



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113451764 B

(45) 授权公告日 2022.09.02

(21) 申请号 202110596607.0

(22) 申请日 2021.05.31

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113451764 A

(43) 申请公布日 2021.09.28

(73) 专利权人 西南电子技术研究所(中国电子  
科技集团公司第十研究所)

地址 610036 四川省成都市金牛区茶店子  
东街48号

(72) 发明人 温剑 姚亚利 王军会 侯禄平  
梁宇宏 李秀梅 张云

(74) 专利代理机构 成飞(集团)公司专利中心  
51121  
专利代理师 郭纯武

(51) Int.Cl.

H01Q 1/38 (2006.01)

H01Q 15/24 (2006.01)

H01Q 21/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108174620 A, 2018.06.15

EP 0516440 A1, 1992.12.02

CN 105048100 A, 2015.11.11

Hao Liu等. "Design of Switchable Circularly-Polarized Phased Array Based on Sequential Rotation and 45-degree Rotated Linearly Polarized Elements". 《2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting》. 2021,

审查员 何丹丹

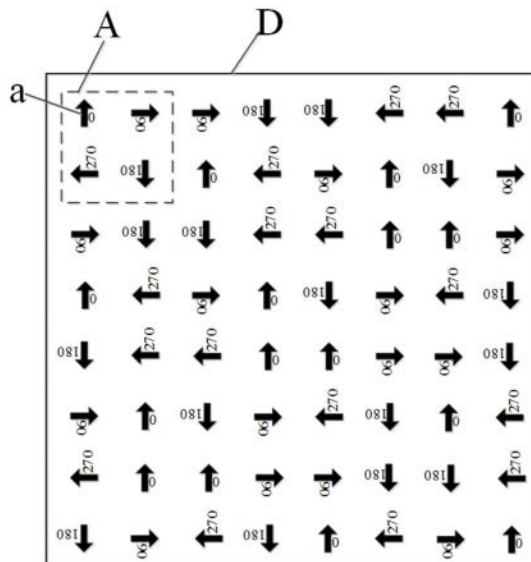
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

## (54) 发明名称

多阶顺序旋转圆极化天线阵列

## (57) 摘要

本发明公开的一种多阶顺序旋转圆极化天线阵列,旨在提供一种能够改善阵列宽扫描角范围内的圆极化特性的天线阵列。本发明通过下述技术方案予以实现:按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距,以4个圆极化天线的辐射单元a为单元组,将每组中的辐射单元a,按90°间隔相位差顺序旋转,正方形内绕正方形中心,沿四条边旋为转旋向一致的正方形2×2子阵A,且每个2×2子阵A的起始辐射单元a相位按邻边循序接替进行多阶顺序旋转,按矩阵行列分布得到多阶顺序旋转圆极化天线阵列D。本发明特别适用于高增益、低圆极化轴比工作的场合中。



1. 一种多阶顺序旋转圆极化天线阵列,包括:包含至少64个矩形栅格布阵在每个TR组件上的辐射单元a,其特征在于:按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距,以4个圆极化天线的辐射单元a为单元组作为旋转矩阵,将每组中的辐射单元a,按90°间隔相位差顺序旋转,正方形内绕正方形中心,沿四条边旋为转旋向一致的正方形2×2子阵,将4个辐射单元按90°间隔顺序旋转构成正方形2×2子阵,且每个2×2子阵的起始辐射单元a相位按邻边循序接替进行多阶顺序旋转,将2×2子阵按2×2均匀复制排列为4×4阵列,并将16个辐射单元等分为4个象限,按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距,按顺时针或逆时针依次将4个象限内的旋转角度确定为0°、90°、180°、270°,对4×4阵列的阵中单元阵一一进行旋转,再将2×2子阵A按4×4均匀复制排列为8×8阵列,将得到的8×8阵列的阵中单元先按照旋转矩阵一一进行旋转,得到第1种多阶顺序旋转圆极化天线阵列D<sub>1</sub>,以上述方式循序构成旋转角度相位相差90°下一组的旋转矩阵,按矩阵行列分布得到多阶顺序旋转圆极化天线阵列D:D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>…D<sub>n</sub>。

2. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列,其特征在于:多阶顺序旋转圆极化天线阵列D,包含64个矩形栅格布阵在TR组件上的辐射单元。

3. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列,其特征在于:2×2子阵A中每个辐射单元a按照顺时针或逆时针箭头方向顺次旋转90°,将2×2子阵A按4×4均匀复制排列为8×8阵列,即每行有4个相同的2×2子阵A,每列也有4个相同的2×2子阵A。

4. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列,其特征在于:按照下面栅瓣抑制条件确定合适的单元间距: $d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1+|\sin\theta_s|}$ ,阵列中每个辐射单元a由TR组件对其馈电施加初始补偿相位,初始补偿相位由各单元相对左上角第一个单元的旋转角度确定,阵列单元按正交顺序旋转并配合相位补偿的技术,采用椭圆极化单元甚至是线极化单元合成圆极化阵列;若设计右旋圆极化天线阵列,则将每个辐射单元a的初始补偿相位加负号,

其中,d表示相邻天线单元的间距, $\lambda_{\min}$ 表示天线工作频带内的最小波长, $\theta_s$ 为天线阵列扫描角度。

5. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列,其特征在于:将2×2子阵A的阵中单元按照旋转矩阵一一进行旋转,从下列表第一列开始,相邻两列为一组,第1列、第2列构成,第一组的旋转角度为0°,往右每组依次增加90°,

0	0	90	90	180	180	270	270
0	0	90	90	180	180	270	270
0	0	90	90	180	180	270	270
0	0	90	90	180	180	270	270
0	0	90	90	180	180	270	270
0	0	90	90	180	180	270	270
0	0	90	90	180	180	270	270
0	0	90	90	180	180	270	270

,得到第1种多阶顺序旋转圆极化天线阵列

D<sub>1</sub>。

6. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列,其特征在于:将第一个8×8天线阵列的阵中单元按照旋转矩阵一一进行旋转,从下列表第一行开始,相邻两行为一组,构成第一组旋转角度为0°的旋转矩阵,往下每组依次增加90°,

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 \end{bmatrix}, \text{得到第2种多阶顺序旋转圆极化天线阵}$$

列 $D_2$ , 以上述方式循序构成旋转角度相位相差 $90^\circ$ 下一组的旋转矩阵, 得到多阶顺序旋转圆极化天线阵列 $D_3 \cdots D_n$ 。

7. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列, 其特征在于: 按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距, 将 $2 \times 2$ 子阵A按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $4 \times 4$ 阵列, 一一进行旋转得到 $4 \times 4$ 阵列B, 再将 $4 \times 4$ 阵列B按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $8 \times 8$ 阵列, 将得到的 $8 \times 8$ 阵列的阵中单元先按照旋转矩阵一一进行旋转得到第2种多阶顺序旋转圆极化天线阵列C。

8. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列, 其特征在于: 将 $2 \times 2$ 子阵A按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $4 \times 4$ 阵列, 即每行有2个相同的 $2 \times 2$ 子阵A, 每列也有2个相同的 $2 \times 2$ 子阵A; 将 $4 \times 4$ 阵列的阵中单元按照旋转矩阵一一进行旋转, 得到 $4 \times 4$ 阵列B。

9. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列, 其特征在于: 将 $4 \times 4$ 阵列B按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $8 \times 8$ 阵列, 即每行有2个相同的 $4 \times 4$ 阵列B, 每列也有2个相同的 $4 \times 4$ 阵列B, 将 $4 \times 4$ 阵列B的阵中单元按照旋转矩阵一一进行旋转, 得到 $8 \times 8$ 阵列C。

10. 如权利要求1所述的多阶顺序旋转圆极化天线阵列, 其特征在于: 旋转矩阵将按下列表中64个辐射单元等分为4个象限, 按顺时针或逆时针依次将4个象限内的旋转角度确定为 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ ,

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \end{bmatrix}, \text{得到按上述} 0^\circ、90^\circ、180^\circ、270^\circ \text{循序扩展}$$

