



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110376552 B

(45) 授权公告日 2021.06.04

(21) 申请号 201910827705.3

(22) 申请日 2019.09.03

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110376552 A

(43) 申请公布日 2019.10.25

(73) 专利权人 上海无线电设备研究所  
地址 200090 上海市杨浦区黎平路203号

(72) 发明人 王志诚 徐卉 赵晗希 余渝生  
王珺 沈睿

(74) 专利代理机构 上海元好知识产权代理有限公司 31323

代理人 贾慧琴 张静洁

(51) Int. Cl.

G01S 7/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105259544 A, 2016.01.20

CN 108539418 A, 2018.09.14

CN 104297747 A, 2015.01.21

US 2018166778 A1, 2018.06.14

张光义. “共形相控阵天线的应用与关键技术”. 《中国电子科学研究院学报》. 2010, 第5卷(第4期), 第331-336页.

江晓竹 等. “一种基于LXI总线的TR组件S参数自动测试系统的设计”. 《雷达与对抗》. 2014, 第34卷(第2期), 第62-65页.

审查员 周璐璐

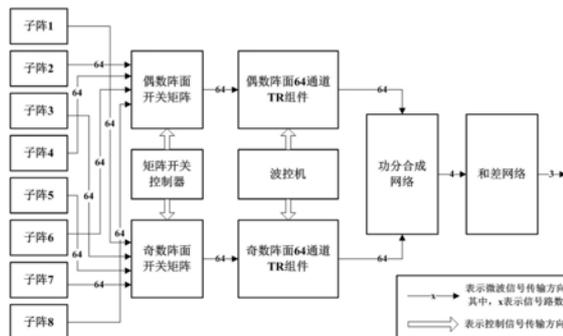
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种低成本环形相控阵雷达系统及工作方法

(57) 摘要

本发明公开了一种低成本环形相控阵雷达系统及工作方法, 本发明构建一个由2n个子阵面依次排列的环形相控阵雷达, n ≥ 4, n为整数, 每个子阵面上有2<sup>i</sup> × 2<sup>j</sup>个天线单元, 总共有2n × 2<sup>i</sup> × 2<sup>j</sup>个天线单元, 利用奇、偶阵面开关矩阵分别选通连接2<sup>i</sup> × 2<sup>j</sup>通道的奇、偶阵面TR组件, 使2n × 2<sup>i</sup> × 2<sup>j</sup>个天线单元共用2 × 2<sup>i</sup> × 2<sup>j</sup>个TR组件, 突破传统相控阵1个天线单元配套1个TR组件的方式. TR组件使用量减少(n-1)/n, 极大降低系统成本. 本发明在维持天线波束具有360°扫描范围的前提下, 大幅减少TR组件使用数量, 极大地降低系统成本, 实现阵面低成本化。



1. 一种低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,该系统包括:

2n个依次排列形成多边形的子阵面, $n \geq 4$ ,n为整数;每个子阵面上设置有 $2^i \times 2^j$ 个天线单元, $i \geq 1, j \geq 1, i, j$ 均为整数;该2n个子阵面分为奇数子阵面和偶数子阵面;每个子阵面通过天线单元向外辐射 $2^i \times 2^j$ 路电磁波信号,并接收 $2^i \times 2^j$ 路回波信号;

偶数阵面开关矩阵,分别与各个偶数子阵面连接,依次贯序选通各个偶数子阵面;奇数阵面开关矩阵,分别与各个奇数子阵面连接,依次贯序选通各个奇数子阵面;

偶数阵面TR组件,设置 $2^i \times 2^j$ 个通道,通过所述偶数阵面开关矩阵与被选通的偶数子阵面连接,接收该偶数子阵面的 $2^i \times 2^j$ 路回波信号,并进行移相与衰减操作;奇数阵面TR组件,设置 $2^i \times 2^j$ 个通道,通过所述奇数阵面开关矩阵与被选通的奇数子阵面连接,接收该奇数子阵面的 $2^i \times 2^j$ 路回波信号,并进行移相与衰减操作;

功分合成网络,分别与偶数阵面TR组件以及奇数阵面TR组件连接,共接收 $2 \times 2^i \times 2^j$ 路回波信号,共输出4路合成信号;

和差网络,与功分合成网络连接,对接收到的4路合成信号,形成和路、方位路和俯仰路的3路输出信号。

2. 如权利要求1所述的低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,所述雷达系统总共具有 $2n \times 2^i \times 2^j$ 个天线单元,配备有 $2 \times 2^i \times 2^j$ 个TR组件。

3. 如权利要求1所述的低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,所述雷达系统还包含矩阵开关控制器,分别与偶数阵面开关矩阵以及奇数阵面开关矩阵连接,由所述矩阵开关控制器控制偶数阵面开关矩阵贯序选通各个偶数子阵面,以及控制奇数阵面开关矩阵贯序选通各个奇数子阵面。

4. 如权利要求1所述的低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,所述雷达系统还包含波控机,分别与偶数阵面TR组件以及奇数阵面TR组件连接,所述波控机分别控制偶数阵面TR组件和奇数阵面TR组件对接收到的回波信号进行移相和衰减的移相值与衰减值。

5. 如权利要求1所述的低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,所述的每个子阵面中的天线单元被分割形成数量相同的2个半阵面,且每个所述半阵面中包含 $2^i \times 2^j / 2$ 个天线单元,接收 $2^i \times 2^j / 2$ 路回波信号。

