



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110212951 A
(43)申请公布日 2019.09.06

(21)申请号 201910342399.4

(22)申请日 2019.04.26

(71)申请人 南京邮电大学

地址 210003 江苏省南京市鼓楼区新模范
马路66号

(72)发明人 解培中 曾强 李汀

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限
公司 32224

代理人 董建林

(51) Int. Cl.

H04B 7/0413(2017.01)

H04B 7/0408(2017.01)

H04L 25/02(2006.01)

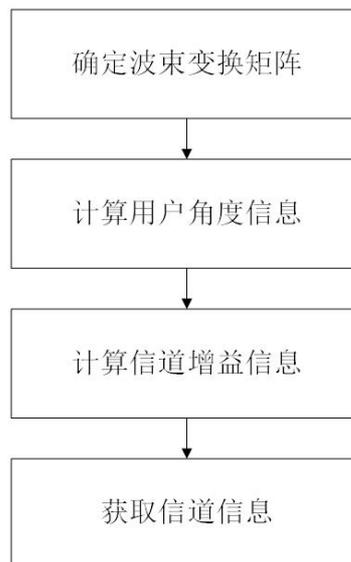
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法

(57)摘要

本发明公开了信号处理技术领域的一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,旨在解决现有技术中信道估计的性能达不到要求,信道信息估计的准确度不高的技术问题,一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,包括以下步骤:确定波束变换矩阵;获取用户的角度信息;获取信道增益信息;通过角度信息和信道增益信息,获取完整的信道信息。本发明提出了一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,相比传统基于导频的最小二乘(LS)信道估计方法,本发明所述方法具有更好的信道估计性能,获取信道信息的准确度更高,也更加适用于大规模MIMO背景下的信道估计。



1. 一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,其特征是,包括以下步骤:
 确定波束变换矩阵;
 获取从用户到基站的角度信息;
 获取信道增益信息;
 通过角度信息和信道增益信息,获取完整的信道信息。

2. 根据权利要求1所述的基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,其特征是,确定波束变换矩阵的方法如下:

选择Butler矩阵输出功率较大的B个端口;
 从Butler矩阵 T_{Butler} 中选择对应的列数构成矩阵W,该矩阵就是波束变换矩阵。

3. 根据权利要求1所述的基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,其特征是,获取用户角度信息的方法如下:

采用MUSIC算法求出空间谱;
 通过搜索谱峰求出用户角度信息。

4. 根据权利要求1所述的基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,其特征是,获取信道增益信息的方法包括:

由用户的角度信息,确定阵列流行矢量;
 在已知阵列流行矢量的条件下,利用最小二乘法来求取信道增益信息。

5. 根据权利要求1所述的基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,其特征是,所述信道增益信息 α 可以求取为:

$$\alpha = \sqrt{L}(A^H A)^{-1} A^H Y S^H \quad (12)$$

其中,Y表示接收信号矩阵,S表示训练序列矩阵, α 表示估计出来的信道增益矢量, $A = [a(\theta_{k1}), \dots, a(\theta_{k1}), \dots, a(\theta_{kL})]$, $a(\theta_{kl})$ 表示阵列流行矢量, θ_{kl} 表示用户k到基站第l条路径的角度估计值, $k=1, 2, \dots, K$,K表示用户总数, $l=1, 2, \dots, L$,L表示总的路径数, $[\cdot]^H$ 表示求矩阵或向量的共轭, $[\cdot]^{-1}$ 表示矩阵或向量求逆。

6. 根据权利要求1所述的基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,其特征是,所述信道信息表示为:

$$H = \frac{1}{L} A(\theta_{kl}) \alpha \quad (13)$$

其中, $k=1, 2, \dots, K$,K表示用户总数, $l=1, 2, \dots, L$,L表示总的路径数,H表示估计得到的信道矩阵, $A(\theta_{kl}) = [a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kL})]$, $a(\theta_{kl})$ 表示阵列流行矢量, α 表示估计出来的信道增益矢量, θ_{kl} 表示用户k到基站第l条路径的角度估计值。

一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法

技术领域

[0001] 本发明属于信号处理技术领域,具体涉及一种基于Butler矩阵的大规模 MIMO信道估计方法。

背景技术

[0002] 目前大规模多输入多输出(MIMO)已被认为是下一代无线通信的关键技术,也是5G无线通信中重要的研究内容之一。虽然在理论上大规模MIMO技术通过在基站端增加天线的数量能够极大的增加系统的频谱效率、能量效率和系统容量,但是也由于在基站端天线数的增多、天线间隔的减小导致天线间的干扰更严重。同时,无线信道由于通信环境的复杂多变而或多或少的在时间域、频率域和空间域上呈现信道选择性衰落,而这些未知的信道衰落也会严重地影响整个通信系统的通信质量。因此,为了在接收端能够准确地得到发送端发送的原始数据信号,则必须先获取有效的准确的信道状态信息(Channel State Information,CSI),这就需要进行准确的信道参数估计,然而为了能充分利用大规模MIMO的优势,基站端能否获取准确的信道状态信息(CSI)就变得至关重要。

