



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 02158623.3

[45] 授权公告日 2004 年 11 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 1176555C

[22] 申请日 2002. 12. 25 [21] 申请号 02158623. 3

[71] 专利权人 大唐移动通信设备有限公司

地址 100083 北京市海淀区学院路 40 号

[72] 发明人 谭 哲 李 峰

审查员 姚跃华

[74] 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司

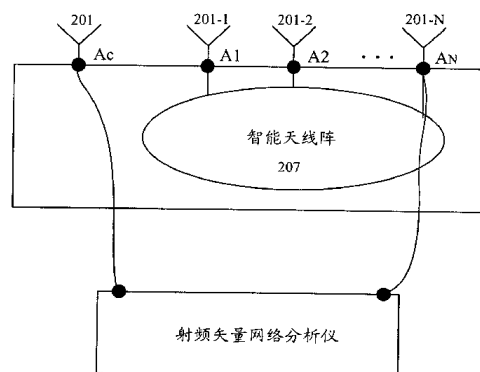
代理人 王丽琴

权利要求书 5 页 说明书 12 页 附图 2 页

[54] 发明名称 一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法

[57] 摘要

本发明是一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法。在天线阵安装前的预校准中获得各天线单元相对校准天线单元的发射与接收补偿系数。天线阵安装后,发射校准时,由多条发射链路同时发射校准信号,基带信号处理器根据校准链路接收的该信号,计算每条发射链路的幅度及相位响应信息,与预校准时的发射补偿系数一起,计算获得各条发射链路的补偿系数,用于基站下行数据补偿;接收校准时,由校准链路发射校准信号,基带信号处理器根据多条接收链路接收的信号,计算每条接收链路的幅度及相位响应信息,与预校准时的接收补偿系数一起,计算获得各条接收链路的补偿系数,用于基站上行数据补偿。各天线单元的校准信号由基本校准序列经周期循环移位形成。



1. 一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法, 包括接收校准过程和发射校准过程; 发射校准时, 由多条发射链路同时发射校准信号, 在校准链路接收它们的合成信号; 接收校准时, 由校准链路发射一校准信号, 由多条接收链路
5 同时接收该信号; 由基带信号处理器分别对校准链路接收的合成信号和对接收链路接收的信号进行计算, 获得智能天线阵系统各接收链路与各发射链路的补偿系数, 其特征在于:

A. 在实时接收与发射校准过程前, 对天线阵各天线单元进行预校准, 获得各天线单元相对于校准天线单元的发射补偿系数 c_k^{TX} 与接收补偿系数 C_k^{RX} ;

10 B. 各天线单元的校准信号是一个具有良好抗白噪声特性的校准序列, 由基本校准序列通过周期循环移位形成;

C. 发射校准时, 基带信号处理器先根据校准链路接收的合成信号计算出每条发射链路的幅度及相位响应, 再根据每条发射链路的幅度及相位响应和预校准时的发射补偿系数 c_k^{TX} , 计算获得各条发射链路的补偿系数, 用于对基站的所有
15 下行数据进行补偿;

D. 接收校准时, 基带信号处理器先根据每条接收链路接收的信号计算出各接收链路的幅度及相位响应, 再根据每条接收链路的幅度及相位响应和预校准时的接收补偿系数 C_k^{RX} , 计算获得各条接收链路的补偿系数, 用于对基站的所有上行数据进行补偿。

20 2. 根据权利要求 1 所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法, 其特征在于所述的预校准, 进一步包括: 将矢量网络分析仪一端连接所述的校准天线单元, 另一端依次连接天线阵各天线单元; 进行发射预校准, 分别由第 k 个天线单元发射一固定电平的数据信号, 由所述的校准天线单元接收, 获得各天线单元与校准天线单元间的发射补偿系数 c_k^{TX} ; 进行接收预校准, 由所述的校准
25 天线单元发射一固定电平的数据信号, 由第 k 个天线单元接收, 获得校准天线单元与各天线单元间的接收补偿系数 C_k^{RX} , $k=1, \dots, N$, N 是天线阵天线单元的

个数。

3. 根据权利要求1所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于所述的步骤A还包括：预校准是在智能天线阵制作完成后进行的，并对获得的发射补偿系数与接收补偿系数进行存储；在智能天线阵安装到基站现场后，将存储的预校准的发射补偿系数与接收补偿系数输入基站的基带信号处理器中。

4. 根据权利要求1所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于所述步骤B，由基本校准序列通过周期循环移位形成校准序列的过程进一步包括：

10 b1. 取一个长度为P的二进制序列 $\mathbf{m}_p$ 作为基本校准序列， $\mathbf{m}_p = (m_1, m_2, \dots, m_p)$ ， $P = w \times N$ ，N是智能天线阵中天线单元的个数，w是每条发射或接收链路信道估计的窗长；

b2. 对该基本校准序列 $\mathbf{m}_p$ 进行相位均衡，生成校准序列的复数矢量 $\underline{\mathbf{m}}_p$ ， $\underline{\mathbf{m}}_p = (\underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_p)$ ，序列中元素 $\underline{m}_i = (j)^{i-1} \cdot m_i$ ， $i = 1, \dots, P$ ，j是-1的平方根；

