레지스터(shift register, 미도시함)로 구성되며, 심벌주기 즉 CAZAC 심볼 신호를 입력받아 CAZAC 시퀀스를 발생시키고 시퀀스의 순환확장이 이루어지도록 한다. 특히 CAZAC 시퀀스 생성부(420)는 CAZAC 시퀀스 사이에 null을 삽입함으로써 기존의 CAZAC 시퀀스의 자기상관 특성을 유지하면서 손쉽게 시퀀스의 길이를 확장할 수 있다.

[0046] RF 송신부(430)는 다중안테나에 의하여 다중경로를 통해 수신장치(500)로 신호를 전달한다.

[0047] 수신장치(500)는 RF 수신부(510), CAZAC 시퀀스 생성부(520), 자기 상관부(530) 및 복조부(540)를 포함한다. RF 수신부(510)는 다중안테나를 통해 송신장치(400)로부터 디지털 형태의 신호를 수신한다.

[0048] CAZAC 시퀀스 생성부(520)는 CAZAC 시퀀스 사이에 null을 삽입함으로써 기존의 CAZAC 시퀀스의 자기상관 특성을 유지하면서 손쉽게 시퀀스의 길이를 확장할 수 있으며 다중안테나와 다중경로가 존재하는 환경에서 효과적으로 각각의 안테나 별로 독립된 MIMO 채널을 추정을 할 수 있도록 한다. 또한 CAZAC 시퀀스의 상수 크기와 자기 상관 값의 특징을 이용하여 대략적인 주파수와 시간동기를 추적할 수 있어 채널 추정뿐 아니라 동기화 기법도 적용이 가능하다.

[0049] 자기 상관부(530)는 null이 삽입되어 생성된 CAZAC 시퀀스를 수신된 신호와 자기 상관 처리하여, 신호가 전송된 다중 경로 채널을 추정하도록 한다. 자기 상관을 통하여 채널을 추정하는 방법에 대해서는 수학식 8 내지 10에서 설명한 바 중복되는 설명은 생략한다. 그리고 복조부(540)는 디지털 형태의 신호를 아날로그 형태의 신호로 복조시킨다.

[0050] 이하에서는 도 5를 CAZAC 시퀀스 생성부(420, 520)가 CAZAC 시퀀스를 생성하는 과정에 대하여 상세하게 설명한다. 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 null이 삽입된 CAZAC 시퀀스를 나타낸다.

[0051] CAZAC 시퀀스 생성부(420, 520)는 다음의 수학식 12와 같이 Zero-Padded CAZAC 시퀀스를 생성한다.

## 수학식 12

$$e_{m \cdot L/T + n} = \begin{cases} j^{mn} & \text{for } n < T \\ \text{null} & \text{for } n \geq T \end{cases}$$

[0052]

[0053] 여기서,  $e$ 는 확장된 CAZAC 시퀀스를 구성하는 심볼이고,  $m \in 0, 1, 2, 3, \dots, T-1$ ,  $n \in 0, 1, \dots, (L/T)-1$ 이며,  $T$ 는 다중안테나의 개수이고,  $L$ 은 null이 추가된 시퀀스 길이를 나타낸다. 4-위상 16-길이의 CAZAC 시퀀스 ( $L=16$ )를 사용하는 OFDM 통신 시스템에 4개의 다중 안테나( $T=4$ )가 사용되는 경우를 예로 들면, 수학식 12는 수학식 13 및 도 5와 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $L$ 은 위상의 배수로 설정되며, 아래의 예에서는 위상의 개수는 4개(1, -1,  $j$ ,  $-j$ )이다.

## 수학식 13

$$e = \{ 1, 1, 1, 1, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \\ 1, j, -1, -j, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \\ 1, -1, 1, -1, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \\ 1, -j, -1, j, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \text{null}, \}$$

[0054]

[0055] 본 발명의 실시예에 따르면 수학식 13과 같이 오직 null만이 삽입되었기 때문에 자기 상관의 최대값은 16으로 고정될 수 있으며, 이에 따라 시퀀스의 길이를 용이하게 변화시킬 수 있다. 또한 계산상의 복잡도는 단지 16개만의 심볼들만 사용되기 때문에, 본 발명의 실시예에 따른 Zero-Padded CAZAC 시퀀스는 일반적인 CAZAC 시퀀스와 동일한 계산상의 복잡도를 가지게 된다.