旋转矩阵的多阶顺序旋转圆极化天线阵列 $C_1、C_2, \cdots C_n$ 。

## 多阶顺序旋转圆极化天线阵列

### 技术领域

[0001] 本发明涉及圆极化天线阵列技术领域,具体涉及一种多阶顺序旋转圆极化天线阵列。

### 背景技术

[0002] 随着科学技术的进一步发展,人类对无线通信的需求越来越高。电磁波的极化传播特性是影响卫星通信星地链路性能的重要因素,天线作为无线系统的组成部分,其性能直接影响到整个无线系统的工作特性,所以天线是无线系统的关键器件。随着长距离无线通信的迅速发展化天线的需求与日俱增。圆极化天线可以接受任意极化方式的波,且其辐射波也可以由任意极化天线接收到,而且圆极化电磁波具有较好的抗法拉第旋转和去极化效应的特性,圆极化天线在雷达、电子对抗及无线通信领域中有着非常重要的作用接收作用。所以在卫星通信系统中多采用圆极化天线。实现圆极化的关键在于产生等幅的正交线极化波,为了实现正交极化并且提高主瓣的极化纯度,现有技术已经提出了很多通过顺序旋转馈电网络来实现圆极化的方法。然而传统的缝隙天线由于缝隙刻蚀在金属面容易形成双向辐射。常规天线阵列要实现较好的极化特性,首先要优化阵元极化特性,采用结构简单、对称性高、互耦小的阵列单元实现良好的交叉极化抑制;其次要对阵因子的交叉极化特性进行设计。由于早期的通信相控阵多应用在同步轨道卫星平台,其扫描角度通常小于 $15^\circ$ ,所以交叉极化栅瓣的问题不突出。当前低轨卫星通信网络领域发展迅猛,星载相控阵天线的工作带宽、扫描角度越来越大,宽角宽带范围内的交叉极化抑制必须得到有效抑制,才能消除空间中有意或无意的干扰。

[0003] 实现圆极化的关键在于产生等幅的正交线极化波。为了实现正交极化并且提高主瓣的极化纯度,现有技术已经提出了很多通过顺序旋转馈电网络来实现圆极化的方法,包括线极化天线单元,圆极化天线单元,方形切角天线单元,并通过将每个单元引入相位,适当幅度一致,馈电方向垂直的馈电来实现圆极化。在天线单元方面,缝隙天线因为低损耗、轻巧、同馈电网络隔离度高而广泛运用于雷达,卫星通讯等场合。然而传统的缝隙天线由于缝隙刻蚀在金属面容易形成双向辐射。馈电的并联网络组成阵列之后,通过用功分器把输入功率平均分配到各个单元,谐振频率明显拓宽,并且实现了圆极化,相比较串联馈电,该种形式更适合于固定波束阵。较小的天线单元间隔能够得到较好的带宽效果,这样馈线的长度减少,损耗也随之减少,但同时带来的问题是产生了严重的互耦,并且在有限的空间内难以调节各馈电单元的幅度,使得天线的极化性能变差。

[0004] 天线阵可以采用 $2 \times 2$ 天线单元顺序旋转馈电的方法来实现圆极化。常规的顺序旋转圆极化天线阵列是将 $2 \times 2$ 顺序旋转子阵均匀复制排列,虽然可以在天线法向及小扫描角范围内形成非常高的交叉极化比,但在大角度扫描区域,存在交叉极化分量栅瓣,天线阵列在对圆极化性能进行优化时,需要经过长时间反复优化计算。

## 发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服常规顺序旋转阵列的不足,针对工程中对宽角扫描相控阵的迫切需求,提供一种能够改善阵列宽扫描角范围内的圆极化特性的多阶顺序旋转圆极化天线阵列。

[0006] 本发明上述目的可以通过以下技术方案实现:一种多阶顺序旋转圆极化天线阵列,包括:包含至少64个矩形栅格布阵在每个TR组件上的辐射单元a,其特征在于:按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距,以4个圆极化天线的辐射单元a为单元组,将每组中的辐射单元a,按 $90^\circ$ 间隔相位差顺序旋转,正方形内绕正方形中心,沿四条边旋为转旋向一致的正方形 $2 \times 2$ 子阵A,且每个 $2 \times 2$ 子阵A的起始辐射单元a相位按邻边循序接替进行多阶顺序旋转,按矩阵行列分布得到多阶顺序旋转圆极化天线阵列D。

[0007] 本发明相比于现有技术具有如下有益效果和优点:

[0008] 设计方法简单省时。本发明按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距,4个圆极化天线的辐射单元a按 $90^\circ$ 间隔顺序旋转构成正方形 $2 \times 2$ 子阵A, $2 \times 2$ 子阵A按特定旋转方向旋转的矩阵进行旋转,仅对天线单元做适当旋转和相位补偿即可实现,且对单元的圆极化特性要求不高。相比于现有的天线阵列对圆极化性能进行优化时,需要经过长时间反复优化计算,设计方法简单省时。

[0009] 本发明在其 $2 \times 2$ 顺序旋转子阵基础上进行了多阶顺序旋转,得到2种多阶顺序旋转圆极化天线阵列。改善了阵列宽扫描角范围内的圆极化特性。相比于将均匀复制排列的常规顺序旋转圆极化天线阵列,多阶顺序旋转圆极化天线阵列对交叉极化的抑制比常规的顺序旋转提高6dB~7dB。整个天线的交叉极化水平有明显提高。另外通过组阵增大了接地板的面积,从而减小了天线的背向辐射强度。

[0010] 本发明将每个单元引入相位幅度一致馈电方向垂直的馈电来实现圆极化,天线单元顺序旋转馈电的方法来实现圆极化。天线阵工作频率为27GHz时扫描 $55^\circ$ 的最大增益为19.5dBi,前后比为15dB,最大交叉极化电平12dB。结果表明该天线阵拥有良好的辐射性能,特别适用于高增益、低圆极化轴比工作的场合中。

## 附图说明

[0011] 下面所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本发明的一部分,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0012] 图1是本发明多阶顺序旋转圆极化天线阵列第一个实施例的排布示意图;

[0013] 图2是图1中第二个实施例的多阶顺序旋转圆极化天线阵列的排布示意图。

[0014] 图3是图1和图2的圆极化天线单元的编号示意图。

[0015] 为了使本发明所要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚、明白,以下结合附图和实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

## 具体实施方式

[0016] 参阅图1。在以下描述的优选实施例中,一种多阶顺序旋转圆极化天线阵列,包括:包含至少64个矩形栅格布阵在每个TR组件上的辐射单元a,其特征在于:按照栅瓣抑制条件

确定的辐射单元a的间距,以4个圆极化天线的辐射单元a为单元组,将每组中的辐射单元a,按90°间隔相位差顺序旋转,正方形内绕正方形中心,沿四条边旋为转向一致的正方形2×2子阵A,且每个2×2子阵A的起始辐射单元a相位按邻边循序接替进行多阶顺序旋转,按矩阵行列分布得到多阶顺序旋转圆极化天线阵列D。

[0017] 本实施例中,多阶顺序旋转圆极化天线阵列D,包含64个矩形栅格布阵在TR组件上的辐射单元,按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距,将4个辐射单元按90°间隔顺序旋转构成正方形2×2子阵A,再将2×2子阵A按4×4均匀复制排列为8×8阵列,将得到的8×8阵列的阵中单元先按照旋转矩阵一一进行旋转,最终得到第1种多阶顺序旋转圆极化天线阵列D。

[0018] 图1所示小虚线框中为2×2子阵A,2×2子阵A中每个辐射单元a按照箭头方向顺次旋转90°,将2×2子阵A按4×4均匀复制排列为8×8阵列,即每行有4个相同的2×2子阵A,每列也有4个相同的2×2子阵A。

[0019] 图1所示每个粗实线箭头代表包含64个天线单元的一个辐射单元a,箭头方向代表天线单元的摆放方向。粗实线箭头旁边的数字代表每个辐射单元相对于左上角第一个辐射单元的旋转角度。

[0020] 按照下面栅瓣抑制条件确定合适的单元间距: $d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1+|\sin\theta_s|}$  其中,d表示相邻天线单元的间距, $\lambda_{\min}$ 表示天线工作频带内的最小波长, $\theta_s$ 为天线阵列扫描角度。

[0021] 实施例1

[0022] 将2×2子阵A的阵中单元按照旋转矩阵一一进行旋转,从下列表第一列开始,相邻两列为一组,第1列、第2列构成,第一组的旋转角度为0°,往右每组依次增加90°。