6. 如权利要求5所述的低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,所述功分合成网络将每个所述的半阵面的 $2^i \times 2^j / 2$ 路的回波信号合成为1路合成信号输出。

7. 如权利要求1所述的低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,所述和差网络分别对接收的4路合成信号a、b、c、d做以下处理:(a+b+c+d)为和路输出,(a+b) - (c+d)为方位路输出,(a+c) - (b+d)为俯仰路输出,形成和路、方位路、俯仰路三通道信号输出。

8. 一种如权利要求1~7任一所述的低成本环形相控阵雷达系统的工作方法,其特征在于,该方法包含如下步骤:

S1:选取2n个子阵面依次排列形成多边形, $n \geq 4$ ,n为整数;并且将该2n个子阵面分为奇数子阵面,和偶数子阵面;每个子阵面上设置有 $2^i \times 2^j$ 个天线单元, $i \geq 1, j \geq 1, i, j$ 均为整数;

S2:依次贯序选取相邻2个子阵面组合成子阵对,当前子阵对中的2个子阵面同时工作时,同时对外辐射 $2 \times 2^i \times 2^j$ 路电磁波信号,同时接收 $2 \times 2^i \times 2^j$ 路电磁波回波信号;

S3:矩阵开关控制器控制偶数阵面开关矩阵,选通子阵对中的偶数子阵面,使其与后端

的 $2^i \times 2^j$ 通道的偶数阵面TR组件连通,接收 $2^i \times 2^j$ 路回波信号;矩阵开关控制器控制奇数阵面开关矩阵,选通子阵对中的奇数子阵面,使其与后端的 $2^i \times 2^j$ 通道的奇数阵面TR组件连通,接收 $2^i \times 2^j$ 路回波信号;

S4:波控机控制 $2^i \times 2^j$ 通道的偶数阵面TR组件与 $2^i \times 2^j$ 通道的奇数阵面TR组件分别对接收到的回波信号进行移相与衰减;

S5: $2 \times 2^i \times 2^j$ 路回波信号在经过衰减与移相处理后,进入功分合成网络,由功分合成网络合成4路合成信号a、b、c、d并输出至和差网络;

S6:和差网络分别对接收的4路合成信号a、b、c、d做以下处理:(a+b+c+d)为和路输出,(a+b) - (c+d)为方位路输出,(a+c) - (b+d)为俯仰路输出,形成和路、方位路、俯仰路三通道信号输出;

S7:反复执行S2~S6,贯序选择其他各个子阵对进行工作。

9.如权利要求8所述的低成本环形相控阵雷达系统的工作方法,其特征在于,相邻两个所述子阵形成的子阵对的天线方向图的圆周向扫描范围为 $120^\circ$ , $2n$ 个形成多边形的子阵面的天线波束具有 $360^\circ$ 环向扫描范围。

## 一种低成本环形相控阵雷达系统及工作方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及雷达工程领域,具体涉及一种低成本环形相控阵雷达系统及工作方法。

### 背景技术

[0002] 在雷达系统中引入相控阵技术可以大幅提高雷达性能,具有灵活的波束指向、驻留时间、空间功率分配及时间资源分配等特点,从而可扩展相控阵雷达的信息获取量,提升雷达探测能力、探测精度和抗干扰能力。因此,相控阵雷达是雷达的重要发展方向。

[0003] 有源相控阵雷达技术是当今雷达的主流技术,TR组件式有源相控阵雷达的核心。TR组件是相控阵雷达有源分布阵列天线的核心部件,其性能直接决定了整个雷达系统的性能。一部相控阵雷达通常具有成百上千个TR组件,如采用人工测试或校准TR组件需要花费很长的时间。在相控阵雷达研制与生产过程中,TR组件是关键技术之一。

[0004] 由于单平面相控阵雷达的波束扫描范围有限,一般为方位向 $-45^{\circ}\sim+45^{\circ}$ ,俯仰向 $-45^{\circ}\sim+45^{\circ}$ 。若要实现更大的探测范围,可利用多个平面相控阵阵面进行组合,实现对不同空域覆盖,扩展相控阵雷达的探测范围。在雷达系统中,每1个天线单元都有一个TR组件与之对应。在有多个阵面组合使用的条件下,TR组件的使用量剧增。但舰载和机载雷达系统对TR组件的体积和能耗有着极为苛刻的条件,且TR组件的数量决定了相控阵雷达系统的研制成本,所以简化TR组件具有相当重要的现实意义。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种低成本环形相控阵雷达系统及工作方法,通过开关矩阵进行阵面选择,实现相控阵雷达低成本化,适用于成本受限的应用场合。

[0006] 为了达到上述目的,本发明提供了一种低成本环形相控阵雷达系统,其特征在于,该系统包括:

[0007]  $2n$ 个依次排列形成多边形的子阵面, $n\geq 4$ , $n$ 为整数;每个子阵面上设置有 $2^i\times 2^j$ 个天线单元, $i\geq 1$ , $j\geq 1$ , $i$ 、 $j$ 均为整数;该 $2n$ 个子阵面分为奇数子阵面和偶数子阵面;每个子阵面通过天线单元向外辐射 $2^i\times 2^j$ 路电磁波信号,并接收 $2^i\times 2^j$ 路回波信号;

[0008] 偶数阵面开关矩阵,分别与各个偶数子阵面连接,依次贯序选通各个偶数子阵面;奇数阵面开关矩阵,分别与各个奇数子阵面连接,依次贯序选通各个奇数子阵面;

