

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710093781.3

H04L 1/00 (2006.01)
H04L 1/06 (2006.01)
H04L 25/03 (2006.01)
H04B 7/06 (2006.01)

[43] 公开日 2008年10月22日

[11] 公开号 CN 101291192A

[22] 申请日 2007.4.18

[21] 申请号 200710093781.3

[71] 申请人 中兴通讯股份有限公司

地址 518057 广东省深圳市南山区高新技术产业园科技南路中兴通讯大厦法律部

[72] 发明人 郭 阳

[74] 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司

代理人 龙 洪 霍育栋

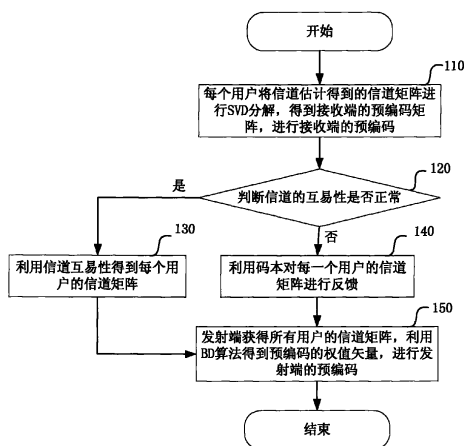
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

时分双工方式下下行多用户多输入多输出的预编码方法

[57] 摘要

一种时分双工方式下下行多用户多输入多输出的预编码方法，包含如下步骤：a. 每一个用户根据信道估计得到其信道矩阵 H_i ，对 H_i 进行奇异值分解 SVD，得到其接收端的预编码矩阵 U_i ，使用 U_i 进行接收端的预编码；b. 对每个用户的信道矩阵 H_i ，对该矩阵的每个列向量，找出其最大模值，将其位置信息发送给发射端，发射端收到后对该列向量各元素的幅度进行重构，相位进行量化，其中最大模值的元素重构后其幅度大于该列向量其余元素的幅度，其量化角度小于该列向量其余元素的量化角度；c. 发射端得到所有用户的信道矩阵，利用块对角化 BD 算法得到每一个用户使用的预编码权值矢量，进行发射端的多用户预编码。



1、一种时分双工方式下下行多用户多输入多输出的预编码方法，包含如下步骤：

a、每一个用户根据信道估计得到其信道矩阵 H_i ，对 H_i 进行奇异值分解 SVD，得到其接收端的预编码矩阵 U_i ，使用 U_i 进行接收端的预编码；

b、对每个用户的信道矩阵 H_i ，对该矩阵的每个列向量，找出其最大模值，将其位置信息发送给发射端，发射端收到后对该列向量各元素的幅度进行重构，相位进行量化，其中最大模值的元素重构后其幅度大于该列向量其余元素的幅度，其量化角度小于该列向量其余元素的量化角度；

c、发射端得到所有用户的信道矩阵，利用块对角化 BD 算法得到每一个用户使用的预编码权值矢量，进行发射端的多用户预编码。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：所述步骤 b 之前包含步骤，如果信道互易性正常，所述发射端利用信道互易性获得所有用户的信道矩阵，转入步骤 c，否则，转入 b。

3、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：所述步骤 b 中，最大模值的元素其幅度为 A_{\max} ，该列向量其余元素的幅度 $\sqrt{(1-A_{\max}^2)/(N-1)}$ ，N 为列向量的元素个数。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于：所述 A_{\max} 为 0.74。

5、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：所述步骤 b 中，最大模值的元素的相位以 $\pi/2$ 进行量化。

6、如权利要求 1 或 5 所述的方法，其特征在于：所述步骤 b 中，非最大模值的元素的相位以 π 进行量化。

7、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：所述步骤 b 中，元素进行量化时，以任意角度值作为量化起始点。

