



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113114384 B

(45) 授权公告日 2022. 12. 06

(21) 申请号 202110390805.1

(56) 对比文件

(22) 申请日 2021.04.12

CN 109802709 A, 2019.05.24

WO 2021064953 A1, 2021.04.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113114384 A

审查员 孙亚娜

(43) 申请公布日 2021.07.13

(73) 专利权人 上海瀚讯信息技术股份有限公司

地址 200335 上海市长宁区金钟路999号4  
幢601室

(72) 发明人 赵宇 周斌 于伟 卜智勇

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

31002

专利代理师 杨怡清

(51) Int. Cl.

H04B 15/00 (2006.01)

H04B 7/0413 (2017.01)

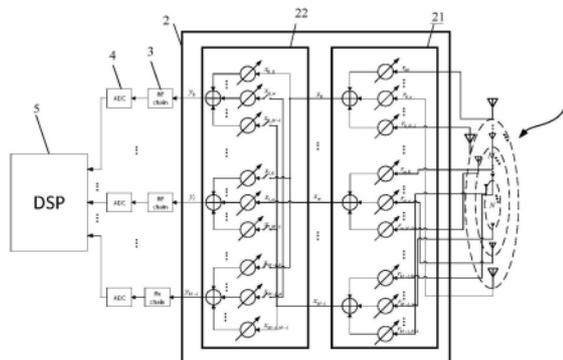
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置

(57) 摘要

本发明涉及一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,包括多圈UCA阵列以及沿所述多圈UCA阵列产生的天线信号走向依次排布的移相器网络结构、射频链路、模数转换器和数字信号处理器,移相器网络结构包括:第一级移相器网络,包括若干组移相单元,每组移相单元包括若干个移相器和一个加法器,且加法器与若干个移相器相连;第二级移相器网络,包括若干组移相单元,每组移相单元包括若干个移相器和一个加法器,且加法器与若干个移相器相连;其中,第一级移相器网络的每个加法器与第二级移相器网络的每组移相单元中的一个移相器相连。本发明通过两级移相器网络的联合作用,可在射频域显著消除多圈UCA的信号干扰,提高无线通信性能。



1. 一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,包括多圈UCA阵列以及沿所述多圈UCA阵列产生的天线信号走向依次排布的移相器网络结构、射频链路、模数转换器和数字信号处理器,UCA是指均匀圆环天线阵,其特征在于,所述移相器网络结构包括:

第一级移相器网络,包括若干组移相单元,每组移相单元包括若干个移相器和一个加法器,且所述加法器与所述若干个移相器相连;

第二级移相器网络,包括若干组移相单元,每组移相单元包括若干个移相器和一个加法器,且所述加法器与所述若干个移相器相连;其中,

所述第一级移相器网络的每个加法器与所述第二级移相器网络的每组移相单元中的一个移相器相连;

所述多圈UCA阵列包括若干圈UCA,每圈UCA均匀放置若干个天线单元;所述第一级移相器网络的移相单元的组数与所述多圈UCA阵列的UCA的圈数相等,且所述第一级移相器网络中每组移相单元的移相器的个数与所述多圈UCA阵列的每圈UCA的天线单元的个数相等;

其中,所述第一级移相器网络的第 $m+1$ 组移相单元中的 $N$ 个移相器分别与所述多圈UCA阵列的第 $m+1$ 圈UCA中的 $N$ 个天线单元相连,其中, $m=0, \dots, M-1$ , $M$ 为所述多圈UCA阵列的UCA的圈数, $N$ 为所述多圈UCA阵列的每圈UCA的天线单元的个数。

2. 根据权利要求1所述的用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,其特征在于,所述第二级移相器网络的移相单元的组数、所述第二级移相器网络中每组移相单元的移相器的个数均与所述第一级移相器网络的移相单元的组数相等。

3. 根据权利要求2所述的用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,其特征在于,所述第一级移相器网络的第 $m+1$ 组移相单元中的加法器与所述第二级移相器网络中每组移相单元的第 $m+1$ 个移相器均相连, $m=0, \dots, M-1$ , $M$ 为所述多圈UCA阵列的UCA的圈数。

4. 根据权利要求2所述的用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,其特征在于,所述第二级移相器网络中每组移相单元的 $M-1$ 个移相器均与一开关相连,其中, $M$ 为所述多圈UCA阵列的UCA的圈数。