15 b3. 对该校准序列的复数矢量 $\underline{\mathbf{m}}_p$ 进行周期性的扩展，得到一个新的周期性复数矢量 $\underline{\mathbf{m}}$ ， $\underline{\mathbf{m}} = (\underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_{L_m}) = (\underline{m}_2, \underline{m}_3, \dots, \underline{m}_p, \underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_p)$ ；

b4. 由该周期性复数矢量 $\underline{\mathbf{m}}$ 获得对每个天线单元的长度 L_m 为 $P+w-1$ 的校准序列矢量， $\underline{\mathbf{m}}^{(k)} = (\underline{m}_1^{(k)}, \underline{m}_2^{(k)}, \dots, \underline{m}_{L_m}^{(k)})$ $k=1 \dots N$ ，校准序列矢量中的任一个元素 $\underline{m}_i^{(k)} = \underline{m}_{i+(N-k)W}$ $i=1, \dots, L_m$ 和 $k=1, \dots, N$ ；

20 b5. 由校准序列矢量按照校准要求生成具有固定功率的校准信号。

5. 根据权利要求4所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于：所述的P选择为2的幂次方。

6. 根据权利要求1所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于：所述的发射校准与接收校准是在移动通信系统的空闲时隙周期性进行的。

7. 根据权利要求1所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其

特征在于：在 TD-SCDMA 移动通信系统中，所述的发射校准与接收校准，是利用其帧结构中处于上行导频时隙与下行导频时隙之间的保护时隙周期性进行的。

8. 根据权利要求 1 所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于：所述的步骤 C，发射校准时，计算获得各条发射链路的补偿系数，

5 进一步包括：

c1. 校准链路接收到的信号序列复矢量是： $R = (r_1, r_2, \dots, r_q)$ ， $q = p + 2 \times (w - 1)$ ， $P = w \times N$ 是所述基本校准序列的长度， N 是智能天线阵中天线单元的个数， w 是每条发射链路信道估计的窗长；

c2. 从校准链路接收到的信号序列复矢量 R 中截取一段长度等于基本校准
10 序列长度 P 的序列， $\underline{R}_p = (r_1, r_2, \dots, r_p)$ ；

c3. 按下式运算，获得一长度为 P 的信道冲激响应序列：
 $CIR = (c_1, c_2, \dots, c_p) = \text{ifft}(\text{fft}(\underline{R}_p \cdot S))$ ， S 是一常数矢量；

c4. 求第 k 条发射链路信道估计结果 $c_{w \cdot (k-1)+1} \sim c_{w \cdot k}$ 之间峰值的插值函数，
 $CIR_k = f \max(c_{w \cdot (k-1)+1}, \dots, c_{w \cdot k})$ ，获得第 k 条链路包括发信机和校准链路天线单元间
15 通路的幅度及相位响应信息， $k=1, \dots, N$ ；

c5. 与该 k 条链路预校准时求得的发射补偿系数 c_k^{TX} 相乘，得到第 k 条链路包括发信机到其天线单元间的幅度及相位响应信息， $CIR'_k = CIR_k * c_k^{TX}$ ， $k=1 \dots N$ ；

c6. 按下述公式计算发射链路的平均功率：

$$\text{Mean_power} = (\sum_{k=1}^N (\text{abs}(CIR'_k))^2) / N;$$

20 c7. 按下式计算每条链路上的发射补偿系数：

$$\text{Corr_factor}^k = \text{sqrt}(\text{Mean_power}) / CIR'_k, \text{ sqrt}() \text{ 为取平方根的函数。}$$

9. 根据权利要求 8 所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于：所述步骤 c2，是采用由下式表达的、截取序列中间部分的方式，

$$\underline{R}_p = (r_{w-1}, r_w, \dots, r_{w+p-2}).$$

25 10. 根据权利要求 1 所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，

其特征在于：所述的步骤 D，接收校准时，计算获得各条接收链路的补偿系数，进一步包括：

d1. 各接收链路接收到的信号复矢量序列： $R^k = (r_1^k, r_2^k, \dots, r_q^k)$ ， $q = p + 2 \times (w - 1)$ ， $k = 1..N$ ， $P = w \times N$ 是所述基本校准序列的长度， N 是智能天线阵中天线单元的个数， w 是每条接收链路信道估计的窗长；

d2. 从接收链路接收到的信号复矢量序列 R^k 中截取一段长度等于基本序列长度 P 的序列， $\underline{R}_p^k = (r_1^k, r_2^k, \dots, r_p^k)$ ， $k = 1..N$ ；

d3. 按下式运算，获得一长度为 P 的信道冲激响应序列：
 $CIR^k = (c_1^k, c_2^k, \dots, c_p^k) = \text{ifft}(\text{fft}(\underline{R}_p^k, S))$ ， $k = 1..N$ ， S 是一常数矢量；

d4. 求第 k 条接收链路信道估计结果 $c_1^k \sim c_{w \times k}^k$ 之间峰值的插值函数，
 $CIR_k = f \max(c_1^k, c_2^k, \dots, c_p^k)$ ，获得第 k 条链路包括校准链路天线单元和其射频收信机间通路的幅度及相位响应信息， $k = 1, \dots, N$ ；

d5. 与该 k 条链路预校准时求得的接收补偿系数 C_k^{RX} 相乘，得到第 k 条接收链路包括其天线单元和射频收信机间通路的幅度及相位响应信息：

$CIR_k' = CIR_k * C_k^{RX}$ ， $k = 1..N$ ；

d6. 按下述公式计算接收链路的平均功率：

$$\text{Mean_power} = (\sum_{k=1}^N (\text{abs}(CIR_k'))^2) / N;$$

d7. 按下式计算每条链路上的接收补偿系数：

$$\text{Corr_factor}^k = \text{sqrt}(\text{Mean_power}) / CIR_k'，k = 1..N，\text{sqrt}() \text{ 为取平方根的函数。}$$

