



(10) 授权公告号 CN 113711442 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 19

(21) 申请号 202080022510.2

(22) 申请日 2020.02.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113711442 A

(43) 申请公布日 2021.11.26

(30) 优先权数据

2019-053751 2019.03.20 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.09.16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2020/005749 2020.02.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/189116 JA 2020.09.24

(73) 专利权人 松下汽车电子系统株式会社

地址 日本神奈川县

(72) 发明人 岸上高明 岩佐健太 四方英邦

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事
务所(普通合伙) 11277

专利代理师 刘新宇

(51) Int.Cl.

H01Q 21/06 (2006.01)

G01S 7/02 (2006.01)

G01S 7/03 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106546983 A, 2017.03.29

CN 106662637 A, 2017.05.10

审查员 刘畅

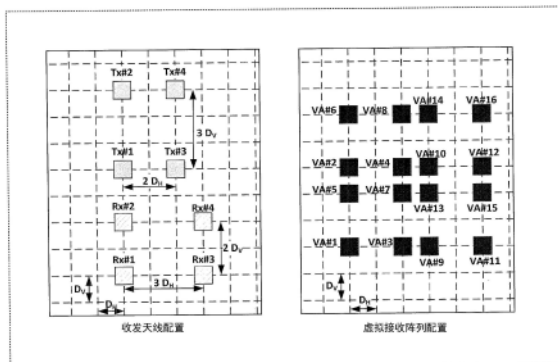
权利要求书3页 说明书70页 附图130页

(54) 发明名称

雷达装置

(57) 摘要

发送阵列天线由多个发送天线组构成,多个发送天线组各自包含沿着第一方向以第二间隔配置的多个发送天线,且在与第一方向正交的第二方向上以第四间隔配置,所述第二间隔是第一间隔的整数倍的间隔,所述第四间隔是第三间隔的整数倍的间隔,接收阵列天线由多个接收天线组构成,多个接收天线组各自包含沿着第一方向以第五间隔配置的多个接收天线,且在第二方向上以第六间隔配置,所述第五间隔是第一间隔的整数倍的间隔,所述第六间隔是第三间隔的整数倍的间隔,第二间隔与第五间隔之差为第一间隔,第四间隔与第六间隔之差为第三间隔。



1. 一种雷达装置,其特征在于,包括:

雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及

雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,

所述发送阵列天线包含多个发送天线组,

所述多个发送天线组各自包含相同数量的多个发送天线,

所述相同数量的多个发送天线沿着第一方向以第二间隔配置,所述第二间隔是第一间隔的第一整数的倍数的间隔,

所述多个发送天线组中的各个发送天线组是以在与所述第一方向正交的第二方向上以第四间隔配置的,所述第四间隔是第三间隔的第二整数的倍数的间隔,

所述接收阵列天线包含多个接收天线组,

所述多个接收天线组各自包含相同数量的多个接收天线,

所述相同数量的多个接收天线沿着所述第一方向以第五间隔配置,所述第五间隔是所述第一间隔的第三整数的倍数的间隔,

所述多个接收天线组中的各个接收天线组是以在所述第二方向上以第六间隔配置的,所述第六间隔是所述第三间隔的第四整数的倍数的间隔,

所述第二间隔、所述第五间隔、所述第四间隔以及所述第六间隔是一个波长以上的间隔,

所述第一整数与所述第二整数之差为1,

所述第三整数与所述第四整数之差为1,

所述第二间隔与所述第五间隔具有所述第一间隔的差,

所述第四间隔与所述第六间隔具有所述第三间隔的差。

2. 如权利要求1所述的雷达装置,其中,

在所述多个发送天线组之间,各发送天线组所含的发送天线的所述第一方向的配置位置不同。

3. 如权利要求1所述的雷达装置,其中,

在所述多个接收天线组之间,各接收天线组所含的接收天线的所述第一方向的配置位置不同。

4. 如权利要求1所述的雷达装置,其中,

所述第一间隔及所述第三间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

5. 如权利要求1所述的雷达装置,其中,

所述第二间隔是所述第一间隔的2倍的间隔,

所述第四间隔是所述第三间隔的3倍的间隔,

所述第五间隔是所述第一间隔的3倍的间隔,

所述第六间隔是所述第三间隔的2倍的间隔。

6. 如权利要求1所述的雷达装置,其中,

所述第二间隔是所述第一间隔的3倍的间隔,

所述第四间隔是所述第三间隔的3倍的间隔,

所述第五间隔是所述第一间隔的2倍的间隔,

所述第六间隔是所述第三间隔的2倍的间隔。

7. 一种雷达装置,其特征在于,包括:

雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及

雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,

所述发送阵列天线包含至少3个发送天线,所述接收阵列天线包含至少3个接收天线,

所述至少3个发送天线中的2个发送天线沿着第一方向隔开第二间隔地配置,且在与所述第一方向正交的第二方向上配置于相同的位置,所述第二间隔是第一间隔的2倍,

所述至少3个发送天线中的与所述2个发送天线不同的一个发送天线,以在所述第一方向上的与所述2个发送天线中的每一个的间隔均为所述第一间隔,且在所述第二方向上的与所述2个发送天线中的每一个的间隔均为第四间隔的方式配置,所述第四间隔是第三间隔的2倍的间隔,

所述至少3个接收天线中的2个接收天线沿着所述第二方向隔开所述第四间隔地配置,在所述第一方向上配置于相同的位置,

所述至少3个接收天线中的与所述2个接收天线不同的一个接收天线,以在所述第二方向上的与所述2个接收天线中的每一个的间隔均为所述第三间隔,且在所述第一方向上的与所述2个接收天线中的每一个的间隔均为所述第二间隔的方式配置。

8. 如权利要求7所述的雷达装置,其中,

所述第一间隔和所述第三间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

9. 一种雷达装置,其特征在于,包括:

雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及

雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,

所述发送阵列天线包含相同数量的多个发送天线组,所述多个发送天线组各自包含多个发送天线,

在所述多个发送天线组中的每一个发送天线组中,相邻的发送天线以在第一方向上隔开第二间隔,且在与所述第一方向正交的第二方向上隔开第三间隔的方式配置,所述第二间隔是第一间隔的2倍的间隔,

所述多个发送天线组中的相邻的发送天线组配置于在所述第一方向上偏移了所述第一间隔,且在所述第二方向上偏移了第四间隔的位置,所述第四间隔是所述第三间隔的2倍的间隔,

所述接收阵列天线包含相同数量的多个接收天线组,所述多个接收天线组各自包含多个接收天线,

在所述多个接收天线组中的每一个接收天线组中,相邻的接收天线以在所述第一方向上隔开所述第一间隔,且在所述第二方向上隔开所述第四间隔的方式配置,

所述多个接收天线组中的相邻的接收天线组配置于在所述第一方向上偏移了所述第二间隔,且在所述第二方向上偏移了所述第三间隔的位置。

10. 如权利要求9所述的雷达装置,其中,

所述第一间隔和所述第三间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

11. 一种雷达装置,其特征在于,包括:

雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及

雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,

所述发送阵列天线包含相同数量的多个发送天线组,所述多个发送天线组各自包含多个发送天线,

在所述多个发送天线组中的每一个发送天线组中,相邻的发送天线以在第一方向上隔开第一间隔,且在与所述第一方向正交的第二方向上隔开第三间隔的方式配置,所述第三间隔是第二间隔的2倍的间隔,

所述多个发送天线组中的相邻的发送天线组沿着所述第一方向隔开第四间隔地配置,且配置于在所述第二方向上偏移了所述第二间隔的位置,所述第四间隔是所述第一间隔的2倍的间隔,

所述接收阵列天线包含相同数量的多个接收天线组,所述多个接收天线组各自包含多个接收天线,

在所述多个接收天线组中的每一个接收天线组中,相邻的接收天线以在所述第一方向上隔开所述第四间隔,且在所述第二方向上隔开所述第二间隔的方式配置,

所述多个接收天线组中的相邻的接收天线组沿着所述第一方向隔开所述第一间隔地配置,且配置于在所述第二方向上偏移了所述第三间隔的位置。

12. 如权利要求11所述的雷达装置,其中,

所述第一间隔和所述第二间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

雷达装置

技术领域

[0001] 本发明涉及雷达装置。

背景技术

[0002] 近年来,正在推进使用包含可获得高分辨率的微波或毫米波的短波长雷达发送信号的雷达装置的研究。另外,为了提高在室外时的安全性,要求开发以角度更广的范围内不仅探测车辆,还探测包含行人的物体(目标)的雷达装置(以下,称为“广角雷达装置”)。

[0003] 例如,作为雷达装置,已知有反复发送脉冲波的脉冲雷达装置。在角度更广的范围内探测车辆/行人的广角脉冲雷达装置的接收信号容易成为混合有来自位于近距离的目标(例如车辆)与位于远距离的目标(例如行人)的多个反射波的信号。因此,(1)对于雷达发送部,要求发送具有呈低的范围旁瓣的自相关特性(以下,称为“低范围旁瓣特性”)的脉冲波或脉冲调制波的结构,(2)对于雷达接收部,要求具有宽的接收动态范围的结构。

[0004] 作为广角雷达装置的结构,可列举以下的两个结构。

[0005] 第一个结构是如下结构:对脉冲波或调制波使用角度比雷达装置设想的探测角更窄(例如,几度左右的波束宽度)的指向性波束,进行机械或电子扫描而发送雷达波,并使用窄角的指向性波束来接收反射波。在此结构中,为了获得高分辨率需要大量的扫描,因此,对于高速移动的目标的追踪性会恶化。

[0006] 第二个结构是如下结构:通过由多个天线(天线元件)构成的阵列天线接收反射波,并使用通过基于相对于元件间隔(天线间隔)的接收相位差的信号处理算法来估计反射波的到达角的方法(Direction of Arrival (DOA) estimation,到达方向估计)。在此结构中,即使加大发送波束的扫描角度间隔,也能够在接收支路中估计到达角,因此会缩短扫描时间,与第一个结构相比,追踪性提高。例如,作为到达方向估计方法,可列举基于矩阵运算的傅里叶变换、基于逆矩阵运算的Capon(卡彭)法及LP(Linear Prediction,线性预测)法、或基于固有值运算的MUSIC(Multiple Signal Classification,多重信号分类)及ESPRIT(Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques,基于旋转不变技术的信号参数估计)。

[0007] 另外,作为雷达装置,已提出有如下结构(有时也称为“MIMO(Multiple Input Multiple Output,多入输出)雷达”):除了在接收支路以外,在发送支路中也具备多个天线(阵列天线),通过使用收发阵列天线的信号处理进行波束扫描(例如,参照非专利文献1)。

[0008] MIMO雷达中,通过策划收发阵列天线中的天线元件的配置,能够构成最大限度为等于发送天线元件数与接收天线元件数之积的虚拟的接收阵列天线(以下,称为“虚拟接收阵列”)。由此,可获得通过较少的元件数增大阵列天线的有效孔径长度的效果,从而能够提高角度分辨率。

[0009] 另外,除了进行垂直方向或水平方向的一维扫描(测角)以外,在进行垂直方向与水平方向的二维的波束扫描的情况下,也可应用MIMO雷达(例如,参照非专利文献2)。

[0010] 现有技术文献

[0011] 非专利文献

[0012] 非专利文献1:J.Li,P.Stoica,“MIMO Radar with Colocated Antennas,”Signal Processing Magazine,IEEE Vol.24,Issue:5,pp.106-114,2007.

[0013] 非专利文献2:P.P.Vaidyanathan,P.Pal,Chun-Yang Chen,“MIMO radar with broadband waveforms:Smearing filter banks and2D virtual arrays,”

[0014] IEEE Asilomar Conference on Signals,Systems and Computers,pp.188-192,2008.

[0015] 非专利文献3:J.Wenger,“Automotive mm-wave radar:status and trends in system design and technology,”IEE Colloquium on Automotive Radar and Navigation Techniques(Ref.No.1998/230),pp.144-147,1998.

[0016] 非专利文献4:M.Harte,T.Mahler,T.Schipper,A.Ziroff,and T.Zwick,“2-D antenna array geometries for MIMO radar imaging by digital beamforming,”2013European Microwave Conference,pp.1695-1698,2013.

发明内容

[0017] 但是,有时雷达装置的检测性能会根据MIMO雷达中的收发支路的天线配置而恶化。

[0018] 本发明的非限定性的实施例有助于提供能够提高检测性能的雷达装置。

[0019] 本发明的一个实施例的雷达装置包括:雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,所述发送阵列天线由多个发送天线组构成,所述多个发送天线组各自包含沿着第一方向以第二间隔配置的多个发送天线,且在与所述第一方向正交的第二方向上以第四间隔配置,所述第二间隔是第一间隔的整数倍的间隔,所述第四间隔是第三间隔的整数倍的间隔,所述接收阵列天线由多个接收天线组构成,所述多个接收天线组各自包含沿着所述第一方向以第五间隔配置的多个接收天线,且在所述第二方向上以第六间隔配置,所述第五间隔是所述第一间隔的整数倍的间隔,所述第六间隔是所述第三间隔的整数倍的间隔,所述第二间隔与所述第五间隔之差为所述第一间隔,所述第四间隔与所述第六间隔之差为所述第三间隔。

[0020] 另外,这些概括的或具体的实施例既可以通过系统、装置、方法、集成电路、计算机程序或记录介质实现,也可以通过系统、装置、方法、集成电路、计算机程序及记录介质的任意组合实现。

[0021] 根据本发明的一个实施例,能够提高雷达装置的检测性能。

[0022] 根据说明书及附图可以进一步明确本发明的一实施例中的进一步的优点及效果。上述优点和/或效果通过若干个实施方式与说明书及附图中公开的特征分别提供,不必为了获得一个或一个以上的相同特征而提供全部特征。

附图说明

[0023] 图1A是表示收发天线的配置例的图。

[0024] 图1B是表示虚拟接收阵列的配置例的图。

- [0025] 图2A是表示由虚拟接收阵列 ($d_v=0.5\lambda$) 产生的指向性图案的图。
- [0026] 图2B是表示由虚拟接收阵列 ($d_v=0.5\lambda$) 产生的指向性图案的图。
- [0027] 图3A是表示由虚拟接收阵列 ($d_v=\lambda$) 产生的指向性图案的图。
- [0028] 图3B是表示由虚拟接收阵列 ($d_v=2\lambda$) 产生的指向性图案的图。
- [0029] 图4是表示雷达装置的结构方框图。
- [0030] 图5是表示雷达发送信号的一例的图。
- [0031] 图6是表示雷达发送信号生成部的其他结构的方框图。
- [0032] 图7是表示雷达发送信号的发送定时及测量范围的一例的图。
- [0033] 图8是表示基本配置1的天线配置例的图。
- [0034] 图9A是表示子阵列结构的一例的图。
- [0035] 图9B是表示子阵列结构的一例的图。
- [0036] 图9C是表示子阵列结构的一例的图。
- [0037] 图10是表示使用了子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0038] 图11A是表示使用了基本配置1的收发天线配置的方向估计结果的一例的图。
- [0039] 图11B是表示使用了图1A的收发天线配置的方向估计结果的一例的图。
- [0040] 图12是表示基本配置1的变形例1的天线配置例的图。
- [0041] 图13是表示基本配置1的变形例1的天线配置例的图。
- [0042] 图14是表示基本配置1的变形例1的天线配置例的图。
- [0043] 图15是表示基本配置1的变形例1的天线配置例的图。
- [0044] 图16是表示基本配置1的变形例2的天线配置例的图。
- [0045] 图17是表示基本配置1的变形例2的天线配置例的图。
- [0046] 图18是表示基本配置1的变形例2的天线配置例的图。
- [0047] 图19是表示基本配置1的变形例2的天线配置例的图。
- [0048] 图20是表示基本配置1的变形例2的天线配置例的图。
- [0049] 图21是表示基本配置1的变形例3的天线配置例的图。
- [0050] 图22是表示基本配置1的变形例3的天线配置例的图。
- [0051] 图23是表示基本配置1的变形例3的天线配置例的图。
- [0052] 图24是表示基本配置1的变形例3的天线配置例的图。
- [0053] 图25A是表示基本配置1的变形例3的子阵列的结构例的图。
- [0054] 图25B是表示使用了基本配置1的变形例3的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0055] 图25C是表示使用了基本配置1的变形例3的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0056] 图26是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例1的天线配置例的图。
- [0057] 图27是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例1的天线配置例的图。
- [0058] 图28是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例1的天线配置例的图。
- [0059] 图29是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例1的天线配置例的图。
- [0060] 图30是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例1的天线配置例的图。
- [0061] 图31是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例2的天线配置例的图。

- [0062] 图32是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0063] 图33是表示组合了基本配置1的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0064] 图34是表示基本配置2的天线配置例的图。
- [0065] 图35是表示基本配置2的子阵列的结构例的图。
- [0066] 图36是表示基本配置2的变形例1的天线配置例的图。
- [0067] 图37是表示基本配置2的变形例1的天线配置例的图。
- [0068] 图38是表示基本配置2的变形例1的天线配置例的图。
- [0069] 图39是表示基本配置2的变形例2的天线配置例的图。
- [0070] 图40是表示基本配置2的变形例2的天线配置例的图。
- [0071] 图41是表示基本配置2的变形例2的天线配置例的图。
- [0072] 图42是表示基本配置2的变形例2的天线配置例的图。
- [0073] 图43是表示基本配置2的变形例2的天线配置例的图。
- [0074] 图44是表示基本配置2的变形例3的天线配置例的图。
- [0075] 图45是表示基本配置2的变形例3的天线配置例的图。
- [0076] 图46是表示基本配置2的变形例3的天线配置例的图。
- [0077] 图47是表示基本配置2的变形例3的天线配置例的图。
- [0078] 图48是表示组合了基本配置2的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0079] 图49是表示组合了基本配置2的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0080] 图50A是表示组合了基本配置2的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0081] 图50B是表示组合了基本配置2的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0082] 图51A是表示组合了基本配置2的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0083] 图51B是表示组合了基本配置2的变形例3与变形例2的天线配置例的图。
- [0084] 图52A是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0085] 图52B是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0086] 图52C是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0087] 图52D是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0088] 图53A是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0089] 图53B是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0090] 图53C是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0091] 图53D是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0092] 图54A是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0093] 图54B是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0094] 图54C是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0095] 图54D是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0096] 图55A是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0097] 图55B是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0098] 图55C是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0099] 图55D是表示基本配置3的天线配置例的图。
- [0100] 图56A是表示使用了基本配置3的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。

- [0101] 图56B是表示使用了基本配置3的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0102] 图57是表示使用了基本配置3的收发天线配置的方向估计结果的一例的图。
- [0103] 图58是表示基本配置3的变形例1的天线配置例的图。
- [0104] 图59是表示基本配置3的变形例1的天线配置例的图。
- [0105] 图60是表示基本配置3的变形例1的天线配置例的图。
- [0106] 图61是表示基本配置3的变形例1的天线配置例的图。
- [0107] 图62是表示使用了基本配置3的变形例1的收发天线配置的方向估计结果的一例的图。
- [0108] 图63是表示基本配置3的变形例2的天线配置例的图。
- [0109] 图64是表示基本配置3的变形例2的天线配置例的图。
- [0110] 图65是表示基本配置3的变形例2的天线配置例的图。
- [0111] 图66是表示基本配置3的变形例2的天线配置例的图。
- [0112] 图67是表示基本配置3的变形例2的天线配置例的图。
- [0113] 图68A是表示基本配置3的变形例2的天线配置例的图。
- [0114] 图68B是表示基本配置3的变形例2的天线配置例的图。
- [0115] 图69是表示基本配置4的天线配置例的图。
- [0116] 图70A是表示使用了基本配置4的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0117] 图70B是表示使用了基本配置4的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0118] 图71是表示使用了基本配置4的收发天线配置的方向估计结果的一例的图。
- [0119] 图72是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0120] 图73是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0121] 图74是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0122] 图75是表示使用了基本配置4的变形例1的收发天线配置的方向估计结果的一例的图。
- [0123] 图76是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0124] 图77是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0125] 图78是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0126] 图79是使用了基本配置4的变形例1的收发天线配置的方向估计结果的一例。
- [0127] 图80是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0128] 图81是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0129] 图82是表示基本配置4的变形例1的天线配置例的图。
- [0130] 图83是表示基本配置4的变形例2的天线配置例的图。
- [0131] 图84是表示基本配置4的变形例2的天线配置例的图。
- [0132] 图85是表示基本配置4的变形例2的天线配置例的图。
- [0133] 图86是表示基本配置4的变形例2的天线配置例的图。
- [0134] 图87是表示基本配置4的变形例2的天线配置例的图。
- [0135] 图88A是表示基本配置4的变形例2的天线配置例的图。
- [0136] 图88B是表示基本配置4的变形例2的天线配置例的图。
- [0137] 图89是表示基本配置5的天线配置例的图。

- [0138] 图90A是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0139] 图90B是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0140] 图91A是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0141] 图91B是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0142] 图92A是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0143] 图92B是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0144] 图92C是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0145] 图92D是表示基本配置5的天线配置例的图。
- [0146] 图93A是表示使用了基本配置5的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0147] 图93B是表示使用了基本配置5的子阵列的发送阵列天线的结构例的图。
- [0148] 图94是表示使用了基本配置5的收发天线配置的方向估计结果的一例的图。
- [0149] 图95是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0150] 图96是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0151] 图97是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0152] 图98是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0153] 图99是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0154] 图100A是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0155] 图100B是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0156] 图101是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0157] 图102是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0158] 图103是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0159] 图104是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0160] 图105是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0161] 图106A是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0162] 图106B是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0163] 图107是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0164] 图108是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0165] 图109是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0166] 图110是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0167] 图111是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0168] 图112A是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。
- [0169] 图112B是表示基本配置5的变形例1的天线配置例的图。

具体实施方式

[0170] 如上所述,除了进行垂直方向或水平方向的一维扫描(测角)以外,在进行垂直方向与水平方向的二维的波束扫描的情况下,也可以应用构成虚拟接收阵列的MIMO雷达。

[0171] 作为一例,图1A表示包含沿着垂直方向(图1A中的纵方向)配置的4个发送天线(Tx#1~Tx#4)的发送阵列天线、以及包含沿着水平方向(图1A中的横方向)配置的4个接收天线(Rx#1~Rx#4)的接收阵列天线。在图1A中,发送天线沿着垂直方向等间隔(d_v)地配置,

接收天线沿着水平方向等间隔(d_H)地配置(例如,参照非专利文献4)。

[0172] 图1B表示包含图1A所示的天线配置的收发阵列天线的虚拟接收阵列。图1B所示的虚拟接收阵列由呈矩形状地沿着水平方向配置4个天线并沿着垂直方向配置4个天线而成的16个元件的虚拟接收天线(VA#1~VA#16)构成。在图1B中,虚拟接收阵列的水平方向及垂直方向的元件间隔分别为 d_H 、 d_V 。即,虚拟接收阵列的水平方向及垂直方向的孔径长度 D_H 、 D_V 分别为 $3d_H$ 、 $3d_V$ 。

[0173] 图2A及图2B表示在图1A及图1B所示的MIMO雷达的天线配置中,水平方向的元件间隔 $d_H=0.5\lambda$ 、垂直方向的元件间隔 $d_V=0.5\lambda$ 的情况下的朝向水平 0° 及垂直 0° 方向的傅里叶波束图(Fourier beam pattern)。此外, λ 表示雷达载波的波长。

[0174] 如图2A及图2B所示,向水平 0° 及垂直 0° 方向形成主波束(主瓣(main lobe))。此处,主波束的波束宽度越窄,则对于多个目标的角度分离性能越高。例如,在图2A及图2B中,功率值为3dB的波束宽度为 13° 左右。另外,如图2A及图2B所示,在主波束的周边产生了旁瓣(side lobe)。雷达装置中,旁瓣是误检测出伪像的主要原因。因此,旁瓣的峰值电平越低,则雷达装置误检测为伪像的概率越小。在图2A及图2B中,根据主波束的峰值电平而标准化所得的相对于旁瓣的峰值电平的功率比(峰值旁瓣电平比(PSLR:Peak Sidelobe Level Ratio))约为-13dB。

[0175] 为了在雷达装置中扩大检测范围,有效的是使用增益高的天线。例如,能够通过使天线的指向性(波束宽度)变窄来提高天线增益。例如,天线的孔径面越大,则天线的指向性越窄。由此,为了使天线的指向性变窄,天线尺寸会变大。

[0176] 例如,搭载于车辆的雷达装置(例如,也称为“车载雷达”)等中,使用沿着垂直方向排列多个天线元件而构成的子阵列天线来使垂直方向的指向性变窄(例如,参照非专利文献3)。通过使垂直方向的指向性变窄,能够提高垂直方向的天线增益,从而能够降低路面等不必要的方向的反射波。

[0177] 但是,在将子阵列天线用作构成发送阵列天线或接收阵列天线的天线元件的情况下,阵列天线的元件间隔难以配置为比子阵列天线的尺寸更窄的间隔。例如,在沿着垂直方向配置构成子阵列天线的天线元件的情况下,子阵列天线的尺寸可达到一个波长以上。由此,例如,在图1A所示的MIMO雷达中,沿着垂直方向使用子阵列天线的情况下,要将垂直方向的元件间隔 d_V 扩大到一个波长以上。

[0178] 图3A及图3B表示在图1A所示的MIMO雷达的收发天线配置中,将垂直方向的元件间隔 d_V 设为一个波长(λ)以上的情况下,朝向水平 0° 及垂直 0° 方向的傅里叶波束图的一例。此外,在图3A及图3B中,未考虑沿着垂直方向形成子阵列的天线元件单独的指向性。

[0179] 另外,在图3A中,垂直方向的元件间隔 $d_V=\lambda$,水平方向的元件间隔 $d_H=0.5\lambda$,在图3B中,垂直方向的元件间隔 $d_V=2\lambda$,水平方向的元件间隔 $d_H=0.5\lambda$ 。

[0180] 如图3A及图3B所示,主波束(主瓣)朝向水平 0° 及垂直 0° 方向,例如与图2A及图2B的旁瓣相比,向主波束的周边的垂直方向产生了高电平的栅瓣(grating lobe)。在图3A及图3B中,栅瓣的峰值电平相对于主瓣的峰值电平之比为0dB。另外,与图3A($d_V=\lambda$)相比,图3B($d_V=2\lambda$)中向垂直方向产生高电平的栅瓣的角度间隔变窄。即,能够确认如下性质,即,垂直方向的元件间隔 d_V 越宽,则栅瓣产生的角度间隔越窄。

[0181] 这样,因为雷达装置的垂直方向的天线尺寸越大,则垂直方向的元件间隔越宽,所

以容易在较靠近主波束的角度产生栅瓣。因此,在按雷达装置设想的探测角范围大于产生栅瓣的角度的情况下,雷达装置在探测角度范围内将由栅瓣引起的假波峰错误地检测为目标(物标)的概率增加,雷达装置的检测性能会恶化。

[0182] 本发明的一个实施例在使用MIMO雷达进行垂直方向与水平方向的二维的波束扫描的情况下,即使垂直方向或水平方向的天线尺寸(或元件尺寸)达到一个波长以上,也会抑制栅瓣的产生,能够提高垂直或水平方向的角度分辨率。

[0183] 以下,参照附图来详细地说明本发明的一个实施例的实施方式。此外,在实施方式中,对相同的构成要素标以相同的附图标记,其说明由于重复而省略。

[0184] 此外,以下对于雷达装置,说明如下结构,即,在发送支路中,从多个发送天线送出经码分复用的不同的发送信号,在接收支路中,分离各发送信号而进行接收处理。但是,雷达装置的结构并不限于此,也可以是如下结构,即,在发送支路中,从多个发送天线送出经频分复用的不同的发送信号,在接收支路中,分离各发送信号而进行接收处理。另外,同样地,雷达装置的结构还可以是如下结构,即,在发送支路中,从多个发送天线送出经时分复用的发送信号,在接收支路中,进行接收处理。

[0185] [实施方式1]

[0186] [雷达装置的结构]

[0187] 图4是表示本实施方式的雷达装置10的结构方框图。

[0188] 雷达装置10包括雷达发送部(发送支路)100、雷达接收部(接收支路)200及基准信号生成部300。

[0189] 雷达发送部100基于从基准信号生成部300接收的参考信号生成高频(Radio Frequency,无线频率)的雷达信号(雷达发送信号)。接着,雷达发送部100使用由多个发送天线106-1~发送天线106-N_t构成的发送阵列天线,以规定的发送周期发送雷达发送信号。

[0190] 雷达接收部200使用包含多个接收天线202-1~接收天线202-N_a的接收阵列天线,接收雷达发送信号在目标(未图示)反射后的反射波信号。雷达接收部200使用从基准信号生成部300接收的参考信号进行下述处理动作,由此,进行与雷达发送部100同步的处理。即,雷达接收部200对在各接收天线202中接收到的反射波信号进行信号处理,并进行检测有无目标处理及估计方向处理中的至少一个处理。此外,目标是雷达装置10所检测的对象物体,例如包含车辆(包括四轮及二轮)或人。

[0191] 基准信号生成部300与雷达发送部100及雷达接收部200分别连接。基准信号生成部300将作为基准信号的参考信号提供给雷达发送部100及雷达接收部200,使雷达发送部100与雷达接收部200的处理同步。

[0192] [雷达发送部100的结构]

[0193] 雷达发送部100包括雷达发送信号生成部101-1~雷达发送信号生成部101-N_t、无线发送部105-1~无线发送部105-N_t及发送天线106-1~发送天线106-N_t。即,雷达发送部100具有N_t个发送天线106,各发送天线106分别连接于单独的雷达发送信号生成部101及无线发送部105。

[0194] 雷达发送信号生成部101生成将从基准信号生成部300接收的参考信号设为规定数倍所得的定时时钟,基于所生成的定时时钟生成雷达发送信号。接着,雷达发送信号生成部101以规定的雷达发送周期(T_r)反复输出雷达发送信号。雷达发送信号由 $r_z(k, M) = I_z(k,$

$M)+j Q_z(k,M)$ 表示。此处, z 表示对应于各发送天线106的编号, $z=1, \dots, N_t$ 。另外, j 表示虚数单位, k 表示离散时刻, M 表示雷达发送周期的序数。

[0195] 各雷达发送信号生成部101包括编码生成部102、调制部103及LPF (Low Pass Filter, 低通滤波器) 104。以下, 说明对应于第 z 个 ($z=1, \dots, N_t$) 发送天线106的雷达发送信号生成部101- z 中的各构成部。

[0196] 例如, 编码生成部102按雷达发送周期 T_r , 生成码长 L 的编码序列的编码 $a(z)_n$ ($n=1, \dots, L$) (脉冲编码)。使用彼此为低相关或无相关的编码作为各编码生成部102-1 ~ 编码生成部102- N_t 中生成的编码 $a(z)_n$ ($z=1, \dots, N_t$)。作为编码序列, 例如可列举沃尔什-阿达玛 (Walsh-Hadamard) 编码、M序列编码、戈尔德 (Gold) 编码等。

[0197] 调制部103对从编码生成部102输出的编码序列 (例如, 编码 $a(z)_n$) 进行脉冲调制 (振幅调制、ASK (Amplitude Shift Keying, 幅移键控)、脉冲偏移键控) 或相位调制 (相移键控 (Phase Shift Keying)), 并向LPF104输出调制信号。

[0198] LPF104将从调制部103输出的调制信号中的规定的限制频带以下的信号分量作为基带的雷达发送信号向无线发送部105输出。

[0199] 第 z ($z=1, \dots, N_t$) 个无线发送部105对从第 z 个雷达发送信号生成部101输出的基带的雷达发送信号实施频率转换而生成载波频 (Radio Frequency (射频): RF) 带的雷达发送信号, 并通过发送放大器放大至规定的发送功率 P [dB] 而向第 z 个发送天线106输出。

[0200] 第 z ($z=1, \dots, N_t$) 个发送天线106向空间中辐射从第 z 个无线发送部105输出的雷达发送信号。

[0201] 图5表示从雷达发送部100的 N_t 个发送天线106发送的雷达发送信号。编码发送区间 T_w 内包含码长 L 的脉冲编码序列。在各雷达发送周期 T_r 中的编码发送区间 T_w 的期间内, 发送脉冲编码序列, 剩余的区间 ($T_r - T_w$) 为无信号区间。通过实施每一个脉冲编码 ($a(z)_n$) 使用 N_o 个样本的脉冲调制, 在各编码发送区间 T_w 内包含 $N_r (= N_o \times L)$ 个样本的信号。即, 调制部103中的采样率为 $(N_o \times L) / T_w$ 。另外, 无信号区间 ($T_r - T_w$) 内包含 N_u 个样本。

[0202] 此外, 雷达发送部100也可以包括图6所示的雷达发送信号生成部101a来取代雷达发送信号生成部101。雷达发送信号生成部101a也可以不包括图4所示的编码生成部102、调制部103及LPF104, 取而代之, 包括编码存储部111及DA (Digital Analog, 数字模拟) 转换部112。编码存储部111预先存储在编码生成部102 (图4) 中生成的编码序列, 并循环地依次读出所存储的编码序列。DA转换部112将从编码存储部111输出的编码序列 (数字信号) 转换成模拟信号 (基带信号)。

[0203] [雷达接收部200的结构]

[0204] 在图4中, 雷达接收部200包括 N_a 个接收天线202, 从而构成阵列天线。另外, 雷达接收部200包括 N_a 个天线系统处理部201-1 ~ 天线系统处理部201- N_a 和方向估计部214。

[0205] 各接收天线202接收在目标 (物体) 反射后的雷达发送信号即反射波信号, 将接收到的反射波信号作为接收信号向对应的天线系统处理部201输出。

[0206] 各天线系统处理部201包括无线接收部203和信号处理部207。

[0207] 无线接收部203包括放大器204、频率转换器205及正交检波器206。无线接收部203生成将从基准信号生成部300输出的参考信号设为规定数倍的定时时钟, 基于所生成的定时时钟而工作。具体而言, 放大器204将从接收天线202输出的接收信号放大至规定电平, 频

率转换器205进行频率转换而将高频频带的接收信号转换至基带频带,正交检波器206将基带频带的接收信号转换成包含I信号及Q信号的基带频带的接收信号。

[0208] 信号处理部207包括AD(Analog Digital,模拟数字)转换部208、209和分离部210-1~分离部210-Nt。

[0209] I信号从正交检波器206输入至AD转换部208,Q信号从正交检波器206输入至AD转换部209。AD转换部208对包含I信号的基带信号进行离散时刻的采样,从而将I信号转换成数字数据。AD转换部209对包含Q信号的基带信号进行离散时刻的采样,从而将Q信号转换成数字数据。

[0210] 此处,在AD转换部208、209的采样中,按雷达发送信号中的每一个子脉冲的时间 $T_p (=T_w/L)$ 进行 N_s 个离散采样。即,每一个子脉冲的过采样数为 N_s 。

[0211] 在以下的说明中,使用I信号 $I_r(k,M)$ 及Q信号 $Q_r(k,M)$,将作为AD转换部208、209的输出第M个雷达发送周期 $T_r[M]$ 中的离散时刻k处的基带接收信号表示为复信号 $x(k,M) = I_r(k,M) + j Q_r(k,M)$ 。另外,以下,离散时刻k以雷达发送周期(T_r)的开始定时为基准($k=1$),信号处理部207周期性地工作,直到雷达发送周期 T_r 结束之前的采样点即 $k=(N_r+N_u)N_s/N_o$ 为止。即, $k=1, \dots, (N_r+N_u)N_s/N_o$ 。此处,j为虚数单位。

[0212] 信号处理部207包含与相当于发送天线106的个数的系统数相等的 N_t 个分离部210。各分离部210包括相关运算部211、加法部212及多普勒频率分析部213。以下,说明第z($z=1, \dots, N_t$)个分离部210的结构。

[0213] 相关运算部211按雷达发送周期 T_r ,进行从AD转换部208、209接收的包含离散采样值 $I_r(k,M)$ 及 $Q_r(k,M)$ 的离散采样值 $x(k,M)$ 与雷达发送部100所发送的码长L的脉冲编码 $a(z)_n$ (其中, $z=1, \dots, N_t, n=1, \dots, L$)之间的相关运算。例如,相关运算部211进行离散采样值 $x(k,M)$ 与脉冲编码 $a(z)_n$ 之间的滑动相关运算。例如,第M个雷达发送周期 $T_r[M]$ 中的离散时刻k处的滑动相关运算的相关运算值 $AC_{(z)}(k,M)$ 基于下式而被计算。

$$[0214] \quad AC_{(z)}(k,M) = \sum_{n=1}^L x(k + N_s(n-1), M) a(z)_n^* \quad (1)$$

[0215] 在上式中,星号(*)表示复共轭运算符。

[0216] 相关运算部211例如根据式(1),在 $k=1, \dots, (N_r+N_u)N_s/N_o$ 的期间内进行相关运算。

[0217] 此外,并不限定于对 $k=1, \dots, (N_r+N_u)N_s/N_o$ 进行相关运算的情况,相关运算部211也可以根据成为雷达装置10的测量对象的目标的存在范围来限定测量范围(即,k的范围)。由此,雷达装置10能够降低相关运算部211的运算处理量。例如,相关运算部211也可以将测量范围限定为 $k=N_s(L+1), \dots, (N_r+N_u)N_s/N_o - N_sL$ 。在此情况下,如图7所示,雷达装置10不会在相当于编码发送区间 T_w 的时间区间内进行测量。

[0218] 由此,即使在雷达发送信号直接绕回到雷达接收部200的情况下,因为在雷达发送信号绕回的期间(至少不足 τ_1 的期间),不进行相关运算部211的处理,所以雷达装置10可进行排除了绕回的影响的测量。另外,在限定测量范围(k的范围)的情况下,对于以下说明的加法部212、多普勒频率分析部213及方向估计部214的处理,也只要应用同样地限定了测量范围(k的范围)的处理即可。由此,能够削减各构成部的处理量,从而能够降低雷达接收部

200中的功耗。

[0219] 加法部212使用按第M个雷达发送周期 T_r 的离散时刻k从相关运算部211输出的相关运算值 $AC_{(z)}(k, M)$, 在规定次数(N_p 次)的雷达发送周期 T_r 的期间($T_r \times N_p$)内, 将相关运算值 $AC_{(z)}(k, M)$ 相加(相干积分)。期间($T_r \times N_p$)内的相加数 N_p 的相加(相干积分)处理由下式表示。

$$[0220] \quad CI_{(z)}(k, m) = \sum_{g=1}^{N_p} AC_{(z)}(k, N_p(m-1) + g) \quad (2)$$

[0221] 此处, $CI_{(z)}(k, m)$ 表示相关运算值的加法值(以下, 称为“相关加法值”), N_p 是1以上的整数值, m 是表示将加法部212中的相加次数 N_p 作为一个单位的情况下的相加次数的序数的1以上的整数。另外, $z=1, \dots, N_t$ 。

[0222] 加法部212将以雷达发送周期 T_r 为单位而获得的相关运算部211的输出作为一个单位, 进行 N_p 次的相加。即, 加法部212将相关运算值 $AC_{(z)}(k, N_p(m-1)+1) \sim AC_{(z)}(k, N_p \times m)$ 作为一个单位, 使离散时刻k的定时一致而按离散时刻k计算相加后的相关值 $CI_{(z)}(k, m)$ 。由此, 加法部212能够利用相关运算值的 N_p 次的相加的效果, 在来自目标的反射波信号具有高相关的范围内, 提高反射波信号的SNR(Signal to Noise Ratio, 信噪比)。由此, 雷达接收部200能够提高关于目标的到达距离的估计的测量性能。

[0223] 此外, 为了获得理想的加法增益, 必需的条件是在相关运算值的相加次数 N_p 的加法区间内, 相关运算值的相位分量在一定程度的范围内一致。即, 优选基于作为测量对象的目标的设想最大移动速度来设定相加次数 N_p 。其理由是, 目标的设想最大速度越大, 则来自目标的反射波所含的多普勒频率的变动量越大, 因此, 具有高相关的时间期间缩短, 所以相加次数 N_p 变为小值, 加法部212的加法带来的提高增益的效果变小。

[0224] 多普勒频率分析部213将按离散时刻k获得的加法部212的 N_c 个输出即 $CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+1) \sim CI_{(z)}(k, N_c \times w)$ 作为一个单位, 使离散时刻k的定时一致而进行相干积分。例如, 多普勒频率分析部213如下式所示, 对与 $2N_f$ 个不同的多普勒频率 $f_s \Delta \Phi$ 对应的相位变动 $\Phi(f_s) = 2\pi f_s(T_r \times N_p) \Delta \Phi$ 进行修正后, 进行相干积分。

$$[0225] \quad \begin{aligned} FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, f_s, w) &= \sum_{q=0}^{N_c-1} CI_{(z)}(k, N_c(w-1) + q + 1) \exp[-j\phi(f_s)q] \\ &= \sum_{q=0}^{N_c-1} CI_{(z)}(k, N_c(w-1) + q + 1) \exp[-j2\pi f_s T_r N_p q \Delta \phi] \end{aligned} \quad (3)$$

[0226] 此处, $FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, f_s, w)$ 是多普勒频率分析部213的第w个输出, 且表示第Nant个天线系统处理部201在离散时刻k处的多普勒频率 $f_s \Delta \Phi$ 的相干积分结果。其中, $Nant=1 \sim N_a$, $f_s = -N_f+1, \dots, 0, \dots, N_f$, $k=1, \dots, (N_r+N_u)N_s/N_o$, w 是1以上的整数, $\Delta \Phi$ 是相位旋转单位。

[0227] 由此, 各天线系统处理部201按雷达发送周期间 T_r 的多次 $N_p \times N_c$ 的期间($T_r \times N_p \times N_c$), 获得与各离散时刻k的 $2N_f$ 个多普勒频率分量对应的相干积分结果即 $FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, -N_f+1, w), \dots, FT_CI_{(z)}^{Nant}(k, N_f-1, w)$ 。此外, j 为虚数单位, $z=1, \dots, N_t$ 。

[0228] 在为 $\Delta \Phi = 1 / (N_c \times T_r \times N_p)$ 的情况下,上述多普勒频率分析部213的处理等效于以采样间隔 $T_m = (T_r \times N_p)$ 、采样频率 $f_m = 1 / T_m$ 对加法部212的输出进行离散傅里叶变换(DFT:Discrete Fourier Transform)处理。

[0229] 另外,通过将 N_f 设定为2的幂数,多普勒频率分析部213能够应用快速傅里叶变换(FFT:Fast Fourier Transform)处理,从而能够削减运算处理量。此外,在 $N_f > N_c$ 的情况下,在 $q > N_c$ 的区域中进行使得 $CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+q) = 0$ 的填零处理,由此,同样能够应用FFT处理,从而能够削减运算处理量。

[0230] 另外,在多普勒频率分析部213中,也可取代FFT处理而进行依次运算上式(3)所示的乘积累加运算的处理。即,多普勒频率分析部213也可针对按离散时刻 k 获得的加法部212的 N_c 个输出即 $CI_{(z)}(k, N_c(w-1)+q+1)$,生成与 $f_s = -N_f+1, \dots, 0, \dots, N_f-1$ 对应的系数 $\exp[-j2\pi f_s T_r N_p q \Delta \phi]$,并依次进行乘积累加运算处理。此处, $q = 0 \sim N_c - 1$ 。

[0231] 此外,在以下的说明中,以下式的方式,将在 N_a 个天线系统处理部201中分别实施相同的处理而获得的第 w 个输出 $FT_CI_{(z)}^1(k, f_s, w)$ 、 $FT_CI_{(z)}^2(k, f_s, w)$ 、 \dots 、 $FT_CI_{(z)}^{N_a}(k, f_s, w)$ 表述为虚拟接收阵列相关矢量 $\mathbf{h}(k, f_s, w)$ 。虚拟接收阵列相关矢量 $\mathbf{h}(k, f_s, w)$ 包含发送天线数 N_t 与接收天线数 N_a 之积即 $N_t \times N_a$ 个元素。虚拟接收阵列相关矢量 $\mathbf{h}(k, f_s, w)$ 用于说明后述的对来自目标的反射波信号进行基于接收天线202之间的相位差的方向估计的处理。此处, $z = 1, \dots, N_t$, $b = 1, \dots, N_a$ 。

$$[0232] \quad \mathbf{h}(k, f_s, w) = \begin{bmatrix} FT_CI_{(1)}^1(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^1(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^1(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(1)}^2(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(1)}^{N_a}(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^{N_a}(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^{N_a}(k, f_s, w) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}^1(k, f_s, w) \\ \mathbf{h}^2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ \mathbf{h}^{N_a}(k, f_s, w) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[0233] \quad \mathbf{h}^b(k, f_s, w) = \begin{bmatrix} FT_CI_{(1)}^b(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^b(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^b(k, f_s, w) \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0234] 以上,说明了信号处理部207的各构成部中的处理。

[0235] 方向估计部214对于从天线系统处理部201-1~天线系统处理部201- N_a 输出的第 w

个多普勒频率分析部213的虚拟接收阵列相关矢量 $\mathbf{h}(k, fs, w)$, 计算使用阵列修正值 $h_{cal[y]}$ 修正了天线系统处理部201之间的相位偏差及振幅偏差的虚拟接收阵列相关矢量 $h_{after_cal}(k, fs, w)$ 。虚拟接收阵列相关矢量 $h_{after_cal}(k, fs, w)$ 由下式表示。此外, $y=1, \dots, (N_t \times N_a)$ 。

$$[0236] \quad \mathbf{h}_{after_cal}(k, fs, w) = \mathbf{CA} \mathbf{h}(k, fs, w) = \begin{bmatrix} h_1(k, fs, w) \\ h_2(k, fs, w) \\ \vdots \\ h_{N_a \times N_r}(k, fs, w) \end{bmatrix}$$

$$[0237] \quad \mathbf{CA} = \begin{bmatrix} h_{cal[1]} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_{cal[2]} & \ddots & \dots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_{cal[N_t \times N_a]} \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0238] 修正了天线间偏差的虚拟接收阵列相关矢量 $h_{after_cal}(k, fs, w)$ 是包含 $N_a \times N_r$ 个元素的列矢量。以下, 将虚拟接收阵列相关矢量 $h_{after_cal}(k, fs, w)$ 的各元素表述为 $h_1(k, fs, w), \dots, h_{N_a \times N_r}(k, fs, w)$, 用于方向估计处理的说明。

[0239] [雷达装置10中的天线配置]

[0240] 对具有以上的结构的雷达装置10中的 N_t 个发送天线106及 N_a 个接收天线202的配置进行说明。

[0241] <基本配置1>

[0242] 图8表示基本配置1的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0243] 此外, 以下的说明中, 例如使用的水平方向 (例如, 图8中的横方向) 的间隔 D_H 与垂直方向 (例如, 图8中的纵方向) 的间隔 D_V 相同。但是, 间隔 D_H 与间隔 D_V 也可以不同。

[0244] (1) 收发天线的配置

[0245] 在图8中, 发送阵列天线中的发送天线106的个数 $N_t=4$ 个 (Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4), 接收阵列天线中的接收天线202的个数 $N_a=4$ 个 (Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)。

[0246] 图8所示的发送阵列天线由“第一发送天线组” (图8中的Tx#2、Tx#4) 和“第二发送天线组” (图8中的Tx#1、Tx#3) 构成。各发送天线组分别包含2个发送天线元件, 这2个发送天线元件在垂直方向上的位置相同, 在水平方向 (图8中的横方向) 上的天线间隔为 $2D_H$ 。另外, “第一发送天线组”与“第二发送天线组”的垂直方向 (图8中的纵方向) 的间隔例如为 $3D_V$ 。

[0247] 另外, 图8所示的接收阵列天线由“第一接收天线组” (图8中的Rx#2、Rx#4) 和“第二接收天线组” (图8中的Rx#1、Rx#3) 构成。各接收天线组分别包含2个接收天线元件, 这2个接收天线元件在垂直方向上的位置相同, 在水平方向上的天线间隔为 $3D_H$ 。另外, “第一接收天线组”与“第二接收天线组”的垂直方向的间隔例如为 $2D_V$ 。

[0248] 换句话说, 在图8中, 发送天线组间的垂直方向的间隔 (在图8中为 $3D_V$) 与各接收天线组内的水平方向的天线间隔 (在图8中为 $3D_H$) 相同。另外, 在图8中, 各发送天线组内的水平方向的天线间隔 (在图8中为 $2D_H$) 与接收天线组间的垂直方向的间隔 (在图8中为 $2D_V$) 相同。

[0249] 另外,在图8中,发送天线组间的间隔 $3D_V$ (或者,接收天线组内的天线间隔 $3D_H$) 与发送天线组内的天线间隔 $2D_H$ (或者,接收天线组间的间隔 $2D_V$) 之差为 D_H 或 D_V 。

[0250] 另外,在图8中,发送天线组内的天线间隔 $2D_H$ (D_H 的整数倍的间隔) 与接收天线组内的天线间隔 $3D_H$ (D_H 的整数倍的间隔) 之差为 D_H 。另外,在图8中,配置多个发送天线组的间隔 $3D_V$ (D_V 的整数倍的间隔) 与配置多个接收天线组的间隔 $2D_V$ (D_V 的整数倍的间隔) 之差为 D_V 。

[0251] (2) 虚拟接收阵列的配置

[0252] 根据上述图8所示的收发天线配置而构成的虚拟接收阵列 (虚拟天线VA#1 ~ 虚拟天线VA#16) 的配置具有如下所述的特征。

[0253] 此处,虚拟接收阵列的配置能够根据构成发送阵列天线的发送天线的位置 (供电点的位置)、以及构成接收阵列天线的接收天线的位置 (供电点的位置),以下式的方式表示。

$$[0254] \quad \begin{cases} X_{V_#k} = (X_{T_#\text{mod}(k-1, Nt)+1} - X_{T_#1}) + (X_{R_#\text{ceil}(k / Na)} - X_{R_#1}) \\ Y_{V_#k} = (Y_{T_#\text{mod}(k-1, Nt)+1} - Y_{T_#1}) + (Y_{R_#\text{ceil}(k / Na)} - Y_{R_#1}) \end{cases} \quad (7)$$

[0255] 此外, $\text{mod}(x, y)$ 是计算相除后的余数 (取模运算) 的运算符,其返回将 x 除以 y 后的余数。另外, $\text{ceil}(x)$ 是返回取 x 以上的最接近的整数所得的值的运算符。另外,在式 (7) 中, X 轴对应于图8所示的水平方向 (横方向), Y 轴对应于图8所示的垂直方向 (纵方向)。

[0256] 此处,将构成发送阵列天线的发送天线106的位置坐标设为 $(X_{T_#n}, Y_{T_#n})$ (其中, $n=1, \dots, Nt$), 将构成接收阵列天线的接收天线202的位置坐标设为 $(X_{R_#m}, Y_{R_#m})$ (其中, $m=1, \dots, Na$), 并将构成虚拟接收阵列的虚拟天线的位置坐标设为 $(X_{V_#k}, Y_{V_#k})$ (其中, $k=1, \dots, Nt \times Na$)。此外,在式 (7) 中,将VA#1表示为虚拟接收阵列的位置基准 $(0, 0)$ 。

[0257] 作为一例,说明图8所示的天线配置的情况。

[0258] 构成发送阵列天线的发送天线106的位置坐标,以发送天线Tx#1的位置坐标 $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ 为基准,表示为发送天线Tx#2的位置坐标 $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1}, Y_{T_#1} + 3D_V)$ 、发送天线Tx#3的位置坐标 $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1})$ 、发送天线Tx#4的位置坐标 $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1} + 3D_V)$ 。

[0259] 同样地,构成接收阵列天线的接收天线202的位置坐标,以接收天线Rx#1的位置坐标 $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ 为基准,表示为接收天线Rx#2的位置坐标 $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1}, Y_{R_#1} + 2D_V)$ 、接收天线Rx#3的位置坐标 $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + 3D_H, Y_{R_#1})$ 、接收天线Rx#4的位置坐标 $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} + 3D_H, Y_{R_#1} + 2D_V)$ 。

[0260] 根据此种发送阵列天线的配置及接收阵列天线的配置,虚拟接收阵列VA#1 ~ 虚拟接收阵列VA#16的位置坐标 $(X_{V_#1}, Y_{V_#1}) \sim (X_{V_#16}, Y_{V_#16})$ 分别如下所述。

[0261] $(0, 0)$ 、 $(0, 3D_V)$ 、 $(2D_H, 0)$ 、 $(2D_H, 3D_V)$ 、 $(0, 2D_V)$ 、 $(0, 5D_V)$ 、 $(2D_H, 2D_V)$ 、 $(2D_H, 5D_V)$ 、 $(3D_H, 0)$ 、 $(3D_H, 3D_V)$ 、 $(5D_H, 0)$ 、 $(5D_H, 3D_V)$ 、 $(3D_H, 2D_V)$ 、 $(3D_H, 5D_V)$ 、 $(5D_H, 2D_V)$ 、 $(5D_H, 5D_V)$

[0262] 这样,在图8所示的虚拟接收阵列的配置中,各虚拟接收阵列元件分别不重复地配置于不同的位置。因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以主瓣变窄,从而能够提高角度分辨率。

[0263] 另外,如图8所示,位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件VA#4、VA#7、VA#10及VA#13,沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置,并沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置。作为

一例,在图8中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,虚拟阵列元件VA#4、VA#7、VA#10及VA#13,沿着水平方向以 $D_H=0.5\lambda$ 的间隔配置,并沿着垂直方向以 $D_V=0.5\lambda$ 的间隔配置。由此,能够降低栅瓣。此外,降低栅瓣的效果将在后文中叙述。

[0264] 此外,虚拟接收阵列的配置并不依赖于发送阵列天线与接收阵列天线之间的位置关系。因此,发送阵列天线及接收阵列天线的位置关系并不限定于图8所示的配置,能够任意地进行设定。以下说明的其他的配置结构也相同。

[0265] 另外,可以将图8所示的发送阵列天线及接收阵列天线的配置中的水平方向及垂直方向的配置设为垂直方向及水平方向的配置(例如,使图8的配置旋转90度而成的配置)而获得相同的效果。以下说明的其他的配置结构也相同。

[0266] 另外,在图8所示的天线配置中,也可以调换发送阵列天线的配置与接收阵列天线的配置。例如,也可以将图8所示的接收阵列天线的配置用作发送阵列天线的配置,并将图8所示的发送阵列天线的配置用作接收阵列天线的配置。即使调换发送阵列天线的配置与接收阵列天线的配置,因为虚拟接收阵列的配置为相同的配置,所以仍能够获得相同的效果。以下说明的其他的配置结构也相同。

[0267] 此处,作为一例,说明在图8中将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况。如图8所示,在发送天线阵列及接收天线阵列这两个天线阵列中,各天线元件的间隔为 $2D_H$ 、 $3D_H$ 、 $2D_V$ 及 $3D_V$ 中的一个间隔。换句话说,在图8中,发送天线组间的间隔 $3D_V$ 、接收天线组内的天线间隔 $3D_H$ 、发送天线组内的天线间隔 $2D_H$ 及接收天线组间的间隔 $2D_V$ 是比雷达发送信号(例如,雷达载波)的一个波长更长的间隔。由此,在图8中,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0268] 由此,例如,能够应用如图9A所示的天线作为图8所示的发送阵列天线和接收阵列天线中的至少一个阵列天线的各天线元件,该如图9A所示的天线使用纵横各排列2个元件的平面贴片天线而成的4个元件作为子阵列。但是,在图9A中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,且天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$ 。

[0269] 另外,在图8的情况下,发送阵列天线的垂直方向的天线间隔为 $3D_V$,其大于水平方向的天线间隔 $2D_H$ 。因此,例如,能够应用如图9B所示的天线作为图8所示的发送阵列天线的各天线元件,该如图9B所示的天线使用纵向排列3个元件的平面贴片天线且横向排列2个元件的平面贴片天线而成的6个元件作为子阵列。但是,在图9B中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,且天线高度 $H_{ANT} < 3D_V$ 。

[0270] 另外,在图8的情况下,接收阵列天线的水平方向的天线间隔为 $3D_H$,其大于垂直方向的天线间隔 $2D_V$ 。因此,例如,能够应用如图9C所示的天线作为图8所示的接收阵列天线的各天线元件,该如图9C所示的天线使用纵向排列2个元件的平面贴片天线且横向排列3个元件的平面贴片天线而成的6个元件作为子阵列。但是,在图9C中,天线宽度 $W_{ANT} < 3D_H$,且天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$ 。

[0271] 通过在图8所示的天线配置中使用如图9A、图9B或图9C所示的子阵列结构的天线,能够提高天线的指向性增益,从而能够提高雷达装置10的探测性能(例如,探测距离)。此外,适用于图8所示的天线元件的子阵列的结构并不限定于图9A、图9B及图9C所示的结构,只要是能够将图8所示的位置配置为天线元件(换句话说,天线系统)的相位中心的子阵列结构即可。

[0272] 作为一例,图10表示在图8所示的发送阵列天线的各天线元件中应用了图9B所示的子阵列的情况下的例子。如图10所示,发送阵列天线由垂直方向的尺寸 $3D_v$ 、水平方向的尺寸 $2D_h$ 的子阵列结构的各天线元件构成。

[0273] 这样,根据基本配置1,例如,能够应用 1λ 以上的尺寸(例如,在 $D_h=D_v=0.5\lambda$ 的情况)的天线元件,从而能够在虚拟接收阵列中,在水平方向及垂直方向上紧密地(例如,以 D_h 或 D_v 间隔)配置虚拟天线。由此,能够降低(换句话说,抑制)栅瓣,并且提高天线的指向性增益。

[0274] 以上,说明了雷达装置10中的天线配置的一例。

[0275] 方向估计部214使用根据上述收发天线的配置(例如,参照图8)而获得的虚拟接收阵列(例如,参照图8)的接收信号,以如下方式进行水平方向及垂直方向的方向估计处理。

[0276] 上述虚拟接收阵列的元件编号(VA#的编号)对应于式(6)所示的修正了天线间偏差的虚拟接收阵列相关矢量 $h_{\text{after_cal}}(k, fs, w)$ 的列矢量的元素编号。例如,图8所示的VA#1对应于 $h_{\text{after_cal}}(k, fs, w)$ 的列矢量元素的第一个元素 $h_1(k, fs, w)$ 。图8所示的其他的VA#2~VA#16也相同。

[0277] 在水平方向及垂直方向的到达方向估计中,方向估计部214在规定的角度范围内,改变方向估计评价函数值 $P(\theta, \varphi, k, fs, w)$ 中的方位方向 θ 及仰角方向 φ 而计算空间分布。方向估计部214将计算出的空间分布的极大峰值按照由大到小的顺序提取规定个数,并输出极大峰值的方位方向及仰角方向作为到达方向估计值。

[0278] 此外,根据到达方向估计算法,有各种用于评价函数值 $P(\theta, \varphi, k, fs, w)$ 的方法。例如也可使用参考非专利文献所公开的使用阵列天线的估计方法。

[0279] (参考非专利文献)Direction-of-arrival estimation using signal subspace modeling Cadzow, J.A.; Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on Volume:28, Issue:1 Publication Year:1992, Page(s):64-79

[0280] 例如,能够如下式那样表示波束形成法。此外,也可以同样应用Capon、MUSIC之类的方法。

$$P(\theta_u, \varphi_v, k, fs, w) = |a(\theta_u, \varphi_v)^H h_{\text{after_cal}}(k, fs, w)|^2 \quad (8)$$

[0282] 此处,上标H是厄米特转置运算符。另外, $a(\theta_u, \varphi_v)$ 表示相对于方位方向 θ 及仰角方向 φ 的到达波的虚拟接收阵列的方向矢量。

[0283] 如上所述,方向估计部214输出计算出的到达方向估计值以及计算到达方向估计值时的离散时刻 k 、多普勒频率 fs 、 $\Delta\Phi$ 作为雷达定位结果。

