



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110011775 B

(45) 授权公告日 2022.06.07

(21) 申请号 201910221801.3

H04W 74/08 (2009.01)

(22) 申请日 2019.03.22

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106130938 A, 2016.11.16

申请公布号 CN 110011775 A

CN 107743103 A, 2018.02.27

CN 109327850 A, 2019.02.12

(43) 申请公布日 2019.07.12

CN 106936556 A, 2017.07.07

(73) 专利权人 安徽师范大学

CN 107248902 A, 2017.10.13

地址 241002 安徽省芜湖市九华南路189号

DE 102015208344 A1, 2016.11.10

(72) 发明人 叶新荣 黄涛 张爱清 谢小娟

赵晓娟. 非正交多址接入中基于压缩感知的多用户检测技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库》.2019,

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司 11283

审查员 刘文静

专利代理师 周锟

(51) Int. Cl.

H04L 5/00 (2006.01)

H04L 25/02 (2006.01)

H04W 4/70 (2018.01)

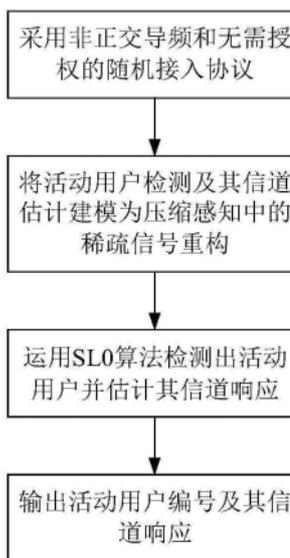
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

联合实现活动用户检测及其信道估计方法及其系统

(57) 摘要

本发明公开了一种联合实现活动用户检测及其信道估计方法及其系统,该巨量机器类通信中活动用户检测方法包括:将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构,并运用SLO重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户。本发明提供的方法能够减少导频信号的长度,并能获得优于最小二乘法的信道估计性能。



1. 一种巨量机器类通信中活动用户检测方法,其特征在于,该巨量机器类通信中活动用户检测方法包括:

将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构,并运用SLO重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户;

运用SLO重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户,包括:

步骤121,输入观测信号 y ,观测矩阵 X ,阈值 σ_{\min} ,收缩因子 ρ ,步长 μ 和迭代次数 L ;

步骤122,令 $\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{X}^\dagger \mathbf{y}$, $\sigma = 2 * \max\{|\hat{\mathbf{h}}_i|\}$,其中,上标符号 \dagger 表示伪逆运算操作;

步骤123,如果 $\sigma > \sigma_{\min}$,则顺序执行(I)和(II);否则,执行步骤124,

(I) 在可行解集 $\{h | y = Xh\}$ 上,从初始解 $\hat{\mathbf{h}}$ 开始通过如下的 L 次迭代最速下降算法,最大化目标函数 $F_\sigma(\mathbf{h}) = \sum_i e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$;

(a) 设置向量 δ 的元素值为 $\delta_i = e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$;

(b) 令 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mu\delta$,然后通过 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mathbf{X}^\dagger(\mathbf{X}\hat{\mathbf{h}} - \mathbf{y})$ 将 $\hat{\mathbf{h}}$ 投影到其可行解集上;

(II) 令 $\sigma \leftarrow \rho\sigma$,并返回步骤123;

步骤124,计算 $|\hat{\mathbf{h}}|$ 并找出 K_a 个最大元素值的位置序号,将该 K_a 个位置序号存入集合 I ,输出检测出的活动用户 I 和活动用户信道状态信息 $\hat{\mathbf{h}}_I$;

将活动用户检测及其信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构,包括:

某一时隙,若 K 个机器类设备中有 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态,则基站接收到的该 K_a 个活动用户发来的导频信号可表示为:

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} + \mathbf{w},$$

其中, $p(k)$ 表示第 k 个活动用户在系统里所有巨量机器类设备中的编号;基站和巨量机器类设备均安装的是单天线; $h_{p(k)}$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备到基站的信道响应; $\mathbf{x}_{p(k)} = [x_{p(k),1}, x_{p(k),2}, \dots, x_{p(k),N}]^T$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备发送的导频序列, \mathbf{w} 是均值为0,方差为 σ^2 的高斯噪声;

当 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态,则 $K-K_a$ 个巨量机器类设备处于休眠状态;处于休眠状态的巨量机器类设备其通信链路没有激活,从而其信道响应为零;若考虑所有的巨量机器类设备,则接收到的导频信号可通过如下公式等价表示为

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{Xh} + \mathbf{w},$$

其中, \mathbf{h} 是一个稀疏向量,包含有 $K-K_a$ 个零元素, K_a 个非零元素,且非零元素在 \mathbf{h} 中的位置与活动用户的编号 $p(k)$ 相对应;