[0009] 偶数阵面TR组件,设置 $2^i\times 2^j$ 个通道,通过所述偶数阵面开关矩阵与被选通的偶数子阵面连接,接收该偶数子阵面的 $2^i\times 2^j$ 路回波信号,并进行移相与衰减操作;奇数阵面TR组件,设置 $2^i\times 2^j$ 个通道,通过所述奇数阵面开关矩阵与被选通的奇数子阵面连接,接收该奇数子阵面的 $2^i\times 2^j$ 路回波信号,并进行移相与衰减操作;

[0010] 功分合成网络,分别与偶数阵面TR组件以及奇数阵面TR组件连接,共接收 $2\times 2^i\times 2^j$ 路回波信号,共输出4路合成信号;

[0011] 和差网络,与功分合成网络连接,对接收到的4路合成信号,形成和路、方位路和俯

仰路的3路输出信号。

[0012] 进一步地,所述雷达系统总共具有 $2n \times 2^i \times 2^j$ 个天线单元,配备有 $2 \times 2^i \times 2^j$ 个TR组件。

[0013] 进一步地,所述雷达系统还包含矩阵开关控制器,分别与偶数阵面开关矩阵以及奇数阵面开关矩阵连接,由所述矩阵开关控制器控制偶数阵面开关矩阵贯序选通各个偶数子阵面,以及控制奇数阵面开关矩阵贯序选通各个奇数子阵面。

[0014] 进一步地,所述雷达系统还包含波控机,分别与偶数阵面TR组件以及奇数阵面TR组件连接,所述波控机分别控制偶数阵面TR组件和奇数阵面TR组件对接收到的回波信号进行移相和衰减的移相值与衰减值。

[0015] 进一步地,所述的每个子阵面中的天线单元被分割形成数量相同的2个半阵面,且每个所述半阵面中包含 $2^i \times 2^j / 2$ 个天线单元,接收 $2^i \times 2^j / 2$ 路回波信号。

[0016] 进一步地,所述功分和差网络将每个所述的半阵面的 $2^i \times 2^j / 2$ 路的回波信号合成为1路合成信号输出。

[0017] 进一步地,所述和差网络分别对接收的4路合成信号a、b、c、d做以下处理:(a+b+c+d)为和路输出,(a+b) - (c+d)为方位路输出,(a+c) - (b+d)为俯仰路输出,形成和路、方位路、俯仰路三通道信号输出。

[0018] 进一步地,一种低成本环形相控阵雷达系统的工作方法,该方法包含如下步骤:

[0019] S1:选取 $2n$ 个子阵面依次排列形成多边形, $n \geq 4$ , $n$ 为整数;并且将该 $2n$ 个子阵面分为奇数子阵面,和偶数子阵面;每个子阵面上设置有 $2^i \times 2^j$ 个天线单元, $i \geq 1$ , $j \geq 1$ , $i$ 、 $j$ 均为整数;

[0020] S2:依次贯序选取相邻2个子阵面组合成子阵对,当前子阵对中的2个子阵面同时工作时,同时对外辐射 $2 \times 2^i \times 2^j$ 路电磁波信号,同时接收 $2 \times 2^i \times 2^j$ 路电磁波回波信号;

[0021] S3:矩阵开关控制器控制偶数阵面开关矩阵,选通子阵对中的偶数子阵面,使其与后端的 $2^i \times 2^j$ 通道的偶数阵面TR组件连通,接收 $2^i \times 2^j$ 路回波信号;矩阵开关控制器控制奇数阵面开关矩阵,选通子阵对中的奇数子阵面,使其与后端的 $2^i \times 2^j$ 通道的奇数阵面TR组件连通,接收 $2^i \times 2^j$ 路回波信号;

[0022] S4:波控机控制 $2^i \times 2^j$ 通道的偶数阵面TR组件与 $2^i \times 2^j$ 通道的奇数阵面TR组件分别对接收到的回波信号进行移相与衰减的移相值与衰减值;

[0023] S5: $2 \times 2^i \times 2^j$ 路回波信号在经过衰减与移相处理后,进入功分合成网络,由功分合成网络合成4路合成信号a、b、c、d并输出至和差网络;

[0024] S6:和差网络分别对接收的4路合成信号a、b、c、d做以下处理:(a+b+c+d)为和路输出,(a+b) - (c+d)为方位路输出,(a+c) - (b+d)为俯仰路输出,形成和路、方位路、俯仰路三通道信号输出;

[0025] S7:反复执行S2~S6,贯序选择其他各个子阵对进行工作。

[0026] 如权利要求8所述的低成本环形相控阵雷达系统的工作方法,其特征在于,相邻两个所述子阵形成的子阵对的天线方向图的圆周向扫描范围为 $120^\circ$ , $2n$ 个形成多边形的子阵面的天线波束具有 $360^\circ$ 环向扫描范围。

[0027] 本发明取得的有益效果:

[0028] 本发明提供一种低成本环形相控阵雷达系统及工作方法,构建一个由 $2n$  ( $n \geq 4$ ,

$n$ 为整数)个子阵面依次排列的环形相控阵雷达系统,每个子阵面上有 $2^i \times 2^j$  ( $i \geq 1, j \geq 1, i, j$ 均为整数, $2i$ 表示行数, $2j$ 表示列数)个天线单元,总共有 $2n \times 2^i \times 2^j$ 个天线单元,利用奇偶阵面开关矩阵分别选通连接 $2^i \times 2^j$ 通道的奇偶阵面TR组件,使本系统的 $2n \times 2^i \times 2^j$ 个天线单元共用 $2 \times 2^i \times 2^j$ 个TR组件,突破传统相控阵1个天线单元配套1个TR组件的方式。TR组件使用量减少 $(n-1)/n$ ,极大降低系统成本。本发明在维持天线波束具有 $360^\circ$ 扫描范围的前提下,大幅减少TR组件使用数量,极大地降低系统成本,实现阵面低成本化。

## 附图说明

[0029] 图1为本实施例的低成本环形相控阵雷达系统示意图。

[0030] 图2(a)为本实施例中第1子阵面和第2子阵面形成的(1,2)子阵对进行波束扫描的范围示意图;图(b)为本实施例中第2子阵面和第3子阵面形成的(2,3)子阵对进行波束扫描的范围示意图;图(c)为本实施例中第3子阵面和第4子阵面形成的(3,4)子阵对进行波束扫描的范围示意图;图(d)为本实施例中第4子阵面和第5子阵面形成的(4,5)子阵对进行波束扫描的范围示意图;图(e)为本实施例中第5子阵面和第6子阵面形成的(5,6)子阵对进行波束扫描的范围示意图;图(f)为本实施例中第6子阵面和第7子阵面形成的(6,7)子阵对进行波束扫描的范围示意图;图(g)为本实施例中第7子阵面和第8子阵面形成的(7,8)子阵对进行波束扫描的范围示意图;图(h)为本实施例中第8子阵面和第1子阵面形成的(8,1)子阵对进行波束扫描的范围示意图。

[0031] 图3为本实施例的低成本环形相控阵雷达系统内部结构示意图。

[0032] 图4为本实施例的低成本环形相控阵雷达系统的天线和差方向图的示意图。

## 具体实施方式

[0033] 下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0034] 本发明提供一种低成本环形相控阵雷达系统,该系统包括: $2n$  ( $n \geq 4, n$ 为整数)个依次排列形成的多边形子阵面,每个子阵面上设置有 $2^i \times 2^j$  ( $i \geq 1, j \geq 1, i, j$ 均为整数, $2^i$ 表示行数, $2^j$ 表示列数)个天线单元,即总共设置有 $2n \times 2^i \times 2^j$ 个天线单元;并且将该 $2n$ 个子阵面分为奇数子阵面(包括第1、3、 $\dots$ 、 $2n-1$ 个子阵面),和偶数子阵面(包括第2、4、 $\dots$ 、 $2n$ 个子阵面);每个子阵面通过天线单元向外辐射 $2^i \times 2^j$ 路电磁波信号,并接收 $2^i \times 2^j$ 路回波信号;

[0035] 偶数阵面开关矩阵,分别与各个偶数子阵面连接,依次贯序选通各个偶数子阵面;奇数阵面开关矩阵,分别与各个奇数子阵面连接,依次贯序选通各个奇数子阵面;

[0036] 偶数阵面TR组件,设置 $2^i \times 2^j$ 个通道,通过偶数阵面开关矩阵与被选通的某个偶数子阵面连接,接收该偶数子阵面的 $2^i \times 2^j$ 路回波信号,并进行移相与衰减操作;奇数阵面TR组件,设置 $2^i \times 2^j$ 个通道,通过奇数阵面开关矩阵与被选通的某个奇数子阵面连接,接收该奇数子阵面的 $2^i \times 2^j$ 路回波信号,并进行移相与衰减操作;

[0037] 功分合成网络,分别与偶数阵面TR组件以及奇数阵面TR组件连接,接收共 $2 \times 2^i \times 2^j$ 路回波信号,并将每 $2^i \times 2^j/2$ 路的回波信号合成为1路合成信号输出,共输出4路合成信号;

[0038] 和差网络,与功分合成网络连接,对接收到的4路合成信号,形成和路、方位路和俯仰路的3路输出信号。

[0039] 进一步,本发明所述的低成本环形相控阵雷达系统,还包含:矩阵开关控制器,分别与偶数阵面开关矩阵以及奇数阵面开关矩阵连接,由该矩阵开关控制器控制偶数阵面开关矩阵贯序选通各个偶数子阵面,以及控制奇数阵面开关矩阵贯序选通各个奇数子阵面。

[0040] 如图2(a)~图2(h)所示,本发明所述的低成本环形相控阵雷达系统中,将依次贯序选取多边形子阵面中的相邻两个子阵面构成的子阵对进行工作,图中阴影部分即为当前被选择进行工作的子阵对。子阵对的所有组合方式以及工作顺序为:第1子阵面+第2子阵面,第2子阵面+第3子阵面,……,第 $2n-1$ 子阵面+第 $2n$ 子阵面,第 $2n$ 子阵面+第1子阵面。其中,每对子阵对一定是由一个偶数子阵面和一个奇数子阵面组合构成。

[0041] 当前处于工作状态的子阵对中的2个子阵面通过天线单元同时对外辐射电磁波,并且接收回波信号;由矩阵开关控制器控制偶数阵面开关矩阵选通处于工作状态的子阵对中的偶数子阵面,使其输出的回波信号传输至偶数阵面TR组件,同样,由矩阵开关控制器控制奇数阵面开关矩阵选通处于工作状态的子阵对中的奇数子阵面,使其输出的回波信号传输至奇数阵面TR组件。由于每对子阵对形成的天线方向图的圆周向扫描范围为 $120^\circ$ ,因此通过贯序选通各个子阵对的方式,使得整个多边形子阵面形成的天线波束具备 $360^\circ$ 的环向扫描能力。