[0284] 另外,方位方向 θ_u 是以规定的方位间隔 β_1 ,在进行到达方向估计的方位范围内发生变化的矢量。例如,以如下方式设定 θ_u 。

$$\theta_u = \theta_{\min} + u\beta_1, u = 0, \dots, NU$$

$$NU = \text{floor}[(\theta_{\max} - \theta_{\min})/\beta_1] + 1$$

[0287] 此处, floor(x) 是返回不超过实数x的最大整数值的函数。

[0288] 另外, φ_v 是以规定的方位间隔 β_2 ,在进行到达方向估计的仰角范围内发生变化的矢量。例如,以如下方式设定 φ_v 。

$$\varphi_v = \varphi_{\min} + v\beta_2, v = 0, \dots, NV$$

$$[0290] \quad NV = \text{floor}[(\varphi_{\max} - \varphi_{\min})/\beta_2] + 1$$

[0291] 此外,在本实施方式中,基于虚拟接收阵列配置 $VA\#1, \dots, VA\#(N_t \times N_a)$ 而预先计算虚拟接收阵列的方向矢量 $\mathbf{a}(\theta_u, \varphi_v)$ 。此处,方向矢量 $\mathbf{a}(\theta_u, \varphi_v)$ 是以雷达反射波从方位方向 θ 及仰角方向 φ 到达的情况下的虚拟接收阵列的复应答为元素的 $(N_t \times N_a)$ 次的列矢量。另外,虚拟接收阵列的复应答 $\mathbf{a}(\theta_u, \varphi_v)$ 表示按天线之间的元件间隔,以几何光学方式计算的相位差。

[0292] 另外,上述时刻信息 k 也可转换为距离信息而输出。只要使用下式将时刻信息 k 转换为距离信息 $R(k)$ 即可。此处, T_w 表示编码发送区间, L 表示脉冲码长, C_0 表示光速。

$$[0293] \quad R(k) = k \frac{T_w C_0}{2L} \quad (9)$$

[0294] 另外,多普勒频率信息 $(f_s \Delta \Phi)$ 也可转换为相对速度分量而输出。可以使用下式将多普勒频率 $f_s \Delta \Phi$ 转换为相对速度分量 $v_d(f_s)$ 。此处, λ 是从无线发送部105输出的RF信号的载波频率的波长。

$$[0295] \quad v_d(f_s) = \frac{\lambda}{2} f_s \Delta \Phi \quad (10)$$

[0296] 图11A及图11B表示使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。在图11A及图11B中,标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的、水平方向 ± 90 度范围及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。此外,将各天线的指向性设为无指向性,进行了计算。

[0297] 图11A表示使用图8所示的收发天线配置(例如,MIMO阵列配置)(其中, $D_H = 0.5\lambda, D_V = 0.5\lambda$)的情况下的方向估计结果的一例。即,在图11A中的条件是发送天线106的水平方向及垂直方向的天线间隔达到 1λ 以上,且是接收天线202的水平方向及垂直方向的天线间隔也达到 1λ 以上。

[0298] 另外,图11B为了与图11A作比较,作为一例,表示将图1所示的MIMO雷达的天线配置中的发送天线的垂直方向的天线间隔设为 λ ,并将接收天线的水平方向的天线间隔设为 λ 的情况下(即, $D_V = \lambda, D_H = \lambda$)的方向估计结果。

[0299] 在图11B中,在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,沿着水平方向及垂直方向产生了栅瓣。相对于此,在图11A中,能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,降低了栅瓣。例如,在图11A中,水平0度、垂直0度以外的方向的除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比(PSLR)为0.44左右。

[0300] 如上所述,通过使用图8所示的MIMO阵列配置,即使用作发送阵列天线及接收阵列天线的天线的纵方向或横方向的元件尺寸为 1λ 左右,也能够以包含达到 0.5λ 左右的元件间隔的方式配置虚拟接收阵列中的水平方向及垂直方向的天线间隔,从而能够降低栅瓣。另外,例如,如图8所示,虚拟接收阵列的各虚拟阵列元件不重复地配置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0301] 另外,能够使用纵方向及横方向的元件尺寸为至少 1λ 左右的子阵列结构的天线作为用作发送天线106及接收天线202的天线元件。由此,能够提高天线的指向性增益,从而能

够提高雷达装置10的探测性能(例如,探测距离)。

[0302] 此外,MIMO阵列配置并不限于图8所示的例子。例如,也可使用调换图8所示的天线配置的水平方向与垂直方向而成的配置。在此情况下,虚拟接收阵列配置可获得调换图8的配置的水平方向与垂直方向而成的配置。由此,可获得调换图8及图8的水平方向与垂直方向所得的角度分离性能。以下说明的MIMO阵列配置同样也可使用调换水平方向与垂直方向而成的配置。

[0303] <基本配置1的变形例1>

[0304] 在基本配置1(例如,图8)中,说明了将发送天线106的数量设为4个元件($N_t=4$),并将接收天线202的数量设为4个元件($N_r=4$)的情况。但是,发送天线数 N_t 及接收天线数 N_r 并不限于这些数量。

[0305] 在基本配置1的变形例1中,发送阵列天线与基本配置1同样地,例如由垂直方向的间隔为 $3D_v$ 的第一发送天线组和第二发送天线组构成。另外,各发送天线组与基本配置1同样地分别包含多个发送天线元件,所述多个发送天线元件在垂直方向上的位置相同,在水平方向上的天线间隔为 $2D_h$ 。

[0306] 另外,在基本配置1的变形例1中,接收阵列天线与基本配置1同样地,例如由垂直方向的间隔为 $2D_v$ 的多个接收天线组构成。另外,各接收天线组包含多个接收天线元件,所述多个接收天线元件在垂直方向上的位置相同,在水平方向上的天线间隔为 $3D_h$ 。

[0307] 换句话说,在基本配置1的变形例1中,与基本配置1同样地,发送天线组间的垂直方向的间隔(此处为 $3D_v$)与各接收天线组内的水平方向的天线间隔(此处为 $3D_h$)相同。另外,各发送天线组内的水平方向的天线间隔(此处为 $2D_h$)与接收天线组间的垂直方向的间隔(此处为 $2D_v$)相同。

[0308] 另外,以下,将发送天线组的数量表示为“ $N_{TxGroup}$ ”,将各发送天线组所含的发送天线数表示为“ $N_{TxGroup_ANT}$ ”。另外,将接收天线组的数量表示为“ $N_{RxGroup}$ ”,将各接收天线组所含的发送天线数表示为“ $N_{RxGroup_ANT}$ ”。

[0309] 在基本配置1的变形例1中,可采用根据 $N_{TxGroup_ANT}$ 及 $N_{RxGroup}$ 的值而增加了MIMO阵列的天线数的配置。

[0310] 图12表示 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=2$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0311] 图13表示 $N_{TxGroup_ANT}=2$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0312] 图14表示 $N_{TxGroup_ANT}=4$ 、 $N_{RxGroup}=3$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0313] 此外,在图12、图13及图14中, $N_{TxGroup}=2$,且 $N_{RxGroup_ANT}=2$ 。

[0314] 在图12、图13及图14所示的各MIMO阵列配置中,例如将 D_h 及 D_v 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0315] 另外,例如,在图12、图13及图14所示的各虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0316] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图12、图13及图14所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{TxGroup_ANT}$ 及 $N_{RxGroup}$ 而增加。

[0317] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0318] 另外, $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{RxGroup}$ 、 $N_{TxGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0319] 图15表示例如在如图14所示地使用了发送天线106的数量 $N_t = 8$ 及接收天线202的数量 $N_a = 6$ 的MIMO阵列配置($N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{TxGroup} = 2$, $N_{RxGroup} = 3$, $N_{RxGroup_ANT} = 2$, $D_H = 0.5\lambda$, $D_V = 0.5\lambda$)的情况下,使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。此外,将各天线的指向性设为无指向性,进行了计算。

[0320] 在图15中,标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的、水平方向 ± 90 度范围及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。

[0321] 在图15中,能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,例如与图11A相比,降低了栅瓣。例如,在图15中,除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比(PSLR)为0.22左右。

[0322] 由此,能够确认在图14的情况下($N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 3$),与图8($N_{TxGroup_ANT} = 2$, $N_{RxGroup} = 2$)的情况(例如,参照图11A)相比(在两图的情况下,均是 $N_{TxGroup} = 2$, $N_{RxGroup_ANT} = 2$),通过增加 $N_{TxGroup_ANT}$ 及 $N_{RxGroup}$,降低旁瓣的效果提高。另外,在图15中,能够确认与图11A相比,主瓣的波峰也变尖,通过增加 $N_{TxGroup_ANT}$ 及 $N_{RxGroup}$,角度分辨率提高。

[0323] <基本配置1的变形例2>

[0324] 以下,分别说明基本配置1的变形例2中的天线配置方法1-2A及天线配置方法1-2B。

[0325] (配置方法1-2A)

[0326] 在基本配置1的变形例1中说明了如下情况,即,通过增加接收阵列天线所含的接收天线组的数量 $N_{RxGroup}$,增大沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数。此处,只要满足 $N_{RxGroup} \geq 3$,通过增加发送阵列天线中的发送天线组的数量 $N_{TxGroup}$,也能够增大虚拟接收阵列中的沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数。

[0327] 在此情况下,虽然可以将发送天线组的垂直方向的天线间隔例如设为固定的值(例如, $3D_V$),但是依赖于接收天线组的数量 $N_{RxGroup}$,虚拟接收阵列配置会成为虚拟阵列元件重复的配置。

[0328] 因此,为了以虚拟接收阵列配置中不包含重复的虚拟阵列元件的方式进行配置,例如,可使用如下所述的间隔 $D_{TxGroupV}$ 作为发送天线组的垂直方向的天线间隔中的第偶数个天线间隔。

[0329] $D_{TxGroupV} = D_V (2N_{RxGroup} - 3)$ (11)

[0330] 例如,在 $N_{\text{RxGroup}}=3$ 的情况下, $D_{\text{TxGroupV}}=3D_V$,在 $N_{\text{RxGroup}}=4$ 的情况下, $D_{\text{TxGroupV}}=5D_V$ 。

[0331] 例如,在发送天线组的数量 $N_{\text{TxGroup}}=3$ 的情况下,将3个发送天线组的间隔设为 $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV}}\}$ 。另外,在发送天线组的数量 $N_{\text{TxGroup}}=4$ 的情况下,将4个发送天线组的间隔设为 $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV}}, 3D_V\}$ 。同样地,在发送天线组的数量 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=5$ 的情况下,将5个发送天线组的间隔设为 $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV}}, 3D_V, D_{\text{TxGroupV}}\}$ 。

[0332] 图16表示 $N_{\text{TxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=3$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图16中,式(11)的 $D_{\text{TxGroupV}}=3D_V$ 。

[0333] 另外,图17表示 $N_{\text{TxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图17中,式(11)的 $D_{\text{TxGroupV}}=5D_V$ 。

[0334] 此外,在虚拟接收阵列的中心附近可以包含不等间隔(例如,大于 D_H 及 D_V 的间隔)的配置的情况下, D_{TxGroupV} 也可以是比式(11)的值更大的值。

[0335] (配置方法1-2B)

[0336] 在基本配置1的变形例1中说明了如下情况,即,通过增加发送阵列天线的各发送天线组所含的发送天线数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$,增大沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数。此处,只要满足 $N_{\text{TxGroup_ANT}} \geq 3$,通过增加接收阵列天线中的接收天线组所含的接收天线数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}$,也能够增大虚拟接收阵列中的沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数。

[0337] 在此情况下,虽然也可以将接收天线组的水平方向的天线间隔例如设为固定的值(例如, $3D_H$),但是依赖于发送天线组所含的发送天线数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$,虚拟接收阵列配置会成为虚拟阵列元件重复的配置。

[0338] 因此,为了以虚拟接收阵列配置中不包含重复的虚拟阵列元件的方式进行配置,例如,可以使用如下所述的间隔 D_{RxAnth} 作为接收天线组所含的接收天线的水平方向的天线间隔中的第偶数个天线间隔。

$$[0339] \quad D_{\text{RxAnth}} = D_H (2N_{\text{TxGroup_ANT}} - 3) \quad (12)$$

[0340] 例如,在 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=3$ 的情况下, $D_{\text{RxAnth}}=3D_H$,在 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 的情况下, $D_{\text{RxAnth}}=5D_H$ 。

[0341] 例如,在接收天线组所含的接收天线数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=3$ 的情况下,将3个接收天线的天线间隔设为 $\{3D_H, D_{\text{RxAnth}}\}$ 。另外,在接收天线数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=4$ 的情况下,将4个接收天线的天线间隔设为 $\{3D_H, D_{\text{RxAnth}}, 3D_H\}$ 。同样地,在接收天线数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=5$ 的情况下,将5个接收天线的天线间隔设为 $\{3D_H, D_{\text{RxAnth}}, 3D_H, D_{\text{RxAnth}}\}$ 。

[0342] 图18表示 $N_{\text{TxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=3$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=4$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图18中,式(12)的 $D_{\text{RxAnth}}=3D_H$ 。

[0343] 图19表示 $N_{\text{TxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=4$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图19中,式(12)的 $D_{\text{RxAnth}}=5D_H$ 。

[0344] 此外,在虚拟接收阵列的中心附近可以包含不等间隔(例如,大于 D_H 及 D_V 的间隔)的配置的情况下, D_{RxAnth} 也可以是比式(12)的值更大的值。

[0345] 以上,分别说明了基本配置1的变形例2中的配置方法1-2A及配置方法1-2B。

[0346] 例如,在图16~图19所示的收发天线配置(例如,MIMO阵列配置)中,将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0347] 另外,例如,在图16~图19所示的各虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0348] 另外,例如,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图16~图19所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 而增加。

[0349] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0350] 另外, $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0351] 此外,在基本配置1的变形例2中,也可采用组合了配置方法1-2A与配置方法1-2B的配置。图20表示 $N_{TxGroup} = 4$ 、 $N_{TxGroup_ANT} = 4$ 、 $N_{RxGroup} = 4$ 、 $N_{RxGroup_ANT} = 4$ 的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图20中,式(11)的 $D_{TxGroupV} = 5D_H$,式(12)的 $D_{RxAntH} = 5D_H$ 。由此,可获得组合了配置方法1-2A与配置方法1-2B的效果。

[0352] <基本配置1的变形例3>

[0353] 以下,分别说明基本配置1的变形例3中的天线配置方法1-3A、天线配置方法1-3B及天线配置方法1-3C。

[0354] (配置方法1-3A)

[0355] 在基本配置1中说明了如下情况,即,在发送阵列天线中,各发送天线组所含的发送天线的水平方向的位置相同。但是,不限于此,在各发送天线组之间,各发送天线组所含的发送天线的水平方向的配置位置也可以不同。

[0356] 例如,在发送阵列天线中,可以使水平方向的位置错开(换句话说,偏移) D_H 地配置第一发送天线组及第二发送天线组各自所含的各发送天线。

[0357] 沿着水平方向错开 D_H 的方向相对于第一发送天线组所含的各发送天线,也可以是第二发送天线组所含的各发送天线的右方向或左方向的任何方向。

[0358] 图21表示使发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4)分别向右方向错开 D_H 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0359] 在图21中,Tx#1与Tx#2的水平方向的位置相差 D_H 。另外,Tx#3与Tx#4的水平方向的位置相差 D_H 。

[0360] (配置方法1-3B)

[0361] 在基本配置1中说明了如下情况,即,在接收阵列天线中,各接收天线组所含的接收天线的水平方向的位置相同。但是,不限于此,在各接收天线组之间,各接收天线组所含的接收天线的水平方向的配置位置也可以不同。

[0362] 例如,在接收阵列天线中,可以使水平方向的位置错开 D_H 地配置第一接收天线组及第二天线组各自所含的各接收天线。

[0363] 沿着水平方向错开 D_H 的方向相对于第一接收天线组所含的各接收天线,也可以是第二接收天线组所含的各接收天线的右方向或左方向的任何方向。

[0364] 图22表示使接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#3)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#4)分别向右方向错开 D_H 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0365] 在图22中,Rx#1与Rx#2的水平方向的位置相差 D_H 。另外,Rx#3与Rx#4的水平方向的位置相差 D_H 。

[0366] (配置方法1-3C)

[0367] 配置方法1-3C是组合了配置方法1-3A与配置方法1-3B的方法。

[0368] 例如,在发送阵列天线中的第一发送天线组与第二发送天线组之间,使水平方向的位置错开 D_H 地配置发送天线。同样地,在接收阵列天线中的第一接收天线组与第二天线组之间,使水平方向的位置错开 D_H 地配置接收天线。

[0369] 此外,沿着水平方向错开 D_H 的方向例如相对于第一发送天线组所含的各发送天线,也可以是第二发送天线组所含的各发送天线的右方向或左方向的任何方向。另外,沿着水平方向错开 D_H 的方向例如相对于第一接收天线组所含的各接收天线,也可以是第二接收天线组所含的各接收天线的右方向或左方向的任何方向。

[0370] 图23表示配置方法1-3C的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图23中,发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图23中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#3)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#4)分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0371] 图24表示配置方法1-3C的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图24中,发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图24中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#3)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#4)分别向右方向错开 D_H 地配置。

[0372] 例如,与在接收天线组和发送天线组中将沿着水平方向错开 D_H 的方向设为不同方向的配置(例如,图24)相比,在接收天线组和发送天线组中使沿着水平方向错开 D_H 的方向相同的配置(例如,图23)会在虚拟接收阵列配置的中心附近,更紧密地配置虚拟接收阵列元件,因此,更恰当。

[0373] 以上,分别说明了配置方法1-3A~配置方法1-3C。

[0374] 例如,在图21~图24所示的收发天线配置(例如,MIMO阵列配置)中,将 D_H 及 D_V 设为

0.5 λ 左右,由此,将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为1 λ 左右的尺寸。

[0375] 由此,在基本配置1的变形例3中,例如,能够应用如图9A所示的使用纵横排列2个元件的平面贴片天线而成的4个元件作为子阵列的天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$)(未图示)。

[0376] 另外,发送天线组间的垂直方向的间隔为 $3D_V$,各发送天线组内的发送天线之间的水平方向的间隔为 $2D_H$,发送阵列天线的垂直方向的间隔大于水平方向的间隔。因此,在基本配置1的变形例3中,例如,能够应用如图9B所示的使用纵向排列3个元件的平面贴片天线且横向排列2个元件的平面贴片天线而成的6个元件作为子阵列的天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 3D_V$)。

[0377] 另外,在基本配置1的变形例3中,对于发送阵列天线和接收阵列天线中的至少一个阵列天线,各发送天线组所含的发送天线或各接收天线组所含的接收天线的水平方向的位置彼此不同。因此,在基本配置1的变形例3中,只要子阵列的横方向 W_{ANT} 的元件尺寸小于 D_H ,则子阵列的纵方向的元件尺寸可以是任意尺寸。

[0378] 例如,图25A表示纵向排列8个元件的平面贴片天线且横向排列1个元件的平面贴片天线而成的子阵列的一例。此外,子阵列的结构并不限定于图25A所示的结构。

[0379] 另外,图25B表示对图23或图24所示的发送天线阵列应用了图25A所示的子阵列的情况下的例子。此外,除了图25B所示的发送阵列天线之外,如图25C所示,还可以配置无供电元件(虚设元件)。利用无供电元件,能够在各天线之间,使由相邻的天线引起的天线间耦合的影响均一化,从而能够使各发送天线(Tx#1 ~ Tx#4)的指向特性均一化。另外,通过设置无供电元件,能够使天线的辐射、阻抗匹配或隔离度等电气特性的影响一致化。此外,无供电元件的配置不限于图25C,可以不与各天线发生物理干扰的位置、尺寸,配置该无供电元件。

[0380] 这样,通过在基本配置1的变形例3的天线配置中使用子阵列结构的的天线,能够提高天线的指向性增益,从而能够提高雷达装置10的探测性能(例如,探测距离)。

[0381] 另外,在基本配置1的变形例3中,虚拟接收阵列的各虚拟阵列元件不重复地配置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0382] (变形例3与变形例1的组合)

[0383] 此外,基本配置1的变形例3也可以与基本配置1的变形例1组合。

[0384] 例如,可以设为如下配置,即,相对于基本配置1的变形例1的发送阵列天线的配置,进一步在发送天线组之间,使发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置错开 D_H 。

[0385] 同样地,例如,可以设为如下配置,即,相对于基本配置1的变形例1的接收阵列天线的配置,进一步在接收天线组之间,使接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置错开 D_H 。

[0386] 图26~图30表示变形例3与变形例1的组合中的天线配置的一例。

[0387] 图26表示 $N_{TxGroup} = 2, N_{TxGroup_ANT} = 4, N_{RxGroup} = 3, N_{RxGroup_ANT} = 2$,且使发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0388] 另外,图27表示 $N_{TxGroup} = 2, N_{TxGroup_ANT} = 4, N_{RxGroup} = 3, N_{RxGroup_ANT} = 2$,且使接收天线

组所含的各接收天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0389] 另外,图28表示 $N_{TxGroup}=2, N_{TxGroup_ANT}=4, N_{RxGroup}=3, N_{RxGroup_ANT}=2$,使发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置错开了 D_H ,且使接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图28中,第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图28中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#5)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#3、Rx#6)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图28中,第三接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#4)相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0390] 另外,图29表示 $N_{TxGroup}=2, N_{TxGroup_ANT}=4, N_{RxGroup}=3, N_{RxGroup_ANT}=2$,使发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置错开了 D_H ,且使接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图29中,第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)分别向右方向错开 D_H 地配置。另外,在图29中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#5)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#3、Rx#6)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图29中,第三接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#4)相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0391] 例如,在图26~图29所示的各MIMO阵列配置中,将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 以上的尺寸。

[0392] 另外,例如,在图26~图29所示的各虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0393] 此外,即使在发送阵列天线中的第一发送天线组与第二发送天线组之间使各发送天线的水平方向的位置错开 D_H 地进行配置的情况下,或者在接收阵列天线中的第一接收天线组与第二接收天线组之间使各接收天线的水平方向的位置错开 D_H 地进行配置的情况下,也能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数例如会依赖于 $N_{TxGroup_ANT}$ 及 $N_{RxGroup}$ 而增加。

[0394] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0395] 另外, $N_{TxGroup_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{RxGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0396] 此外,图28及图29表示如下情况,即,在接收天线组的数量 $N_{RxGroup}$ 为3以上的情况

下,使各接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置向固定方向(右方向或左方向)错开地进行配置。但是,接收天线的水平方向的位置的错开方向并不限于于此。例如,在接收天线组的数量 N_{RxGroup} 为3以上的情况下,也可以按接收天线组,改变使各接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置向右方向或左方向错开的方向。

[0397] 图30表示 $N_{\text{TxGroup}}=2$, $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$, $N_{\text{RxGroup}}=3$, $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$,使发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置错开了 D_H ,且使接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图30中,第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图30中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#5)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#3、Rx#6)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图30中,第三接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#4)相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向右方向错开 D_H 地配置。

[0398] 在图30的天线配置中,也能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数例如会依赖于 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ 及 N_{RxGroup} 而增加。例如,在水平方向上, $(N_{\text{TxGroup_ANT}} \times N_{\text{RxGroup_ANT}}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{\text{RxGroup}} \times N_{\text{TxGroup}}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0399] (变形例3与变形例2的组合)

[0400] 另外,基本配置1的变形例3也可以与基本配置1的变形例2组合。

[0401] 例如,可以设为如下配置,即,相对于基本配置1的变形例2的发送阵列天线的配置,进一步在发送天线组之间,使发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置错开 D_H 。

[0402] 同样地,例如,可以设为如下配置,即,相对于基本配置1的变形例2的接收阵列天线的配置,进一步在接收天线组之间,使接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置错开 D_H 。

[0403] 此外,在发送天线组的数量 N_{TxGroup} 为3以上的情况下,可以使各发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置向固定方向(右方向或左方向)错开地进行配置,也可以按发送天线组,改变使各发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置向右方向或左方向错开的方向。

[0404] 图31及图32表示变形例3与变形例2的组合中的天线配置的一例。

[0405] 图31表示 $N_{\text{TxGroup}}=4$, $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$, $N_{\text{RxGroup}}=4$, $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$,且使发送天线组及接收天线组所含的各天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图31中,式(11)的 $D_{\text{TxGroupV}}=5D_V$ 。

[0406] 在图31中,发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx3、Tx#7、Tx#11、Tx#15)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#4、Tx#8、Tx#12、Tx#16)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图31中,第三发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx2、Tx#6、Tx#10、Tx#14)相对于第二发送天线组所含的各发送天线分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图31中,第四发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx1、Tx#5、Tx#9、Tx#

13) 相对于第三发送天线组所含的各发送天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0407] 另外,在图31中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#3、Rx#7)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#4、Rx#8)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图31中,第三接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#6)相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图31中,第四接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#5)相对于第三接收天线组所含的各接收天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0408] 接着,图32表示 $N_{TxGroup}=2, N_{TxGroup_ANT}=4, N_{RxGroup}=2, N_{RxGroup_ANT}=4$,且使发送天线组及接收天线组所含的各天线的水平方向的位置错开了 D_H 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图32中,式(12)的 $D_{RxGroupH}=5D_H$ 。

[0409] 在图32中,第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图32中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#3、Rx#5、Rx#7)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#4、Rx#6、Rx#8)分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0410] 例如,在图31及图32所示的各MIMO阵列配置中,将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够使发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸为 1λ 以上。

[0411] 另外,例如,在图31及图32所示的各虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0412] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图31及图32所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数例如会依赖于 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 而增加。

[0413] 例如,在水平方向上, $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0414] 另外, $N_{TxGroup_ANT}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0415] 此外,基本配置1的变形例3例如可设为如下配置,即,相对于图20所示的基本配置1的变形例2中的组合了配置方法A与配置方法B的配置,进一步在发送天线组之间及接收天线组之间,使发送阵列天线及接收阵列天线中的各天线的水平方向的位置错开 D_H 。

[0416] 图33表示 $N_{TxGroup}=4, N_{TxGroup_ANT}=4, N_{RxGroup}=4, N_{RxGroup_ANT}=4$,且使发送天线组及接收天线组所含的各天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图33中,式(11)的 $D_{TxGroupV}=5D_V$,式(12)的 $D_{RxGroupH}=5D_H$ 。

[0417] 在图33中,发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx3、Tx#

7、Tx#11、Tx#15) 相对于第一发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx#4、Tx#8、Tx#12、Tx#16) 分别向左方向错开 D_H 地配置。另外, 在图33中, 第三发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx2、Tx#6、Tx#10、Tx#14) 相对于第二发送天线组所含的各发送天线分别配置在水平方向上的相同的位置。另外, 在图33中, 第四发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx1、Tx#5、Tx#9、Tx#13) 相对于第三发送天线组所含的各发送天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0418] 另外, 在图33中, 接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#3、Rx#7、Rx#11、Rx#15) 相对于第一接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#4、Rx#8、Rx#12、Rx#16) 分别向左方向错开 D_H 地配置。另外, 在图33中, 第三接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#2、Rx#6、Rx#10、Rx#14) 相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向右方向错开 D_H 地配置。另外, 在图33中, 第四接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#1、Rx#5、Rx#9、Rx#13) 相对于第三接收天线组所含的各接收天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0419] 由此, 除了由基本配置1的变形例3获得的效果之外, 还可获得组合了基本配置1的变形例2中的配置方法1-2A与配置方法1-2B的效果。

[0420] <基本配置2>

[0421] 图34表示基本配置2的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0422] (1) 收发天线的配置

[0423] 在图34中, 发送阵列天线中的发送天线106的个数 $N_t = 4$ 个 (Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4), 接收阵列天线中的接收天线202的个数 $N_a = 4$ 个 (Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)。

[0424] 图34所示的发送阵列天线由“第一发送天线组” (图34中的Tx#2、Tx#4) 和“第二发送天线组” (图34中的Tx#1、Tx#3) 构成。各发送天线组分别包含2个发送天线元件, 这2个发送天线元件在垂直方向上的位置相同, 在水平方向 (图34中的横方向) 上的天线间隔为 $3D_H$ 。另外, “第一发送天线组”与“第二发送天线组”的垂直方向 (图34中的纵方向) 的间隔例如为 $3D_V$ 。

[0425] 另外, 图34所示的接收阵列天线由“第一接收天线组” (图34中的Rx#2、Rx#4) 和“第二接收天线组” (图34中的Rx#1、Rx#3) 构成。各接收天线组包含2个接收天线元件, 这2个接收天线元件在垂直方向上的位置相同, 在水平方向上的天线间隔为 $2D_H$ 。另外, “第一接收天线组”与“第二接收天线组”的垂直方向的间隔例如为 $2D_V$ 。

[0426] 这样, 在图34所示的收发天线配置中, 发送阵列天线由多个发送天线组构成, 多个发送天线组各自例如包含以 D_H 的整数倍的间隔 (此处为 $3D_H$) 沿着水平方向配置的多个发送天线。另外, 多个发送天线组以 $3D_V$ 的间隔在垂直方向上配置。换句话说, 发送天线组间的垂直方向的天线间隔 (在图34中为 $3D_V$) 与各发送天线组内的水平方向的天线间隔 (在图34中为 $3D_H$) 相同。

[0427] 另外, 在图34所示的收发天线配置中, 接收阵列天线由多个接收天线组构成, 多个接收天线组各自例如包含以 D_H 的整数倍的间隔 (此处为 $2D_H$) 的间隔沿着水平方向配置的多个接收天线。另外, 多个接收天线组以 $2D_V$ 的间隔在垂直方向上配置。换句话说, 各接收天线组内的水平方向的天线间隔 (在图34中为 $2D_H$) 与接收天线组间的垂直方向的天线间隔 (在图34中为 $2D_V$) 相同。

[0428] 另外, 在图34中, 发送天线106中的天线间隔 (在图34中为 $3D_H$) 与接收天线202中的

天线间隔(在图34中为 $2D_H$)不同,例如,差为 D_H 。另外,在图34中,配置多个发送天线组的间隔 $3D_V$ (D_V 的整数倍的间隔)与配置多个接收天线组的间隔 $2D_V$ (D_V 的整数倍的间隔)之差为 D_V 。

[0429] 例如,假设图34所示的水平方向(横方向)对应于X轴,图34所示的垂直方向(纵方向)对应于Y轴方向。

[0430] 在图34所示的天线配置的情况下,构成发送阵列天线的发送天线106的位置坐标以发送天线Tx#1的位置坐标($X_{T_#1}, Y_{T_#1}$)为基准,表示为发送天线Tx#2的位置坐标($X_{T_#2}, Y_{T_#2}$)= $(X_{T_#1}, Y_{T_#1}+3D_V)$ 、发送天线Tx#3的位置坐标($X_{T_#3}, Y_{T_#3}$)= $(X_{T_#1}+3D_H, Y_{T_#1})$ 、发送天线Tx#4的位置坐标($X_{T_#4}, Y_{T_#4}$)= $(X_{T_#1}+3D_H, Y_{T_#1}+3D_V)$ 。

[0431] 同样地,构成接收阵列天线的接收天线202的位置坐标以接收天线Rx#1的位置坐标($X_{R_#1}, Y_{R_#1}$)为基准,表示为接收天线Rx#2的位置坐标($X_{R_#2}, Y_{R_#2}$)= $(X_{R_#1}, Y_{R_#1}+2D_V)$ 、接收天线Rx#3的位置坐标($X_{R_#3}, Y_{R_#3}$)= $(X_{R_#1}+2D_H, Y_{R_#1})$ 、接收天线Rx#4的位置坐标($X_{R_#4}, Y_{R_#4}$)= $(X_{R_#1}+2D_H, Y_{R_#1}+2D_V)$ 。

[0432] (2) 虚拟接收阵列的配置

[0433] 根据上述图34所示的收发天线配置而构成的虚拟接收阵列(虚拟天线VA#1~虚拟天线VA#16)的配置具有如下所述的特征。

[0434] 例如,根据图34所示的发送阵列天线的配置及接收阵列天线的配置,虚拟接收阵列VA#1~虚拟接收阵列VA#16的位置坐标($X_{V_#1}, Y_{V_#1}$)~($X_{V_#16}, Y_{V_#16}$)分别如下所述。此外,此处,将VA#1表示为虚拟接收阵列的位置基准(0,0)。

[0435] (0,0)、(0, $3D_V$)、($3D_H$, 0)、($3D_H$, $3D_V$)、(0, $2D_V$)、(0, $5D_V$)、($3D_H$, $2D_V$)、($3D_H$, $5D_V$)、($2D_H$, 0)、($2D_H$, $3D_V$)、($5D_H$, 0)、($5D_H$, $3D_V$)、($2D_H$, $2D_V$)、($2D_H$, $5D_V$)、($5D_H$, $2D_V$)、($5D_H$, $5D_V$)

[0436] 这样,在图34所示的虚拟接收阵列的配置中,各虚拟接收阵列元件分别不重复地配置于不同的位置。因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以主瓣变窄,从而能够提高角度分辨率。

[0437] 另外,如图34所示,位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件VA#4、VA#7、VA#10及VA#13,沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置,并沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置。作为一例,在图34中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,虚拟阵列元件VA#4、VA#7、VA#10及VA#13,沿着水平方向以 $D_H=0.5\lambda$ 的间隔配置,并沿着垂直方向以 $D_V=0.5\lambda$ 的间隔配置。由此,与基本配置1(例如,参照图8)同样地,能够降低栅瓣。

[0438] 另外,例如,在图34所示的MIMO阵列配置中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 以上的尺寸。

[0439] 由此,例如,能够应用如图9A所示的天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$)作为图34所示的发送阵列天线和接收阵列天线中的至少一个阵列天线的各天线元件,该如图9A所示的天线使用纵横各排列2个元件的平面贴片天线而成的4个元件作为子阵列。

[0440] 在图34中,发送阵列天线的水平方向的天线间隔为 $3D_H$,垂直方向的天线间隔为 $3D_V$ 。即,图34所示的发送阵列天线的天线间隔($3D_H$ 及 $3D_V$)大于接收阵列天线的天线间隔($2D_H$ 及 $2D_V$)。另外,图34所示的发送阵列天线的水平方向的天线间隔($3D_H$)大于基本配置1中的发送阵列天线的水平方向的天线间隔(例如,在图8中为 $2D_H$)。

[0441] 由此,在图34所示的发送阵列天线中,例如能够应用如下天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 3D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 3D_V$),该天线的纵方向及横方向的间隔比图9A所示的4个元件的子阵列更大,且如图35所示地使用纵向排列3个元件的平面贴片天线且横向排列3个元件的平面贴片天线而成的9个元件作为子阵列。

[0442] 方向估计部214使用根据上述收发天线配置(例如,参照图34)获得的虚拟接收阵列的接收信号,进行水平方向及垂直方向的方向估计处理。例如,图34所示的基本配置2的虚拟接收阵列的结构与基本配置1(例如,参照图8)的虚拟接收阵列相同,因此,能够获得相同的性能。

[0443] 如上所述,通过使用图34所示的MIMO阵列配置,即使用作发送阵列天线及接收阵列天线的天线的纵方向或横方向的元件尺寸为 1λ 左右,也能够以包含达到 0.5λ 左右的元件间隔的方式,配置虚拟接收阵列中的水平方向及垂直方向的天线间隔,从而能够降低栅瓣。另外,例如,如图34所示,虚拟接收阵列的各虚拟阵列元件不重复地配置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0444] 另外,能够使用纵方向及横方向的元件尺寸为至少 1λ 左右的子阵列结构的天线作为用作发送天线106及接收天线202的天线元件。由此,能够提高天线的指向性增益,从而能够提高雷达装置10的探测性能(例如,探测距离)。

[0445] 另外,在基本配置2中,能够将发送阵列天线和接收阵列天线中的一个阵列天线(在图34中为发送阵列天线)的天线间隔设定得大于另一个阵列天线的天线间隔。由此,能够在一个阵列天线中应用尺寸更大的子阵列,从而能够提高天线的指向性增益。

[0446] <基本配置2的变形例1>

[0447] 在基本配置2(例如,图34)中,对将发送天线106的数量设为4个元件($N_t = 4$),并将接收天线202的数量设为4个元件($N_a = 4$)的情况进行了说明。但是,发送天线数 N_t 及接收天线数 N_a 并不限定于这些数量。

[0448] 在基本配置2的变形例1中,发送阵列天线与基本配置2(例如,图34)同样地,例如由垂直方向的间隔为 $3D_V$ 的第一发送天线组和第二发送天线组构成。另外,各发送天线组与基本配置2同样地包含2个发送天线元件,这2个发送天线元件在垂直方向上的位置相同,在水平方向上的天线间隔为 $3D_H$ 。

[0449] 另外,在基本配置2的变形例1中,接收阵列天线与基本配置2同样地,例如由垂直方向的间隔为 $2D_V$ 的 $N_{RxGroup}$ 个接收天线组(例如,第1 $_{RxGroup}$ 至第 $N_{RxGroup}$ 的接收天线组)构成。另外,各接收天线组包含 $N_{RxGroup_ANT}$ 个接收天线元件,这 $N_{RxGroup_ANT}$ 个接收天线元件在垂直方向上的位置相同,在水平方向上的天线间隔为 $2D_H$ 。

[0450] 在基本配置2的变形例1中,可采用根据 $N_{RxGroup}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 的值而增加MIMO阵列的天线数(例如,接收天线数 N_a)的配置。

[0451] 图36表示 $N_{RxGroup} = 3$ 、 $N_{RxGroup_ANT} = 2$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0452] 图37表示 $N_{RxGroup} = 2$ 、 $N_{RxGroup_ANT} = 3$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0453] 图38表示 $N_{RxGroup} = 3$ 、 $N_{RxGroup_ANT} = 4$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0454] 此外,在图36、图37及图38中, $N_{TxGroup}=2$, $N_{TxGroup_ANT}=2$ 。

[0455] 在图36、图37及图38所示的各MIMO阵列配置中,例如将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0456] 另外,例如,在图36、图37及图38所示的各虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0457] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图36、图37及图38所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{RxGroup}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 而增加。

[0458] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $(N_{RxGroup_ANT} \times N_{TxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0459] 另外, $N_{RxGroup_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{RxGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0460] <基本配置2的变形例2>

[0461] 以下,分别说明基本配置2的变形例2中的天线配置方法2-2A及天线配置方法2-2B。

[0462] (配置方法2-2A)

[0463] 在基本配置2的变形例1中说明了如下情况,即,通过增加接收阵列天线所含的接收天线组的数量 $N_{RxGroup}$,增大沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数。此处,只要满足 $N_{RxGroup} \geq 3$,通过增加发送阵列天线中的发送天线组的数量 $N_{TxGroup}$,也能够增大虚拟接收阵列中的沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数。

[0464] 在此情况下,虽然可以将发送天线组的垂直方向的天线间隔例如设为固定的值(例如, $3D_V$),但是依赖于接收天线组的数量 $N_{RxGroup}$,虚拟接收阵列配置会成为虚拟阵列元件重复的配置。

[0465] 因此,为了以虚拟接收阵列配置中不包含重复的虚拟阵列元件的方式进行配置,例如,可以使用如下所述的间隔 $D_{TxGroupV2}$ 作为发送天线组的垂直方向的天线间隔中的第偶数个天线间隔。

$$[0466] \quad D_{TxGroupV2} = D_V (2N_{RxGroup} - 3) \quad (13)$$

[0467] 例如,在 $N_{RxGroup} = 3$ 的情况下, $D_{TxGroupV2} = 3D_V$,在 $N_{RxGroup} = 4$ 的情况下, $D_{TxGroupV2} = 5D_V$ 。

[0468] 例如,在发送天线组的数量 $N_{TxGroup} = 3$ 的情况下,将3个发送天线组的间隔设为 $\{3D_V, D_{TxGroupV2}\}$ 。另外,在发送天线组的数量 $N_{TxGroup} = 4$ 的情况下,将4个发送天线组的间隔设为 $\{3D_V, D_{TxGroupV2}, 3D_V\}$ 。另外,在发送天线组的数量 $N_{RxGroup_ANT} = 5$ 的情况下,将5个发送天线组的间隔设为 $\{3D_V, D_{TxGroupV2}, 3D_V, D_{TxGroupV2}\}$ 。

[0469] 图39表示 $N_{\text{TxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=3$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图39中,式(13)的 $D_{\text{TxGroupV2}}=3D_V$ 。

[0470] 另外,图40表示 $N_{\text{TxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=2$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图40中,式(13)的 $D_{\text{TxGroupV2}}=5D_V$ 。

[0471] 此外,在虚拟接收阵列的中心附近可包含不等间隔(例如,大于 D_H 及 D_V 的间隔)的配置的情况下, $D_{\text{TxGroupV2}}$ 也可以是比式(13)的值更大的值。

[0472] <配置方法2-2B>

[0473] 在基本配置2的变形例1中说明了如下情况,即,通过增加接收阵列天线的各接收天线组所含的接收天线数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}$,增大沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数。此处,只要满足 $N_{\text{RxGroup_ANT}} \geq 3$,通过增加发送阵列天线中的发送天线组所含的发送天线数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}$,也能够增大虚拟接收阵列中的沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数。

[0474] 在此情况下,虽然也可以将接收天线组的水平方向的天线间隔例如设为固定的值(例如, $3D_H$),但是依赖于接收天线组所含的接收天线数 $N_{\text{RxGroup_ANT}}$,虚拟阵列配置会成为虚拟阵列元件重复的配置。

[0475] 因此,为了以虚拟接收阵列配置中不包含重复的虚拟阵列元件的放是进行配置,例如,可使用如下所述的间隔作为发送天线组所含的发送天线的水平方向的天线间隔中的第偶数个天线间隔。

[0476] $D_{\text{TxAntH}} = D_H (2N_{\text{RxGroup_ANT}} - 3)$ (14)

[0477] 例如,在 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=3$ 的情况下, $D_{\text{TxAntH}}=3D_H$,在 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=4$ 的情况下, $D_{\text{TxAntH}}=5D_H$ 。

[0478] 例如,在发送天线组所含的发送天线数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=3$ 的情况下,将3个发送天线的天线间隔设为 $\{3D_H, D_{\text{TxAntH}}\}$ 。另外,在发送天线数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 的情况下,将4个发送天线的天线间隔设为 $\{3D_H, D_{\text{TxAntH}}, 3D_H\}$ 。同样地,在发送天线数 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=5$ 的情况下,将5个发送天线的天线间隔设为 $\{3D_H, D_{\text{TxAntH}}, 3D_H, D_{\text{TxAntH}}\}$ 。

[0479] 图41表示 $N_{\text{TxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=3$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图41中,式(14)的 $D_{\text{TxAntH}}=3D_H$ 。

[0480] 图42表示 $N_{\text{TxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{TxGroup_ANT}}=4$ 、 $N_{\text{RxGroup}}=2$ 、 $N_{\text{RxGroup_ANT}}=4$ 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图41中,式(14)的 $D_{\text{TxAntH}}=5D_H$ 。

[0481] 此外,在虚拟接收阵列的中心附近可包含不等间隔(例如,大于 D_H 及 D_V 的间隔)的配置的情况下, D_{TxAntH} 也可以是比式(14)的值更大的值。

[0482] 以上,分别说明了基本配置2的变形例2中的配置方法2-2A及配置方法2-2B。

[0483] 例如,在图39~图42所示的收发天线配置(例如,MIMO阵列配置)中,将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0484] 另外,例如,在图39~图42所示的各虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复

地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0485] 另外,例如,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图39~图42所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 而增加。

[0486] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $(N_{RxGroup_ANT} \times N_{TxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0487] 另外, $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0488] 此外,在基本配置2的变形例2中,也可采用组合了配置方法2-2A与配置方法2-2B的配置。图43表示 $N_{TxGroup} = 4$ 、 $N_{TxGroup_ANT} = 4$ 、 $N_{RxGroup} = 4$ 、 $N_{RxGroup_ANT} = 4$ 的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图43中,式(13)的 $D_{TxGroupV2} = 5D_H$,式(14)的 $D_{TxAntH} = 5D_H$ 。由此,可获得组合了配置方法2-2A与配置方法2-2B的效果。

[0489] <基本配置2的变形例3>

[0490] 以下,分别说明基本配置2的变形例3中的天线配置方法2-3A、天线配置方法2-3B及天线配置方法2-3C。

[0491] (配置方法2-3A)

[0492] 在基本配置2中说明了如下情况,即,在发送阵列天线中,各发送天线组所含的发送天线的水平方向的位置相同。但是,不限于此,在各发送天线组之间,各发送天线组所含的发送天线的水平方向的配置位置也可以不同。

[0493] 例如,在发送阵列天线中,可以使水平方向的位置错开(换句话说,偏移) D_H 地配置第一发送天线组及第二发送天线组各自所含的各发送天线。

[0494] 沿着水平方向错开 D_H 的方向相对于第一发送天线组所含的各发送天线,也可以是第二发送天线组所含的各发送天线的右方向或左方向的任何方向。

[0495] 图44表示使发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4)分别向右方向错开 D_H 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0496] 在图44中,Tx#1与Tx#2的水平方向的位置相差 D_H 。另外,Tx#3与Tx#4的水平方向的位置相差 D_H 。

[0497] (配置方法2-3B)

[0498] 在基本配置2中说明了如下情况,即,在接收阵列天线中,各接收天线组所含的接收天线的水平方向的位置相同。但是,不限于此,在各接收天线组之间,各接收天线组所含的接收天线的水平方向的配置位置也可以不同。

[0499] 例如,在接收阵列天线中,可以使水平方向的位置错开 D_H 地配置第一接收天线组及第二天线组各自所含的各接收天线。

[0500] 沿着水平方向错开 D_H 的方向相对于第一接收天线组所含的各接收天线,也可以是第二接收天线组所含的各接收天线的右方向或左方向的任何方向。

[0501] 图45表示使接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#3)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#4)分别向左方向错开 D_H 的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0502] 在图45中,Rx#1与Rx#2的水平方向的位置相差 D_H 。另外,Rx#3与Rx#4的水平方向的位置相差 D_H 。

[0503] (配置方法2-3C)

[0504] 配置方法2-3C是组合了配置方法2-3A与配置方法2-3B的方法。

[0505] 例如,在发送阵列天线中的第一发送天线组与第二发送天线组之间,使水平方向的位置错开 D_H 地配置发送天线。同样地,在接收阵列天线中的第一接收天线组与第二接收天线组之间,使水平方向的位置错开 D_H 地配置接收天线。

[0506] 此外,沿着水平方向错开 D_H 的方向例如相对于第一发送天线组所含的各发送天线,也可以是第二发送天线组所含的各发送天线的右方向或左方向的任何方向。另外,沿着水平方向错开 D_H 的方向例如相对于第一接收天线组所含的各接收天线,也可以是第二接收天线组所含的各接收天线的右方向或左方向的任何方向。

[0507] 图46表示配置方法2-3C的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图46中,发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4)分别向右方向错开 D_H 地配置。另外,在图46中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#3)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#4)分别向右方向错开 D_H 地配置。

[0508] 图47表示配置方法2-3C的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图47中,发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#1、Tx#3)相对于第一发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx#2、Tx#4)分别向右方向错开 D_H 地配置。另外,在图47中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#1、Rx#3)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#2、Rx#4)分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0509] 例如,与在接收天线组和发送天线组中,将沿着水平方向错开 D_H 的方向设为不同方向的配置(例如,图47)相比,在接收天线组和发送天线组中,使沿着水平方向错开 D_H 的方向相同的配置(例如,图46)会在虚拟接收阵列配置的中心附近,更紧密地配置虚拟接收阵列元件,因此,更恰当。

[0510] 以上,分别说明了配置方法2-3A~配置方法2-3C。

[0511] 例如,在图45~图47所示的收发天线配置(例如,MIMO阵列配置)中,将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右的尺寸。

[0512] 由此,在基本配置1的变形例3中,例如,能够应用如图9A所示的使用纵横排列2个元件的平面贴片天线而成的4个元件作为子阵列的天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$)(未图示)。

[0513] 另外,在图45~图47所示的发送阵列天线中,例如能够应用如下天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 3D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 3D_V$),该天线的纵方向及横方向的间隔比图9A所示的4个元件的子阵列更大,且使用纵向排列3个元件的平面贴片天线且横向排列3个元件的平面贴片天线而成的9个元件作为子阵列。

[0514] 另外,在基本配置2的变形例3中,对于发送阵列天线和接收阵列天线中的至少一个阵列天线,各发送天线组所含的发送天线或各接收天线组所含的接收天线的水平方向的位置彼此不同。因此,在基本配置2的变形例3中,只要子阵列的横方向 W_{ANT} 的元件尺寸小于 D_H ,则子阵列的纵方向的元件尺寸可以是任意尺寸。例如,在图45~图47的各发送阵列天线中,也可使用图25A所示的纵向排列8个元件的平面贴片天线且横向排列1个元件的平面贴片天线而成的子阵列。

[0515] (变形例3与变形例1或变形例2的组合)

[0516] 此外,基本配置2的变形例3也可与基本配置2的变形例1或变形例2组合。

[0517] 例如,可设为如下配置,即,相对于基本配置2的变形例1或变形例2的发送阵列天线的配置,进一步在发送天线组之间,使发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置错开 D_H 。

[0518] 同样地,例如,可设为如下配置,即,相对于基本配置2的变形例1或变形例2的接收阵列天线的配置,进一步在接收天线组之间,使接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置错开 D_H 。

[0519] 图48、图49、图50A、图50B、图51A及图51B表示变形例3与变形例2的组合中的天线配置的一例。

[0520] 图48表示 $N_{TxGroup} = 4, N_{TxGroup_ANT} = 4, N_{RxGroup} = 4, N_{RxGroup_ANT} = 4$,且使发送天线组所含的各天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图48中,式(13)的 $D_{TxGroupV2} = 5D_H$,式(14)的 $D_{TxAntH} = 5D_H$ 。

[0521] 图49表示 $N_{TxGroup} = 4, N_{TxGroup_ANT} = 4, N_{RxGroup} = 4, N_{RxGroup_ANT} = 4$,且使接收天线组所含的各天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。在图49中,式(13)的 $D_{TxGroupV2} = 5D_H$,式(14)的 $D_{TxAntH} = 5D_H$ 。

[0522] 在图49中,接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx3、Rx#7、Rx#11、Rx#15)相对于第一接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx#4、Rx#8、Rx#12、Rx#16)分别向左方向错开 D_H 地配置。另外,在图49中,第三接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx2、Rx#6、Rx#10、Rx#14)相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向右方向错开 D_H 地配置。另外,在图49中,第四接收天线组所含的各接收天线(例如,Rx1、Rx#5、Rx#9、Rx#13)相对于第三接收天线组所含的各接收天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0523] 图50A表示 $N_{TxGroup} = 4, N_{TxGroup_ANT} = 4, N_{RxGroup} = 4, N_{RxGroup_ANT} = 4$,且使发送天线组及接收天线组所含的各天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例,图50B表示虚拟接收阵列的配置例。在图50A中,式(13)的 $D_{TxGroupV2} = 5D_H$,式(14)的 $D_{TxAntH} = 5D_H$ 。

[0524] 在图50A中,发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线(例如,Tx3、Tx#

7、Tx#11、Tx#15) 相对于第一发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx#4、Tx#8、Tx#12、Tx#16) 分别向左方向错开 D_H 地配置。另外, 在图50A中, 第三发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx2、Tx#6、Tx#10、Tx#14) 相对于第二发送天线组所含的各发送天线分别向左方向错开 D_H 地配置。另外, 在图50A中, 第四发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx1、Tx#5、Tx#9、Tx#13) 相对于第三发送天线组所含的各发送天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0525] 另外, 在图50A中, 接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#3、Rx#7、Rx#11、Rx#15) 相对于第一接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#4、Rx#8、Rx#12、Rx#16) 分别向右方向错开 D_H 地配置。另外, 在图50A中, 第三接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#2、Rx#6、Rx#10、Rx#14) 相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向右方向错开 D_H 地配置。另外, 在图50A中, 第四接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#1、Rx#5、Rx#9、Rx#13) 相对于第三接收天线组所含的各接收天线分别向右方向错开 D_H 地配置。

[0526] 图51A表示 $N_{TxGroup}=4, N_{TxGroup_ANT}=4, N_{RxGroup}=4, N_{RxGroup_ANT}=4$, 且使发送天线组及接收天线组所含的各天线的水平方向的位置错开了 D_H 的配置的情况下的发送天线106及接收天线202的配置例, 图51B表示虚拟接收阵列的配置例。在图50A中, 式(13)的 $D_{TxGroupV2}=5D_H$, 式(14)的 $D_{TxAntH}=5D_H$ 。

[0527] 在图51A中, 发送阵列天线中的第二发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx3、Tx#7、Tx#11、Tx#15) 相对于第一发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx#4、Tx#8、Tx#12、Tx#16) 分别向左方向错开 D_H 地配置。另外, 在图51A中, 第三发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx2、Tx#6、Tx#10、Tx#14) 相对于第一发送天线组所含的各发送天线分别向右方向错开 D_H 地配置。另外, 在图51A中, 第四发送天线组所含的各发送天线 (例如, Tx1、Tx#5、Tx#9、Tx#13) 相对于第三发送天线组所含的各发送天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0528] 另外, 在图51A中, 接收阵列天线中的第二接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#3、Rx#7、Rx#11、Rx#15) 相对于第一接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#4、Rx#8、Rx#12、Rx#16) 分别向左方向错开 D_H 地配置。另外, 在图51A中, 第三接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#2、Rx#6、Rx#10、Rx#14) 相对于第二接收天线组所含的各接收天线分别向右方向错开 D_H 地配置。另外, 在图51A中, 第四接收天线组所含的各接收天线 (例如, Rx#1、Rx#5、Rx#9、Rx#13) 相对于第三接收天线组所含的各接收天线分别向左方向错开 D_H 地配置。

[0529] 例如, 在图48、图49、图50A及图51A所示的各MIMO阵列配置中, 将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右, 由此, 能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 以上的尺寸。

[0530] 另外, 例如, 在图48、图49、图50B及图51B所示的各虚拟接收阵列中, 各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置, 因此, 能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度, 从而能够提高角度分辨率。

[0531] 此外, 在发送天线组的数量 $N_{TxGroup}$ 为3以上的情况下, 可以使各发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置向固定方向 (右方向或左方向) 错开地进行配置, 也可以按发送天线组, 改变使各发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置向右方向或左方向错开的方向。同样地, 在接收天线组的数量 $N_{RxGroup}$ 为3以上的情况下, 可以使各接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置向固定方向 (右方向或左方向) 错开地进行配置, 也可以按接收天线组, 改变使各接收天线组所含的各接收天线的水平方向的位置向右方向或左方

向错开的方向。

[0532] 在任何天线配置中,均能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数例如会依赖于 $N_{TxGroup}$ 、 $N_{TxGroup_ANT}$ 、 $N_{RxGroup}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 而增加。

[0533] 例如,在水平方向上, $(N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0534] 另外, $N_{TxGroup_ANT}$ 及 $N_{RxGroup_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{TxGroup}$ 、 $N_{RxGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0535] <基本配置3>

[0536] 图52A~图52D表示基本配置3的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0537] (1)收发天线的配置

[0538] 在图52A~图52D中,发送阵列天线中的发送天线106的个数 $N_t = 4$ 个(Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4),接收阵列天线中的接收天线202的个数 $N_a = 4$ 个(Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)。

[0539] 图52A~图52D所示的发送阵列天线由“第一发送天线组”(图52A~图52D中的Tx#2、Tx#4)和“第二发送天线组”(图52A~图52D中的Tx#1、Tx#3)构成。各发送天线组分别包含2个发送天线元件,这2个发送天线元件在垂直方向上的位置相同,在水平方向(图52A~图52D中的横方向)上的天线间隔为 $2D_H$ 。另外,“第一发送天线组”与“第二发送天线组”的垂直方向(图52A~图52D中的纵方向)的间隔例如为 $2D_V$ 。

[0540] 另外,在图52A~图52D中,第一发送天线组与第二发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置是错开了 D_H 的彼此不同的位置。例如,第二发送天线组所含的各发送天线的水平方向的位置是使第一发送天线组所含的发送天线的水平位置错开了 $+D_H$ 的配置或错开了 $-D_H$ 的配置。

[0541] 另外,图52A~图52D所示的接收阵列天线由“第一接收天线组”(图52A~图52D中的Rx#1、Rx#2)和“第二接收天线组”(图52A~图52D中的Rx#3、Rx#4)构成。各接收天线组分别包含2个接收天线元件,这2个接收天线元件在水平方向上的位置相同,在垂直方向上的天线间隔为 $2D_V$ 。另外,“第一接收天线组”与“第二接收天线组”的水平方向的间隔例如为 $2D_H$ 。

[0542] 另外,在图52A~图52D中,第一接收天线组与第二接收天线组所含的各接收天线的垂直方向的位置是错开了 D_V 的彼此不同的位置。例如,第二接收天线组所含的各接收天线的垂直方向的位置是使第一接收天线组所含的接收天线的垂直位置错开了 $+D_V$ 的配置或错开了 $-D_V$ 的配置。

[0543] 例如,在图52A及图52C所示的收发天线配置中,发送阵列天线所含的发送天线的各自的配置位置、与接收阵列天线所含的接收天线的各自的配置位置处于如下关系,即,在由水平方向及垂直方向构成的二维平面内,例如旋转了 $+90^\circ$ 或 -90° 。

[0544] 另外,在图52B及图52D所示的收发天线配置中,发送阵列天线所含的发送天线的各自的配置位置、与接收阵列天线所含的接收天线的各自的配置位置处于如下关系,即,在由水平方向及垂直方向构成的二维平面内,例如旋转了 $+90^\circ$ 或 -90° 且反转。

[0545] 此外,第二发送天线组相对于第一发送天线组的水平方向的错开量 ΔH_{Tx} 的两种组合 $(+D_H, -D_H)$ 、以及第二接收天线组相对于第一接收天线组的垂直方向的错开量 ΔV_{Rx} 的两种组合 $(+D_V, -D_V)$ 也可以是任何组合。此处,例如,在图52A~图52D中, $+D_H$ 方向设为右方向, $-D_H$ 设为左方向。另外,在图52A~图52D中, $+D_V$ 方向设为上方向, $-D_V$ 设为下方向。

[0546] 例如,也可以是四种组合结构 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ 、 $(-D_H, +D_V)$ 、 $(-D_H, -D_V)$ 中的任何组合。作为一例,图52A~图52D分别表示 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ 、 $(-D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置及虚拟接收阵列的配置。

[0547] 根据图52A~图52D所示的各天线组错开量的情况下的MIMO阵列配置而获得的虚拟接收阵列配置分别成为具有旋转对称性的配置,从而可获得相同测角性能的特性。

[0548] 例如,假设图52A所示的水平方向(横方向)对应于X轴,图52A所示的垂直方向(纵方向)对应于Y轴方向。

[0549] 例如,在图52A所示的天线配置的情况下,构成发送阵列天线的发送天线106的位置坐标以发送天线Tx#1的位置坐标 $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ 为基准,表示为发送天线Tx#2的位置坐标 $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1} + D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ 、发送天线Tx#3的位置坐标 $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1})$ 、发送天线Tx#4的位置坐标 $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 3D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ 。

[0550] 同样地,构成接收阵列天线的接收天线202的位置坐标以接收天线Rx#1的位置坐标 $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ 为基准,表示为接收天线Rx#2的位置坐标 $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1}, Y_{R_#1} + 2D_V)$ 、接收天线Rx#3的位置坐标 $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} - D_V)$ 、接收天线Rx#4的位置坐标 $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ 。

