



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510122609.7

[45] 授权公告日 2007 年 9 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100340077C

[22] 申请日 2005.11.29

[21] 申请号 200510122609.7

[73] 专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼 2 号

[72] 发明人 高西奇 尤肖虎 江 彬 潘志文  
张 源

[56] 参考文献

CN1592144A 2005.3.9

US2003/0185295A1 2003.10.2

CN1567758A 2005.1.19

多用户 MIMO 系统最优发送策略研究 宋文妙, 全庆一, 胡健栋, 微电子学与计算机, 第 22 卷第 6 期 2005

审查员 李 萍

[74] 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司  
代理人 叶连生

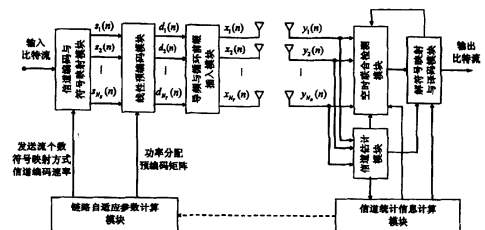
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 1 页

## [54] 发明名称

多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法

## [57] 摘要

多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法, 能够最大限度地提高通信系统的频谱利用率和功率效率, 与传统的单天线发送和单天线接收系统相比, MIMO 无线通信系统的信道环境更为复杂, 在终端移动过程中, 终端与基站之间的信道可能历经不同的类型, 其容量随之有较大幅度的变化。其特征首先在于首先在接收端利用信道估计的结果获取信道统计信息, 然后对得到的信道统计信息进行量化和编码得到反馈的比特信息, 进而通过反馈信道传送到发送端, 发送端利用信道统计信息计算出链路自适应控制参数并用于控制编码调制和发送预编码, 发送端采用特征模式传输和随机虚空选择发送方法得到数字基带发送信号, 接收端采用相同的链路自适应控制参数进行自适应接收。



- 1、 一种多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法，其特征在于首先在接收端利用信道估计的结果获取信道统计信息，然后对得到的信道统计信息进行量化和编码得到反馈的比特信息，进而通过反馈信道传送至发送端，发送端利用信道统计信息计算出链路自适应控制参数并用于控制编码调制和发送预编码，发送端通过随机虚空选择发送方法以及基于特征模式的线性预编码方法得到发送端的数字基带发送信号，接收端采用相同的链路自适应控制参数进行自适应接收。
- 2、 根据权利 1 所述的多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法，其特征在于所获取的信道统计信息包括信道收/发相关阵、空间功率注水阵、信道可分辨流的个数  $N_s$ 、在线信道容量。
- 3、 根据权利 1 所述的多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法，其特征在于反馈至发送端的是信道的统计信息，反馈的比特信息是信道统计参数差分信号量化编码后的比特信息。
- 4、 根据权利 1 所述的多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法，其特征在于利用信道统计信息计算出的链路自适应控制参数包括传输数据流的个数、信道编码方式、调制方式、线性预编码矩阵。

## 多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法

### 技术领域

本发明涉及一种通过使用多个发送/接收天线来传输高速数据的移动通信系统，尤其涉及一种多天线无线传输系统在各种信道环境下的传输方案。

### 背景技术

为适应未来发展的需要，后三代（B3G）或称第四代（4G）移动通信系统要求能够支持高达每秒数十兆甚至数百兆比特的高速分组数据传输，在无线资源日趋紧张的情况下，采用多天线发送和多天线接收（MIMO）无线传输技术，充分挖掘利用空间资源，最大限度地提高频谱利用率和功率效率，成为后三代移动通信研究的关键所在。

与传统的单天线发送和单天线接收系统相比，MIMO 无线通信系统的信道环境更为复杂，影响信道容量的因素更多，在终端移动过程中，终端与基站之间的信道可能历经不同的类型，其容量随之有较大幅度的变化。为适应信道环境的变化，可采用不同的传输方法，当信道分别为瑞利信道和相关的瑞利信道时，可分别采用空分复用和空时编码传输方法，在具有强直达径且采用线天线阵列时，可采用传统的波束成形技术，当信道为静态信道时，可利用空间注水传输。显然，采用多种技术构建实用系统，要保证高效可靠，其实现会变得非常复杂，寻求适于各种信道环境的统一的自适应传输方法，无疑是重要的。

