(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0095665
(43) 공개일자 2014년08월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04J 11/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0008193
(22) 출원일자 2013년01월24일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 (신촌동)
(72) 발명자
김동구
서울 강남구 일원로 120, 103동 1104호 (일원동, 샘터마을아파트)
김기연
서울 서대문구 연세로 50, 3공학관 (신촌동, 연세대학교)
(74) 대리인
최관락, 송인호, 민영준

전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **OFDM에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 방법**

(57) 요 약

OFDM 기반의 이동통신에서의 주파수 축 시간축 선택적 채널에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 방법이 제공된다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415107372
부처명	지식경제부
연구사업명	산업원천기술개발
연구과제명	고해상도 영상정보 수집용 Gbps급 초고속 초저전력 무선통신 SoC 연구
기 여 율	1/1
주관기관	연세대학교 산학협력단
연구기간	2012.03.01 ~ 2013.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

OFDM 기반의 이동통신에서의 주파수 축 시간축 선택적 채널에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 채널 추정 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 OFDM에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 압축 센싱은 최근 주목되는 신호 취득 기술로서 센서 네트워크, 이미지 센싱 등 다양한 상황에 적용되고 있다. 압축 센싱 기술의 핵심을 간단히 설명한다면, 길이가 N 인 이산 신호 (discrete time signal)를 가정할 때, 만약 이 신호가 스파스(Sparse) 신호로 표현이 가능하다면, N 보다 작은 M 길이의 신호로 압축이 가능하고, 압축된 신호로부터 원래의 N 길이의 신호를 복원하는 것이 가능하도록 하는 기술이다.

[0003] 압축 센싱 알고리즘을 이용하는 채널 추정 기법에 대한 연구가 이루어고 있으며, 일례로 초광대역에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 기법이 연구되고 있다.

[0004] 초광대역에서 채널 추정을 할 때에 랜텀 측정 행렬과 상관 기반 추정 방법을 사용하였다. 또한 OFDM 기반의 시간 주파수 선택적 채널에서의 압축 센싱을 이용한 채널 추정 기법 또한 연구 되었다. 해당 연구에서는 채널이 심볼 내에서 변화하는 압축 센싱 모델을 제시 하고, 그에 따른 압축 센싱 복구 알고리즘에 대해 분석 하였다. 다만 위의 연구에서는 성능에 대한 분석을 제시하고, 효과적인 측정 행렬이나 복구 알고리즘에 대한 자세한 연구는 없었다. 또한 채널이 심볼 구간에서 변화하지만 변화 정도가 매우 심한 수중 상황에서의 OFDM 시스템의 압축 센싱 채널 추정 알고리즘이 개발 되었다. 위의 연구에서는 수중 채널을 가정하였기 때문에 시간 주파수 축에서 변화가 매우 심한 채널이며, 압축 센싱 채널 추정 성능 향상을 위해서 오버샘플링 기법을 이용한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명에서는 OFDM 기반의 통신 시스템에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 방법을 제안한다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 바람직한 일실시예에 따르면, OFDM 기반의 이동통신에서의 주파수 축 시간축 선택적 채널에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0007] 본 발명의 필터에 의하면, OFDM 기반의 통신 시스템에서 압축 센싱을 이용한 채널 추정 방법이 제공된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0009] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0010] 본 발명에서는 이동 무선 통신에서 나타 날 수 있는 도플러 현상에 대한 채널 추정 방법을 고려한다. 표준 최대

도플러 주파수가 0.1을 넘지 않는 경우에 적합한 알고리즘이다.

[0011] 본 발명에서 가정하는 통신 환경은 다음과 같다. 우선 고속 이동체 OFDM 시스템을 가정하며, 채널 송수신 모델은 다음과 같이 쓸 수 있다. k번째 수신 OFDM심볼은 다음의 수학식 1과 같이 쓸 수 있다.

수학식 1

[0012]

$$
\begin{aligned}
\mathbf{R}[k] &= \mathbf{F}\mathbf{r}[k] = \mathbf{F}\begin{bmatrix} r_0[k] \\ r_1[k] \\ \vdots \\ r_{N-1}[k] \end{bmatrix} \\
&= \mathbf{F}\begin{bmatrix}
x_0[k] & x_{N-1}[k] & \cdots & x_{N-G+1}[k] & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & x_1[k] & x_0[k] & \cdots & x_{N-G+2}[k] & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & x_{N-1}[k] & x_{N-2}[k] & \cdots & x_{N-G}[k]
\end{bmatrix}\begin{bmatrix} \mathbf{h}_0[k] \\ \mathbf{h}_1[k] \\ \vdots \\ \mathbf{h}_{N-1}[k] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_0[k] \\ \mathbf{z}_1[k] \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N-1}[k] \end{bmatrix} \\
&= \mathbf{F}\mathbf{B}[k]\begin{bmatrix} \mathbf{h}_0[k] \\ \mathbf{h}_1[k] \\ \vdots \\ \mathbf{h}_{N-1}[k] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_0[k] \\ z_1[k] \\ \vdots \\ z_{N-1}[k] \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