[0042] 另外,由于采用了贯序选通各个子阵对的工作方式,使得偶数阵面TR组件和奇数阵面TR组件成为 $n$ 选1的开关网络,即实现 $n$ 路输入,1路输出。对于整个低成本环形相控阵雷达系统而言, $2n$ 个子阵、 $2n \times 2^i \times 2^j$ 个天线单元,仅需采用 $2 \times 2^i \times 2^j$ 个TR组件。突破了1个天线单元必须连接1个TR组件的传统方法,将TR组件的数量减少为 $1/n$ 个,从而极大降低了相控阵雷达系统的成本。

[0043] 进一步,本发明所述的低成本环形相控阵雷达系统,还包含:波控机,分别与偶数阵面TR组件以及奇数阵面TR组件连接,由波控机分别控制偶数阵面TR组件和奇数阵面TR组件对接收到的回波信号进行移相和衰减的移相值与衰减值,从而满足天线波束指向要求。

[0044] 进一步,每个所述的子阵面中的天线单元被分割形成数量相同的2个半阵面,分别为上半阵面和下半阵面,每个半阵面中包含 $2^i \times 2^j / 2$ 个天线单元,因此接收 $2^i \times 2^j / 2$ 路回波信号。当每对子阵对工作,共形成4个半阵面,输出 $2 \times 2^i \times 2^j$ 路回波信号。所述的功分合成网络将每个半阵面中的 $2^i \times 2^j / 2$ 路回波信号合成为1路合成信号输出,共合成4路合成信号a、b、c、d并输出至和差网络。

[0045] 进一步,所述的和差网络对4路合成信号a、b、c、d进行以下处理:(a+b+c+d)作为和路输出,(a+b)-(c+d)作为方位路输出,(a+c)-(b+d)作为俯仰路输出,从而形成和路、方位路、俯仰路的天线方向图。

[0046] 综上所述,本发明通过相邻子阵面配对,以及对每个子阵面进行上下半阵面的划分,从而实现环形相控阵雷达系统在和、方位、俯仰三通道信号输出的功能,形成低成本环形相控阵雷达系统和差测角的能力。

[0047] 实施例

[0048] 在一个较佳的实施例中,本发明的低成本环形相控阵雷达系统由8个依次排列形成八边形的子阵面、512个天线单元(即每个子阵面上设置64个天线单元)、偶数阵面开关矩

阵、奇数阵面开关矩阵、128个TR组件(包括64通道的偶数阵面TR组件、64通道的奇数阵面TR组件)、功分合成网络、和差网络、矩阵开关控制器和波控机组成。

[0049] 图1为本实施例的低成本环形相控阵雷达系统的示意图,图1描述了在本实施例中,本发明的低成本环形相控阵雷达系统包括8个依次排列形成八边形的子阵面,每个子阵面上设置有64个(8行×8列)天线单元,总共有512个天线单元。

[0050] 图2(a)~图2(h)为本实施例的8个子阵面通过形成子阵对进行波束扫描的范围示意图。如图2(a)~图2(h)所示,本实施例提供的低成本环形相控阵雷达系统在工作时,将依次贯序选取八边形子阵面中的相邻两个子阵面构成的子阵对进行工作,图中阴影部分为当前被选择用于工作的子阵对,子阵对的所有组合方式以及工作顺序为:(1,2)、(2,3)、(3,4)、(4,5)、(5,6)、(6,7)、(7,8)、(8,1),其中(1,2)表示第1子阵面和第2子阵面构成的子阵对,以此类推。每个子阵对中的2个子阵面同时工作,同时对外辐射电磁波,并且接收回波信号。由于每个子阵对形成的波束扫描角度为 $120^\circ$ ,通过贯序选通子阵的方式,使天线波束具备 $360^\circ$ 环向扫描的能力。

[0051] 图3为本实施例的低成本环形相控阵雷达系统内部结构示意图,如图3所示,本发明实施例的低成本环形相控阵雷达系统,包括8个子阵面,所述的每个子阵面上有64个天线单元;其中偶数子阵面(即第2、4、6、8个子阵面)分别与偶数阵面开关矩阵连接,奇数子阵面(即第1、3、5、7个子阵面)分别与奇数阵面开关矩阵连接,且所述的偶数阵面开关矩阵和奇数阵面开关矩阵均受控于与之相连的矩阵开关控制器;64通道的偶数阵面TR组件与偶数阵面开关矩阵连接,64通道的奇数阵面TR组件与奇数阵面开关矩阵连接,且所述的偶数阵面TR组件与奇数阵面TR组件均受控于与之相连的波控机;进一步,所述偶数阵面TR组件与奇数阵面TR组件的输出端均连接功分合成网络,而功分合成网络的输出端则连接和差网络。在本实施例中,该结构的低成本环形相控阵雷达系统可实现512个天线单元共用128个TR组件的功能,实现环形相控阵雷达系统的低成本化。