[0003] 信道估计技术从是否需要借助先验信息来辅助信道参数的估计大体上可分为盲估计和非盲估计两大类。这里研究的是需要借助先验信息来辅助信道参数的信道估计方法,例如基于导频的最小二乘(LS)信道估计方法,但在大规模MIMO系统背景下,传统算法的性能达不到要求,信道信息估计的准确度不高,因此研究如何提高信道估计的性能成为一个亟待解决的问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,以解决现有技术中信道估计的性能达不到要求,信道信息估计的准确度不高的技术问题。

[0005] 为达到上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法,包括以下步骤:确定波束变换矩阵;获取用户的角度信息;获取的信道增益信息;通过角度信息和信道增益信息,获取完整的信道信息。

[0006] 确定波束变换矩阵的方法如下:选择Butler矩阵输出功率较大的B个端口;从Butler矩阵 T_{Butler} 中选择对应的列数构成矩阵W,该矩阵就是波束变换矩阵。

[0007] 获取用户角度信息的方法如下:采用MUSIC算法求出空间谱;通过搜索谱峰求出用户角度信息。

[0008] 获取信道增益信息的方法包括:由用户的角度信息,确定阵列流行矢量;在已知阵列流行矢量的条件下,利用最小二乘法来求取信道增益信息。

[0009] 所述信道增益信息 α 可以求取为:

$$[0010] \quad \alpha = \sqrt{L}(A^H A)^{-1} A^H Y S^H \quad (12)$$

[0011] 其中,Y表示接收信号矩阵,S表示训练序列矩阵, α 表示估计出来的信道增益矢量, $A = [a(\theta_{k1}), \dots, a(\theta_{k1}), \dots, a(\theta_{kL})]$, $a(\theta_{kl})$ 表示阵列流行矢量, θ_{kl} 表示用户k到基站第l

条路径的角度估计值, $k=1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数, $l=1, 2, \dots, L$, L 表示总的路径数, $[\cdot]^H$ 表示求矩阵或向量的共轭, $[\cdot]^{-1}$ 表示矩阵或向量求逆。

[0012] 所述信道信息表示为:

$$[0013] \quad \mathbf{H} = \frac{1}{L} \mathbf{A}(\theta_{kl}) \boldsymbol{\alpha} \quad (13)$$

[0014] 其中, \mathbf{H} 表示估计得到的信道矩阵, $k=1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数, $l=1, 2, \dots, L$, L 表示总的路径数, $\mathbf{A}(\theta_{kl}) = [a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kl})]$, $a(\theta_{kl})$ 表示阵列流形矢量, $\boldsymbol{\alpha}$ 表示估计出来的信道增益矢量, θ_{kl} 表示用户 k 到基站第 l 条路径的角度估计值。

[0015] 与现有技术相比, 本发明所达到的有益效果: 本发明提出了一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法, 相比传统基于导频的最小二乘(LS)信道估计方法, 本发明所述方法具有更好的信道估计性能, 获取信道信息的准确度更高, 也更加适用于大规模MIMO背景下的信道估计。

附图说明

[0016] 图1是本发明实施例提供的一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法的流程图;

[0017] 图2是本发明实施例提供的一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法在不同信噪比下与现有技术中使用的算法的信道估计性能对比图;

[0018] 图3是本发明实施例提供的一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法在不同导频数量下与现有技术中使用的算法的性能随着信噪比变化的对比图;

[0019] 图4是本发明实施例提供的一种基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法在不同信噪比下与现有技术中使用的算法误码率的对比图。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图对本发明作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案, 而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0021] 图1所示为本发明基于Butler矩阵的大规模MIMO信道估计方法的流程图。在用户数为 K , 基站端天线数目为 M 的大规模MIMO系统中, 具体包括以下步骤:

[0022] a、确定波束变换矩阵

[0023] N 阶Butler矩阵的第 n 个输入端口和第 m 个输出端口的变换函数为:

$$[0024] \quad T_{mn} = \frac{1}{\sqrt{N}} e^{-j \frac{2\pi}{N} (m - \frac{N+1}{2})(n - \frac{N+1}{2})} \quad (m, n=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

[0025] 其中, $j = \sqrt{-1}$;