11. 根据权利要求 10 所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于：所述步骤 d2 中，是采用由下式表达的、截取序列中间部分的方式，
 $\underline{R}_p^k = (r_{w-1}^k, r_w^k, \dots, r_{w+p-2}^k)$ 。

12. 根据权利要求 8 或 10 所述的一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，其特征在于：所述步骤 c3、d3 中的常数矢量 S ，是通过公式
 $S = 1./\text{fft}(\underline{m}_p) = 1./\text{fft}(\underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_p)$ 求出的，式中校准序列的复矢量 $\underline{m}_p$ 是对长度为

P 的基本校准序列 $\mathbf{m}_p = (m_1, m_2, \dots, m_p)$ 进行相位均衡生成的, $\underline{\mathbf{m}}_p = (\underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_p)$, 序列中元素 $\underline{m}_i = (j)^{i-1} \cdot m_i$, $i = 1, \dots, P$, $P = w \times N$ 是所述基本校准序列的长度, N 是智能天线阵中天线单元的个数, w 是每条发射或接收链路信道估计的窗长。

一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法

技术领域

本发明涉及无线通信系统的智能天线技术，更确切地说是涉及一种智能
5 天线阵系统的实时校准方法。

背景技术

在现代无线通信系统中，特别是在码分多址（CDMA）无线通信系统中，智能
天线技术已经成为最具吸引力的技术。在无线基站使用智能天线阵列和基于
数字基带信号的处理技术，对基站的接收和发射波束进行自适应的赋形，可以
10 大大降低系统干扰，提高系统容量，降低发射功率并提高接收灵敏度。

在名称为“具有智能天线的时分双工同步码分多址无线通信系统”的中国
发明专利申请中（专利号 97104039.7），公开了一种采用现代智能天线的无线
通信系统的基站结构，包括由一个或多个天线单元组成的天线阵列，相应的射
频馈电电缆和对应连接的一个或多个射频收发信机。根据天线阵列中各天线单
15 元接收的来自用户终端的信号，由基带信号处理器获得此上行信号的空间矢量
特征和信号到达方向（DOA），然后将从中获得的每一条链路的权重用于下行发
射波束赋形，在时分双工具有对称的电波传播条件下，达到智能天线的全部功
能。

为了使智能天线能准确地接收和发射信号，必须保证组成智能天线阵的各
20 天线单元、射频馈电电缆和射频收发信机之间基本没有差别，即每条发射及接
收链路具有相同的幅度及相位响应，而对每条发射及接收链路进行相位及幅度
补偿的过程和方法就是本发明所要涉及的智能天线的校准。

由于所使用的各种元器件特别是有源器件的特性存在差异，对工作频率、
环境温度表现出的敏感度也不相同，而每条发射或接收链路的特性因上述原因

所产生的变化也不相同，所以对智能天线阵的校准应在无线基站运行的同时周期性地地进行。

在专利申请号为 99111350.0，名称为“一种校准智能天线阵的方法和装置”的公开文件中，参见图 1，设置由天线单元 201、耦合结构 205、馈电
5 电缆 206 与信标收发信机 207 顺序连接构成的校准链路，其耦合结构 205 与智能天线阵列的所有天线单元 201-1、201-2...201-N 成射频耦合连接，将射频信号按需要分配给构成智能天线阵列的所有天线单元，信标收发信机 207 具有与基站内其它射频收发信机 203-1、203-2、...203-N 相同的结构，并共用同一个本振信号源 208，信标收发信机 207 与基站内其它射频收发信机
10 203-1、203-2、...203-N 相干工作，并通过数字总线连接基站的基带信号处理器 204。每一个天线单元、馈电电缆和射频收发信机连接，构成发射链路或接收链路。图中 A_c 、 A_1 、 A_2 、... A_N 为天线单元与馈电电缆 202-1、202-2...202-N 的连接端， B_c 、 B_1 、 B_2 、... B_N 为信标收发信机 207 及各射频收发信机 203-1、203-2、...203-N 与基带信号处理器 204 的连接端。

15 校准时，先利用矢量网络分析仪对校准链路进行校准，分别记录其接收与发射传输系数；然后分别进行接收校准与发射校准。进行接收校准时，是由信标收发信机在给定的工作载波频率上发射一电平信号，并使基站内其它所有链路处于接收状态，检测这些接收链路的输出并计算出各链路在接收时的传输系数（矢量）与参考链路的传输系数（矢量）之比，并在该传输系数的
20 幅度之比等于 1 时记录所有接收链路与参考链路间的相位差；进行发射校准时，在同一时间内，依次使基站内的一条链路处于发射状态，其它链路处于关闭状态，信标收发信机在给定的工作载波频率上分别接收该发射链路的信号，计算出各链路在发射时传输系数（矢量）与参考链路的传输系数（矢量）之比，并在该传输系数的幅度之比等于 1 时记录所有发射链路
25 与参考链路间的相位差。

该公开文件中只涉及到对智能天线阵进行实时校准时所采用装置与方

法的总体技术方案，没有涉及工程级的具体实现过程，包括进行发射校准与接收校准时所采用的校准序列及其基带信号处理器的具体计算，和对于处于运行状态中的智能天线系统，如何进行实时校准等。此外，在进行发射校准时，是依次使基站内的每一条链路处于发射状态，其它链路处于关闭状态，

5 不利于快速进行实时校准。

发明内容

本发明的目的是设计一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，在基站运行过程中周期性地对智能天线阵系统进行实时校准，并计算出待校准智能天线阵系统的接收链路与发射链路的补偿系数。