5. 根据权利要求1所述的用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,其特征在于,所述第二级移相器网络中每组移相单元的加法器均与一射频链路相连。

## 一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信领域,更具体地涉及一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置。

### 背景技术

[0002] 随着无线通信技术的发展,对信道容量的要求也不断提高。MIMO(多进多出)技术可以在不增加功率和带宽的情况下显著提升信道容量,具体地而言,即信道容量随着天线数的增加而增加。为了大幅提升信道容量,5G通信采用大规模MIMO技术,天线数可达成百上千根。5G大规模MIMO系统中一般使用均匀线阵或者方形阵列,主要目的是进行多波束复用通信,通过灵活调整多个波束的指向来对多个用户同时进行通信。而均匀圆环天线阵(UCA)因其独特的拓扑结构,可以生成环状波束。理想情况下,使用多圈UCA可以生成多个具有一定隔离度的环状波束,波束复用可显著提高无线通信性能。

[0003] 近年来,轨道角动量(OAM)无线通信因其独特的模态正交性引起广泛关注。OAM在时间和频率这两个自由度之外又提供生成OAM。给UCA每个阵元馈以等幅等相差的激励信号即可生成OAM涡旋信号。OAM的模态正交性是提升信道容量的关键,但理想的模态正交性只有在收发UCA共轴和视距的情况下才成立。实际的通信场景中存在多径、非共轴等非理想因素,会破坏OAM的正交性,模态之间隔离度下降,限制信道容量的提升。这种情况下,干扰消除对于UCA就显得尤为重要。

[0004] 传统的干扰消除技术一般是在数字域对干扰进行估计和均衡。当干扰较弱时,接收信号功率波动较小,ADC(模数转换器)可以工作在线性区,模数转化的量化误差较小,干扰可以较为准确地反映在数字基带上。此时采用数字域干扰消除技术效果较好,基带数字处理可以对干扰进行估计和消除。当存在强干扰(如军用通信系统中的恶意强干扰)时,仅仅在数字域进行干扰消除不再满足性能需求。主要原因是当存在强干扰时,接收信号功率可能会非常大,使得ADC达到饱和,模数转化结果误差增大,模拟误差无法准确反映到数字基带上,数字域干扰消除性能受限,通信性能急剧下降。因此,有必要在射频域对强干扰进行消除。

### 发明内容

[0005] 为解决上述现有技术中的问题,本发明提供一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,在射频域消除外界的强干扰信号,提高无线通信性能。

[0006] 本发明提供了一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,包括多圈UCA阵列以及沿所述多圈UCA阵列产生的天线信号走向依次排布的移相器网络结构、射频链路、模数转换器和数字信号处理器,所述移相器网络结构包括:

[0007] 第一级移相器网络,包括若干组移相单元,每组移相单元包括若干个移相器和一个加法器,且所述加法器与所述若干个移相器相连。

[0008] 第二级移相器网络,包括若干组移相单元,每组移相单元包括若干个移相器和一

个加法器,且所述加法器与所述若干个移相器相连。其中,

[0009] 所述第一级移相器网络的每个加法器与所述第二级移相器网络的每组移相单元中的一个移相器相连。

[0010] 所述多圈UCA阵列包括若干圈UCA,每圈UCA均匀放置若干个天线单元。

[0011] 所述第一级移相器网络的移相单元的组数与所述多圈UCA阵列的UCA的圈数相等,且所述第一级移相器网络中每组移相单元的移相器的个数与所述多圈UCA阵列的每圈UCA的天线单元的个数相等。

[0012] 所述第一级移相器网络的第 $m+1$ 组移相单元中的 $N$ 个移相器分别与所述多圈UCA阵列的第 $m+1$ 圈UCA中的 $N$ 个天线单元相连,其中, $m=0, \dots, M-1$ , $M$ 为所述多圈UCA阵列的UCA的圈数, $N$ 为所述多圈UCA阵列的每圈UCA的天线单元的个数。

[0013] 所述第二级移相器网络的移相单元的组数、所述第二级移相器网络中每组移相单元的移相器的个数均与所述第一级移相器网络的移相单元的组数相等。

[0014] 所述第一级移相器网络的第 $m+1$ 组移相单元中的加法器与所述第二级移相器网络中每组移相单元的第 $m+1$ 个移相器均相连, $m=0, \dots, M-1$ , $M$ 为所述多圈UCA阵列的UCA的圈数。