[0026] 则Butler矩阵形式为 $\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & \dots & T_{1N} \\ T_{21} & T_{22} & \dots & T_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{N1} & T_{N2} & \dots & T_{NN} \end{bmatrix}$, 其中 N 的取值为基站端天线数 M ,

T_{mn} 表示矩阵 \mathbf{T} 中第 m 行 n 列的元素。

[0027] Butler矩阵是一种波束变换矩阵,这种变换本身并不降低维数,降低信号维数可以只选取若干个输出端口,其输出信号就是波束空间信号。信号输出端口可以基于输出功率的大小来选择,选择较大的端口,而波束变换矩阵由Butler矩阵 T_{Butler} 的若干列构成。选择Butler矩阵输出功率较大的B个端口。从Butler矩阵 T_{Butler} 选择对应的列数构成矩阵W,该矩阵就是波束变换矩阵。

[0028] b、计算用户角度信息

[0029] 为进一步阐述本发明所述方法,以窄带信号为例,窄带信号包络变换缓慢,所有信号的频率相同都为f,对应的波长为 $\lambda=v/f$,v为波速。对于均匀线阵(ULA),天线数为M,天线阵的接收信号为:

$$[0030] \quad X(t) = A(\theta)S(t) + N(t) \quad (2)$$

[0031] 其中 $X(t)$ 表示为 $M \times 1$ 维接收数据矢量,M表示基站端天线数目; $A(\theta) = [a_1, a_2, \dots, a_L]$, $a_i = [1, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda}\sin\theta_i}, \dots, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda}(M-1)\sin\theta_i}]^T$, $\theta = [\theta_1, \dots, \theta_i, \dots, \theta_L]$, θ_i 表示路径i的实际角度信息, $i=1, 2, \dots, L$,L表示总的路径数,M表示基站端天线数目,d表示基站端天线的间隔, λ 表示信号的波长, $j = \sqrt{-1}$, $[\cdot]^T$ 表示矩阵或向量的转置; $S(t)$ 表示空间信号的 $L \times 1$ 维矢量,L表示总的路径数; $N(t)$ 表示 $M \times 1$ 噪声矢量,M表示基站端天线数目,它服从于高斯分布。

[0032] 接收信号 $X(t)$ 的协方差矩阵为

$$[0033] \quad R_x = E\{X(t)X^H(t)\} = A(\theta)R_sA^H(\theta) + \sigma^2I \quad (3)$$

[0034] 其中 $R_s = E\{S(t)S^H(t)\}$, $S(t)$ 表示空间信号矢量, $X(t)$ 表示接收信号矢量, $A(\theta) = [a_1, a_2, \dots, a_L]$,L表示总的路径数, $E\{\cdot\}$ 表示统计期望算子, $[\cdot]^H$ 表示求矩阵或向量的共轭, σ^2 表示噪声功率,I表示单位矩阵。

[0035] 其输出波束空间信号为:

$$[0036] \quad Y(t) = W^H X(t) \quad (4)$$

[0037] 其中,W表示波束变换矩阵, $X(t)$ 表示接收信号矢量, $[\cdot]^H$ 表示求矩阵或向量的共轭。它的协方差矩阵为:

$$[0038] \quad R_y = E\{Y(t)Y^H(t)\} = W^H R_x W \quad (5)$$

[0039] 其中, $E\{\cdot\}$ 表示统计期望算子,W表示波束变换矩阵, $Y(t)$ 表示波束空间信号, $[\cdot]^H$ 表示求矩阵或向量的共轭, R_x 表示接收信号的协方差矩阵, R_y 表示波束空间信号的协方差矩阵。

[0040] 对 R_y 特征分解可有波束空间噪声子空间 U_{Bn} ,则波束空间MUSIC算法公式可以定义为:

$$[0041] \quad P_{B-MUSIC} = \frac{1}{[W^H a(\theta)]^H U_{Bn} U_{Bn}^H W^H a(\theta)} \quad (6)$$

[0042] 其中,W表示波束变换矩阵, $a(\theta) = [1, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda}\sin\theta}, \dots, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda}(M-1)\sin\theta}]^T$, $\theta = [\theta_1, \dots, \theta_i, \dots, \theta_L]$, θ_i 表示路径i的实际角度信息, $i=1, 2, \dots, L$,L表示总的路径数, $j = \sqrt{-1}$, $[\cdot]^T$ 表示矩阵或向量的转置, $[\cdot]^H$ 表示求矩阵或向量的共轭,M表示基站端天线数目,d表示基站端天线的间隔, λ 表示信号的波长。