自适应于信道环境的传输，需要在发端利用信道的先验信息。信道的先验信息可以是完全的信道状态信息或部分的信道状态信息，而部分信道状态信息是信道的统计信息，包括干扰和噪声的统计量、发送相关、接收相关、均值、以及移动速度等。在典型移动通信环境下，特别是高速移动通信环境下，信道是快速时变的，发送端无法确知完全的信道状态信息，而其部分状态信息在相当一段时间内是近似不变的，研究表明，当发射机利用部分信道状态信息进行传输时，MIMO 系统的信道容量和传输可靠性可得到较大的提高。

理论研究表明，在存在发端相关的瑞利衰落信道环境下，当收端确知信道状态信息且发端已知信道的发送相关矩阵时，信道容量最大化准则下的最优传输即为基于特征模式的空间预滤波传输。目前已报导的工作主要针对存在发端相关的瑞利平衰落信道，特征模式传输向更一般的信道环境的拓展尚未全面展开，为了使之成为真正意义上适用于各种信道环境的统

一传输方案，进一步的拓展研究是必要的。

## 发明内容

**技术问题：**本发明的目的是提供一种多天线无线传输系统中信道环境自适应的传输方法，它能够适用于各种典型的多天线信道环境，特别是分布式无线电无线网络系统环境。

**技术方案：**本发明的多天线无线传输系统中信道环境自适应传输方法，首先在接收端利用信道估计的结果获取信道统计信息，然后对得到的信道统计信息进行量化和编码得到反馈的比特信息，进而通过反馈信道传送至发送端，发送端利用信道统计信息计算出链路自适应控制参数并用于控制编码调制和发送预编码，发送端采用特征模式传输和随机虚空选择发送方法得到数字基带发送信号，接收端采用相同的链路自适应控制参数进行自适应接收。

所获取的信道统计信息包括信道收/发相关阵、空间功率注水阵、信道可分辨流的个数  $N_s$ 、在线信道容量。反馈至发送端的是信道的统计信息，反馈的比特信息是信道统计参数差分信号量化编码后的比特信息。利用信道统计信息计算出的链路自适应控制参数包括传输数据流的个数、信道编码方式、调制方式、线性预编码矩阵等。发送端的数字基带发送信号是通过随机虚空选择发送方法以及基于特征模式的线性预编码方法得到的。

考虑一个发射天线数为  $N_T$ ，接收天线数为  $N_R$  的 MIMO 无线通信系统，在对其信道容量进行分析的基础上，通过最大化信道容量的上界可以构建出如图 1 所示的自适应 MIMO 传输方案。该方案可描述为：

(1) 在接收端，对  $N_R$  个数字基带接收信号  $y_m(l)$  首先利用接收导频信号进行信道估计，进而通过空时联合检测得到输出比特流，其中  $m=1,2,\dots,N_R$ ， $y_m(l)$  表示第  $m$  个接收天线的接收信号。在进行检测的同时，利用当前帧信道估计的结果计算信道的统计信息，包括信道收/发相关阵、空间功率注水阵、信道可分辨流的个数  $N_s$ 、在线信道容量等。利用这些信道统计信息可以得到链路自适应控制所需参数，包括信道编码方式、调制方式、线性预编码矩阵等，这些链路控制参数用于下一帧数据的检测。当前帧得到的信道统计信息和链路控制参数通过量化和编码，可以得到反馈信道的输入，包括信道的发送相关阵、噪声方差、信道编码方式、调制方式等。信息的反馈是以帧为单位进行的。