[0015] 所述第二级移相器网络中每组移相单元的 $M-1$ 个移相器均与一开关相连,其中, $M$ 为所述多圈UCA阵列的UCA的圈数。

[0016] 所述第二级移相器网络中每组移相单元的加法器均与一射频链路相连。

[0017] 本发明设置两级移相器网络,第一级移相器网络利用波束之间的隔离度进行干扰消除,第二级移相器网络进一步消除第一级移相器网络处理后的干扰信息。本发明通过两级移相器网络的联合作用,可在射频域显著消除多圈UCA的信号干扰,提高无线通信性能。

## 附图说明

[0018] 图1是按照本发明的用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置的结构示意图。

[0019] 图2是图1中多圈UCA阵列的结构示意图。

[0020] 图3是按照本发明一具体示例的用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置的结构示意图。

## 具体实施方式

[0021] 下面结合附图,给出本发明的较佳实施例,并予以详细描述。

[0022] 射频域自干扰抑制的核心思想是构建与干扰信号幅相反的对消信号,在射频模拟域完成抵消,达到抑制效果。基于此,本发明的一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,如图1所示,包括多圈UCA阵列1以及沿多圈UCA阵列1产生的天线信号走向依次排布的移相器网络结构2、射频链路3、模数转换器4和数字信号处理器5。

[0023] 如图2所示,多圈UCA阵列1包括 $M$ 圈UCA,每圈UCA均匀放置 $N$ 个天线单元,其中, $M$ 至少为2, $N$ 至少为4。定义 $M$ 圈UCA的索引为 $m$ , $m$ 从外圈到内圈编号为 $0 \dots M-1$ ;每一圈的天线单元的索引为 $n$ , $n$ 顺时针编号为 $0 \dots N-1$ 。

[0024] 下面结合图1对移相器网络结构2进行描述。

[0025] 移相器网络结构2包括第一级移相器网络21 (PSN) 和第二级移相器网络22。其中,

第一级移相器网络21包括M组移相单元,每组移相单元包括N个移相器和一个加法器,加法器与这N个移相器相连,用于将经过这N个移相器移相的N个信号进行相加。并且,第1组移相单元中的N个移相器分别与第1组UCA中的N个天线单元相连,以接收第1圈UCA中的N个天线信号 $r_{0,0}, \dots, r_{0,0}, \dots, r_{0,0}, \dots, r_{0,N-1}$ ,这N个天线信号移相后通过加法器相加,从而输出一级处理的信号 $x_0; \dots$ ;第m+1组移相单元中的N个移相器分别与第m+1组UCA中的N个天线单元相连,以接收第m+1圈UCA中的N个天线信号 $r_{m,0}, \dots, r_{m,n}, \dots, r_{m,N-1}$ ,这N个天线信号移相后通过加法器相加,从而输出一级处理的信号 $x_m; \dots$ ;第M组移相单元中的N个移相器分别与第M组UCA中的N个天线单元相连,以接收第M圈UCA中的N个天线信号 $r_{M-1,0}, \dots, r_{M-1,n}, \dots, r_{M-1,N-1}$ ,这N个天线信号移相后通过加法器相加,从而输出一级处理的信号 $x_{M-1}$ 。如此,第一级移相器网络21构成 $N \times M$ 进M出的网络,输入信号为多圈UCA的天线接收信号 $r_m$ ,输出信号为 $x_m$ 。

[0026] 将对应于第m+1圈UCA的N个移相器表达为 $\theta_m$ :

$$[0027] \quad \theta_m = [e^{j\theta_{m,0}} \quad \dots \quad e^{j\theta_{m,N-1}}]$$

[0028] 则下式关系成立:

$$[0029] \quad x_m = \theta_m r_m, \quad r_m = \begin{bmatrix} r_{m,0} \\ \vdots \\ r_{m,N-1} \end{bmatrix}$$

[0030] 其中,为多圈UCA阵列1的UCA的索引, $m=0 \dots M-1$ ,N为多圈UCA阵列1的每圈UCA的天线单元的个数, $e^{j\theta_{m,0}} \quad \dots \quad e^{j\theta_{m,N-1}}$ 分别为第m+1圈UCA的N个移相器所移动的相位, $r_{m,0}, \dots, r_{m,N-1}$ 分别为第m+1圈UCA中的N个天线信号, $x_m$ 为第一级移相器网络21的第m+1个输出信号。