- 10 实现本发明目的的技术方案是这样的：一种对智能天线阵系统进行实时校准的方法，包括接收校准过程和发射校准过程；发射校准时，由多条发射链路同时发射校准信号，在校准链路接收它们的合成信号；接收校准时，由校准链路发射一校准信号，由多条接收链路同时接收该信号；由基带信号处理器分别对校准链路接收的合成信号和对接收链路接收的信号进行计算，获得智能天线
- 15 阵系统各接收链路与各发射链路的补偿系数，其特征在于：

A. 在实时接收与发射校准过程前，对天线阵各天线单元进行预校准，获得各天线单元相对于校准天线单元的发射补偿系数 c_k^{TX} 与接收补偿系数 C_k^{RX} ；

B. 各天线单元的校准信号是一个具有良好抗白噪声特性的校准序列，由基本校准序列通过周期循环移位形成；

- 20 C. 发射校准时，基带信号处理器先根据校准链路接收的合成信号计算出每条发射链路的幅度及相位响应，再根据每条发射链路的幅度及相位响应和预校准时的发射补偿系数 c_k^{TX} ，计算获得各条发射链路的补偿系数，用于对基站的所有下行数据进行补偿；

- D. 接收校准时，基带信号处理器先根据每条接收链路接收的信号计算出
- 25 各接收链路的幅度及相位响应，再根据每条接收链路的幅度及相位响应和预校

准时的接收补偿系数 C_k^{RX} ，计算获得各条接收链路的补偿系数，用于对基站的所有上行数据进行补偿。

所述的预校准，进一步包括：将矢量网络分析仪一端连接所述的校准天线单元，另一端依次连接天线阵各天线单元；进行发射预校准，分别由第 k 个天线单元发射一固定电平的数据信号，由所述的校准天线单元接收，获得各天线单元与校准天线单元间的发射补偿系数 c_k^{TX} ；进行接收预校准，由所述的校准天线单元发射一固定电平的数据信号，由第 k 个天线单元接收，获得校准天线单元与各天线单元间的接收补偿系数 C_k^{RX} ， $k=1, \dots, N$ ， N 是天线阵天线单元的个数。

所述的步骤A还包括：预校准是在智能天线阵制作完成后进行的，并对获得的发射补偿系数与接收补偿系数进行存储；在智能天线阵安装到基站现场后，将存储的预校准的发射补偿系数与接收补偿系数输入基站的基带信号处理器中。

所述的基本校准序列的长度为 $W \times N$ ，所述校准序列的长度是 $W \times N + W - 1$ ， N 是智能天线阵中天线单元的个数， W 是每条发射或接收链路信道估计的窗长。

所述的由基本校准序列通过周期循环移位形成校准序列的过程进一步包括：取一个长度为 P 的二进制序列 m_p 作为基本校准序列；对该序列 m_p 进行相位均衡，生成校准序列的复矢量 $\underline{m}_p$ ；对该校准序列的复矢量 $\underline{m}_p$ 进行周期性的扩展得到一个新的周期性复矢量 $\underline{m}$ ；由该周期性复矢量 $\underline{m}$ 获得对每个天线单元的校准矢量，由对每个天线单元的校准矢量生成所述的对每个天线单元的校准信号。

所述的 P 选择为2的幂次方。

所述的发射校准与接收校准是在移动通信系统的空闲时隙周期性进行的。

在TD-SCDMA移动通信系统中，所述的发射校准与接收校准，是利用帧结构中处于上行导频时隙与下行导频时隙间的保护时隙周期性进行的。

所述的步骤C，发射校准时，计算获得各条发射链路的补偿系数，是先获得每一条发射链路的信道冲激响应，再求得每一条发射链路包括发信机和校准

链路天线单元间通路的幅度及相位响应信息，再与预校准时相应链路的发射补偿系数相乘，获得每一条链路包括发信机和其天线单元间通路的幅度及相位响应信息，据此可利用公式计算出每一条链路的发射补偿系数。

所述的步骤 D，接收校准时，计算获得各条接收链路的补偿系数，进一步
5 包括：是先获得每一条接收链路的信道冲激响应，再求得每一条接收链路包括校准链路天线单元和收信机间通路的幅度及相位响应信息，再与预校准时相应链路的接收补偿系数相乘，获得每一条链路包括天线单元和其收信机间通路的幅度及相位响应信息，据此可利用公式计算出每一条链路的接收补偿系数。

本发明的对智能天线阵系统进行实时校准的方法，如背景技术中所描述的那
10 那样，需要设置一条专门为了实现校准功能的校准链路，由天线单元、馈电电缆和信标收发信机连接构成；在天线阵列出厂前，先对其进行预校准，获得各天线阵单元相对于一校准天线单元的补偿系数，然后可将此补偿系数存储在无线通信系统的网络管理设备中；在将智能天线阵列安装到现场并工作时，再将此补偿系数加载到与智能天线阵列连接的基站内。

15 校准在基站运行过程中周期性地地进行：发射校准时，由发射链路同时发射固定电平的校准序列，在校准链路接收此合成信号；接收校准时，由校准链路发射一个固定电平的校准序列，在接收链路同时接收此信号。