(2) 在发送端，首先通过链路自适应参数计算模块将来自反馈信道的信道统计信息转换

为链路控制参数（流的个数  $N_s$ 、信道编码方式、调制方式、线性预编码矩阵等），然后将输入比特流经过信道编码与符号映射之后得到  $N_s$  个符号流  $s_\alpha(l)$ ，其中  $\alpha=1,2,\dots,N_s$ ， $s_\alpha(l)$  表示第  $\alpha$  个符号流；对  $N_s$  个符号流进行线性预编码后得到  $N_T$  个预编码符号流  $d_n(l)$ ，其中  $n=1,2,\dots,N_T$ ， $d_n(l)$  表示第  $n$  个预编码符号流；在  $N_T$  个预编码符号流中间歇的插入循环前缀和导频得到  $N_T$  个数字基带发送信号  $x_n(l)$ ，其中  $n=1,2,\dots,N_T$ ， $x_n(l)$  表示第  $n$  个发送天线的发送信号。

为使本发明中的技术方案及其优点更加清楚明白，下面对本方案进行具体描述。

### 一、信道统计信息的获取

所述方案中的信道统计信息包括如下几个部分：信道的收/发送相关阵、噪声方差、空间功率注水矩阵、信道可分辨的独立流的个数、在线信道容量等。

为了描述的方便，我们用  $N_r \times N_r$  的矩阵  $\mathbf{H}_p^{(k)}$  表示当前帧  $k$  时刻信道第  $p$  径的冲击响应估计值，其中  $p=0,1,\dots,P-1$ ， $k=1,2,\dots,K$ ， $K$  是每一帧中用于计算信道统计信息的信道总样本数。 $\sigma_n^2$  为当前帧得到的噪声方差的估计值。

#### (1) 信道收/发相关阵的统计及其特征分解

利用当前帧得到的信道参数估计值，当前帧的信道的发送相关阵和接收相关阵可表述为：

$$\mathbf{R}_{TX}^{(avr)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{p=0}^{P-1} (\mathbf{H}_p^{(k)})^H \mathbf{H}_p^{(k)}, \quad (\text{公式 1})$$

$$\mathbf{R}_{RX}^{(avr)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{p=0}^{P-1} \mathbf{H}_p^{(k)} (\mathbf{H}_p^{(k)})^H. \quad (\text{公式 2})$$

为了使统计得到的相关阵在时域上具有记忆性，用遗忘因子  $\beta$  对相邻帧获得的结果进行平滑，即：

$$\mathbf{R}_{TX}^{(T)} = (1 - \beta) \mathbf{R}_{TX}^{(avr)} + \beta \mathbf{R}_{TX}^{(T-1)}, \quad (\text{公式 3})$$

$$\mathbf{R}_{RX}^{(T)} = (1 - \beta) \mathbf{R}_{RX}^{(avr)} + \beta \mathbf{R}_{RX}^{(T-1)}. \quad (\text{公式 4})$$

其中  $\mathbf{R}_{TX}^{(T)}$  和  $\mathbf{R}_{TX}^{(T-1)}$  分别表示是当前帧和前一帧发送相关阵， $\mathbf{R}_{RX}^{(T)}$  和  $\mathbf{R}_{RX}^{(T-1)}$  分别表示是当前帧和前一帧接收相关阵。

对当前帧的发送相关阵  $\mathbf{R}_{TX}^{(T)}$  和接收相关阵  $\mathbf{R}_{RX}^{(T)}$  进行特征分解得到：

$$\mathbf{R}_{TX}^{(T)} = \mathbf{U}_t \mathbf{\Lambda}_t \mathbf{U}_t^H, \quad (\text{公式 5})$$

$$\mathbf{R}_{RX}^{(T)} = \mathbf{U}_r \mathbf{\Lambda}_r \mathbf{U}_r^H. \quad (\text{公式 6})$$

其中  $\mathbf{\Lambda}_t = \text{diag}\{\lambda_{t,1}, \dots, \lambda_{t,N_T}\}$ ,  $\mathbf{\Lambda}_r = \text{diag}\{\lambda_{r,1}, \dots, \lambda_{r,N_R}\}$ .  $\lambda_{t,i} (i=1,2,\dots,N_T)$ ,  $\lambda_{r,j} (j=1,2,\dots,N_R)$  分别是  $\mathbf{R}_{TX}^{(T)}$  与  $\mathbf{R}_{RX}^{(T)}$  按降序排列的特征值,  $\mathbf{U}_t, \mathbf{U}_r$  分别是与之相对应的  $\mathbf{R}_{TX}^{(T)}$  和  $\mathbf{R}_{RX}^{(T)}$  的特征矩阵.