[0031] 基于上述关系,为了方便整体表述第一级移相器网络21的输入输出关系,将所有UCA的天线接收信号表示为 $(N \times M) \times 1$ 的列向量r:

$$[0032] \quad r = \begin{bmatrix} r_0 \\ \vdots \\ r_{M-1} \end{bmatrix}$$

[0033] r为多圈UCA阵列1的所有UCA的天线接收信号, $r_m$ 为多圈UCA阵列1的第m+1圈UCA的天线接收信号。

[0034] 将所有输出信号表示为 $M \times 1$ 的列向量x:

$$[0035] \quad x = \begin{bmatrix} x_0 \\ \vdots \\ x_{M-1} \end{bmatrix}$$

[0036]  $x_m$ 为第一级移相器网络21的第m+1个输出信号,x为第一级移相器网络21的所有输出信号。

[0037] 将第一级移相器网络21的移相器整体表示为M行, $M \times N$ 列的矩阵 $\theta$ :

$$[0038] \quad \theta = \begin{bmatrix} \theta_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \theta_1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \theta_{M-1} \end{bmatrix}$$

[0039] 其中的0为1的全0行向量。由于第一级移相器网络21不是一个全连接的网络,第 $m+1$ 圈UCA的天线单元只叠加连接到一路输出 $x_m$ ,因此在 $\theta$ 矩阵中只有对角线位置有值,其他位置为0表示未连接。

[0040] 根据以上所述,第一级移相器网络21的功能可由下式表示:

$$[0041] \quad x = \theta r$$

[0042] 第一级移相器网络21的相位参数由具体的波束赋形相位参数决定,目的是利用波束之间的隔离度进行干扰消除,使得第一级移相器网络21的每一路输出信号尽可能只包含一圈UCA的天线接收信号,消除其他UCA的天线接收信号。例如,假设只有1圈UCA,该圈UCA由 $N$ 个天线组成,具体的波束赋形为形成模态值为1的涡旋波,那么每个移相器的相位可以表达为 $\frac{j12\pi n}{N}$ 。

[0043] 第二级移相器网络22包括 $M$ 组移相单元,每组移相单元包括 $M$ 个移相器和一个加法器,加法器与这 $M$ 个移相器相连,用于将经过这 $M$ 个移相器移相的 $M$ 个信号进行相加。第二级移相器网络22以第一级移相器网络21的输出信号 $x$ 作为输入信号,为区分第二级移相器网络22的输入输出索引,定义第二级移相器网络22中移相单元的索引为 $l, l=0, \dots, M-1$ ,定义每组移相单元中的移相器的索引为 $m, m=0, \dots, M-1$ 。第二级移相器网络22的输入信号记为 $x_{1,m}$ ,输出信号记为 $y_l$ 。要说明的是,此处 $x_{1,m} = x_m$ 。

[0044] 第一级移相器网络21的第 $m+1$ 组移相单元中的加法器与第二级移相器网络22中每组移相单元的第 $m+1$ 个移相器相连,具体地,第一级移相器网络21的第1组移相单元中的加法器与第二级移相器网络22中第1、2、3、……、 $M$ 组移相单元中的第1个移相器相连,第一级移相器网络21的第2组移相单元中的加法器与第二级移相器网络22中第1、2、3、……、 $M$ 组移相单元中的第2个移相器相连,……,第一级移相器网络21的第 $M$ 个加法器与第二级移相器网络22中第1、2、3、……、 $M$ 组移相单元中的第 $M$ 个移相器相连。如此,第一级移相器网络21的输出信号分成 $M$ 条支路 $x_{1,m}$ ,作为第二级移相器网络22中每个移相器的输入信号,所有输入信号的第 $l+1$ 条支路 $x_{1,m}$ 经过相位为 $\phi_{l,m}$ 的移相器移相并叠加后形成一路输出 $y_l$ ,使得第二级移相器网络22构成一个 $M$ 进 $M$ 出的全连接网络。将第二级移相器网络22构成全连接的网络,即任意一条输入信号 $x_{1,m}$ 都连接到了任意一条输出信号 $y_l$ ,使得共有 $M \times M$ 个相位值可以调整,给优化算法提供了设计空间。