通过本发明的计算方法对上述接收信号进行计算，就可以计算出待校准的智能天线阵系统的接收链路与发射链路的补偿系数，达到实时校准的目的。

20 所使用的固定电平的校准序列是由某个基本序列通过循环移位生成的。

本发明的方法，计算时间短，控制简单，特别适用于采用智能天线技术的具有高码片速率的第三代移动通信系统中。

本发明的方法虽然主要针对码分多址的无线通信系统提出，但经过简单改变后，也完全适用于频分多址和时分多址无线通信系统，既可以用于校准 TDD
25 方式下工作的智能天线阵系统，也可以用于校准 FDD 方式下工作的智能天线阵系统。

采用本发明方法对智能天线阵系统进行校准，波束相对校准前有很大的改善，降低了发射功率，使智能天线技术得到很好的实现。

附图说明

图 1 是使用智能天线阵并设有校准链路的无线基站结构示意图；

5 图 2 是对智能天线阵进行预校准的结构示意图。

具体实施方式

本发明的方法是基于天线阵是一个无源的微波（射频）网络，在产品定型、结构固定的前提下，组成此天线阵的各天线单元与校准天线单元间的相互耦合特性在给定的工作频率下是固定不变的。这样，只需要在天线阵产品出厂前，
10 对此天线阵各天线单元相对校准天线单元在给定工作频率范围内进行测试，即进行预校准，并将获得的各个天线单元相对校准天线单元的补偿系数作为预校准数据存储在网络管理数据库中。在工程现场，天线阵安装完毕后，再通过网络管理设备（如 OMC-R 或 LMT）将此天线阵的预校准数据加载到与此天线阵所连接的基站内。这样在基站开始工作及在运行中，就可以使用本发明的实时校
15 准方法，对此天线阵系统进行实时校准。

本发明方法在典型的具有智能天线的时分双工（TDD）码分多址的无线基站中使用，该基站结构如图 1 所示。包括 N 个相同的天线单元 201-1, 201-2, ..., 201-N, N 条相同的馈电电缆 202-1, 202-2, ..., 202-N, N 个相干工作的射频收发信机 203-1, 203-2, ...203-N 和相应的基带信号处理器 204。为了
20 实现校准，还设置一个由射频耦合结构 205、校准链路的的天线单元 201、馈电电缆 206 和信标收发信机 207 连接构成的校准链路，信标收发信机 207 与 N 个射频收发信机 203-1, 203-2, ...203-N 相干工作，并使用共同的本振 208。N 个射频收发信机 203-1, 203-2, ...203-N 和信标收发信机 207 通过数据总线连接基带信号处理器 204。

25 本发明方法进行实时校准的几个关键步骤包括：

第一步骤，是用射频（微波）矢量网络分析仪，在智能天线阵出厂前，对智能天线阵的各天线单元进行预校准，得到各个天线单元相对一校准天线单元的补偿系数。

参见图 2，预校准时，射频矢量网络分析仪 21 一端通过 Ac 端连接校准链路的 5 天线单元 201，另一端通过 $A_1, A_2, \dots, A_N$ 端依次连接智能天线阵 207 的各天线单元 201-1、201-2...201-N，分别进行发射预校准和接收预校准的测量。

如果智能天线阵的结构设计得比较牢固，在没有相对位置破坏的条件下，可以认为各天线单元 201-1、201-2...201-N 与校准天线单元 201 间的信道特性在固定工作频率的条件下是基本不随环境条件变化的，因而可以用射频矢量网 10 络分析仪 21 对它们进行预校准测量。

进行发射预校准时，分别由各天线单元 201-1、201-2...201-N 发射一固定电平的数据信号，由校准链路的天线单元 201 接收，经射频矢量网络分析仪 21 测量得到 A_1 ($i=1, \dots, N$) 到 A_c 间的发射补偿系数 c_i^{TX} (TX 表示发射)，即获得各 15 天线单元 201-1、201-2...201-N 与校准天线单元 201 间的发射补偿系数 c_i^{TX} ；进行接收预校准时，由所述的校准链路的天线单元 201 发射一固定电平的数据信号，和由所述的各天线单元 201-1、201-2...201-N 接收，经射频矢量网络分析仪 21 测量得到 A_c 到 A_i ($i=1, \dots, N$) 间的接收补偿系数 c_i^{RX} (RX 表示接收)，即获得校准天线单元 201 与各天线单元 201-1、201-2...201-N 间的接收补偿系数 c_i^{RX} 。

20 一般来说，对于时分双工 (TDD) 码分多址的无线基站，由于每一个收发信机连接的是同一个天线单元 (收发链路共用天线单元)，因此测量后的各天线单元的发射补偿系数等于其接收补偿系数， $c_i^{TX} = c_i^{RX}$ 。

而对于频分双工 (FDD) CDMA 移动通信系统，在使用智能天线技术时，为了保证收信和发信链路的隔离，其收信和发信一般分别使用不同的天线阵，所以 25 在进行预校准时应对两个天线阵的各天线单元 (发射链路和接收链路) 分别进行测量，进行预校准。

第二步骤,是将上述预校准的结果(发射补偿系数与接收补偿系数)输入到网络管理设备中。在工程现场天线阵安装完毕后,通过网络管理设备(如OMC-R或LMT)再将此天线阵的补偿系数加载到与此天线阵所连接的无线基站的基带信号处理器内。

- 5 第三步骤,是在基站开始运行或运行中进行的。包括生成校准序列;发射校准、接收校准和计算发射与接收补偿系数。

选择具有良好抗白噪特性的基本校准序列,通过周期循环移位形成校准序列。基本校准序列的长度 P 是 $W \times N$,其中 N 是工作天线单元的个数, W 是每条链路信道估计的窗长,做发射及接收校准时的校准序列的长度是 $W \times N + W - 1$
10 即为 $P + W - 1$ 。