[0013] 위 수학식 1에서, 벡터 $r_i[k]$ 은 k번째 OFDM심볼에서 i번째 수신 신호 샘플이다. $x_i[k]$ 는 k번째 심볼의 i번째 시간축파일럿 샘플을 의미한다. 이 k번째 심볼의 파일럿 샘플로 이루어진 행렬을 $\mathbf{B}[k]$ 로 표기한다. 이는 다음 과 같이 k번째 심볼의 주파수 축 신호를 IDFT 행렬 $\mathbf{F}$ 을 곱하여 만들어 진다. 그리고 IDFT 행렬의 i번째 행, j번째 열의 원소는 $[\mathbf{F}]_{i,j} = e^{j2\pi(i-1)(j-1)/N}$ 과 같다. 파일럿 데이터는 주파수 축에서 할당 받은 파일럿 인덱스 집합에 포함 되는 파일럿은 0이 아닌 값이고, 파일럿 인덱스 집합에 포함되지 않은 파일럿 값은 0이다. 이는 다음의 수학식 2와 같이 쓸 수 있다.

수학식 2

[0014]

$$
\mathbf{x}[k] = \begin{bmatrix} x_0[k] \\ x_1[k] \\ \vdots \\ x_{N-1}[k] \end{bmatrix} = \mathbf{F}^H \mathbf{X}[k] = \mathbf{F}^H \begin{bmatrix} X_0[k] \\ X_1[k] \\ \vdots \\ X_{N-1}[k] \end{bmatrix},
$$

$$
\begin{cases} X_i[k] \neq 0 & ,i \in \mathrm{S} \\ X_i[k] = 0 & ,i \notin \mathrm{S} \end{cases}, \mathrm{S} = index\ set\ of\ pilot
$$

[0015] 벡터 $\mathbf{h}_i[k]$ 는 $G \times 1$ 벡터로 k번째 심볼의 i번째 샘플에 해당하는 CIR(Channel Impulse Response)--를 의미

한다. 여기서 G 는 CP(cyclic prefix)샘플 길이 이다. $z_i[k]$ 는 각 원소가 평균 0에공분산 행렬이 $\sigma^2\mathbf{I}_N$ 인 정규분포를 따르는 k번째 심볼의 가우시안노이즈 이다. 여기서 $\mathbf{F}^H$ 는 IDFT 행렬로 DFT 행렬의 허미션 행렬 의미하고 $\mathbf{I}_N$ 는 $N\times N$ 단위 행렬이다.

[0016] 1. 복구를 위한 선형 보간

[0017] 수학식 1에서 정확한 채널 추정을 위해서는 채널 벡터 $\mathbf{h}_i[k]$ 를 모든 i에 대해서 알아야 한다. 만약 CIR의 최대 지연 채널 탭이 CP 길이인 G 를 넘지 않는다는 가정이 성립한다고 하면 추정해야 하는 변수는 $G\times N$ 개가 되고, 선형 방정식은 주파수 축에서 모든 파일럿을 사용한다고 해도 N개가 된다. 따라서 선형 방정식의 단일해를 구할 수 없다. 따라서 본 발명은 첫 샘플의 CIR과 마지막 샘플의 CIR을 이용한 근사화로 압축 센싱 측정 행렬을 만드는 방법에 대해 수학식 3과 같이 설명 할 수 있다.

수학식 3

[0018]

$$\begin{bmatrix} \mathbf{h}_0[k] \\ \mathbf{h}_1[k] \\ \vdots \\ \mathbf{h}_{N-1}[k] \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \mathbf{I}_G & \mathbf{0}_G \\ \frac{N-2}{(N-1)}\mathbf{I}_G & \frac{1}{(N-1)}\mathbf{I}_G \\ \vdots & \vdots \\ \mathbf{0}_G & \mathbf{I}_G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{h}_0[k] \\ \mathbf{h}_{N-1}[k] \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \mathbf{h}_0[k] \\ \mathbf{h}_{N-1}[k] \end{bmatrix}$$

[0019] 여기서 $\mathbf{I}_G$ 는 $G\times G$ 의 단위 행렬을 의미하며,' $\mathbf{0}_G$ 는 $G\times G$ 의 영행렬을 의미한다. 근사화 행렬을 $\mathbf{A}$ 로 표시한다. 따라서 수학식 3을 수학식 1에 대입하면 수신된 OFDM 심볼은 다음의 수학식 4와 같이 쓸 수 있다. 여기서 압축 센싱 알고리즘을 이용하여 복구 하기 위해서는 수신된 주파수 축 신호 $\mathbf{Y}[k]$ 에서 파일럿이 위치한 주파수 축 신호만을 이용할 수 있게 되고 이는 다시 수학식 5와 같다.

