



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106059968 B

(45)授权公告日 2019.01.15

(21)申请号 201610368610.6

(22)申请日 2016.05.27

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106059968 A

(43)申请公布日 2016.10.26

(73)专利权人 重庆邮电大学  
地址 400065 重庆市南岸区黄桷垭崇文路2号

(72)发明人 邵凯 武汉

(74)专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有限公司 11275

代理人 廖曦

(51)Int.Cl.

H04L 25/03(2006.01)

H04L 1/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 103532608 A,2014.01.22,  
CN 101807939 A,2010.08.18,  
CN 1741436 A,2006.03.01,  
张长青.面向5G的非正交多址接入技术的比较.《电信网技术》.2015,(第11期),1-8.  
Asim Anwar etc..PIC-based receiver structure for 5G downlink NOMA.《IEEE》.2016,

审查员 谭雪

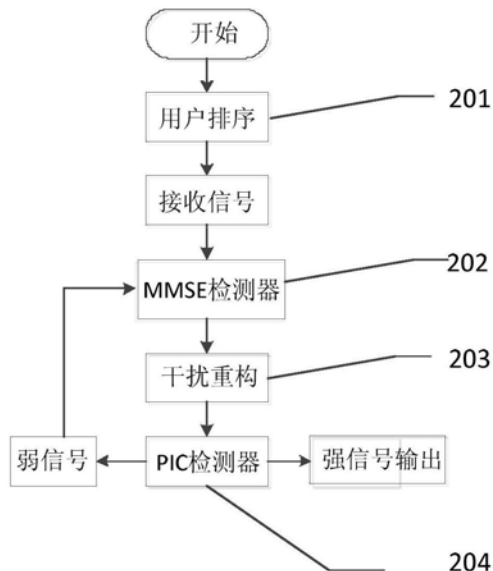
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

MUSA系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法

(57)摘要

本发明涉及一种多用户共享接入(Multi-User Shared Access,MUSA)系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法,属于通信技术领域。该方法包括以下步骤:S1:根据用户信道状态的好坏对接入用户进行排序;S2:排序之后接收信号,对经过信道之后的接收信号y进行MMSE检测;S3:将MMSE检测器的输出作为第一级PIC检测器的输入;S4:根据PIC输出结果的判决值重构出所有用户的干扰信号;S5:根据用户排序情况,将较强用户的数据输出,并对较弱的用户再次进行MMSE-PIC检测。本发明可以在不降低系统符号错误率的情况下,有效的降低检测方法的复杂度,并且相对于传统的多级MMSE-PIC检测方法,符号错误率性能和复杂度都有所改善。



1. 一种MUSA系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法,其特征在于:在该方法中,根据用户到达的信号与干扰加噪声比(Signal to Interference plus Noise Ratio) SINR对用户进行排序,然后解调出具有最大SINR的用户,并重构出该最大SINR用户的干扰信号,并从总的接收信号 $y$ 中减去该用户的干扰信号,重复上述步骤,直至所有用户的数据都被解调、恢复出来;

具体包括以下步骤:

S1:根据用户信道状态的好坏对接入用户进行排序;

S2:排序之后接收信号,对经过信道之后的接收信号 $y$ 进行最小均方误差(minimum mean square error)MMSE检测;

S3:将MMSE检测器的输出作为第一级PIC检测器的输入;

S4:根据并行干扰消除(parallel interference cancellation)PIC输出结果的判决值重构出所有用户的干扰信号;

S5:根据用户排序情况,将较强用户的数据输出,并对较弱的用户再次进行MMSE-PIC检测;

在步骤S1中,根据用户的信道矩阵对用户进行排序;首先对用户的信道矩阵求范数 $\text{norm}(\mathbf{H}_i)$ ,根据范数大小将用户分成强弱两个等级,其中, $\mathbf{H}_i$ 表示信道矩阵 $\mathbf{H}$ 的第 $i$ 列;

