



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102098266 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201110074115. 1

US 7539263 B2, 2009. 05. 26,

(22) 申请日 2011. 03. 25

审查员 文娟

(73) 专利权人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁开发区东南
大学路 2 号

(72) 发明人 蒋雁翔 尤肖虎 高西奇

(74) 专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任
公司 32112

代理人 汤志武

(51) Int. Cl.

H04L 27/26(2006. 01)

H04B 7/04(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101207595 A, 2008. 06. 25,

CN 101032140 A, 2007. 09. 05,

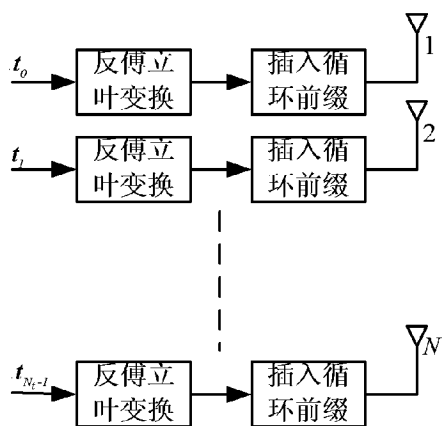
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

多输入多输出正交频分复用系统同步序列构造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种多输入多输出正交频分复用系统的同步序列构造方法,该方法包括如下步骤:构造长度为 P 的 chu 序列 s,其中, $P < N$, 且 $(N)_P = 0$, $(g)_P$ 是模 P 算符, $(N)_P$ 表示关于 N 做模 P 运算, N 是同步序列的长度;对 chu 序列 s 做循环移位操作,得到移位序列 $s^{(\mu M)}$,其中, $g^{(g)}$ 是循环移位算符, $s^{(\mu M)}$ 表示对 chu 序列 s 做循环向下移 μM 位所得到的矢量, M 是移位参数, μ 代表发送天线的索引, $M = \lfloor P / N_t \rfloor$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 是取整算符, $\lfloor P / N_t \rfloor$ 代表对 P/N_t 进行取整,设计参数 N_t 使 $N_t \leq N_t < P$, N_t 代表发送天线的数目。本发明所提出的同步序列构造方法生成简单、系统负载低。



1. 一种多输入多输出正交频分复用系统的同步序列构造方法,其特征在于:该方法包括如下步骤:

1) 构造长度为 P 的 chu 序列 s, $P < N$, 且 $(N)_p = 0$, $(N)_p$ 表示关于 N 做模 P 运算, N 是同步序列的长度;

2) 对 chu 序列 s 做循环移位操作, 得到移位序列 $s^{(\mu M)}$, 其中, $\cdot^{(\cdot)}$ 是循环移位算符, $s^{(\mu M)}$ 表示对 chu 序列 s 做循环向下移 μM 位所得到的矢量, M 是移位参数, μ 与发送天线的索引值相关, $\mu + 1$ 代表发送天线的索引值, $M = \lfloor P/N_t \rfloor$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 是取整算符, $\lfloor P/N_t \rfloor$ 代表对 P/N_t 进行取整, 设计参数 N_t 使 $N_t \leq N_t < P$, N_t 代表发送天线的数目;

3) 对移位序列 $s^{(\mu M)}$ 做离散傅立叶变换, 得到频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$, $\tilde{\mathbf{s}}_\mu = \sqrt{Q/N_t} \mathbf{F}_p \mathbf{s}^{(\mu M)}$, 其中, \mathbf{F}_p 是归一化离散傅立叶变换矩阵, $Q = N/P$, 并有 $Q > N_t$, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, P 代表 chu 序列 s 的长度, N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目;

4) 对频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$ 做矩阵运算, 得到相应于第 $\mu + 1$ 根发送天线的训练序列 $\tilde{\mathbf{t}}_\mu$, $\tilde{\mathbf{t}}_\mu = \mathbf{\Theta}_{i_\mu} \tilde{\mathbf{s}}_\mu$, 其中, $\mathbf{\Theta}_{i_\mu} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu} & \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu+Q} & \dots & \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu+(P-1)Q} \end{bmatrix}$, $\mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu}$ 表示单位阵 \mathbf{I}_N 的第 i_μ 个列矢量, i_μ 表示相应于第 $\mu + 1$ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, μ 与发送天线的索引值相关, $\mu + 1$ 代表发送天线的索引值, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, P 代表 chu 序列 s 的长度, N 是同步序列的长度, $0 \leq i_0 < i_1 < \dots < i_\mu < \dots < i_{N_t-1} < Q$, N_t 代表发送天线数目;