由于 W 是一个只跟各天线单元硬件时延不一致性有关的数(一般很小),因此采用本发明方法进行校准时的持续时间很短,在某些校准持续时间受限的系统中,还可让 N 取较大的值,以便使系统获得更大的天线增益。

由基本校准序列生成校准序列的过程是:

- 15 (1)取一长度为 p 的二进制序列 $\mathbf{m}_p$ 作为基本校准序列, $\mathbf{m}_p = (m_1, m_2, \dots, m_p)$
 $p = W \times N$ (为方便计算, P 可选择2的幂次方);

(2)为了保证相位不突变,提高校准的准确性,对此基本校准序列 $\mathbf{m}_p$ 进行相位均衡,生成校准序列的复数矢量 $\underline{\mathbf{m}}_p$,即 $\underline{\mathbf{m}}_p = (\underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_p)$,元素 $\underline{m}_i$ 由序列 $\mathbf{m}_p$ 中的 m_i 得来: $\underline{m}_i = (j)^{i-1} \cdot m_i$ ($i = 1, \dots, P$), j 是 (-1) 的平方根(由此式实现
20 相位均衡);

(3)为了产生每个天线单元所需的校准序列,对此基本校准序列进行周期性的扩展,得到一个新的复数矢量 $\underline{\mathbf{m}}$:

$$\underline{\mathbf{m}} = (\underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_{i_{\max}}) = (\underline{m}_2, \underline{m}_3, \dots, \underline{m}_p, \underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_p);$$

- (4)由这个周期性复数矢量可以得到每个天线单元的校准序列矢量,从而
25 生成固定电平的校准信号:

$$\text{序列矢量 } \underline{\mathbf{m}}^{(k)} = (\underline{m}_1^{(k)}, \underline{m}_2^{(k)}, \dots, \underline{m}_{L_m}^{(k)}) \quad k=1 \dots N, \quad L_m = p + w - 1 \quad (L_m \text{ 是窗长, 即发}$$

射校准序列长度)

序列矢量中的一个元素 $\underline{m}_i^{(k)} = \underline{m}_{i+(N-k)W}$, $i=1,\dots,L_m$ 和 $k=1,\dots,N$ (k 是工作的天线阵中任一单元)。

同时, 本发明还需要计算和基本校准序列有关的一个矢量 S , 作为常数矢
5 量存储在基带处理器中, 在发射校准与接收校准时, 用于计算补偿系数:

$S = 1./fft(\underline{m}_P) = 1./fft(\underline{m}_1, \underline{m}_2, \dots, \underline{m}_P)$, 式中 $./$ 是点除, fft 是作快速傅里叶变换。

选择基本校准序列就是选择使得 S 具有最小范数, 长度为 P 的二进制序列。

发射校准: 同时由每个天线单元发射固定电平的校准序列, 并在校准链路
10 接收其合成信号。基带信号处理器按照本发明提供的算法对校准链路的单元接收的数据进行处理, 计算出每条发射链路的幅度及相位响应, 然后根据它们在预校准时的补偿系数(发射补偿系数)计算出每条发射链路的补偿系数(含幅度及相位补偿), 并且在基带信号处理器中利用该补偿系数对无线基站的所有下行数据进行补偿。

以图 1 所示的基站结构为例, N 条发射链路在 B_k ($k=1\dots N$) 点以一定功率
15 发射校准序列矢量 $\underline{m}^{(k)}$, 这些固定电平的信号经过射频收发信机 203-1...203-N, 馈电电缆 202-1...202-N、天线单元 201-1...201-N, 以及天线阵列的耦合结构 205 被校准链路的单元 201 接收, 基带信号处理器 204 对从校准链路(201、206、207)接收的数据进行计算, 得到每条发射链路 $B_k \rightarrow A_k$ 的幅度及相位响应信息(应该得到 $B_k \rightarrow A_k \rightarrow A_C \rightarrow B_C$ 的幅度及相位响应信息, 由于 $A_k \rightarrow A_C$ 间链路的
20 幅度及相位响应已在预校准中进行了测量, 故只需获得 $B_k \rightarrow A_k$ 的幅度及相位响应信息)。

设 R 为各天线单元 202-1...202-N 发射的校准序列信号在校准链路天线单元 201 叠加后, 从基带信号处理器 204 接收到的复数矢量:

接收序列: $R = (r_1, r_2, \dots, r_q)$, $q = p + 2 \times (w - 1)$,

25 从中截取一段序列, 截取序列的长度等于基本序列 P , 即令 $\underline{R}_p = (r_1, r_2, \dots, r_p)$, 如采用下式表达的从中间截取(可以有多种截取方式)的方式,

$$\underline{R_p} = (r_{w-1}, r_w, \dots, r_{w+p-2});$$

通过下式运算获得一长度为 P 的信道冲激响应序列：

$CIR = (c_1, c_2, \dots, c_p) = \text{ifft}(\text{fft}(\underline{R_p} \cdot S))$ ，式中 $\cdot$ 是点乘，fft 是快速傅里叶变换，ifft 是快速傅里叶逆变换，S 是前述求得的常数矢量；

5 计算 $CIR_k = f \max(c_{w^*(k-1)+1}, \dots, c_{w^*k})$ ， $k=1, \dots, N$ ，

fmax 为求第 k 条发射链路信道估计结果 $c_{w^*(k-1)+1} \sim c_{w^*k}$ 之间峰值的插值函数（具体取值视计算精度要求确定）， CIR_k 为一个复数，包含了第 k 条链路 $B_k \rightarrow A_c$ 间通路的幅度及相位响应信息；