在步骤S2中,采用MMSE准则,需要求出MMSE权重矩阵使得发送向量与估计向量之间的最小均方误差最小:即求 $\mathbf{W}_{\text{MMSE}}$ 使得 $J = \min E[\|x - \mathbf{W}_{\text{MMSE}}y\|^2]$ 成立,用上式对 $\mathbf{W}_{\text{MMSE}}$ 求偏导;

$$\text{即令 } \frac{\partial J}{\partial \mathbf{W}_{\text{MMSE}}} = 0 \quad , \text{ 则 } \mathbf{W}_{\text{MMSE}}^H \mathbf{R}_{yy} = \mathbf{R}_{xy} \quad , \mathbf{W}_{\text{MMSE}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H ;$$

MMSE权重矩阵为 $\mathbf{W}_{\text{MMSE}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H$ ,接收信号 $y$ 与MMSE权重矩阵相乘后,得到用户的初始估计值 $x_{\text{MMSE}} = \mathbf{W}_{\text{MMSE}} y = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H y$ ,再对 $x_{\text{MMSE}}$ 进行硬判决,并把 $x_{\text{MMSE}}$ 判决值 $(\tilde{b}_1(0), \tilde{b}_2(0), \dots, \tilde{b}_K(0))$ 作为第一级PIC检测器的输入;

在上述推导中,其中 $\mathbf{W}_{\text{MMSE}}$ 为最小均方误差权重矩阵, $x$ 为用户的发送向量, $\mathbf{W}_{\text{MMSE}} y$ 为用户的估计向量, $\mathbf{R}_{yy} = E\{yy^H\} = E\{(\mathbf{H}x+z)(\mathbf{H}x+z)^H\}$ , $\mathbf{R}_{xy} = E\{xy^H\} = E\{x(\mathbf{H}x+z)^H\}$ , $\mathbf{R}_{yy}$ 和 $\mathbf{R}_{xy}$ 分别代表接收信号 $y$ 的自相关和 $x$ 、 $y$ 之间的互相关, $y^H$ 代表 $y$ 的埃尔米特矩阵; $\sigma^2$ 和 $\mathbf{I}$ 分别代表噪声方差和单位矩阵;

在步骤S4中,干扰重构的目的是为了进行PIC检测,即根据步骤S2中的判决值 $(\tilde{b}_1(0), \tilde{b}_2(0), \dots, \tilde{b}_K(0))$ 、信道估计值 $\tilde{\mathbf{H}} = (\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_K)^T$ 以及用户的扩展序列 $s_k$ ,重构出用户的干扰信号;由于PIC采用的是并行干扰消除策略,因此对于要解调的用户 $j$ ,需要求出其他

$(K-j)$ 个用户的多址干扰之和 $\sum_{i=1, i \neq j}^K h_i s_i x_i$ ,称之为部分加法器;

其中, $h_i$ 、 $s_i$ 和 $x_i$ 分别代表用户 $i$ 的信道向量、扩频序列以及发送数据; $\sum_{i=1, i \neq j}^K h_i s_i x_i$ 表示对 $h_i s_i x_i$ 进行求和,其中 $i$ 从1到 $K$ ,但 $i$ 不等于 $j$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种MUSA系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法,其特征在于:在步骤S5中,根据步骤S4部分加法器的结果,并从总的接收信号 $y$ 中减去其他用户

的多址干扰之和,即可得到要解调的用户j的信息,即 $y - \sum_{i=1, i \neq j}^K h_i s_i x_i$ ,并依次判决,即可得到所有用户的估计值。

## MUSA系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于通信技术领域,涉及一种MUSA系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法。

### 背景技术

[0002] 移动互联网和物联网是未来移动通信发展的两大主要驱动力,因此,未来移动终端的数量将呈现爆发式增长,第五代移动通信系统必须要满足海量连接、低时延高可靠性的特点。每一代移动通信的更新换代都会伴随着多址技术的演变,现有通信系统大都采用正交的多址接入方式,即多个用户通过在不同维度上(频域,时域,码域等)正交划分的资源来接入。例如4G系统中采用的OFDMA将传输带宽划分成正交的子载波集,再将不同的子载波集分配给不同的用户实现多址。正交多址接入由于其接入用户数和正交资源成正比,并且正交多址接入一般频谱效率较低,因此不能满足5G海量连接、高频谱效率等需求。非正交多址技术由于支持较高的用户过载、频谱效率较高等优点,成为研发的热点,并成为未来5G的候选多址技术之一。