[0551] (2) 虚拟接收阵列的配置

[0552] 根据上述图52A~图52D所示的收发天线配置而构成的虚拟接收阵列(虚拟天线VA#1~虚拟天线VA#16)的配置具有如下所述的特征。

[0553] 例如,根据图52A所示的发送阵列天线的配置及接收阵列天线的配置,虚拟接收阵列VA#1~虚拟接收阵列VA#16的位置坐标 $(X_{V_#1}, Y_{V_#1}) \sim (X_{V_#16}, Y_{V_#16})$ 分别如下所述。此外,此处,将VA#1表示为虚拟接收阵列的位置基准 $(0, 0)$ 。

[0554] $(0, 0)$ 、 $(D_H, 2D_V)$ 、 $(2D_H, 0)$ 、 $(3D_H, 2D_V)$ 、 $(0, 2D_V)$ 、 $(D_H, 4D_V)$ 、 $(2D_H, 2D_V)$ 、 $(3D_H, 4D_V)$ 、 $(2D_H, -D_V)$ 、 $(3D_H, D_V)$ 、 $(4D_H, -D_V)$ 、 $(5D_H, D_V)$ 、 $(2D_H, D_V)$ 、 $(3D_H, 3D_V)$ 、 $(4D_H, D_V)$ 、 $(5D_H, 3D_V)$

[0555] 这样,在图52A~图52D所示的虚拟接收阵列的配置中,各虚拟接收阵列元件分别不重复地配置于不同的位置。因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以主瓣变窄,从而能够提高角度分辨率。

[0556] 另外,位于图52A~图52D所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件VA#4、VA#7、VA#10及VA#13沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置,并沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置。作为一例,在图52A~图52D中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件沿着水平方向以 $D_H = 0.5\lambda$ 的间隔配置,并沿着垂直方向以 $D_V = 0.5\lambda$ 的间隔配置。由此,与基本配置1(例如,参照图8)同样地,能够降低栅瓣。

[0557] 另外,例如,在图52A~图52D所示的MIMO阵列配置中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ

左右的情况下,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 以上的尺寸。

[0558] 由此,例如,能够应用如图9A所示的天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$)作为图52A~图52D所示的发送阵列天线和接收阵列天线中的至少一个阵列天线的各天线,该如图9A所示的天线使用纵横各排列2个元件的平面贴片天线而成的4个元件作为子阵列。

[0559] 此外,第一发送天线组所含的发送天线数(以下,表示为“ $N_{TxHGroup1_ANT}$ ”)、与第二发送天线组所含的发送天线数(以下,表示为“ $N_{TxHGroup2_ANT}$ ”)可以是相同数量,或者相差一个天线。例如, $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 0$ 或 1。

[0560] 同样地,第一接收天线组所含的接收天线数(以下,表示为“ $N_{RxVGroup1_ANT}$ ”)、与第二接收天线组所含的接收天线数(以下,表示为“ $N_{RxVGroup2_ANT}$ ”)可以是相同数量,或者相差一个天线。例如, $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 0$ 或 1。

[0561] 图53A~图53D表示如下结构例,该结构例的第一发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 与第二发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 相差一个天线,且第一接收天线组所含的接收天线的数量 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 和与第二接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ 为相同数量的情况下的MIMO阵列天线数最小。

[0562] 如图53A~图53D所示, $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 1$ 且 $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 0$ 的情况下的MIMO阵列天线数最小的结构是发送天线数为3,接收天线数为4 ($N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = 2$) 的结构,例如存在图53A~图53D的四个模式。

[0563] 图53A表示 $N_{TxHGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2)、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1、Tx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0564] 图53B表示 $N_{TxHGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2)、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1、Tx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0565] 图53C表示 $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2、Tx#3)、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0566] 图53D表示 $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2、Tx#3)、 $N_{TxHGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0567] 图54A~图54D表示如下结构例,该结构例的第一发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 与第二发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 为相同数量,且第一接收天线组所含的接收天线的数量 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 与第二接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ 相差一个天线的情况下的MIMO阵列天线数最小。

[0568] 如图54A~图54D所示, $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 0$ 且 $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 1$ 的情况下的MIMO阵列天线数最小的结构是发送天线数为4 ($N_{TxVGroup1_ANT} = N_{TxVGroup2_ANT} = 2$),接收天线数为3的结构,例如存在图54A~图54D的四个模式。

[0569] 图54A表示 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#2、Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0570] 图54B表示 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#2、Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0571] 图54C表示 $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#1、Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-$

$D_H, -D_V$) 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0572] 图54D表示 $N_{RxHGroup1_ANT}=2$ (Rx#1、Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT}=1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0573] 图55A~图55D表示如下结构例,该结构例的第一发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 与第二发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 相差一个天线,且第一接收天线组所含的接收天线的数量 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 与第二接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ 相差一个天线的情况下的MIMO阵列天线数最小。

[0574] 如图55A~图55D所示, $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 1$ 且 $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 1$ 的情况下的MIMO阵列天线数最小的结构是发送天线数为3,接收天线数为3的结构,例如存在图55A~图55D的四个模式。

[0575] 图55A表示 $N_{TxVGroup1_ANT}=1$ (Tx#2)、 $N_{TxVGroup2_ANT}=2$ (Tx#1、Tx#3)、 $N_{RxHGroup1_ANT}=2$ (Rx#1、Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT}=1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0576] 图55B表示 $N_{TxVGroup1_ANT}=1$ (Tx#2)、 $N_{TxVGroup2_ANT}=2$ (Tx#1、Tx#3)、 $N_{RxHGroup1_ANT}=1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT}=2$ (Rx#2、Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0577] 图55C表示 $N_{TxVGroup1_ANT}=2$ (Tx#2、Tx#3)、 $N_{TxVGroup2_ANT}=1$ (Tx#1)、 $N_{RxHGroup1_ANT}=2$ (Rx#1、Rx#2)、 $N_{RxHGroup2_ANT}=1$ (Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0578] 图55D表示 $N_{TxVGroup1_ANT}=2$ (Tx#2、Tx#3)、 $N_{TxVGroup2_ANT}=1$ (Tx#1)、 $N_{RxHGroup1_ANT}=1$ (Rx#1)、 $N_{RxHGroup2_ANT}=2$ (Rx#2、Rx#3)、 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0579] 例如,在图55A~图55D中,发送阵列天线包含3个发送天线,接收阵列天线包含3个接收天线。

[0580] 另外,3个发送天线中的2个发送天线(例如,一个发送天线组所含的发送天线)例如在水平方向上隔开 $2D_H$ (换句话说, D_H 的2倍的间隔)地配置。另外,3个发送天线中的剩余的一个发送天线例如以在水平方向上的与上述2个发送天线中的每一个的间隔均为 D_H 间隔的方式配置(换句话说,配置于中间位置),且以在垂直方向上的与上述2个发送天线中的每一个的间隔为 $2D_V$ 间隔(换句话说, D_V 的2倍的间隔)的方式配置。

[0581] 同样地,3个接收天线中的2个接收天线(例如,一个接收天线组所含的接收天线)例如在垂直方向上隔开 $2D_V$ (换句话说, D_V 的2倍的间隔)地配置。另外,3个接收天线中的剩余的一个接收天线例如以在垂直方向上的与上述2个接收天线中的每一个的间隔均为 D_V 间隔的方式配置(换句话说,配置于中间位置),且以在水平方向上的与上述2个接收天线中的每一个的间隔为 $2D_H$ 间隔(换句话说, D_H 的2倍的间隔)的方式配置。

[0582] 换句话说,在图55A~图55D中,3个发送天线的各自的配置位置与3个接收天线的各自的配置位置处于如下关系,即,在由水平方向(例如,X轴)及垂直方向(例如,Y轴)构成的二维平面内旋转对称。例如,在图52A~图52D中,发送阵列天线和接收阵列天线处于旋转了 ± 90 度的关系。

[0583] 此外,在基本配置3及基本配置3的各变形例的收发天线配置中,至少包含具有上

述3个发送天线或3个接收天线的配置关系的天线配置。

[0584] 图52A~图52D、图53A~图53D、图54A~图54D及图55A~图55D所示的虚拟接收阵列的各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0585] 另外,位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置。作为一例,在图52A~图52D、图53A~图53D、图54A~图54D及图55A~图55D中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件沿着水平方向以 $D_H=0.5\lambda$ 的间隔配置,并沿着垂直方向以 $D_V=0.5\lambda$ 的间隔配置。由此,能够降低栅瓣。

[0586] 另外,例如,在基本配置3的MIMO阵列配置中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0587] 由此,例如,能够应用如图9A所示的天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$)作为图52A~图52D、图53A~图53D、图54A~图54D及图55A~图55D所示的发送阵列天线和接收阵列天线中的至少一个阵列天线的各天线元件,该如图9A所示的天线使用纵横各排列2个元件的平面贴片天线而成的4个元件作为子阵列。

[0588] 另外,在发送天线106的情况下,只要横方向 W_{ANT} 的元件尺寸小于 D_H ,则能够使用纵方向为任意尺寸的天线。

[0589] 例如,图56A表示对图52A所示的天线配置应用了图25A所示的纵向排列8个元件的平面贴片天线且横向排列1个元件的平面贴片天线而成的子阵列的情况下的例子。此外,如图56B所示,除了图56A所示的发送阵列天线之外,还可配置无供电元件(虚设元件)。利用无供电元件,能够在各天线之间,使由相邻的天线引起的天线间耦合的影响均一化,从而能够使各发送天线(Tx#1~Tx#4)的指向特性均一化。

[0590] 这样,通过在基本配置3的天线配置中使用子阵列结构的天线,能够提高天线的指向性增益,从而能够提高雷达装置10的探测性能(例如,探测距离)。

[0591] 方向估计部214使用根据上述收发天线配置获得的虚拟接收阵列的接收信号,进行水平方向及垂直方向的方向估计处理。此外,方向估计部214中的对于基本配置3的虚拟接收阵列的处理与基本配置1相同,因此,此处省略其说明。

[0592] 图57表示例如在如图52A所示地使用了发送天线106的数量 $N_t=4$ 及接收天线202的数量 $N_r=4$ 的MIMO阵列配置($D_H=0.5\lambda$, $D_V=0.5\lambda$)的情况下,使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。即,在图57中,发送天线106的水平方向及垂直方向的天线间隔为 1λ 以上,接收天线202的水平方向及垂直方向的天线间隔也为 1λ 以上。此外,将各天线的指向性设为无指向性,进行了计算。

[0593] 在图57中,标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的、水平方向 ± 90 度范围及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。

[0594] 在图57中,能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,例如与图1A相比,降低了栅瓣。例如,在图57中,水平0度、垂直0度以外的方向的除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比(PSLR)为0.3左右。

[0595] 如上所述,通过使用基本配置3的MIMO阵列配置,即使用作发送阵列天线及接收阵列天线的天线的纵方向或横方向的元件尺寸为 1λ 左右,也能够以包含达到 0.5λ 左右的元件

间隔的方式,配置虚拟接收阵列中的水平方向及垂直方向的天线间隔,从而能够降低栅瓣。另外,例如,图52A所示的虚拟接收阵列的各虚拟阵列元件不重复地配置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0596] <基本配置3的变形例1>

[0597] 在基本配置3中,对如下结构进行了说明,即,发送天线106的数量及接收天线202的数量为发送4个元件($N_t=4$)及接收4个元件($N_a=4$)的结构(例如,图52A~图52D)、发送3个元件($N_t=3$)及接收4个元件($N_a=4$)的结构(例如,图53A~图53D)、发送4个元件($N_t=4$)及接收3个元件($N_a=3$)的结构(例如,图54A~图54D)、以及作为最小结构的发送3个元件($N_t=3$)及接收3个元件($N_a=3$)的结构(例如,图55A~图55D)。但是,发送天线数 N_t 及接收天线数 N_a 并不限于这些数量。

[0598] 在基本配置3的变形例1中,说明相对于基本配置3而增加了MIMO阵列的天线数的配置。

[0599] 例如,可增加发送阵列天线中的第一发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、以及第二发送天线组所含的天线数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 。另外,可增加接收阵列天线中的第一接收天线组所含的天线的数量 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、以及第二接收垂直方向天线组所含的天线数 $N_{RxVGroup2_ANT}$ 。

[0600] 图58表示 $N_{TxHGroup1_ANT}=2(Tx\#2, Tx\#4)$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}=2(Tx\#1, Tx\#3)$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3(Rx\#1, Rx\#2, Rx\#3)$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}=3(Rx\#4, Rx\#5, Rx\#6)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。此外,在图58中,虽然表示了 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(-D_H, -D_V)$ 的情况,但是也可以设为 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(-D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ 、 $(+D_H, +D_V)$ 。

[0601] 图59表示 $N_{TxHGroup1_ANT}=2(Tx\#2, Tx\#4)$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}=2(Tx\#1, Tx\#3)$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3(Rx\#1, Rx\#2, Rx\#3)$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}=2(Rx\#4, Rx\#5)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。此外,在图59中,虽然表示了 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(-D_H, -D_V)$ 的情况,但是也可以设为 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(+D_H, -D_V)$ 。

[0602] 图60表示 $N_{TxHGroup1_ANT}=4(Tx\#2, Tx\#4, Tx\#6, Tx\#8)$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}=4(Tx\#1, Tx\#3, Tx\#5, Tx\#7)$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3(Rx\#1, Rx\#2, Rx\#3)$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}=3(Rx\#4, Rx\#5, Rx\#6)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。此外,在图60中,虽然表示了 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(-D_H, -D_V)$ 的情况,但是也可以设为 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(-D_H, +D_V)$ 、 $(+D_H, -D_V)$ 、 $(+D_H, +D_V)$ 。

[0603] 图61表示 $N_{TxHGroup1_ANT}=3(Tx\#2, Tx\#4, Tx\#6)$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}=4(Tx\#1, Tx\#3, Tx\#5, Tx\#7)$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}=3(Rx\#1, Rx\#2, Rx\#3)$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}=3(Rx\#4, Rx\#5, Rx\#6)$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。此外,在图61中,虽然表示了 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(-D_H, -D_V)$ 的情况,但是也可以设为 $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx})=(-D_H, +D_V)$ 。

[0604] 在图58~图61所示的各MIMO阵列配置中,例如将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0605] 另外,例如,在图58~图61所示的各虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0606] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图58~图61所示的各虚拟接收阵列的中

心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 及 $N_{RxVGroup2_ANT}$ 而增加。

[0607] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $(N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT})$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT})$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。另外,在虚拟接收阵列中,水平方向上的 $(N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) - 2$ 个 D_H 间隔的虚拟阵列元件、和垂直方向上的 $(N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) - 2$ 个 D_V 间隔的虚拟阵列元件呈纵横的矩形状地排列。

[0608] 在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0609] 另外, $N_{TxGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxGroup2_ANT}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地, $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0610] 图62表示例如在如图60所示地使用了发送天线106的数量 $N_t = 8$ 及接收天线202的数量 $N_a = 6$ 的MIMO阵列配置 ($N_{TxGroup1_ANT} = 4$, $N_{TxGroup2_ANT} = 4$, $N_{RxGroup1_ANT} = 3$, $N_{RxGroup2_ANT} = 3$, $D_H = 0.5\lambda$, $D_V = 0.5\lambda$) 的情况下,使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。此外,将各天线的指向性设为无指向性,进行了计算。

[0611] 在图62中,标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的水平方向 ± 90 度范围、以及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。

[0612] 在图62中,能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,降低了栅瓣降低。例如,在图62中,能够确认除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比 (PSLR) 为0.13左右,例如与图52A相比,通过增加 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 以及 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$,降低旁瓣的效果提高。另外,在图62中,能够确认与图57相比,主瓣的波峰也变尖,通过增加 $N_{TxHGroup1_ANT}$ 、 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 及 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$,角度分辨率提高。

[0613] <基本配置3的变形例2>

[0614] 以下,分别说明基本配置3的变形例2中的天线配置方法3-2A及天线配置方法3-2B。

[0615] (配置方法3-2A)

[0616] 在基本配置3的变形例1中说明了如下情况,即,通过增加接收阵列天线的接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$,增大沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数。不限于此,例如,通过增加发送阵列天线中的发送天线组的数量 $N_{TxGroup}$,也能够增大虚拟接收阵列中的沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数。

[0617] 在此情况下,虽然可以将发送天线组的垂直方向的天线间隔例如设为固定的值(例如, $2D_V$),但是依赖于接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxVGroup1_ANT}$ 、 $N_{RxVGroup2_ANT}$,虚拟接收阵列配置会成为虚拟阵列元件重复的配置。

[0618] 因此,为了以虚拟接收阵列配置中不包含重复的虚拟阵列元件的方式进行配置,例如,可以使用如下所述的间隔 $D_{TxHGroupV}$ 作为发送天线组的垂直方向的天线间隔中的第偶

数个天线间隔。

$$[0619] \quad D_{\text{TxHGroupV}} = D_V (N_{\text{RxVGroup1_ANT}} + N_{\text{RxVGroup2_ANT}} - 2) \quad (15)$$

[0620] 例如,在 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}} = N_{\text{RxVGroup2_ANT}} = 2$ 的情况下 $D_{\text{TxHGroupV}} = 2D_V$,在 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}} = N_{\text{RxVGroup2_ANT}} = 3$ 的情况下 $D_{\text{TxHGroupV}} = 4D_V$ 。

[0621] 例如,在发送天线组的数量 $N_{\text{TxHGroup}} = 3$ 的情况下,将3个发送天线组的间隔设为 $\{2D_V, D_{\text{TxHGroupV}}\}$ 。另外,在发送天线组的数量 $N_{\text{TxHGroup}} = 4$ 的情况下,将4个发送天线组的间隔设为 $\{2D_V, D_{\text{TxHGroupV}}, 2D_V\}$ 。同样地,在 $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 5$ 的情况下,将5个发送天线组的间隔设为 $\{2D_V, D_{\text{TxHGroupV}}, 2D_V, D_{\text{TxHGroupV}}\}$ 。

[0622] 图63表示 $N_{\text{RxVGroup}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup}} = 4$ 、 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup2_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup3_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup4_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup2_ANT}} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。此外,“ $N_{\text{TxHGroup3_ANT}}$ ”表示第3个发送天线组所含的发送天线数,“ $N_{\text{TxHGroup4_ANT}}$ ”表示第4个发送天线组所含的发送天线数。在图63中,式(15)的 $D_{\text{TxHGroupV}} = 2D_V$ 。

[0623] 此外,在图63中,表示第二接收天线组(Rx#3、Rx#4)相对于第一接收天线组(Rx#1、Rx#2)的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}$ 为 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)} = -D_V$ 的情况,但是也可以设为 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)} = +D_V$ 。

[0624] 另外,在图63中,将第二发送天线组(Tx#3、Tx#7)相对于第一发送天线组(Tx#4、Tx#8)的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)}$ 设为 $-D_H$,将第三发送天线组(Tx#2、Tx#6)相对于第二发送天线组的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(3,2)}$ 设为 $+D_H$,并将第四发送天线组(Tx#1、Tx#5)相对于第三发送天线组的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(4,3)}$ 设为 $-D_H$ 。但是,各错开量也可以是两种($+D_V$, $-D_V$)的任何组合。此外,在图63中,将 $+D_V$ 方向设为上方向,将 $-D_V$ 设为下方向,将 $+D_H$ 方向设为右方向,将 $-D_H$ 设为左方向。

[0625] 另外,图64表示 $N_{\text{RxVGroup}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup}} = 4$ 、 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup2_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup3_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup4_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}} = 3$ 、 $N_{\text{RxVGroup2_ANT}} = 3$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图64中,式(15)的 $D_{\text{TxHGroupV}} = 4D_V$ 。

[0626] 此外,在图64中,表示第二接收天线组(Rx#4、Rx#5、Rx#6)相对于第一接收天线组(Rx#1、Rx#2、Rx#3)的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}$ 为 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)} = -D_V$ 的情况,但也可设为 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)} = +D_V$ 。

[0627] 另外,在图64中,将第二发送天线组(Tx#3、Tx#7)相对于第一发送天线组(Tx#4、Tx#8)的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)}$ 设为 $-D_H$,将第三发送天线组(Tx#2、Tx#6)相对于第二发送天线组的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(3,2)}$ 设为 $+D_H$,将第四发送天线组(Tx#1、Tx#5)相对于第三发送天线组的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(4,3)}$ 设为 $-D_H$ 。但是,各错开量也可以是两种($+D_V$, $-D_V$)的任何组合。此外,在图64中,将 $+D_V$ 方向设为上方向,将 $-D_V$ 设为下方向,将 $+D_H$ 方向设为右方向,将 $-D_H$ 设为左方向。

[0628] 此外,在虚拟接收阵列的中心附近可包含不等间隔(例如,大于 D_H 及 D_V 的间隔)的配置的情况下, $D_{\text{TxHGroupV}}$ 也可以是比式(15)的值更大的值。

[0629] (配置方法3-2B)

[0630] 在基本配置3的变形例1中说明了如下情况,即,通过增加发送阵列天线的各发送天线组所含的发送天线数 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}}$ 、 $N_{\text{TxHGroup2_ANT}}$,增大沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数。不限于此,例如,通过增加接收阵列天线中的接收天线组的数量 N_{RxVGroup} ,也能够增大虚拟接收阵列中的沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数。

[0631] 在此情况下,虽然可以将接收天线组的水平方向的天线间隔例如设为固定的值(例如, $2D_H$),但是依赖于发送天线组所含的发送天线数 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}}$ 、 $N_{\text{TxHGroup2_ANT}}$,虚拟接收阵列配置会成为虚拟阵列元件重复的配置。

[0632] 因此,为了以虚拟接收阵列配置中不包含重复的虚拟阵列元件的方式进行配置,例如,可以使用如下所述的间隔 $D_{\text{RxVGroupH}}$ 作为接收天线组的水平方向的间隔中的第偶数个间隔。

$$D_{\text{RxVGroupH}} = D_H (N_{\text{TxHGroup1_ANT}} + N_{\text{TxHGroup2_ANT}} - 2) \quad (16)$$

[0634] 例如,在 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}} = N_{\text{TxHGroup2_ANT}} = 2$ 的情况下 $D_{\text{RxVGroupH}} = 2D_H$,在 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}} = N_{\text{TxHGroup2_ANT}} = 3$ 的情况下 $D_{\text{RxVGroupH}} = 4D_H$ 。

[0635] 例如,在接收天线组的数量 $N_{\text{RxVGroup}} = 3$ 的情况下,将3个接收天线组间的水平方向的间隔设为 $\{2D_H, D_{\text{RxVGroupH}}\}$ 。另外,在接收天线组的数量 $N_{\text{RxVGroup}} = 4$ 的情况下,将4个接收天线组的水平方向的间隔设为 $\{2D_H, D_{\text{RxVGroupH}}, 2D_H\}$ 。同样地,在接收天线组的数量 $N_{\text{RxVGroup}} = 5$ 的情况下,将5个接收天线组的水平方向的间隔设为 $\{2D_H, D_{\text{RxVGroupH}}, 2D_H, D_{\text{RxVGroupH}}\}$ 。

[0636] 图65表示 $N_{\text{TxHGroup}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup}} = 4$ 、 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{TxHGroup2_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup2_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup3_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup4_ANT}} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。此外,“ $N_{\text{RxVGroup3_ANT}}$ ”表示第3个接收天线组所含的接收天线数,“ $N_{\text{RxVGroup4_ANT}}$ ”表示第4个接收天线组所含的接收天线数。在图65中,式(16)的 $D_{\text{RxVGroupH}} = 2D_H$ 。

[0637] 此外,在图65中,表示第二发送天线组(Tx#1、Tx#3)相对于第一发送天线组(Tx#2、Tx#4)的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)}$ 为 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)} = -D_H$ 的情况,但是也可以设为 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)} = +D_H$ 。

[0638] 另外,在图65中,将第二接收天线组(Rx#3、Rx#4)相对于第一接收天线组(Rx#1、Rx#2)的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}$ 设为 $-D_V$,将第三接收天线组(Rx#5、Rx#6)相对于第二接收天线组的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(3,2)}$ 设为 $+D_V$,并将第四接收天线组(Rx#7、Rx#8)相对于第三接收天线组的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(4,3)}$ 设为 $-D_V$ 。但是,各错开量也可以是两种($+D_V$, $-D_V$)的任何组合。此外,在图65中,将 $+D_V$ 方向设为上方向,将 $-D_V$ 设为下方向。

[0639] 图66表示 $N_{\text{TxHGroup}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup}} = 4$ 、 $N_{\text{TxHGroup1_ANT}} = 3$ 、 $N_{\text{TxHGroup2_ANT}} = 3$ 、 $N_{\text{RxVGroup1_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup2_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup3_ANT}} = 2$ 、 $N_{\text{RxVGroup4_ANT}} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图66中,式(16)的 $D_{\text{RxVGroupH}} = 4D_H$ 。

[0640] 此外,表示第二发送天线组(Tx#1、Tx#3、Tx#5)相对于第一发送天线组(Tx#2、Tx#4、Tx#6)的错开量 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)}$ 为 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)} = -D_H$ 的情况,但也可以设为 $\Delta H_{\text{Tx}(2,1)} = +D_H$ 。

[0641] 另外,在图66中,将第二接收垂直方向天线组(Rx#3、Rx#4)相对于第一接收天线组(Rx#1、Rx#2)的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(2,1)}$ 设为 $-D_V$,将第三接收天线组(Rx#5、Rx#6)相对于第二接收天线组的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(3,2)}$ 设为 $+D_V$,并将第四接收天线组(Rx#7、Rx#8)相对于第三接收天线组的错开量 $\Delta V_{\text{Rx}(4,3)}$ 设为 $-D_V$ 。但是,各错开量也可以是两种($+D_V$, $-D_V$)的任何组合。此外,在图66中,将 $+D_V$ 方向设为上方向,将 $-D_V$ 设为下方向,将 $+D_H$ 方向设为右方向,将 $-D_H$ 设为左方向。

[0642] 另外,在虚拟接收阵列的中心附近可以包含不等间隔(例如,大于 D_H 及 D_V 的间隔)的配置的情况下, $D_{\text{RxVGroupH}}$ 也可以是比式(16)的值更大的值。

[0643] 以上,分别说明了基本配置3的变形例2中的配置方法3-2A及配置方法3-2B。

[0644] 例如,在图63~图66所示的收发天线配置(例如,MIMO阵列配置)中,例如将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0645] 另外,例如,在图63~图66所示的虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0646] 另外,例如,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图63~图66所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。另外,以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数会依赖于发送天线组的数量 $N_{TxHGroup}$ 及各发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup(ntvg)_ANT}$ (此处, $ntvg=1, \dots, N_{TxHGroup}$)、和接收天线组的数量 $N_{RxVGroup}$ 及各接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxVGroup(nrhg)_ANT}$ (此处, $nrhg=1, \dots, N_{RxVGroup}$)而增加。

[0647] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $0.5 \times (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) \times N_{RxVGroup}$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔呈列状地排列,在垂直方向上, $0.5 \times (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) \times N_{TxHGroup}$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔呈列状地排列。另外,水平方向上的 $0.5 \times (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) \times N_{RxVGroup} - 2$ 个 D_H 间隔的虚拟阵列元件、和垂直方向上的 $0.5 \times (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) \times N_{TxHGroup} - 2$ 个 D_V 间隔的虚拟阵列元件呈纵横的矩形状地排列。

[0648] 在虚拟接收阵列的中心附近以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0649] 另外,各发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup(ntvg)_ANT}$ 及接收天线组的数量 $N_{RxVGroup}$ 越大,则沿着水平方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向的角度分辨率。同样地,各接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxVGroup(nrhg)_ANT}$ 及发送天线组的数量 $N_{TxHGroup}$ 越大,则沿着垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0650] 此外,在基本配置3的变形例2中,也可采用组合了配置方法3-2A及配置方法3-2B的配置。

[0651] 图67表示 $N_{RxVGroup} = N_{TxHGroup} = 4$ 、 $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = N_{TxHGroup3_ANT} = N_{TxHGroup4_ANT} = 2$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = N_{RxVGroup3_ANT} = N_{RxVGroup4_ANT} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图67中,式(15)的 $D_{TxHGroupV} = 2D_V$,式(16)的 $D_{RxVGroupH} = 2D_H$ 。

[0652] 另外,在图67中,将第二发送天线组(Tx#3、Tx#7)相对于第一发送天线组(Tx#4、Tx#8)的错开量 $\Delta H_{Tx(2,1)}$ 设为 $-D_H$,将第三发送天线组(Tx#2、Tx#6)相对于第二发送天线组的错开量 $\Delta H_{Tx(3,2)}$ 设为 $-D_H$,将第四发送天线组(Tx#1、Tx#5)相对于第三发送天线组的错开量 $\Delta H_{Tx(4,3)}$ 设为 $-D_H$ 。但是,各错开量也可以是两种($+D_V$, $-D_V$)的任何组合。

[0653] 另外,在图67中,将第二接收天线组(Rx#3、Rx#4)相对于第一接收天线组(Rx#1、Rx#2)的错开量 $\Delta V_{Rx(2,1)}$ 设为 $-D_V$,将第三接收天线组(Rx#5、Rx#6)相对于第二接收天线组的错开量 $\Delta V_{Rx(3,2)}$ 设为 $+D_V$,将第四接收天线组(Rx#7、Rx#8)相对于第三接收天线组的错开量 $\Delta V_{Rx(4,3)}$ 设为 $-D_V$ 。但是,各错开量也可以是两种($+D_V$, $-D_V$)的任何组合。

[0654] 另外,在图67中,将 $+D_V$ 方向设为上方向,将 $-D_V$ 方向设为下方向,将 $+D_H$ 方向设为右方向,将 $-D_H$ 方向设为左方向。

[0655] 另外,图68A表示 $N_{RxVGroup} = N_{TxHGroup} = 4$ 、 $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = N_{TxHGroup3_ANT} = N_{TxHGroup4_ANT} = 4$ 、 $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = N_{RxVGroup3_ANT} = N_{RxVGroup4_ANT} = 4$ 的情况下的MIMO阵列配置例,图68B表示虚拟接收阵列配置例。在图68A中,式(15)的 $D_{TxHGroupV} = 6D_V$,式(16)的 $D_{RxVGroupH} = 6D_H$ 。

[0656] 另外,在图68A中,将第二发送天线组(Tx#3、Tx#7、Tx#11、Tx#15)相对于第一发送

天线组 (Tx#4、Tx#8、Tx#12、Tx#16) 的错开量 $\Delta H_{Tx(2,1)}$ 设为 $-D_H$, 将第三发送天线组 (Tx#2、Tx#6、Tx#10、Tx#14) 相对于第二发送天线组的错开量 $\Delta H_{Tx(3,2)}$ 设为 $+D_H$, 将第四发送天线组 (Tx#1、Tx#5、Tx#9、Tx#13) 相对于第三发送天线组的错开量 $\Delta H_{Tx(4,3)}$ 设为 $-D_H$ 。但是, 各错开量也可以是两种 ($+D_V$, $-D_V$) 的任何组合。

[0657] 另外, 在图68A中, 将第二接收天线组 (Rx#5、Rx#6、Rx#7、Rx#8) 相对于第一接收天线组 (Rx#1、Rx#2、Rx#3、Rx#4) 的错开量 $\Delta V_{Rx(2,1)}$ 设为 $-D_V$, 将第三接收天线组 (Rx#9、Rx#10、Rx#11、Rx#12) 相对于第二接收天线组的错开量 $\Delta V_{Rx(3,2)}$ 设为 $+D_V$, 将第四接收天线组 (Rx#13、Rx#14、Rx#15、Rx#16) 相对于第三接收天线组的错开量 $\Delta V_{Rx(4,3)}$ 设为 $-D_V$ 。但是, 各错开量也可以是两种 ($+D_V$, $-D_V$) 的任何组合。

[0658] 另外, 在图68A及图68B中, 将 $+D_V$ 方向设为上方向, 将 $-D_V$ 方向设为下方向, 将 $+D_H$ 方向设为右方向, 将 $-D_H$ 方向设为左方向。

[0659] <基本配置4>

[0660] 图69表示基本配置4的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0661] (1) 收发天线的配置

[0662] 在图69中, 发送阵列天线中的发送天线106的个数 $N_t = 4$ 个 (Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4), 接收阵列天线中的接收天线202的个数 $N_a = 4$ 个 (Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)。

[0663] 图69所示的发送阵列天线例如由“第一发送天线组” (图69中的Tx#2、Tx#4) 和“第二发送天线组” (图69中的Tx#1、Tx#3) 构成。各发送天线组分别包含2个发送天线元件, 这2个发送天线元件在水平方向上的间隔为 $2D_H$, 在垂直方向上的间隔为 D_V 。图69所示的各发送天线组各自的相邻的发送天线在水平方向上隔开 $2D_H$ 的间隔 (换句话说, D_H 的2倍的间隔) 地配置, 且在垂直方向上隔开 D_V 的间隔地配置。换句话说, 在图69中, 各发送天线组所含的发送天线以水平方向的 $2D_H$ 、垂直方向的 D_V 的天线间隔, 沿着右斜下方向 (换句话说, 左斜上方向) 呈直线地配置。

[0664] 另外, 在图69中, 相对于第一发送天线组, 第二发送天线组沿着水平方向朝左方向错开 D_H , 且沿着垂直方向朝下方向错开 $2D_V$ 地配置。换句话说, 图69所示的相邻的发送天线组处于在水平方向上偏移了 D_H 的间隔, 且在垂直方向上偏移了 $2D_V$ (换句话说, D_V 的2倍的间隔) 的关系。

[0665] 另外, 图69所示的接收阵列天线例如由“第一接收天线组” (图69中的Rx#2、Rx#4) 和“第二接收天线组” (图69中的Rx#1、Rx#3) 构成。各接收天线组分别包含2个接收天线元件, 这2个接收天线元件在水平方向上的天线间隔为 $2D_H$, 在垂直方向上的天线间隔为 D_V 。图69所示的各接收天线组各自的相邻的接收天线在水平方向上隔开 $2D_H$ 的间隔 (换句话说, D_H 的2倍的间隔) 地配置, 且在垂直方向上隔开 D_V 的间隔地配置。换句话说, 在图69中, 各接收天线组所含的接收天线以水平方向的 $2D_H$ 、垂直方向的 D_V 的天线间隔, 沿着右斜上方向 (换句话说, 左斜下方向) 呈直线地配置。

[0666] 另外, 在图69中, 相对于第一接收天线组, 第二接收天线组在水平方向上朝右方向错开 D_H , 且在垂直方向上朝下方向错开 $2D_V$ 地配置。换句话说, 图69所示的相邻的接收天线组处于沿着水平方向偏移了 D_H 的间隔, 且沿着垂直方向偏移了 $2D_V$ (换句话说, D_V 的2倍的间隔) 的关系。

[0667] 另外,例如,如图69所示,发送天线Tx#1~发送天线Tx#4各自在水平方向及垂直方向上的两个方向上,均分别配置于不同的位置。同样地,如图69所示,接收天线Rx#1~接收天线Rx#4各自在水平方向及垂直方向上,均分别配置于不同的位置。

[0668] 另外,在图69所示的收发天线配置中,发送天线的各自的配置位置与接收天线的各自的配置位置例如处于对于与水平方向或垂直方向平行的线呈线对称的关系(换句话说,反转的关系)。

[0669] 例如,假设图69所示的水平方向(横方向)对应于X轴,图69所示的垂直方向(纵方向)对应于Y轴方向。

[0670] 在图69所示的天线配置的情况下,构成发送阵列天线的发送天线106的位置坐标以发送天线Tx#1的位置坐标($X_{T_#1}, Y_{T_#1}$)为基准,表示为发送天线Tx#2的位置坐标($X_{T_#2}, Y_{T_#2}$)= $(X_{T_#1}+D_H, Y_{T_#1}+2D_V)$ 、发送天线Tx#3的位置坐标($X_{T_#3}, Y_{T_#3}$)= $(X_{T_#1}+2D_H, Y_{T_#1}-D_V)$ 、发送天线Tx#4的位置坐标($X_{T_#4}, Y_{T_#4}$)= $(X_{T_#1}+3D_H, Y_{T_#1}+D_V)$ 。

[0671] 同样地,构成接收阵列天线的接收天线202的位置坐标以接收天线Rx#1的位置坐标($X_{R_#1}, Y_{R_#1}$)为基准,表示为接收天线Rx#2的位置坐标($X_{R_#2}, Y_{R_#2}$)= $(X_{R_#1}-D_H, Y_{R_#1}+2D_V)$ 、接收天线Rx#3的位置坐标($X_{R_#3}, Y_{R_#3}$)= $(X_{R_#1}+2D_H, Y_{R_#1}+D_V)$ 、接收天线Rx#4的位置坐标($X_{R_#4}, Y_{R_#4}$)= $(X_{R_#1}+D_H, Y_{R_#1}+3D_V)$ 。

[0672] (2) 虚拟接收阵列的配置

[0673] 根据上述图69所示的收发天线配置而构成的虚拟接收阵列(虚拟天线VA#1~虚拟天线VA#16)的配置具有如下所述的特征。

[0674] 例如,根据图69所示的发送阵列天线的配置及接收阵列天线的配置,虚拟接收阵列VA#1~虚拟接收阵列VA#16的位置坐标($X_{V_#1}, Y_{V_#1}$)~($X_{V_#16}, Y_{V_#16}$)分别如下所述。此外,此处,将VA#1表示为虚拟接收阵列的位置基准(0,0)。

[0675] $(0, 0)$ 、 $(D_H, 2D_V)$ 、 $(2D_H, -D_V)$ 、 $(3D_H, D_V)$ 、 $(-D_H, 2D_V)$ 、 $(0, 4D_V)$ 、 (D_H, D_V) 、 $(2D_H, 3D_V)$ 、 $(2D_H, D_V)$ 、 $(3D_H, 3D_V)$ 、 $(4D_H, 0)$ 、 $(5D_H, 2D_V)$ 、 $(D_H, 3D_V)$ 、 $(2D_H, 5D_V)$ 、 $(3D_H, 2D_V)$ 、 $(4D_H, 4D_V)$

[0676] 这样,在图69所示的虚拟接收阵列的配置中,各虚拟接收阵列元件分别不重复地配置于不同的位置。因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以主瓣变窄,从而能够提高角度分辨率。

[0677] 另外,位于图69所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件VA#2、VA#7、VA#9、VA#4、VA#15、VA#10、VA#8及VA#13沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置,并沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置。作为一例,在图69中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,虚拟阵列元件VA#2、VA#7、VA#9、VA#4、VA#15、VA#10、VA#8及VA#13沿着水平方向以 $D_H=0.5\lambda$ 的间隔配置,并沿着垂直方向以 $D_V=0.5\lambda$ 的间隔配置。由此,与基本配置1(例如,参照图8)同样地,能够降低栅瓣。

[0678] 此外,在图69所示的虚拟接收阵列的中心附近,缺少与以间隔 D_H 及间隔 D_V 紧密地配置的虚拟阵列元件(例如,VA#2、VA#7、VA#9、VA#4、VA#15、VA#10、VA#8及VA#13)所包围的坐标对应的位置的元件。但是,雷达装置10例如使用包围缺少的部位的以间隔 D_H 及间隔 D_V 紧密地配置的虚拟阵列元件的接收信号进行插值处理,由此,能够近似地接收该缺少的部位的元件的接收信号。

[0679] 另外,例如,在基本配置4的MIMO阵列配置中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情

况下,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0680] 由此,例如,能够应用如图9A所示的天线(其中,天线宽度 $W_{ANT} < 2D_H$,天线高度 $H_{ANT} < 2D_V$)作为图69所示的发送阵列天线和接收阵列天线中的至少一个阵列天线的各天线元件,该如图9A所示的天线使用纵横各排列2个元件的平面贴片天线而成的4个元件作为子阵列。例如,图70A表示对图69所示的发送天线配置应用了图9A所示的纵向排列2个元件的平面贴片天线且横向排列2个元件的平面贴片天线而成的子阵列的情况下的例子。

[0681] 另外,只要发送天线106及接收天线202的横方向 W_{ANT} 的元件尺寸小于 D_H ,则能够使用纵方向为任意尺寸的天线。例如,图70B表示对图69所示的天线配置应用了图25A所示的纵向排列8个元件的平面贴片天线且横向排列1个元件的平面贴片天线而成的子阵列的情况下的例子。此外,除了图70B所示的发送阵列天线之外,还可配置无供电元件(虚设元件)(未图示)。

[0682] 这样,通过在基本配置4的天线配置中使用子阵列结构的天线,能够提高天线的指向性增益,从而能够提高雷达装置10的探测性能(例如,探测距离)。

[0683] 方向估计部214使用根据上述收发天线配置获得的虚拟接收阵列的接收信号,进行水平方向及垂直方向的方向估计处理。此外,方向估计部214中的对于基本配置4的虚拟接收阵列的处理与基本配置1相同,因此,此处省略其说明。

[0684] 图71表示例如在如图69所示地使用了发送天线106的数量 $N_t = 4$ 及接收天线202的数量 $N_a = 4$ 的MIMO阵列配置($D_H = 0.5\lambda$, $D_V = 0.5\lambda$)的情况下,使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。即,在图71中,发送天线106的水平方向及垂直方向的天线间隔为 1λ 以上,接收天线202的水平方向及垂直方向的天线间隔也为 1λ 以上。此外,将各天线的指向性设为无指向性,进行了计算。

[0685] 在图71中,标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的水平方向 ± 90 度范围、以及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。

[0686] 在图71中,能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,例如与图1A相比,降低了栅瓣。例如,在图71中,水平0度、垂直0度以外的方向的除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比(PSLR)为0.35左右。

[0687] 如上所述,通过使用基本配置4的MIMO阵列配置,即使用作发送阵列天线及接收阵列天线的天线的纵方向或横方向的元件尺寸为 1λ 左右,也能够以包含达到 0.5λ 左右的元件间隔的方式,配置虚拟接收阵列中的水平方向及垂直方向的天线间隔,从而能够降低栅瓣。另外,例如,图69所示的虚拟接收阵列的各虚拟阵列元件不重复地配置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0688] <基本配置4的变形例1>

[0689] 在基本配置4(例如,图69)中,说明了将发送天线106的数量设为4个元件($N_t = 4$),并将接收天线202的数量设为4个元件($N_a = 4$)的情况。但是,发送天线数 N_t 及接收天线数 N_a 并不限于这些数量。

[0690] 在基本配置4的变形例1中,例如说明以图69所示的天线配置为基本结构而增加了发送天线数 N_t 及接收天线数 N_a 的配置。

[0691] 以下,分别说明基本配置4的变形例1中的天线的配置方法4-1A、配置方法4-1B、配

置方法4-1C及配置方法4-1D。

[0692] (配置方法4-1A)

[0693] 例如,发送阵列天线由第一发送天线组和第二发送天线组构成。另外,各发送天线组包含多个发送天线元件,所述多个发送天线元件以水平方向的 $2D_H$ 、垂直方向的 D_V 的天线间隔,沿着右斜下方向呈直线地配置。

[0694] 另外,相对于第一发送天线组,第二发送天线组向左方向错开 D_H ,且向下方向错开 $2D_V$ 地配置。

[0695] 此处,将第一发送天线组所含的发送天线数设为“ $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ ”。例如, $N_{TxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ 。另外,将第二发送天线组所含的发送天线数设为“ $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ ”。例如, $N_{TxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$ 。

[0696] 另外,接收阵列天线由第一接收天线组和第二接收天线组构成。另外,各接收天线组包含多个接收天线元件,所述多个接收天线元件以水平方向的 $2D_H$ 、垂直方向的 D_V 的间隔,沿着右斜上方向呈直线地配置。

[0697] 另外,相对于第一接收天线组,第二接收天线组向右方向错开 D_H ,且向下方向错开 $2D_V$ 地配置。

[0698] 此处,将第一接收天线组所含的接收天线数设为“ $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ ”。例如, $N_{RxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$ 。另外,将第二接收天线组所含的接收天线数设为“ $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ ”。例如, $N_{RxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$ 。

[0699] 图72表示 $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = 2$ (Rx#2、Rx#4)、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 2$ (Rx#1、Rx#3)的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0700] 另外,图73表示 $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = 2$ (Tx#2、Tx#4)、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 2$ (Tx#1、Tx#3)、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2、Rx#4、Rx#6)、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1、Rx#3、Rx#5)的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0701] 另外,图74表示 $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2、Rx#4、Rx#6)、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1、Rx#3、Rx#5)的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0702] 在图72、图73及图74所示的各MIMO阵列配置中,例如将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0703] 另外,例如,在图72、图73及图74所示的各虚拟接收阵列中,虽然各虚拟阵列元件的一部分的元件配置于重复的位置,但是因为能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以能够提高角度分辨率。此外,在图72及图73中,虚拟阵列元件不重复,在图74中,虚拟阵列元件在两处重复。

[0704] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图72、图73及图74所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。此外,如图72、图73及图74所示,在各虚拟接收阵列的中心附近,缺少了与一部分的坐标对应的位置的元件。但是,雷达装置10使用包围该缺少的位置的周边的以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件的接收信号进行插值处理,由此,能够近似地接收该缺少的元件的接收信号。

[0705] 另外,紧密地配置在图72、图73及图74所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ 而增加。

[0706] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $(N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT}) - 5$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $0.5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT}) - 1$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列中以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0707] 另外, $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ 越大,则沿着水平方向及垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向及垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向及垂直方向的角度分辨率。

[0708] 图75表示例如在如图74所示地使用了发送天线106的数量 $N_t = 8$ 及接收天线202的数量 $N_a = 6$ 的MIMO阵列配置($N_{TxLowerRightGr1_ANT} = N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 4$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 3$, $D_H = 0.5\lambda$, $D_V = 0.5\lambda$)的情况下,使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。此外,将各天线的指向性设为无指向性,进行了计算。

[0709] 在图75中,标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的水平方向 ± 90 度范围、以及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。

[0710] 在图75中,能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,例如与图1A相比,降低了栅瓣。例如,在图75中,能够确认除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比(PSLR)为0.28左右,例如与图69所示的基本配置4的结构($N_{TxLowerRightGr1_ANT} = N_{TxLowerRightGr2_ANT} = N_{RxUpperRightGr1_ANT} = N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 2$ 的情况)(例如,参照图71)相比,通过增加 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$,降低旁瓣的效果提高。另外,在图75中,能够确认与图71相比,主瓣的波峰也变尖,通过增加 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$,角度分辨率提高。

[0711] 此外,越增加 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$,则与垂直方向相比,越能够扩大水平方向的虚拟阵列的孔径长度,从而成为与垂直方向的角度分辨率相比,更容易提高水平方向的角度分辨率的MIMO阵列结构。

[0712] (配置方法4-1B)

[0713] 在配置方法4-1B中说明如下情况,即,与水平方向相比,沿着垂直方向扩大虚拟接收阵列的孔径长度。由此,可获得与水平方向的角度分辨率相比,能够进一步提高垂直方向的角度分辨率的MIMO阵列结构。

[0714] 例如,发送阵列天线由第一发送天线组和第二发送天线组构成。另外,各发送天线组包含多个发送天线元件,所述多个发送天线元件以水平方向的 D_H 、垂直方向的 $2D_V$ 的天线间隔,沿着右斜上方向呈直线地配置。

[0715] 另外,相对于第一发送天线组,第二发送天线组向右方向错开 $2D_H$,且向下方向错开 D_V 地配置。

[0716] 此处,将第一发送天线组所含的发送天线数设为“ $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ ”。例如,

$N_{TxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$ 。另外,将第二发送天线组所含的发送天线数设为“ $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ ”。例如, $N_{TxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$ 。

[0717] 另外,接收阵列天线由第一接收天线组和第二接收天线组构成。另外,各接收天线组包含多个接收天线元件,所述多个接收天线元件以水平方向的 D_H 、垂直方向的 $2D_V$ 的天线间隔,沿着右斜下方向呈直线地配置。

[0718] 另外,相对于第一接收天线组,第二接收天线组向左方向错开 $2D_H$,且向下方向错开 D_V 地配置。

[0719] 此处,将第一接收天线组所含的接收天线数设为“ $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ ”。例如, $N_{RxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ 。另外,将第二接收天线组所含的接收天线数设为“ $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ ”。例如, $N_{RxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$ 。

[0720] 图76表示 $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = 2$ (Rx#4、Rx#3)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 2$ (Rx#2、Rx#1)的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0721] 图77表示 $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = 2$ (Tx#2、Tx#4)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 2$ (Tx#1、Tx#3)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2、Rx#4、Rx#6)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1、Rx#3、Rx#5)的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0722] 图78表示 $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2、Rx#4、Rx#6)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1、Rx#3、Rx#5)的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0723] 在图76、图77及图78所示的各MIMO阵列配置中,例如将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0724] 另外,例如,在图76、图77及图78所示的各虚拟接收阵列中,虽然各虚拟阵列元件的一部分的元件配置于重复的位置,但是因为能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以能够提高角度分辨率。此外,在图76及图77中,虚拟阵列元件不重复,在图78中,虚拟阵列元件在两处重复。

[0725] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图76、图77及图78所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。此外,如图76、图77及图78所示,在各虚拟接收阵列的中心附近,缺少了与一部分的坐标对应的位置的元件。但是,雷达装置10使用包围该缺少的位置的周边的以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件的接收信号进行插值处理,由此,能够近似地接收该缺少的元件的接收信号。

[0726] 另外,紧密地配置在图76、图77及图78所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ 而增加。

[0727] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $0.5 \times (N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) - 1$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $(N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) - 5$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列中以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0728] 另外, $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ 越大, 则沿着水平方向及垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大, 因此, 能够扩大水平方向及垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度, 从而能够提高水平方向及垂直方向的角度分辨率。

[0729] 图79例如表示在如图78所示地使用了发送天线106的数量 $N_t = 8$ 及接收天线202的数量 $N_a = 6$ 的MIMO阵列配置 ($N_{TxUpperRightGr1_ANT} = N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 4$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 3$, $D_H = 0.5\lambda$, $D_V = 0.5\lambda$) 的情况下, 使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。此外, 将各天线的指向性设为无指向性, 进行了计算。

[0730] 在图79中, 标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的水平方向 ± 90 度范围、以及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。

[0731] 在图79中, 能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上, 例如与图1A相比, 降低了栅瓣。例如, 在图79中, 能够确认除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比 (PSLR) 为0.28左右, 例如与图69所示的基本配置4的结构 ($N_{TxUpperRightGr1_ANT} = N_{TxUpperRightGr2_ANT} = N_{RxLowerRightGr1_ANT} = N_{RxLowerRightGr2_ANT} =$ 的情况) (例如, 参照图71) 相比, 通过增加 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$, 降低旁瓣的效果提高。另外, 在图79中, 能够确认与图71相比, 主瓣的波峰也变尖, 通过增加 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$, 角度分辨率提高。

[0732] 此外, 越增加 $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$, 则与水平方向相比, 越能够扩大垂直方向的虚拟阵列的孔径长度, 从而成为与水平方向的角度分辨率相比, 更容易提高垂直方向的角度分辨率的MIMO阵列结构。

[0733] (配置方法4-1C)

[0734] 配置方法4-1C是组合了配置方法4-1A与配置方法4-1B的方法。

[0735] 例如, 发送阵列天线由第一发送天线组和第二发送天线组构成。另外, 各发送天线组包含多个发送天线元件, 所述多个发送天线元件以水平方向的 $2D_H$ 、垂直方向的 D_V 的天线间隔, 沿着右斜下方向呈直线地配置。

[0736] 另外, 相对于第一发送天线组, 第二发送天线组向左方向错开 D_H , 且向下方向错开 $2D_V$ 地配置。

[0737] 此处, 将第一发送天线组所含的发送天线数设为 " $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ "。例如, $N_{TxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ 。另外, 将第二发送天线组所含的发送天线数设为 " $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ "。例如, $N_{TxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$ 。

[0738] 另外, 例如, 接收阵列天线由第一接收天线组和第二接收天线组构成。另外, 各接收天线组包含多个接收天线元件, 所述多个接收天线元件以水平方向的 D_H 、垂直方向的 $2D_V$ 的天线间隔, 沿着右斜下方向呈直线地配置。

[0739] 另外, 相对于第一接收天线组, 第二接收天线组向左方向错开 $2D_H$, 且向下方向错开 D_V 地配置。

[0740] 此处, 将第一接收天线组所含的接收天线数设为 " $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ "。例如, $N_{RxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$ 。另外, 将第二接收天线组所含的接收天线数设为 " $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ "。例如, $N_{RxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$ 。

[0741] 图80表示 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}=4$ (Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}=4$ (Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}=4$ (Rx#2、Rx#4、Rx#6、Rx#8)、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}=4$ (Rx#1、Rx#3、Rx#5、Rx#7) 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0742] 在图80所示的MIMO阵列配置中,例如将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0743] 另外,在图80所示的虚拟接收阵列中,虽然各虚拟阵列元件的一部分的元件配置于重复的位置,但是因为能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以能够提高角度分辨率。此外,在图80中,虚拟阵列元件在一处重复。

[0744] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图80所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。此外,如图80所示,在各虚拟接收阵列的中心附近,缺少了与一部分的坐标对应的位置的元件。但是,雷达装置10使用包围该缺少的位置的周边的以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件的接收信号进行插值处理,由此,能够近似地接收该缺少的元件的接收信号。

[0745] 另外,紧密地配置在图80所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ 而增加。

[0746] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $0.5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) + 1$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $0.5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) + 1$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列中以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0747] 另外, $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ 、 $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ 越大,则沿着水平方向及垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向及垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向及垂直方向的角度分辨率。

[0748] (配置方法4-1D)

[0749] 配置方法4-1D是组合了配置方法4-1A与配置方法4-1B的方法。

[0750] 例如,发送阵列天线由第一发送天线组和第二发送天线组构成。另外,各发送天线组包含多个发送天线元件,所述多个发送天线元件以水平方向的 $2D_H$ 、垂直方向的 D_V 的天线间隔,沿着右斜上方向呈直线地配置。

[0751] 另外,相对于第一发送天线组,第二发送天线组向右方向错开 $2D_H$,且向下方向错开 D_V 地配置。

[0752] 此处,将第一发送天线组所含的发送天线数设为“ $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ ”。例如, $N_{TxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$ 。另外,将第二发送天线组所含的发送天线数设为“ $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ ”。例如, $N_{TxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$ 。

[0753] 另外,例如,接收阵列天线由第一接收天线组和第二接收天线组构成。另外,各接收天线组包含多个接收天线元件,所述多个接收天线元件以水平方向的 $2D_H$ 、垂直方向的 D_V 的天线间隔,沿着右斜上方向呈直线地配置。

[0754] 另外,相对于第一接收天线组,第二接收天线组向右方向错开 D_H ,且向下方向错开 $2D_V$ 地配置。

[0755] 此处,将第一接收天线组所含的接收天线数设为“ $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ ”。例如,

$N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}} \geq 2$ 。另外,将第二接收天线组所含的接收天线数设为“ $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}$ ”。例如, $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}} \geq 2$ 。

[0756] 图81表示 $N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}} = 4$ (Tx#2、Tx#4、Tx#6、Tx#8)、 $N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}} = 4$ (Tx#1、Tx#3、Tx#5、Tx#7)、 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}} = 4$ (Rx#2、Rx#4、Rx#6、Rx#8)、 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}} = 4$ (Rx#1、Rx#3、Rx#5、Rx#7) 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0757] 在图81所示的MIMO阵列配置中,例如将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0758] 另外,在图81所示的虚拟接收阵列中,虽然各虚拟阵列元件的一部分的元件配置于重复的位置,但因为能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以能够提高角度分辨率。此外,在图81中,虚拟阵列元件在一处重复。

[0759] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图81所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。此外,如图81所示,在各虚拟接收阵列的中心附近,缺少了与一部分的坐标对应的位置的元件。但是,雷达装置10使用包围该缺少的位置的周边的以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件的接收信号进行插值处理,由此,能够近似地接收该缺少的元件的接收信号。

[0760] 另外,紧密地配置在图81所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件数会依赖于 $N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}}$ 、 $N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}}$ 、 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}}$ 、 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}$ 而增加。

[0761] 例如,在虚拟接收阵列中,在水平方向上, $0.5 \times (N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}) + 1$ 个虚拟阵列元件以 D_H 间隔排列,在垂直方向上, $0.5 \times (N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}})$ 个虚拟阵列元件以 D_V 间隔排列。在虚拟接收阵列中以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数越增加,则越能够提高降低栅瓣及旁瓣的效果。

[0762] 另外, $N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}}$ 、 $N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}}$ 、 $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}}$ 、 $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}$ 越大,则沿着水平方向及垂直方向排列的虚拟阵列元件数越增大,因此,能够扩大水平方向及垂直方向的虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高水平方向及垂直方向的角度分辨率。

[0763] 以上,分别说明了基本配置4的变形例1中的天线的配置方法4-1A、配置方法4-1B、配置方法4-1C及配置方法4-1D。

[0764] 此外,在配置方法4-1A、配置方法4-1B、配置方法4-1C及配置方法4-1D中,说明了发送阵列天线由第一发送天线组和第二发送天线组构成的情况。但是,也可以是发送阵列天线所含的发送天线组的数量 N_{TxGroup} 为3以上的结构。在此情况下,第 ntx 个发送天线组相对于第 $(\text{ntx}-1)$ 个发送天线组,按照配置方法4-1A、配置方法4-1B、配置方法4-1C及配置方法4-1D的任一个规则配置。此处, $\text{ntx} = 1, \dots, N_{\text{TxGroup}}$ 。

[0765] 同样地,在配置方法4-1A、配置方法4-1B、配置方法4-1C及配置方法4-1D中,说明了接收阵列天线由第一接收天线组和第二接收天线组构成的情况。但是,也可以是接收阵列天线组的数量 N_{RxGroup} 为3以上的结构。在此情况下,第 nrx 个接收天线组相对于第 $(\text{nrx}-1)$ 个接收天线组,按照配置方法4-1A、配置方法4-1B、配置方法4-1C及配置方法4-1D的任一个规则配置。此处, $\text{nrx} = 1, \dots, N_{\text{RxGroup}}$ 。

[0766] 作为一例,图82表示在配置方法4-1B中,发送天线组的数量 $N_{\text{TxGroup}} = 3$ 、接收天线组的数量 $N_{\text{RxGroup}} = 3$,且 $N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}} = 3$ (Tx#3、Tx#6、Tx#9)、 $N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}} = 3$ (Tx#2、

$\text{Tx}\#5$ 、 $\text{Tx}\#8$)、 $N_{\text{TxUpperRightGr3_ANT}}=3$ ($\text{Tx}\#1$ 、 $\text{Tx}\#4$ 、 $\text{Tx}\#7$)、 $N_{\text{RxLowerRightGr1_ANT}}=3$ ($\text{Rx}\#7$ 、 $\text{Rx}\#8$ 、 $\text{Rx}\#9$)、 $N_{\text{RxLowerRightGr2_ANT}}=3$ ($\text{Rx}\#4$ 、 $\text{Rx}\#5$ 、 $\text{Rx}\#6$)、 $N_{\text{RxLowerRightGr3_ANT}}=3$ ($\text{Rx}\#1$ 、 $\text{Rx}\#2$ 、 $\text{Rx}\#3$) 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0767] 例如,在图82所示的MIMO阵列配置中,将 D_H 及 D_V 设为 0.5λ 左右,由此,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0768] 另外,在图82所示的虚拟接收阵列中,虽然各虚拟阵列元件的一部分的元件配置于重复的位置,但因为能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以能够提高角度分辨率。此外,在图82中,虚拟阵列元件在八处重复。

[0769] 另外,能够以 D_H 、 D_V 间隔,紧密地配置位于图82所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件。此外,如图82所示,在虚拟接收阵列的中心附近,缺少了与一部分的坐标对应的位置的元件。但是,雷达装置10使用包围该缺少的位置的周边的以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件的接收信号进行插值处理,由此,能够近似地接收该缺少的元件的接收信号。

[0770] 另外,紧密地配置在图82所示的各虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件数会依赖于 N_{TxGroup} 、 N_{RxGroup} 而增加。