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} +$$

$$\mathbf{w}\mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{X}\mathbf{h} + \mathbf{w}。$$

2. 根据权利要求1所述的巨量机器类通信中活动用户检测方法,其特征在于,在将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构之前,包括:

将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站。

3. 根据权利要求1所述的巨量机器类通信中活动用户检测方法,其特征在于,将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站,包括:

将巨量机器类设备的导频信号和数据信息直接发送至所述基站;且将多个巨量机器类设备中每个巨量机器类设备都分配一个预设长度的导频序列,且多个所述序列之间无需满足正交关系。

4. 一种巨量机器类通信中活动用户检测系统,其特征在于,该巨量机器类通信中活动用户检测系统包括:

将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构,并运用SLO重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户的设备;

运用SLO重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户的设备,包括:

输入设备,输入观测信号 \mathbf{y} ,观测矩阵 \mathbf{X} ,阈值 σ_{\min} ,收缩因子 ρ ,步长 μ 和迭代次数 L ;

令 $\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{X}^\dagger \mathbf{y}$, $\sigma = 2 * \max_i \{|\hat{\mathbf{h}}_i|\}$,其中,上标符号 \dagger 表示伪逆运算操作;

判断设备,如果 $\sigma > \sigma_{\min}$,则顺序执行(I)和(II);否则,执行输出设备工作,

(I) 在可行解集 $\{\mathbf{h} | \mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{h}\}$ 上,从初始解 $\hat{\mathbf{h}}$ 开始通过如下的 L 次迭代最速下降算法,最大化目标函数 $F_\sigma(\mathbf{h}) = \sum_i e^{-\hat{h}_i^2 / (2\sigma^2)}$;

(a) 设置向量 δ 的元素值为 $\delta_i = e^{-\hat{h}_i^2 / (2\sigma^2)}$;

(b) 令 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mu\delta$,然后通过 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mathbf{X}^\dagger(\mathbf{X}\hat{\mathbf{h}} - \mathbf{y})$ 将 $\hat{\mathbf{h}}$ 投影到其可行解集上;

(II) 令 $\sigma \leftarrow \rho\sigma$,并返回判断设备;

输出设备,计算 $|\hat{\mathbf{h}}|$ 并找出 K_a 个最大元素值的位置序号,将该 K_a 个位置序号存入集合 I ,输出检测出的活动用户 I 和活动用户信道状态信息 $\hat{\mathbf{h}}_I$;

将活动用户检测及其信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构的设备,包括:

某一时隙,若 K 个机器类设备中有 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态,则基站接收到的该 K_a 个活动用户发来的导频信号可表示为:

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} + \mathbf{w},$$

其中, $p(k)$ 表示第 k 个活动用户在系统里所有巨量机器类设备中的编号; 基站和巨量机器类设备均安装的是单天线; $h_{p(k)}$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备到基站的信道响应; $\mathbf{x}_{p(k)} = [x_{p(k),1}, x_{p(k),2}, \dots, x_{p(k),N}]^T$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备发送的导频序列, \mathbf{w} 是均值为 0, 方差为 σ^2 的高斯噪声;

当 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态, 则 $K - K_a$ 个巨量机器类设备处于休眠状态; 处于休眠状态的巨量机器类设备其通信链路没有激活, 从而其信道响应为零; 若考虑所有的巨量机器类设备, 则接收到的导频信号可通过如下公式等价表示为

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{Xh} + \mathbf{w},$$

其中, \mathbf{h} 是一个稀疏向量, 包含有 $K - K_a$ 个零元素, K_a 个非零元素, 且非零元素在 \mathbf{h} 中的位置与活动用户的编号 $p(k)$ 相对应;

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} +$$

$$\mathbf{w} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{Xh} + \mathbf{w}。$$

5. 根据权利要求 4 所述的巨量机器类通信中活动用户检测系统, 其特征在于, 包括: 将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站的设备。

6. 根据权利要求 4 所述的巨量机器类通信中活动用户检测系统, 其特征在于, 将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站的设备, 包括:

将巨量机器类设备的导频信号和数据信息直接发送至所述基站的设备; 且将多个巨量机器类设备中每个巨量机器类设备都分配一个预设长度的导频序列, 且多个所述序列之间无需满足正交关系的设备。