$\mathbf{U}_t$  和  $\mathbf{\Lambda}_t$  统称为信道的特征模式, 其中  $\mathbf{U}_t$  是发送预编码矩阵的一个重要组成部分.

### (2) 空间功率分配矩阵

本方案中功率分配方法采用的是空间注水法. 利用公式 5 所得的  $\mathbf{R}_{TX}^{(T)}$  的特征分解, 并行信道的注水解可以表示为:

$$\sigma_{t,i}^2 = \max\left(0, \varepsilon - \frac{\sigma_t^2}{\lambda_{t,i}}\right), \quad 1 \leq i \leq N_T, \quad (\text{公式 7})$$

其中: 门限  $\varepsilon$  是由发射总功率决定的常数. 相应的空间功率分配矩阵可表示为:

$$\mathbf{P} = \text{diag}\{\sigma_{t,1}^2, \dots, \sigma_{t,N_T}^2\}. \quad (\text{公式 8})$$

### (3) 流控制

MIMO 自适应传输系统一个很重要的组成部分是流控制机制. 接收机通过对信道的统计特性进行分析, 综合考虑 MIMO 信道的发射相关, 接收相关以及直达径等因素的影响, 从能量的观点出发, 确定实际可传送的流个数  $N_s$ , 并将其反馈到发射机, 供发端进行多波束成形.

当  $\mathbf{R}_{TX}^{(T)}$  和  $\mathbf{R}_{RX}^{(T)}$  的特征分解确定后, 我们可以用下面的公式来选择  $N_s$ . 记:

$$Q_t = \arg \min_i \left\{ \frac{\lambda_{t,i}}{\lambda_{t,1}} < \alpha_t \right\}, \quad (\text{公式 9})$$

$$Q_r = \arg \min_j \left\{ \frac{\lambda_{r,j}}{\lambda_{r,1}} < \alpha_r \right\}. \quad (\text{公式 10})$$

其中  $\alpha_t, \alpha_r$  分别为发送端和接收端的流选择因子 (一般情况下在 0.3 左右取值), 则发送流个数的初始值为:

$$N_s = \min\{Q_t, Q_r\}. \quad (\text{公式 11})$$

本方案提出的流控制方法综合考虑了发端相关, 收端相关以及直达径的影响. 从公式 9 和公式 10 可以看出: 公式 9 包括了信道的直达径和发相关信息, 公式 10 则蕴涵了直达径和

收相关信息。进行流控制时只考虑公式 9 或公式 10 都是不够完善的。

在实际使用时，由公式 11 式决定的  $N_s$  还必须不大于功率分配中非零解的个数。

#### (4) 在线容量计算及其修正

在本方案中，首先根据当前帧的信道统计信息在线计算出理论上即时信道容量，然后对其进行修正从而得到实际系统的可达信道容量，并在此基础上进行比特分配。

在对各发送天线利用 P 进行空间注水之后，各并行子信道的等效信噪比可表述为：

$\rho_i = \lambda_i \sigma_s^2 / \sigma_z^2$ 。理论上的遍历信道容量（上界）值：

$$C = \sum_{i=1}^{N_r} \log_2(1 + \rho_i). \quad (\text{公式 12})$$

在实际系统中，考虑到接收机不能过于复杂，由公式 12 所决定的信道容量上界并不能完全达到，因此我们需要对其进行修正，从而得到的实际可达的信道容量值：

$$\tilde{C} = f(C, \gamma). \quad (\text{公式 13})$$

其中  $f(\cdot, \cdot)$  是信道容量修正函数， $\gamma$  是当前帧的容量修正因子。

一般来说， $f(\cdot, \cdot)$  由经验函数来确定， $\gamma$  的选择可以综合信道条件和检测器的性能来确定，如接收机匹配滤波后输出信号的信干比、误包率等。为便于理解，下面给出一种在线信道容量的修正方法。

记  $\mathbf{y}(k) = [y_1(k), y_2(k), \dots, y_{N_r}(k)]^T$ ，表示在第  $k$  个时刻的数字基带发送接收信号，则  $\mathbf{y}(k)$  可表示为：

$$\mathbf{y}(k) = \sum_{p=0}^{P-1} \mathbf{H}_p^{(k)} \mathbf{x}(k-p) + \mathbf{z}(k), \quad (\text{公式 14})$$