[0052] 如图4所示为本发明的低成本环形相控阵雷达系统的天线和差方向图的示意图,以子阵对(1,2)为例,子阵面1与子阵面2中每32个天线单元形成1个半阵面,每个子阵面分为上下2个半阵面。相邻2个子阵面(1,2)同时工作,共形成4个半阵面,128路回波信号。回波信号经过各自的阵面开关矩阵后,进入对应的TR组件。128路回波信号经过128个TR组件的衰减与移相处理后进入功分合成网络。功分合成网络将每半个子阵面的32路回波信号合成为1路信号输出,总共128路回波信号合成4路合成信号a、b、c、d后输入和差网络。和差网络为4输入、3输出形式。在和差网络中,对4路合成信号做以下处理:(a+b+c+d)为和路输出,(a+b)-(c+d)为方位路输出,(a+c)-(b+d)为俯仰路输出,形成和路、方位路、俯仰路3路天线方向图。通过子阵配对与上下子阵划分的方式,可实现环形相控阵雷达系统和、方位、俯仰三通道信号输出的功能,形成本环形相控阵雷达系统和差测角的能力。

[0053] 根据上述描述的实施例,其具体工作过程如下所述:

[0054] 步骤1,低成本环形相控阵雷达系统由8个子阵面组成,按顺时针方向编号为1-8,每个子阵面上有64个天线单元,总共有512个天线单元。

[0055] 步骤2,工作时,依次贯序选取相邻2个子阵面组合成子阵对,组合顺序为(1,2)、(2,3)、(3,4)、(4,5)、(5,6)、(6,7)、(7,8)、(8,1)。如图2所示,当前子阵对(1,2)中的2个子阵面同时工作,同时对外辐射128路电磁波信号,同时接收128路电磁波回波信号。

[0056] 步骤3,矩阵开关控制器控制偶数阵面开关矩阵,选通第2个子阵面,使其与后端的64通道的偶数阵面TR组件连通,接收64路回波信号。矩阵开关控制器控制奇数阵面开关矩阵,选通第1个子阵面,使其与后端的64通道的奇数阵面TR组件连通,接收64路回波信号。

[0057] 步骤4,波控机控制64通道的偶数阵面TR组件与64通道的奇数阵面TR组件分别对接收到的回波信号进行移相与衰减的移相值与衰减值,以满足天线波束指向要求。

[0058] 步骤5,总共128路回波信号在经过128个TR组件衰减与移相处理后,进入功分合成网络。功分合成网络将总共128路回波信号合成4路合成信号后输入和差网络。具体的,第1个子阵中的上半阵面包含的32个天线单元接收的32路回波信号在经过TR组件后被功分合成网络合成为合成信号a,第1个子阵中的下半阵面包含的32个天线单元接收的32路回波信号在经过TR组件后被功分合成网络合成为合成信号b,第2个子阵中的上半阵面包含的32个天线单元接收的32路回波信号在经过TR组件后被功分合成网络合成为合成信号c,第2个子阵中的下半阵面包含的32个天线单元接收的32路回波信号在经过TR组件后被功分合成网络合成为合成信号d。

[0059] 步骤6,在和差网络中,将4路合成信号做以下处理:(a+b+c+d)为和路输出,(a+b)-(c+d)为方位路输出,(a+c)-(b+d)为俯仰路输出,形成和路、方位路、俯仰路3路天线方向图。

[0060] 步骤7,反复执行步骤2~步骤6,贯序选择子阵对(2,3)、(3,4)、(4,5)、(5,6)、(6,7)、(7,8)、(8,1)进行工作,使得环形相控阵雷达系统的天线波束具备360°环向扫描的能力。通过子阵配对与子阵划分的方式,实现环形相控阵雷达系统和、方位、俯仰三通道信号输出的功能,系统具备和差测角的能力。

[0061] 综上所述,本实施例提供的一种低成本环形相控阵雷达系统,构建一个由8个子阵面组成的环形相控阵雷达系统,每个子阵面上有64个天线单元,总共有512个天线单元。本发明提供的一种低成本环形相控阵雷达系统利用矩阵开关控制器控制阵面开关,使512个天线单元共用128个TR组件,突破传统相控阵1个天线单元配套1个TR组件的方式。TR组件使用量减少四分之三,极大降低系统成本。在维持原有环形相控阵大范围搜索跟踪功能前提下,大幅减少TR组件使用数量,极大地降低系统成本,实现阵面低成本化。通过实施例在实验室内场测试与多次外场实际效果检验,本发明提供的一种低成本环形相控阵雷达系统具有工程可实现性,具有较好的推广应用前景。

[0062] 尽管本发明的内容已经通过上述优选实施例作了详细介绍,但应当认识到上述的描述不应被认为是对本发明的限制。在本领域技术人员阅读了上述内容后,对于本发明的多种修改和替代都将是显而易见的。因此,本发明的保护范围应由所附的权利要求来限定。