联合实现活动用户检测及其信道估计方法及其系统

技术领域

[0001] 本发明涉及机器类通信(machine type communication,MTC)场景里活动用户检测及其信道估计方法。

背景技术

[0002] 随着智能家居、智慧交通和智慧医疗等物联网应用的日益发展,当前迫切需要建立能为机器类设备提供互连互通的通信网络。为了实现该目标,第五代移动通信系统(5G)已将巨量机器类通信、增强移动宽带及超可靠低时延通信确定为需要支持的三种业务。由于机器类设备数量众多,因此,5G面临的一个极大挑战就是需要为巨量机器类设备提供及时的网络接入和高效的数据传输。

[0003] 蜂窝网络当前是通过专用的随机接入控制信道并采用授权的方式让用户竞争物理层传输资源,通常包括四个阶段,首先,每个活动用户随机地从正交导频信号池里抽取一个导频信号并发送给基站,通知基站该用户有数据需要发送;接着,基站为每个接收到的导频信号发送一个响应信号,授权可以继续传输信息;然后,接收到授权信号的用户继续向基站发送连接请求;最后,基站向没有发生导频冲突的用户分配传输数据的资源并授权该用户接入网络,而对发生导频冲突的用户不做应答,接入失败的用户需要等待一个时间之后重新竞争接入网络。这种传统授权的接入方案不适用于巨量机器类通信,因为:其一,信道的相干时间和相干带宽有限,这就决定了导频信号的长度有限,从而正交导频信号池里导频信号数量有限,面对巨量接入,导频冲突率高,延长了设备接入网络的耗时。其二,机器类通信的特点是突发式短数据包通信,有时需要发送的数据信息仅几个比特,若采用传统授权式接入方案,接入阶段占时远远超过了数据传输阶段的时间,导致系统整体效率低。因此,巨量机器类通信不能采用传统的授权式接入方案,需要开发非正交和无需授权的随机接入方案。在非正交和无需授权接入方案里每个机器类设备均安排一个固定的导频信号,在某一时刻若机器类设备有数据需要发送,该设备即刻直接发送导频信号和数据信息,这样可以避免导频冲突和长时间的授权接入申请,但该接入方案的核心支撑技术是需要从巨量的机器类设备里检测出活动用户并估计出其信道状态信息。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种巨量机器类通信中联合实现活动用户检测及其信道估计的方法,该方法克服了现有授权接入技术中接入时间长的问题。

[0005] 为了实现上述目的,本发明提供了一种巨量机器类通信中活动用户检测方法,其特征在于,该巨量机器类通信中活动用户检测方法包括:

[0006] 将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构,并运用SL0(平滑L0范数算法)重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户。

[0007] 优选地,在将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构之前,包括:

[0008] 将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站。

[0009] 优选地,将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站,包括:

[0010] 将巨量机器类设备的导频信号和数据信息直接发送至所述基站;且将多个巨量机器类设备中每个巨量机器类设备都分配一个预设长度的导频序列,且多个所述序列之间无需满足正交关系。

[0011] 优选地,将活动用户检测及其信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构,包括:

[0012] 某一时隙,若K个机器类设备中有 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态,则基站接收到的该 K_a 个活动用户发来的导频信号可表示为:

$$[0013] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} + \mathbf{w},$$

[0014] 其中, $p(k)$ 表示第k个活动用户在系统里所有巨量机器类设备中的编号;基站和巨量机器类设备均安装的是单天线; $h_{p(k)}$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备到基站的信道响应; $\mathbf{x}_{p(k)} = [x_{p(k),1}, x_{p(k),2}, \dots, x_{p(k),N}]^T$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备发送的导频序列, \mathbf{w} 是均值为0,方差为 σ^2 的高斯噪声;

[0015] 当 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态,则 $K-K_a$ 个巨量机器类设备处于休眠状态;处于休眠状态的巨量机器类设备其通信链路没有激活,从而其信道响应为零;若考虑所有的巨量机器类设备,则接收到的导频信号可通过如下公式等价表示为

$$[0016] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{Xh} + \mathbf{w},$$

[0017] 其中, \mathbf{h} 是一个稀疏向量,包含有 $K-K_a$ 个零元素, K_a 个非零元素,且非零元素在 \mathbf{h} 中的位置与活动用户的编号 $p(k)$ 相对应。

[0018] 优选地,运用SLO(平滑L0范数算法)重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户,包括:

[0019] 步骤121,输入观测信号 \mathbf{y} ,观测矩阵 \mathbf{X} ,阈值 σ_{\min} ,收缩因子 ρ ,步长 μ 和迭代次数 L ;

[0020] 步骤122,令 $\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{X}^\dagger \mathbf{y}$, $\sigma = 2 * \max_i \{|\hat{h}_i|\}$,其中,上标符号 \dagger 表示伪逆运算操作;