[0003] 多用户共享接入(Multi-User Shared Access, MUSA)也是非正交多址接入技术中的一种。MUSA通过创新设计的复数域多元码以及串行干扰消除(successive interference cancellation, SIC)多用户检测,相较于4G接入系统,可以让系统在相同的时频资源下支持数倍的用户接入。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种MUSA系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法,采用该方法在第一级PIC检测时,将较强用户的信息解调并输出,然后从总的信号中减去这些强信号的干扰信号,剩下的是较弱用户的干扰信号的总和,然后再对剩下的信号再次进行上述步骤。

[0005] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0006] 一种MUSA系统多级部分并行干扰消除多用户检测方法,在该方法中,

[0007] 根据用户到达的SINR对用户进行排序,然后解调出具有最大SINR的用户,并重构出该最大SINR用户的干扰信号,并从总的接收信号 $y$ 中减去该用户的干扰信号,重复上述步骤,直至所有用户的数据都被解调、恢复出来;

[0008] 具体包括以下步骤:

[0009] S1:根据用户信道状态的好坏对接入用户进行排序;

[0010] S2:排序之后接收信号,对经过信道之后的接收信号 $y$ 进行MMSE检测;

[0011] S3:将MMSE检测器的输出作为第一级PIC检测器的输入;

[0012] S4:根据PIC输出结果的判决值重构出所有用户的干扰信号;

[0013] S5:根据用户排序情况,将较强用户的数据输出,并对较弱的用户再次进行MMSE-PIC检测。

[0014] 进一步,在步骤S1中,根据用户的信道矩阵对用户进行排序;首先对用户的信道矩阵求范数 $\text{norm}((H)_i)$ ,根据范数大小将用户分成强弱两个等级,其中, $(H)_i$ 表示信道矩阵H的第i列。

[0015] 进一步,在步骤S2中,采用MMSE准则,需要求出MMSE权重矩阵使得发送向量与估计向量之间的最小均方误差J最小:即求 $W_{\text{MMSE}}$ 使得 $J = \min E[||x - W_{\text{MMSE}}y||^2]$ 成立;

[0016] 令 $\frac{\partial J}{\partial W_{\text{MMSE}}} = 0$ 则 $W_{\text{MMSE}}^H R_{yy} = R_{xy}$

[0017] 其中, $R_{yy} = E\{yy^H\} = E\{(Hx+z)(Hx+z)^H\}$ , $R_{xy} = E\{xy^H\} = E\{x(Hx+z)^H\}$

[0018] 则 $W_{\text{MMSE}} = (H^H H + \sigma^2 I)^{-1} H^H$ ;

[0019] MMSE权重矩阵为 $W_{\text{MMSE}} = (H^H H + \sigma^2 I)^{-1} H^H$ ,接收信号y与MMSE权重矩阵相乘后,得到用户的初始估计值 $x_{\text{MMSE}} = W_{\text{MMSE}} y = (H^H H + \sigma^2 I)^{-1} H^H y$ ,再对 $x_{\text{MMSE}}$ 进行硬判决,并把判决值 $(\tilde{b}_1(0), \tilde{b}_2(0), \dots, \tilde{b}_K(0))$ 作为第一级PIC检测器的输入。

[0020] 进一步,在步骤S4中,干扰重构的目的是为了进行PIC检测,即根据步骤S2中的判决值 $(\tilde{b}_1(0), \tilde{b}_2(0), \dots, \tilde{b}_K(0))$ 、信道估计值 $\tilde{\mathbf{H}} = (\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_K)^T$ 以及用户的扩展序列 $s_k$ ,重构出用户的干扰信号;由于PIC采用的是并行干扰消除策略,因此对于要解调的用户j,需要求出其他(K-j)个用户的多址干扰之和 $\sum_{i=1, i \neq j}^K h_i s_i x_i$ ,称之为部分加法器。