[0045] 将第二级移相器网络22的输出信号表示为:

$$[0046] \quad \begin{bmatrix} y_0 \\ \vdots \\ y_{M-1} \end{bmatrix}$$

[0047] 将第二级移相器网络22的移相器整体表示为:

$$[0048] \quad \phi = \begin{bmatrix} \phi_{0,0} & \cdots & \phi_{0,M-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{M-1,0} & \cdots & \phi_{M-1,M-1} \end{bmatrix}$$

[0049] 则第二级移相器网络22的整体功能可用下式表示:

$$[0050] \quad y = \phi x$$

[0051] 特别地,第二级移相器网络22中的移相器参数由具体的优化算法决定,而优化算

法可能需要原始干扰信息,因此本发明将相位为 $\phi_{1,m}, 1 \neq m$ 的移相器(即 $\phi$ 中非对角线上的移相器)均与一开关相连,在需要将第二级移相器网络22旁路掉的情况下,打开这些开关,并将 $\phi$ 对角线对应的移相器的相移值 $\phi_{1,m}, 1=m$ 设为0,即可为第一级移相器网络21和模数转换器4之间提供直通链路,以获取原始干扰信息,便于优化算法的设计。需要说明的是,计算第二级移相器网络22中移相器参数的优化算法可根据实际需要进行选择。

[0052] 第二级移相器网络22中每组移相单元的加法器均与射频链路3相连,使得第二级移相器网络22的输出信号 $y_1$ 进入射频链路3进行射频处理,射频处理后的信号通过模数转换器4转化为数字信号,数字信号处理器5接受数字信号并提取接收数据信息。

[0053] 以下通过一具体示例来对本发明的用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置进一步说明,特别对移相器网络结构2进一步说明。

[0054] 如图3所示,本发明的一种用于多圈UCA阵列的通信干扰消除装置,包括多圈UCA阵列1以及沿多圈UCA阵列1产生的天线信号走向依次排布的移相器网络结构2、射频链路3、模数转换器4和数字信号处理器5。

[0055] 其中,多圈UCA阵列1包括2圈UCA,每圈UCA均匀放置4个天线单元。

[0056] 移相器网络结构2包括第一级移相器网络21和第二级移相器网络22,第一级移相器网络21包括2组移相单元,每组移相单元包括4个移相器和1个加法器,加法器与这4个移相器相连,用于将经过移相的4个信号进行相加。第1组移相单元中的4个移相器分别与第1圈UCA中的4个天线单元相连,以接收第1圈UCA中的4个天线信号 $r_{0,0}, r_{0,1}, r_{0,2}, \dots, r_{0,3}$ ,这4个天线信号移相后通过加法器相加,从而输出信号 $x_0$ 。第2组移相单元中的4个移相器分别与第2圈UCA中的4个天线单元相连,以接收第2圈UCA中的4个天线信号 $r_{1,0}, r_{1,1}, \dots, r_{1,2}, r_{1,3}$ ,这4个天线信号移相后通过加法器相加,从而信号 $x_1$ 。如此,第一级移相器网络21构成8进2出的网络,且其相位参数由具体的波束赋形参数决定。

[0057] 第二级移相器网络22包括2组移相单元,每组移相单元包括2个移相器和1个加法器,加法器与2个移相器相连,用于将经过这2个移相器移相的2个信号进行相加。

[0058] 第一级移相器网络21的第1组移相单元中的加法器与第二级移相器网络22中两组移相单元中的第1个移相器相连,第一级移相器网络21的第2组移相单元中的加法器与第二级移相器网络22中两组移相单元中的第2个移相器相连。如此,第一级移相器网络21的输出信号 $x_0$ 分成2条支路 $x_{0,0}$ 和 $x_{1,0}$ ,输出信号 $x_1$ 分成2条支路 $x_{0,1}$ 和 $x_{1,1}$ 。信号 $x_{0,0}$ 和 $x_{0,1}$ 经移相器移相并叠加后形成一路输出 $y_0$ ,信号 $x_{0,1}$ 和 $x_{1,1}$ 经移相器移相并叠加后形成一路输出 $y_1$ 。如此,第二级移相器网络22构成一个2进2出的全连接网络。特别地,支路 $x_{0,1}$ 和 $x_{1,0}$ 对应的移相器均与一开关相连,来为第一级移相器网络21和模数转换器4之间提供直通链路,以获取原始干扰信息。