[0021] 步骤123,如果 $\sigma > \sigma_{\min}$,则顺序执行(I)和(II);否则,执行步骤124,

[0022] (I)在可行解集 $\{\mathbf{h} | \mathbf{y} = \mathbf{Xh}\}$ 上,从初始解 $\hat{\mathbf{h}}$ 开始通过如下的L次迭代最速下降算法,

最大化目标函数 $F_\sigma(\mathbf{h}) = \sum_i e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$;

[0023] (a)设置向量 δ 的元素值为 $\delta_i = e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$;

[0024] (b)令 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mu\delta$,然后通过 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mathbf{X}^\dagger(\mathbf{X}\hat{\mathbf{h}} - \mathbf{y})$ 将 $\hat{\mathbf{h}}$ 投影到其可行解集上;

[0025] (II)令 $\sigma \leftarrow \rho\sigma$,并返回步骤123;

[0026] 步骤124, 计算 $|\hat{\mathbf{h}}|$ 并找出 K_a 个最大元素值的位置序号, 将该 K_a 个位置序号存入集合I, 输出检测出的活动用户I和活动用户信道状态信息 $\hat{\mathbf{h}}_I$ 。

[0027] 本发明还提供一种巨量机器类通信中活动用户检测系统, 该巨量机器类通信中活动用户检测系统包括:

[0028] 将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构, 并运用SLO(平滑L0范数算法) 重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户的设备。

[0029] 优选地, 包括:

[0030] 将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站的设备。

[0031] 优选地, 将巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入基站的设备, 包括:

[0032] 将巨量机器类设备的导频信号和数据信息直接发送至所述基站的设备; 且将多个巨量机器类设备中每个巨量机器类设备都分配一个预设长度的导频序列, 且多个所述序列之间无需满足正交关系的设备。

[0033] 优选地, 将活动用户检测及其信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构的设备, 包括:

[0034] 某一时隙, 若K个机器类设备中有 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态, 则基站接收到的该 K_a 个活动用户发来的导频信号可表示为:

$$[0035] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} + \mathbf{w},$$

[0036] 其中, $p(k)$ 表示第k个活动用户在系统里所有巨量机器类设备中的编号; 基站和巨量机器类设备均安装的是单天线; $h_{p(k)}$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备到基站的信道响应; $\mathbf{x}_{p(k)} = [x_{p(k),1}, x_{p(k),2}, \dots, x_{p(k),N}]^T$ 是第 $p(k)$ 个巨量机器类设备发送的导频序列, \mathbf{w} 是均值为0, 方差为 σ^2 的高斯噪声;

[0037] 当 K_a 个巨量机器类设备处于活动状态, 则 $K-K_a$ 个巨量机器类设备处于休眠状态; 处于休眠状态的巨量机器类设备其通信链路没有激活, 从而其信道响应为零; 若考虑所有的巨量机器类设备, 则接收到的导频信号可通过如下公式等价表示为

$$[0038] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{Xh} + \mathbf{w},$$

[0039] 其中, \mathbf{h} 是一个稀疏向量, 包含有 $K-K_a$ 个零元素, K_a 个非零元素, 且非零元素在 \mathbf{h} 中的位置与活动用户的编号 $p(k)$ 相对应。

[0040] 优选地, 运用SLO(平滑L0范数算法) 重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户的设备, 包括:

[0041] 输入设备, 输入观测信号 \mathbf{y} , 观测矩阵 \mathbf{X} , 阈值 σ_{\min} , 收缩因子 ρ , 步长 μ 和迭代次数 L ;

[0042] 令 $\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{X}^\dagger \mathbf{y}$, $\sigma = 2 * \max_i \{|\hat{\mathbf{h}}_i|\}$, 其中, 上标符号 \dagger 表示伪逆运算操作;

[0043] 判断设备,如果 $\sigma > \sigma_{\min}$,则顺序执行(I)和(II);否则,执行输出设备工作,

[0044] (I)在可行解集 $\{h | y = Xh\}$ 上,从初始解 \hat{h} 开始通过如下的L次迭代最速下降算法,最大化目标函数 $F_{\sigma}(\mathbf{h}) = \sum_i e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$;

[0045] (a)设置向量 δ 的元素值为 $\delta_i = e^{-\hat{h}_i^2/(2\sigma^2)}$;

[0046] (b)令 $\hat{h} \leftarrow \hat{h} - \mu\delta$,然后通过 $\hat{h} \leftarrow \hat{h} - \mathbf{X}^{\dagger}(\mathbf{X}\hat{h} - \mathbf{y})$ 将 \hat{h} 投影到其可行解集上;

[0047] (II)令 $\sigma \leftarrow \rho\sigma$,并返回判断设备;