根据上述同步序列构造方法, 相应于第 $\mu + 1$ 根发送天线的训练序列 $\tilde{\mathbf{t}}_\mu$ 应满足的条件是:

a) 发送天线能量均匀分配准则: $\|\tilde{\mathbf{s}}_\mu\|^2 = N/N_t$; 频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$, N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, $\|\cdot\|^2$ 表示相应矢量的 2 范数;

b) 频偏估计一致性准则: $(N - N_t P) \geq N_t P$, $P \geq L$, $(\mathbf{1}_Q - \mathbf{l})^T \mathbf{l}^{(q)} > 0$, $\forall q \in \{1, 2, \dots, Q-1\}$,

其中, L 表示信道的最大多径时延, $\mathbf{1}_Q$ 表示 $Q \times 1$ 的全 1 矢量, $\mathbf{l} = \sum_{\mu=0}^{N_t-1} \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu}$ 表示 $Q \times 1$ 的非零导频矢量; N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, P 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, T 代表转置运算, i_μ 表示相应于第 $\mu + 1$ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, μ 与发送天线的索引值相关, $\mu + 1$ 代表发送天线的索引值;

c) 整数频偏估计可靠性准则: $\max_{\mu \neq \mu'} \min \left\{ (i_{\mu'} - i_\mu)_Q \right\}$, $\max_{1 \leq q \leq Q-1} \min \left\{ (\mathbf{1}_Q - \mathbf{l})^T \mathbf{l}^{(q)} \right\}$, i_μ 表示相应于第 $\mu + 1$ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, $i_{\mu'}$ 表示相应于第 $\mu' + 1$

根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, T 代表转置运算, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距,

d) 小数频偏估计简化准则: $N_r P > Q$, P 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, N_r 代表接收天线的数目。

多输入多输出正交频分复用系统同步序列构造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种可应用于多输入多输出正交频分复用系统中的同步序列构造方法,属于移动通信中的同步技术领域。

背景技术

[0002] 正交频分复用技术(OFDM,orthogonal frequency-division multiplexing)由于具有频谱效率高、抗频率选择性衰落和窄带干扰的优点,非常适合在无线通信信道传输,也是当前新一代移动通信系统中采用的主流技术。多输入多输出技术和 OFDM 技术相结合,能提供更大的频谱效率、更高的数据速率;在当前频谱资源越来越紧张、对数据速率要求越来越高的形势下,多输入多输出 OFDM 技术具有更为广阔的应用前景。

[0003] 但是采用 OFDM 技术的系统都有一个共同的缺点,对同步误差尤其是载波频偏非常敏感。由于 OFDM 系统各子信道之间的频谱相互覆盖,这就对它们之间的正交性提出了严格的要求。然而,由于无线信道存在时变性,在传输过程中会出现无线信号的频率偏移,例如多普勒频移,或者发射机载波频率与接收机本地振荡器之间存在的频率偏差。只占子载波间隔一小部分的载波频偏都会使得 OFDM 系统子载波之间的正交性遭到破坏,进而产生子载波间干扰,从而导致 OFDM 接收机性能的显著下降。因此,对于 OFDM 接收机来说,载波频偏的估计与训练序列的设计是至关重要的,设计合适的训练序列可以明显改善估计性能并适当降低算法复杂度。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明的目的是在多输入多输出正交频分复用系统中,提供一种可以有效估计频偏的同步序列构造方法。所提出的同步序列构造方法生成简单、系统负载低;基于所提出的同步序列可实现环境自适应低复杂度频偏估计,且可实现多种简化频偏估计算法;通过序列参数的设计可最大化频偏估计范围、最优化频偏估计性能,并保证频偏估计的一致性。

[0005] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明提供一种多输入多输出正交频分复用系统的同步序列构造方法,该方法包括如下步骤:

[0006] 1) 构造长度为 P 的 chu 序列 s ,其中, $P < N$,且 $(N)_P = 0$, $(N)_P$ 表示关于 N 做模 P 运算, N 是同步序列的长度;

[0007] 2) 对 chu 序列 s 做循环移位操作,得到移位序列 $s^{(\mu M)}$,其中, $\cdot^{(\cdot)}$ 是循环移位算符, $s^{(\mu M)}$ 表示对 chu 序列 s 做循环向下移 μM 位所得到的向量, M 是移位参数, μ 代表发送天线的索引, $M = \lfloor P/N_t \rfloor$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 是取整算符, $\lfloor P/N_t \rfloor$ 代表对 P/N_t 进行取整,设计参数 N_t 使 $N_t \leq N_t < P$, N_t 代表发送天线的数目;