수학식 4

[0020]

$$\mathbf{Y}[k] \approx \mathbf{F}\mathbf{B}^{[1]}[k]\mathbf{A}\begin{bmatrix} \mathbf{h}_0[k] \\ \mathbf{h}_{N-1}[k] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_0[k] \\ z_1[k] \\ \vdots \\ z_{N-1}[k] \end{bmatrix}$$

수학식 5

[0021]

$$\mathbf{P}^{[1]}\mathbf{Y}[k] \approx \mathbf{P}^{[1]}\mathbf{F}\mathbf{B}^{[1]}[k]\mathbf{A}\begin{bmatrix}\mathbf{h}_0[k] \\ \mathbf{h}_{N-1}[k]\end{bmatrix} + \mathbf{P}^{[1]}\begin{bmatrix} z_0[k] \\ z_1[k] \\ \vdots \\ z_{N-1}[k]\end{bmatrix}$$

$$\begin{cases}\left[\mathbf{P}^{[1]}\right]_{i,i} = 1 & ,i \in \mathrm{S} \\ \left[\mathbf{P}^{[1]}\right]_{i,i} = 0 & ,i \notin \mathrm{S}\end{cases}, \mathrm{S} = index\ set\ of\ pilot$$

[0022] 여기서 $[\mathbf{Q}]_{i,j}$ 는 임의의 행렬 $\mathbf{Q}$ 에 대해서 i행 j열의 원소를 의미하며, $[\mathbf{Q}]_{:,j}$ 는 임의의 행렬 $\mathbf{Q}$ 의 j열 벡터, $[\mathbf{Q}]_{i,:}$ 는 임의의 행렬 $\mathbf{Q}$ 의i행 벡터를 의미한다. $\mathbf{P}^{[1]}$ 행렬은 대각 행렬로 파일럿이 위치한 행에만 1 값을 갖고 나머지는 다 0이다. 압축 센싱 알고리즘에서 측정 행렬에 해당하는 부분은 $\mathbf{M}^{[1]} = \mathbf{P}^{[1]}\mathbf{B}^{[1]}[k]\mathbf{A}$ 으로 간주 할 수 있다. 따라서 본 수학식은 미지수의 개수가 $2G$ 이고, 파일럿 개수가 $2G$ 보다 크면 유일해를 구할 수 있다.

[0023] 1. 압축 센싱 복구 성능을 향상시키기 위한 파일럿 패턴 설계

[0024] 압축 센싱 복구 알고리즘을 향상 시키기 위해서 측정 행렬을 효과적으로 구성해야 한다. 여기서 효과적이라 함은 측정 행렬의 서로 다른 열 벡터 간의 최대 상관관계가 최소가 되는 것을 의미 한다. 측정 행렬을 디자인 하기 위해서는 두 가지로 나뉠 수 있는데, 측정 행렬은 $\mathbf{M}^{[1]} = \mathbf{P}^{[1]}\mathbf{B}^{[1]}[k]\mathbf{A}$ 이므로, 파일럿의 주파수 축에서 위치 $\mathbf{P}^{[1]}$ 와 파일럿 패턴 $\mathbf{B}^{[1]}[k]$ 이 측정행렬 $\mathbf{M}^{[1]}$ 을 구성하게 되며, 이를 수학식으로 표현하면 다음의 수학식 6과 같다.

수학식 6

[0025]

$$\mathbf{M}^{[1]*} = \min_{\mathbf{P},\mathbf{B}[k]}\max\left\langle\left[\mathbf{M}^{[1]}\right]_{:,i},\left[\mathbf{M}^{[1]}\right]_{:,j}\right\rangle, \forall i \neq j$$
$$\mathbf{X}^{H}[k]\mathbf{X}[k] \leq T$$

[0026] $\mathbf{M}^{[1]*}$ 는 수학식 6을 만족시키는 최적의 측정 행렬을 의미한다. 또한 T 는 총 전송 전력을 의미하며, $\langle \mathbf{a}, \mathbf{b} \rangle$ 는 벡터 $\mathbf{a}, \mathbf{b}$ 의 열 벡터간의 상관관계를 의미한다.