[0021] 进一步,在步骤S5中,根据步骤S4部分加法器的结果,并从总的接收信号y中减去其他用户的多址干扰之和,即可得到要解调的用户j的信息,即 $y - \sum_{i=1, i \neq j}^K h_i s_i x_i$ ,并依次判决,即可得到所有用户的估计值。

[0022] 本发明的有益效果在于:本发明可以在不降低系统符号错误率(symbol error rate, SER)的情况下,有效的降低检测方法的复杂度,并且相对于传统的多级MMSE-PIC检测方法,符号错误率性能和复杂度都有所改善。

## 附图说明

[0023] 为了使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚,本发明提供如下附图进行说明:

[0024] 图1为MUSA上行系统原理框图;

[0025] 图2为MUSA系统使用的MMSE-SIC检测方法结构图;

[0026] 图3为本发明实现流程图;

[0027] 图4为 $K=4, N=8$ 时,本发明与MUSA系统本身所使用的SIC检测方法性能对比图;

[0028] 图5为 $K=10, N=16$ 时,本发明与MUSA系统本身所使用的SIC检测方法性能对比图。

## 具体实施方式

[0029] 下面将结合附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述。

[0030] 图1所示为MUSA系统上行原理图。首先,K个接入用户使用具有低互相关的复数域多元序列作为扩展序列将其调制符号进行扩展,然后,K个用户扩展后的符号在相同的时频资源里发送,最后,在接收端,使用相应的检测方法解调和恢复出各个用户的信息。经过信

道之后的接收信号可以表示为:

$$[0031] \quad y = \sum_{k=1}^K h_k s_k x_k + n$$

[0032] 其中,  $h_k$  是第  $k$  个用户的信道增益,  $s_k$  是第  $k$  个用户所使用的扩展波形,  $x_k$  是第  $k$  个用户的发送数据,  $n$  是均值为 0, 方差为  $\sigma^2$  的高斯噪声。

[0033] 接收信号表示为矢量形式为:

$$[0034] \quad y = Hx + n$$

[0035] 其中,  $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)^T$ ,  $H = (h_1, h_2, \dots, h_K)^T$  表示用户信道矩阵,  $h_k$  等于  $g_k s_k$ ,  $n = (n_1, n_2, \dots, n_N)^T$ ,  $n \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 \mathbf{I})$ 。

[0036] 图2所示为MUSA系统本身所使用的MMSE-SIC检测方法的结构图, 首先根据用户到达的SINR对用户进行排序, 然后解调出具有最大SINR的用户, 并重构出该最大SINR用户的干扰信号, 并从总的接收信号  $y$  中减去该用户的干扰信号, 重复上述步骤, 直至所有用户的数据都被解调、恢复出来。从图中可以看出, MMSE-SIC检测方法每一级只检测一个用户, 并且每一级都需要求权重矩阵, 并且权重矩阵涉及矩阵求逆运算, 因此复杂度较高。

[0037] 图3所示为本发明提出的一种复杂度更低的多级部分并行干扰消除多用户检测实施流程图, 具体包括如下步骤:

[0038] 步骤201, 根据用户的信道矩阵对用户进行排序。首先对用户的信道矩阵求范数  $\text{norm}(H)_i$ , 根据范数大小将用户分成强弱两个等级。其中,  $(H)_i$  表示信道矩阵  $H$  的第  $i$  列。若想使得检测性能更好, 可将用户分成多个等级, 但是与此同时, 检测复杂度也会随之提高。

[0039] 步骤202, 检测方法通过可以根据MMSE准则或者复杂度更低的ZF准则, 而在这里我们采用MMSE准则的原因在于, ZF准则虽然复杂度较低, 但是它可能会放大噪声, 使得检测性能更差; 而MMSE准则在抑制多址干扰和放大噪声之间取得折衷, 获得最大信干噪比, 从而降低误码率。

[0040] 采用MMSE准则, 则需要求出MMSE权重矩阵使得发送向量与估计向量之间的最小均方差最小。

[0041] 即求  $W_{\text{MMSE}}$  使得  $J = \min E[|x - W_{\text{MMSE}} y|^2]$  成立。

$$[0042] \quad \text{令 } \frac{\partial J}{\partial W_{\text{MMSE}}} = 0 \text{ 则 } W_{\text{MMSE}}^H R_{yy} = R_{xy}$$