10 与该第 k 条链路预校准时求得的 $A_k \rightarrow A_c$ 间的发射补偿系数 c_k^{TX} 相乘后，得到；

$CIR'_k = CIR_k * c_k^{TX}$ ， $k=1 \dots N$ ， CIR'_k 也是一个复数，包含了第 k 条发射链路 $B_k \rightarrow A_k$ 间通路的幅度及相位响应信息。然后就可利用该幅度及相位响应信息求得第 k 链路的发射补偿系数了。

15 接收校准：由校准链路发射固定电平的校准序列，同时在各接收链路接收该信号。由基带信号处理器根据每条接收链路接收的数据，用本发明提供的算法计算出每条接收链路的幅度及相位响应信息，然后根据它们以及预校准时的补偿系数（接收补偿系数）计算出每条接收链路的补偿系数（含幅度及相位补偿），并且在基带信号处理器中利用该补偿系数对无线基站的所有下行数据进行补偿。

20 仍以图 1 所示的基站结构为例，校准链路（201、206、207）在 B_c 端以一定功率发射校准矢量 $\underline{m}^{(k)}$ （ $k=1, \dots, N$ ），该信号经过耦合结构 205、天线阵各天线单元 201-1, 201-2, ..., 201-N、馈电电缆 202-1, 202-2, ..., 202-N、射频收发信机 203-1, 203-2, ..., 203-N，被各接收链路接收，基带信号处理器 204 对从各接收链路接收的数据进行计算，得到每条接收通路（ $A_k \rightarrow B_k$ ）
25 的幅度及相位响应信息（应该得到 $B_c \rightarrow A_c \rightarrow A_k \rightarrow B_k$ 的幅度及相位响应信

息, 由于 $A_c \rightarrow A_k$ 间链路的幅度及相位响应已在预校准中进行了测量, 故只需获得 $A_k \rightarrow B_k$ 间通路的幅度及相位响应信息)。

设 R^k 为基带信号处理器 204 接收到的各链路复数矢量:

接收序列: $R^k = (r_1^k, r_2^k, \dots, r_q^k)$, $q = p + 2 \times (w - 1)$, $k = 1..N$,

- 5 从中截取一段序列, 截取序列的长度等于基本序列的长度 P , 即令 $\underline{R}_p^k = (r_1^k, r_2^k, \dots, r_p^k)$, 如采用下式表达的从中间截取的方式, $\underline{R}_p^k = (r_{w-1}^k, r_w^k, \dots, r_{w+p-2}^k)$, $k = 1..N$;

通过下式运算获得一长度为 P 的信道冲激响应序列:

- 10 $CIR^k = (c_1^k, c_2^k, \dots, c_p^k) = \text{ifft}(\text{fft}(\underline{R}_p^k, S))$, $k = 1..N$, 式中 $\cdot$ 是点乘, fft 是快速傅里叶变换, ifft 是快速傅里叶逆变换, S 是前述求得的常数矢量。

计算 $CIR_k = f \max(c_1^k, c_2^k, \dots, c_p^k)$, $k = 1..N$, $f \max$ 为求第 k 条接收链路信道估计结果 $c_1^k \sim c_{w+k}^k$ 之间峰值的插值函数 (取值视计算精度要求确定), CIR_k 为一个复数, 包含了第 k 条链路 $A_c \rightarrow B_k$ 间通路的幅度及相位响应信息;

- 15 与该 k 条链路预校准时求得的 $A_c \rightarrow A_k$ 间通路的接收补偿系数 C_k^{RX} 相乘后, 得到:

$CIR_k' = CIR_k * c_k^{RX}$, $k = 1..N$, CIR_k' 也是一个复数, 包含了第 k 条接收链路 $A_k \rightarrow B_k$ 间通路的幅度及相位响应信息, 然后就可利用该幅度及相位响应信息求得第 k 链路的接收补偿系数了。

本发明采用的计算补偿系数的公式如下:

- 20 先计算各链路的平均功率, 需对发射链路与接收链路分别计算, 即式中的 CIR_k' 分别是发射校准和接收校准下的计算结果。

$$\text{Mean_power} = (\sum_{k=1}^N (\text{abs}(CIR_k'))^2) / N \quad (\text{abs 是求幅值的函数}),$$

- 25 这样每条链路上的发射补偿系数与接收补偿系数可用下式求出, 但在计算接收链路的补偿功率时, 用接收链路的平均功率和接收校准时求得的 CIR_k' , 在计算发射链路的补偿系数时, 用发射链路的平均功率和发射校准时求得的 CIR_k' :

$$\text{Corr_factor}^k = \sqrt{\text{Mean_power}} / \text{CIR}_k' \quad k=1..N。$$

虽然上面的描述是以时分双工（TDD）码分多址无线基站的基本结构为参考进行的，但校准方法在发射校准和接收校准的过程中则是独立的，因此本发明的方法同样适用于收信和发信分别使用不同天线阵的 FDD 码分多址的无线基
5 站。

本发明用计算出的发射与接收补偿系数，由基带信号处理器分别对发射和接收的数据进行补偿，用软件实现了天线阵系统的实时校准功能。

由于实际的移动通信系统不可能随时都是满负荷运行的，总有空闲时隙，这些空闲时隙就可以用来作为实时校准使用。对第三代移动通信中的 TD-SCDMA
10 系统，则可以使用其帧结构中处于上下导频时隙（DwPTS 和 UpPTS）之间的保护时隙（GP）来进行此实时校准。