[0043] 对 $P_{B-MUSIC}$ 进行谱峰搜索,找出极大值点对应的角度就是信号的入射方向,从而可以求出用户角度信息估计值。

[0044] c、计算信道增益信息

[0045] 在大规模MIMO系统中,基站(BS)端部署均匀线性阵列,天线数目 $M \gg 1$, K 个单天线用户也随机分布在这些区域内。为了更好的阐述本发明所述方法,以信道平坦时变信道为例具体说明获取信道增益信息的方法。

[0046] 从用户 k ($k=1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数)到基站(BS)的传播路径数被认为有 L ($L \gg 1$)条,相应的 $(M \times 1)$ 上行链路信道可以被表示为:

$$[0047] \quad \mathbf{h}_k = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \alpha_{kl} \mathbf{a}(\theta_{kl}) \quad (7)$$

[0048] α_{kl} 表示用户 k 到基站第 l 条路径的实际复增益, $\mathbf{a}(\theta_{kl})$ 表示阵列流形矢量, $\Sigma\{\cdot\}$ 表示求和,其有如下形式

$$[0049] \quad \mathbf{a}(\theta_{kl}) = \left[1, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta_{kl}}, \dots, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} (M-1) \sin \theta_{kl}} \right]^T \quad (8)$$

[0050] 其中, $j = \sqrt{-1}$, d 表示天线之间的间隔距离, M 表示基站端天线数量, $l=1, 2, \dots, L$, L 表示总的路径数, λ 表示信号波长, θ_{kl} 表示用户 k 到基站第 l 条路径的实际角度信息, $[\cdot]^T$ 表示矩阵或向量的转置。

[0051] 用户 k ($k=1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数)到基站(BS)端信道的矢量矩阵形式可以表示如下:

$$[0052] \quad \mathbf{H} = \frac{1}{L} \mathbf{A} \boldsymbol{\alpha} \quad (9)$$

[0053] 其中, $\mathbf{A}(\theta_{kl}) = [\mathbf{a}(\theta_{kl}), \dots, \mathbf{a}(\theta_{kl}), \dots, \mathbf{a}(\theta_{kl})]$, $\boldsymbol{\alpha} = [\alpha_{k1}, \dots, \alpha_{k1}, \dots, \alpha_{kL}]^T$, θ_{kl} 表示用户 k 到基站第 l 条路径的实际角度信息, α_{kl} 表示用户 k 到基站的第 l 条路径的实际复增益, $k=1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数, $l=1, 2, \dots, L$, L 表示总的路径数。 $[\cdot]^T$ 表示矩阵或向量的转置。

[0054] 单个用户,导频序列长度为 p ,基站(BS)端的接收信号为:

$$[0055] \quad \mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{S} + \mathbf{N} \quad (10)$$

[0056] 其中 \mathbf{H} 表示实际的上行链路信道矩阵, \mathbf{S} 表示训练序列矩阵, \mathbf{N} 表示高斯白噪声矩阵。

[0057] 为了估计上行链路信道每条路径的信道增益,基站(BS)端需要知道用户 k ($k=1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数)到基站端各条路径的角度信息。基站(BS)端能够被表示为:

$$[0058] \quad \mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{S} + \mathbf{N} = \frac{1}{L} \mathbf{A} \boldsymbol{\alpha} \mathbf{S} + \mathbf{N} \quad (11)$$

[0059] 其中, \mathbf{Y} 表示接收信号矩阵, \mathbf{H} 表示实际的上行链路信道矩阵, $\mathbf{A}(\theta_{kl}) = [\mathbf{a}(\theta_{kl}), \dots, \mathbf{a}(\theta_{kl}), \dots, \mathbf{a}(\theta_{kl})]$, $\boldsymbol{\alpha} = [\alpha_{k1}, \dots, \alpha_{k1}, \dots, \alpha_{kL}]^T$, α_{kl} 表示用户 k 到基站的第 l 条路径的实际复增益, $k=1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数, $l=1, 2, \dots, L$, L 表示总的路径数, \mathbf{S} 表示训练序列矩阵, \mathbf{N} 表示高斯白噪声矩阵, $[\cdot]^T$ 表示矩阵或向量的转置。

[0060] 在已知角度参数的情况下,基站(BS)端能够通过最小二乘(LS)法来获得信道增

益信息为:

$$[0061] \quad \mathbf{a} = \sqrt{L}(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{Y} \mathbf{S}^H \quad (12)$$