[0043] 其中,  $R_{yy} = E\{yy^H\} = E\{(Hx+z)(Hx+z)^H\}$ ,  $R_{xy} = E\{xy^H\} = E\{x(Hx+z)^H\}$

[0044] 则  $W_{\text{MMSE}} = (H^H H + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} H^H$ 。

[0045] MMSE权重矩阵为  $W_{\text{MMSE}} = (H^H H + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} H^H$ , 接收信号  $y$  与MMSE权重矩阵相乘后, 得到用户的初始估计值  $x_{\text{MMSE}} = W_{\text{MMSE}} y = (H^H H + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} H^H y$ , 再对  $x_{\text{MMSE}}$  进行硬判决, 并把判决值  $(\tilde{b}_1(0), \tilde{b}_2(0), \dots, \tilde{b}_K(0))$  作为第一级PIC检测器的输入。

[0046] 步骤203, 干扰重构的目的是为了进行PIC检测, 即根据步骤202中的判决值  $(\tilde{b}_1(0), \tilde{b}_2(0), \dots, \tilde{b}_K(0))$ 、信道估计值  $\tilde{\mathbf{H}} = (\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_K)^T$  以及用户的扩展序列  $s_k$ , 重构出用户的干扰信号。由于PIC采用的是并行干扰消除策略, 因此对于要解调的用户  $j$ , 需要求出其他  $(K-j)$  个用户的多址干扰之和  $\sum_{i=1, i \neq j}^K h_i s_i x_i$ , 称之为部分加法器。

[0047] 步骤204, 根据步骤203部分加法器的结果, 并从总的接收信号  $y$  中减去其他用户的

多址干扰之和,即可得到要解调的用户j的信息,即 $y - \sum_{i=1, i \neq j}^K h_i s_i x_i$ ,并依次判决,即可得到所有用户的估计值。本发明的重点在于,本发明在第一级PIC检测时,将较强用户的信息解调并输出,然后从总的信号中减去这些强信号的干扰信号,剩下的是较弱用户的干扰信号的总和。然后再对剩下的信号再次进行上述步骤。

[0048] 图4所示在用户数 $K=4$ ,扩频码长度 $N=8$ 时,本发明提出的检测方法与MUSA系统本身所使用的MMSE-SIC检测方法以及传统的两级MMSE-PIC (Two-stage MMSE-PIC) 检测方法的性能对比,本方法的SER性能与MUSA系统本身所使用的MMSE-SIC检测方法性能相当,但是优于两级MMSE-PIC,能提高1dB的性能。这是由于本发明方法在第一级PIC检测时,输出了较强用户的信息,因此较弱用户在第二级检测时,受到的多址干扰会大大减小,较弱用户的检测准确度有所提高,因此能够保证较好的检测性能。

[0049] 图5所示在用户数 $K=10$ ,扩频码长度 $N=16$ 时发明提出的检测方法与MUSA系统本身所使用的MMSE-SIC检测方法以及传统的两级MMSE-PIC (Two-stage MMSE-PIC) 检测方法的性能对比,与图4所给出的性能曲线大致相同。

[0050] 表1给出了用户数 $K=4$ 、扩频码长度 $N=8$ 以及用户数 $K=10$ 、扩频码长度 $N=16$ 这两种情况时,本发明的检测方法与MUSA本身使用的MMSE-SIC检测方法以及传统的两级MMSE-PIC检测方法的复杂度分析。此时以浮点运算作为衡量复杂度的单位,一次复数乘法(或除法)对应于6Flops,一次复数加法(或减法)对应于2Flops。本发明的复杂度远远小于MUSA系统本身所使用的MMSE-SIC的复杂度,并且小于同等检测级别的MMSE-PIC的复杂度。并且当用户数以及扩展序列增大的同时,MUSA系统所使用的MMSE-SIC检测方法的复杂度急剧增加,而本发明的复杂度增加相对缓慢。