[0059] 第二级移相器网络22中的移相器参数可由下述方法计算得到:

[0060] 假设采用线性MMSE准则进行干扰消除,则加权矩阵为:

$$[0061] \quad \mathbf{w} = \sigma_x^2 \mathbf{R}_x^{-1} \mathbf{h}$$

[0062] 式中, $\mathbf{h}$ 为物理信号结合第一级移相器网络21得到的等效信道响应, $\sigma_x^2$ 为目标UCA波束的功率, $\mathbf{R}_x$ 为干扰加噪声的协方差矩阵。

[0063] 将 $\mathbf{w}$ 进行如下分解:

$$[0064] \quad \mathbf{w} = \left( \mathbf{R}_x^{-\frac{1}{2}} \right) \left( \sigma_x^2 \mathbf{R}_x^{-\frac{1}{2}} \mathbf{h} \right)$$

[0065] 以  $\mathbf{R}_x^{-\frac{1}{2}}$  为优化目标可构建如下优化问题:

$$[0066] \quad \max \frac{|\Phi \widehat{\mathbf{R}}_x \Phi^H|^{\frac{1}{M}}}{\frac{\text{tr}(\Phi \widehat{\mathbf{R}}_x \Phi^H)}{M}}$$

[0067] subject to  $\varphi_{i,j} \in \Omega \quad 1 \leq i \leq M, \quad 1 \leq j \leq M$

$$[0068] \quad \Omega = \frac{2k\pi}{2^b}, k = 0, \dots, 2^b - 1$$

[0069] 式中,  $(\cdot)^H$  表示共轭转置,  $\text{tr}(\cdot)$  表示矩阵的迹,  $b$  为移相器位数;  $\widehat{\mathbf{R}}_x$  为根据样本估计的噪声协方差矩阵, 可通过打开第二级移相器网络22中的开关, 将第二级移相器网络22旁路之后, 在基带采集一定数量的样本数据获得。求解上述优化问题, 得出的  $\Phi$  即为第二级移相器网络22的相移值。

[0070] 最终, 第二级移相器网络22的输出信号  $y_0$  和  $y_1$  进入射频链路3进行射频处理, 射频处理后的信号通过模数转换器4转化为数字信号, 数字信号处理器5接受数字信号并提取接收数据信息。

[0071] 本发明将两级移相器网络嵌入在基于UCA的无线通信射频链路中, 第一级移相器网络的相位值由波束赋形参数决定, 主要目的是利用波束之间的隔离度进行干扰消除, 第二级移相器网络的相位值由所采用的具体优化算法决定, 主要目的是进一步消除第一级移相器网络处理后的干扰信息。本发明通过两级移相器网络的联合作用, 可在射频域显著消除多圈UCA的信号干扰, 提高无线通信性能。

[0072] 以上所述的, 仅为本发明的较佳实施例, 并非用以限定本发明的范围, 本发明的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰, 皆落入本发明专利的权利要求保护范围。本发明未详尽描述的均为常规技术内容。