[0027] 1. 파일럿 위치와 파일럿 패턴을 분리하여 정하는 알고리즘

[0028] 처음 방법이 측정 행렬의 서로 다른 열 벡터간의 최대 상관관계를 최소화 할 수 있지만 복잡도가 높기 때문에, 파일럿 위치와 패턴을 분리하여 정하는 알고리즘을 제안한다.

[0029] 파일럿 위치를 정하는 알고리즘으로는 기존에 ICI를 고려하지 않은 송수신 모델을 가정하고 이는 수학식 7과 같다. 이 모델에서 $\mathbf{h}$ 는 한 심볼 내 에서의 채널 벡터 이다. $\mathbf{n}$ 는 노이즈 벡터이다.

수학식 7

[0030]
$$\mathbf{Y} = \mathbf{F}\mathbf{P}^{[2]}\mathbf{F}^{H}\mathbf{h} + \mathbf{n}$$

[0031] 이 모델에서는 압축 센싱을 위한 측정 행렬이 $\tilde{\mathbf{M}}^{[2]} = \mathbf{F}\mathbf{P}^{[2]}\mathbf{F}^{H}$ 파일럿 위치 행렬인 $\mathbf{P}^{[2]}$ 는 수학식8을 통해 최적 행렬을 찾는다.

수학식 8

[0032]
$$\mathbf{P}^{[2]*} = \min_{\mathbf{P}^{[2]}} \max \left\langle \left[\mathbf{M}^{[2]}\right]_{:,i}, \left[\mathbf{M}^{[2]}\right]_{:,j} \right\rangle, \forall i \neq j$$

[0033] 심볼 내에서의 ICI가 고려되지 않은 수학식 7 모델에서는 파일럿 위치만이 압축 센싱 측정 행렬의 성능을 좌우하지만 심볼 내에서의 ICI를 고려한 모델인 수학식 1에서는 파일럿 시퀀스 또한 측정 행렬을 구성하므로 파일럿 시퀀스는 수학식 8에서 구한 파일럿 위치 행렬을 사용하여 수학식 1에 대입하면 측정 행렬은 $\mathbf{M}^{[2]} = \mathbf{P}^{[2]*}\mathbf{F}\mathbf{B}[k]\mathbf{A}$ 와 같다. 이 모델에서 수학식 9를 통해 파일럿 시퀀스를 구성한다.

수학식 9

[0034]
$$\mathbf{B}[k]^{[2]*} = \min_{\mathbf{B}[k]^{[2]}} \max \left\langle \left[\mathbf{M}^{[2]}\right]_{:,i}, \left[\mathbf{M}^{[2]}\right]_{:,j} \right\rangle, \forall i \neq j$$

[0035] 1. 채널 구조를 이용한 채널 추정 근사화 방법

[0036] 수학식 3과 같이 채널 변화를 모델링 하였을 때에 $\mathbf{h}_0[k], \mathbf{h}_{N-1}[k]$ 는 $\mathbf{h}_{N-1}[k] = \mathbf{h}_0[k] + \Delta$ 로 가정 할 수 있다. 게다가 $\mathbf{h}_0[k], \mathbf{h}_{N-1}[k]$ 의 CIR 탭 위치는 같기 때문에 위의 특성을 이용하여 수학식 3을 다음 수학식 10과 같이 이용 할 수 있다.

수학식 10

[0037]
$$\mathbf{PY}[k] \approx 2\mathbf{M}^{[3]}\left[\mathbf{h}_0[k] + \frac{\Delta}{2}\right] + \mathbf{P}\begin{bmatrix} z_0[k] \\ z_1[k] \\ \vdots \\ z_{N-1}[k] \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{M}^{[3]} = \left[\mathbf{M}^{[1]}\right]_{:,1:G} + \left[\mathbf{M}^{[1]}\right]_{:,G+1:2G}$$

[0038] 여기서 $\mathbf{M}^{[3]}$ 을 새로운 측정 행렬로 생각 할 수 있다. 수학식 11과 같이 수식을 구성하게 되면, 심볼 ICI가 발생하더라도 채널 변화의 중간 값을 추정 할 수 있기 때문에 최대 도플러 양과는 별도로 평균적인 채널 값으로 사용 할 수 있다.

[0039] 위의 $\mathbf{M}^{[3]}$ 을 2와 3 방법을 통해서 측정 행렬을 구성 할 수 있다. 본 채널 추정 기법은 최대 상대적 도플러 주파수가 0.1 이하이면, 심볼내에서 채널 변화는 선형성을 유지 하기 때문에 심볼 한 중간의 채널 추정을 하는데에 이용 할 수 있고, 이는 채널 추정 값을 이용한 최대 도플러 주파수 추정에 사용 가능 하다.

[0040] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.