[0023] 
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \\ 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \\ 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \\ 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \\ 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \\ 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \\ 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \\ 0 & 0 & 90 & 90 & 180 & 180 & 270 & 270 \end{bmatrix},$$
得到图1中的第1种多阶顺序旋转

圆极化天线阵列D<sub>1</sub>。

[0024] 实施例2

[0025] 同理,从下列表第一行开始,相邻两行为一组,构成第一组旋转角度为0°的旋转矩阵2,往下每组依次增加90°,

$$[0026] \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 & 270 \end{bmatrix}, \text{得到图1中的第2种多阶顺序旋转}$$

圆极化天线阵列 $D_2$ ,以上述方式循序构成旋转角度相位相差 $90^\circ$ 下一组的旋转矩阵,可以得到多阶顺序旋转圆极化天线阵列 $D_3 \cdots D_n$ 。

[0027] 在图2所示另一个实施例中,按照栅瓣抑制条件确定的辐射单元a的间距,将 $2 \times 2$ 子阵A按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $4 \times 4$ 阵列,一一进行旋转得到 $4 \times 4$ 阵列B,再将 $4 \times 4$ 阵列B按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $8 \times 8$ 阵列,将得到的 $8 \times 8$ 阵列的阵中单元先按照旋转矩阵一一进行旋转得到第2种多阶顺序旋转圆极化天线阵列C。

[0028] 将 $2 \times 2$ 子阵A按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $4 \times 4$ 阵列,即每行有2个相同的 $2 \times 2$ 子阵A,每列也有2个相同的 $2 \times 2$ 子阵A。将 $4 \times 4$ 阵列的阵中单元按照旋转矩阵一一进行旋转,得到图2中的 $4 \times 4$ 阵列B。将16个辐射单元等分为4个象限,按顺时针或逆时针依次将4个象限内的旋转角度确定为 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 。

[0029] 将 $4 \times 4$ 阵列B按 $2 \times 2$ 均匀复制排列为 $8 \times 8$ 阵列,即每行有2个相同的 $4 \times 4$ 阵列B,每列也有2个相同的 $4 \times 4$ 阵列B,将 $4 \times 4$ 阵列B的阵中单元按照旋转矩阵一一进行旋转,得到图2中的 $8 \times 8$ 阵列C。

[0030] 旋转矩阵将按下列表中64个辐射单元等分为4个象限,按顺时针或逆时针依次将4个象限内的旋转角度确定为 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ ,

$$[0031] \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 90 & 90 & 90 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \\ 270 & 270 & 270 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 \end{bmatrix}, \text{得到按上述 } 0^\circ、90^\circ、180^\circ、270^\circ \text{ 循}$$

序扩展旋转矩阵的多阶顺序旋转圆极化天线阵列 $C_1、C_2、\cdots C_n$ 。

[0032] 参阅图3。在上述实施例中,图3对图1和图2中每个辐射单元a进行了编号a1~a64,两图中天线单元位置一一对应,辐射单元a可以采用圆极化对称振子天线,但实际可不限于此种天线单元。阵列中每个辐射单元a需由TR组件对其馈电施加初始补偿相位,初始补偿相位由各单元相对左上角第一个单元的旋转角度确定,阵列单元按正交顺序旋转并配合相位补偿的技术,可以采用轴比较差的椭圆极化单元甚至是线极化单元合成圆极化阵列。实施例中的补偿相位适用于右旋圆极化天线阵列,若设计右旋圆极化天线阵列,需将每个辐射