8、如权利要求 6 所述的方法，其特征在于：所述步骤中，元素以 0 、 $\pi/8$ 或 $\pi/4$ 作为量化起始点。

9、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于：所述步骤 c 中，定义

$\tilde{H}_j = [H_1^T \cdots H_{j-1}^T \ H_{j+1}^T \cdots H_K^T]^T$, 其中, 其中 $H_1 \cdots H_K$ 分别为接收端所有用户即 K 个用户的信道矩阵, 对于 \tilde{H}_j 进行 SVD 分解得到 $\tilde{H}_j = \tilde{U}_j \tilde{\Sigma}_j [\tilde{V}_j^{(1)} \ \tilde{V}_j^{(0)}]^*$, 其中 $\tilde{V}_j^{(1)}$ 是 \tilde{H}_j 进行 SVD 分解得到的 V 矩阵的第一个列向量, $\tilde{V}_j^{(0)}$ 是 \tilde{H}_j 分解得到的其余的列向量, 对于第 j 个用户, 矩阵 $H_j \tilde{V}_j^{(0)} = U_j \begin{bmatrix} \Sigma_j & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} [V_j^{(1)} \ V_j^{(0)}]^*$, 其中 $V_j^{(1)}$ 代表第一个列向量, 对于第 j 个用户, 在发射端所使用的权预编码值矢量为 $\tilde{V}_j^{(0)} V_j^{(1)}$ 。

10、如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 所述预编码方法应用于包含 K 个用户的系统, 该系统发射天线的数目不小于 $K-1$ 个用户接收天线的数目之和。

时分双工方式下下行多用户多输入多输出的预编码方法

技术领域

本发明涉及多输入多输出 (MIMO) 无线移动通信系统, 具体涉及一种应用于 TDD (时分双工) 方式的下行 Multi-user (MU, 多用户) MIMO 的预编码方法。

背景技术

多输入多输出 (MIMO: Multiple Input and Multiple Output) 系统由于其有效提高信道容量而成为 LTE (长期演进) 的研究中一项倍受人们关注的技术。使用预编码技术进行多数据流与天线之间的复用能够更加有效的利用现有信道资源, 通过对数据流的功率分配能够提高系统容量, 并能够减小数据流之间的干扰, 提高系统的整体性能。因此预编码技术也成为新的研究热点。

针对多用户使用的预编码方法的基本思想是发射端发射机已知所有用户的信道信息, 根据所有用户的信道信息, 通过多用户信号分离算法对多用户间的信号进行分离, 消除用户之间的干扰, 达到同时同频传输多用户信号的目的。

发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种应用于 TDD 方式的下行多用户 MIMO 的预编码方案。

一种时分双工方式下下行多用户多输入多输出的预编码方法, 包含如下步骤:

- a、每一个用户根据信道估计得到其信道矩阵 H_i , 对 H_i 进行奇异值分解 SVD, 得到其接收端的预编码矩阵 U_i , 使用 U_i 进行接收端的预编码;
- b、对每个用户的信道矩阵 H_i , 对该矩阵的每个列向量, 找出其最大模

值, 将其位置信息发送给发射端, 发射端收到后对该列向量各元素的幅度进行重构, 相位进行量化, 其中最大模值的元素重构后其幅度大于该列向量其余元素的幅度, 其量化角度小于该列向量其余元素的量化角度;

c、发射端得到所有用户的信道矩阵, 利用块对角化 BD 算法得到每一个用户使用的预编码权值矢量, 进行发射端的多用户预编码。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述步骤 b 之前包含步骤, 如果信道互易性正常, 所述发射端利用信道互易性获得所有用户的信道矩阵, 转入步骤 c, 否则, 转入 b。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述步骤 b 中, 最大模值的元素其幅度为 A_{\max} , 该列向量其余元素的幅度 $\sqrt{(1-A_{\max}^2)/(N-1)}$, N 为列向量的元素个数。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述 A_{\max} 为 0.74。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述步骤 b 中, 最大模值的元素的相位以 $\pi/2$ 进行量化。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述步骤 b 中, 非最大模值的元素的相位以 π 进行量化。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述步骤 b 中, 元素进行量化时, 以任意角度值作为量化起始点。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述步骤中, 元素以 0、 $\pi/8$ 或 $\pi/4$ 作为量化起始点。

进一步地, 上述方法还可具有以下特点: 所述步骤 c 中, 定义 $\tilde{H}_j = [H_1^T \cdots H_{j-1}^T \ H_{j+1}^T \cdots H_K^T]^T$, 其中, 其中 $H_1 \cdots H_K$ 分别为接收端所有用户即 K 个用户的信道矩阵, 对于 \tilde{H}_j 进行 SVD 分解得到 $\tilde{H}_j = \tilde{U}_j \tilde{\Sigma}_j [\tilde{V}_j^{(1)} \ \tilde{V}_j^{(0)}]^*$, 其中 $\tilde{V}_j^{(1)}$ 是 \tilde{H}_j 进行 SVD 分解得到的 V 矩阵的第一个列向量, $\tilde{V}_j^{(0)}$ 是 \tilde{H}_j 分解得到的其余的列向量, 对于第 j 个用户, 矩阵 $H_j \tilde{V}_j^{(0)} = U_j \begin{bmatrix} \Sigma_j & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} [V_j^{(1)} \ V_j^{(0)}]^*$, 其中 $V_j^{(1)}$ 代表第一个列向量, 对于第 j 个用户, 在发射端所使用的权预编码值矢量为 $\tilde{V}_j^{(0)} V_j^{(1)}$ 。