[0771] <基本配置4的变形例2>

[0772] 在基本配置4的变形例2中,说明将基本配置4所示的4个元件的发送阵列天线的配置及4个元件的接收阵列天线的配置分别设为“基本集合”,且使多个基本集合的配置位置偏移后的结构的MIMO阵列配置。

[0773] 此外,在以下所示的配置中,可以使虚拟接收阵列配置中无重复的元件,且使更多的虚拟阵列元件以 D_V 或 D_H 间隔紧密地配置在虚拟接收阵列的中心附近的方式,设定相对于发送阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移、或相对于接收阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移。但是,并不限于此,例如,在使虚拟接收阵列配置增加不等间隔的配置的情况下,或者在使虚拟接收阵列配置增加虚拟阵列元件重复的配置的情况下,也同样可以通过调整配置位置的偏移来实现。

[0774] 图83表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{TxBaseSet}}=2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{RxBaseSet}}=1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图83中,将第二个基本集合(例如, $\text{Tx}\#5$ 、 $\text{Tx}\#6$ 、 $\text{Tx}\#7$ 及 $\text{Tx}\#8$)相对于第一个基本集合(例如, $\text{Tx}\#1$ 、 $\text{Tx}\#2$ 、 $\text{Tx}\#3$ 及 $\text{Tx}\#4$)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=5D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=0$ 。如图83所示,根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置,能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0775] 图84表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{TxBaseSet}}=2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{RxBaseSet}}=1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图84中,将第二个基本集合($\text{Tx}\#5$ 、 $\text{Tx}\#6$ 、 $\text{Tx}\#7$ 、 $\text{Tx}\#8$)相对于第一个基本集合(例如, $\text{Tx}\#1$ 、 $\text{Tx}\#2$ 、 $\text{Tx}\#3$ 及 $\text{Tx}\#4$)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}}=0$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}}=5D_V$ 。如图84所示,根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置,能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0776] 图85表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 1$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图85中, 将第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7、Rx#8)相对于第一个基本集合(例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 5D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$ 。如图85所示, 根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0777] 图86表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 1$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图86中, 将第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7、Rx#8)相对于第一个基本集合(例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 0$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 5D_V$ 。如图86所示, 根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置, 能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0778] 图87表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图87中, 将发送阵列天线的第二个基本集合(Tx#5、Tx#6、Tx#7、Tx#8)相对于第一个基本集合(例如, Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 8D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ 。另外, 在图87中, 将接收阵列天线的第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7、Rx#8)相对于第一个基本集合(例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 5D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$ 。如图87所示, 根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置、以及使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 例如与图83或图85相比, 能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。

[0779] 图88A表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 4$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 4$ 的情况下的MIMO阵列配置例, 图88B表示虚拟接收阵列配置例。

[0780] 在图88A中, 将发送阵列天线的第二个基本集合(Tx#5、Tx#6、Tx#7、Tx#8)相对于第一个基本集合(例如, Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 8D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$, 将第三个基本集合(Tx#9、Tx#10、Tx#11、Tx#12)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet3} = 0$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet3} = 5D_V$, 将第四个基本集合(Tx#13、Tx#14、Tx#15、Tx#16)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet4} = 8D_H$, 并将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet4} = 5D_V$ 。

[0781] 另外, 在图88A中, 将接收阵列天线的第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7、Rx#8)相对于第一个基本集合(例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 5D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$, 将第三个基本集合(Rx#9、Rx#10、Rx#11、Rx#12)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet3}$

$=0$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}} = 8D_V$, 将第四个基本集合 (Rx#13、Rx#14、Rx#15、Rx#16) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet4}} = 5D_H$, 并将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}} = 8D_V$ 。

[0782] 如图88A及图88B所示, 根据使发送阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的配置、以及使接收阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 例如与图83或图85相比, 能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。(此外, 在图88的情况下, 虚拟阵列元件在八处重复。)

[0783] 同样地, 如图88A及图88B所示, 根据使发送阵列天线的基本集合沿着垂直方向偏移后的配置、以及使接收阵列天线的基本集合沿着垂直方向偏移后的配置, 例如与图84或图86相比, 能够进一步增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够进一步提高垂直方向的角度分辨率。

[0784] 此外, 在变形例2中, 说明了将基本配置4的天线配置设为基本集合的情况, 但基本集合并不限定于基本配置4的天线配置, 例如也可以是基本配置4的变形例1的天线配置。

[0785] 另外, 发送阵列天线及接收阵列天线所含的基本集合的数量 ($N_{\text{TxBaseSet}}$ 、 $N_{\text{RxBaseSet}}$) 并不限定于上述例子, 也可以是其他的值。

[0786] <基本配置5>

[0787] 图89表示基本配置5的发送天线106及接收天线202的配置例、以及虚拟接收阵列的配置例。

[0788] (1) 收发天线的配置

[0789] 在图89中, 发送阵列天线中的发送天线106的个数 $N_t = 4$ 个 (Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4), 接收阵列天线中的接收天线202的个数 $N_a = 4$ 个 (Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)。

[0790] 图89所示的发送阵列天线例如由“第一发送天线组”(图89中的Tx#2、Tx#4)和“第二发送天线组”(图89中的Tx#1、Tx#3)构成。各发送天线组分别包含2个发送天线元件, 这2个发送天线元件在水平方向上的天线间隔为 D_H , 在垂直方向上的天线间隔为 D_V 。图89所示的各发送天线组各自的相邻的发送天线在水平方向上隔开 D_H 的间隔地配置, 且在垂直方向上隔开 D_V 的间隔地配置。换句话说, 在图89中, 各发送天线组所含的发送天线以水平方向的 D_H 、垂直方向的 D_V 的天线间隔, 沿着右斜下方向(换句话说, 左斜上方向)呈直线地配置。

[0791] 另外, 在图89中, 相对于第一发送天线组, 第二发送天线组在水平方向上朝左方向错开 $2D_H$, 且在垂直方向上朝下方向错开 D_V 地配置。换句话说, 图89所示的相邻的发送天线组处于沿着水平方向偏移了 $2D_H$ 的间隔(换句话说, D_H 的2倍的间隔), 且沿着垂直方向偏移了 D_V 的关系。

[0792] 另外, 在图89中, 相对于第一发送天线组, 第二发送天线组在水平方向上朝左方向错开 D_H , 且在垂直方向上朝下方向错开 $2D_V$ 地配置。

[0793] 另外, 图89所示的接收阵列天线例如由“第一接收天线组”(图89中的Rx#2、Rx#4)和“第二接收天线组”(图89中的Rx#1、Rx#3)构成。各接收天线组分别包含2个接收天线元件, 这2个接收天线元件在水平方向上的天线间隔为 D_H , 在垂直方向上的天线间隔为 D_V 。图89所示的各接收天线组各自的相邻的接收天线在水平方向上隔开 D_H 的间隔地配置, 且在垂直方向上隔开 D_V 的间隔地配置。换句话说, 在图89中, 各接收天线组所含的发送天线以水平方向的 D_H 、垂直方向的 D_V 的天线间隔, 沿着右斜上方向(换句话说, 左斜下方向)呈直线地配置。

[0794] 另外,在图89中,相对于第一接收天线组,第二接收天线组在水平方向上朝右方向错开 $2D_H$,且在垂直方向上朝下方向错开 D_V 地配置。换句话说,图89所示的相邻的接收天线组处于沿着水平方向偏移了 $2D_H$ 的间隔(换句话说, D_H 的2倍的间隔),且沿着垂直方向偏移了 D_V 的关系。

[0795] 另外,例如,如图89所示,发送天线Tx#1~发送天线Tx#4各自在水平方向上,分别配置于不同的位置。同样地,如图89所示,接收天线Rx#1~接收天线Rx#4各自在水平方向上,分别配置于不同的位置。

[0796] 另外,在图89所示的收发天线配置中,发送天线的各自的配置位置与接收天线的各自的配置位置例如处于对于与水平方向或垂直方向平行的线呈线对称的关系(换句话说,反转的关系)。

[0797] 例如,假设图89所示的水平方向(横方向)对应于X轴,图89所示的垂直方向(纵方向)对应于Y轴方向。

[0798] 例如,在图89所示的天线配置的情况下,构成发送阵列天线的发送天线106的位置坐标以发送天线Tx#1的位置坐标($X_{T_#1}, Y_{T_#1}$)为基准,表示为发送天线Tx#2的位置坐标($X_{T_#2}, Y_{T_#2}$)= $(X_{T_#1}+2D_H, Y_{T_#1}+D_V)$ 、发送天线Tx#3的位置坐标($X_{T_#3}, Y_{T_#3}$)= $(X_{T_#1}+D_H, Y_{T_#1}-D_V)$ 、发送天线Tx#4的位置坐标($X_{T_#4}, Y_{T_#4}$)= $(X_{T_#1}+3D_H, Y_{T_#1})$ 。

[0799] 同样地,构成接收阵列天线的接收天线202的位置坐标以接收天线Rx#1的位置坐标($X_{R_#1}, Y_{R_#1}$)为基准,表示为接收天线Rx#2的位置坐标($X_{R_#2}, Y_{R_#2}$)= $(X_{R_#1}-2D_H, Y_{R_#1}+D_V)$ 、接收天线Rx#3的位置坐标($X_{R_#3}, Y_{R_#3}$)= $(X_{R_#1}+D_H, Y_{R_#1}+D_V)$ 、接收天线Rx#4的位置坐标($X_{R_#4}, Y_{R_#4}$)= $(X_{R_#1}-D_H, Y_{R_#1}+2D_V)$ 。

[0800] (2) 虚拟接收阵列的配置

[0801] 根据上述图89所示的收发天线配置而构成的虚拟接收阵列(虚拟天线VA#1~虚拟天线VA#16)的配置具有如下所述的特征。

[0802] 例如,根据图89所示的发送阵列天线的配置及接收阵列天线的配置,虚拟接收阵列VA#1~虚拟接收阵列VA#16的位置坐标($X_{V_#1}, Y_{V_#1}$)~($X_{V_#16}, Y_{V_#16}$)分别如下所述。此外,此处,将VA#1表示为虚拟接收阵列的位置基准(0,0)。

[0803] (0,0)、($2D_H, D_V$)、($D_H, -D_V$)、($3D_H, 0$)、($-2D_H, D_V$)、($0, 2D_V$)、($-D_H, 0$)、(D_H, D_V)、(D_H, D_V)、($3D_H, 2D_V$)、($2D_H, 0$)、($4D_H, D_V$)、($-D_H, 2D_V$)、($D_H, 3D_V$)、($0, D_V$)、($2D_H, 2D_V$)

[0804] 这样,在图89所示的虚拟接收阵列的配置中,除了一部分的虚拟阵列元件(例如,VA#8、VA#9)以外,各虚拟接收阵列元件不重复地配置于不同的位置。因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,所以主瓣变窄,从而能够提高角度分辨率。

[0805] 另外,位于图89所示的虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件VA#4、VA#11、VA#2、VA#16、VA#10、VA#7、VA#1、VA#15、VA#6、VA#13、VA#8、VA#9沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置,并沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置。作为一例,在图89中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,虚拟阵列元件VA#4、VA#11、VA#2、VA#16、VA#10、VA#7、VA#1、VA#15、VA#6、VA#13、VA#8、VA#9沿着水平方向以 $D_H=0.5\lambda$ 的间隔配置,并沿着垂直方向以 $D_V=0.5\lambda$ 的间隔配置。由此,与基本配置1(例如,参照图8)同样地,能够降低栅瓣。

[0806] 此外,在图89所示的虚拟接收阵列的中心附近,缺少与以间隔 D_H 及间隔 D_V 紧密地配置的虚拟阵列元件所包围的坐标对应的位置的元件。但是,雷达装置10例如使用包围缺少

的部位以间隔 D_H 及间隔 D_V 紧密地配置的虚拟阵列元件的接收信号进行插值处理,由此,能够近似地接收该缺少的部位的元件的接收信号。

[0807] 另外,例如,在图89所示的MIMO阵列配置中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 以上的尺寸。

[0808] 由此,只要发送天线106及接收天线202的横方向 W_{ANT} 的元件尺寸小于 D_H ,则能够使用纵方向为任意尺寸的天线。例如,能够应用如图25A所示的天线作为图89所示的发送阵列天线及接收阵列天线中的至少一个阵列天线的各天线,该如图25A所示的天线使用纵向排列8个元件的平面贴片天线且横向排列1个元件的平面贴片天线而成的8个元件作为子阵列。

[0809] 此外,第一发送天线组所含的发送天线数(以下,表示为“ $N_{TxGroup1_ANT}$ ”)、和第二发送方向天线组所含的发送天线数(以下,表示为“ $N_{TxGroup2_ANT}$ ”)可以是相同数量,或者相差一个天线。例如, $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 0$ 或 1。

[0810] 同样地,第一接收天线组所含的接收天线的数量(以下,表示为“ $N_{RxGroup1_ANT}$ ”)、和第二接收天线组所含的接收天线数(以下,表示为“ $N_{RxGroup2_ANT}$ ”)可以是相同数量,或者相差一个天线。例如, $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 0$ 或 1。

[0811] 图90A及图90B表示第一发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxGroup1_ANT}$ 和第二发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxGroup2_ANT}$ 相差一个天线,且第一接收天线组所含的接收天线的数量 $N_{RxGroup1_ANT}$ 和第二接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxGroup2_ANT}$ 为相同数量的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0812] 如图90A及图90B所示, $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 1$ 且 $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 0$ 的情况下的MIMO阵列配置是发送天线数为3,接收天线数为4 ($N_{RxGroup1_ANT} = N_{RxGroup2_ANT} = 2$) 的结构,例如存在两个模式。

[0813] 图90A是 $N_{TxGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2)、 $N_{TxGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1、Tx#3) 的情况下的MIMO阵列配置例,图90B是 $N_{TxGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2、Tx#3)、 $N_{TxGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1) 的情况下的MIMO阵列配置例。

[0814] 接着,图91A及图91B表示第一发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxGroup1_ANT}$ 和第二发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxGroup2_ANT}$ 为相同数量,且第一接收天线组所含的接收天线的数量 $N_{RxGroup1_ANT}$ 和第二接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxGroup2_ANT}$ 相差一个天线的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0815] 如图91A及图91B所示, $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 0$ 且 $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置是发送天线数为4 ($N_{TxGroup1_ANT} = N_{TxGroup2_ANT} = 2$),接收天线数为3的结构,例如存在两个模式。

[0816] 图91A是 $N_{RxGroup1_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $N_{RxGroup2_ANT} = 2$ (Rx#1、Rx#2) 的情况下的MIMO阵列配置例,图91B是 $N_{RxGroup1_ANT} = 2$ (Rx#2、Rx#3)、 $N_{RxGroup2_ANT} = 1$ (Rx#1) 的情况下的MIMO阵列配置例。

[0817] 接着,图92A~图92D表示第一发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxGroup1_ANT}$ 和第二发送天线组所含的发送天线数 $N_{TxHGroup2_ANT}$ 相差一个天线,且第一接收天线组所含的接收天线的数量 $N_{RxGroup1_ANT}$ 和第二接收天线组所含的接收天线数 $N_{RxGroup2_ANT}$ 相差一个天线的情况下

的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。

[0818] 如图92A~图92D所示, $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 1$ 且 $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置是发送天线数为3,接收天线数为3的结构,例如存在图92A~图92D的四个模式。

[0819] 图92A是 $N_{TxVGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1、Tx#3)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#1、Rx#2) 的情况下的MIMO阵列配置例。

[0820] 图92B是 $N_{TxVGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1、Tx#3)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#2、Rx#3)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#1) 的情况下的MIMO阵列配置例。

[0821] 图92C是 $N_{TxVGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2、Tx#3)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#3)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#1、Rx#2) 的情况下的MIMO阵列配置例。

[0822] 图92D是 $N_{TxVGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2、Tx#3)、 $N_{TxVGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1)、 $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#2、Rx#3)、 $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#1) 的情况下的MIMO阵列配置例。

[0823] 在图90A、图90B、图91A、图91B及图92A~图92D所示的虚拟接收阵列中,各虚拟阵列元件分别不重复地配置于不同的位置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0824] 另外,位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件以 D_H 、 D_V 间隔紧密地配置。作为一例,在图90A、图90B、图91A、图91B及图92A~图92D中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,位于虚拟接收阵列的中心附近的虚拟阵列元件沿着水平方向以 $D_H = 0.5\lambda$ 的间隔配置,并沿着垂直方向以 $D_V = 0.5\lambda$ 的间隔配置。由此,能够降低栅瓣。

[0825] 另外,例如,在基本配置5的MIMO阵列配置中,将间隔 D_H 及间隔 D_V 设为 0.5λ 左右的情况下,能够将发送天线106及接收天线202的水平方向及垂直方向的元件尺寸设计为 1λ 左右以上的尺寸。

[0826] 由此,例如,只要发送天线106及接收天线202的横方向 W_{ANT} 的元件尺寸小于 D_H ,则能够使用纵方向为任意尺寸的天线。例如,图93A表示对图89所示的天线配置应用了图25A所示的纵向排列8个元件的平面贴片天线且横向排列1个元件的平面贴片天线而成的子阵列的情况下的例子。此外,如图93B所示,除了图93A所示的发送阵列天线之外,还可配置无供电元件(虚设元件)。利用无供电元件,能够在各天线之间,使由相邻的天线引起的天线间耦合的影响均一化,从而能够使各发送天线(Tx#1~Tx#4)的指向特性均一化。

[0827] 这样,通过在基本配置5的天线配置中使用子阵列结构的天线,能够提高天线的指向性增益,从而能够提高雷达装置10的探测性能(例如,探测距离)。

[0828] 方向估计部214使用根据上述收发天线配置获得的虚拟接收阵列的接收信号,进行水平方向及垂直方向的方向估计处理。此外,方向估计部214中的对于基本配置5的虚拟接收阵列的处理与基本配置1相同,因此,此处省略其说明。

[0829] 图94表示例如在如图89所示地使用了发送天线106的数量 $N_t = 4$ 及接收天线202的数量 $N_a = 4$ 的MIMO阵列配置 ($D_H = 0.5\lambda$, $D_V = 0.5\lambda$) 的情况下,使用波束形成法作为方向估计部214的到达方向估计算法的情况下的方向估计结果的一例。即,在图94中,发送天线106的水平方向及垂直方向的天线间隔为 1λ 以上,接收天线202的水平方向及垂直方向的天线间隔也为 1λ 以上。此外,将各天线的指向性设为无指向性,进行了计算。

[0830] 在图94中,标绘了将目标真值设为水平0度、垂直0度的情况下的水平方向 ± 90 度

范围、以及垂直方向 ± 90 度范围内的到达方向估计评价函数值的输出。

[0831] 在图94中,能够确认在目标真值的水平0度、垂直0度以外的方向上,例如与图1A相比,降低了栅瓣。例如,在图94中,水平0度、垂直0度以外的方向的除了主瓣之外的最高旁瓣的峰值功率值相对于水平0度、垂直0度方向的主瓣的峰值功率值之比 (PSLR) 为0.35左右。

[0832] 如上所述,通过使用基本配置5的MIMO阵列配置,即使用作发送阵列天线及接收阵列天线的天线的纵方向或横方向的元件尺寸为 1λ 左右,也能够以包含达到 0.5λ 左右的元件间隔的方式,配置虚拟接收阵列中的水平方向及垂直方向的天线间隔,从而能够降低栅瓣。另外,例如,图52A所示的虚拟接收阵列的各虚拟阵列元件不重复地配置,因此,能够扩大虚拟接收阵列的孔径长度,从而能够提高角度分辨率。

[0833] <基本配置5的变形例1>

[0834] 在基本配置5的变形例1中,说明将基本配置5所示的发送阵列天线的配置及接收阵列天线的配置分别设为“基本集合”,且使多个基本集合的配置位置偏移后的结构的MIMO阵列配置。

[0835] 以下,分别说明基本配置5的变形例1的配置方法5-1A、配置方法5-1B及配置方法5-1C。

[0836] (配置方法5-1A)

[0837] 在配置方法5-1A中,说明将基本配置5所示的4个元件的发送阵列天线的配置及4个元件的接收阵列天线的配置分别设为“基本集合”,且使多个基本集合的配置位置偏移后的结构的MIMO阵列配置。

[0838] 此外,在以下所示的配置中,可以使虚拟接收阵列配置中无重复的元件,且使更多的虚拟阵列元件以 D_v 或 D_H 间隔紧密地配置在虚拟接收阵列的中心附近的方式,设定相对于发送阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移、或相对于接收阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移。但是,并不限于此,例如,在使虚拟接收阵列配置增加不等间隔的配置的情况下,或者在使虚拟接收阵列配置增加虚拟阵列元件重复的配置的情况下,也同样可以通过调整配置位置的偏移来实现。

[0839] 图95表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图95中,将第二个基本集合(Tx#5、Tx#6、Tx#7及Tx#8)相对于第一个基本集合(Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 5D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ 。如图95所示,根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置,能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高水平方向的角度分辨率。此外,在图95的情况下,虚拟阵列元件重复地配置在两处。

[0840] 图96表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图96中,将第二个基本集合(Tx#5、Tx#6、Tx#7及Tx#8)相对于第一个基本集合(Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 0$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 3D_v$ 。如图96所示,根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置,能够增加沿着垂直方向以 D_v 间隔紧密地配置的虚拟阵列

元件数,从而能够提高水平方向的角度分辨率。此外,在图96的情况下,虚拟阵列元件重复地配置在两处。

[0841] 图97表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet}=1$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet}=2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图97中,将第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7、Rx#8)相对于第一个基本集合(例如,Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{HOffset_RxBaseSet2}=5D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{VOffset_RxBaseSet2}=0$ 。如图97所示,根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置,能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高水平方向的角度分辨率。此外,在图97的情况下,虚拟阵列元件重复地配置在两处。

[0842] 图98表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet}=1$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet}=2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图98中,将第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7及Rx#8)相对于第一个基本集合(例如,Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{HOffset_RxBaseSet2}=0$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{VOffset_RxBaseSet2}=3D_V$ 。如图98所示,根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置,能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。此外,在图98的情况下,虚拟阵列元件重复地配置在两处。

[0843] 图99表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet}=2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet}=2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图99中,将发送阵列天线的第二个基本集合(Tx#5、Tx#6、Tx#7及Tx#8)相对于第一个基本集合(例如,Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{HOffset_TxBaseSet2}=10D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{VOffset_TxBaseSet2}=0$ 。另外,在图99中,将接收阵列天线的第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7及Rx#8)相对于第一个基本集合(例如,Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{HOffset_RxBaseSet2}=5D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{VOffset_RxBaseSet2}=0$ 。如图99所示,根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置、及使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置,例如与图95或图97相比,能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。此外,在图99的情况下,虚拟阵列元件重复地配置在四处。

[0844] 图100A表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet}=2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet}=4$ 的情况下的MIMO阵列配置例,图100B表示虚拟接收阵列配置例。

[0845] 在图100A中,将发送阵列天线的第二个基本集合(Tx#5、Tx#6、Tx#7及Tx#8)相对于第一个基本集合(例如,Tx#1、Tx#2、Tx#3及Tx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{HOffset_TxBaseSet2}=5D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{VOffset_TxBaseSet2}=0$ 。

[0846] 另外,在图100A中,将接收阵列天线的第二个基本集合(Rx#5、Rx#6、Rx#7及Rx#8)相对于第一个基本集合(例如,Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{HOffset_RxBaseSet2}=5D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{VOffset_RxBaseSet2}=-3D_V$,将第

三个基本集合 (Rx#9、Rx#10、Rx#11及Rx#12) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet3}} = -5D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}} = -3D_V$, 将第四个基本集合 (Rx#13、Rx#14、Rx#15及Rx#16) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet4}} = 0$, 并将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}} = -6D_V$ 。

[0847] 如图100A及图100B所示, 根据使发送阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的配置、以及使接收阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 例如与图95或图97相比, 能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。

[0848] 同样地, 如图100A及图100B所示, 根据使接收阵列天线的基本集合沿着垂直方向偏移后的配置, 能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高垂直方向的角度分辨率。此外, 在图100B的情况下, 虚拟阵列元件重复地配置在八处。

[0849] <配置方法5-1B>

[0850] 在配置方法5-1B中, 说明将基本配置5所示的4个元件的发送阵列天线的配置及3个元件的接收阵列天线的配置、或者3个元件的发送阵列天线的配置及4个元件的接收阵列天线的配置分别设为“基本集合”, 且使多个基本集合的配置位置偏移后的结构的MIMO阵列配置。

[0851] 此外, 以下, 作为一例, 说明将图90A所示的天线配置用作“基本集合”的情况。但是, 天线配置不限于图90A所示的例子, 也可以是其他的天线配置 (例如, 图90B、图91A或图91B)。

[0852] 另外, 在以下所示的配置中, 可以使虚拟接收阵列配置中无重复的元件, 且使更多的虚拟阵列元件以 D_V 或 D_H 间隔紧密地配置在虚拟接收阵列的中心附近的方式, 设定相对于发送阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移、或相对于接收阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移。但是, 并不限于此, 例如, 在使虚拟接收阵列配置增加不等间隔的配置的情况下, 或者在使虚拟接收阵列配置增加虚拟阵列元件重复的配置的情况下, 也同样可以通过调整配置位置的偏移来实现。

[0853] 图101表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{RxBaseSet}} = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图101中, 将第二个基本集合 (Tx#4、Tx#5及Tx#6) 相对于第一个基本集合 (Tx#1、Tx#2及Tx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 4D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = D_V$ 。如图101所示, 根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0854] 图102表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{\text{RxBaseSet}} = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图102中, 将第二个基本集合 (Tx#4、Tx#5及Tx#6) 相对于第一个基本集合 (Tx#1、Tx#2及Tx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 0$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = 3D_V$ 。如图102所示, 根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置, 能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0855] 图103表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 1$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图103中, 将第二个基本集合 (Rx#5、Rx#6、Rx#7及Rx#8) 相对于第一个基本集合 (例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 4D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = D_V$ 。如图103所示, 根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0856] 图104表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 1$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图104中, 将第二个基本集合 (Rx#5、Rx#6、Rx#7及Rx#8) 相对于第一个基本集合 (例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 0$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 3D_V$ 。如图104所示, 根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置, 能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0857] 图105表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图105中, 将发送阵列天线的第二个基本集合 (Tx#4、Tx#5及Tx#6) 相对于第一个基本集合 (Tx#1、Tx#2及Tx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 4D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = -2D_V$ 。另外, 在图105中, 将接收阵列天线的第二个基本集合 (Rx#5、Rx#6、Rx#7及Rx#8) 相对于第一个基本集合 (例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 4D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = D_V$ 。如图105所示, 根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置、以及使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 例如与图101或图103相比, 能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。

[0858] 图106A表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 4$ 的情况下的MIMO阵列配置例, 图106B表示虚拟接收阵列配置例。

[0859] 在图106A中, 将发送阵列天线的第二个基本集合 (Tx#4、Tx#5及Tx#6) 相对于第一个基本集合 (Tx#1、Tx#2及Tx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 4D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = D_V$ 。

[0860] 另外, 在图106A中, 将接收阵列天线的第二个基本集合 (Tx#5、Tx#6、Tx#7及Tx#8) 相对于第一个基本集合 (例如, Rx#1、Rx#2、Rx#3及Rx#4) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 4D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = -2D_V$, 将第三个基本集合 (Tx#9、Tx#10、Tx#11及Tx#12) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet3} = -6D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet3} = -3D_V$, 将第四个基本集合 (Tx#13、Tx#14、Tx#15及Tx#16) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet4} = -2D_H$, 并将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet4} = -5D_V$ 。

[0861] 如图106A及图106B所示, 根据使发送阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的

配置、以及使接收阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的配置,例如与图101或图103相比,能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。

[0862] 同样地,如图106A及图106B所示,根据使接收阵列天线的基本集合沿着垂直方向偏移后的配置,能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0863] <配置方法5-1C>

[0864] 在配置方法5-1C中,说明将基本配置5所示的3个元件的发送阵列天线的配置及3个元件的接收阵列天线的配置分别设为“基本集合”,且使多个基本集合的配置位置偏移后的结构的MIMO阵列配置。

[0865] 此外,以下,作为一例,说明将图92B所示的天线配置用作“基本集合”的情况。但是,天线配置不限于图92B所示的例子,也可以是其他的天线配置(例如,图92A、图92C或图92D)。

[0866] 另外,在以下所示的配置中,可以使虚拟接收阵列配置中无重复的元件,且使更多的虚拟阵列元件以 D_V 或 D_H 间隔紧密地配置在虚拟接收阵列的中心附近的方式,设定相对于发送阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移、或相对于接收阵列天线的基本集合的水平方向及垂直方向的配置位置的偏移。但是,并不限于此,例如,在使虚拟接收阵列配置增加不等间隔的配置的情况下,或者在使虚拟接收阵列配置增加虚拟阵列元件重复的配置的情况下,也同样可以通过调整配置位置的偏移来实现。

[0867] 图107表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图107中,将第二个基本集合(Tx#4、Tx#5及Tx#6)相对于第一个基本集合(Tx#1、Tx#2及Tx#3)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 3D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ 。如图107所示,根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置,能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0868] 图108表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 1$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图108中,将第二个基本集合(Tx#4、Tx#5、Tx#6)相对于第一个基本集合(Tx#1、Tx#2及Tx#3)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 0$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 3D_V$ 。如图108所示,根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置,能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0869] 图109表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 1$,且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图109中,将第二个基本集合(Rx#4、Rx#5、Rx#6)相对于第一个基本集合(Rx#1、Rx#2及Rx#3)的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 3D_H$,将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$ 。如图109所示,根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置,能够增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数,

从而能够提高水平方向的角度分辨率。

[0870] 图110表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 1$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图110中, 将第二个基本集合 (Rx#4、Rx#5、Rx#6) 相对于第一个基本集合 (Rx#1、Rx#2及Rx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 0$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 3D_V$ 。如图110所示, 根据使接收阵列天线的2个基本集合沿着垂直方向偏移后的配置, 能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0871] 图111表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 2$ 的情况下的MIMO阵列配置例、以及虚拟接收阵列配置例。在图111中, 将发送阵列天线的第二个基本集合 (Tx#4、Tx#5、Tx#6) 相对于第一个基本集合 (Tx#1、Tx#2及Tx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 6D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ 。另外, 在图111中, 将接收阵列天线的第二个基本集合 (Rx#4、Rx#5、Rx#6) 相对于第一个基本集合 (Rx#1、Rx#2及Rx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 3D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$ 。如图111所示, 根据使发送阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置、以及使接收阵列天线的2个基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 例如与图107或图109相比, 能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。

[0872] 图112A表示将发送阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{TxBaseSet} = 2$, 且将接收阵列天线的基本集合的数量设为 $N_{RxBaseSet} = 4$ 的情况下的MIMO阵列配置例, 图112B表示虚拟接收阵列配置例。

[0873] 在图112A中, 将发送阵列天线的第二个基本集合 (Tx#4、Tx#5、Tx#6) 相对于第一个基本集合 (Tx#1、Tx#2及Tx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 3D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ 。

[0874] 另外, 在图112A中, 将接收阵列天线的第二个基本集合 (Rx#4、Rx#5、Rx#6) 相对于第一个基本集合 (Rx#1、Rx#2及Rx#3) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = -3D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet2} = -3D_V$, 将第三个基本集合 (Rx#7、Rx#8、Rx#9) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet3} = 6D_H$, 将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet3} = 0$, 将第四个基本集合 (Rx#10、Rx#11、Rx#12) 的水平方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Hoffset_RxBaseSet4} = 3D_H$, 并将垂直方向上的配置位置的偏移设为 $D_{Voffset_RxBaseSet4} = -3D_V$ 。

[0875] 如图112A及图112B所示, 根据使发送阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的配置、以及使接收阵列天线的基本集合沿着水平方向偏移后的配置, 例如与图107或图109相比, 能够进一步增加沿着水平方向以 D_H 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够进一步提高水平方向的角度分辨率。

[0876] 同样地, 如图112A及图112B所示, 根据使接收阵列天线的基本集合沿着垂直方向偏移后的配置, 能够增加沿着垂直方向以 D_V 间隔紧密地配置的虚拟阵列元件数, 从而能够提高垂直方向的角度分辨率。

[0877] 以上,分别说明了配置方法5-1A、配置方法5-1B及配置方法5-1C。

[0878] 此外,在配置方法5-1A、配置方法5-1B及配置方法5-1C中,发送阵列天线及接收阵列天线所含的基本集合的数量($N_{TxBaseSet}$ 、 $N_{RxBaseSet}$)并不限定于上述例子,也可以是其他的值。

[0879] 以上,说明了本发明的一个实施例的实施方式。

[0880] 另外,也可以将上述实施方式及各变形例的动作适当组合而实施。

[0881] [其他实施方式]

[0882] 发送天线数 N_t 及接收天线数 N_a 并不限定于上述例子,也可以是其他的值。另外,间隔 D_v 及间隔 D_h 并不限定于 0.5λ ,例如,也可以是 0.5λ 以上且为 1λ 以下的值。另外, D_v 和 D_h 可以是相同的值,也可以是不同的值。

[0883] 在上述实施方式中,说明了使用编码脉冲雷达的情况,但本发明也可适用于如啁啾(Chirp)脉冲雷达那样的使用经频率调制的脉冲波的雷达方式。

[0884] 在图4所示的雷达装置10中,雷达发送部100及雷达接收部200也可以各自独立地配置在物理上分离的场所。

[0885] 虽未图示,但雷达装置10例如具有CPU(Central Processing Unit,中央处理器)、保存有控制程序的ROM(Read Only Memory,只读存储器)等记录介质、以及RAM(Random Access Memory,随机存取存储器)等作业用存储器。此时,上述各部的功能是通过CPU执行控制程序来实现。但是,雷达装置10的硬件结构并不限定于此例。例如,雷达装置10的各功能部也可以作为集成电路即IC(Integrated Circuit)而实现。各功能部既可以各自独立地单片化,也可以包含其一部分或全部的方式而单片化。

[0886] 在上述实施方式中,各构成要素中所用的“部”这一表述也可以替换为“电路(circuitry)”、“设备(device)”、“单元(unit)”或“模块(module)”等其他表述。

[0887] 以上,参照附图说明了各种实施方式,但本发明当然不限于此例。本领域技术人员应当了解,在权利要求书所记载的范畴内,能想到各种变更例或修正例是显而易见的,这些当然也属于本发明的技术范围。另外,也可以在不脱离发明主旨的范围内,将上述实施方式中的各构成要素任意地组合。

[0888] 本发明能够通过软件、硬件、或与硬件联动的软件来实现。上述实施方式的说明中所用的各功能块也可以部分或整体地作为集成电路即LSI(Large Scale Integration,大规模集成电路)来实现,上述实施方式中所说明的各过程也可以部分或整体地由一个LSI或LSI的组合控制。LSI既可以由各个芯片构成,也可以包含功能块的一部分或全部的方式由一个芯片构成。LSI也可以具备数据的输入与输出。根据集成度的不同,LSI也有时被称作IC(integrated circuit,集成电路)、系统LSI(System LSI)、超大LSI(Super LSI)、特大LSI(Ultra LSI)。集成电路化的方法并不限于LSI,也可以通过专用电路、通用处理器或专用处理器来实现。另外,也可以利用LSI制造后能够编程的FPGA(Field Programmable Gate Array,现场可编程门阵列)或可以对LSI内部的电路块的连接或设定进行重构的可重构处理器。本发明也可以作为数字处理或模拟处理来实现。另外,如果随着半导体技术的进步或其他技术的派生,出现了代替LSI的集成电路化的技术,当然也可以使用该技术来实现功能块的集成化。还存在适用生物技术等的可能性。

[0889] 本发明能在具备通信功能的所有种类的装置、设备、系统(总称为“通信装置”)中

实施。作为通信装置的非限定示例,可以列举电话机(移动电话、智能电话等)、平板、个人电脑(PC)(膝上型电脑、台式机、笔记本电脑等)、相机(数码照相机/数码摄像机等)、数码播放器(数码音频/视频播放器等)、可穿戴设备(可穿戴相机、智能手表、跟踪设备等)、游戏机、电子书阅读器、远程健康/远程医疗(远程保健/处方)设备、带有通信功能的交通工具或交通运输工具(汽车、飞机、轮船等)、及上述各种装置的组合。

[0890] 通信装置并不限于可携带或可移动的装置,也包含无法携带或受到固定的所有种类的装置、设备、系统,例如包括:智能家居设备(家电设备、照明设备、智能电表或计量器、控制面板等)、自动售货机、以及其他可存在于IoT(Internet of Things,物联网)网络上的所有“物体(Things)”。

[0891] 通信除了包含通过蜂窝系统、无线(Local Area Network,局域网)系统、通信卫星系统等的数据通信以外,还包含利用这些系统的组合进行的数据通信。另外,通信装置也包含与执行本发明中记载的通信功能的通信设备连接或连结的控制器或传感器等设备。例如,包含产生执行通信装置的通信功能的通信设备所使用的控制信号或数据信号的控制器或传感器。

[0892] 另外,通信装置包含与上述非限定性的各种装置进行通信的、或者对上述各种装置进行控制的基础设施设备。例如包括:基站、接入点、以及其他所有的装置、设备、系统。

[0893] <本发明的总结>

[0894] 本发明的一个实施例的雷达装置包括:雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,所述发送阵列天线由多个发送天线组构成,所述多个发送天线组各自包含沿着第一方向以第二间隔配置的多个发送天线,且在与所述第一方向正交的第二方向上以第四间隔配置,所述第二间隔是第一间隔的整数倍的间隔,所述第四间隔是第三间隔的整数倍的间隔,所述接收阵列天线由多个接收天线组构成,所述多个接收天线组各自包含沿着所述第一方向以第五间隔配置的多个接收天线,且在所述第二方向上以第六间隔配置,所述第五间隔是所述第一间隔的整数倍的间隔,所述第六间隔是所述第三间隔的整数倍的间隔,所述第二间隔与所述第五间隔之差为所述第一间隔,所述第四间隔与所述第六间隔之差为所述第三间隔。

[0895] 在本发明的一个实施例中,在所述多个发送天线组之间,各发送天线组所含的发送天线的所述第一方向的配置位置不同。

[0896] 在本发明的一个实施例中,在所述多个接收天线组之间,各接收天线组所含的接收天线的所述第一方向的配置位置不同。

[0897] 在本发明的一个实施例中,所述第二间隔和所述第五间隔中的至少一个间隔是比所述雷达信号的一个波长更长的间隔,所述第四间隔和所述第六间隔中的至少一个间隔是比所述雷达信号的一个波长更长的间隔,所述第一间隔及所述第三间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

[0898] 在本发明的一个实施例中,所述第二间隔是所述第一间隔的2倍的间隔,所述第四间隔是所述第三间隔的3倍的间隔,所述第五间隔是所述第一间隔的3倍的间隔,所述第六间隔是所述第三间隔的2倍的间隔。

[0899] 在本发明的一个实施例中,所述第二间隔是所述第一间隔的3倍的间隔,所述第四

间隔是所述第三间隔的3倍的间隔,所述第五间隔是所述第一间隔的2倍的间隔,所述第六间隔是所述第三间隔的2倍的间隔。

[0900] 本发明的一个实施例的雷达装置包括:雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,所述发送阵列天线包含至少3个发送天线,所述接收阵列天线包含至少3个接收天线,所述3个发送天线中的2个发送天线沿着第一方向隔开第二间隔地配置,所述第二间隔是第一间隔的2倍,所述3个发送天线中的剩余的一个发送天线以在所述第一方向上的与所述2个发送天线中的每一个的间隔均为所述第一间隔的方式配置,且以在与所述第一方向正交的第二方向上的与所述2个发送天线中的每一个的间隔为第四间隔的方式配置,所述第四间隔是第三间隔的2倍的间隔,所述3个接收天线中的2个接收天线沿着所述第二方向隔开所述第四间隔地配置,所述3个接收天线中的剩余的一个接收天线以在所述第二方向上的与所述2个接收天线中的每一个的间隔均为所述第三间隔的方式配置,且以在所述第一方向上的与所述2个接收天线中的每一个的间隔为所述第二间隔的方式配置。

[0901] 在本发明的一个实施例中,所述第一间隔和所述第三间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

[0902] 本发明的一个实施例的雷达装置包括:雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,所述发送阵列天线由多个发送天线组构成,所述多个发送天线组各自包含多个发送天线,在所述多个发送天线组中的每一个发送天线组中,相邻的2个发送天线以在第一方向上隔开第二间隔的方式配置,且以在与所述第一方向正交的第二方向上隔开第三间隔的方式配置,所述第二间隔是第一间隔的2倍的间隔,所述多个发送天线组中的相邻的发送天线组处于在所述第一方向上偏移了所述第一间隔,且在所述第二方向上偏移了第四间隔的关系,所述第四间隔是所述第三间隔的2倍的间隔,所述多个发送天线的各自的配置位置、与所述接收阵列天线所含的多个接收天线的各自的配置位置处于对于与所述第一方向或所述第二方向平行的线呈线对称的关系。

[0903] 在本发明的一个实施例中,所述第一间隔和所述第三间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

[0904] 本发明的一个实施例的雷达装置包括:雷达发送电路,使用发送阵列天线,发送雷达信号;以及雷达接收电路,使用接收阵列天线,接收所述雷达信号在目标反射后的反射波信号,所述发送阵列天线由多个发送天线组构成,所述多个发送天线组各自包含多个发送天线,在所述多个发送天线组中的每一个发送天线组中,相邻的2个发送天线以在第一方向上隔开第一间隔的方式配置,且以在与所述第一方向正交的第二方向的两个方向上隔开第二间隔的方式配置,所述多个发送天线组中的相邻的发送天线组沿着所述第一方向隔开第三间隔地配置,且处于在所述第二方向上偏移了所述第二间隔的关系,所述第三间隔是所述第一间隔的2倍的间隔,所述多个发送天线的各自的配置位置、与所述接收阵列天线所含的多个接收天线的各自的配置位置处于对于与所述第一方向或所述第二方向平行的线呈线对称的关系。

[0905] 在本发明的一个实施例中,所述第一间隔和所述第二间隔为所述雷达信号的0.5个波长以上且为一个波长以下。

[0906] 在2019年3月20日申请的特愿2019-053751的日本专利申请所包含的说明书、附图及说明书摘要的公开内容全部被引用于本申请。

[0907] 工业实用性

[0908] 本发明适合作为对目标进行检测的雷达装置。

[0909] 附图标记说明

[0910] 10 雷达装置

[0911] 100 雷达发送部

[0912] 200 雷达接收部

[0913] 300 基准信号生成部

[0914] 101、101a 雷达发送信号生成部

[0915] 102 编码生成部

[0916] 103 调制部

[0917] 104 LPF (Low Pass Filter, 低通滤波器)