[0008] 3) 对移位序列 $s^{(\mu M)}$ 做离散傅立叶变换,得到频域序列 \tilde{s}_μ , $\tilde{s}_\mu = \sqrt{Q/N_t} F_P s^{(\mu M)}$,其中, F_P 是归一化离散傅立叶变换矩阵, $Q = N/P$,并有 $Q > N_t$, Q 代表相应于发送天线上的训

练序列中相邻非零导频之间的间距, P 代表 chu 序列 s 的长度, N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目;

[0009] 4) 对频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$ 做矩阵运算, 得到相应于第 μ 根发送天线的训练序列 $\tilde{\mathbf{t}}_\mu$, $\tilde{\mathbf{t}}_\mu = \mathbf{\Theta}_{i_\mu} \tilde{\mathbf{s}}_\mu$, 其中, $\mathbf{\Theta}_{i_\mu} = [\mathbf{e}_N^{i_\mu}, \mathbf{e}_N^{i_\mu+Q}, \dots, \mathbf{e}_N^{i_\mu+(P-1)Q}]$, $\mathbf{e}_N^{i_\mu}$ 表示单位阵 I_N 的第 i_μ 个列矢量, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, μ 代表发送天线的索引, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, P 代表 chu 序列 s 的长度, N 是同步序列的长度, $0 \leq i_0 < i_1 < \dots < i_\mu < \dots < i_{N_t-1} < Q$ 。

[0010] 得到相应于第 μ 根发送天线的训练序列 $\tilde{\mathbf{t}}_\mu$ 应满足的条件是:

[0011] a) 发送天线能量均匀分配准则: $\|\tilde{\mathbf{s}}_\mu\|^2 = N/N_t$, 频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$, N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, $\|\cdot\|$ 表示相应矢量的 2 范数;

[0012] b) 频偏估计一致性准则: $(N - N_t P) \geq N_t P, P \geq L, (\mathbf{1}_Q - \mathbf{1})^T \mathbf{l}^{(q)} > 0, \forall q \in \{1, 2, \dots, Q-1\}$,

其中, L 表示信道的最大多径时延, $\mathbf{1}_Q$ 表示 $Q \times 1$ 的全 1 矢量, $\mathbf{l} = \sum_{\mu=0}^{N_t-1} \mathbf{e}_Q^{i_\mu}$ 表示 $Q \times 1$ 的非零导频矢量; N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, P 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, T 代表转置运算, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, μ 代表发送天线的索引;

[0013] c) 整数频偏估计可靠性准则: $\max_{\mu \neq \mu'} \min \{(i_{\mu'} - i_\mu)_Q\}, \max_{1 \leq q \leq Q-1} \min \{(\mathbf{1}_Q - \mathbf{1})^T \mathbf{l}^{(q)}\}$, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, $i_{\mu'}$ 表示相应于第 μ' 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, T 代表转置运算, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距,

[0014] d) 小数频偏估计简化准则: $N_t P > Q, P$ 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, N_t 代表接收天线的数目。

[0015] 有益效果: 本发明所提出的同步序列构造方法, 仅需对 chu 基础序列做循环移位操作、离散傅立叶变换与插零操作, 即可生成对应各发送天线的训练序列, 序列构造方法简单且系统负载小。

[0016] 本发明所提出的同步序列构造方法, 基于其频偏估计一致性准则, 可以保证接收机频偏估计在足够大的频偏范围内 $(-[Q/2], Q-[Q/2])$ 都是一致、可识别的;

[0017] 本发明所提出的同步序列构造方法, 基于其整数频偏估计可靠性准则, 可以实现整数频偏的简化计算, 特别地, 在友善信道环境中, 通过简单的二值逻辑运算即可实现整数频偏估计的低复杂度实现;

[0018] 本发明所提出的同步序列构造方法, 基于其小数频偏估计简化准则与所构造序列的周期属性, 可以根据实际需要灵活采用多种方法实现低复杂度高精度小数频偏估计;

[0019] 本发明所提出的同步序列构造方法,适于集中式多天线系统、分布式多天线系统、协同多中继系统、协同多用户系统等符合多输入多输出基本特征的通信系统。

附图说明

[0020] 图 1 是多输入多输出正交频分复用系统发射机框图；

[0021] 图 2 是多输入多输出正交频分复用系统同步序列结构示意图；

[0022] 图 3 是多输入多输出正交频分复用系统同步序列构造方法的实现结构示意图。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明做进一步说明。