进一步地，上述方法还可具有以下特点：所述预编码方法应用于包含 K 个用户的系统，该系统发射天线的数目不小于 K-1 个用户接收天线的数目之和。

本发明提出的预编码方法，可以满足多用户系统的要求，且减少了反馈占有占有的信道空间。

附图说明

图 1 是本发明预编码方法流程图；

图 2 是本发明实例一在仿真条件为 4*4 天线配置，2 用户，理想反馈信道信息时示意图；

图 3 是本发明实例二在仿真条件为 4*4 天线配置，3 用户，理想反馈信道信息时的示意图；

图 4 是本发明实例三在仿真条件为 4*4 天线配置，2 用户，使用上述码本反馈信道信息时示意图。

具体实施方式

在多用户 MIMO 模式中，可以通过设计合适的发射天线和接收天线的权值矢量来分开多用户的信号，去除干扰。由于 TDD 方式可以利用信道互易性得到信道信息，Node B（基站）侧可以得到下行 MIMO 的信道矩阵。对于 TDD 下行多用户 MIMO 使用 BD(Block Diagonalize, 块对角化)算法。

BD 算法描述如下：

定义 $\tilde{H}_j = [H_1^T \cdots H_{j-1}^T \quad H_{j+1}^T \cdots H_K^T]^T$ ；其中 $H_1 \cdots H_K$ 分别为 K 个用户的信道矩阵。

对于 \tilde{H}_j 进行 SVD（奇异值分解）得到 $\tilde{H}_j = \tilde{U}_j \tilde{\Sigma}_j [\tilde{V}_j^{(1)} \quad \tilde{V}_j^{(0)}]^*$ ，其中 $\tilde{V}_j^{(1)}$ 是 \tilde{H}_j 分解得到的 V 矩阵的第一个列向量， $\tilde{V}_j^{(0)}$ 是 \tilde{H}_j 分解得到的其余的列向量。

对于第 j 个用户，矩阵 $H_j \tilde{V}_j^{(0)} = U_j \begin{bmatrix} \Sigma_j & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} [V_j^{(1)} \quad V_j^{(0)}]^*$ ，其中 $V_j^{(1)}$ 代表第一个列向量。

对于第 j 个用户，在发射端所使用的权值矢量为 $\tilde{v}_j^{(0)}V_j^{(1)}$ ，在接收端使用的权值为 U_j 。

这里要说明的是：BD 算法对维数要求是发射天线的数目不小于 $K-1$ 个用户接收天线的数目之和。当满足这个条件的情况下，可以消除用户间干扰，即将用户间信号理想的分离。

对于 TDD 模式来说，Node B 端利用信道互易性得到每个用户的信道信息。（注：多用户情况下反馈的不再是 V 矩阵，而是 H 矩阵）。

当信道互易性无法使用的情况下（需要设置门限来确定什么情况进行码本使用的切换），需要使用码本对于每一个用户的信道矩阵 H 进行反馈，由于所需反馈的信道信息 H 矩阵不是酉矩阵，我们所使用的码本方式为直接量化方式的码本，对于直接量化的码本方式描述如下：

在多用户 MIMO 的 4×4 或者 4×2 天线模式中，发射端预编码需要所有用户的信道信息，下面举例说明 H 阵的量化对应方法，对于一个随机的 4×4 的 H 矩阵

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} \end{bmatrix}$$

H 矩阵进行量化为码本时，每一个列向量相互独立，所以仅说明一个列向量的量化方法即可。

H 矩阵的量化分为幅度量化和相位量化两部分。这种方法的核心在于对于具有最大模值的元素进行特殊处理，对该元素的幅值使用较大的值，相位进行较细致的量化。

(1) 对于幅度的量化方法如下：

对于一个列向量找出其最大模值，并将其所在位置的序号反馈给发射端，对上述一个列向量来说，幅度反馈的开销为 2 bits（比特），如果第一个列向量元素的模值的最大值在第一个位置，那么反馈 00，第二个列向量的元素的模值的最大值在第 4 个位置，那么反馈 11。