[0048] 输出设备,计算 $|\hat{h}|$ 并找出 K_a 个最大元素值的位置序号,将该 K_a 个位置序号存入集合I,输出检测出的活动用户I和活动用户信道状态信息 \hat{h}_I 。

[0049] 与现有技术相比,本发明提供的活动用户检测及其信道估计方法运用压缩感知重构算法SL0,能够大幅度地减少信道估计所需要的导频信号长度。该方法计算复杂度低,易于实现。

[0050] 本发明的其他特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

[0051] 附图是用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与下面的具体实施方式一起用于解释本发明,但并不构成对本发明的限制。在附图中:

[0052] 图1是说明本发明的一种巨量机器类通信中联合实现活动用户检测及其信道估计方法实施步骤的流程图;

[0053] 图2为运用SL0压缩感知联合实现活动用户检测及其信道估计方法(标记为本发明提供的方法)与最小二乘法检测活动用户正确率对比图;

[0054] 图3为运用本发明提供的方法与最小二乘法估计活动用户信道状态信息的归一化均方误差曲线图。

具体实施方式

[0055] 以下结合附图对本发明的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是,此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明,并不用于限制本发明。

[0056] 本发明提供一种巨量机器类通信中活动用户检测方法,该巨量机器类通信中活动用户检测方法包括:

[0057] 将活动用户检测和活动用户信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构,并运用SL0(平滑L0范数算法)重构算法根据用户信道状态估计出活跃用户。

[0058] 与现有技术相比,本发明提供的活动用户检测及其信道估计方法运用压缩感知重构算法SL0,能够大幅度地减少信道估计所需要的导频信号长度。该方法计算复杂度低,易于实现。

[0059] 为了更好的理解本发明实施例的内容,首先详细介绍本发明实施例的系统模型。考虑一个机器类设备通信场景,包括一个基站和K个机器类设备,基站和机器类设备均安装的是单天线,采用非正交及免授权的多用户接入协议。假设某一相干时间内有 K_a 个机器类

设备正在向基站发送导频信号,则基站接收到的导频信号可表示为

$$[0060] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} + \mathbf{w}, \quad (1)$$

[0061] 其中 $p(k)$ 表示第 k 个活动用户在系统里所有机器类设备中的编号; $h_{p(k)}$ 是序号为 $P(k)$ 的机器类设备到基站的信道响应; $\mathbf{x}_{p(k)} = [x_{p(k),1}, x_{p(k),2}, \dots, x_{p(k),N}]^T$ 是第 $p(k)$ 个机器类设备发送的导频序列, \mathbf{w} 是均值为0,方差为 σ^2 的高斯噪声。

[0062] 本发明实施例公开的一种巨量机器类通信中联合实现活动用户检测及其信道估计方法,主要包括如下步骤:

[0063] 步骤一、巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入系统。任何机器类设备接入基站是免授权的,即任何活动用户(有数据需要发送的设备称为活动用户)可直接向基站发送导频信号和数据信息,不需要先向基站发送接入申请,并且只能在收到同意接入的指令之后才可以发送导频信号和数据信息。另外,每一个设备都被分配一个长度为 N 的导频序列,序列之间不要求满足正交关系。

[0064] 步骤二、将活跃用户检测及其信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构。系统内共有 K 个机器类设备,在某一时间段里 K_a 个机器设备处于活动状态,则其余的 $K-K_a$ 个机器类设备处于休眠状态。处于休眠状态的机器类设备其通信链路没有激活,从而其信道响应为零。若考虑系统内所有的机器类设备,则式(1)可等价表示为

$$[0065] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{X}\mathbf{h} + \mathbf{w}, \quad (2)$$

[0066] 其中 \mathbf{h} 是一个稀疏向量,包含有 $K-K_a$ 个零元素, K_a 个非零元素,且非零元素在 \mathbf{h} 中的位置与式(1)中 $p(k)$ 相对应。

[0067] 步骤三、运用SL0压缩感知重构算法联合检测活动用户并估计其信道状态信息。依据(2)的线性方程 $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{h} + \mathbf{w}$,本发明提供的采用SL0算法检测活动用户及估计其信道响应具体步骤可归纳如下:

-
- ①输入: 输入观测信号 \mathbf{y} , 观测矩阵 \mathbf{X} , 阈值 σ_{min} , 收缩因子 ρ , 步长 μ 和迭代次数 L ;
- [0068] ②令 $\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{X}^\dagger \mathbf{y}$, $\sigma = 2 * \max_i \{|\hat{h}_i|\}$, 其中上标符号 \dagger 表示伪逆运算操作;
- ③如果 $\sigma > \sigma_{min}$, 则顺序执行(I)和(II); 否则, 执行步骤④。
- (I) 在可行解集 $\{\mathbf{h} \mid \mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{h}\}$ 上, 从初始解 $\hat{\mathbf{h}}$ 开始通过如下的 L
-