其中  $\mathbf{z}(k)$  是方差为  $\sigma_z^2$  加性高斯白噪声 (AWGN)， $\mathbf{x}(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_{N_t}(k)]^T$  是第  $k$  个时刻的数字基带发送发送信号。匹配滤波后的输出信号可表示为：

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(k) &= \sum_{p=0}^{P-1} (\mathbf{H}_p^{(k)})^H \mathbf{y}(k+p) \\ &= \sum_{l=p+1}^{P-1} \mathbf{A}_l \mathbf{x}(k+l) + \sum_{p=0}^{P-1} (\mathbf{H}_p^{(k)})^H \mathbf{z}(k+p), \end{aligned} \quad (\text{公式 15})$$

其中  $\mathbf{A}_l = \sum_p (\mathbf{H}_{l,p}^{(k)})^H \mathbf{H}_p^{(k)}$ ,  $(0 \leq l+p, p \leq P-1)$ 。

记  $\bar{\mathbf{A}}_0 = \text{diag}\{\mathbf{A}_0\} = \text{diag}\{a_1, a_2, \dots, a_{N_r}\}$ ,  $\tilde{\mathbf{A}}_0 = \mathbf{A}_0 - \bar{\mathbf{A}}_0$ ,  $\mathbf{B} = [\mathbf{A}_{-P+1}, \dots, \mathbf{A}_{-1}, \tilde{\mathbf{A}}_0, \mathbf{A}_1, \dots, \mathbf{A}_{P-1}]$ ,

$\tilde{\mathbf{x}}(k) = [\mathbf{x}^T(k-P+1), \dots, \mathbf{x}^T(k), \dots, \mathbf{x}^T(k+P-1)]^T$ , 则由公式 15 可得:

$$\mathbf{r}(k) = \underbrace{\bar{\mathbf{A}}_0 \mathbf{x}(k)}_{\text{Signal}} + \underbrace{\mathbf{B} \tilde{\mathbf{x}}(k)}_{\text{Interference}} + \underbrace{\sum_{p=0}^{P-1} (\mathbf{H}_p^{(k)})^H \mathbf{z}(k+p)}_{\text{Noise}}. \quad (\text{公式 16})$$

注意到信号能量是归一化的, 且噪声方差为  $\sigma_z^2$ , 故信号能量、干扰能量、噪声能量分别为:

$\sum_{n=1}^{N_r} a_n^2$ 、 $\|\mathbf{B}\|_F^2$ 、 $\sum_{n=1}^{N_r} a_n \sigma_z^2$ 。因此, 利用当前信道样本计算得到的信干比为:

$$\xi_k = \frac{\sum_{n=1}^{N_r} a_n^2}{\|\mathbf{B}\|_F^2 + \sum_{n=1}^{N_r} a_n \sigma_z^2}. \quad (\text{公式 17})$$

由当前帧所有样本统计得到的信干比为:

$$\xi_{\text{cur}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \xi_k. \quad (\text{公式 18})$$

为了使统计得到的信干比在时域上具有记忆性, 用遗忘因子  $\mu$  对相邻帧获得的结果进行平滑:

$$\xi_{\text{new}} = (1 - \mu) \xi_{\text{cur}} + \mu \xi_{\text{old}}, \quad (\text{公式 19})$$

其中  $\xi_{\text{old}}$ ,  $\xi_{\text{new}}$  分别表示前一帧和当前帧的信干比。

令

$$\gamma = 1 + \frac{N_s}{N_r} \frac{1}{\xi_{\text{new}}}, \quad (\text{公式 20})$$

则信道容量修正函数为:

$$\tilde{C} = f(C, \gamma) = 0.75 \frac{C}{\gamma} - 0.25. \quad (\text{公式 21})$$

此外, 在线信道容量估计可进一步采用误包率进行修正, 当误包率高时, 在线信道容量估计值减少, 反之, 则增加。

### (5) 比特分配

在获得当前帧的信道容量修正值  $\tilde{C}$  以及信道可分辨流的个数  $N_s$  之后, 我们可以通过比特分配算法来确定每个流的编码方式和调制方式。