校准在基站运行过程中可周期性地进行。

任何从事智能天线校准研究开发的技术人员，在了解智能天线基本工作原理的基础上，参照本发明的方法后，就可以很方便地实现对智能天线阵系统的
15 校准。

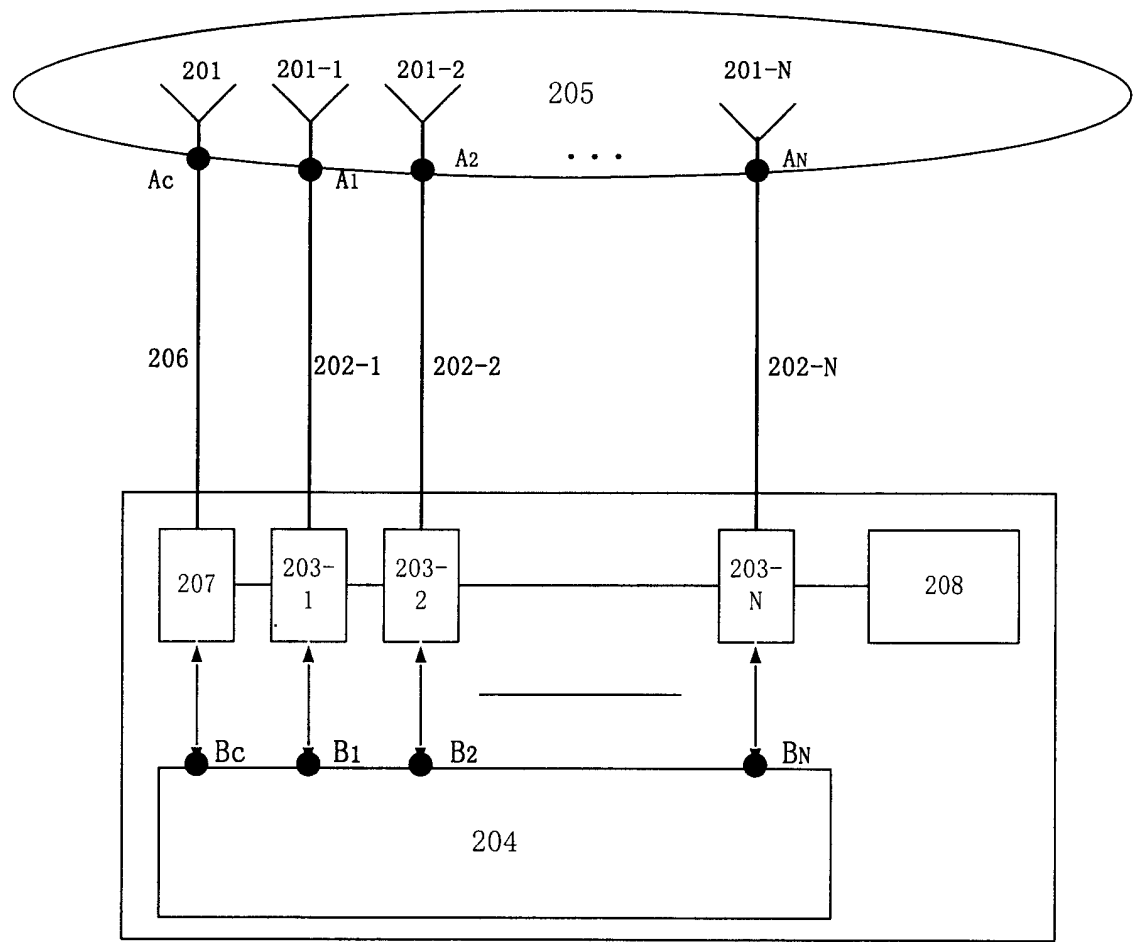


图 1

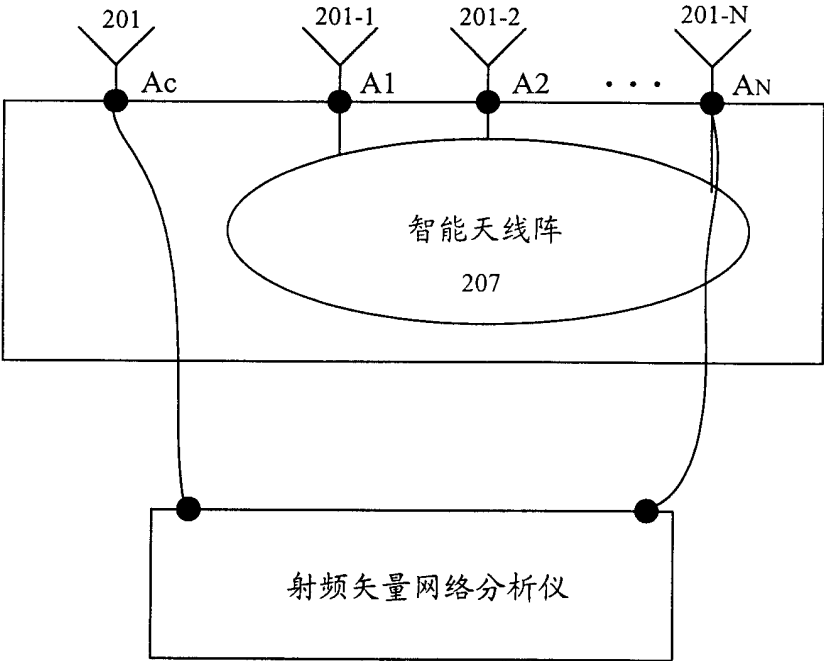


图 2