次迭代最速下降算法，最大化目标函数 $F_{\sigma}(\mathbf{h}) = \sum_i e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$ ；

For $l=1, \dots, L$

(a) 设置向量 δ 的元素值为 $\delta_i = e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$ 。

[0069] (b) 令 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mu\delta$ ，然后通过 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mathbf{X}^{\dagger}(\mathbf{X}\hat{\mathbf{h}} - \mathbf{y})$ 将 $\hat{\mathbf{h}}$ 投影到其可行解集上；

(II) 令 $\sigma \leftarrow \rho\sigma$ ，并返回步骤③；

④计算 $|\hat{\mathbf{h}}|$ 并找出 K_a 个最大元素值的位置序号，将该 K_a 个位置序号存入集合 \mathbf{I} ，输出检测出的活动用户 \mathbf{I} 及其信道状态信息 $\hat{\mathbf{h}}_{\mathbf{I}}$ 。

[0070] 本发明还提供了一种最优选地实施方式，该方法包括：

[0071] 步骤11，巨量机器类设备通过免授权非正交的方式随机接入系统；

[0072] 步骤12，将活跃用户检测及其信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构，并运用SL0(smoothed l_0 -norm algorithm) 重构算法联合检测和估计出活跃用户及其信道状态信息。

[0073] 进一步优选地，在步骤11中，

[0074] 任何机器类设备接入基站是免授权的，即任何活动用户(有数据需要发送的设备称为活动用户)可直接向基站发送导频信号和数据信息，不需要先向基站发送接入申请，并且只能在收到同意接入的指令之后才可以发送导频信号和数据信息。另外，每一个设备都被分配一个长度为N的导频序列，序列之间不要求满足正交关系。

[0075] 进一步优选地，在步骤12中，将活动用户检测及其信道估计建模为压缩感知理论中的稀疏信号重构方法包括：

[0076] 某一时隙，若系统内共有 K_a 个机器设备处于活动状态，则基站接收到的该 K_a 个活动用户发来的导频信号可表示为：

$$[0077] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K_a} h_{p(k)} \mathbf{x}_{p(k)} + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{p(1),1} & \mathbf{x}_{p(2),1} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),1} \\ \mathbf{x}_{p(1),2} & \mathbf{x}_{p(2),2} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{p(1),N} & \mathbf{x}_{p(2),N} & \cdots & \mathbf{x}_{p(K_a),N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{p(1)} \\ h_{p(2)} \\ \vdots \\ h_{p(K_a)} \end{bmatrix} + \mathbf{w},$$

[0078] 其中 $p(k)$ 表示第 k 个活动用户在系统里所有机器类设备中的编号；基站和机器类设备均安装的是单天线， $h_{p(k)}$ 是第 $P(k)$ 个机器类设备到基站的信道响应； $\mathbf{x}_{p(k)} = [x_{p(k),1}, x_{p(k),2}, \dots, x_{p(k),N}]^T$ 是第 $p(k)$ 个机器类设备发送的导频序列， \mathbf{w} 是均值为0，方差为 σ^2 的高斯噪声。

[0079] 系统内共有 K 个机器类设备，在某一时间段里 K_a 个机器设备处于活动状态，则其余的 $K - K_a$ 个机器类设备处于休眠状态。处于休眠状态的机器类设备其通信链路没有激活，从而其信道响应为零。若考虑系统内所有的机器类设备，则接收到的导频信号可等价表示为

$$[0080] \quad \mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{2,1} & \cdots & \mathbf{x}_{K,1} \\ \mathbf{x}_{1,2} & \mathbf{x}_{2,2} & \cdots & \mathbf{x}_{K,2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{x}_{1,N} & \mathbf{x}_{2,N} & \cdots & \mathbf{x}_{K,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix} + \mathbf{w} = \mathbf{X}\mathbf{h} + \mathbf{w},$$

[0081] 其中 \mathbf{h} 是一个稀疏向量,包含有 $K-K_a$ 个零元素, K_a 个非零元素,且非零元素在 \mathbf{h} 中的位置与活动用户在系统中的编号 $p(k)$ 相对应。

[0082] 进一步优选地,在步骤12中,运用SL0重构算法检测出活动用户并估计出其信道状态信息的方法包括:

[0083] 步骤121,输入观测信号 \mathbf{y} ,观测矩阵 \mathbf{X} ,阈值 σ_{\min} ,收缩因子 ρ ,步长 μ 和迭代次数 L ;