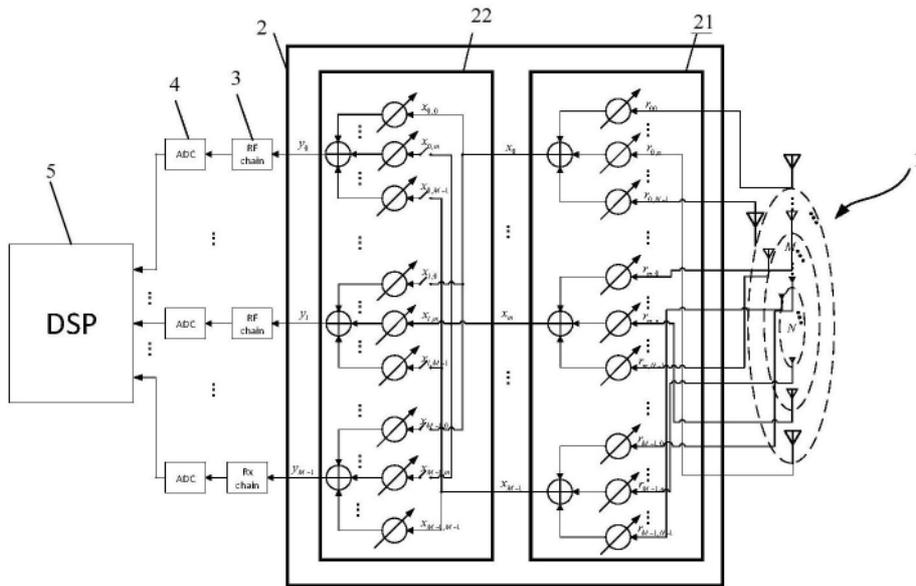


图1

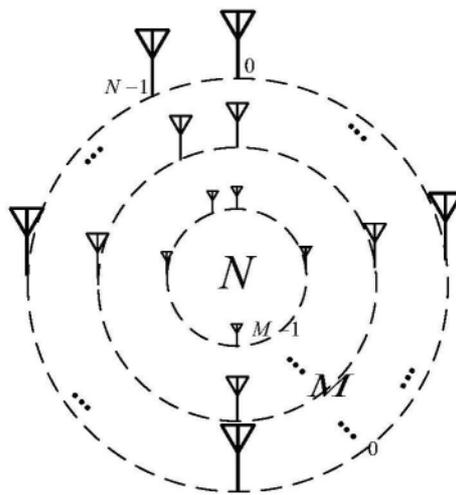


图2

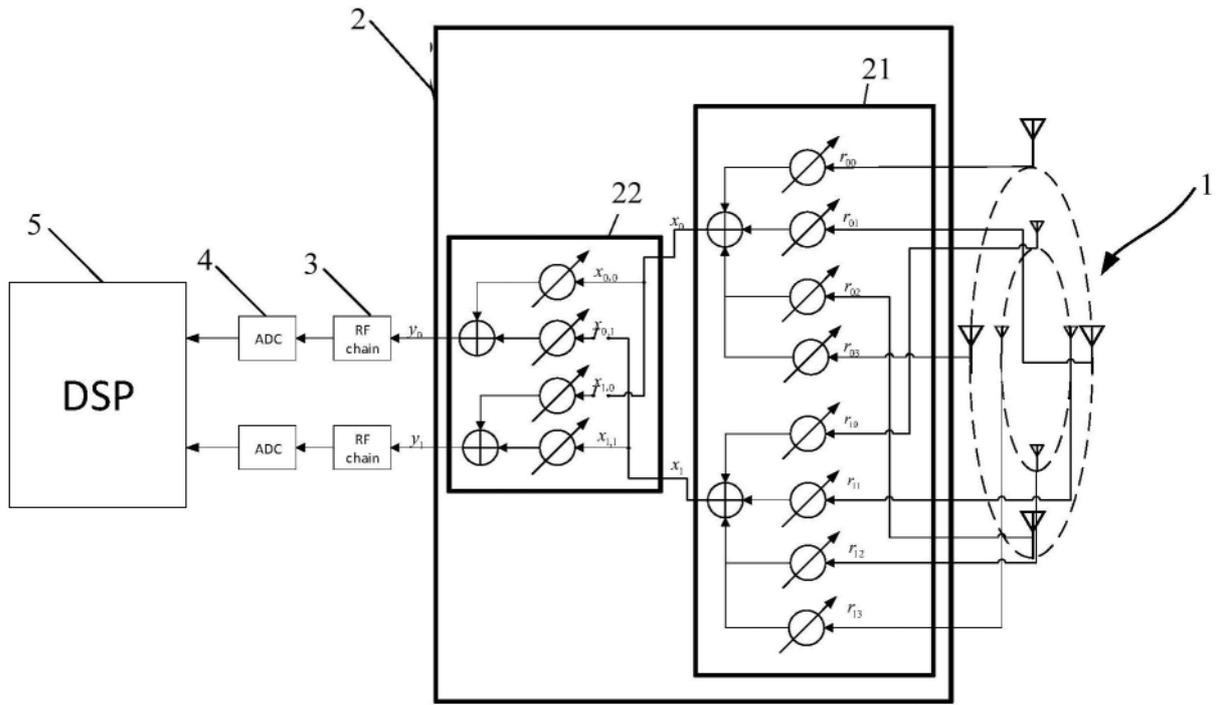


图3