[0051] 表1

	方法	复数乘法	复数加法	Flops
[0052] 用户数 $K=4$ 扩频码长度 $N=8$	MMSE-SIC	1106	804	8244
	两级 MMSE-PIC	800	596	5992
	MPPIC	620	453	4626
用户数 $K=10$ 扩频码长度 $N=16$	MMSE-SIC	24393	21090	188538
	两级 MMSE-PIC	8760	7710	67980
	MPPIC	6075	5264	46978

[0053] 本发明通过在第一级PIC检测时,输出较强的用户信息,因此在对较弱的用户进行第二级PIC检测,较弱用户受到的多址干扰会明显减小,从而提高了较弱用户的检测准确度,因此可以保证系统的检测性能较好。而由于本发明是基于PIC结构的,二级检测只需要求两次MMSE权重矩阵,也只需对用户进行一次排序,而MUSA系统本身使用的MMSE-PIC检测方法是基于SIC结构的,每一级只检测一个用户,因此 $K$ 个用户需要求 $K$ 次MMSE权重矩阵,并且需要 $K-1$ 次用户排序。又因为MMSE权重矩阵需要涉及矩阵求逆运算,而求逆运算复杂度较高,因此本发明的复杂度远远低于MUSA系统使用的MMSE-SIC的复杂度。

[0054] 最后说明的是,以上优选实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管通过上述优选实施例已经对本发明进行了详细的描述,但本领域技术人员应当理解,可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变,而不偏离本发明权利要求书所限定的范围。