[0084] 步骤122,令 $\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{X}^\dagger \mathbf{y}$, $\sigma = 2 * \max_i \{|\hat{h}_i|\}$,其中上标符号 \dagger 表示伪逆运算操作;

[0085] 步骤123,如果 $\sigma > \sigma_{\min}$,则顺序执行(I)和(II);否则,执行步骤124。

[0086] (I) 在可行解集 $\{\mathbf{h} | \mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{h}\}$ 上,从初始解 $\hat{\mathbf{h}}$ 开始通过如下的 L 次迭代最速下降算法,

最大化目标函数 $F_\sigma(\mathbf{h}) = \sum_i e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$;

[0087] (a) 设置向量 δ 的元素值为 $\delta_i = e^{-h_i^2/(2\sigma^2)}$ 。

[0088] (b) 令 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mu\delta$,然后通过 $\hat{\mathbf{h}} \leftarrow \hat{\mathbf{h}} - \mathbf{X}^\dagger(\mathbf{X}\hat{\mathbf{h}} - \mathbf{y})$ 将 $\hat{\mathbf{h}}$ 投影到其可行解集上;

[0089] (II) 令 $\sigma \leftarrow \rho\sigma$,并返回步骤123;

[0090] 步骤124,计算 $|\hat{\mathbf{h}}|$ 并找出 K_a 个最大元素值的位置序号,将该 K_a 个位置序号存入集合 I ,输出检测出的活动用户 I 及其信道状态信息 $\hat{\mathbf{h}}_I$ 。

[0091] 与现有技术相比,本发明提供的活动用户检测及其信道估计方法运用压缩感知重构算法SL0,能够大幅度地减少信道估计所需要的导频信号长度。该方法计算复杂度低,易于实现。

[0092] 为了验证本发明方法的有效性与相比现有方法的优势,做了如下仿真对比试验。所考虑的场景参数是:机器类设备数目 $K=200$,活动用户数目 $K_a=40$;SL0算法变量参数值为 $\sigma_{\min}=0.001$, $\rho=0.5$, $\mu=2$, $L=3$ 。图2为运用SL0压缩感知联合实现活动用户检测及其信道估计方法(标记为本发明提供的方法)与传统最小二乘法采用不同长度导频信号的活动用户检测正确概率对比图,从图中可以看出本发明提供方法的检测正确概率明显优于最小二乘法。图3运用本发明提供方法与最小二乘法采用不同长度导频信号的信道估计归一化均方误差曲线图,从图中可以看出本发明提供的信道估计方法能减少50%导频长度,且估计精度高。

[0093] 以上结合附图详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于上述实施方式中的具体细节,在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种简单变型,这些简单变型均属于本发明的保护范围。

[0094] 另外需要说明的是,在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征,在不矛盾的情况下,可以通过任何合适的方式进行组合,为了避免不必要的重复,本发明对各种可能的组合方式不再另行说明。

[0095] 此外,本发明的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合,只要其不违背本发明的思想,其同样应当视为本发明所公开的内容。