[0056] 이하에서는 도 6을 통하여 본 발명의 실시예에 따른 채널 추정 성능에 대하여 설명한다. 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 null이 삽입된 CAZAC 시퀀스의 채널 추정 성능을 실험한 결과 그래프이다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 Zero-padded CAZAC 시퀀스의 LS(Least Square) 채널 임펄스 응답을 수학식 9를 통하여 추정함으로써, 채널 추정 성능을 평가한다.

[0057] 모의실험에서는 성능 비교를 위해 8개의 다중경로 채널환경, 4-위상 32-길이 CAZAC 시퀀스, 4-위상 80-길이의 Zero-Padded CAZAC 시퀀스를 사용하였다. 즉, 일반적인 32-길이의 CAZAC 시퀀스와 수학식 12를 통한 80-길이의 Zero-Padded CAZAC 시퀀스가 성능 비교를 위해 사용된다. 도 6에서는 OFDM 기반의 통신 시스템에서 안테나의 수, 신호 대 잡음비 증가에 따른 MSE(Mean Square Error) 성능을 비교한다.

[0058] 기존의 4-위상 32-길이 CAZAC 시퀀스는 안테나의 수가 증가할 경우 채널 추정이 불가능해지는 반면, 본 발명의 실시예에 따른 4-위상 80-길이 Zero-Padded CAZAC 시퀀스는 안테나의 증가에도 불구하고 간섭없이 MIMO 채널을 효과적으로 추정함을 알 수 있다.

[0059] 결과적으로, 본 발명의 실시예에 따른 OFDM 기반의 통신 시스템에 따르면 다중 안테나를 사용할 경우 다중 경로의 수에 따라 기존에 사용되고 있는 CAZAC 시퀀스의 특성을 유지하고, 채널 환경에 따라 손쉽게 채널 추정 시퀀스의 길이를 확장할 수 있어, 기존 시스템의 복잡도의 증가 없이 구현이 용이하다.

[0060] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따른 OFDM을 기반으로 하는 통신 시스템의 채널 추정 방법에 의하면, 확장된 CAZAC 시퀀스를 사용하여 각각의 MIMO 채널을 보다 효과적으로 추정함으로써, 다중 안테나를 사용하는 OFDM 기반의 통신 시스템에서 보다 정확하게 추정된 채널을 1-탭 등화를 통해 전송신호와 유사하게 복원할 수 있다.

[0061] 본 발명의 실시예는 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체를 포함한다. 이 매체는 지금까지 설명한 다중안테나를 사용하는 OFDM 기반의 통신 방법에서 초기 동기 획득 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한다. 이 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이

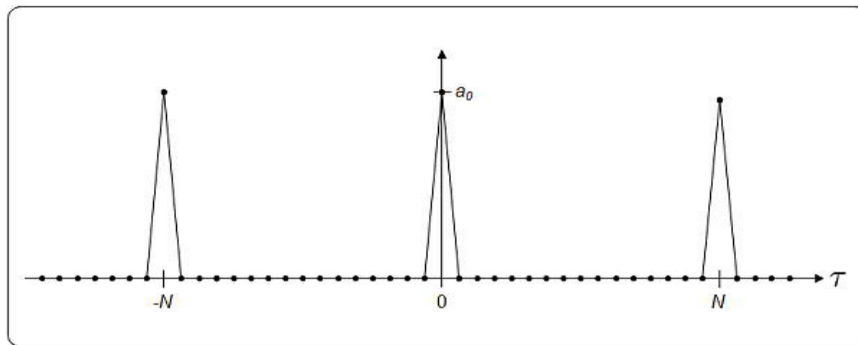
터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 이러한 매체의 예에는 하드디스크, 플로피디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 자기-광 매체, 롬, 램, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 구성된 하드웨어 장치 등이 있다. 또는 이러한 매체는 프로그램 명령, 데이터 구조 등을 지정하는 신호를 전송하는 반송파를 포함하는 광 또는 금속선, 도파관 등의 전송 매체일 수 있다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0062]