发送端收到反馈信息后对两个列向量的幅度分别进行重构,将最大值所在位置的元素的模值固定为 A_{\max} ,列向量中其余三个元素的模值都固定为 $\sqrt{(1-A_{\max}^2)}/3$ 。一般地,若列向量包含 N 个元素,则非最大模值元素的模值 $\sqrt{(1-A_{\max}^2)/(N-1)}$ A_{\max} 值的大小应该通过对于所使用的信道进行仿真测试来确定,根据随机矩阵的测试结果来看, A_{\max} 的最优取值为 0.74。

(2) 对于相位的量化方法如下:

对每个向量中模值最大的元素的相位以 $\pi/2$ 对该元素进行量化,一个元素以 $\pi/2$ 进行的角度量化需要 2 bit 的空间。对于每个向量中除模值最大的元素之外的其余元素的角度以 π 进行量化,每个元素以 π 进行量化时需要 1 bit 的量化空间。当然相位量化不限于 $\pi/2$, π , 也可以使用其它角度值,但要满足模值最大的元素的量化角度小于该列向量其他元素的量化角度。

使用这种量化方法对于每一个列向量需要 7bit 反馈空间。

注:量化时可以以任何角度值(如 0 、 $\pi/8$ 或 $\pi/4$ 等)作为起始点,不影响量化效果。

如图 1 所示,本发明具体操作方法如下:

步骤 110: 每一个用户根据信道估计得到其信道矩阵 H_i , 对 H_i 进行 SVD 分解, 得到其接收端的预编码矩阵 U_i , 使用 U_i 进行接收端的预编码。

步骤 120: 发射端判断信道的互易性, 如果信道互易性正常, 跳至步骤 130, 否则, 当信道互易性失效时, 执行步骤 140, 利用码本反馈得到每个用户的信道矩阵。

步骤 130: 利用信道互易性得到每一个用户的信道矩阵, 执行步骤 150;

步骤 140: 对于信道矩阵的每个列向量找出其最大模值, 并将其所在位置的序号反馈给发射端, 发送端收到反馈信息后对每个列向量的幅度分别进行重构, 将最大值所在位置的元素的模值固定为 A_{\max} , 列向量中其余的元素的模值都固定为 $\sqrt{(1-A_{\max}^2)/(N-1)}$ 。其中, A_{\max} 值的大小应该通过对于所使用的信道进行仿真测试来确定, 根据随机矩阵的测试结果来看, A_{\max} 的最优取

值为 0.74。然后对每个向量中模值最大的元素的相位以 $\pi/2$ 对该元素进行量化，一个元素以 $\pi/2$ 进行的角度量化需要 2 bit 的空间。对于每个向量中除模值最大的元素之外的其余元素的角度以 π 进行量化，每个元素以 π 进行量化时需要 1 bit 的量化空间。

步骤 150: 发射端得到所有用户的信道矩阵，利用 BD 算法得到每一个用户所使用的预编码权值矢量。从而进行发射端的多用户的预编码。

下面通过几个仿真实例进一步说明本发明。

仿真条件如下表所示:

系统带宽	10 MHz
子载波数	601
子载波间隔	15 kHz
资源块带宽	180 kHz (12 子载波)
传输时间间隔(TTI)	1.0 msec (14 OFDM 正交频分复用符号)
调制方式	QPSK(正交相移调制)
编码速率	$R = 1/3$
信道编码 / 译码	Turbo 编码($K = 4$) / Max-Log-MAP 译码
Codeword(码字) 方式	多码流 (MCW)
天线数	4*4 MIMO
信道模型	SCME (空间信道模型扩展)
最大多普勒频移	$f_D = 5.55 \text{ Hz}$ ($v = 3 \text{ km/h}$)
信道估计	LS (线性最小二乘)
信号检测	MMSE-SIC(最小均方误差解相干)
预编码矩阵更新周期	1 TTI (= 1 ms)
HARQ (混合自动重发请求)	None

注: 多用户仿真的性能有一些随机性, 其依赖于用户间各个信道的相关程度。当用户间信道相关性强时性能会比相关性弱时差。

从仿真结果可以看出：对于 4*4 天线配置，2 用户的情况误码性能是很好的。

当用户数目增加到 3 个时，相互之间干扰增加，误码性能随之下落，甚至无法收敛，所以 3 用户情况在用户间信道相关性较强时（用户配对不理想的情况）是无法正常工作的。