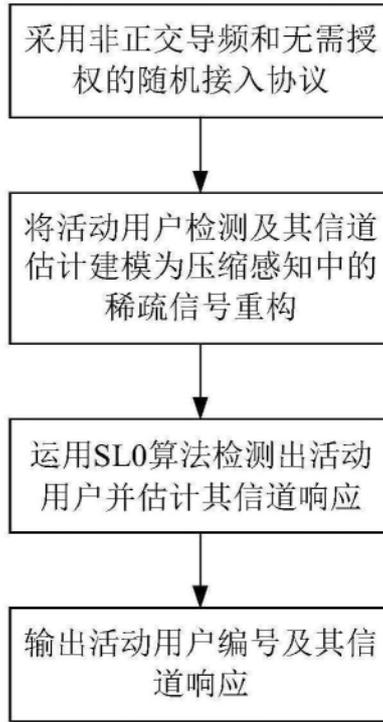


图1

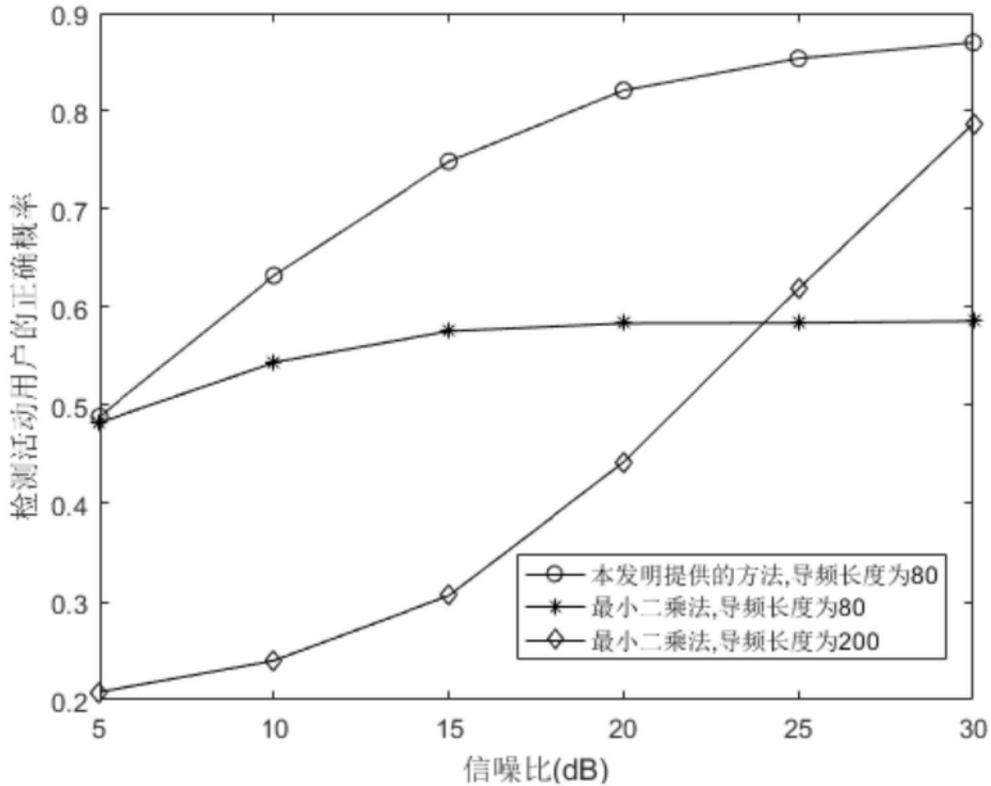


图2

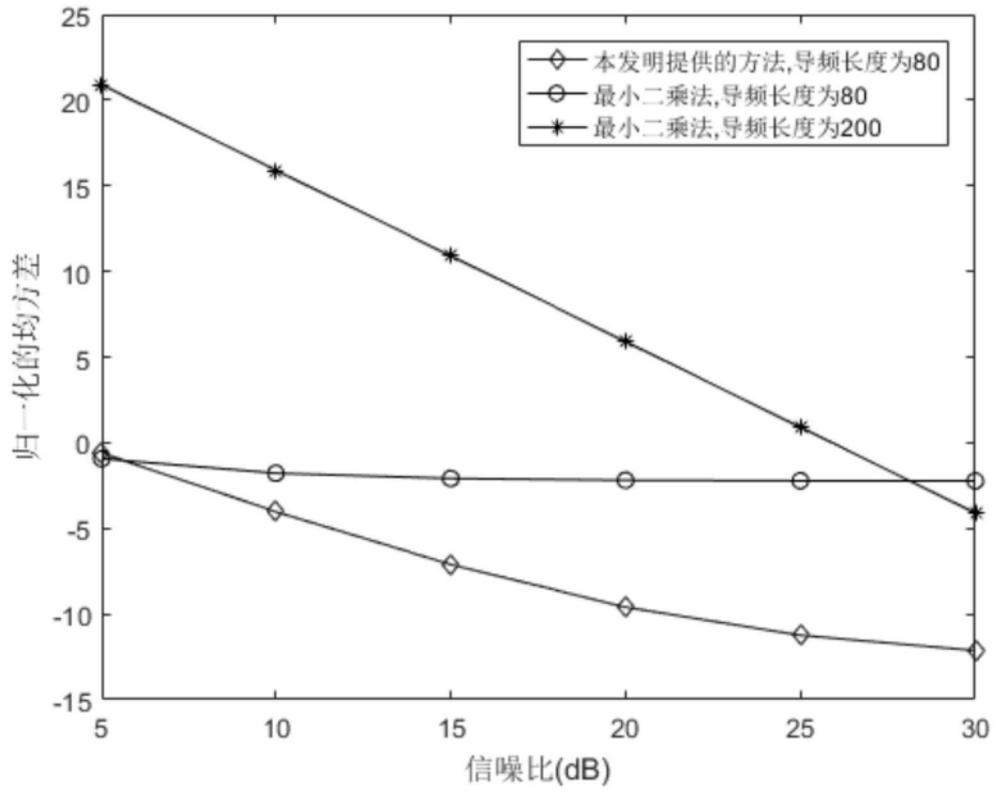


图3