[0024] 本发明是基于多输入多输出正交频分复用技术(OFDM, orthogonal frequency-division multiplexing)系统,针对该系统所存在的频率偏移这一问题所提出来的。

[0025] 多输入多输出正交频分复用系统的同步序列构造方法,该方法包括如下步骤：

[0026] 1) 构造长度为 P 的 chu 序列 s,其中, $P < N$, 且 $(N)_p = 0$, $(N)_p$ 表示关于 N 做模 P 运算, N 是同步序列的长度；

[0027] 2) 对 chu 序列 s 做循环移位操作,得到移位序列 $s^{(\mu M)}$,其中, $\cdot^{(\cdot)}$ 是循环移位算符, $s^{(\mu M)}$ 表示对 chu 序列 s 做循环向下移 μM 位所得到的向量, M 是移位参数, μ 代表发送天线的索引, $M = \lfloor P/N_t \rfloor$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 是取整算符, $\lfloor P/N_t \rfloor$ 代表对 P/N_t 进行取整,设计参数 N_t 使 $N_t \leq N_t < P$, N_t 代表发送天线的数目；

[0028] 3) 对移位序列 $s^{(\mu M)}$ 做离散傅立叶变换,得到频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$, $\tilde{\mathbf{s}}_\mu = \sqrt{Q/N_t} \mathbf{F}_p \mathbf{s}^{(\mu M)}$,其中, \mathbf{F}_p 是归一化离散傅立叶变换矩阵, $Q = N/P$, 并有 $Q > N_t$, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, P 代表 chu 序列 s 的长度, N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目；

[0029] 4) 对频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$ 做矩阵运算,得到相应于第 μ 根发送天线的训练序列 $\tilde{\mathbf{t}}_\mu$, $\tilde{\mathbf{t}}_\mu = \mathbf{\Theta}_{i_\mu} \tilde{\mathbf{s}}_\mu$, 其中, $\mathbf{\Theta}_{i_\mu} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu} & \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu+Q} & \dots & \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu+(P-1)Q} \end{bmatrix}$, $\mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu}$ 表示单位阵 \mathbf{I}_{N_t} 的第 i_μ 个列矢量, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, μ 代表发送天线的索引, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, P 代表 chu 序列 s 的长度, N 是同步序列的长度, $0 \leq i_0 < i_1 < \dots < i_{N_t-1} < Q$ 。

[0030] a) 发送天线能量均匀分配准则: $\|\tilde{\mathbf{s}}_\mu\|^2 = N/N_t$; 频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$, N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, $\|\cdot\|$ 表示相应矢量的 2 范数；

[0031] b) 频偏估计一致性准则: $(N - N_t P) \geq N_t P$, $P \geq L$, $(\mathbf{1}_Q - \mathbf{1})^T \mathbf{1}^{(q)} > 0$, $\forall q \in \{1, 2, \dots, Q-1\}$,

其中, L 表示信道的最大多径时延, $\mathbf{1}_Q$ 表示 $Q \times 1$ 的全 1 矢量, $\mathbf{1} = \sum_{\mu=0}^{N_t-1} \mathbf{e}_{N_t}^{i_\mu}$ 表示 $Q \times 1$ 的非零导频矢量; N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, P 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应

于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, T 代表转置运算, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, μ 代表发送天线的索引;

[0032] c) 整数频偏估计可靠性准则: $\max_{\mu \neq \mu'} \left\{ (i_\mu - i_{\mu'})_Q \right\}, \max_{1 \leq q \leq Q-1} \left\{ (\mathbf{1}_Q - \mathbf{1})^T \mathbf{1}^{(q)} \right\}$, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, $i_{\mu'}$ 表示相应于第 μ' 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, T 代表转置运算, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距,

[0033] d) 小数频偏估计简化准则: $N_t P > Q$, P 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, N_t 代表接收天线的数目。

[0034] 本发明所考虑的多输入多输出 OFDM 系统, 其发送天线和接收天线数目分别设为 N_t 和 N_r 。设一个 OFDM 符号或同步训练序列的长度为 N , 令 μ 表示发送天线的索引, $0 \leq \mu < N_t$ 。

[0035] 基于上述关于系统与训练序列的定义, 本发明的多输入多输出 OFDM 系统同步序列构造的方法为:

[0036] 1) 构造长度为 P 的 chu 序列 s , 其中, $P < N$, 且 $(N)_P = 0$, $(\cdot)_P$ 是模 P 算符; chu 序列为无线通信领域广泛采用的一种训练序列, 且相应中文文献也都直接称为 chu 序列;

[0037] 2) 对 s 做循环移位操作, 得到序列 $s^{(\mu M)}$, 其中, $\cdot^{(\cdot)}$ 是循环移位算符, M 是移位参数, $M = \lfloor P / N_t \rfloor$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 是取整算符, 设计参数 N_t 使 $N_t \leq N_t < P$;

[0038] 3) 对 $s^{(\mu M)}$ 做离散傅立叶变换, 得到序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$, $\tilde{\mathbf{s}}_\mu = \sqrt{Q / N_t} \mathbf{F}_P \mathbf{s}^{(\mu M)}$, 其中, \mathbf{F}_P 是归一化离散傅立叶变换矩阵, $Q = N / P$, 并有 $Q > N_t$;

[0039] 4) 对 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$ 做矩阵运算, 得到相应于第 μ 根发送天线的训练序列 $\tilde{\mathbf{t}}_\mu$, $\tilde{\mathbf{t}}_\mu = \Theta_{i_\mu} \tilde{\mathbf{s}}_\mu$, 其中, $\Theta_{i_\mu} = \left[\mathbf{e}_N^{i_\mu}, \mathbf{e}_N^{i_\mu+Q}, \dots, \mathbf{e}_N^{i_\mu+(P-1)Q} \right]$, $\mathbf{e}_N^{i_\mu}$ 表示单位阵 \mathbf{I}_N 的第 i_μ 个列矢量, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, $0 \leq i_0 < i_1 < \dots < i_\mu < \dots < i_{N_t-1} < Q$ 。

[0040] 其同步序列设计方法如下:

[0041] a) 发送天线能量均匀分配准则: $\|\tilde{\mathbf{s}}_\mu\|^2 = N / N_t$; 频域序列 $\tilde{\mathbf{s}}_\mu$, N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, $\|\cdot\|$ 表示相应矢量的 2 范数;

[0042] b) 频偏估计一致性准则: $(N - N_t P) \geq N_t P$, $P \geq L$, $(\mathbf{1}_Q - \mathbf{1})^T \mathbf{1}^{(q)} > 0$, $\forall q \in \{1, 2, \dots, Q-1\}$,

其中, L 表示信道的最大多径时延, $\mathbf{1}_Q$ 表示 $Q \times 1$ 的全 1 矢量, $\mathbf{1} = \sum_{\mu=0}^{N_t-1} \mathbf{e}_Q^{i_\mu}$ 表示 $Q \times 1$ 的非零导频

矢量; N 是同步序列的长度, N_t 代表发送天线数目, P 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, T 代表转置运算, i_μ 表示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, μ 代表发送天线的索引;

[0043] c) 整数频偏估计可靠性准则: $\max_{\mu \neq \mu'} \min \left\{ (i_{\mu'} - i_{\mu})_Q \right\}, \max_{1 \leq q \leq Q-1} \min \left\{ (\mathbf{1}_Q - \mathbf{1})^T \mathbf{1}^{(q)} \right\}$, i_{μ} 表

示相应于第 μ 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, $i_{\mu'}$ 表示相应于第 μ' 根发送天线的训练序列的第一个非零元素的索引, T 代表转置运算, q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的零导频的索引, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距,

[0044] d) 小数频偏估计简化准则: $N_r P > Q$, P 代表 chu 序列 s 的长度, Q 代表相应于发送天线上的训练序列中相邻非零导频之间的间距, N_r 代表接收天线的数目。

[0045] 基于上述同步序列的构造方法, 根据图 2 所示的同步序列结构示意图和图 3 所示的同步序列构造方法的实现结构示意图, 给出所提出同步序列的具体实现步骤如下:

[0046] 1) 构造长度为 P 的 chu 序列 s ;

[0047] 2) 对 s 做循环移位操作, 得到序列 $s^{(\mu M)}$;

[0048] 3) 对 $s^{(\mu M)}$ 做离散傅立叶变换, 得到序列 \tilde{s}_{μ} ;

[0049] 4) 对 \tilde{s}_{μ} 做插零运算, 得到相应于第 μ 根发送天线的训练序列 $\tilde{\mathbf{t}}_{\mu}$ 。

[0050] 以上所述仅是本实用新型的优选实施方式, 应当指出: 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本实用新型原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