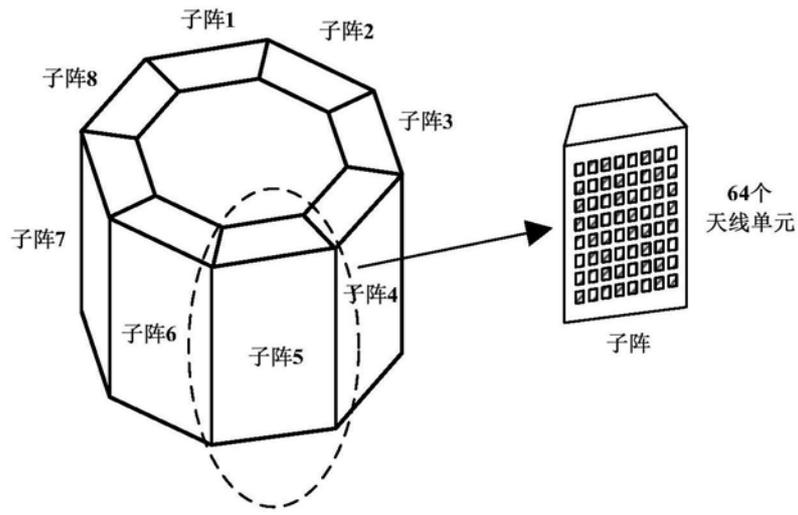


图1

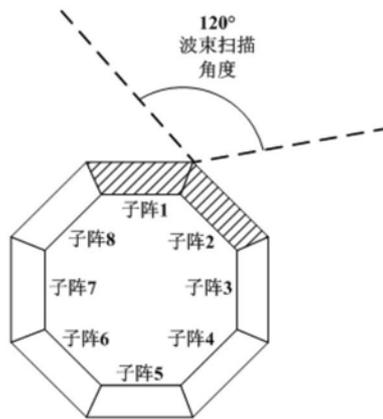


图2 (a)

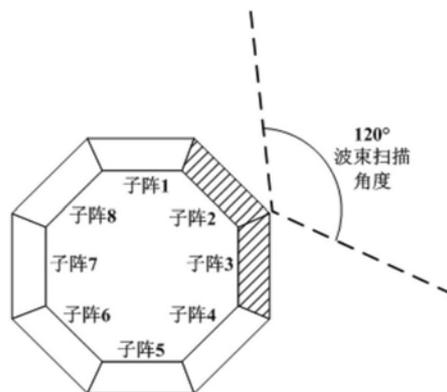


图2 (b)

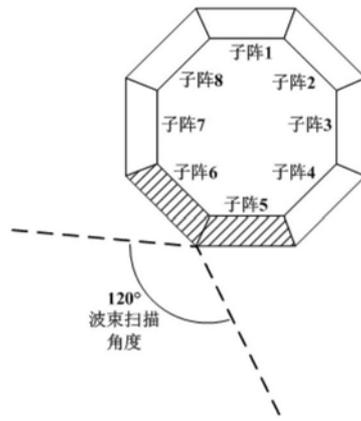


图2 (c)

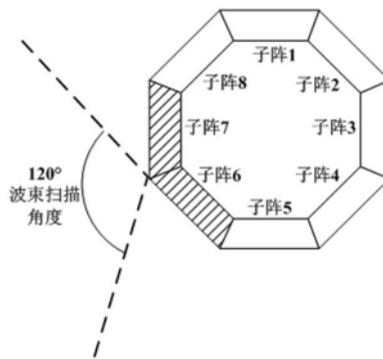


图2 (d)

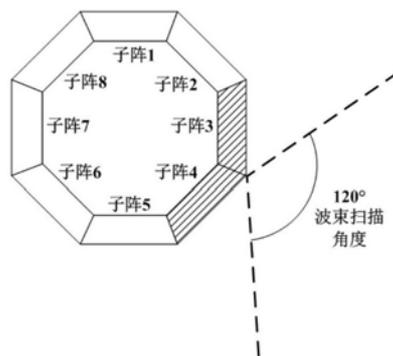


图2 (e)

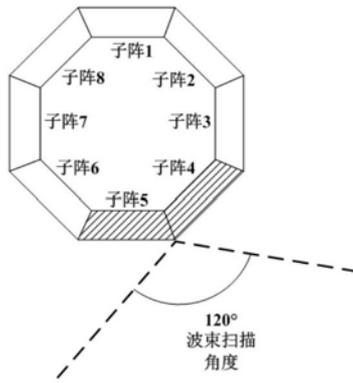


图2 (f)

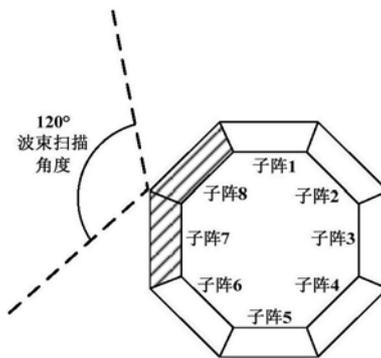


图2 (g)

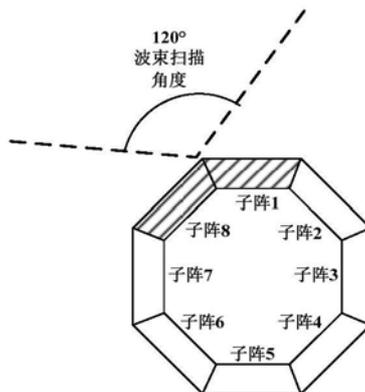


图2 (h)