单元a的初始补偿相位加负号。

[0033] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。



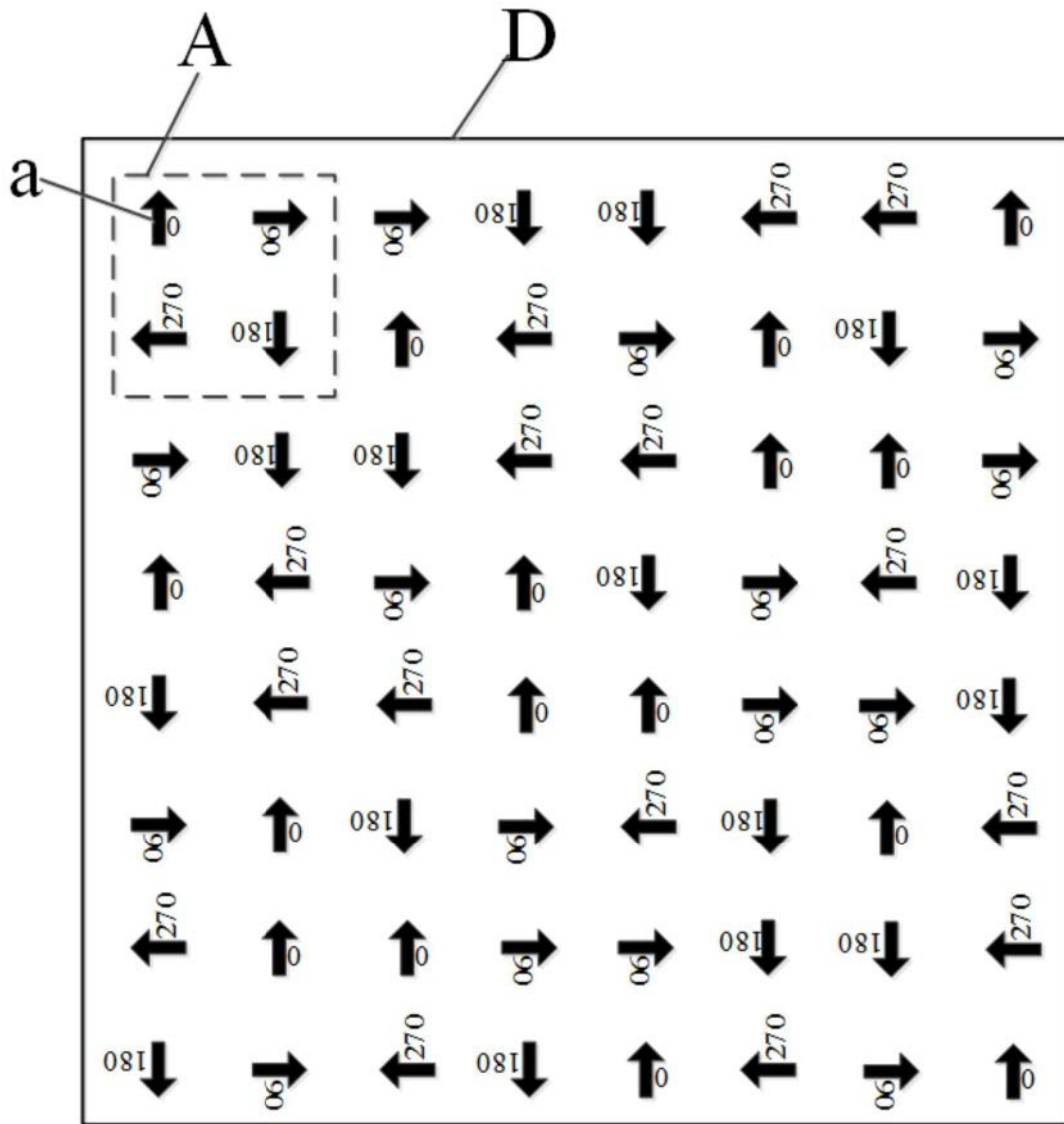


图1

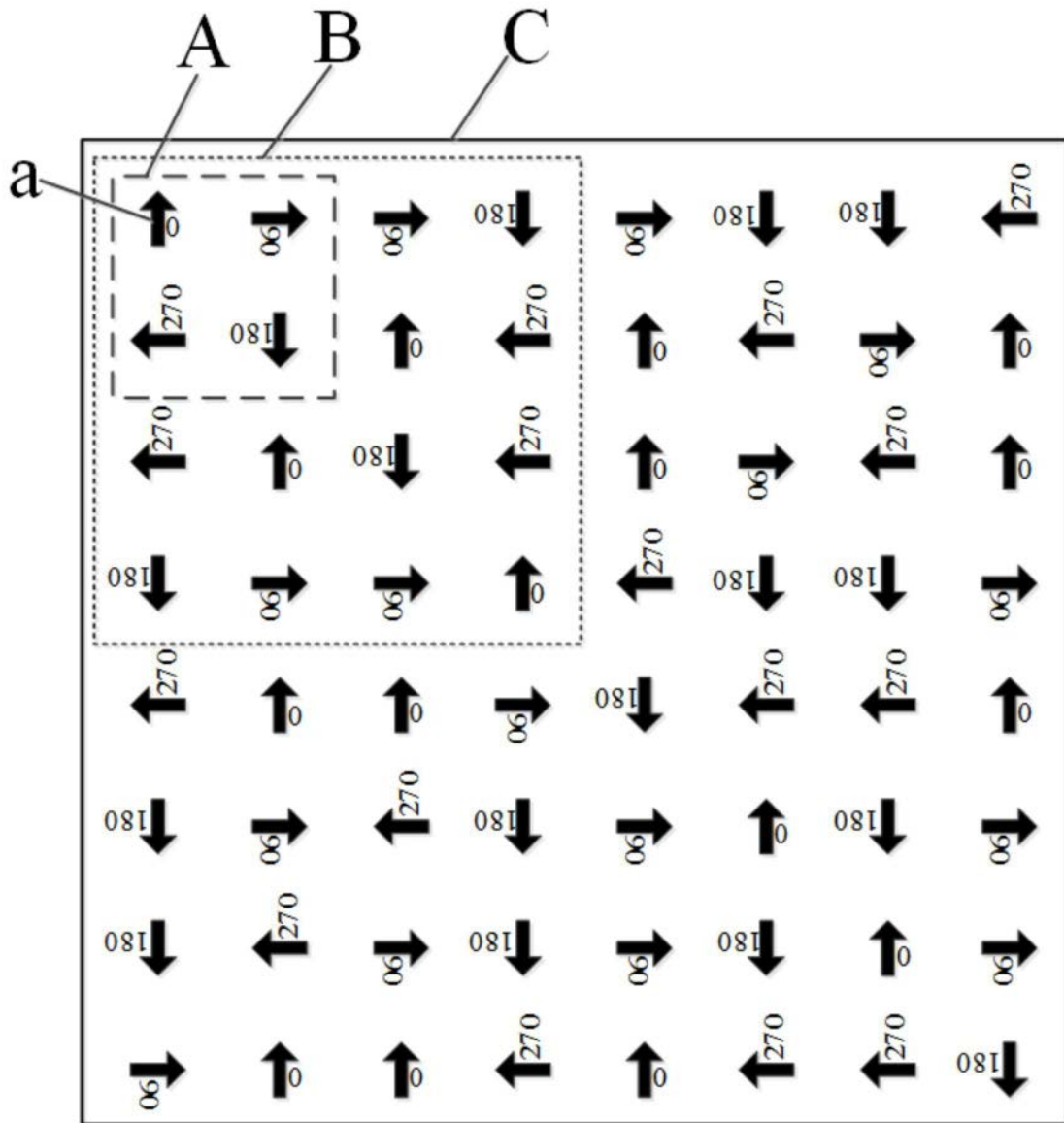


图2

<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>a3</b>	<b>a4</b>	<b>a5</b>	<b>a6</b>	<b>a7</b>	<b>a8</b>
<b>a9</b>	<b>a10</b>	<b>a11</b>	<b>a12</b>	<b>a13</b>	<b>a14</b>	<b>a15</b>	<b>a16</b>
<b>a17</b>	<b>a18</b>	<b>a19</b>	<b>a20</b>	<b>a21</b>	<b>a22</b>	<b>a23</b>	<b>a24</b>
<b>a25</b>	<b>a26</b>	<b>a27</b>	<b>a28</b>	<b>a29</b>	<b>a30</b>	<b>a31</b>	<b>a32</b>
<b>a33</b>	<b>a34</b>	<b>a35</b>	<b>a36</b>	<b>a37</b>	<b>a38</b>	<b>a39</b>	<b>a40</b>
<b>a41</b>	<b>a42</b>	<b>a43</b>	<b>a44</b>	<b>a45</b>	<b>a46</b>	<b>a47</b>	<b>a48</b>
<b>a49</b>	<b>a50</b>	<b>a51</b>	<b>a52</b>	<b>a53</b>	<b>a54</b>	<b>a55</b>	<b>a56</b>
<b>a57</b>	<b>a58</b>	<b>a59</b>	<b>a60</b>	<b>a61</b>	<b>a62</b>	<b>a63</b>	<b>a64</b>

图3