对于 2 用户使用码本反馈信道信息的情况，误码性能可以收敛，只是误码性能下降了 3-10dB，这说明对于信道做直接量化的码本方式可以满足多用户系统的要求。

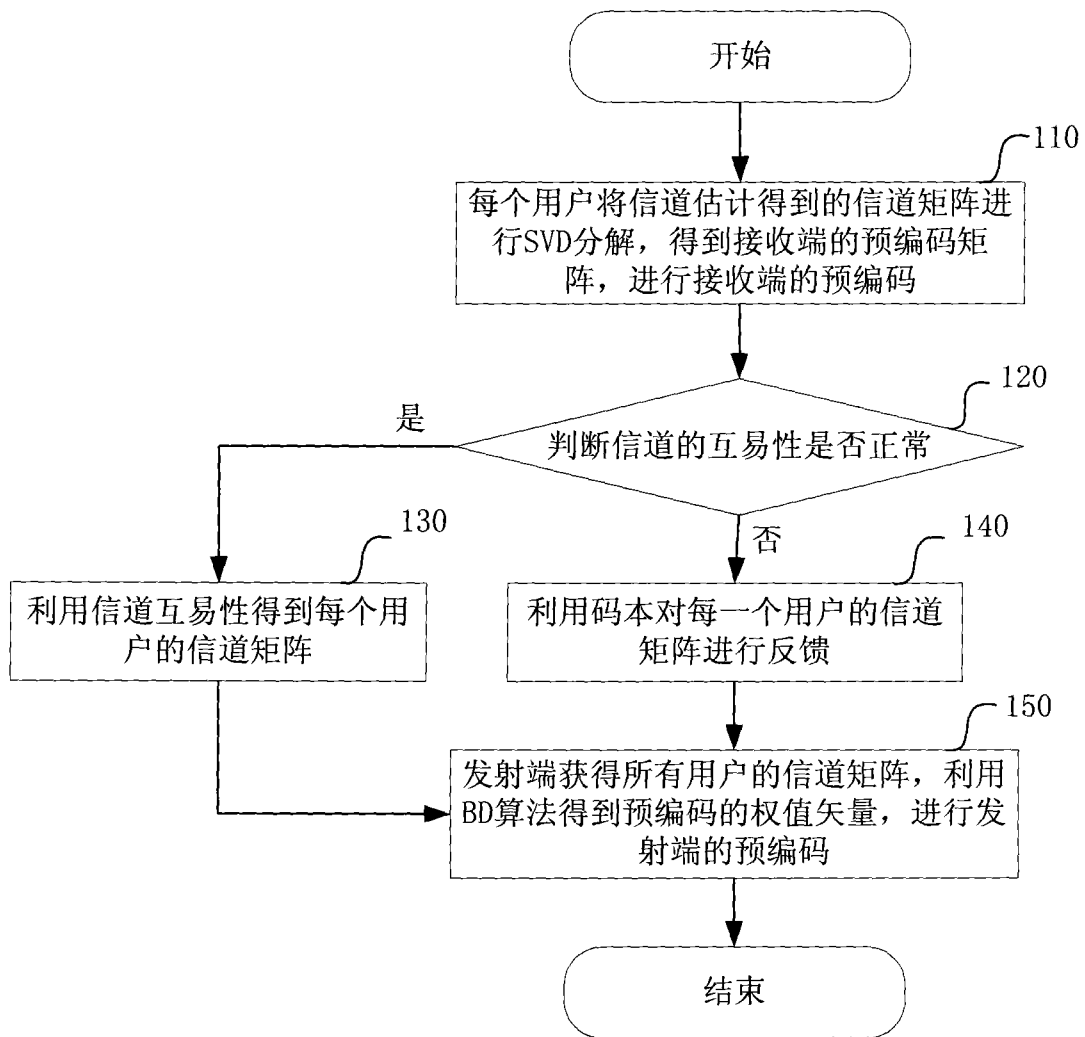


图 1