用  $\{M_i\}_{i=1}^I$  和  $\{R_j\}_{j=1}^J$  分别表示系统所支持的所有调制方式和所有编码方式的集合,  $n_y$  表示  $N_s$  个流中调制方式为  $M$ , 编码方式为  $R_j$  的流的个数, 则  $n_y$  的求解可转化为如下的线性整数规划问题:

$$\begin{aligned} \min \delta &= \bar{C} - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J M_i R_j n_{ij} \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} = N_s \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J M_i R_j n_{ij} \leq \bar{C} \\ n_{ij} \text{ 为非负整数, } \forall i, j \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{公式 22})$$

公式 22 所描述的整数规划问题的解称为最优比特分配方案，实际使用时可以根据不同的  $\bar{C}$  和  $N_s$  离线计算一组结果，硬件实现时只要查表即可。

下面给出一个简单的算例，假设系统采用的调制方式为 QPSK 和 16QAM，且采用 1/2 速率的编码，分别记  $N_s$  个流中调制方式为 QPSK 和 16QAM 的流的个数为  $n_{\text{QPSK}}$  和  $n_{\text{16QAM}}$ ，则有：

$$\begin{cases} n_{\text{QPSK}} = 1, n_{\text{16QAM}} = 0, N_s = 1 & \bar{C} < 1 \\ n_{\text{QPSK}} = \lfloor \bar{C} \rfloor, n_{\text{16QAM}} = 0 & 1 \leq \bar{C} \leq N_s \\ n_{\text{16QAM}} = \lfloor \bar{C} - N_s \rfloor, n_{\text{QPSK}} = N_s - n_{\text{16QAM}} & \bar{C} > N_s \end{cases} \quad (\text{公式 23})$$

## 二、反馈信道

反馈信道是 MIMO 自适应传输系统的重要组成部分。在 TDD 系统中，由于上下行链路所用频段相同，一般情况下，可以认为上下行链路的信道参数是相同的。此时发射机估计出接收机到发射机的信道参数就可应用于发射机的预编码设计中。在 FDD 系统中由于上下行链路所用频段不同，发射机只能利用接收机通过反馈信道传输过来部分信道信息进行预编码设计。

通过前面的讨论我们可以看到，发送端需要的信道统计信息包括有： $U$ 、 $P$ 、 $N_s$ 、各数据流的编码/调制方式  $n_{ij} (i=1, \dots, I, j=1, \dots, J)$ 。考虑到  $U$  的动态范围较大，若直接反馈  $U$ ，会需要较大的反馈信道的开销。因此我们只反馈由当前帧信道参数得到的信道相关阵  $R_{TX}^{(cov)}$ 。 $R_{TX}^{(cov)}$  是一个  $N_T \times N_T$  维的复对称高斯矩阵。接收机对构成  $R_{TX}^{(cov)}$  的  $N_T^2$  个实系数进行标量量化得到离散量化值，并将其通过反馈信道反馈至发射机。为了进一步减小反馈信道的开销，我们不直接传输功率分配矩阵  $P$ ，而是反馈信道的噪声方差  $\sigma_s^2$ ，在发送端通过计算得到  $P$ 。注意到  $n_{ij} \leq N_s \leq \min\{N_T, N_R\}$ ，因此接收机用于反馈所有  $n_{ij}$  的比特数为： $IJ \log_2(\min\{N_T, N_R\})$ 。由于在统计量中引入记忆，所反馈的当前帧信道参数可以等效为统计量的差分信号，因此，反馈的比特信息是差分信号的量化编码后比特信息。

### 三、链路自适应参数计算

该模块的输入来自反馈信道，输出有两个，一个送往编码/调制模块，另一个送往线性预编码模块。送往编码/调制模块的  $n_{ij} (i=1, \dots, I, j=1, \dots, J)$  直接来自反馈信道，无需进行额外的处理。送往线性预编码模块的是特征模式  $U_i$  和空间功率注水矩阵  $P$ ，它们的计算过程与接收端完全相同。首先利用来自反馈信道的  $R_{XX}^{(m)}$  计算发送相关阵  $R_{XX}^{(T)}$  并对其进行特征分解得到  $U_i$  和  $\Lambda_i$ ，接着利用  $\Lambda_i$  和来自反馈信道的  $\sigma_f^2$  进行注水得到  $P$ 。