[0918] 105 无线发送部

[0919] 106 发送天线

[0920] 111 编码存储部

[0921] 112 DA (digital-to-analog, 数模) 转换部

[0922] 201 天线系统处理部

[0923] 202 接收天线

[0924] 203 无线接收部

[0925] 204 放大器

[0926] 205 频率转换器

[0927] 206 正交检波器

[0928] 207 信号处理部

[0929] 208、209 AD (analog-to-digital, 模数) 转换部

[0930] 210 分离部

[0931] 211 相关运算部

[0932] 212 加法部

[0933] 213 多普勒频率分析部

[0934] 214 方向估计部

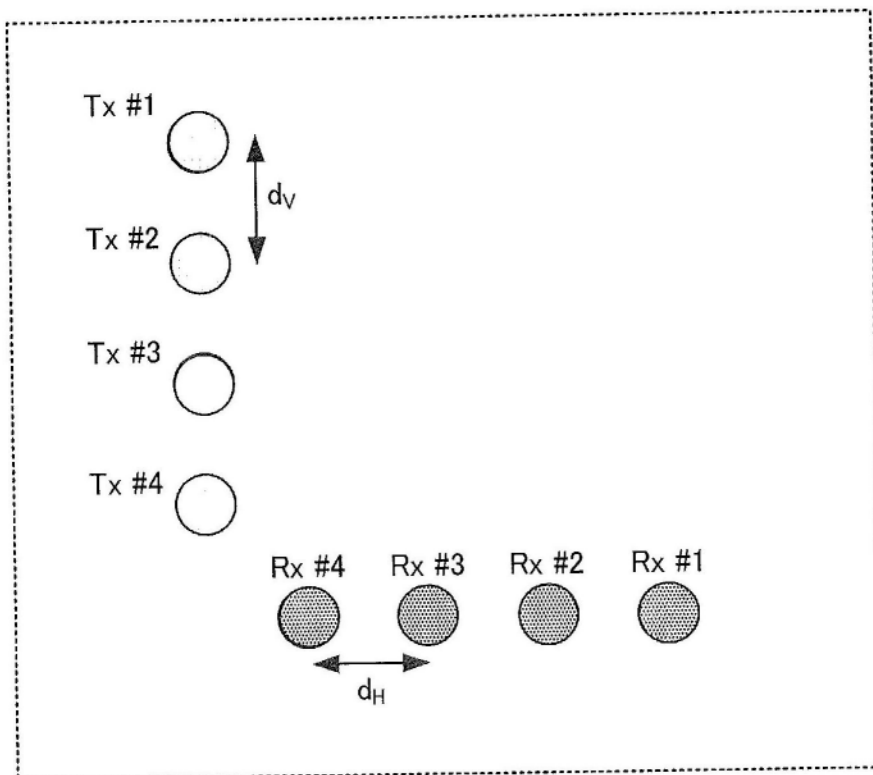


图1A

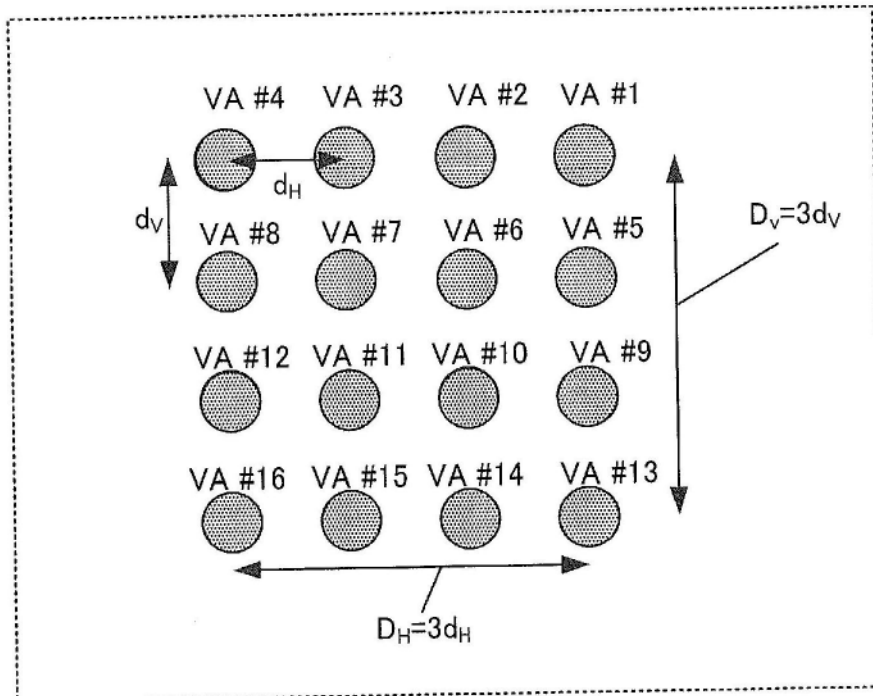


图1B

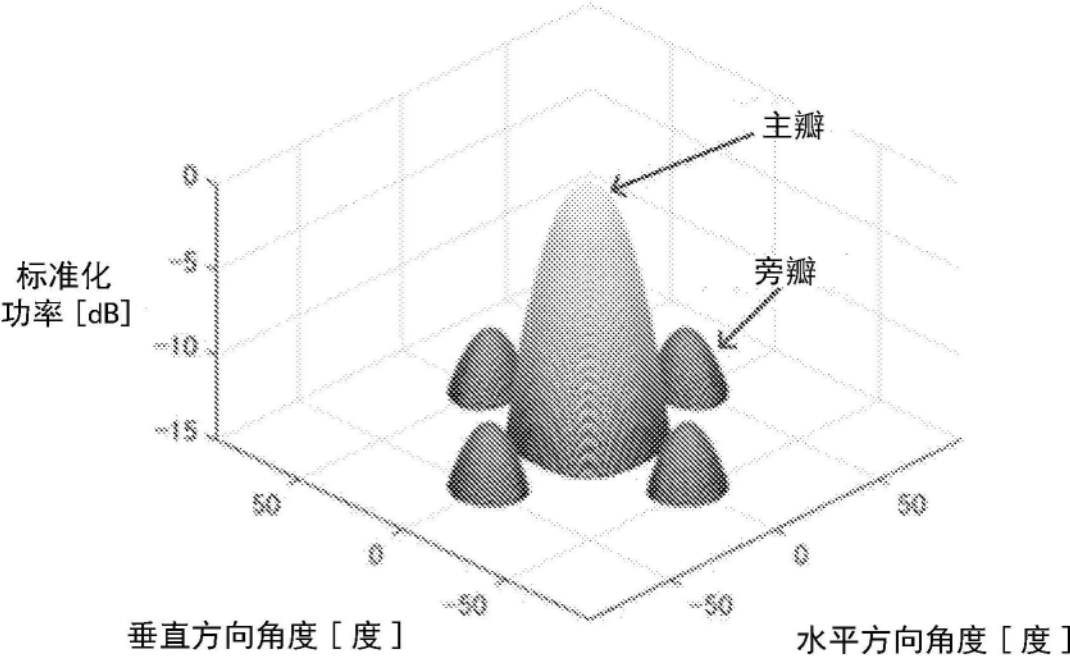


图2A

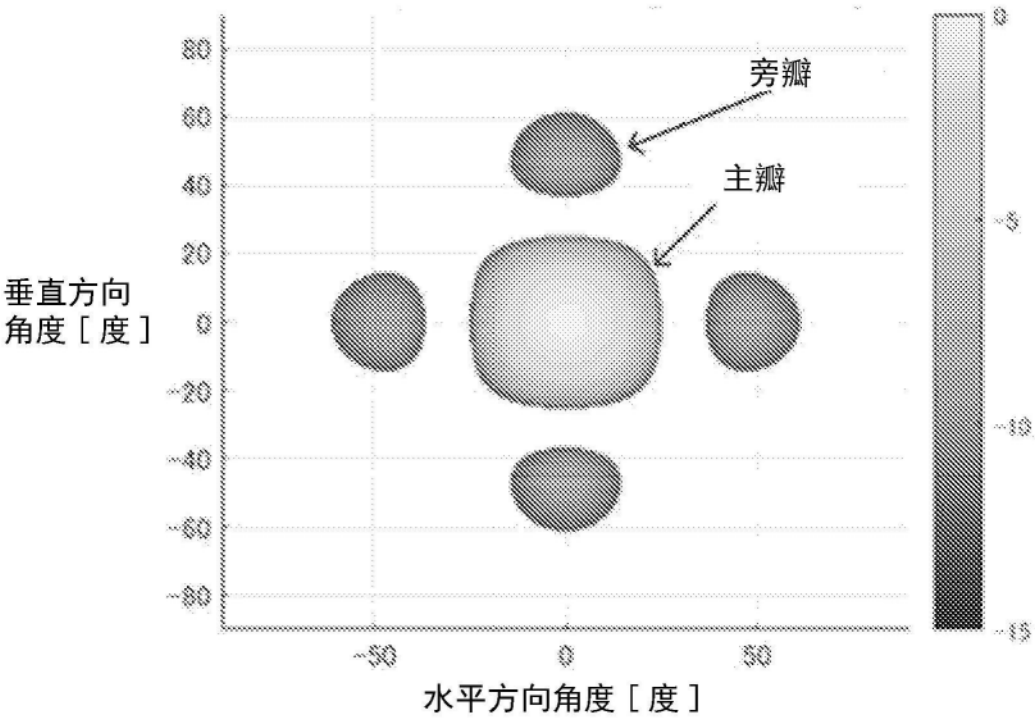


图2B

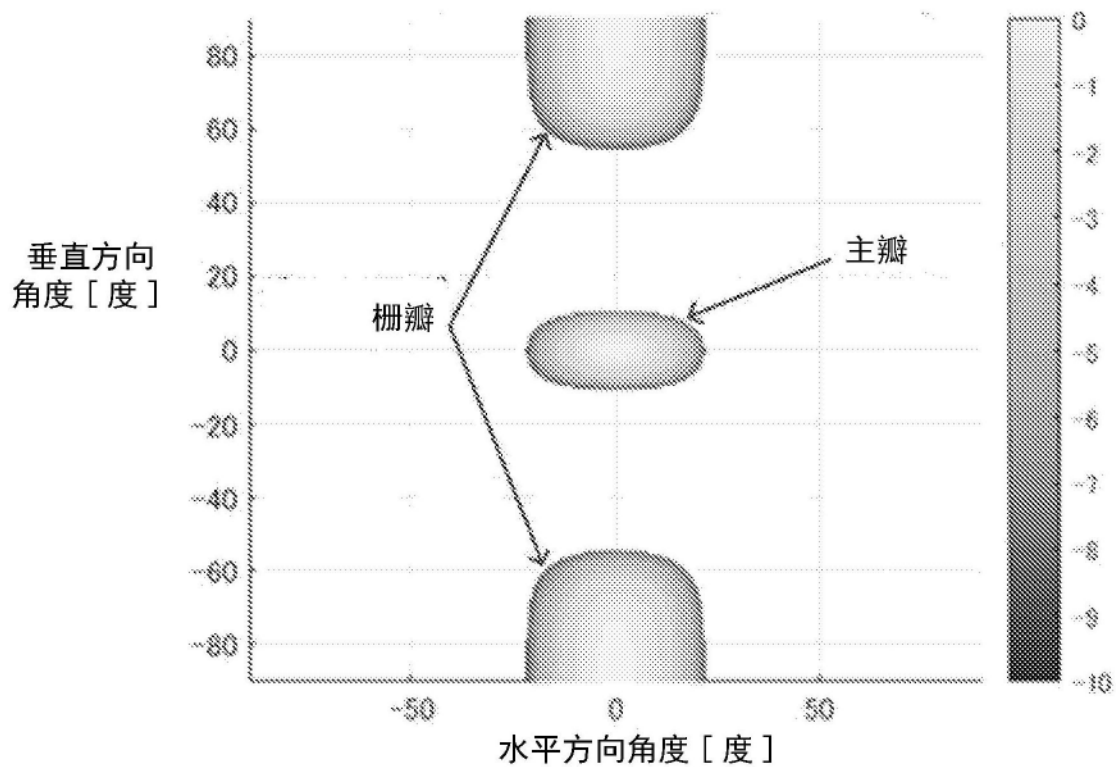


图3A

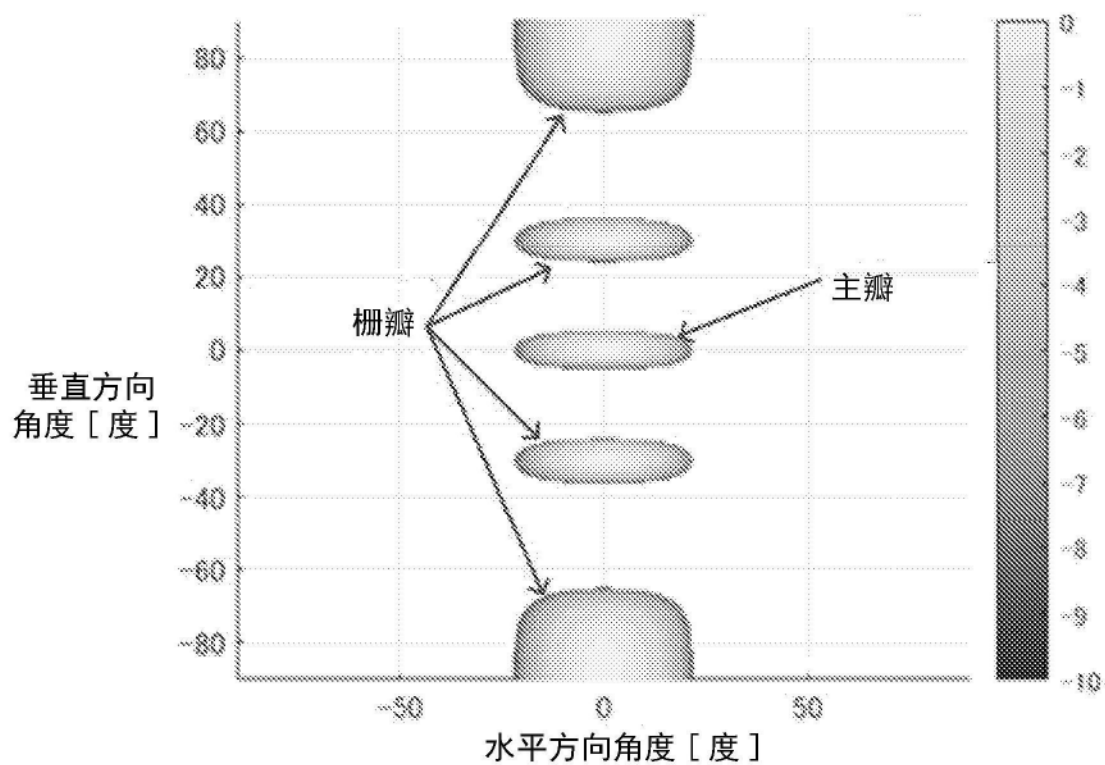


图3B

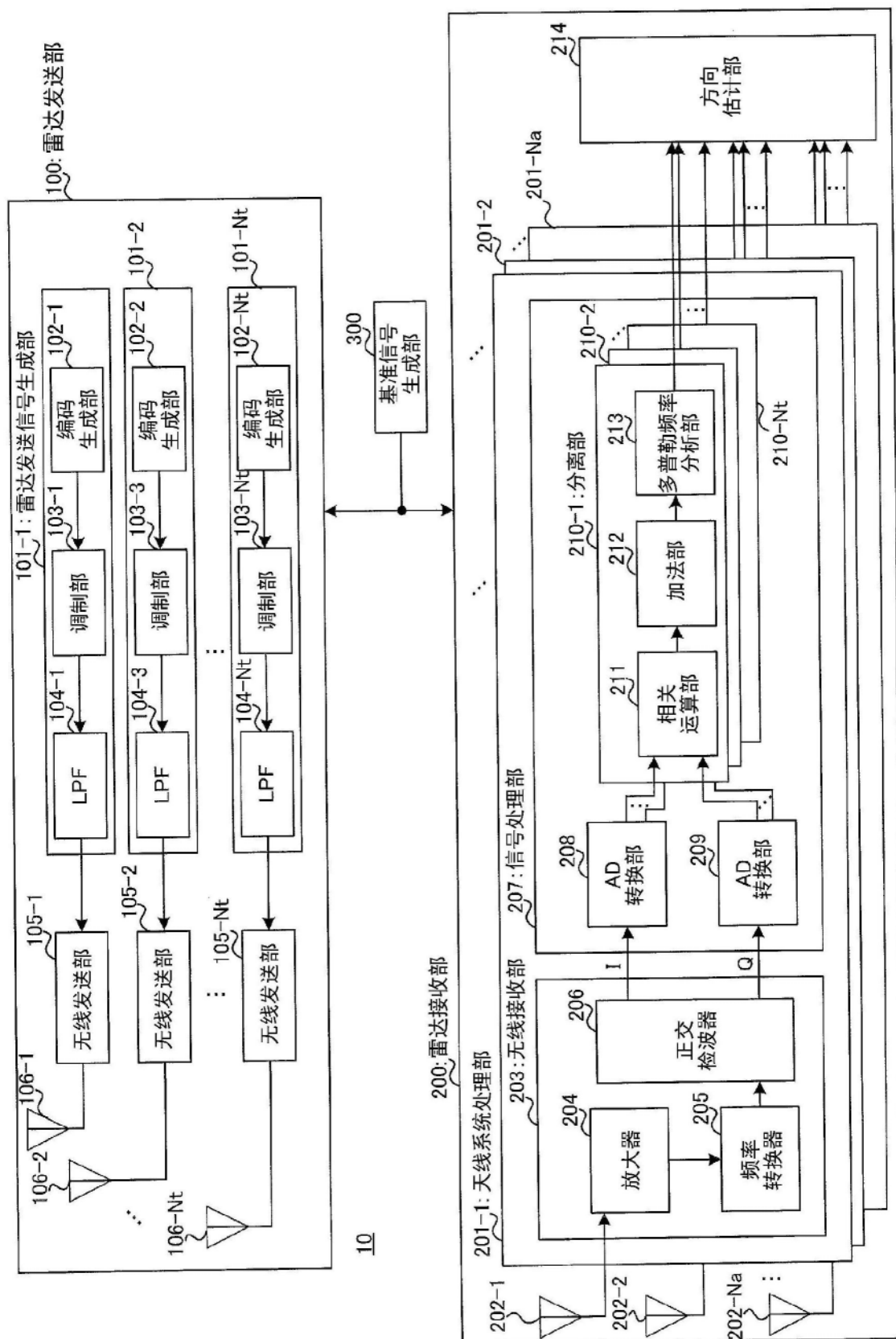


图4

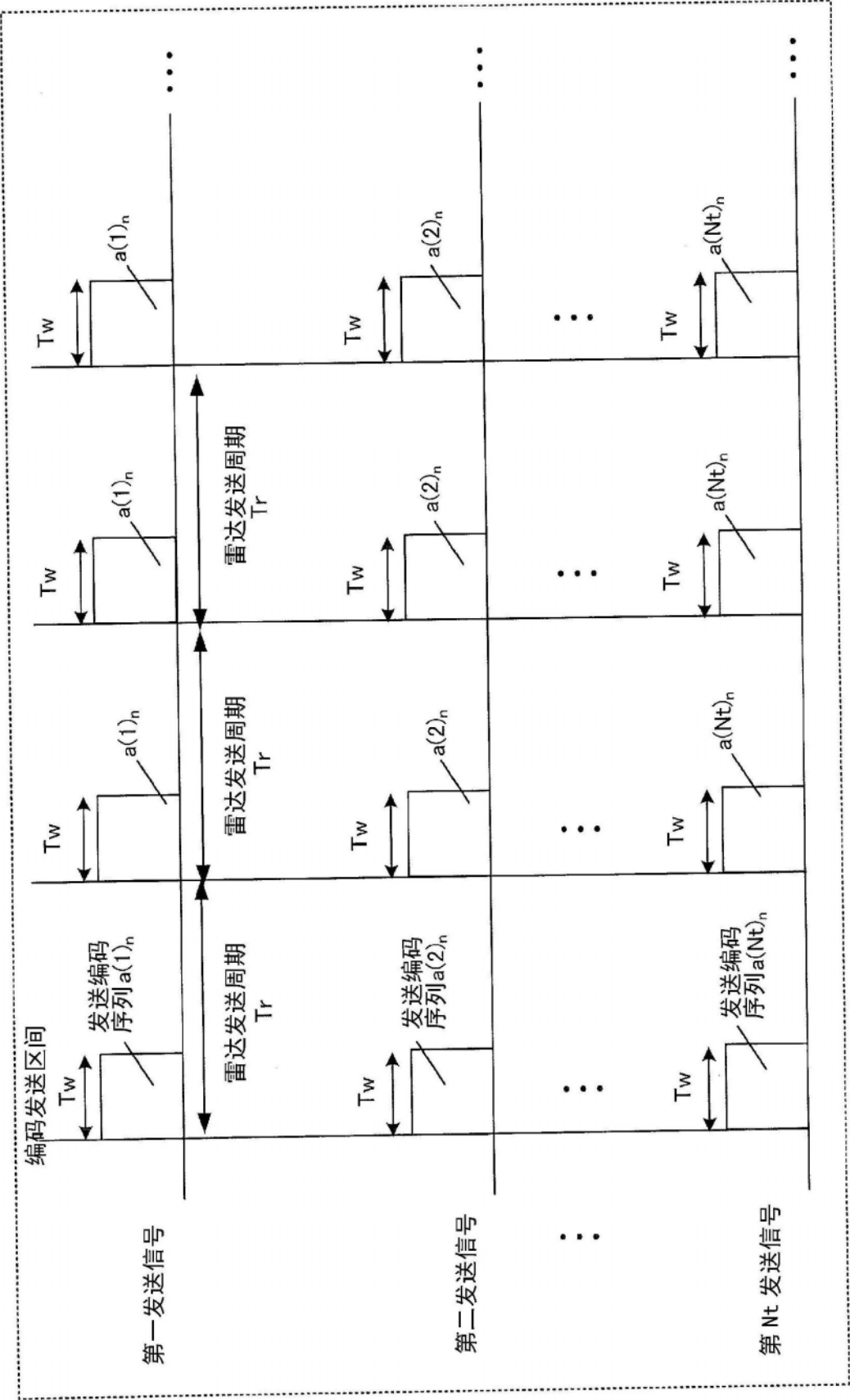


图5

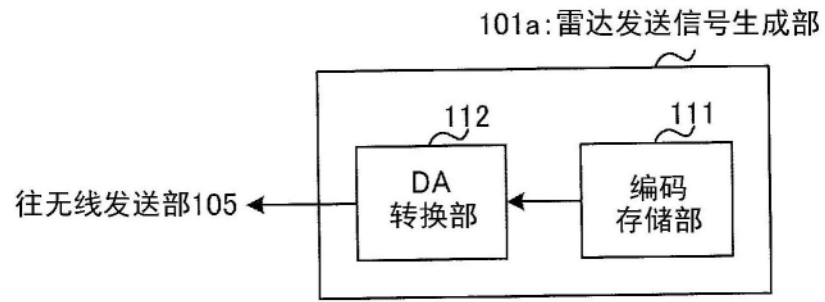


图6

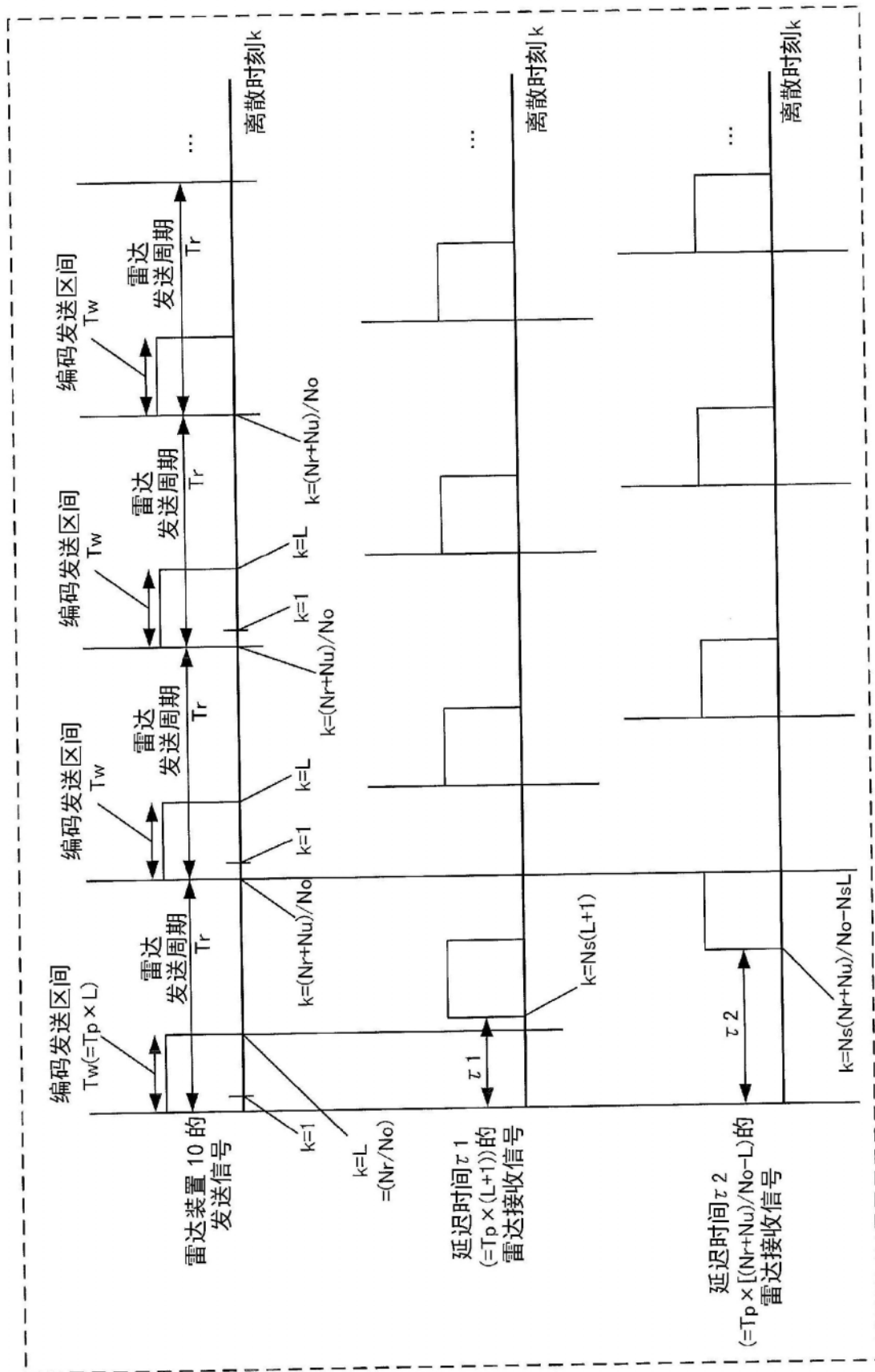


图7

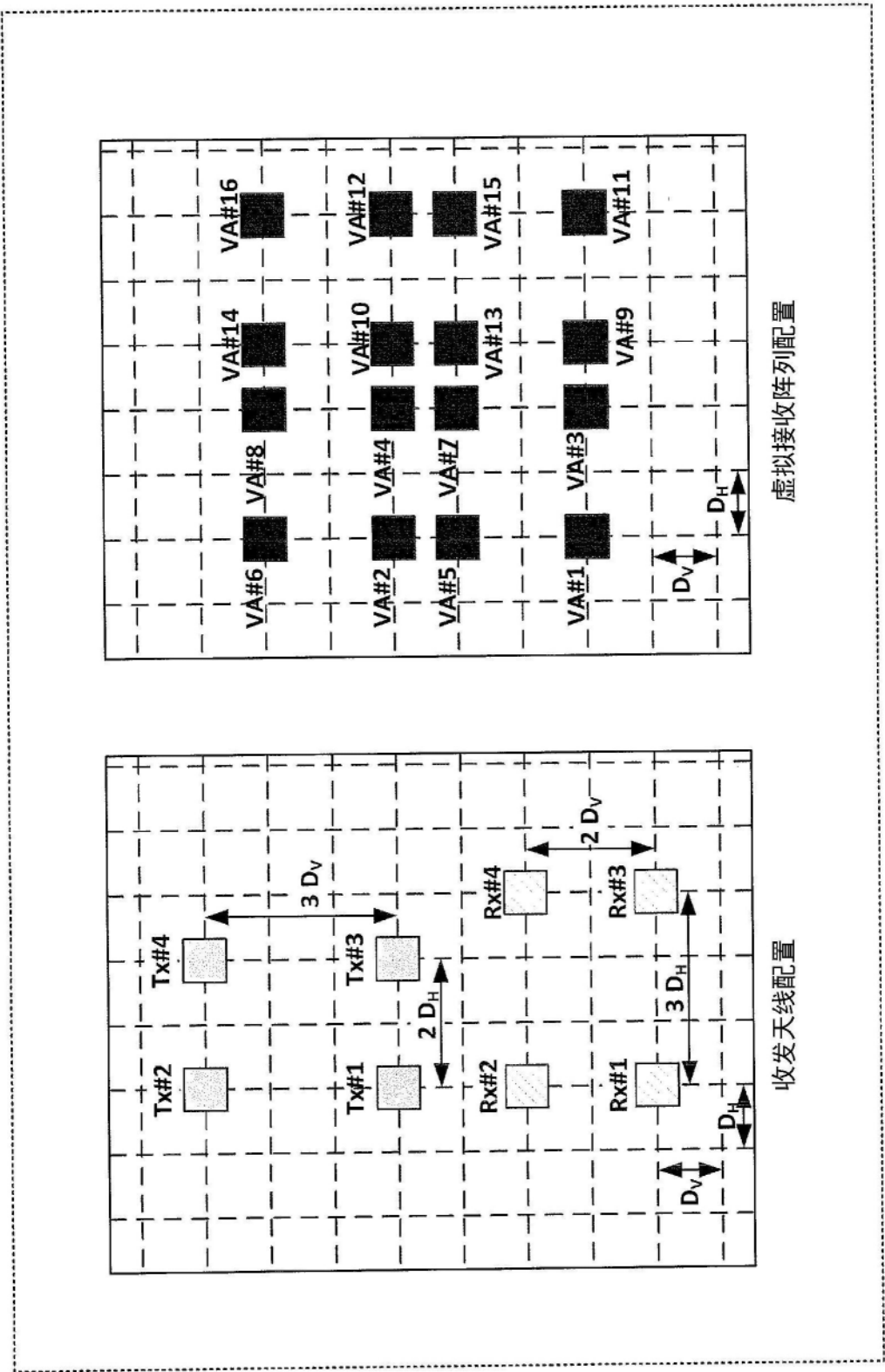


图8

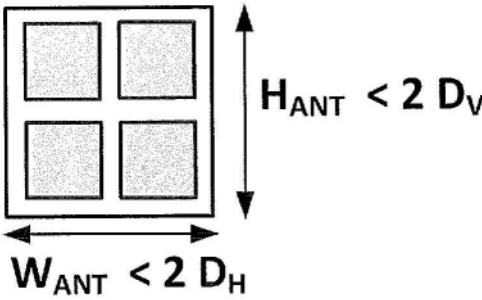


图9A

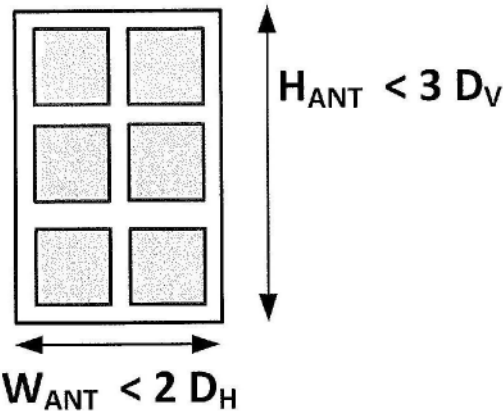


图9B

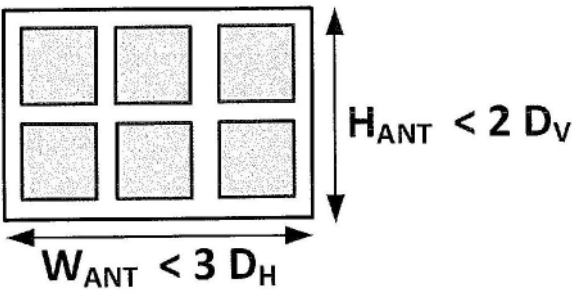


图9C

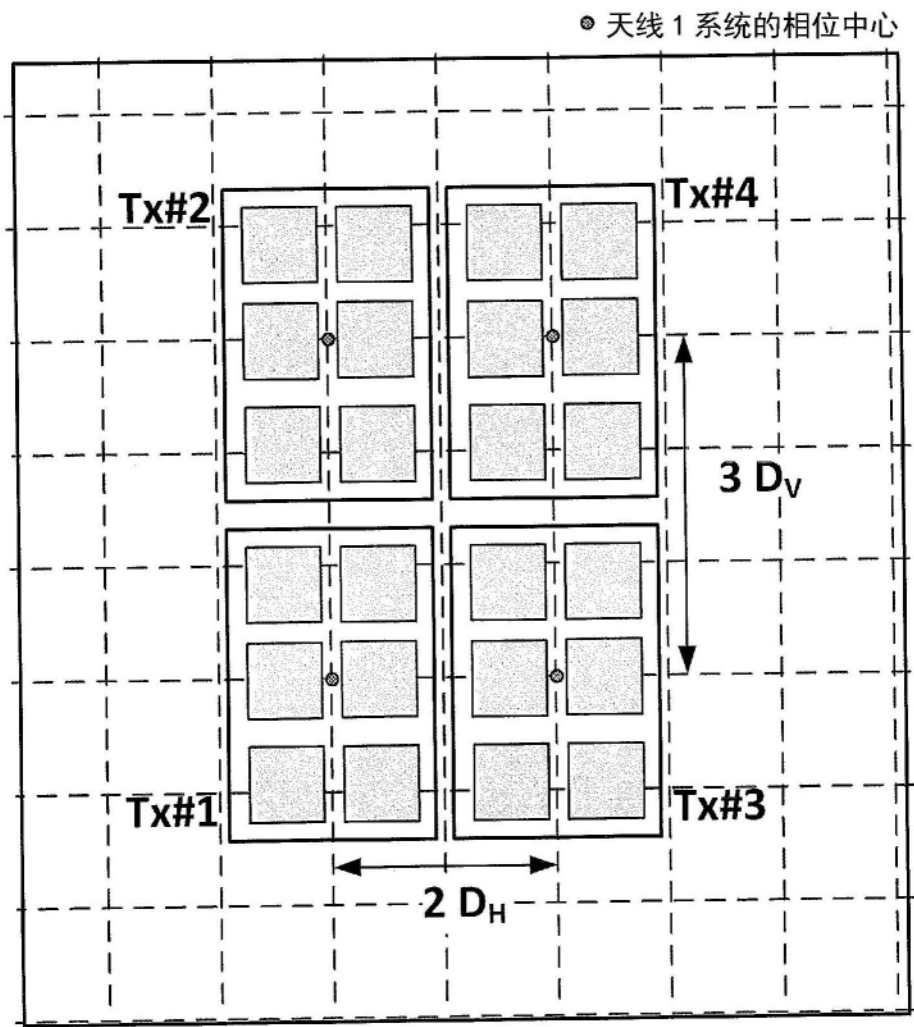


图10