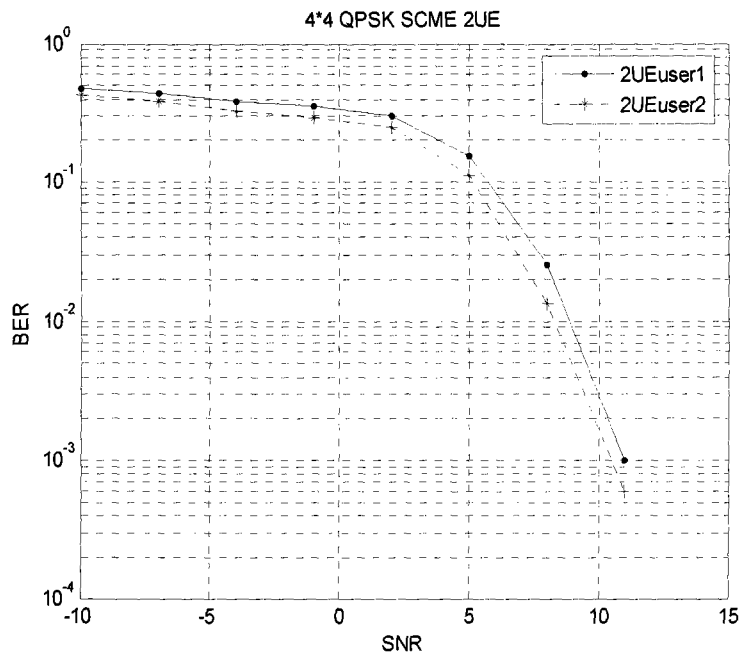


图 2

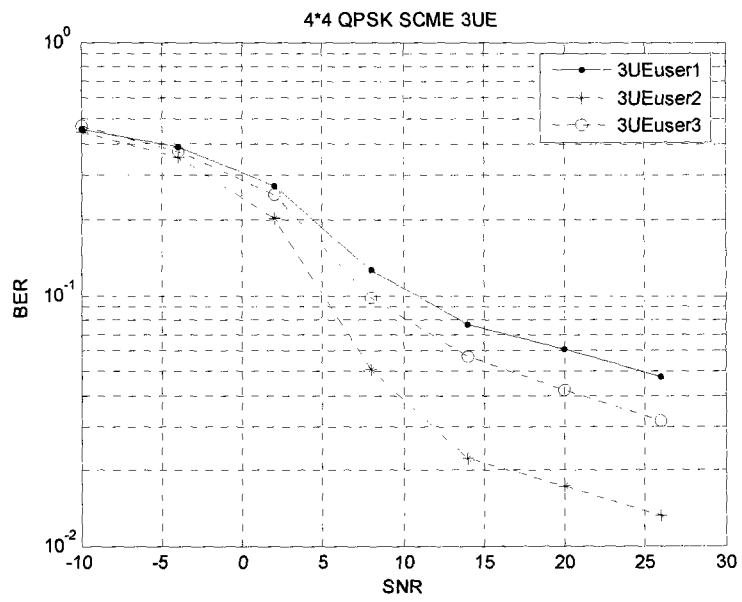


图 3

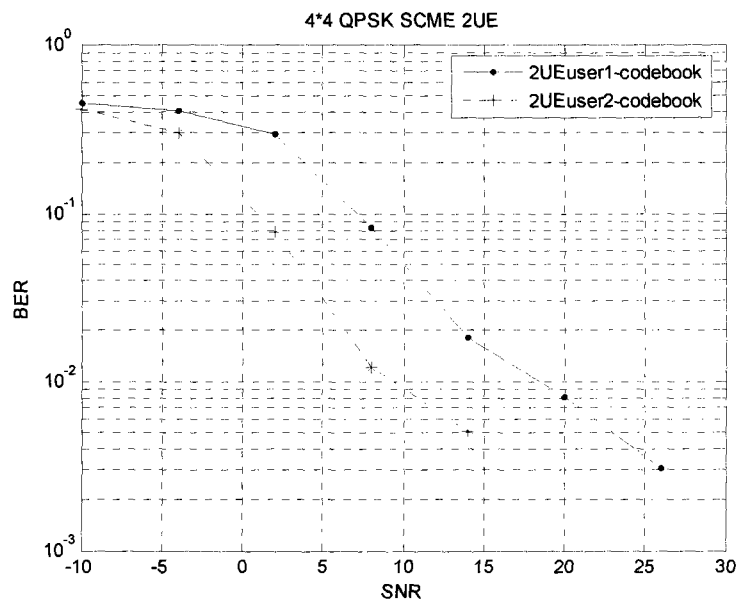


图 4