### 四、随机虚空选择发送方法以及基于特征模式的线性预编码

记  $\mathbf{d}(l) = [d_1(l), d_2(l), \dots, d_{N_r}(l)]^T$  表示第  $l$  个时刻未插入导频的发送信号， $\mathbf{s}(l) = [s_1(l), s_2(l), \dots, s_{N_s}(l)]^T$  表示第  $l$  个时刻的发送符号， $\mathbf{d}(l)$  与  $\mathbf{s}(l)$  之间满足如下关系：

$$\mathbf{d}(l) = [\mathbf{U}_i \mathbf{P}^{\dagger} \mathbf{W} / \sqrt{N_s}] \mathbf{V}(l) \mathbf{s}(l). \quad (\text{公式 24})$$

其中： $\mathbf{U} = \mathbf{U}_i \mathbf{P}^{\dagger} \mathbf{W} / \sqrt{N_s}$  是当前帧的线性预编码矩阵， $\mathbf{V}(l)$  是第  $l$  个时刻虚拟空间选择矩阵（简称虚空选择矩阵，详见下文）， $\mathbf{U}_i$  是发送相关阵的特征矩阵， $\mathbf{P}$  是功率注水矩阵， $\mathbf{W}$  是阶数为  $N_r$  的 Walsh 扩频矩阵。

在自适应 MIMO 链路中，通过流控制来确定下一帧发送数据流的个数  $N_s$ 。当  $N_s < N_r$  时，可以有多种方案将发送数据流映射到发送天线上（如天线选择、空时编码等）。这里，我们采用一种新的映射方案——随机虚空选择发送技术，它可以使得各数据流统计独立，从而可以有效地抗空间衰落。

公式 24 中的  $\mathbf{V}(l) \in \mathbb{R}^{N_r \times N_s}$  是与时刻  $l$  有关的映射矩阵，当  $N_s$  确定之后， $\mathbf{V}(l)$  的取值有  $Q (Q \leq C_{N_r}^{N_s})$  种可能： $\mathbf{V}_0, \mathbf{V}_1, \dots, \mathbf{V}_{Q-1}$  ( $\mathbf{V}_i (i=0, 1, \dots, Q-1)$  是单位阵  $\mathbf{I}_{N_r}$  的子矩阵)。

一般来说，为了更有效地抗信道的随机衰落，映射方式应该随着时刻  $l$  随机地进行选择，但是考虑到实现的方便，我们采用伪随机的映射方式，映射以帧为单位进行，映射方式由如下公式确定：

$$\mathbf{V}(l) = \mathbf{V}_{(l)q}. \quad (\text{公式 25})$$

**有益效果：**本发明提供了一种能用于多天线发送和多天线接收无线传输系统的信道环境自适应传输技术方案，它能够适用于各种典型的多天线信道环境，特别是分布式无线电无线网络系统环境。具体地，有如下有益效果：

- 1、能够充分利用空间无线资源，提高频谱利用率和功率效率。
- 2、能够自适应于复杂的多天线发送和多天线接收无线传输信道环境。
- 3、不同于为适应信道环境的变化而采用不同传输技术的传输方法，发送端和接收端采用统一的传输技术，自适应地调整其参数，系统复杂度相对较低。
- 4、反馈信息为统计信息，并采用差分量化编码方法传输，反馈信息比特速率相对较低。

## 附图说明

图1是本发明中所提供的自适应发送方案的框图。

## 具体实施方式

本发明提供了一种多天线无线传输系统的传输技术方案，它能够自适应于信道环境的变化。具体实施方式如下：

### 接收端：

(1)、利用接收导频信号进行信道估计，并根据公式 1-4 计算信道发送相关阵  $\mathbf{R}_{xx}^{(T)}$  和接收相关阵  $\mathbf{R}_{xx}^{(R)}$ ；