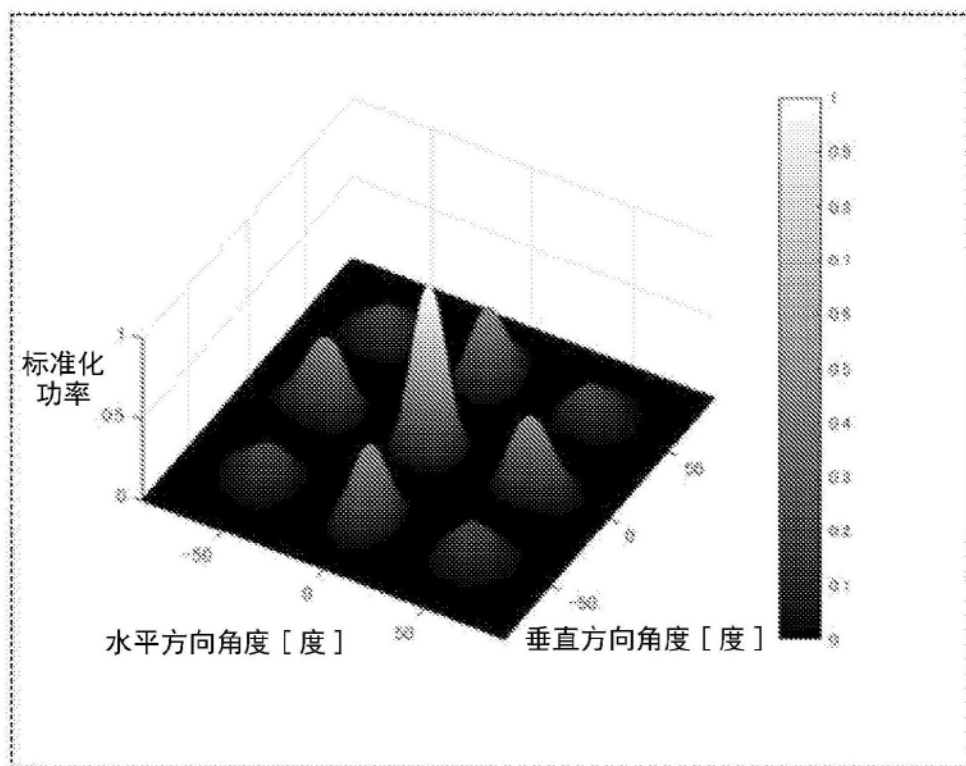


图11A

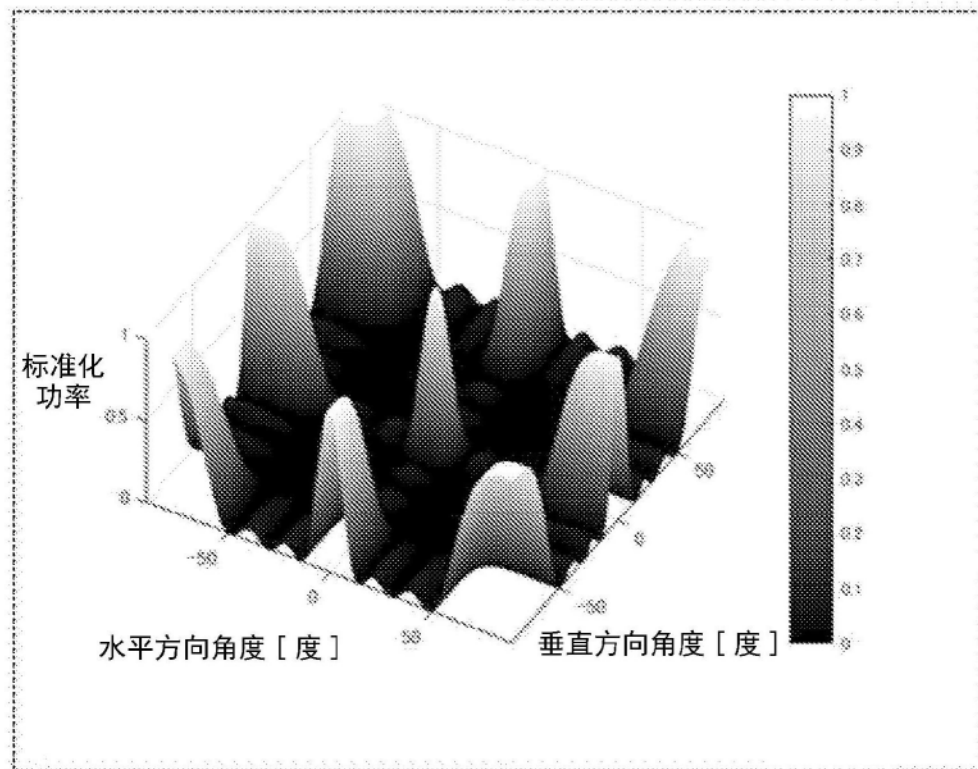


图11B

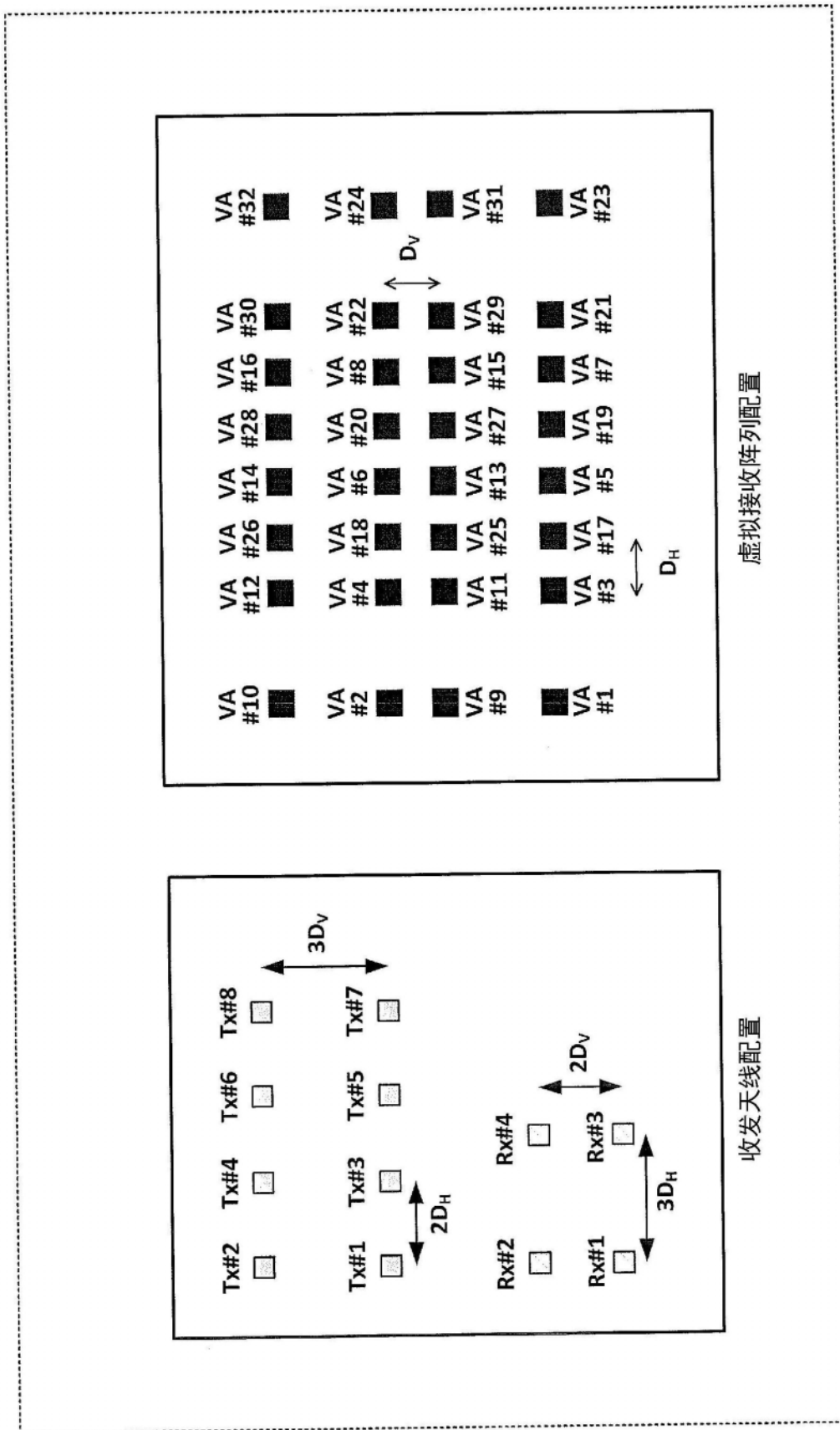


图12

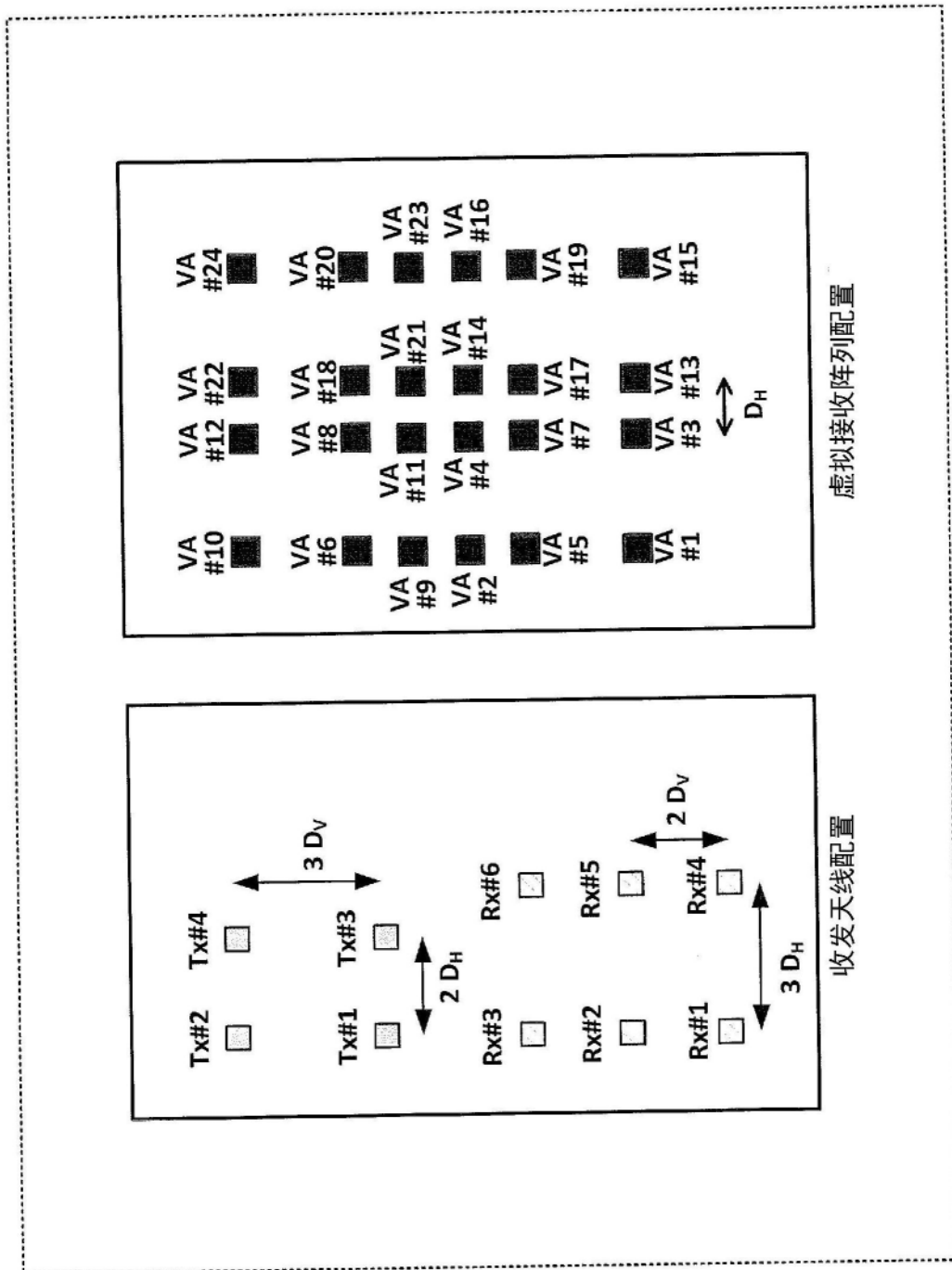


图13

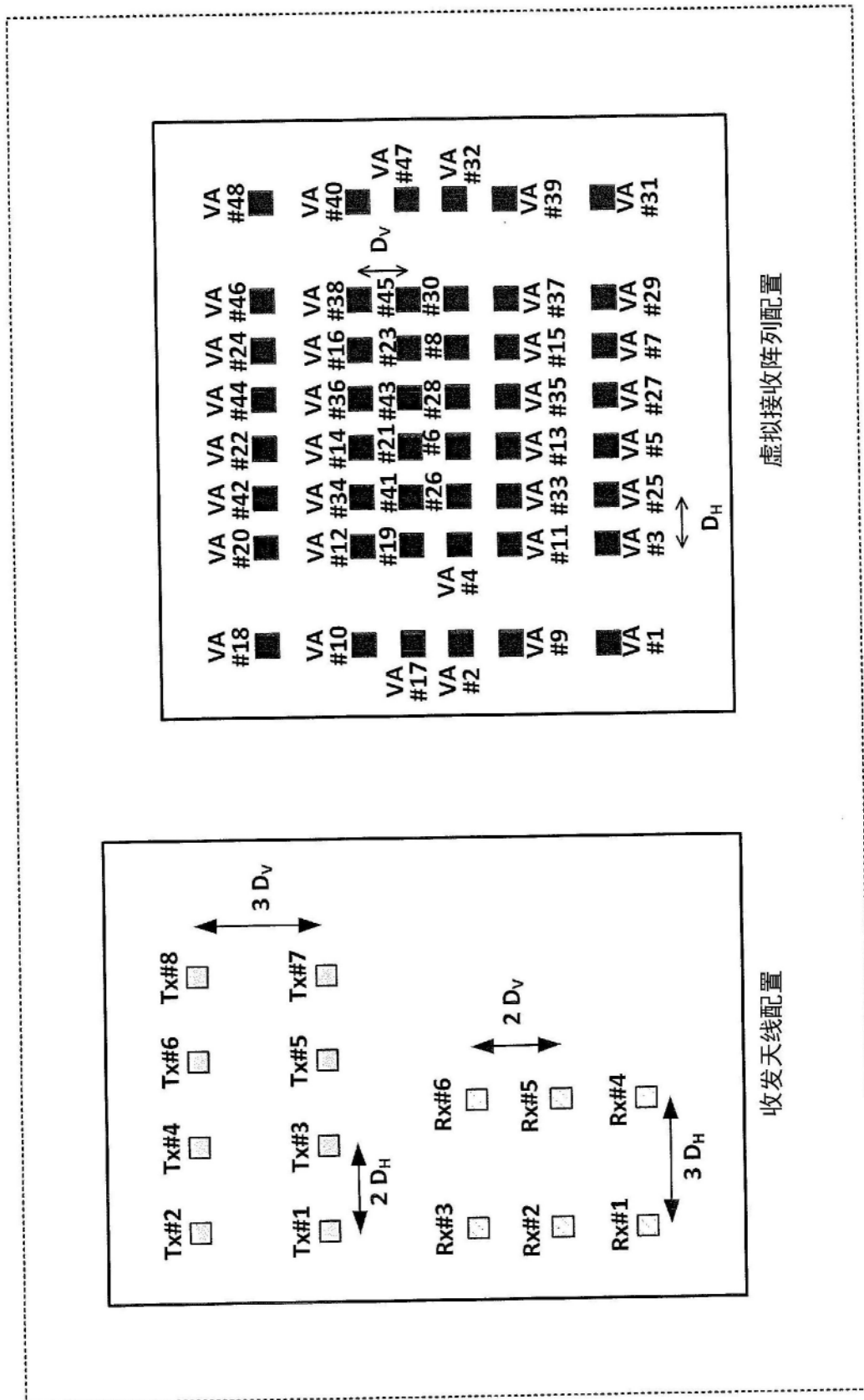


图14

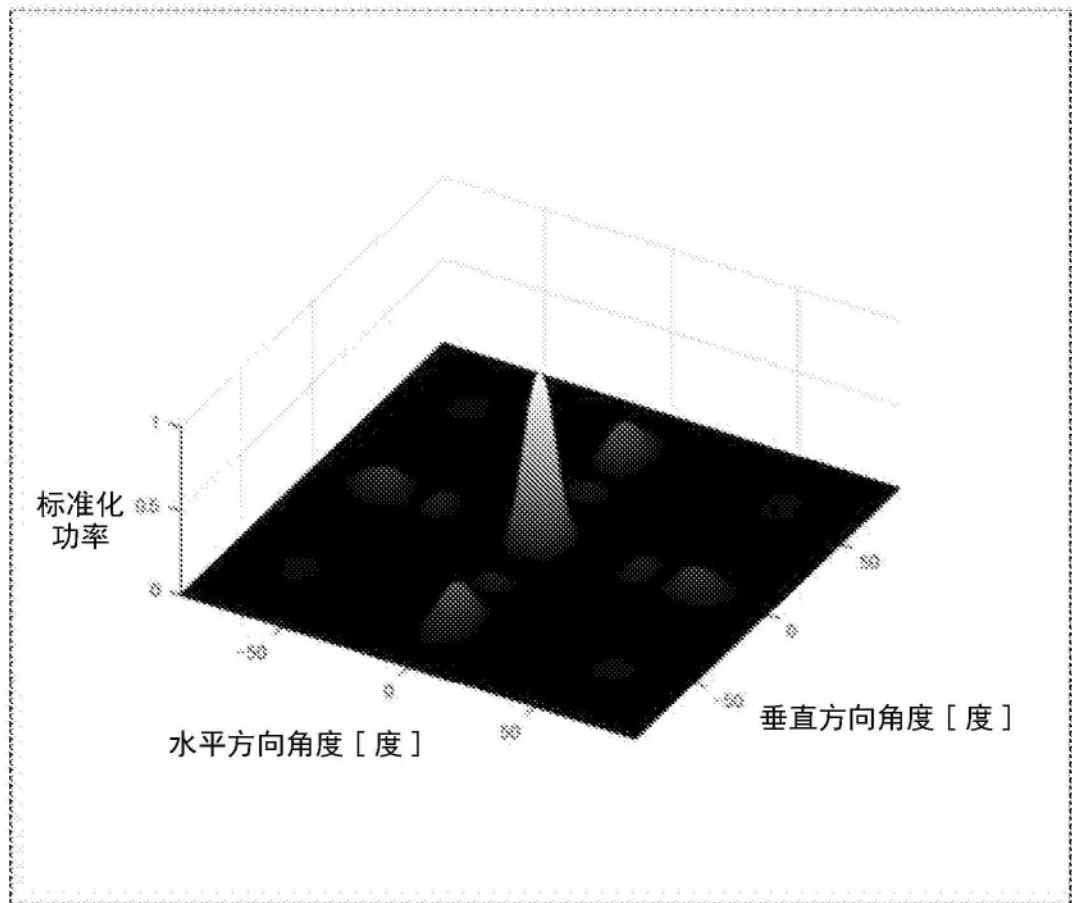


图15

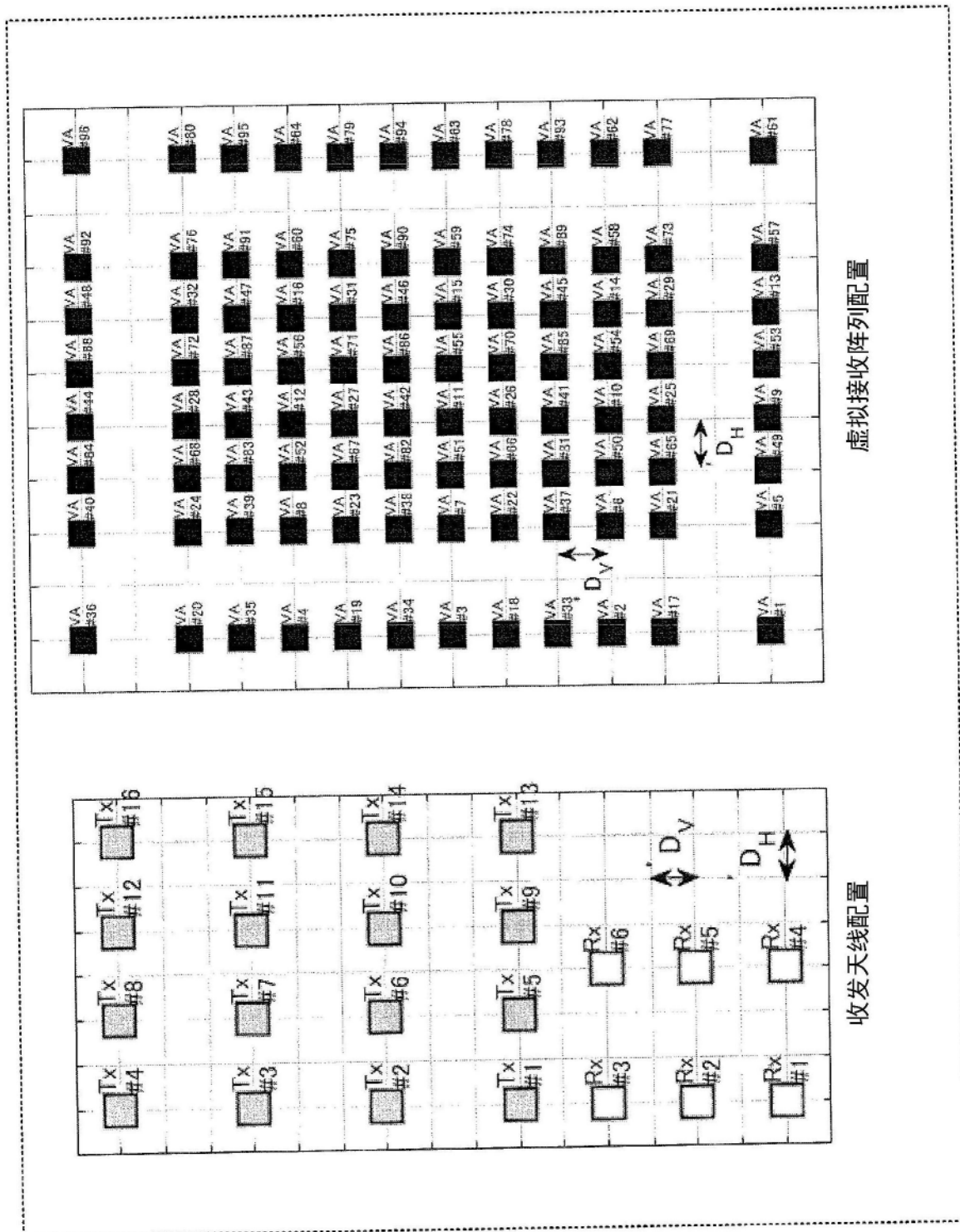


图16

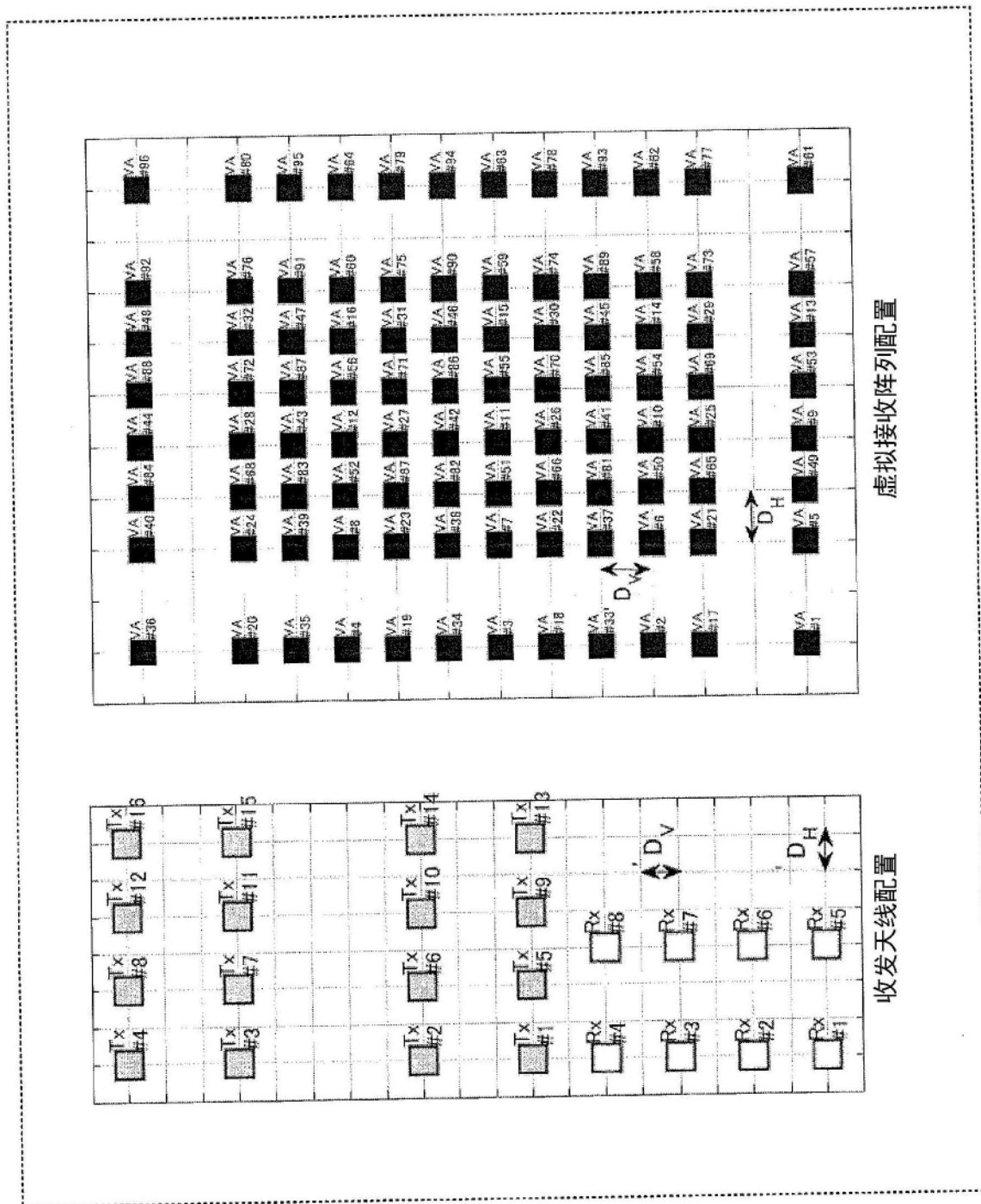


图17

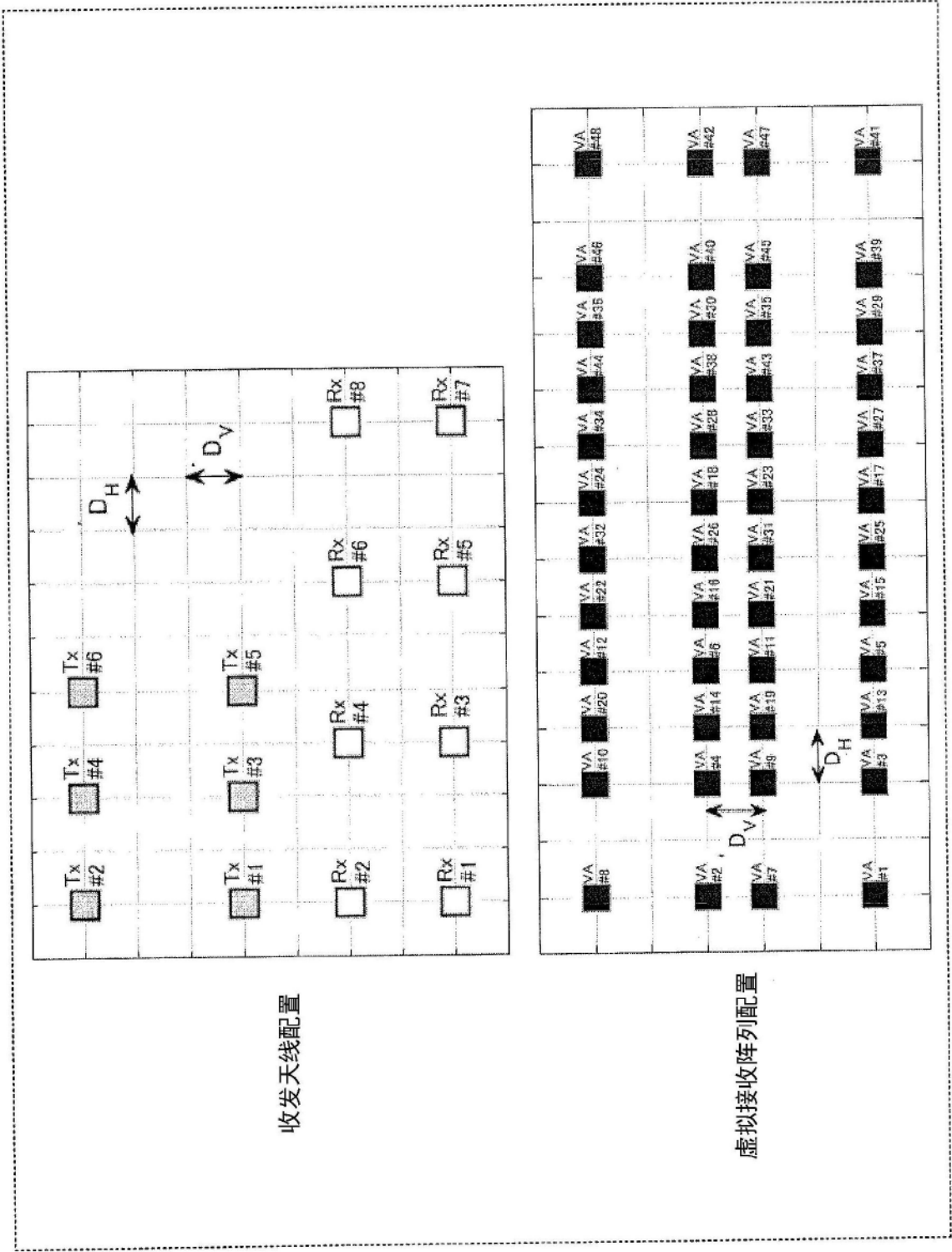


图18

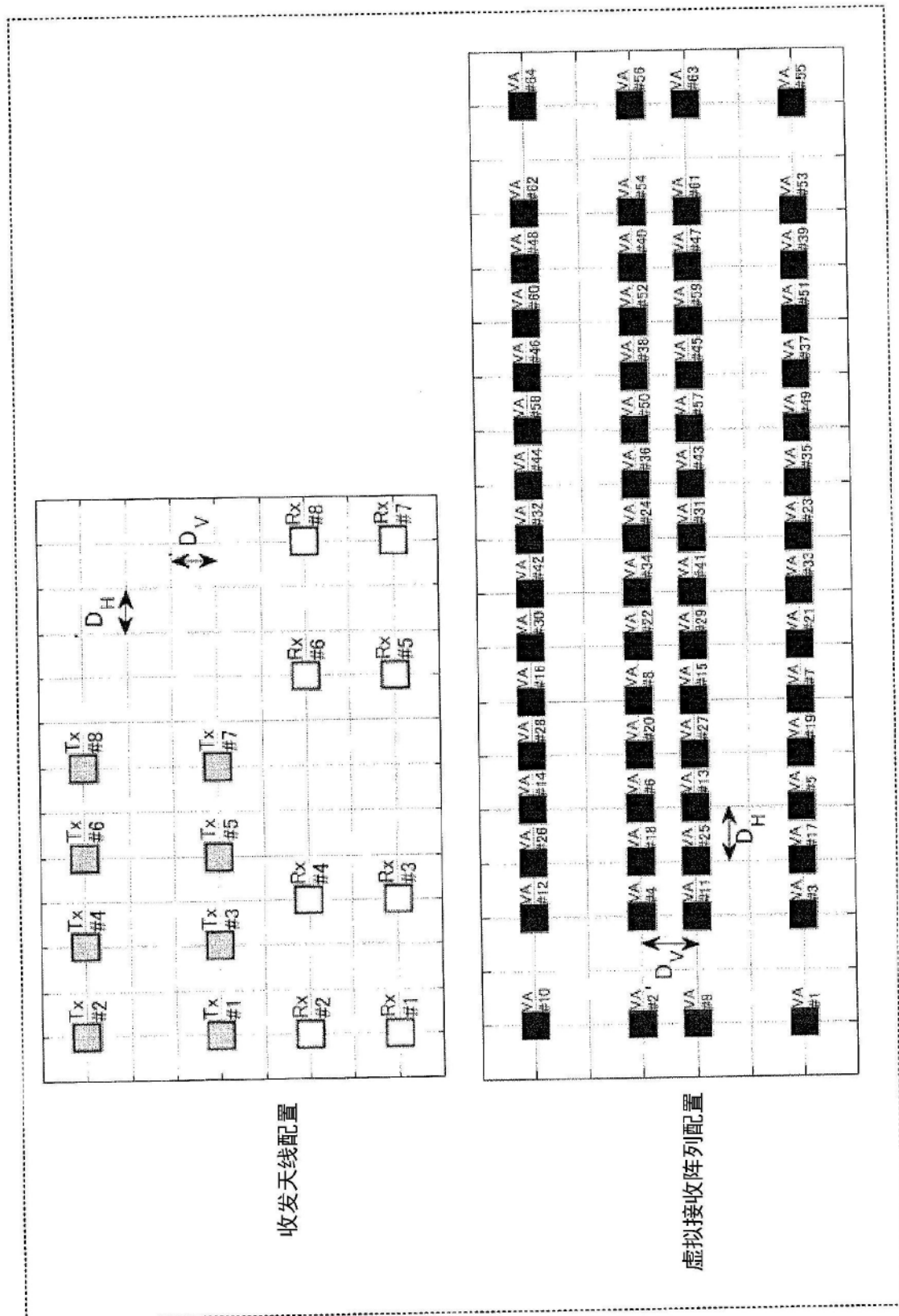


图19

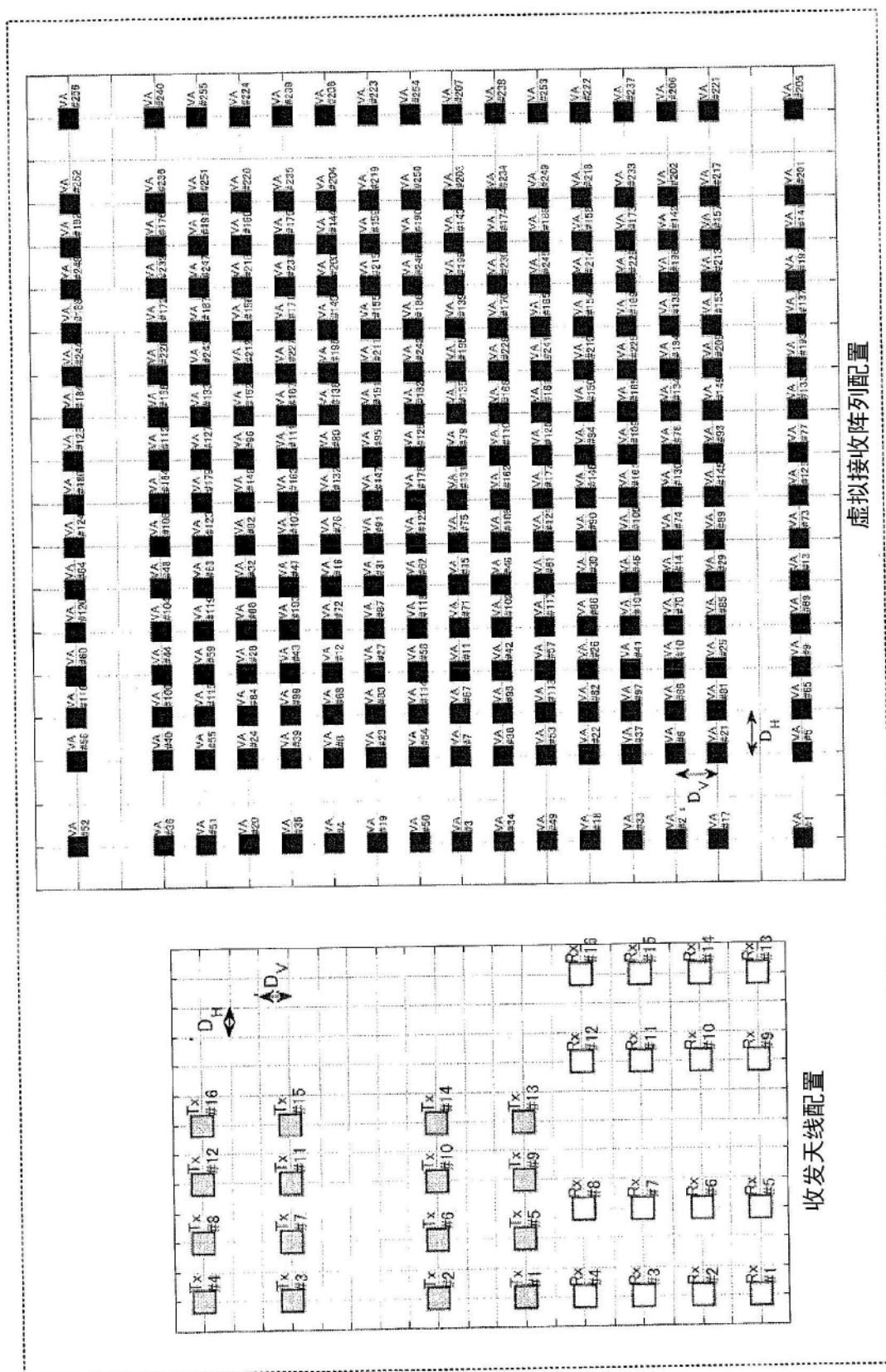


图20

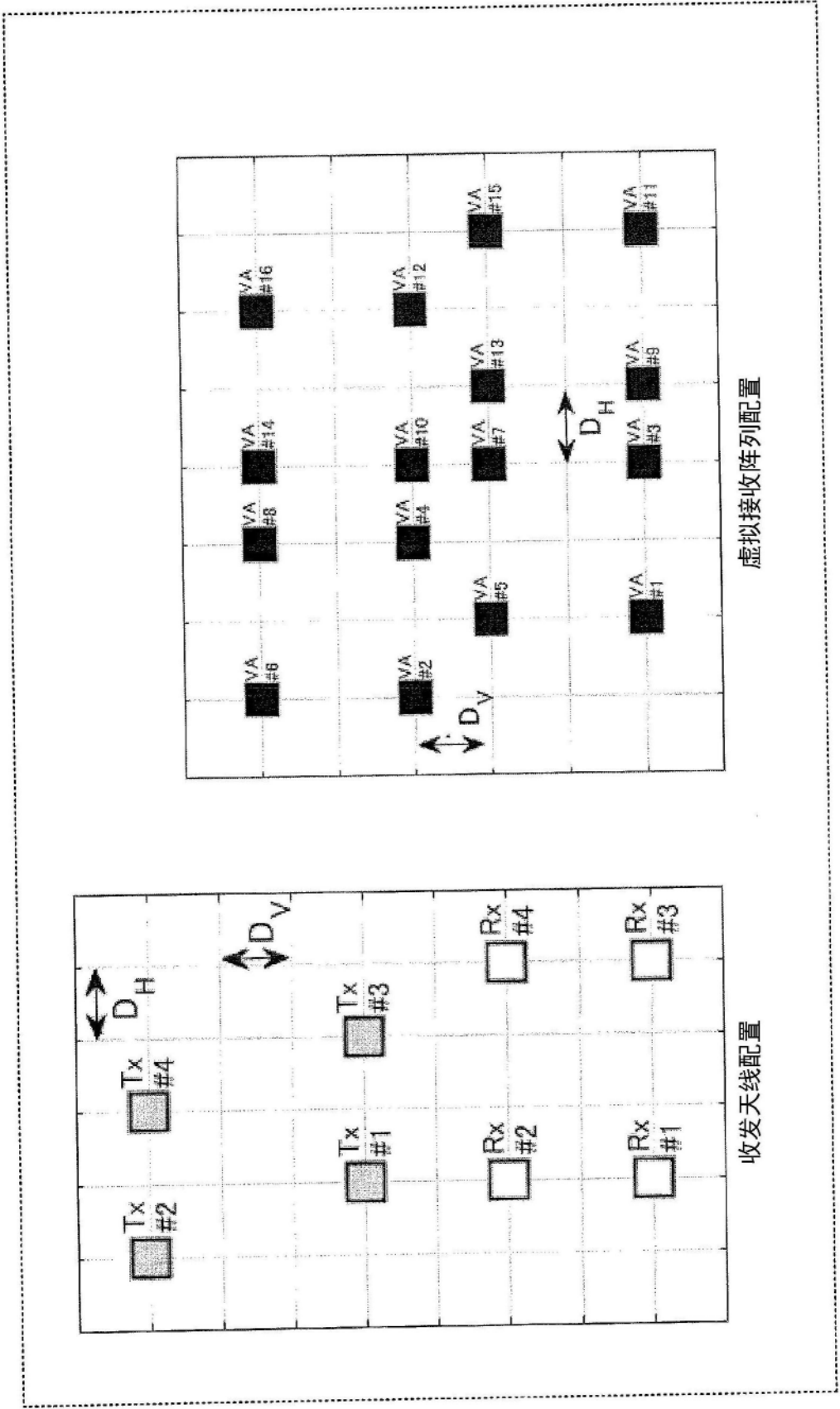


图21

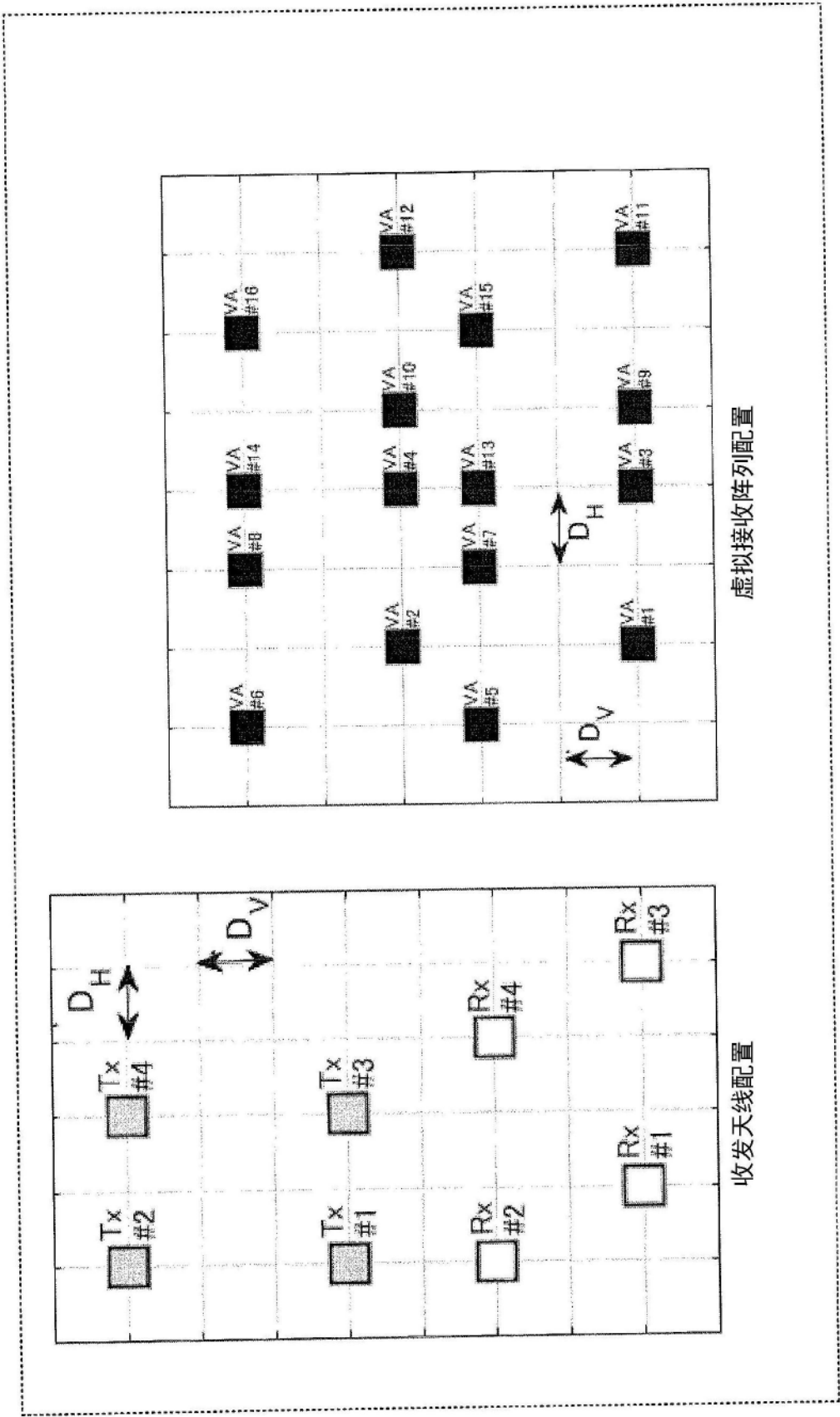


图22

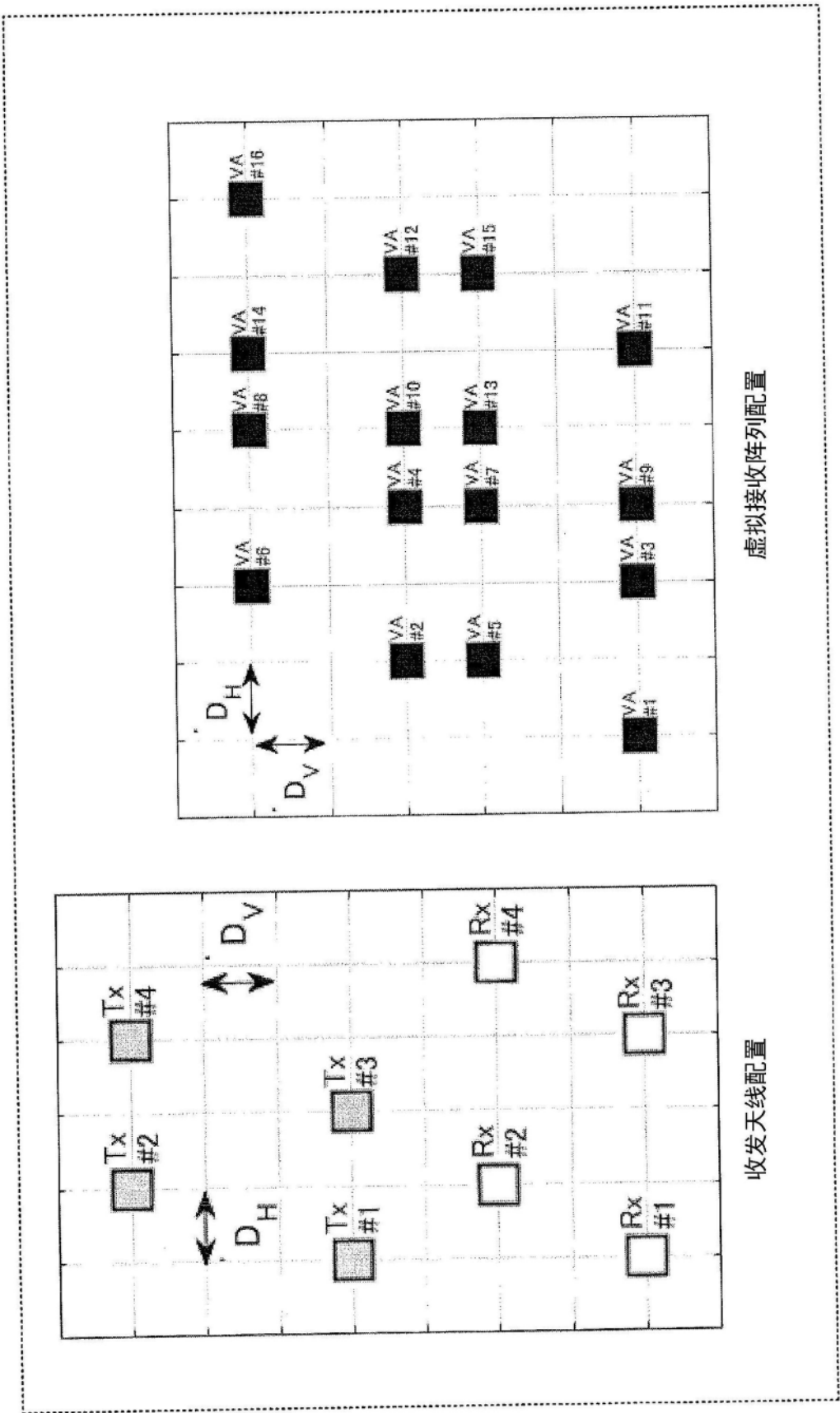


图23

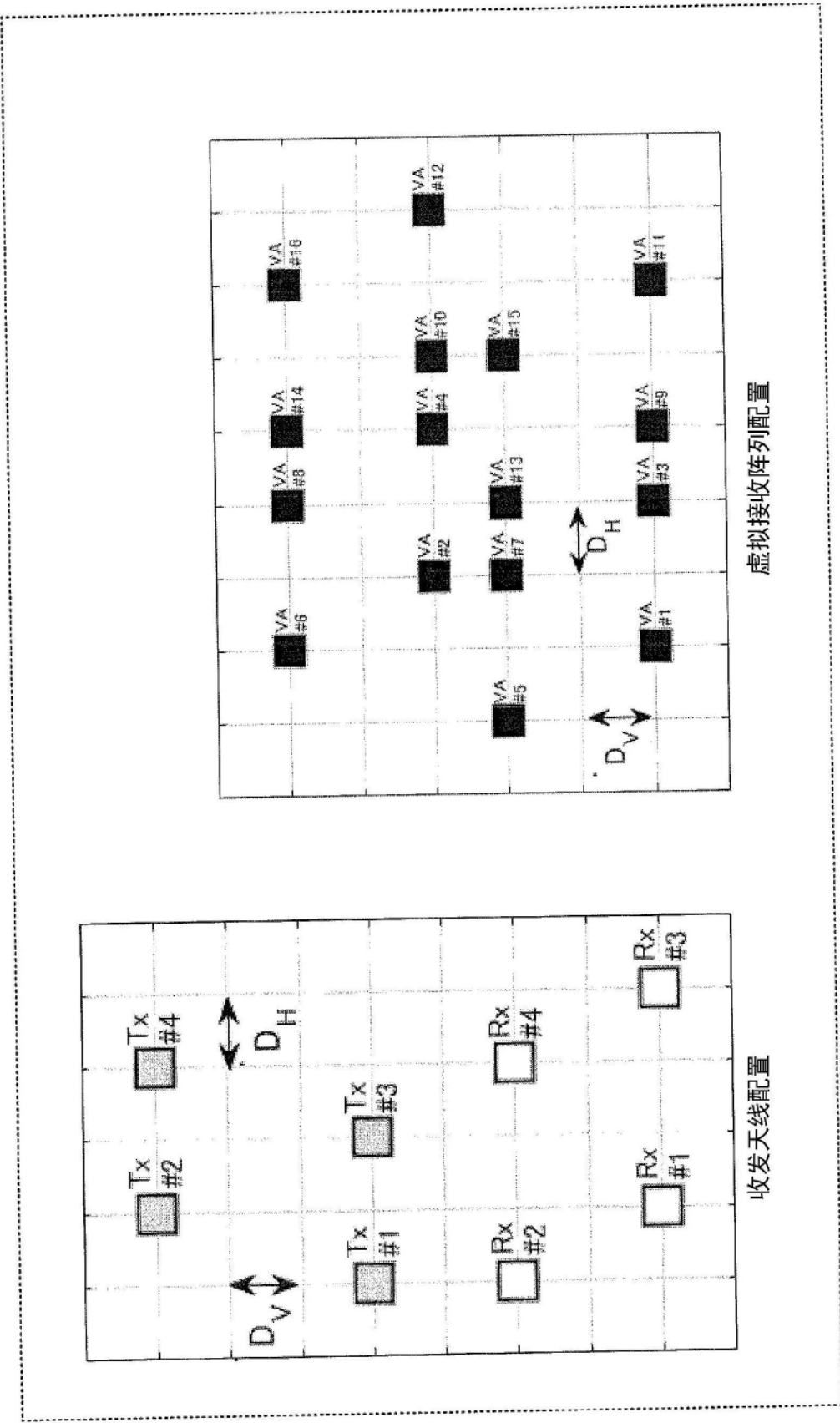


图24

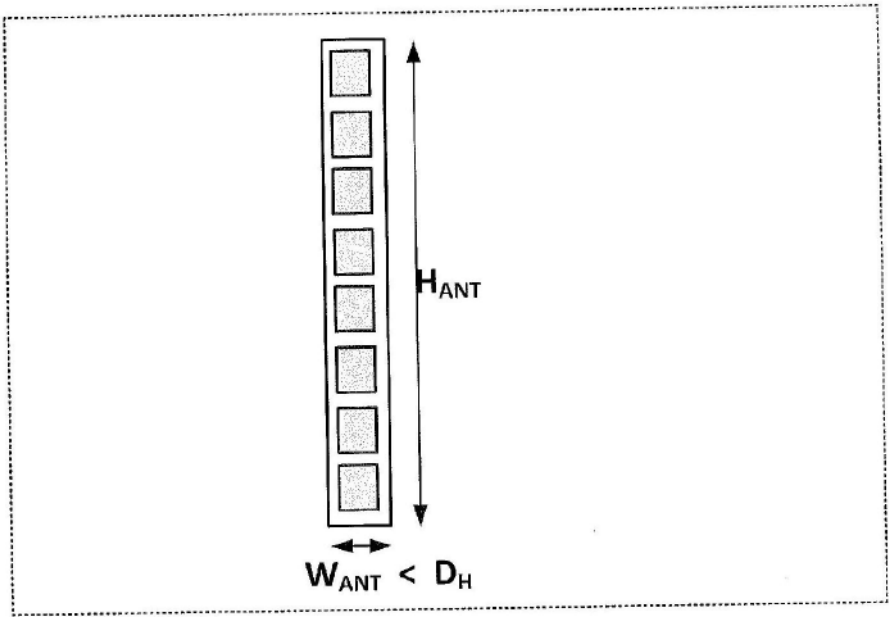


图25A

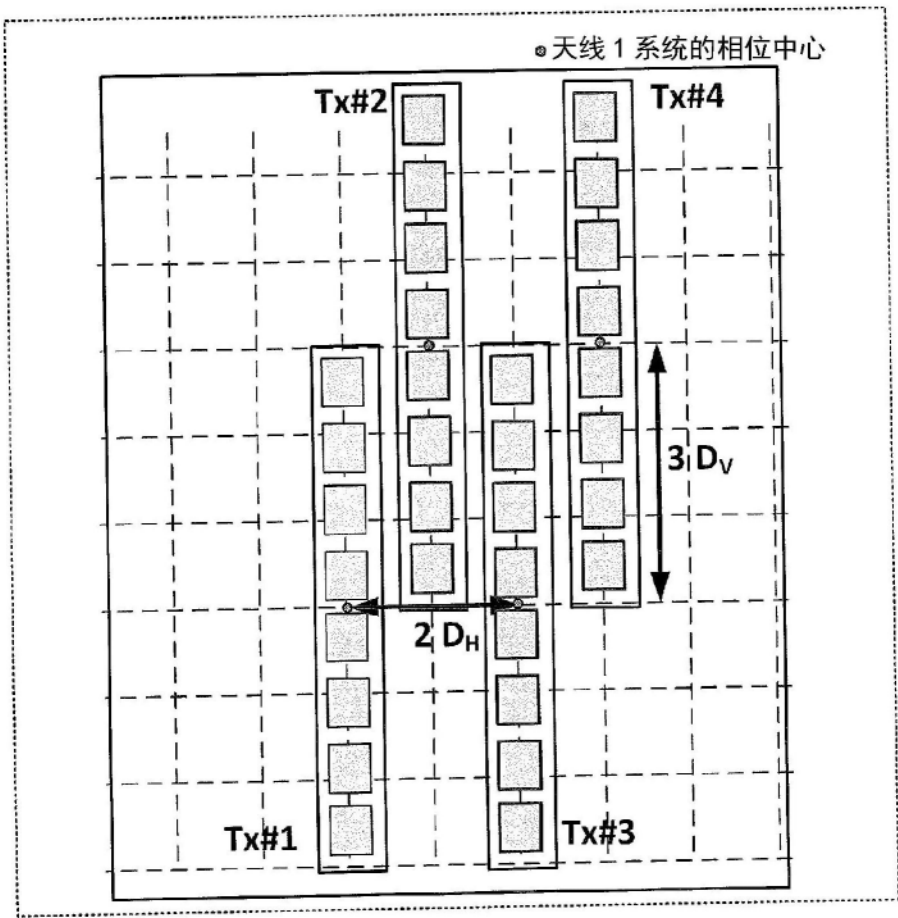


图25B

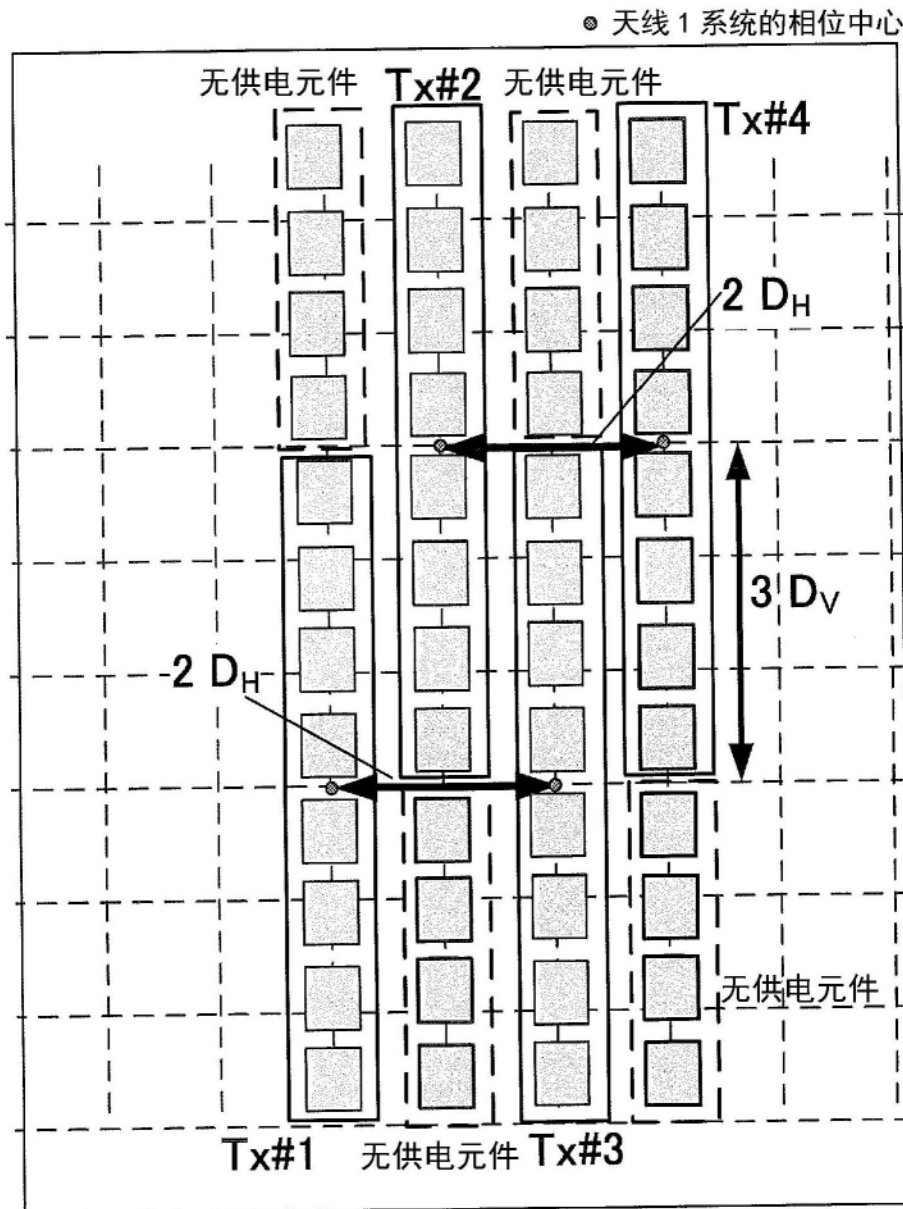


图25C

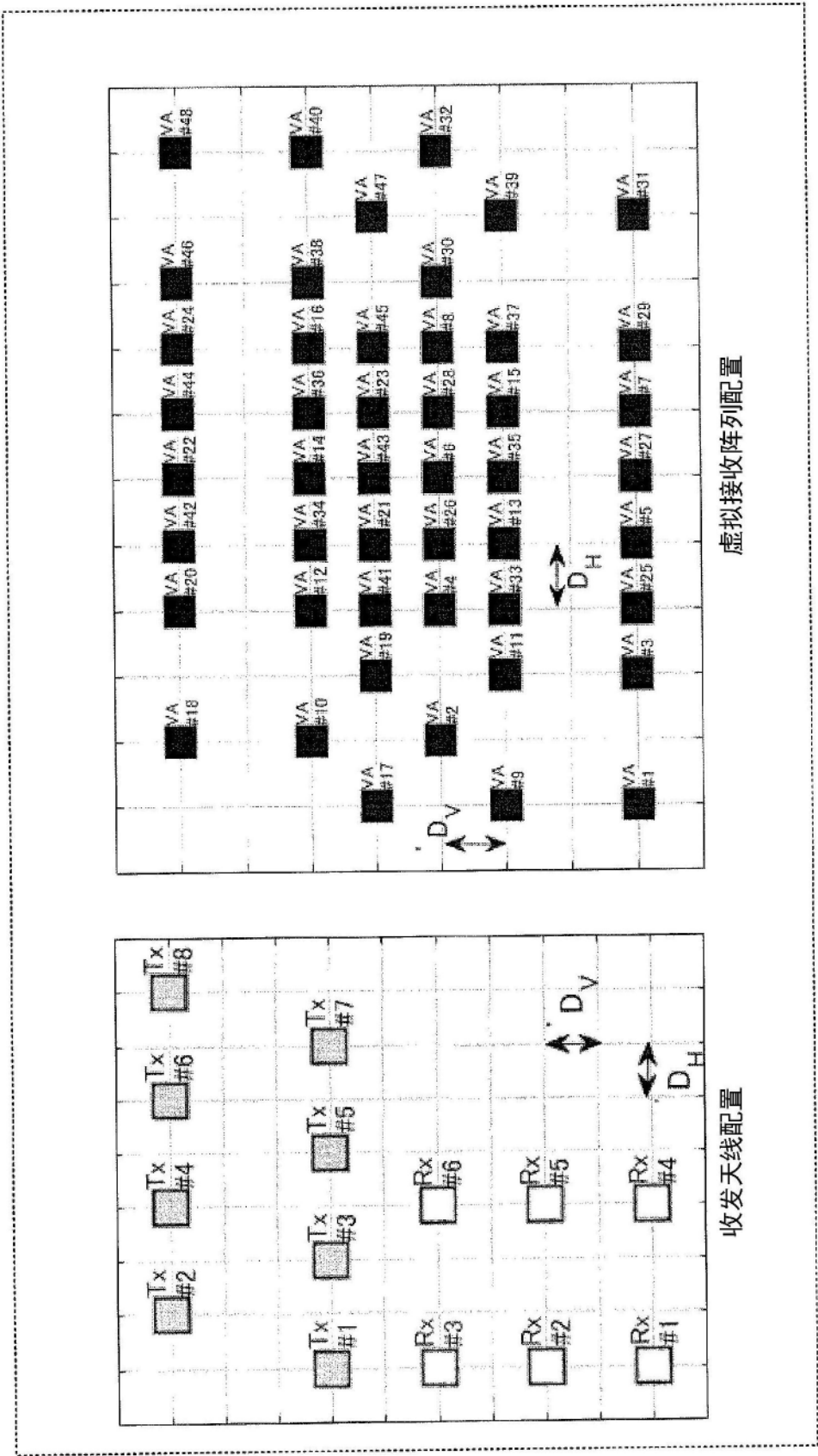


图26

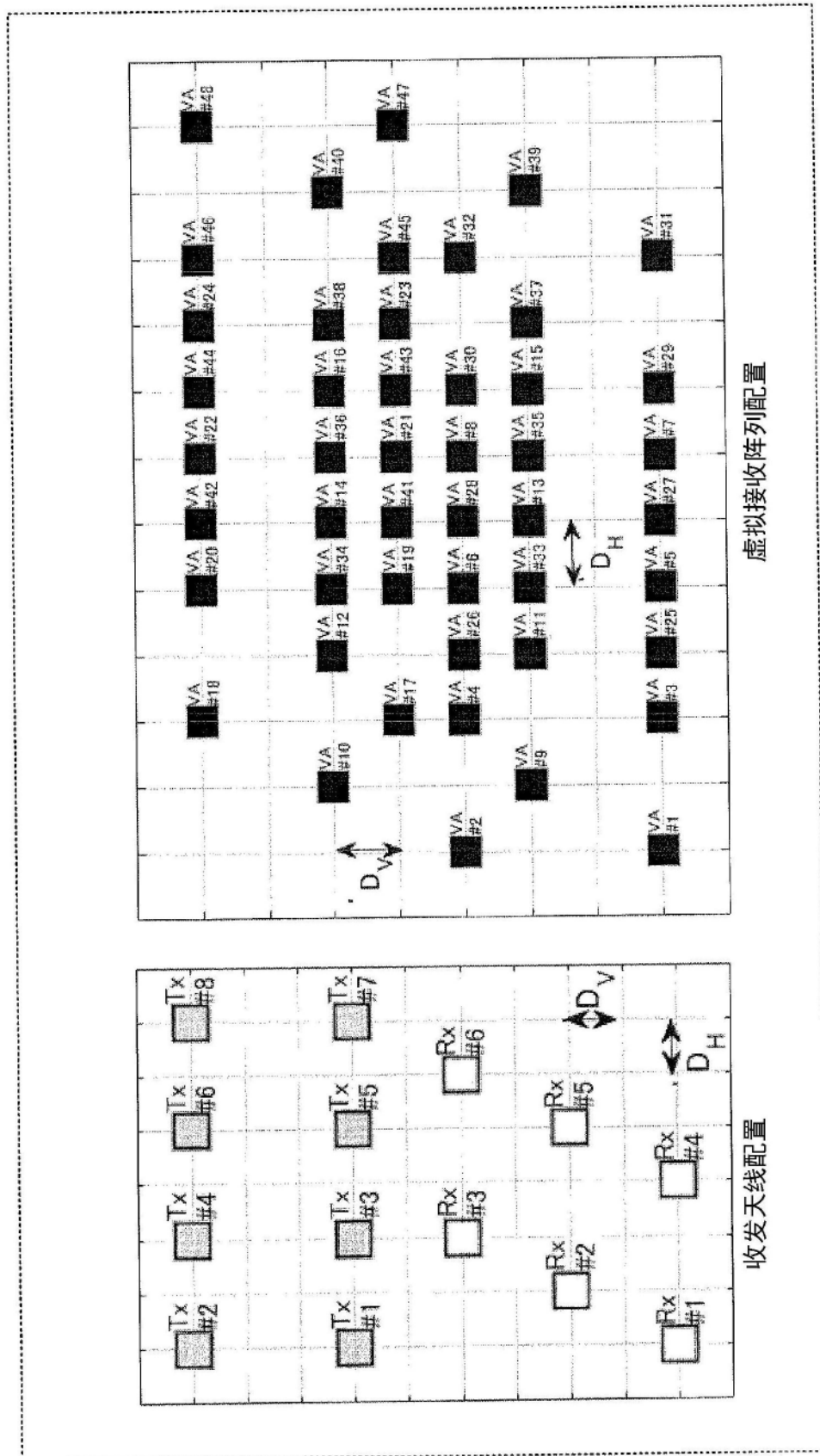


图27

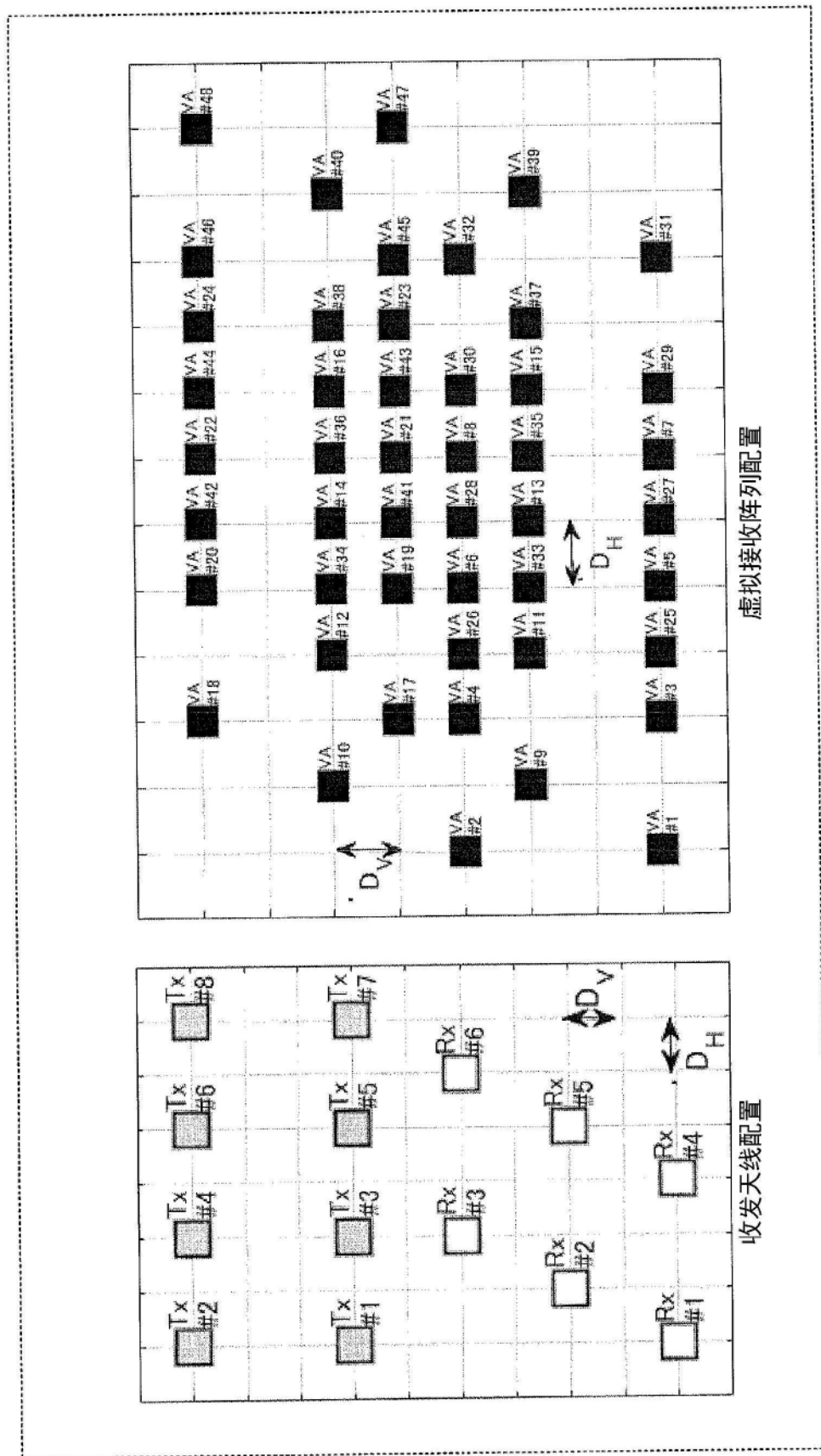


图28

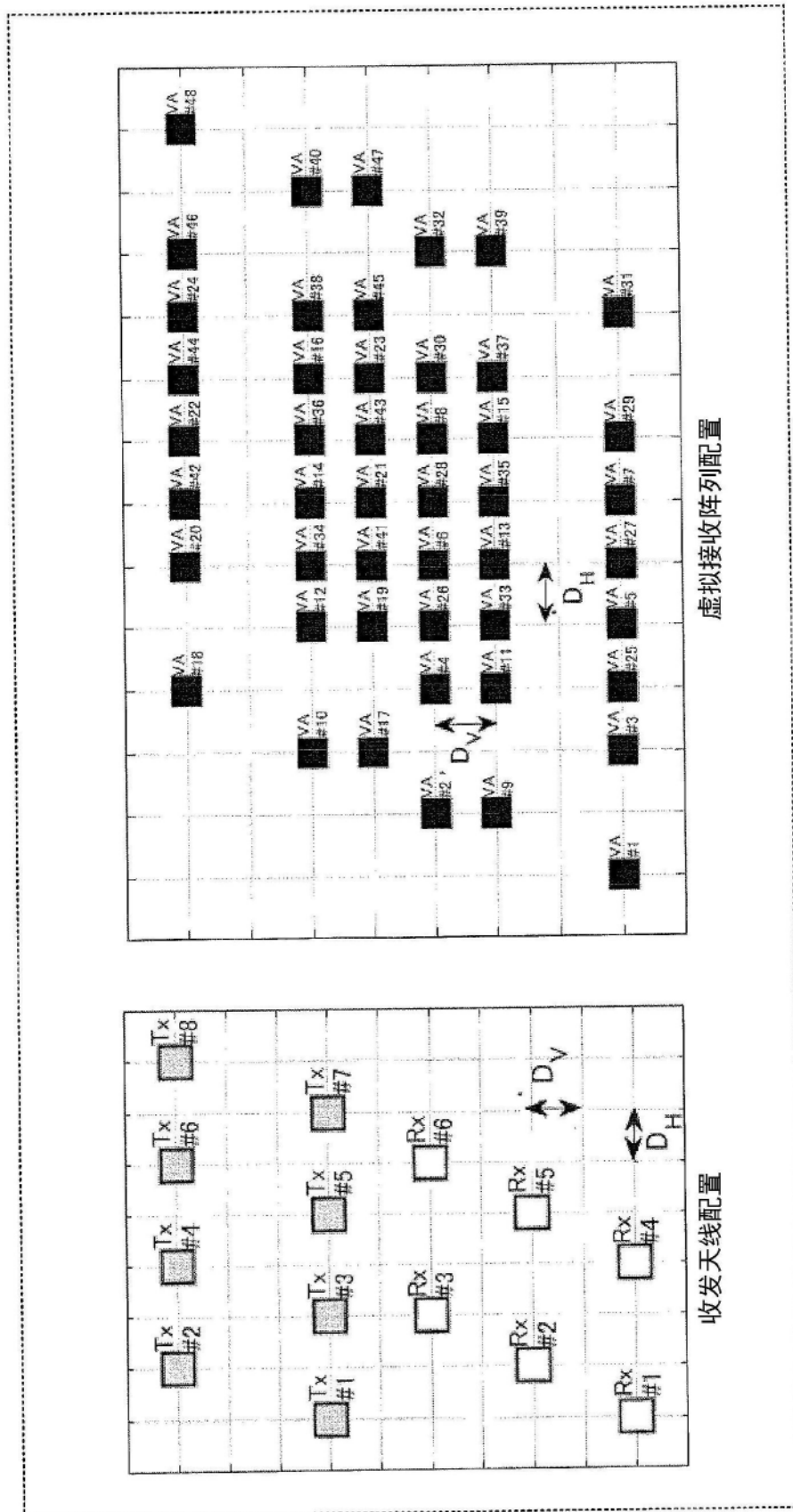


图29

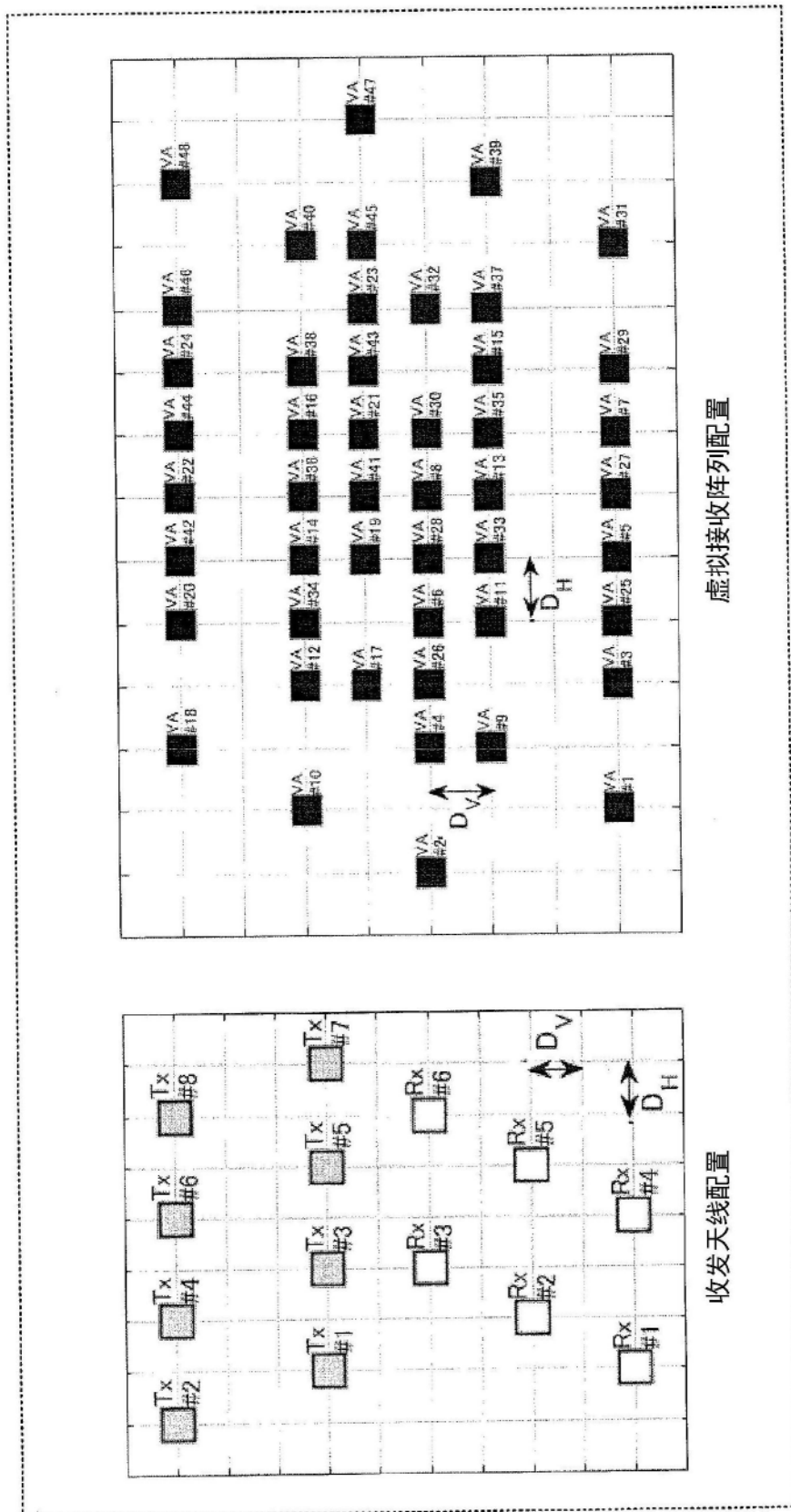