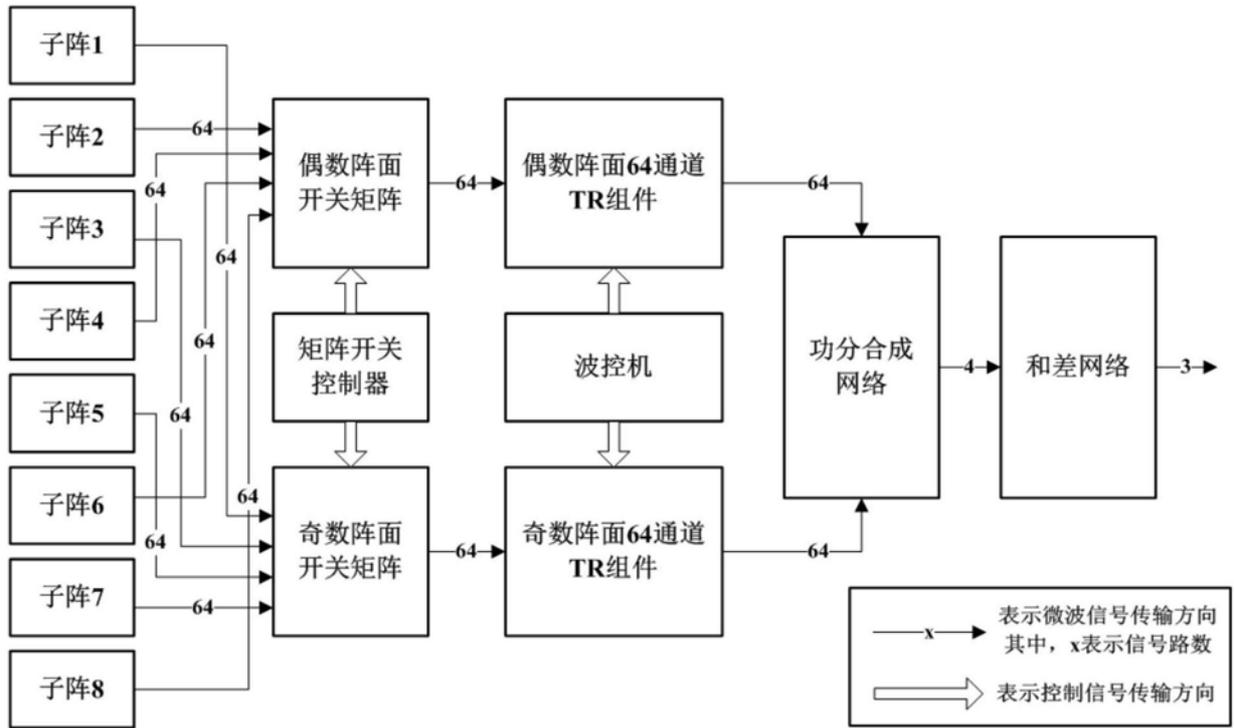


图3

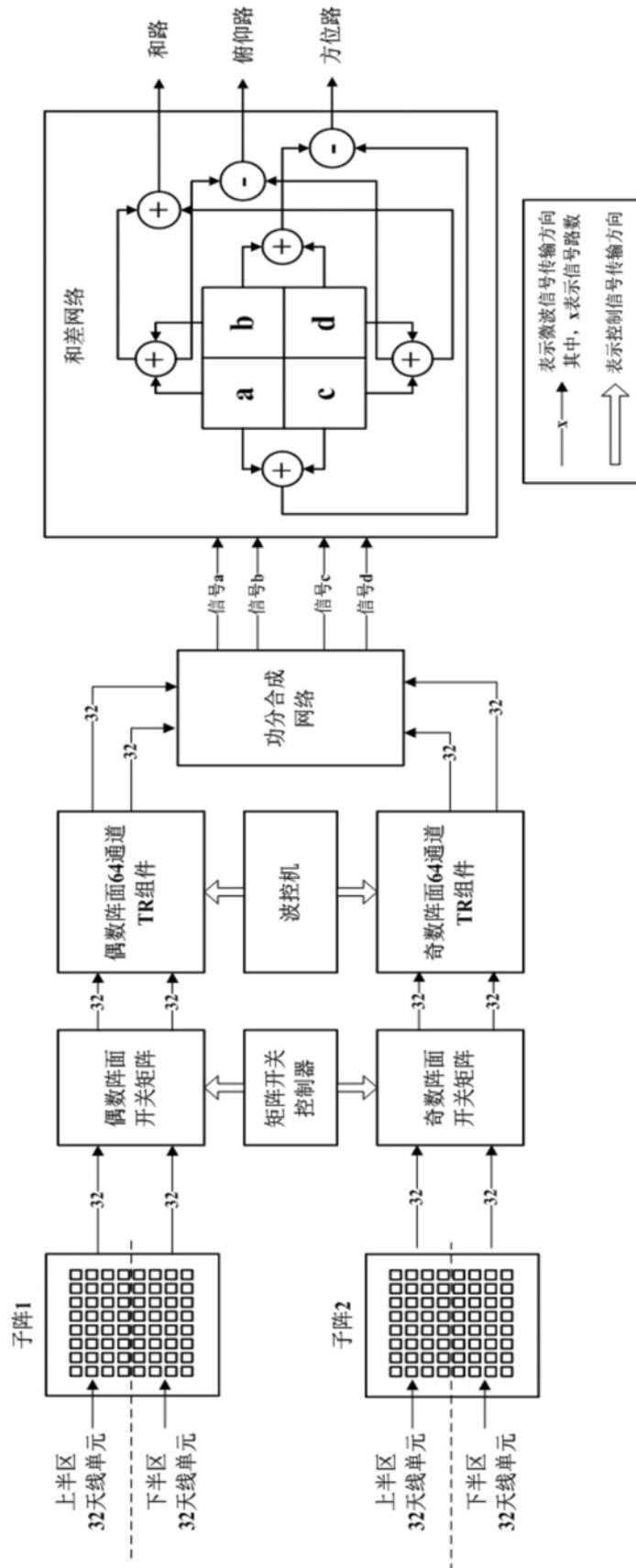


图4