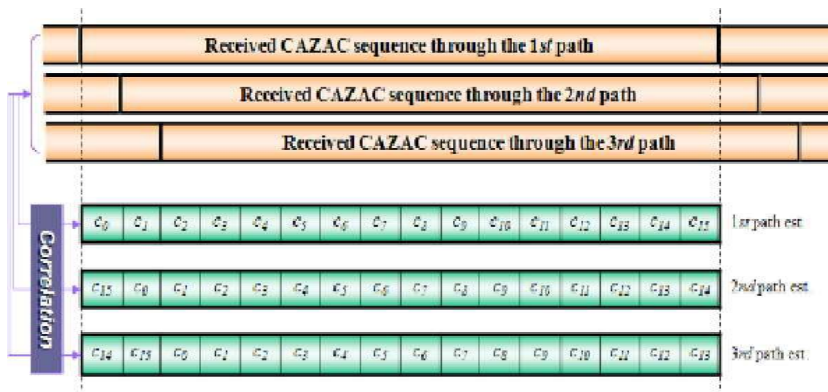
이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

## 도면

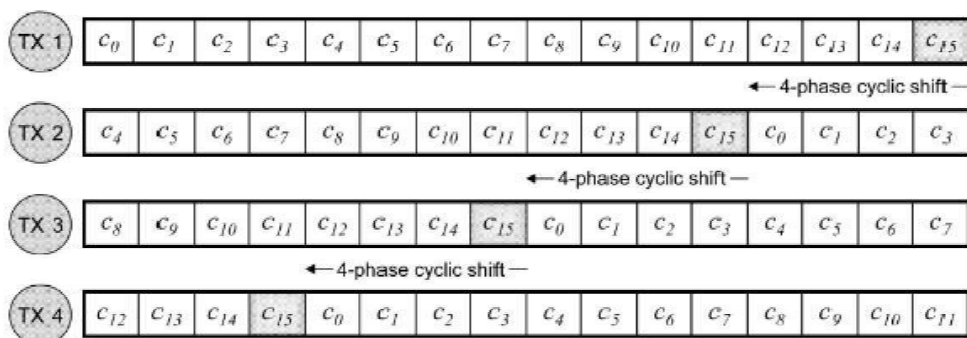
### 도면1



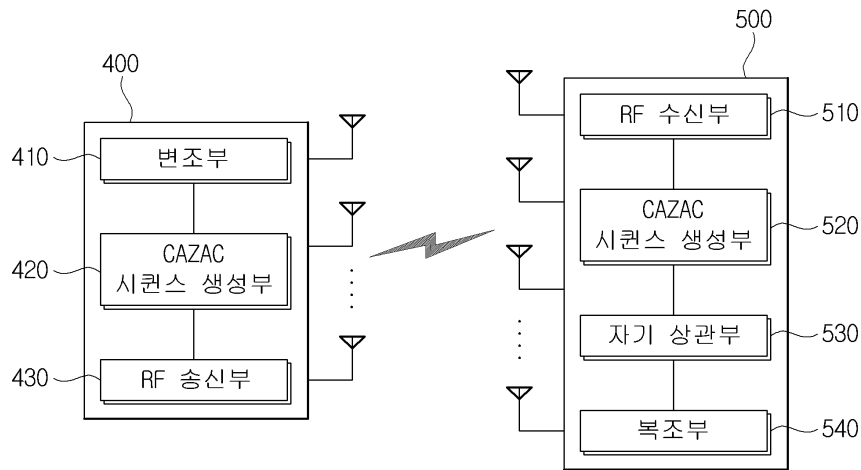
### 도면2



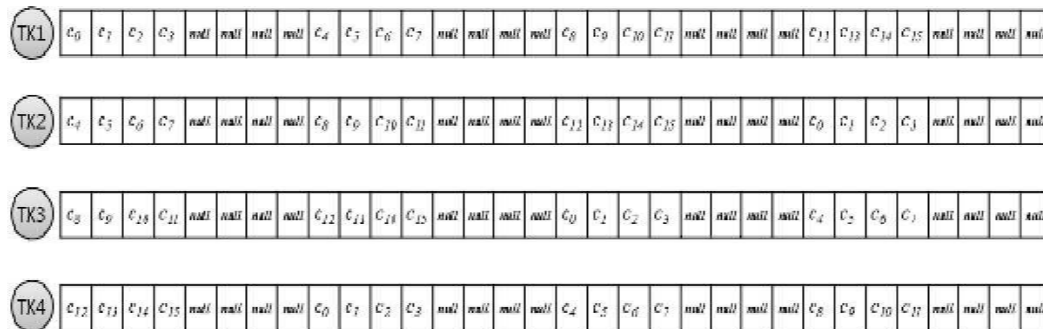
### 도면3



도면4



도면5



도면6