图30

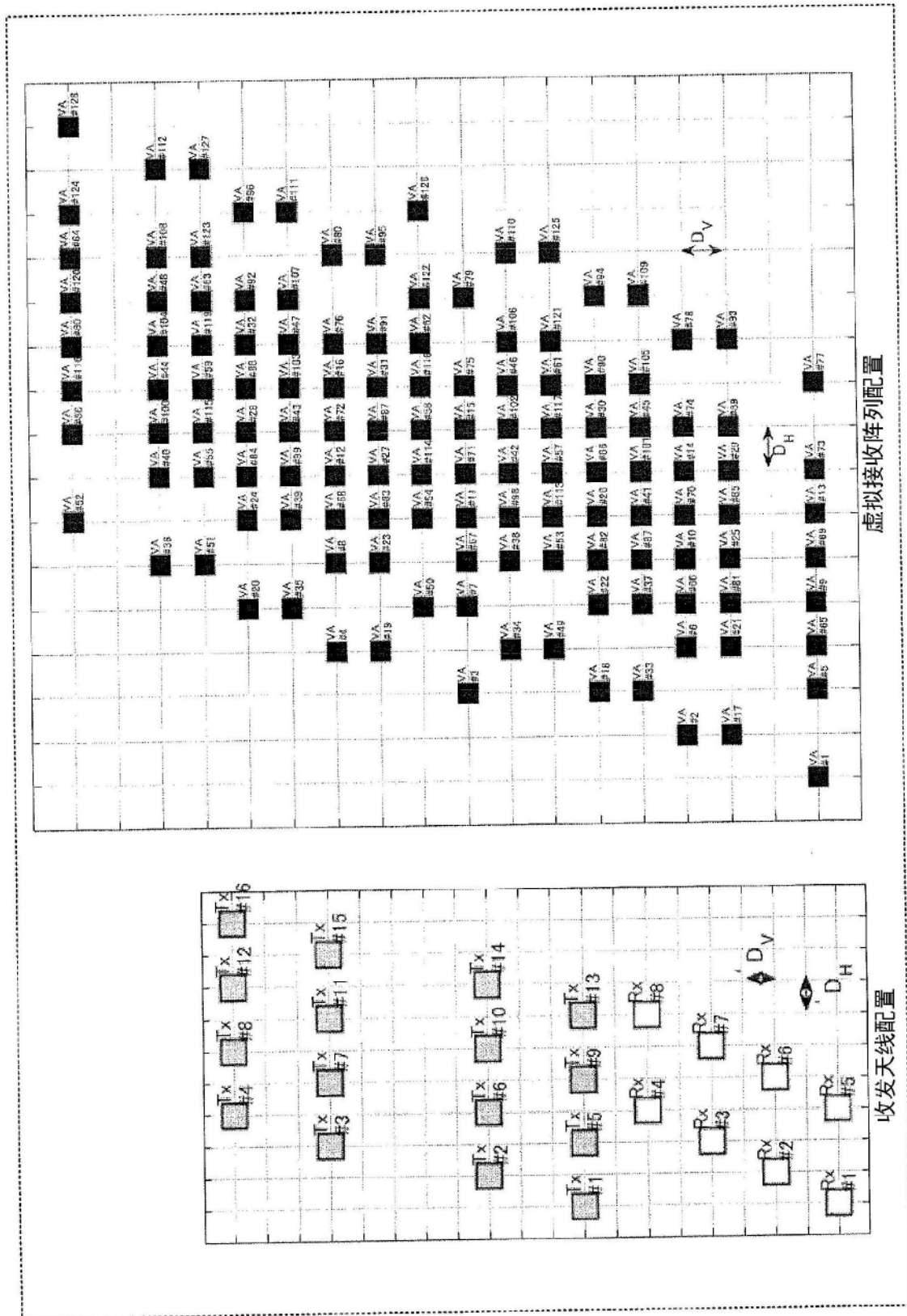


图31

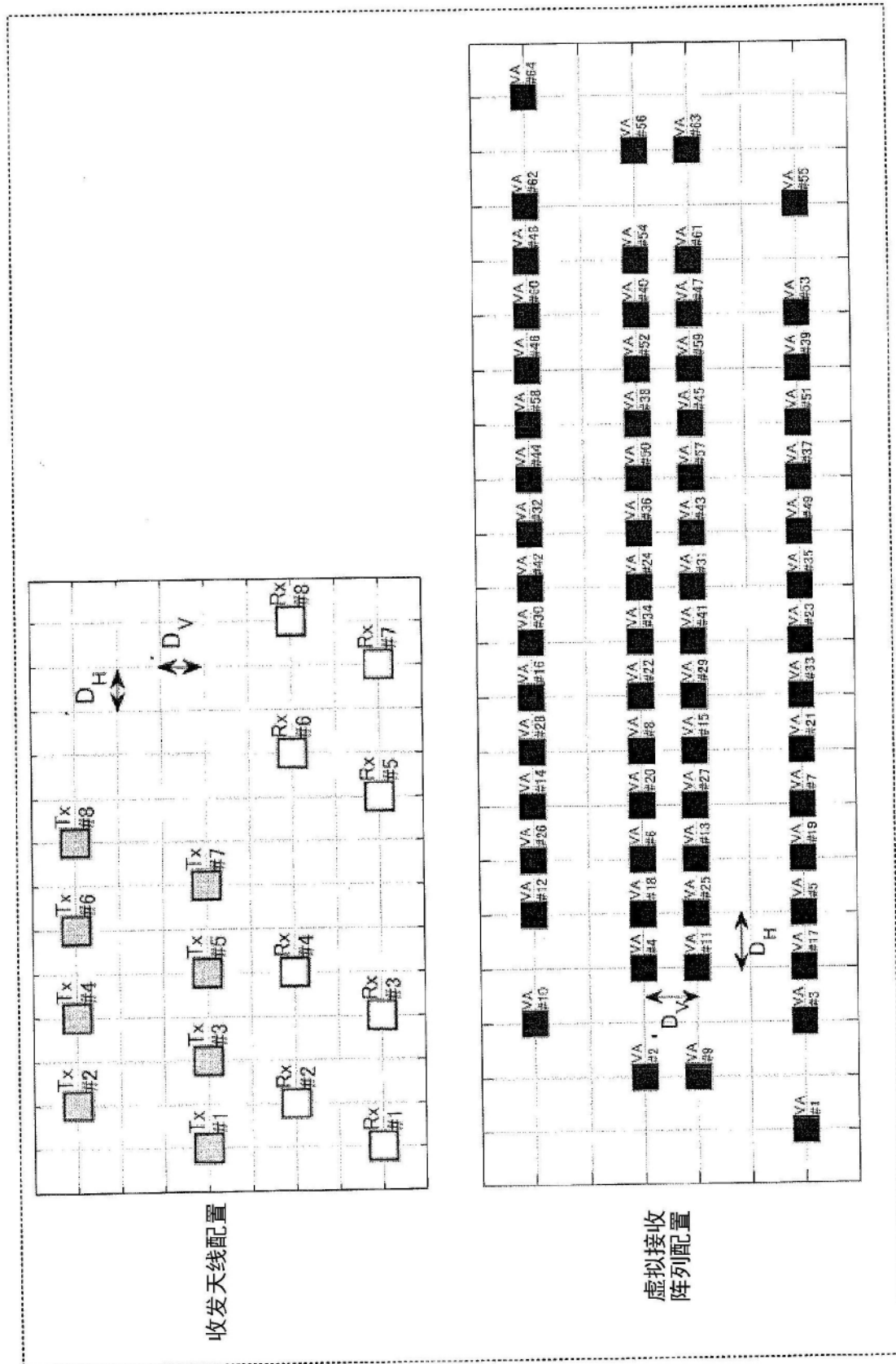


图32

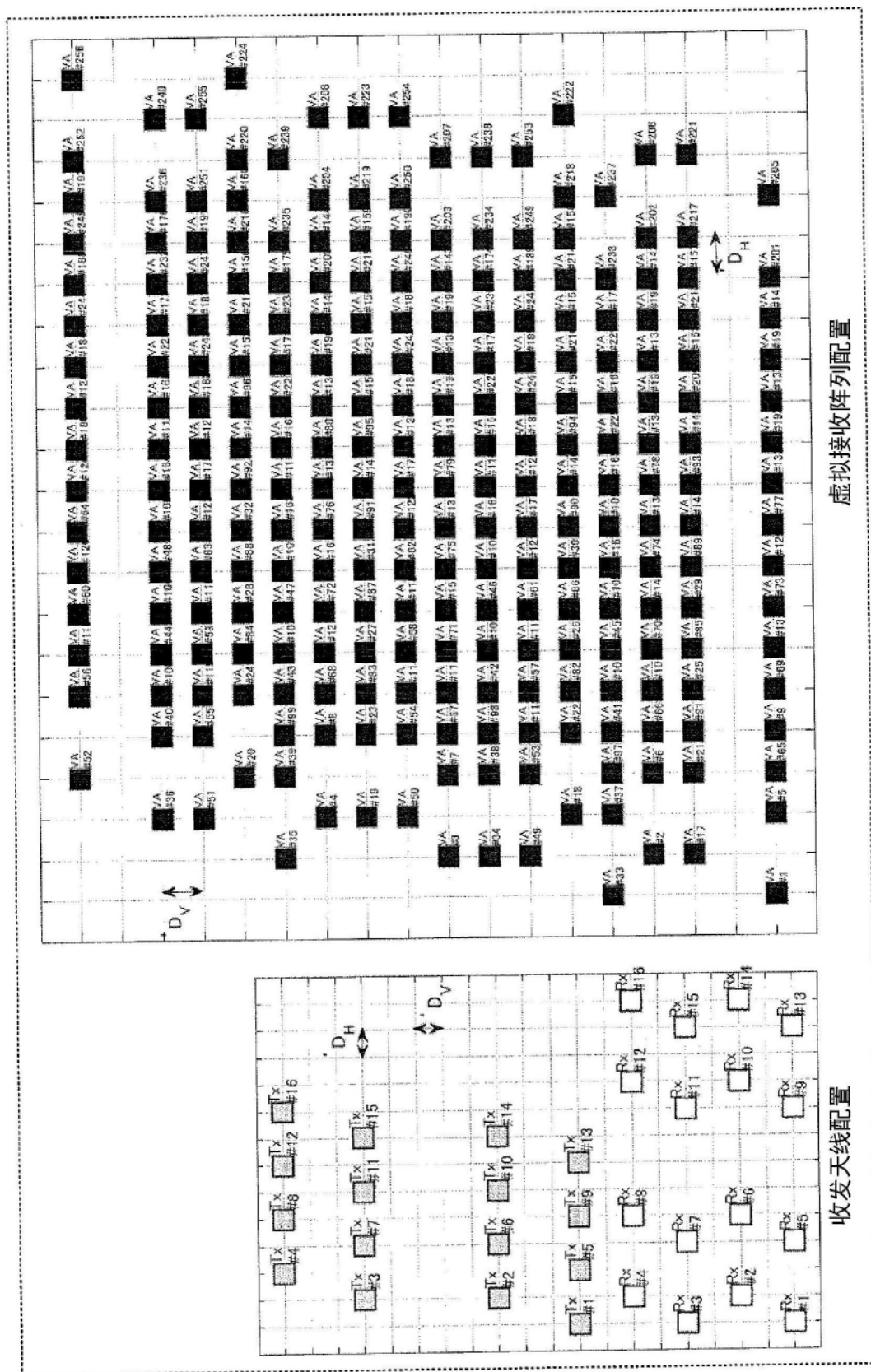


图33

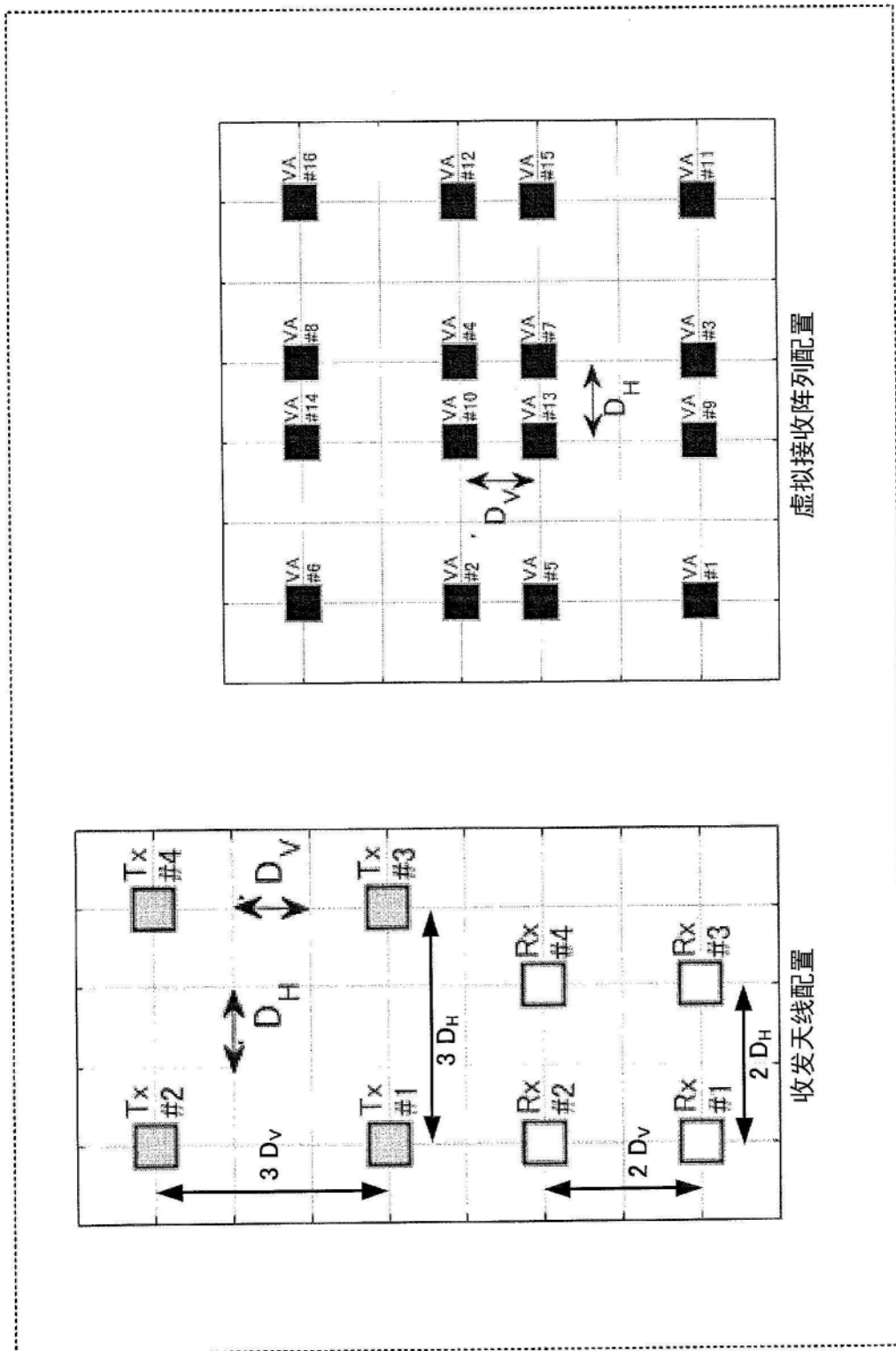


图34

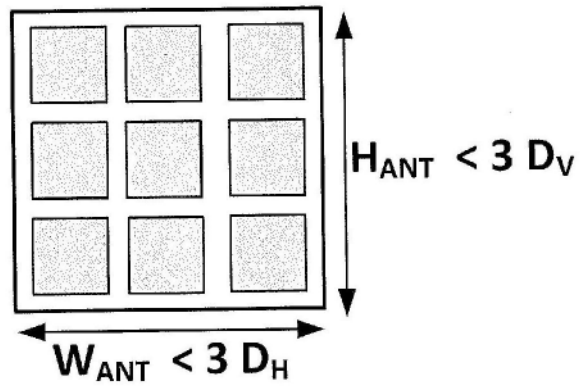


图35

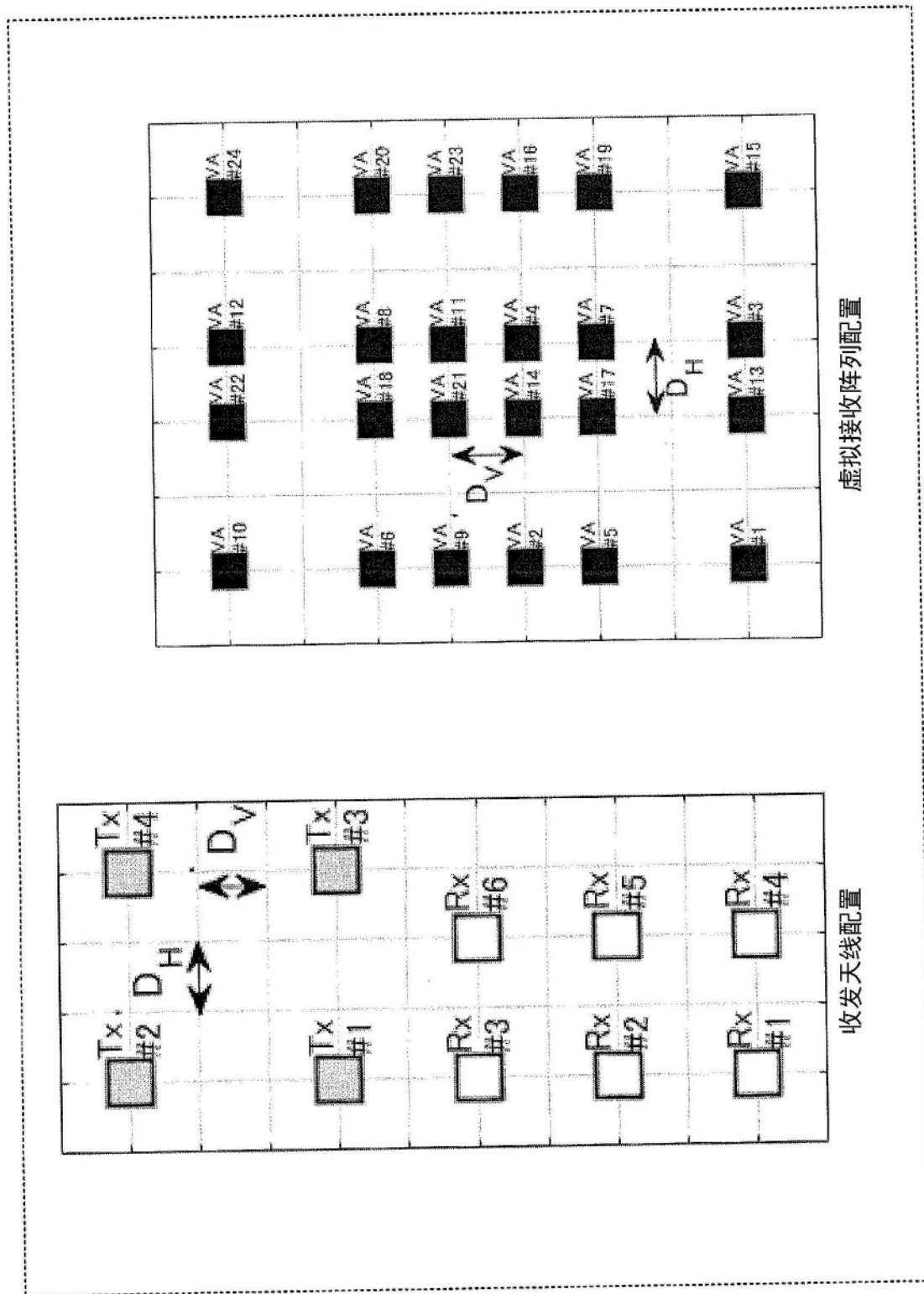


图36

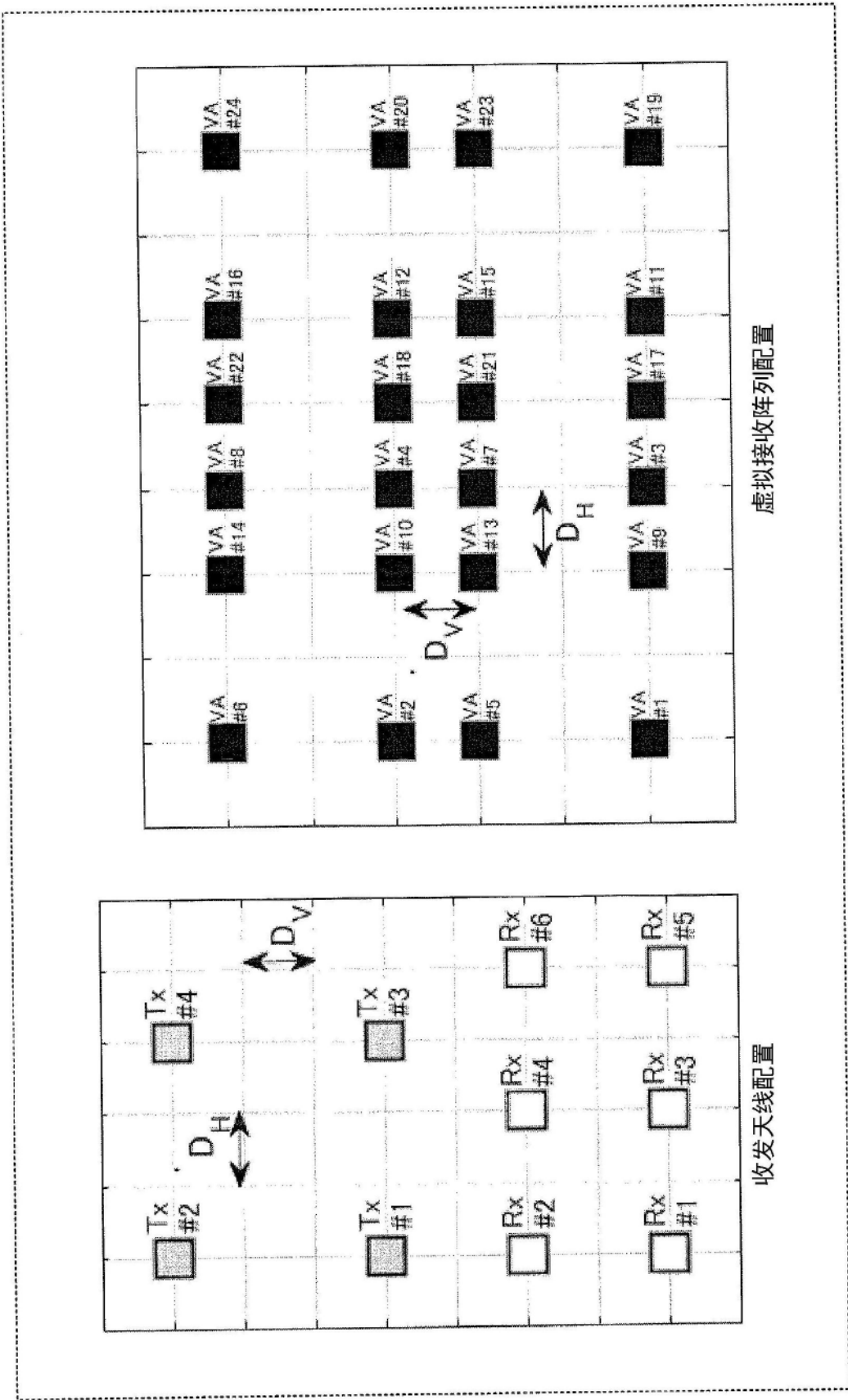


图37

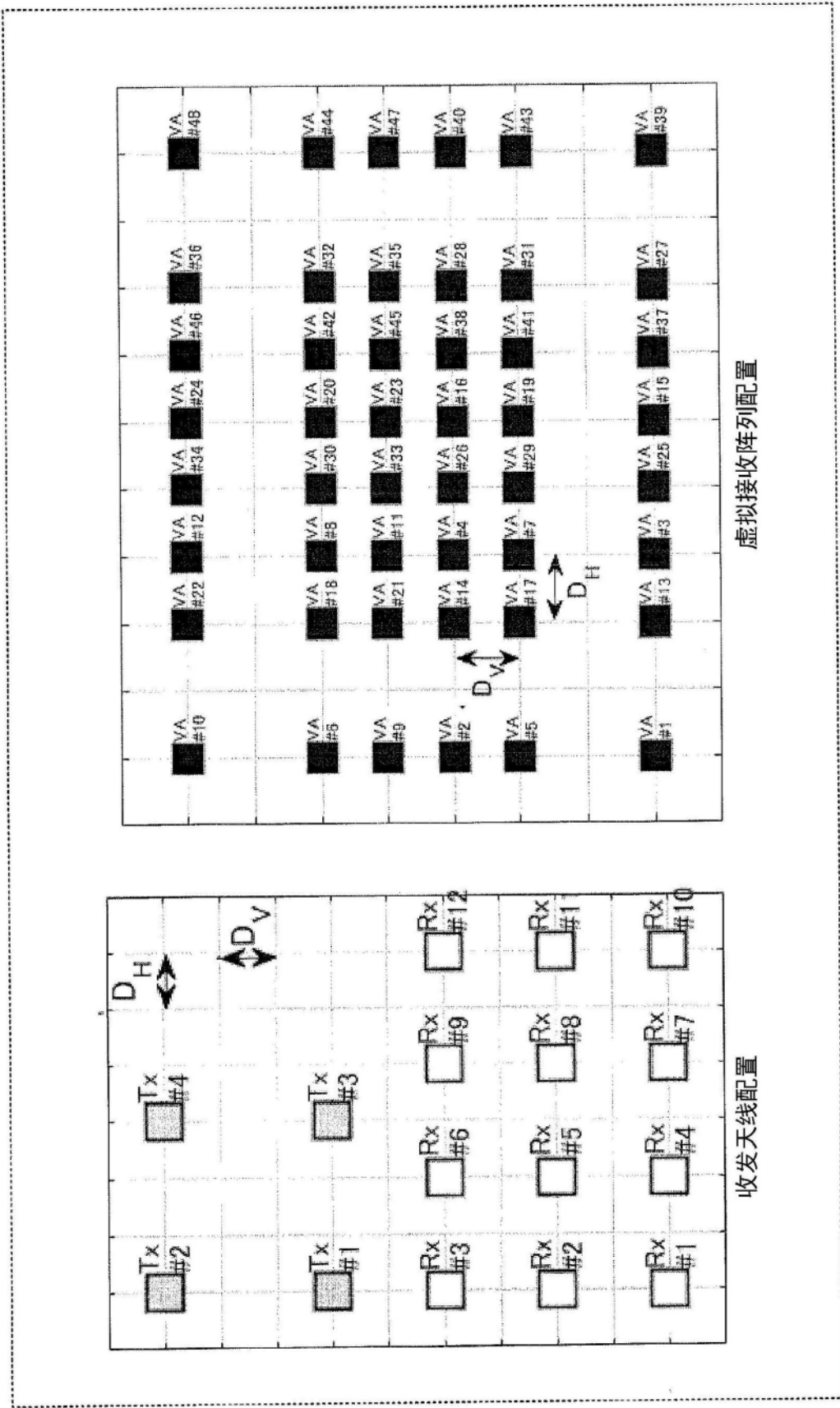


图38

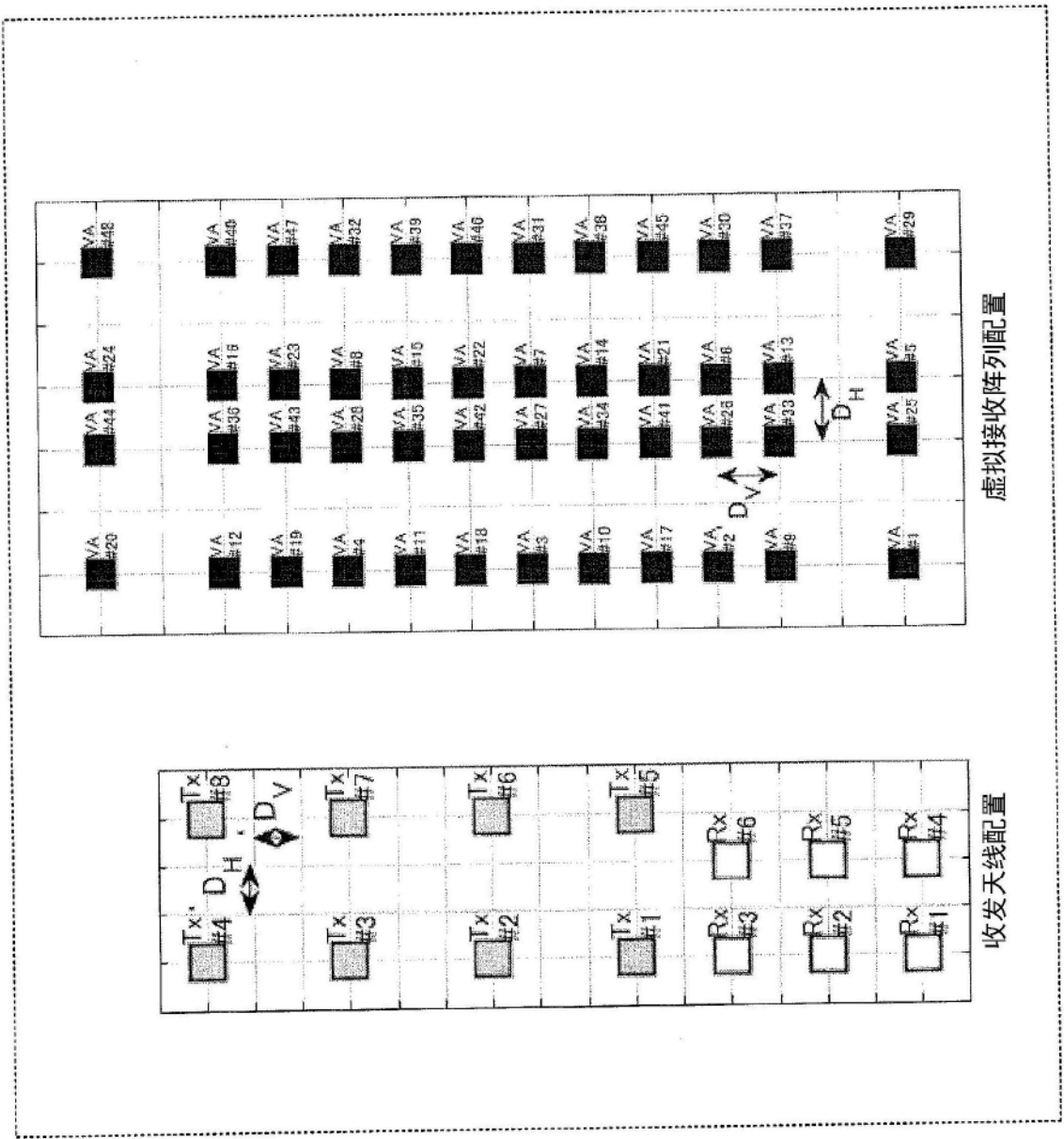


图39

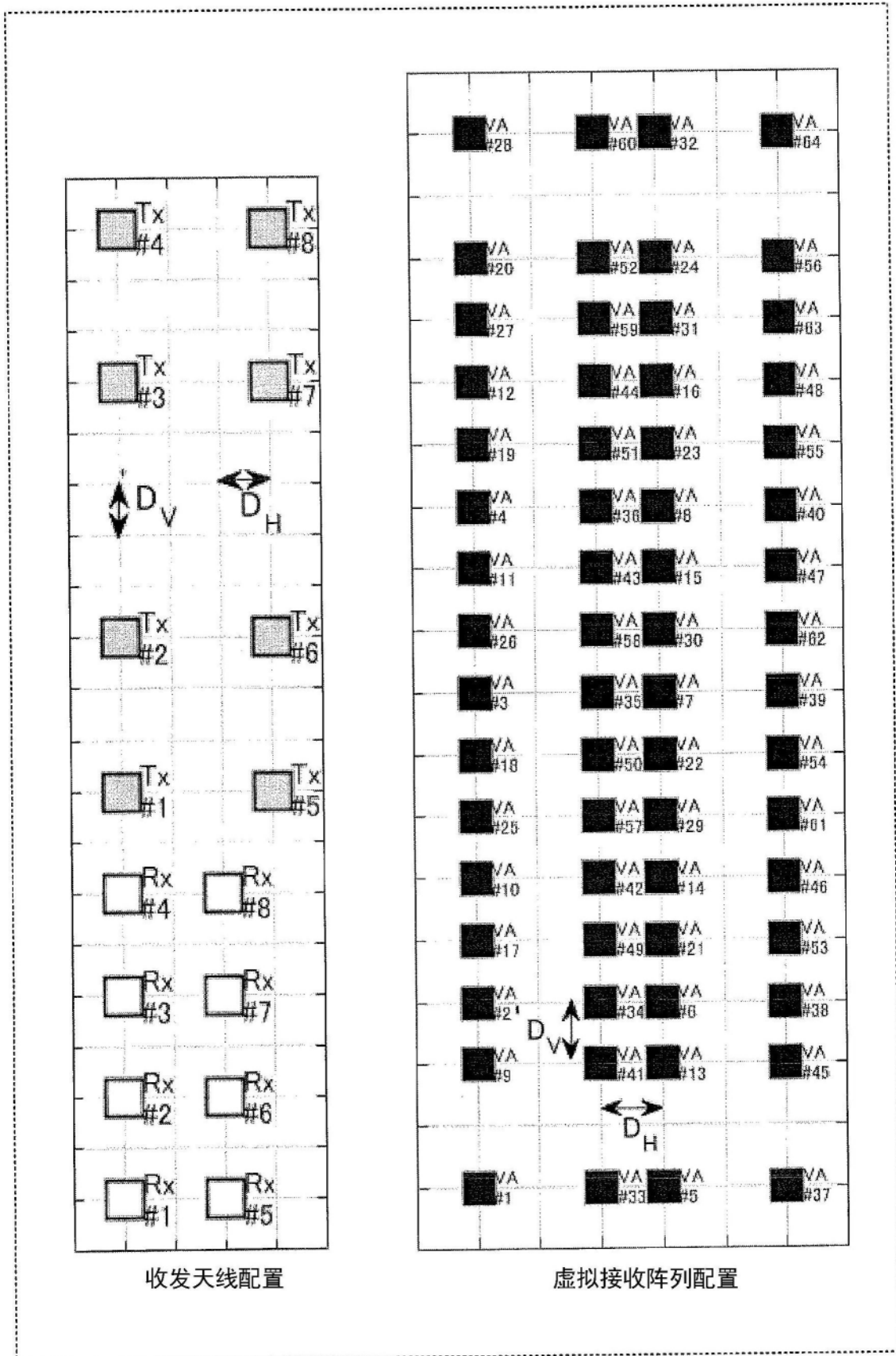


图40

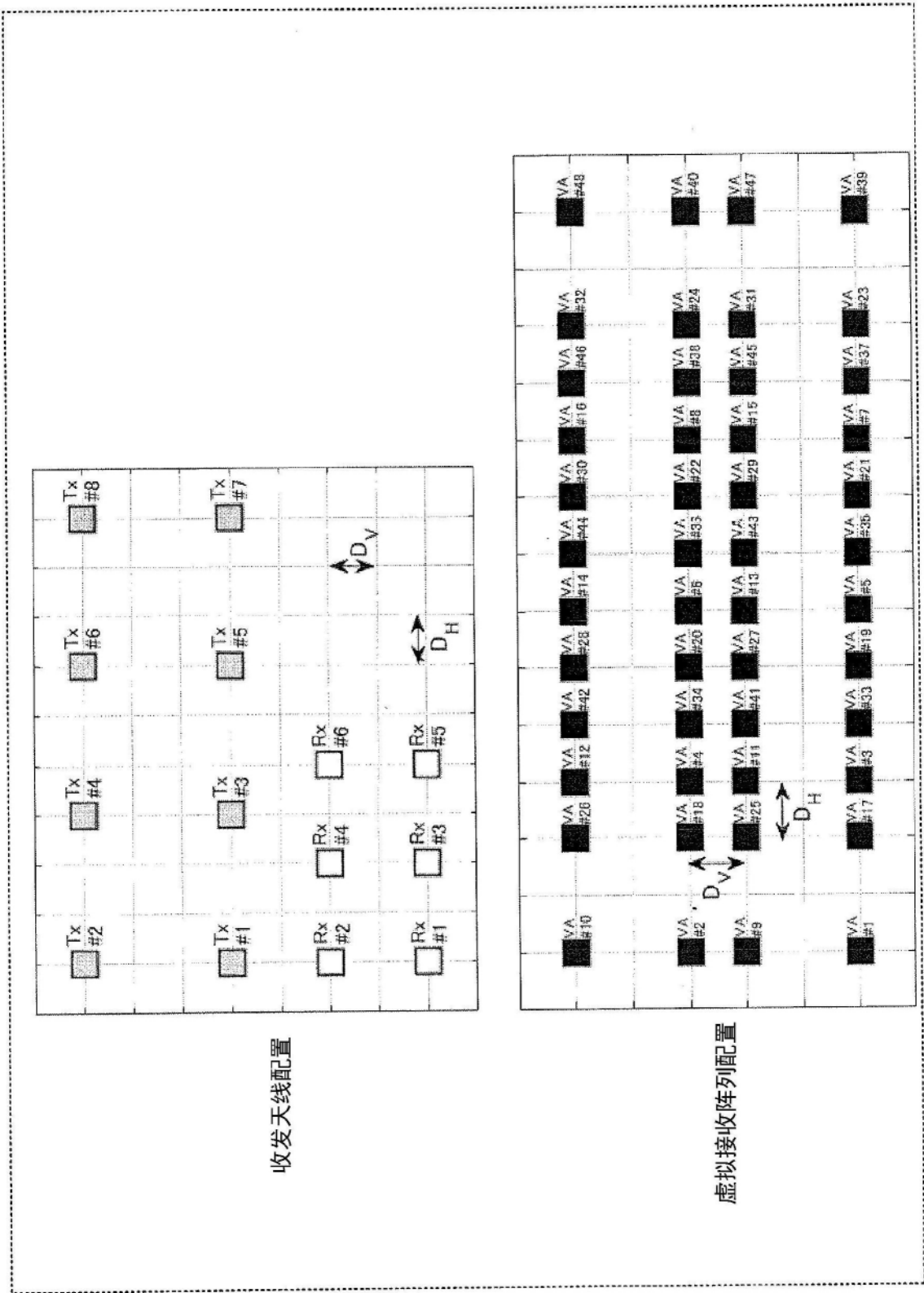


图41

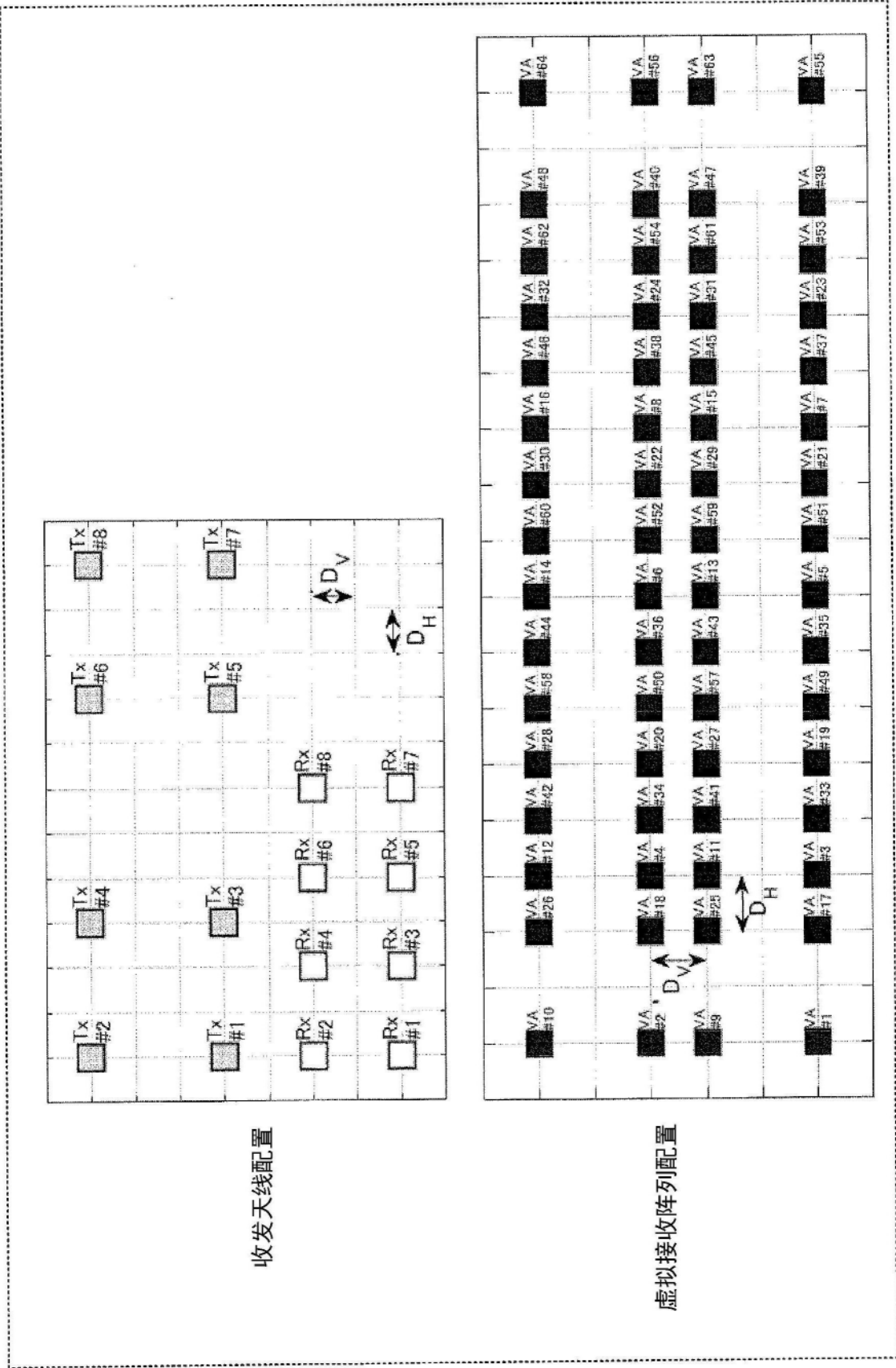


图42

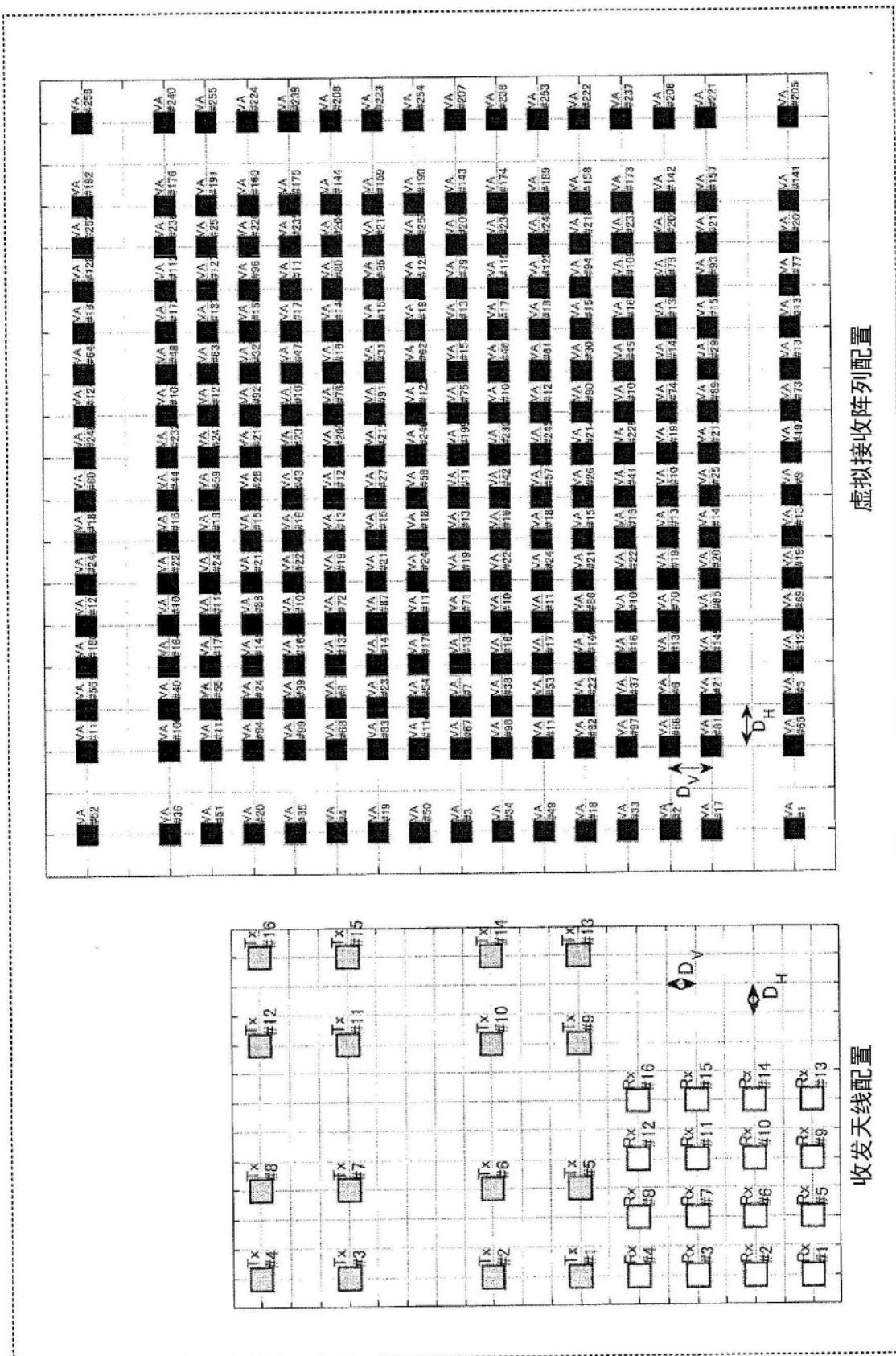


图43

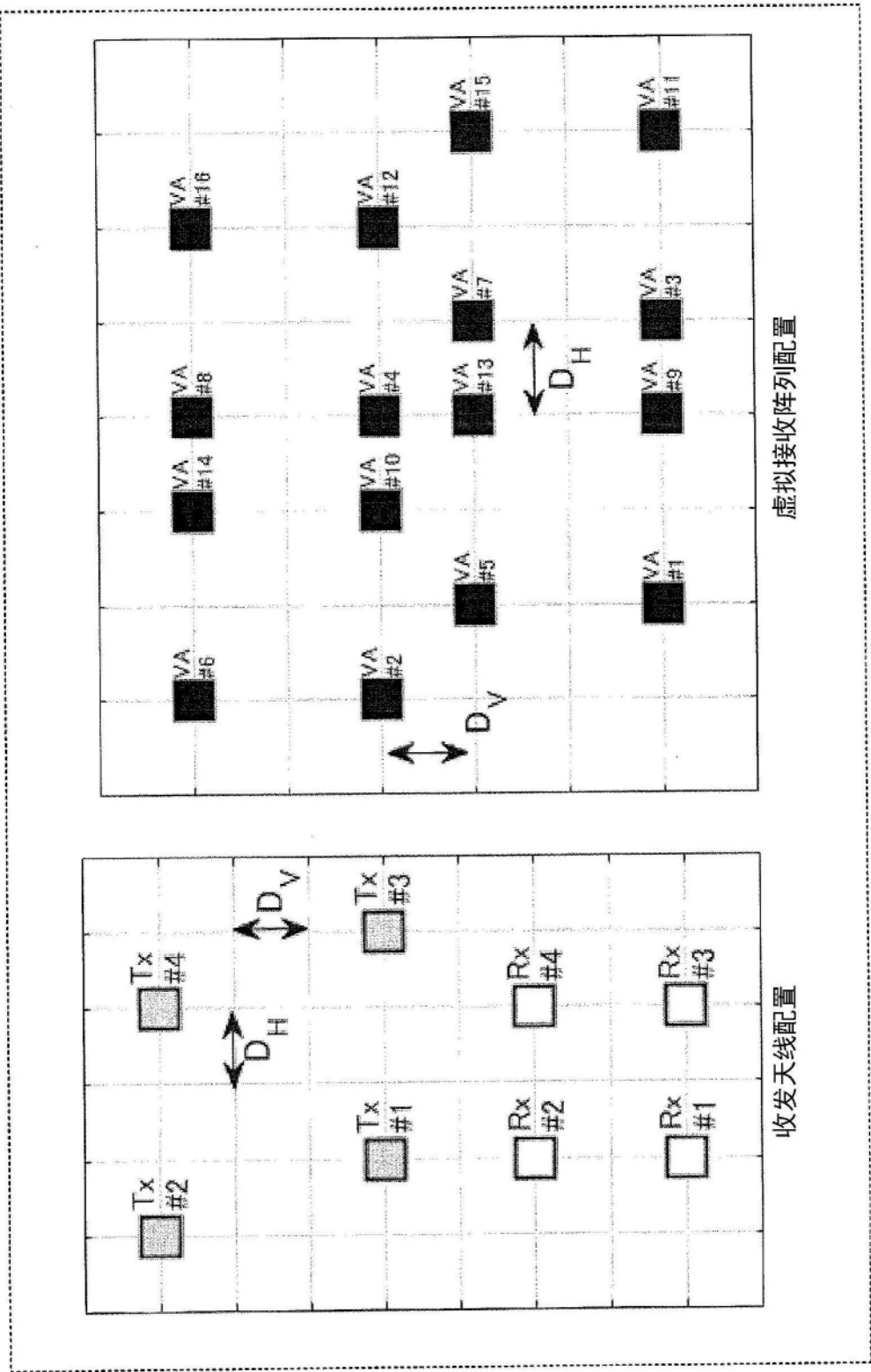


图44

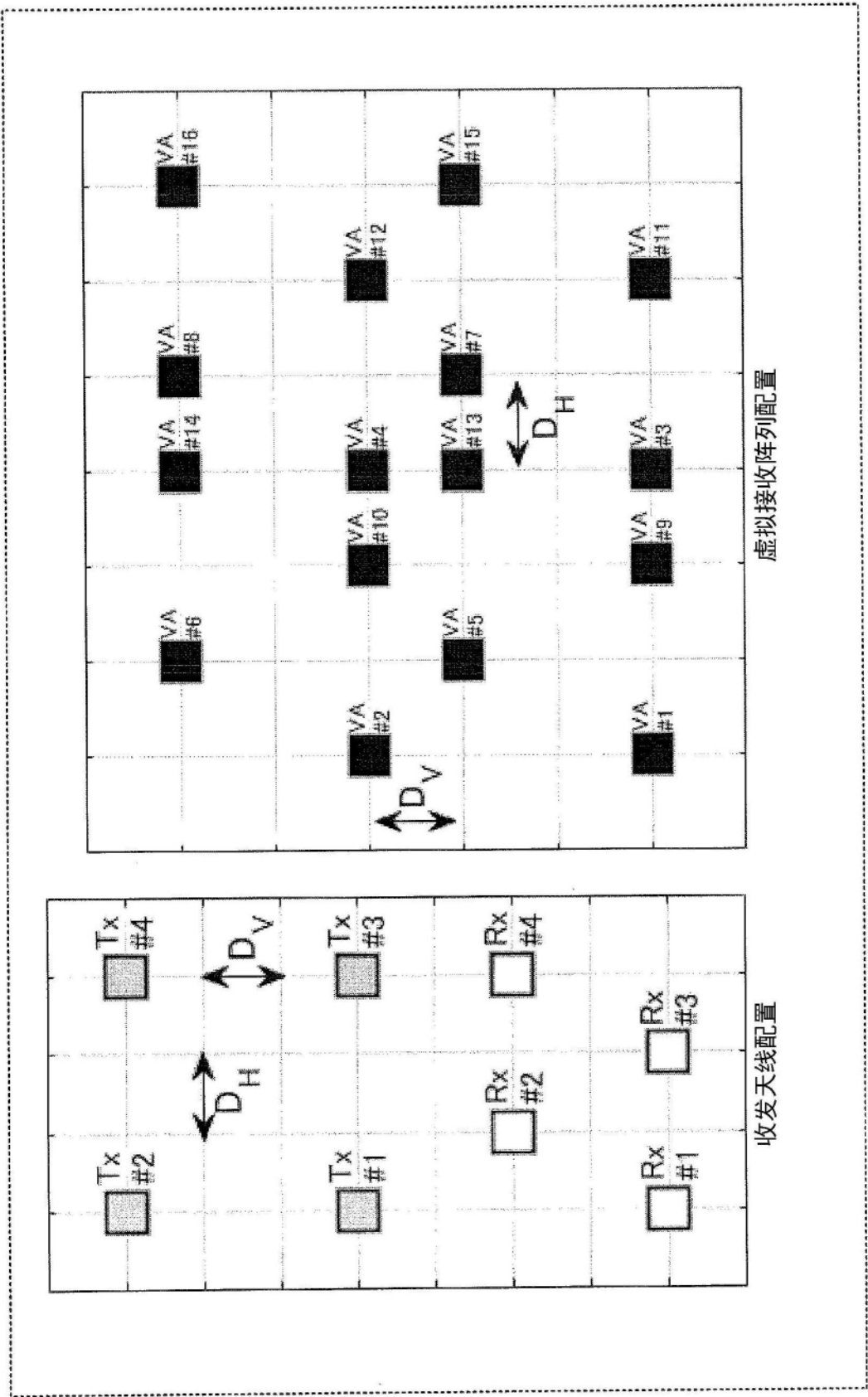


图45

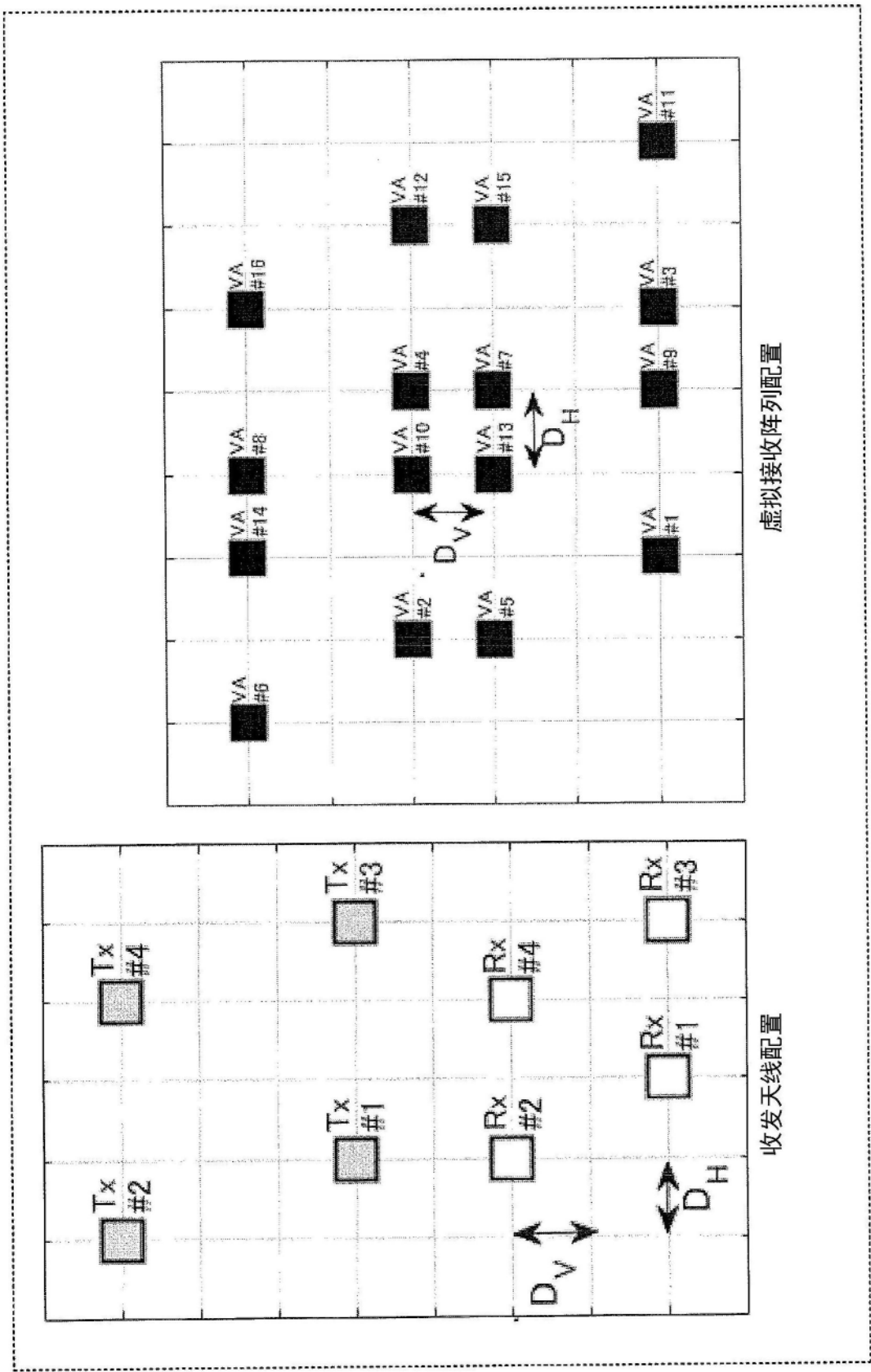


图46

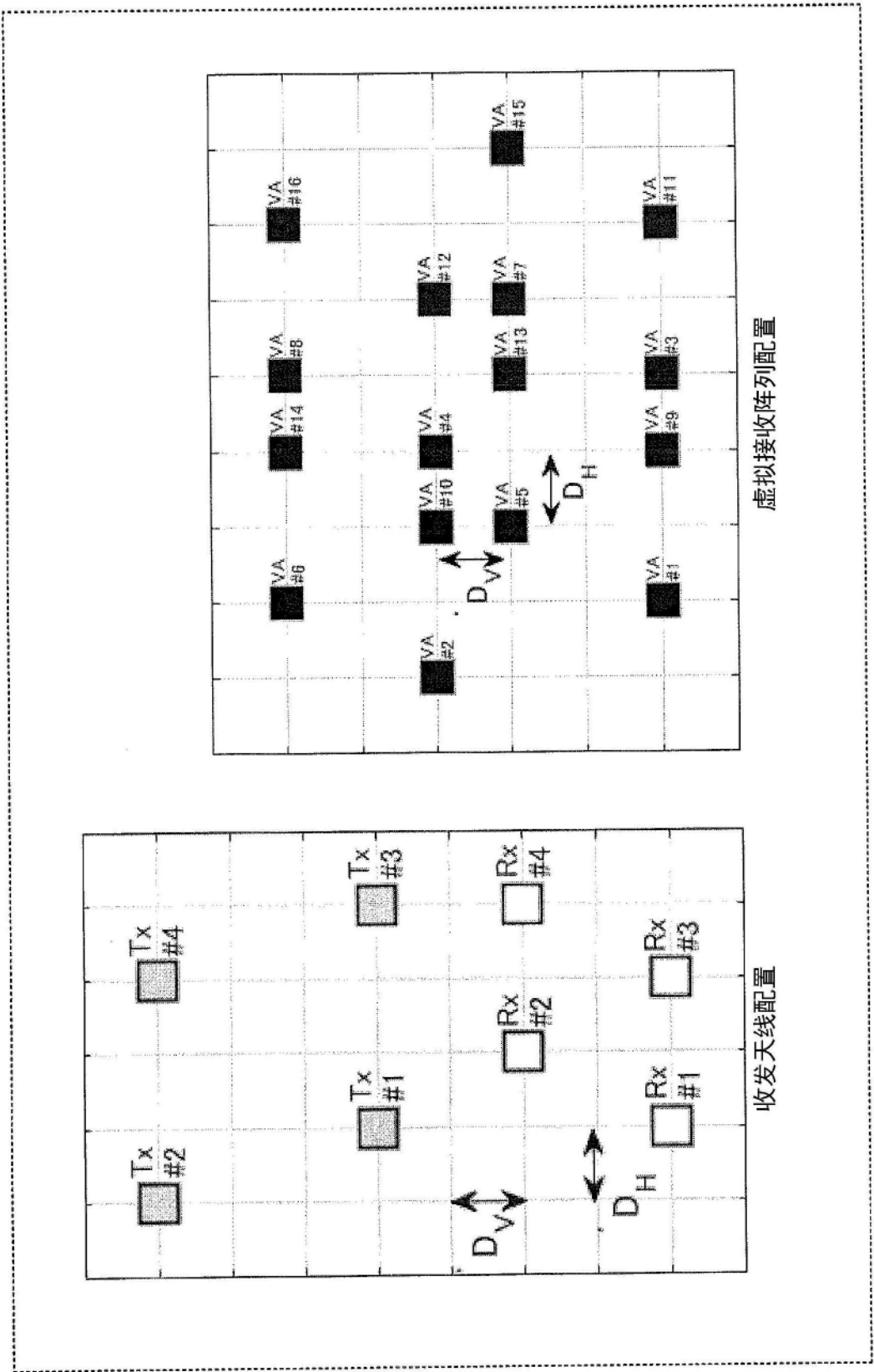


图47

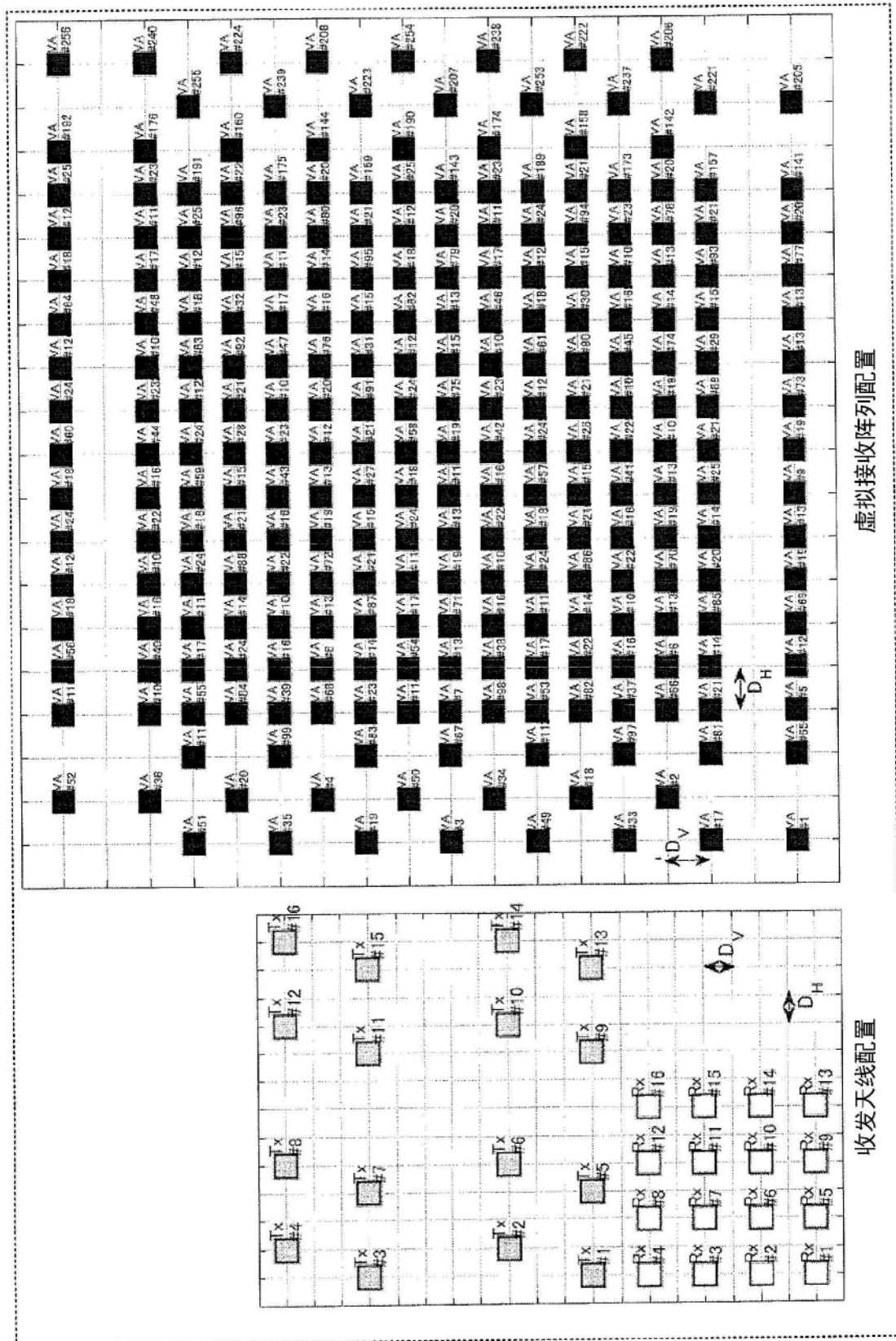


图48

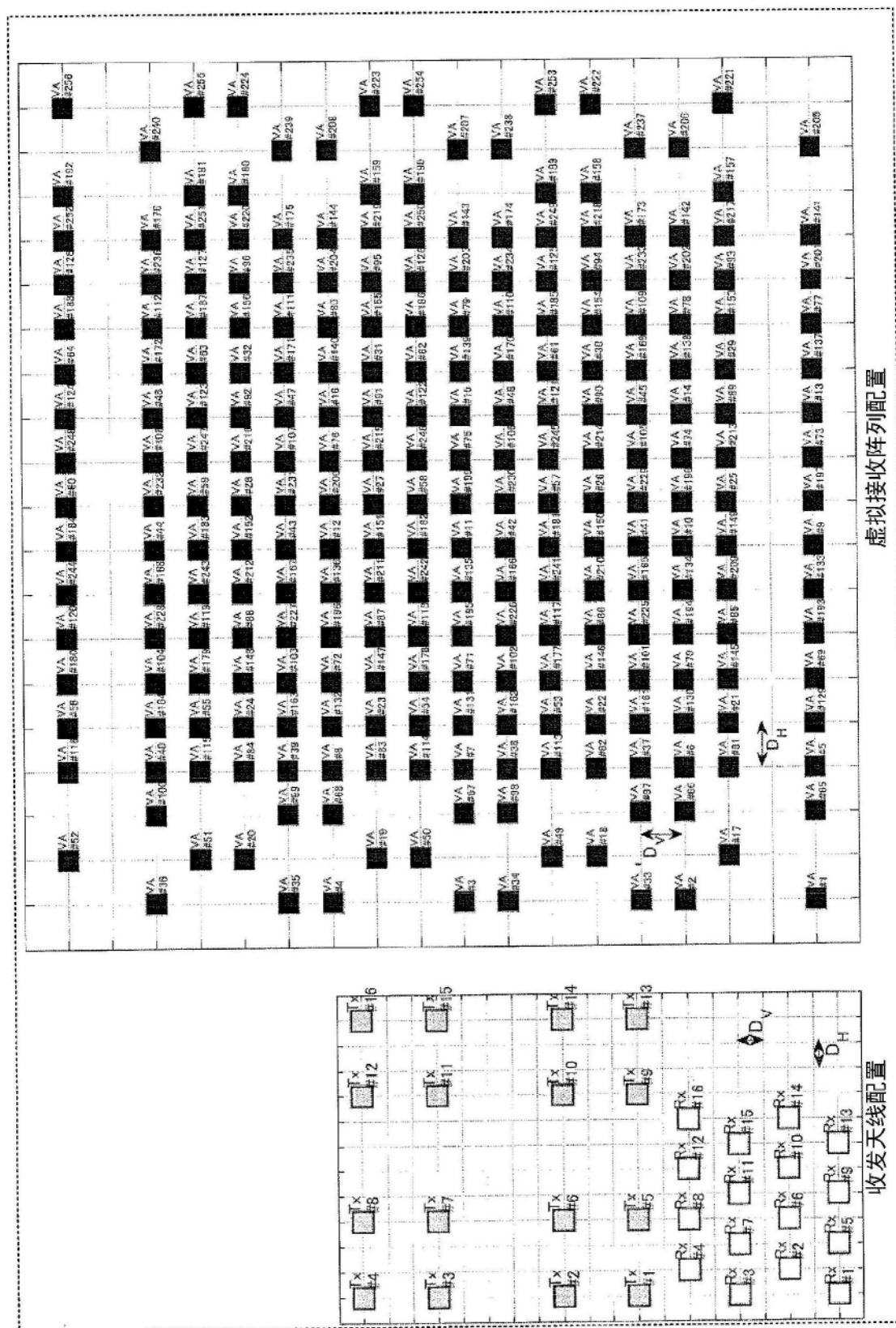


图49

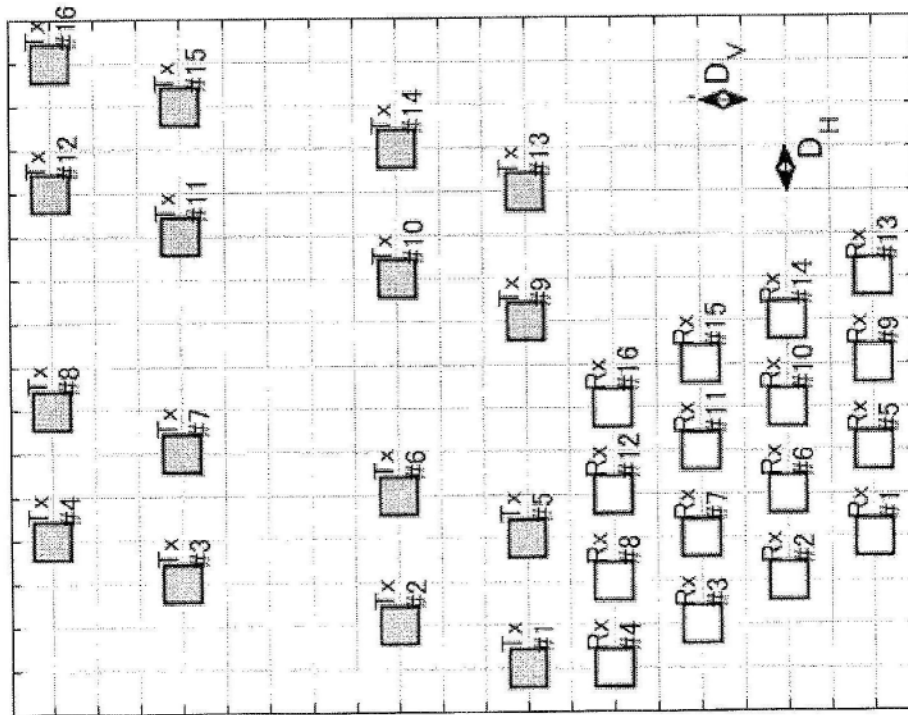


图50A

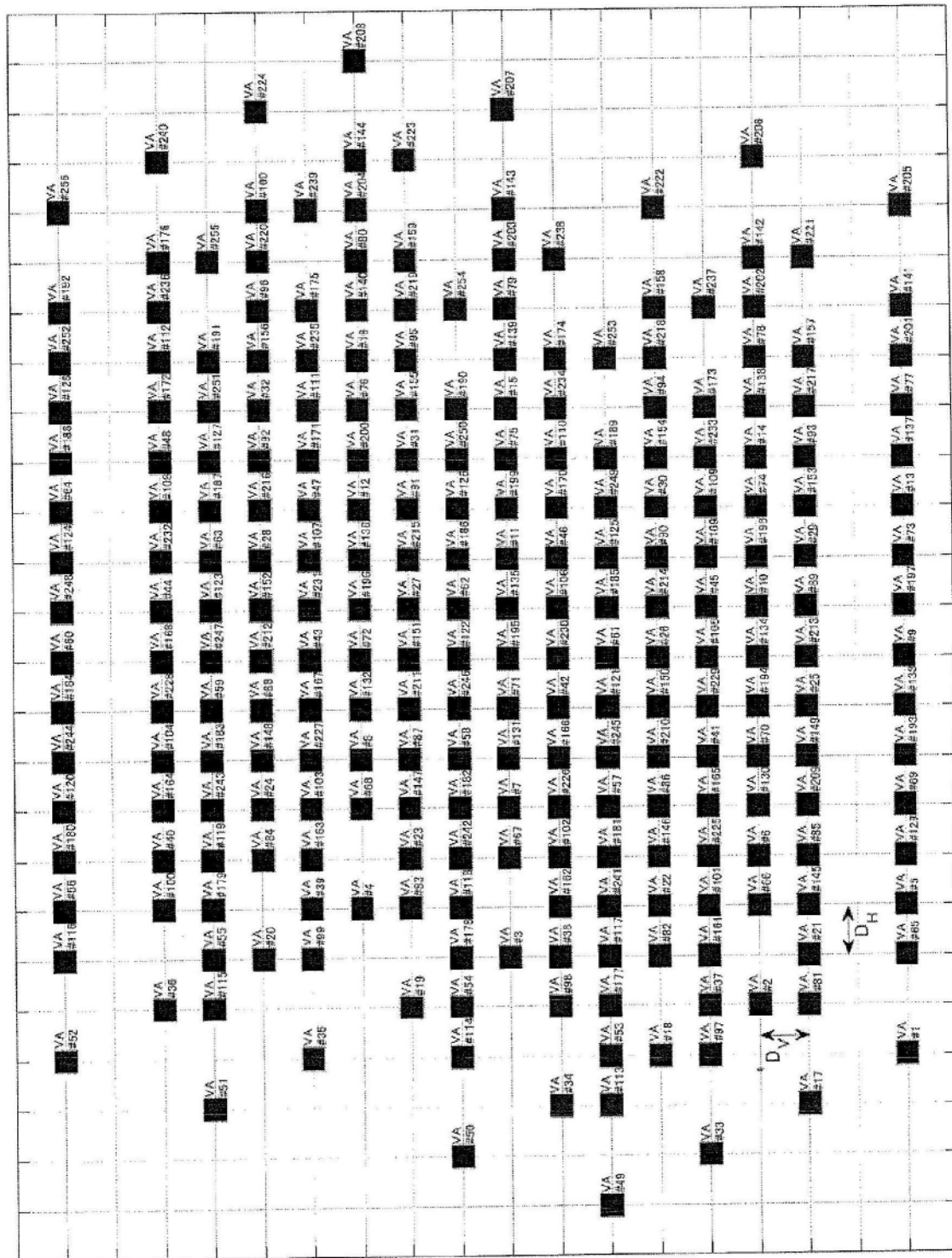


图50B

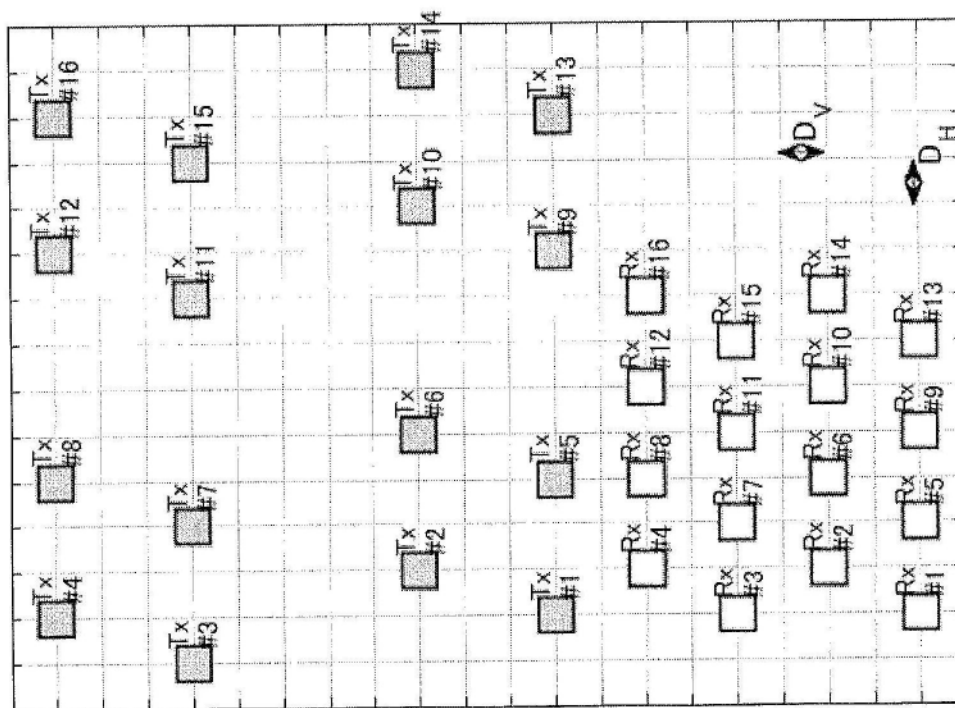