[0062] 其中, \mathbf{Y} 表示接收信号矩阵, \mathbf{S} 表示训练序列矩阵, $\mathbf{A}(\theta_{kl}) = [a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kl})]$, $\mathbf{a}(\theta_{kl}) = [1, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta_{kl}}, \dots, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} (M-1) \sin \theta_{kl}}]^T$, θ_{kl} 表示用户 k 到基站第 l 条路径的角度估计值, $\mathbf{a} = [\alpha_{k1}, \dots, \alpha_{k1}, \dots, \alpha_{kL}]^T$, α_{kl} 表示用户 k 到基站的第 l 条路径的复增益估计值, $j = \sqrt{-1}$, $k = 1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数, $l = 1, 2, \dots, L$, L 表示总的路径总数, M 表示基站端天线的数量, d 表示基站端天线的间隔, λ 表示信号的波长, $[\cdot]^{-1}$ 表示矩阵或向量求逆, $[\cdot]^T$ 表示矩阵或向量的转置, $[\cdot]^H$ 表示求矩阵或向量的共轭。

[0063] d、获取信道信息

[0064] 根据用户角度信息 θ_{kl} 和信道增益信息 \mathbf{a} , 信道信息就可以表示为:

$$[0065] \quad \mathbf{H} = \frac{1}{L} \mathbf{A}(\theta_{kl}) \mathbf{a} \quad (13)$$

[0066] 其中, \mathbf{H} 表示估计得到的信道矩阵, $\mathbf{A}(\theta_{kl}) = [a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kl}), \dots, a(\theta_{kl})]$, $\mathbf{a}(\theta_{kl}) = [1, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta_{kl}}, \dots, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} (M-1) \sin \theta_{kl}}]^T$, $\mathbf{a} = [\alpha_{k1}, \dots, \alpha_{k1}, \dots, \alpha_{kL}]^T$, α_{kl} 表示用户 k 到基站的第 l 条路径的复增益估计值, θ_{kl} 表示用户 k 到基站第 l 条路径的角度估计值, $j = \sqrt{-1}$, $k = 1, 2, \dots, K$, K 表示用户总数, $l = 1, 2, \dots, L$, L 表示总的路径数, M 表示基站端天线的数量, d 表示基站端天线的间隔, λ 表示信号的波长, $[\cdot]^T$ 表示矩阵或向量的转置。

[0067] 以上展现了利用本发明所述方法进行大规模MIMO信道估计的整个过程。

[0068] 图2所示为本发明实施例所述方法在不同信噪比下与现有技术中使用的算法的信道估计性能对比图。其中基站端天线数 $M=64$, 用户端天线数为 $N=1$, 导频数为 $p=16$ 。由仿真图可知, 本发明所提算法的曲线, 随着信噪比的增加, 逐渐呈现出下降趋势, 且曲线位置始终位于传统最小二乘(LS)信道估计算法曲线之下, 说明本发明所述方法的性能要更加优越。

[0069] 图3所示为本发明实施例所述方法在不同导频数量下与现有技术中使用的算法的性能随着信噪比变化的对比图。其中导频数量依次为 $p=16, 32, 64$, 其余条件一样。由仿真图可知, 随着导频数的增加, 本发明所提算法性能也越来越好, 且相比传统最小二乘(LS)信道估计算法, 该方法始终是有着更好的性能。

[0070] 图4所示为本发明实施例所述方法在不同信噪比下与现有技术中使用的算法误码率的对比图。由仿真图可知, 本发明所提算法的误码率随着信噪比的增加而减小, 始终低于传统最小二乘(LS)信道估计算法的误码率, 而且非常接近理想状态下的误码率, 由此可见本发明所述方法更具有优越性。

[0071] 本发明提供了一种新的基Butler矩阵的快速波达方向(DOA)估计算法, 用来求取角度信息, 相比传统MUSIC(多重信号分类)算法, 该方法能够降低DOA(波达方向)估计的计算复杂度, 且更加适用于大规模MIMO系统背景下的信号处理; 用传统估计算法结合前面所求的角度信息来求取信道增益信息, 结合角度信息和信道增益信息从而计算估计出整个信道的信息。相比基于导频的最小二乘(LS)信道估计算法, 本发明所述方法在性能上有着

更大的优势。

[0072] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和变形,这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