(2)、根据公式 17-20 计算信道容量修正因子  $\gamma$ ；

(3)、分别对  $\mathbf{R}_{xx}^{(T)}$  和  $\mathbf{R}_{xx}^{(R)}$  进行特征分解，得到  $\Lambda_t$ 、 $\Lambda_r$  以及  $\mathbf{U}_t$ ；

(4)、利用 (3) 中相关阵特征分解的结果，根据公式 7-8 以及噪声方差  $\sigma_n^2$  计算功率注水阵  $\mathbf{P}$ ；

(5)、利用 (3) 中相关阵特征分解的结果，根据公式 9-11 计算发送流个数  $N_s$ ；

(6)、根据公式 12-13 计算系统可达信道容量  $\tilde{C}$ ，并根据公式 22 得到比特分配方案  $n_{ij}(i=1,\dots,I, j=1,\dots,J)$ ；

(6) 将当前帧得到的  $\mathbf{U}_t$ 、 $\mathbf{P}$ 、 $N_s$ 、 $n_{ij}(i=1,\dots,I, j=1,\dots,J)$  存储到缓存区以用于下一帧数据的检测；

**反馈信道:**

(8)、将  $\mathbf{R}_{jx}^{(sw)}$ 、 $\sigma_z^2$  和  $n_y(i=1,\dots,I, j=1,\dots,J)$  经过量化编码后送入反馈信道, 每一帧反馈一次;

**发送端:**

- (9)、将信道反馈来的  $n_y(i=1,\dots,I, j=1,\dots,J)$  直接送给编码/调制模块进行控制;
- (10)、根据信道反馈来的  $\mathbf{R}_{jx}^{(sw)}$  由公式 3 计算  $\mathbf{R}_{jx}^{(T)}$ , 并对其进行特征分解得到  $\mathbf{U}_j$  和  $\Lambda_j$ ;
- (11)、利用 (10) 得到的  $\Lambda_j$  以及信道反馈来的噪声方差  $\sigma_z^2$ , 根据公式 7-8 计算功率注水阵  $\mathbf{P}$ ;
- (12)、利用 (10) (11) 的结果, 根据公式 24-25 计算线性预编码矩阵并用于发送控制。

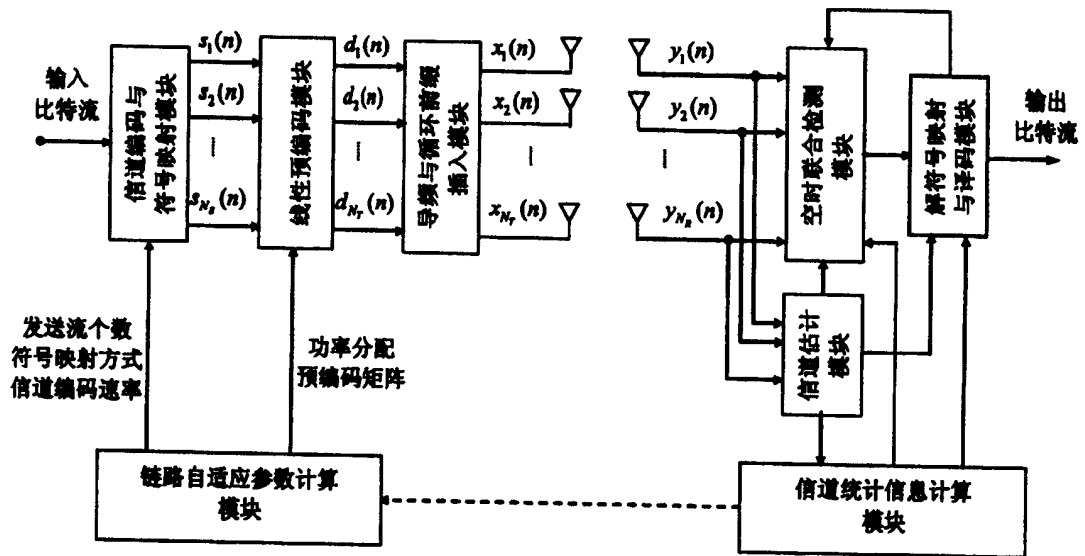


图 1