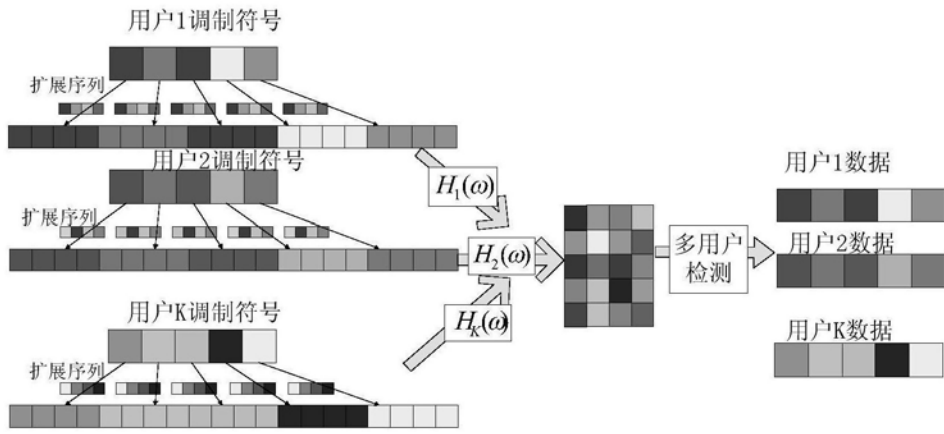


图1

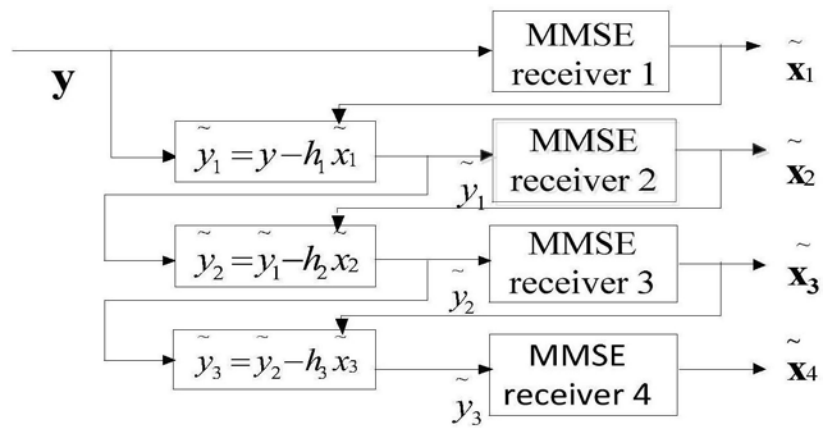


图2



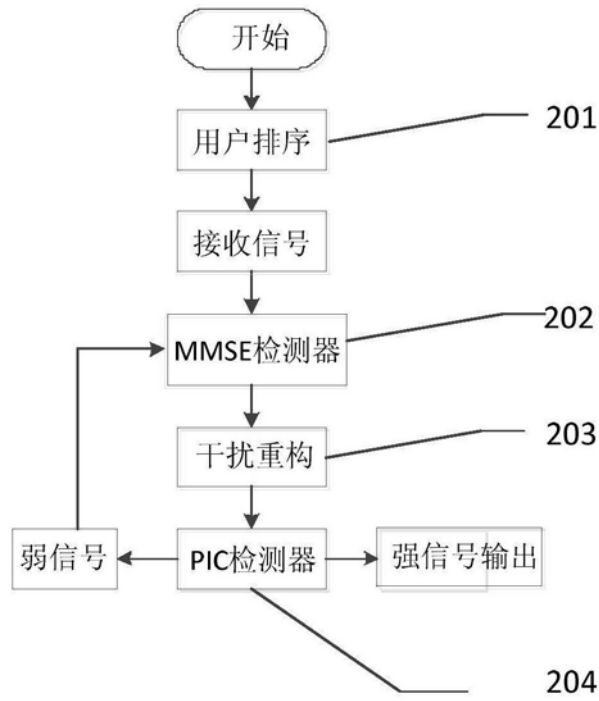


图3

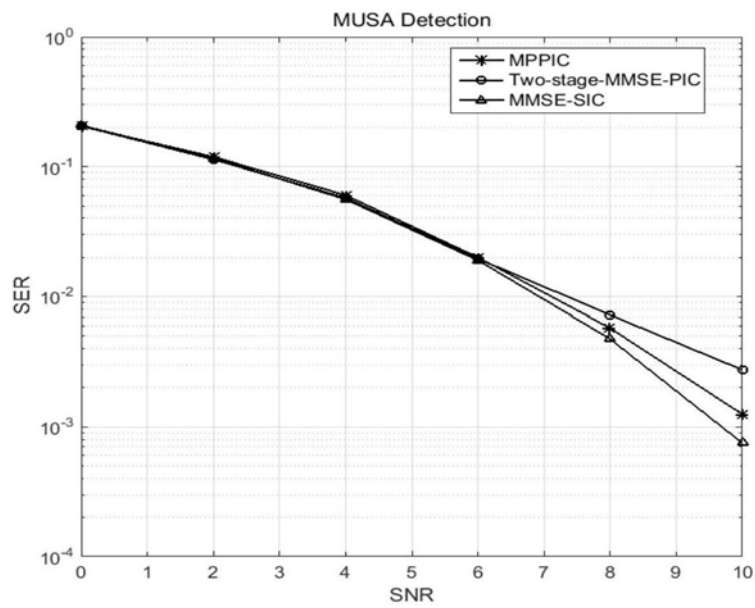


图4

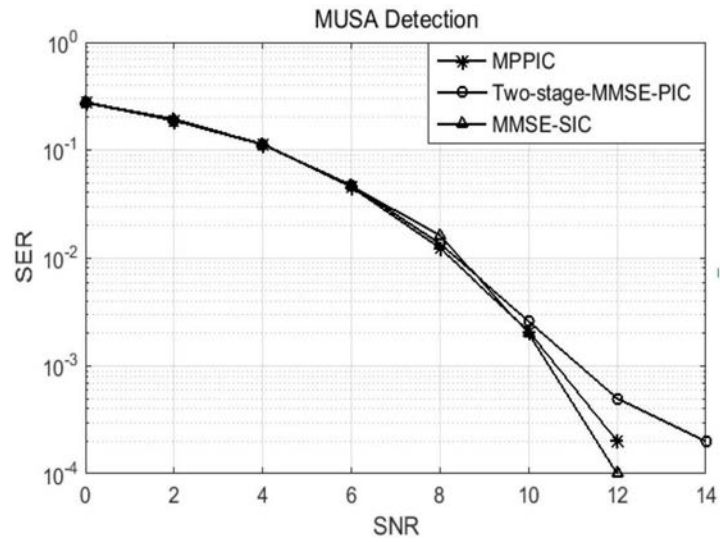


图5