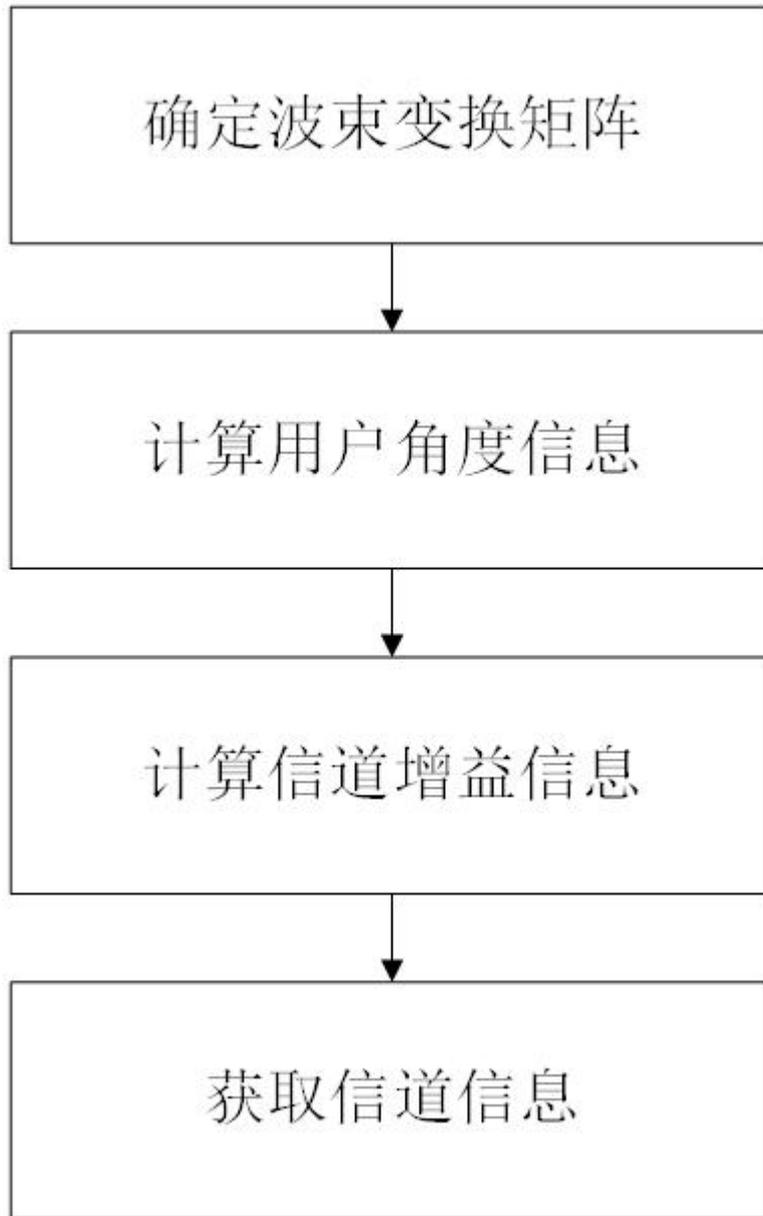


图1

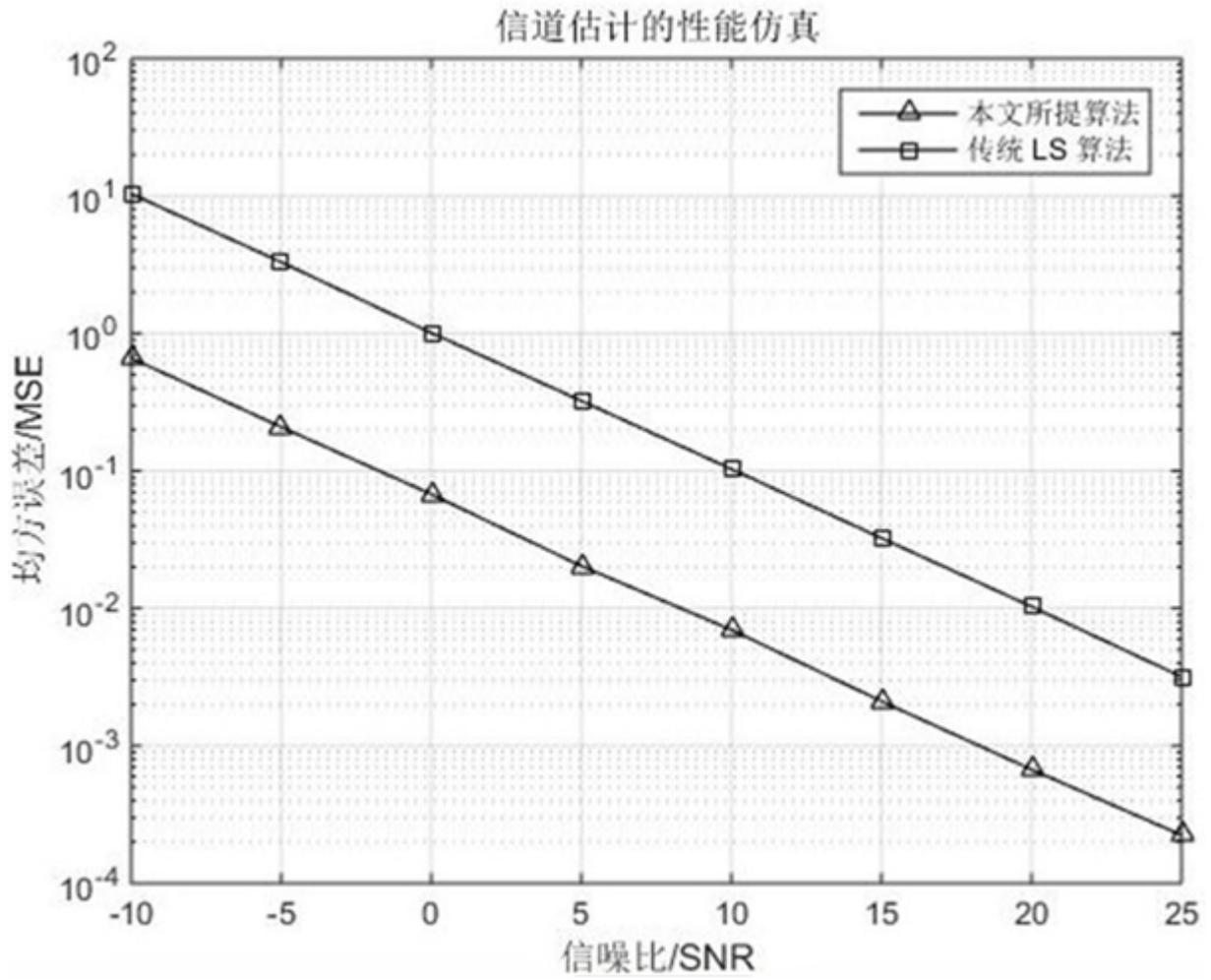


图2

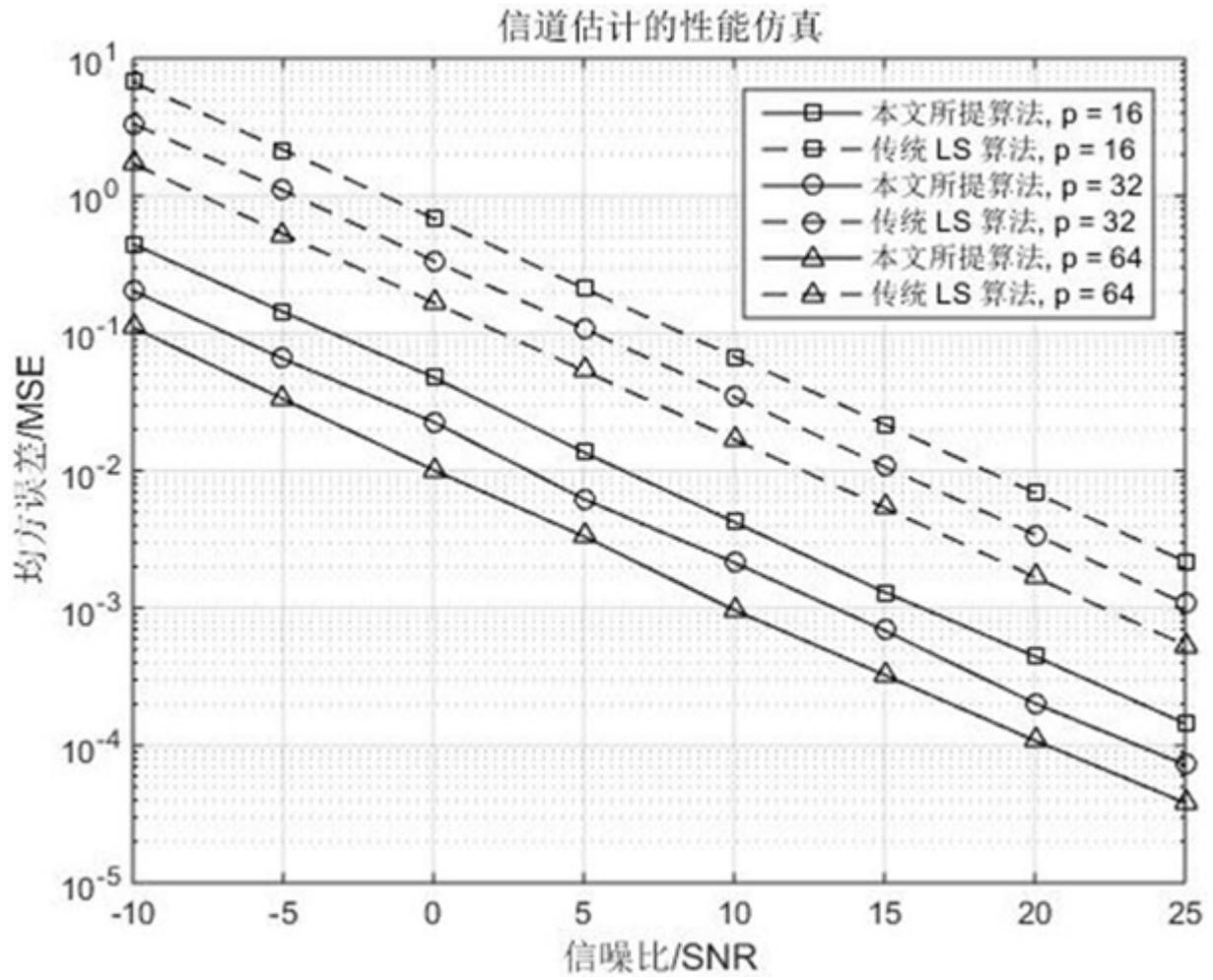


图3

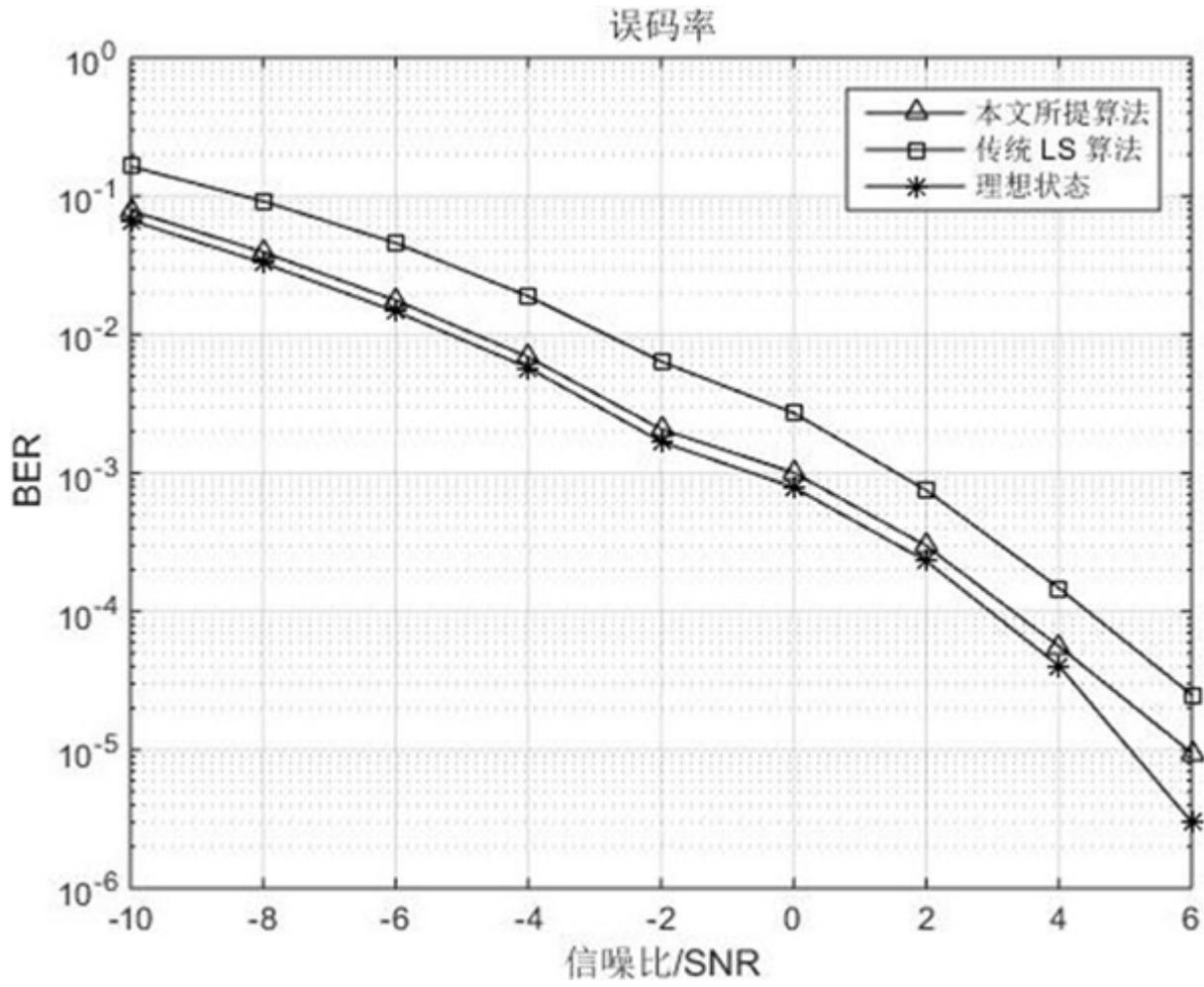


图4