图51A

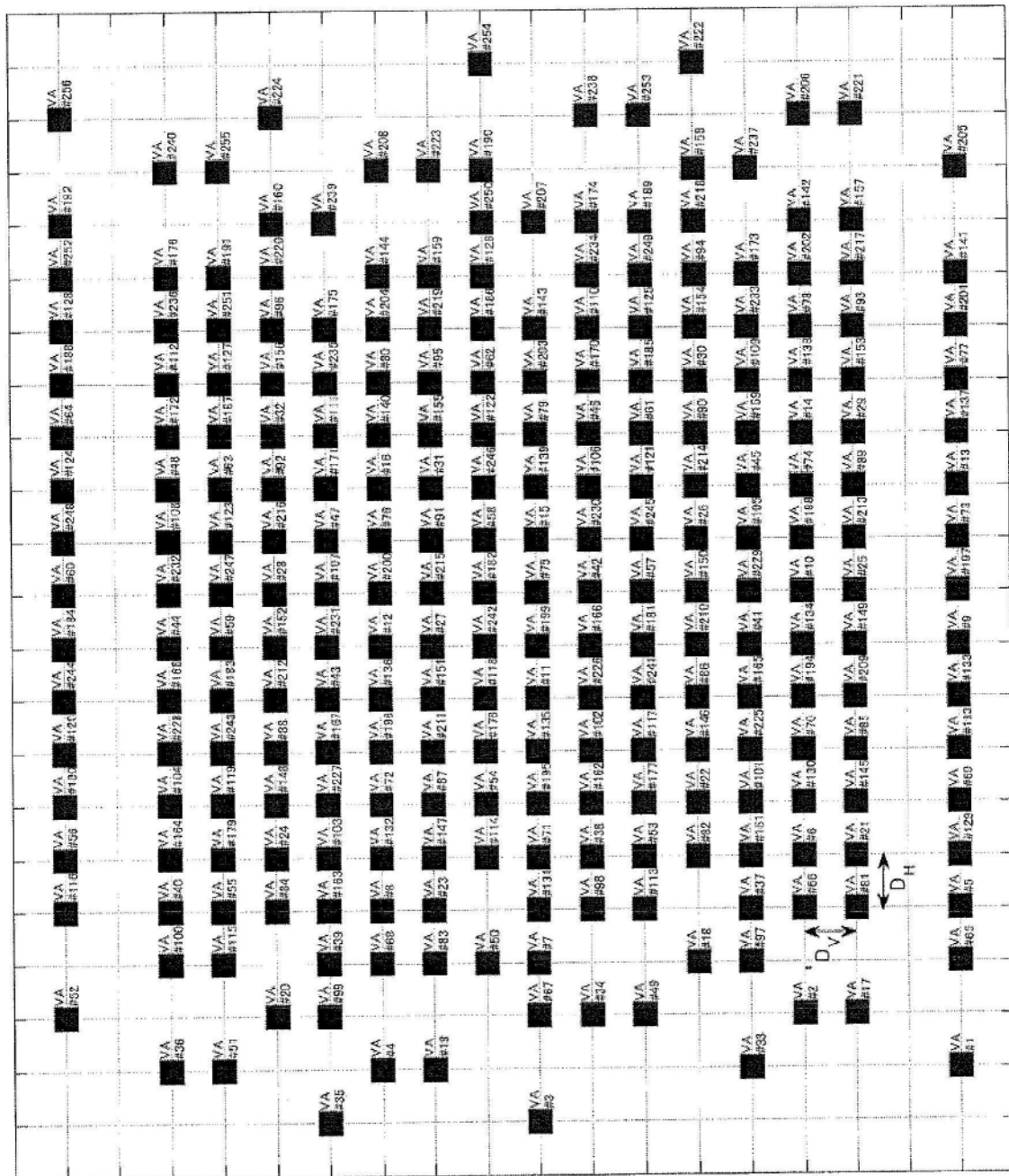


图51B

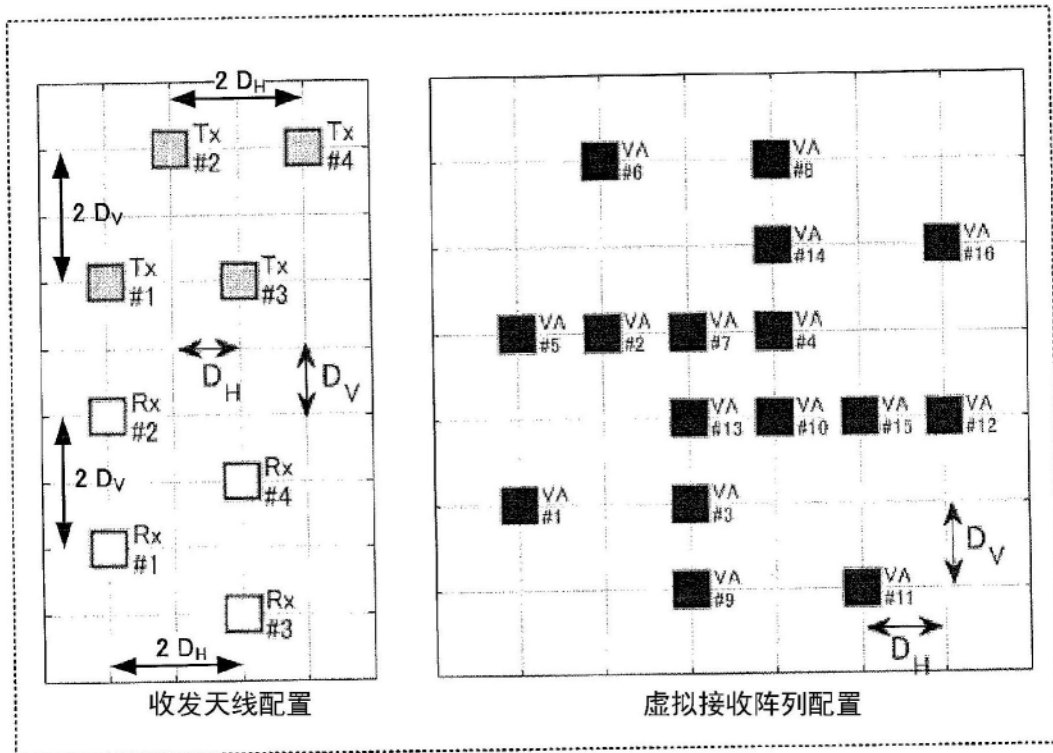


图52A

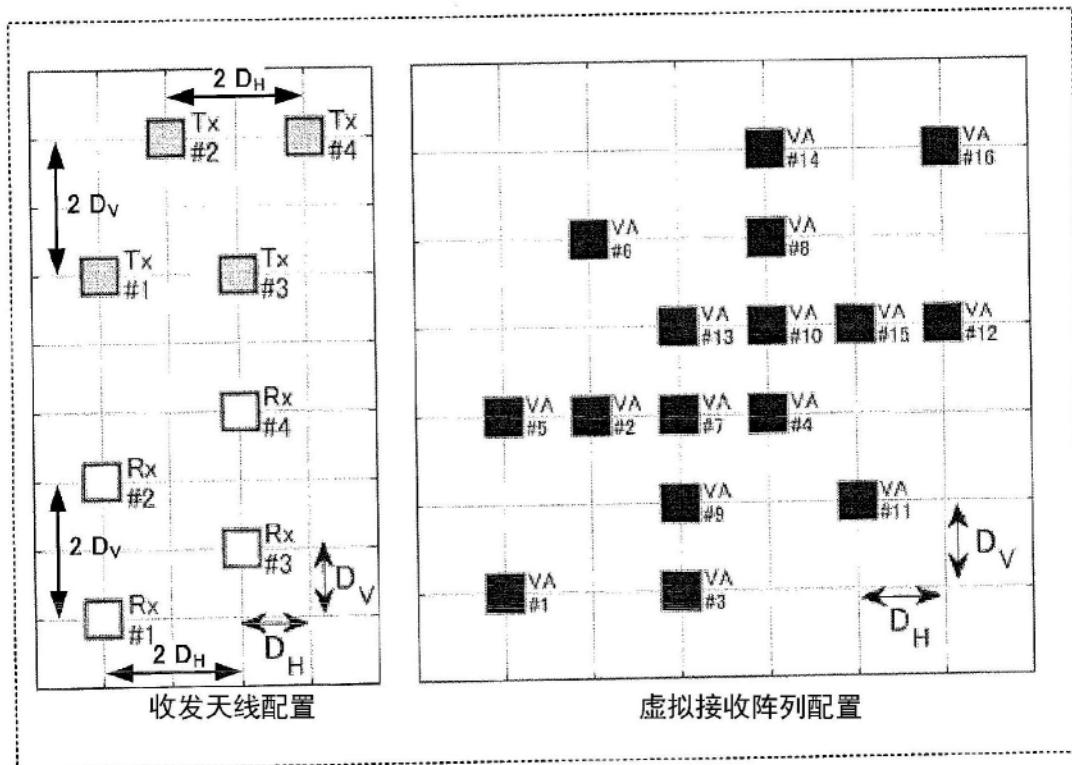


图52B

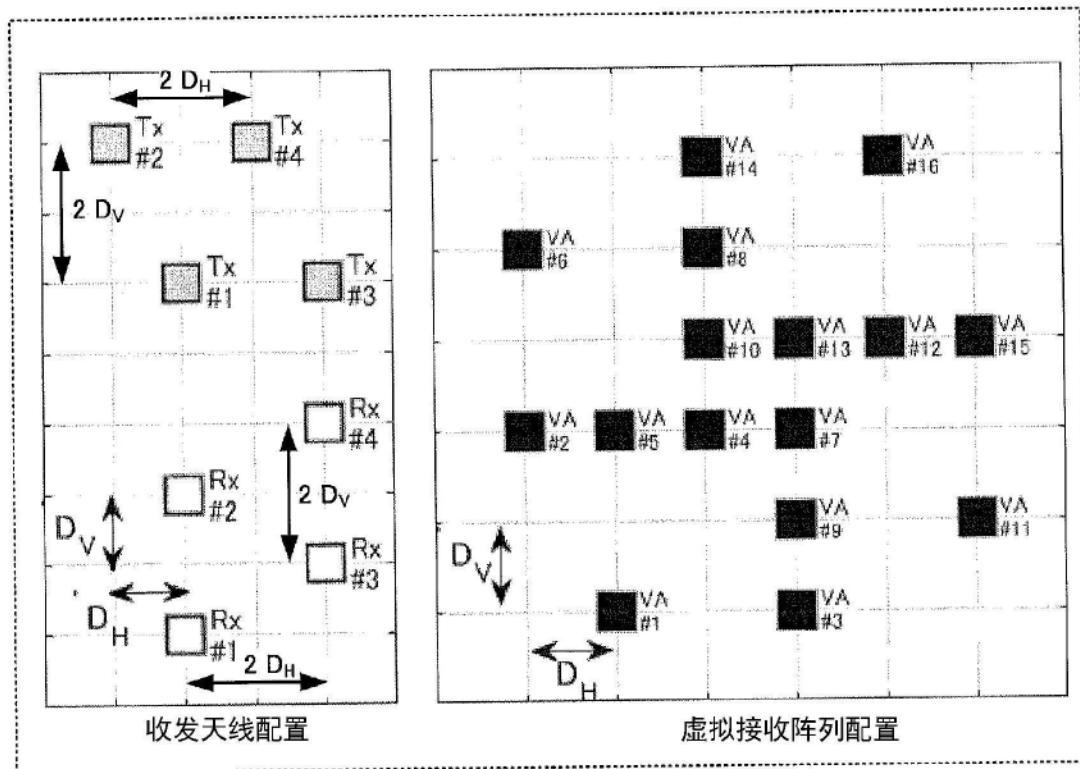


图52C

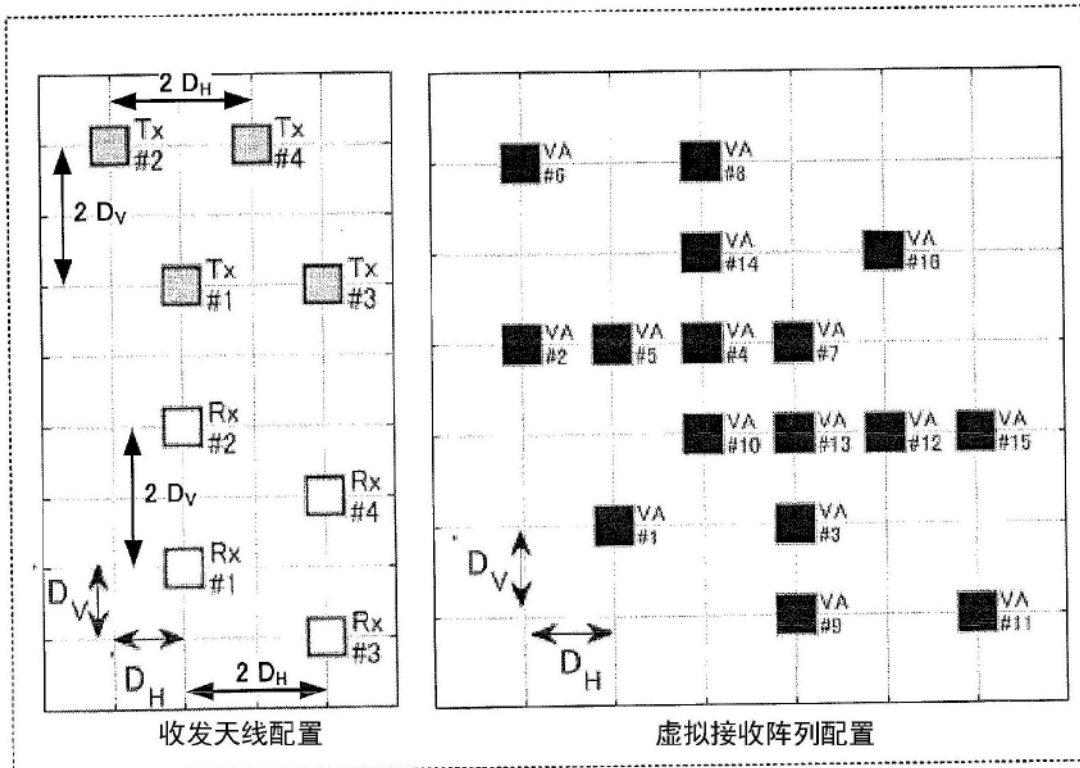


图52D

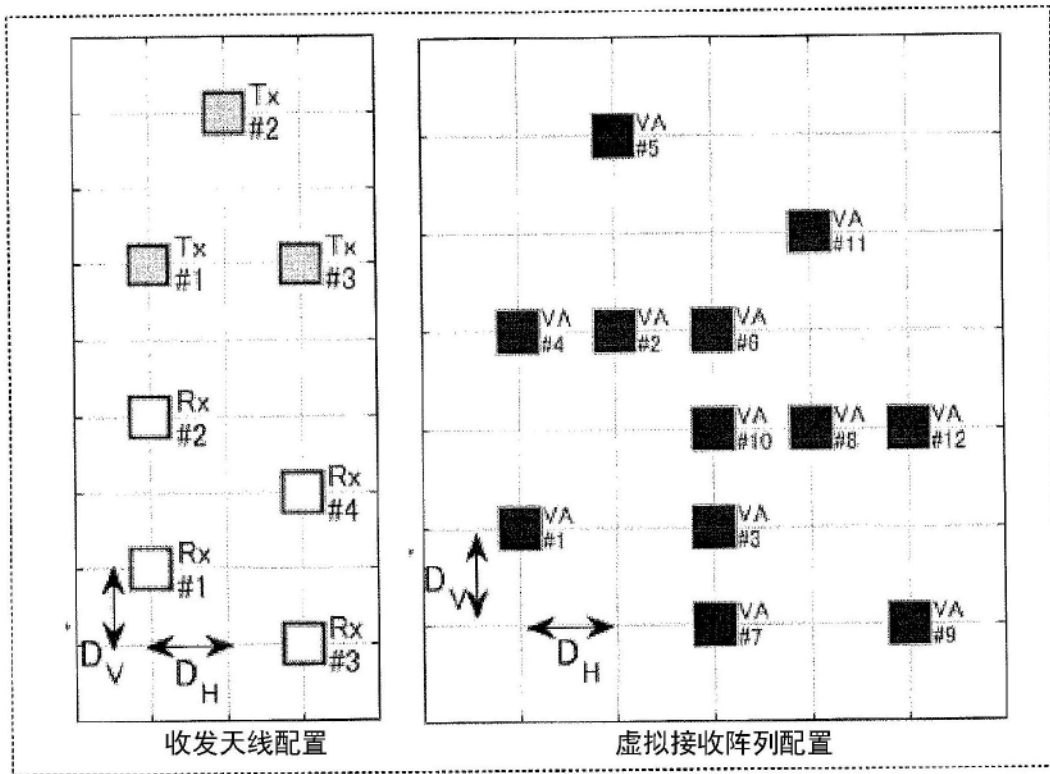


图53A

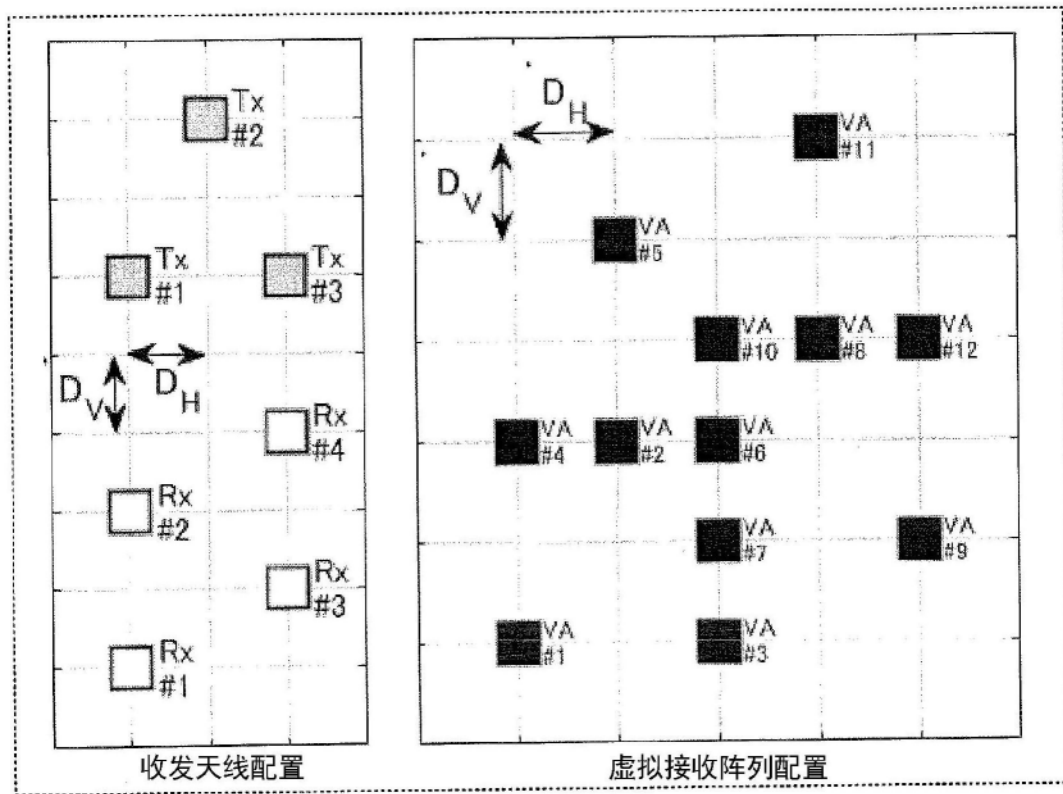


图53B

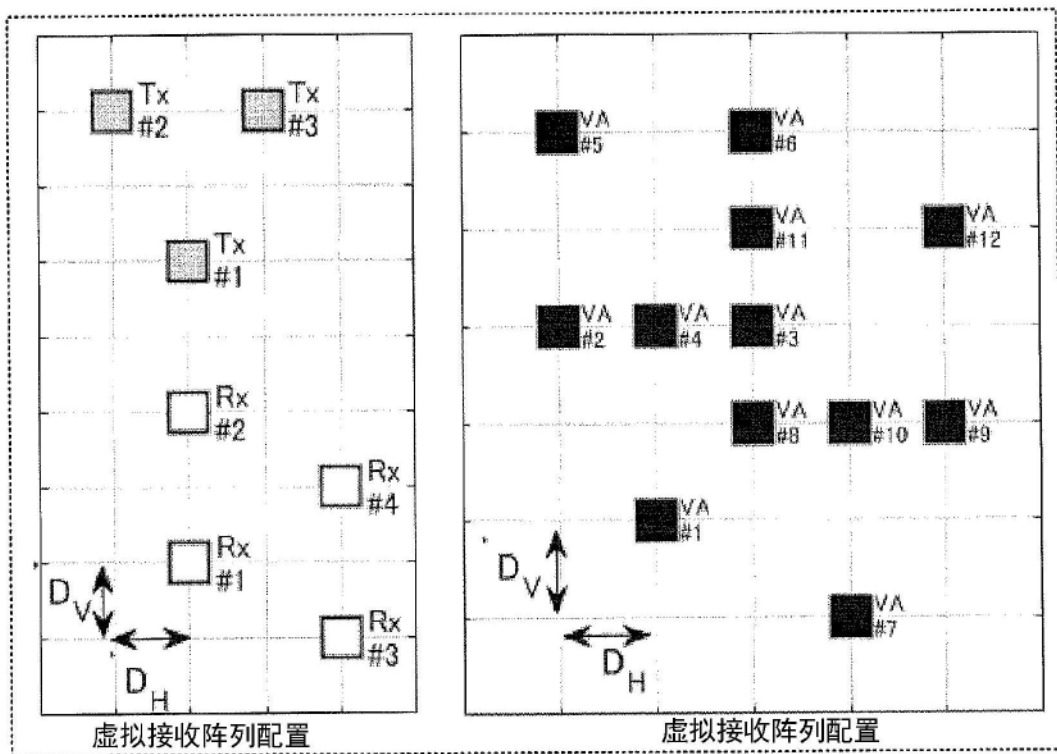


图53C

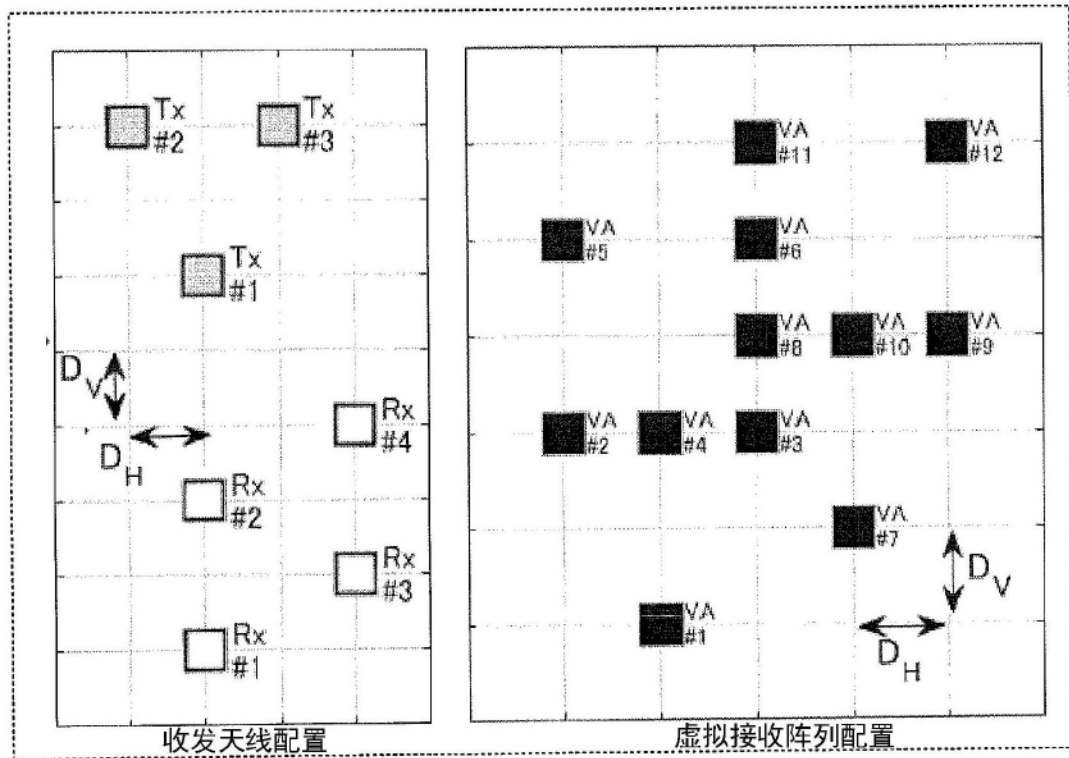


图53D

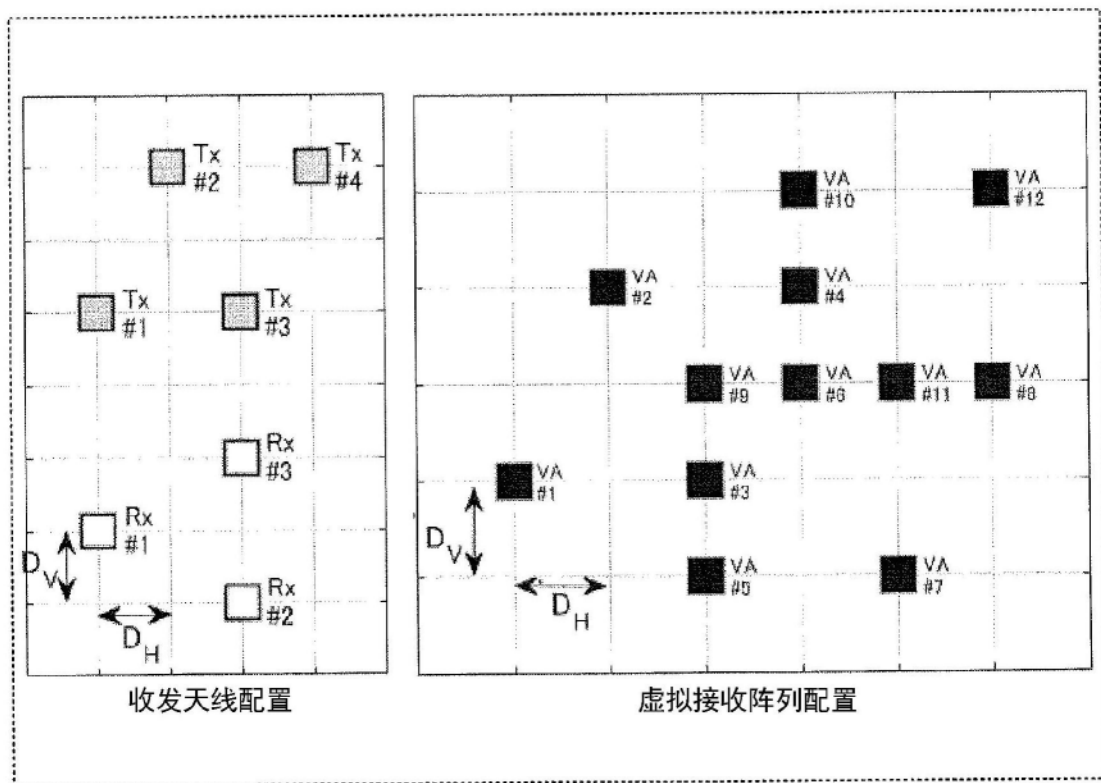


图54A

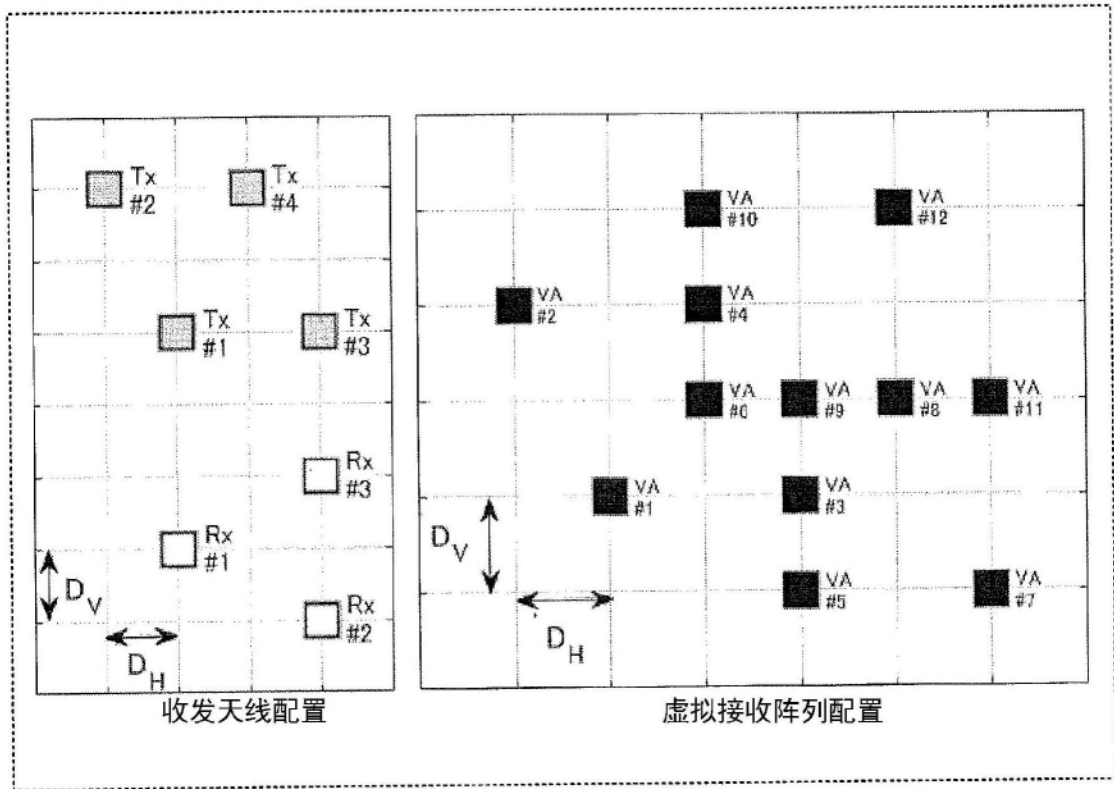


图54B

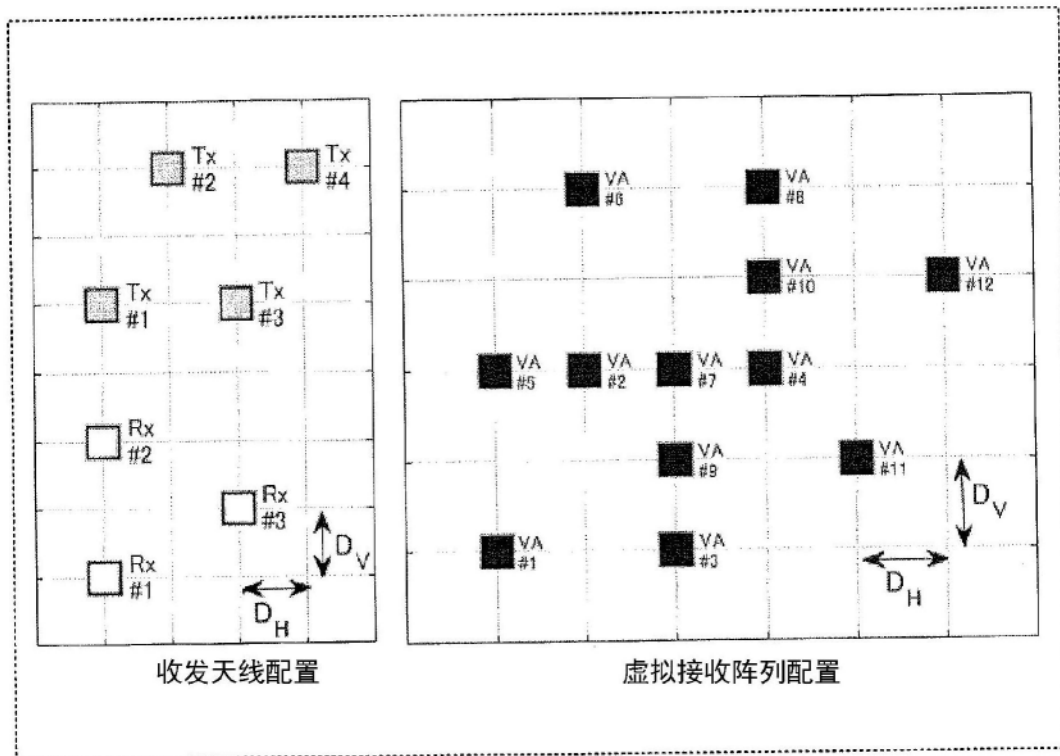


图54C

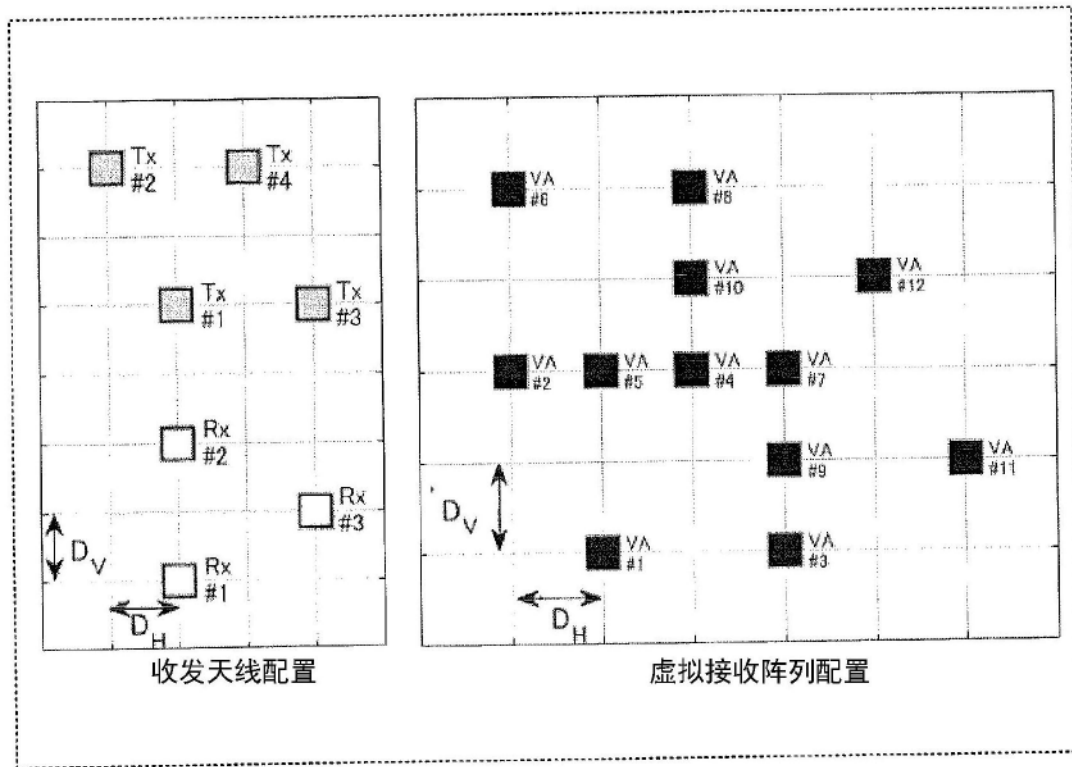


图54D

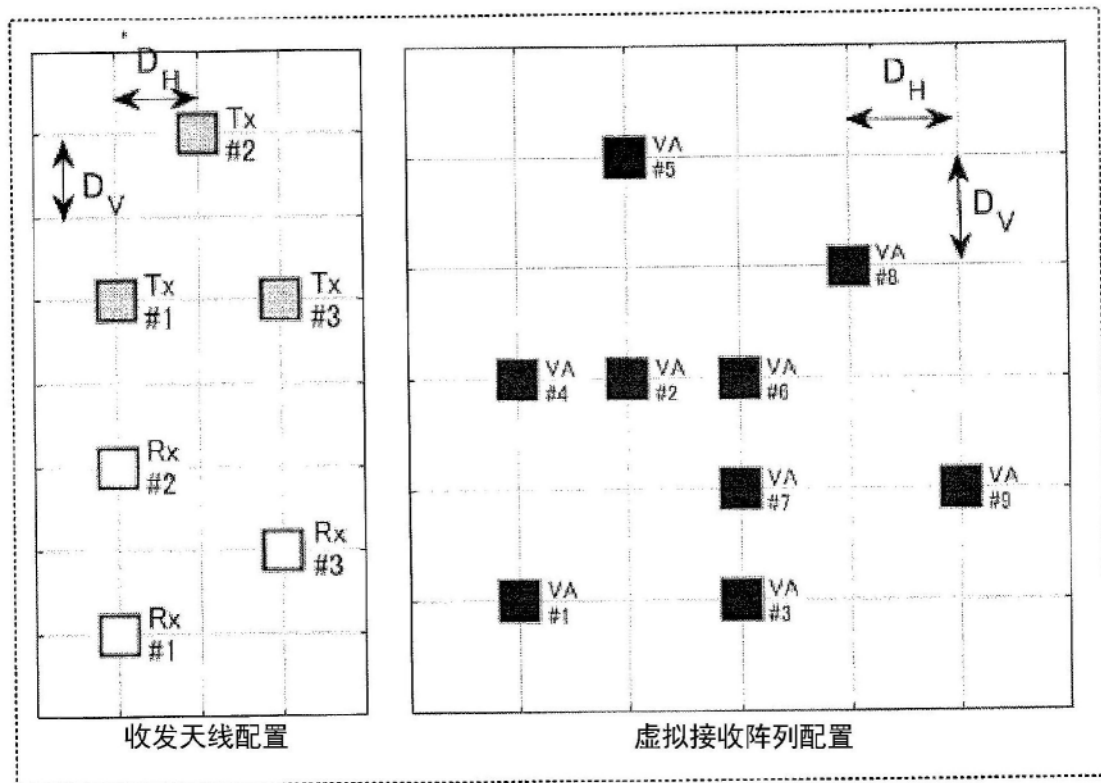


图55A

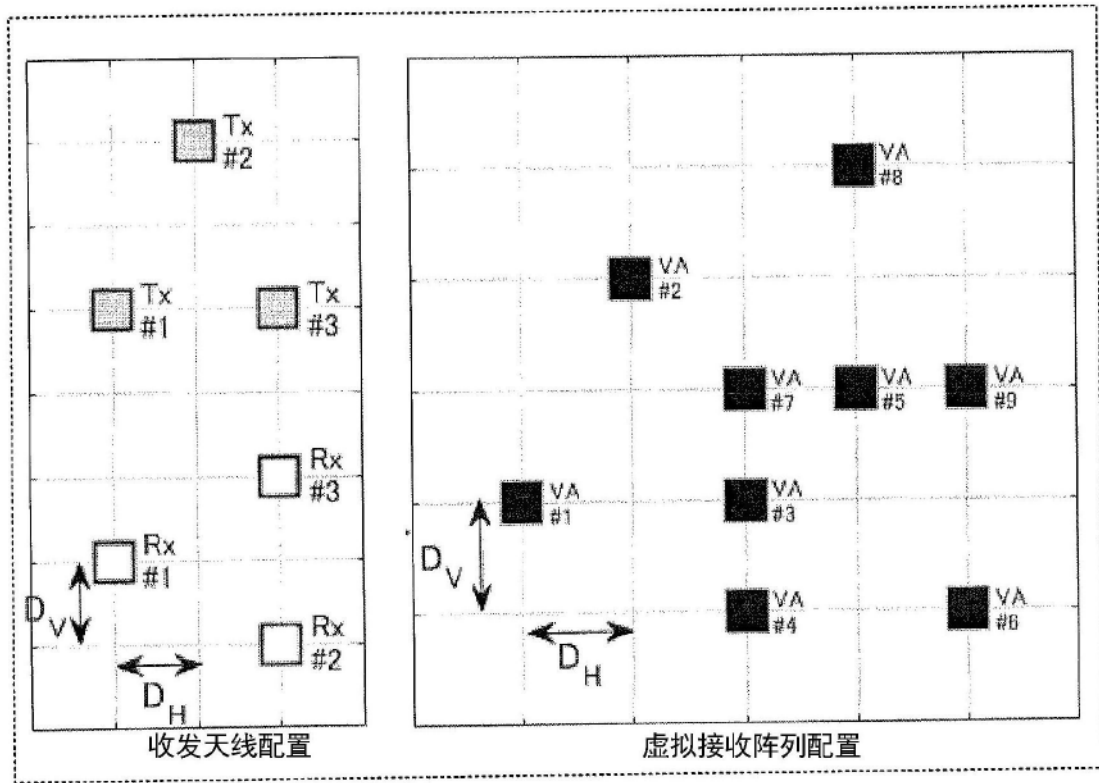


图55B

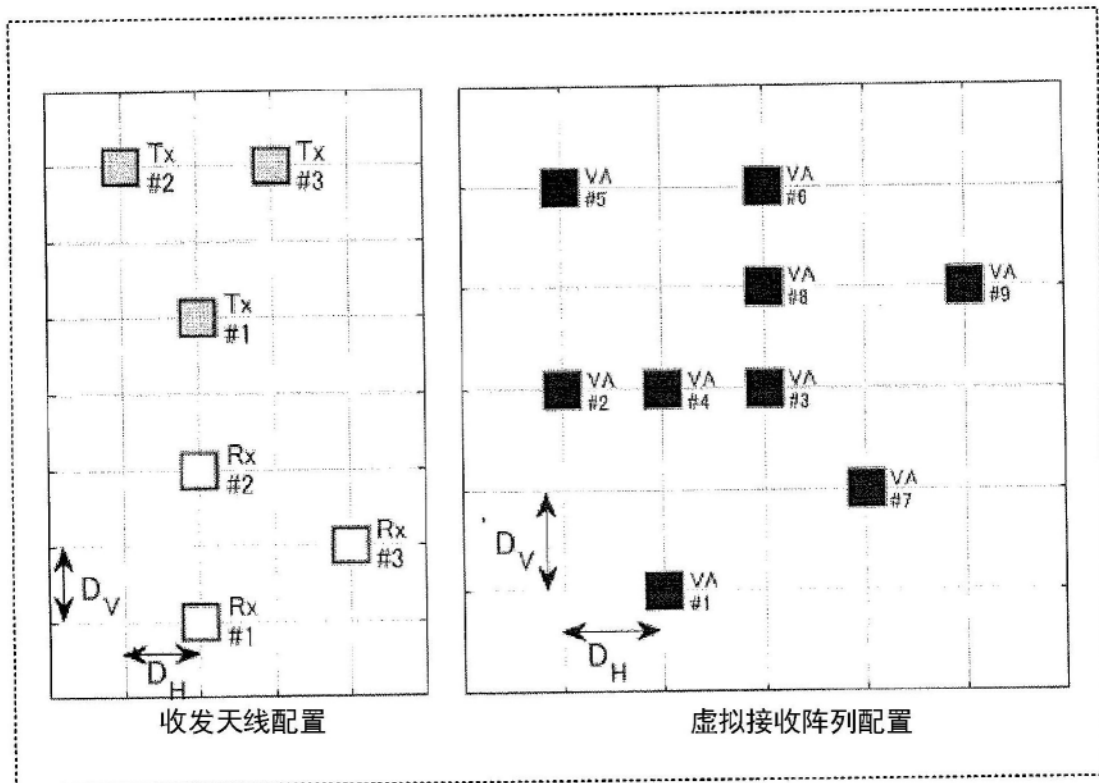


图55C

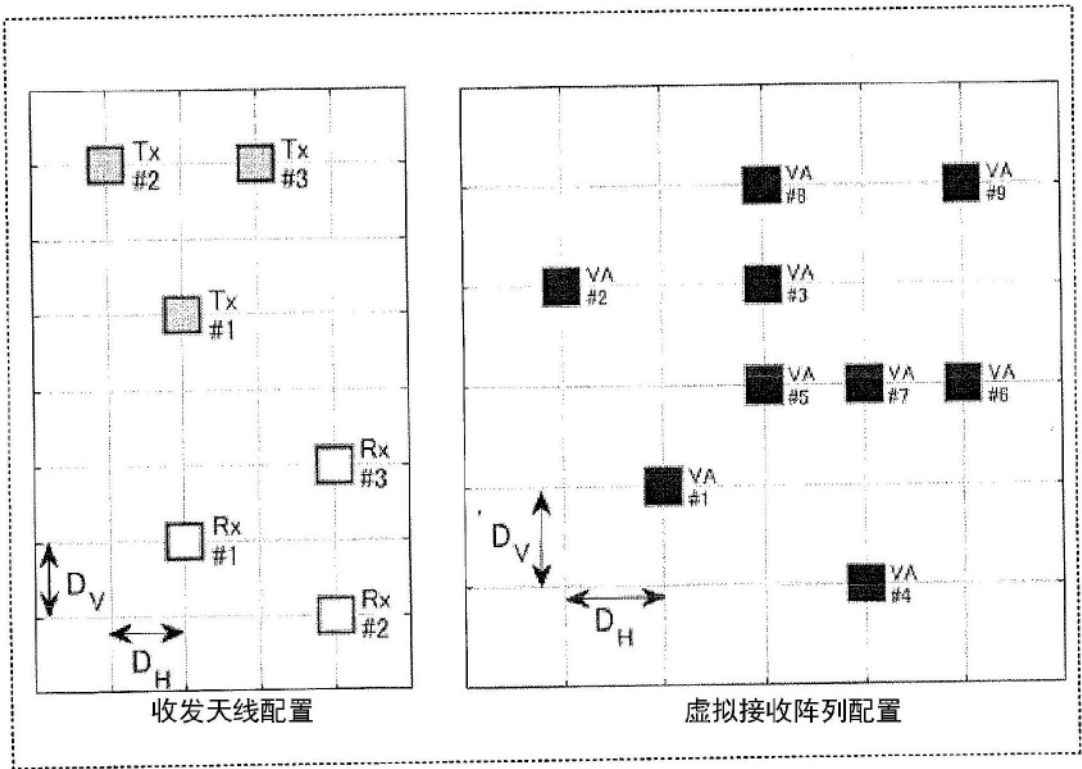


图55D

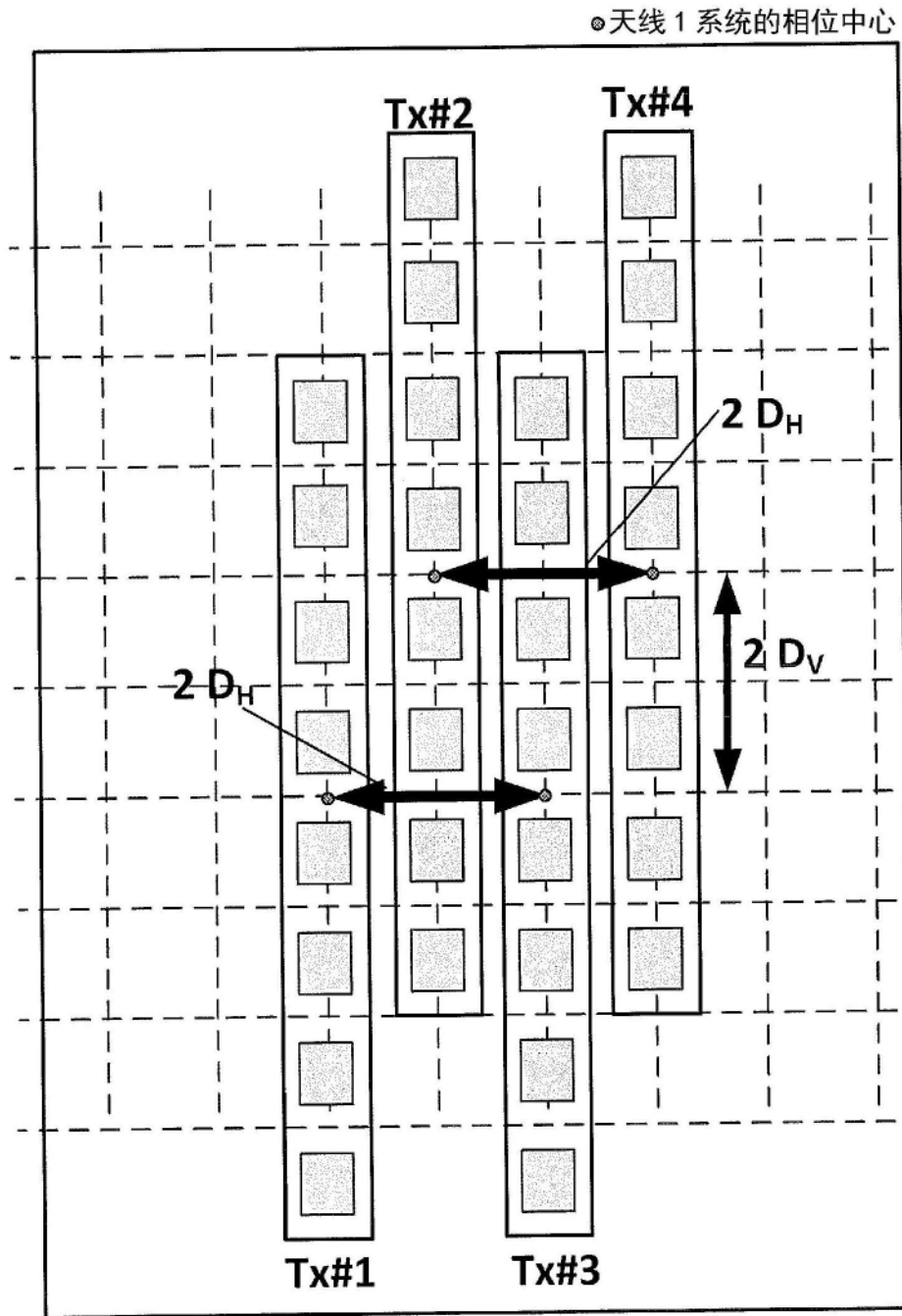


图56A

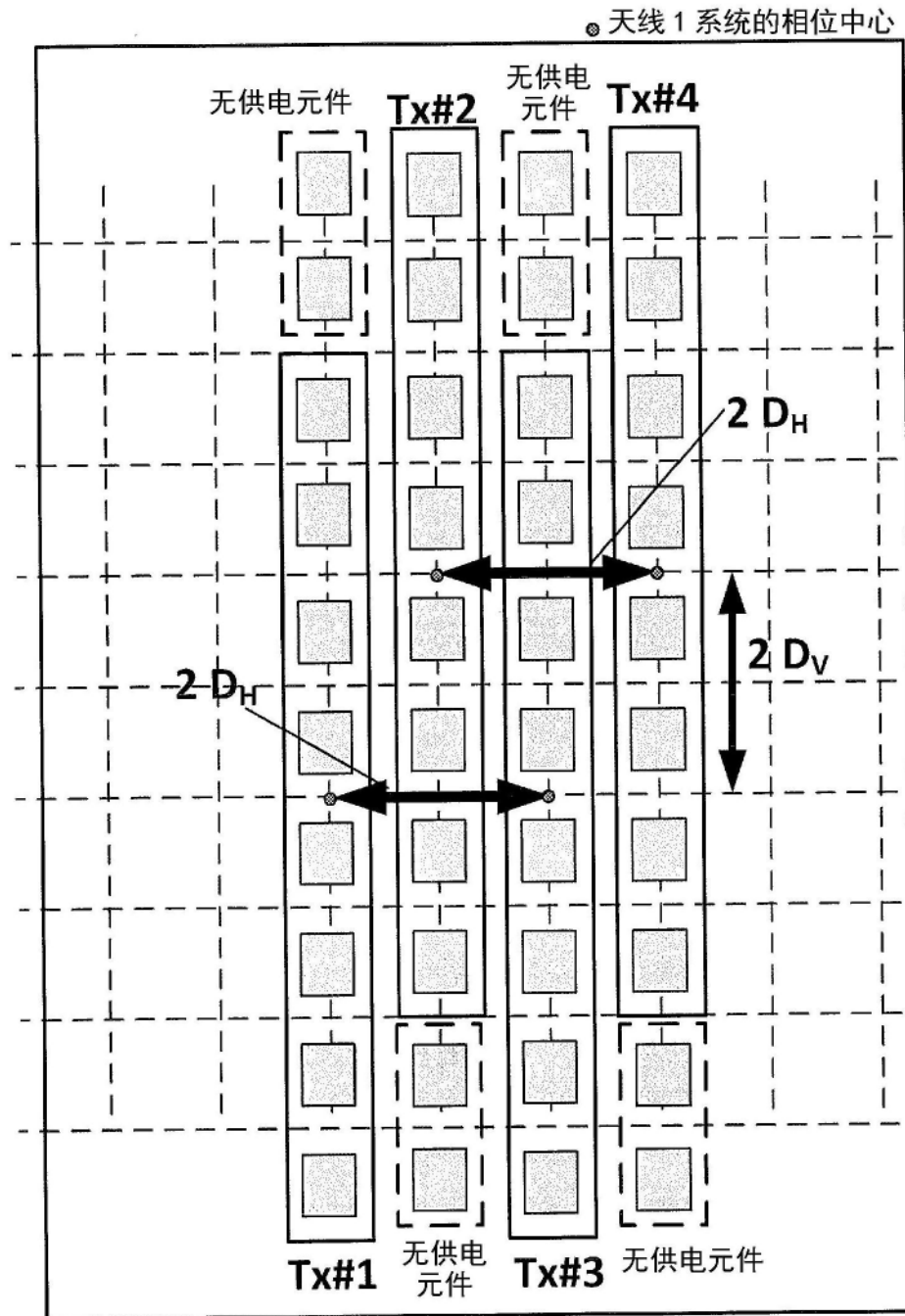


图56B

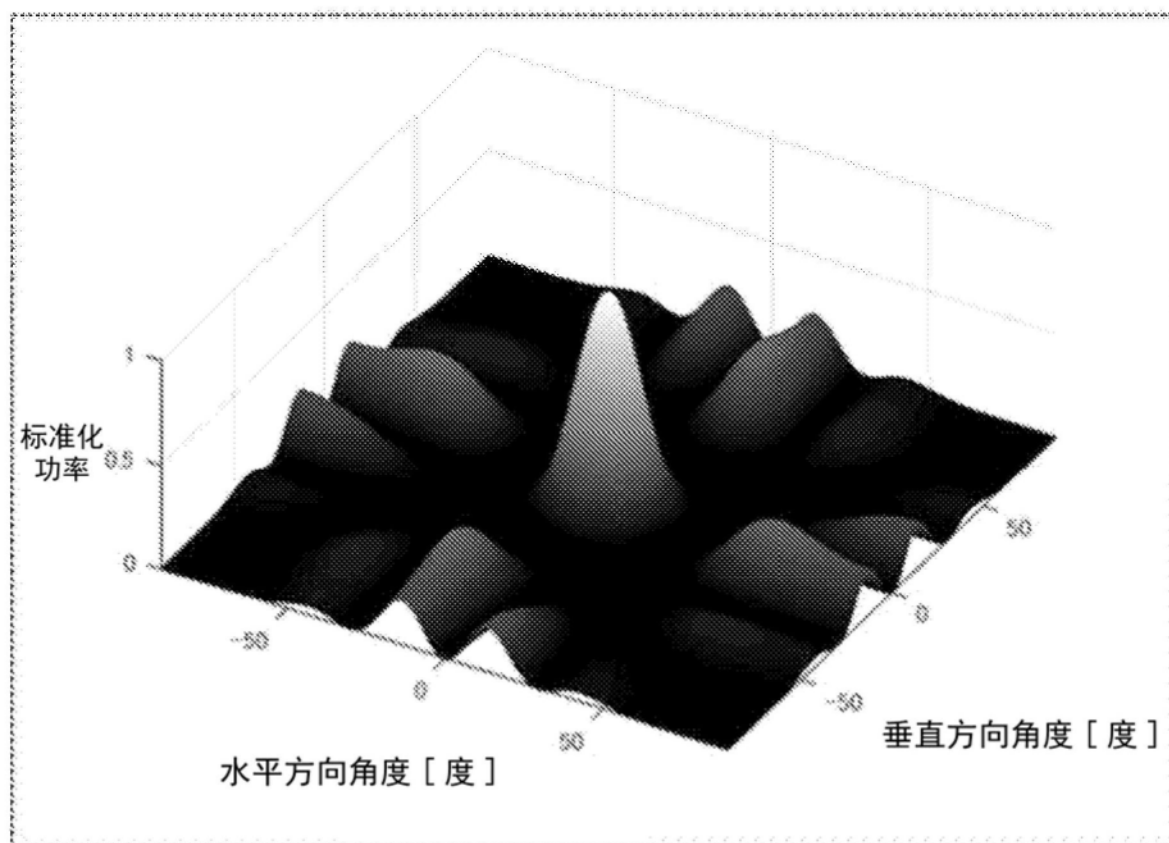


图57

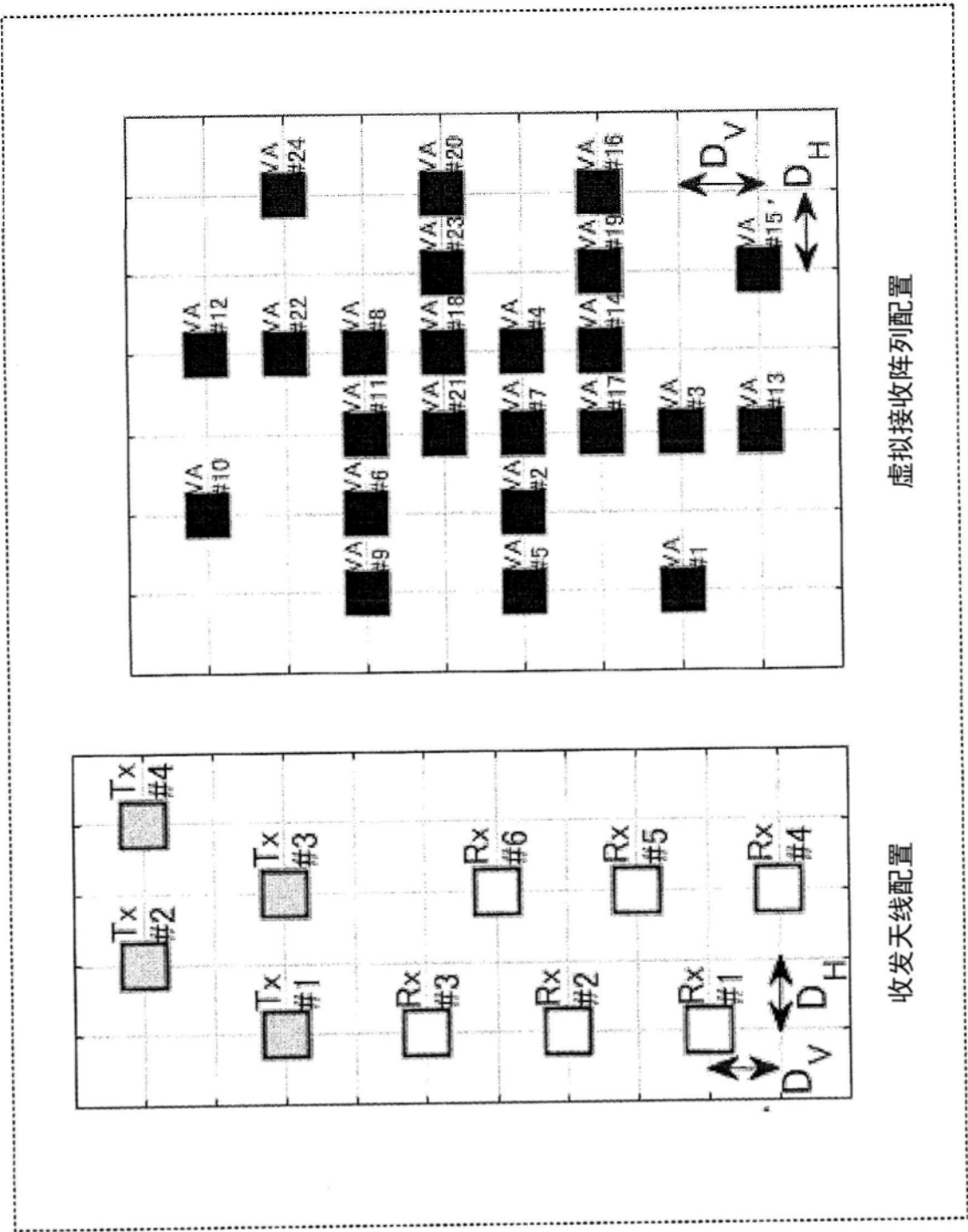


图58

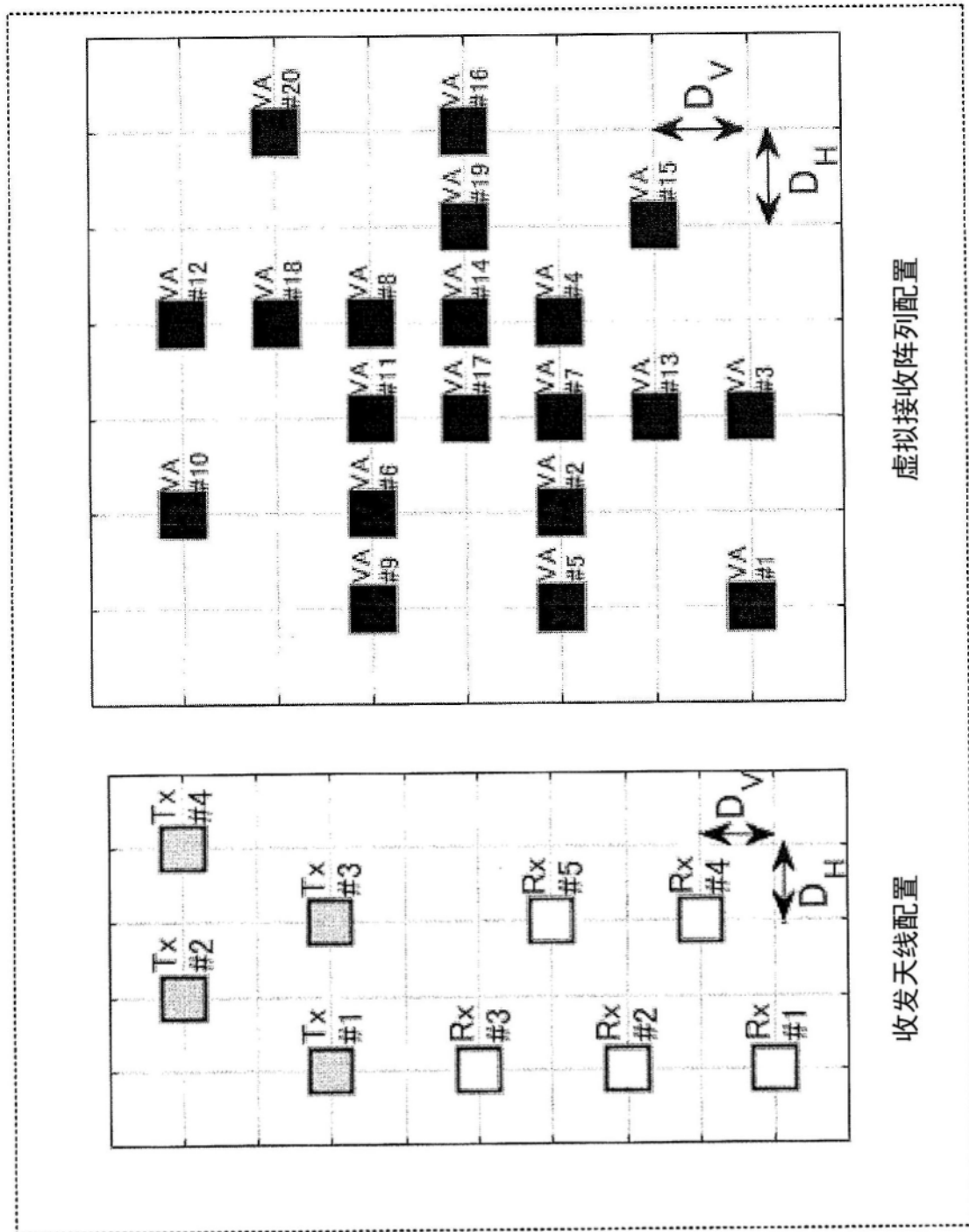


图59

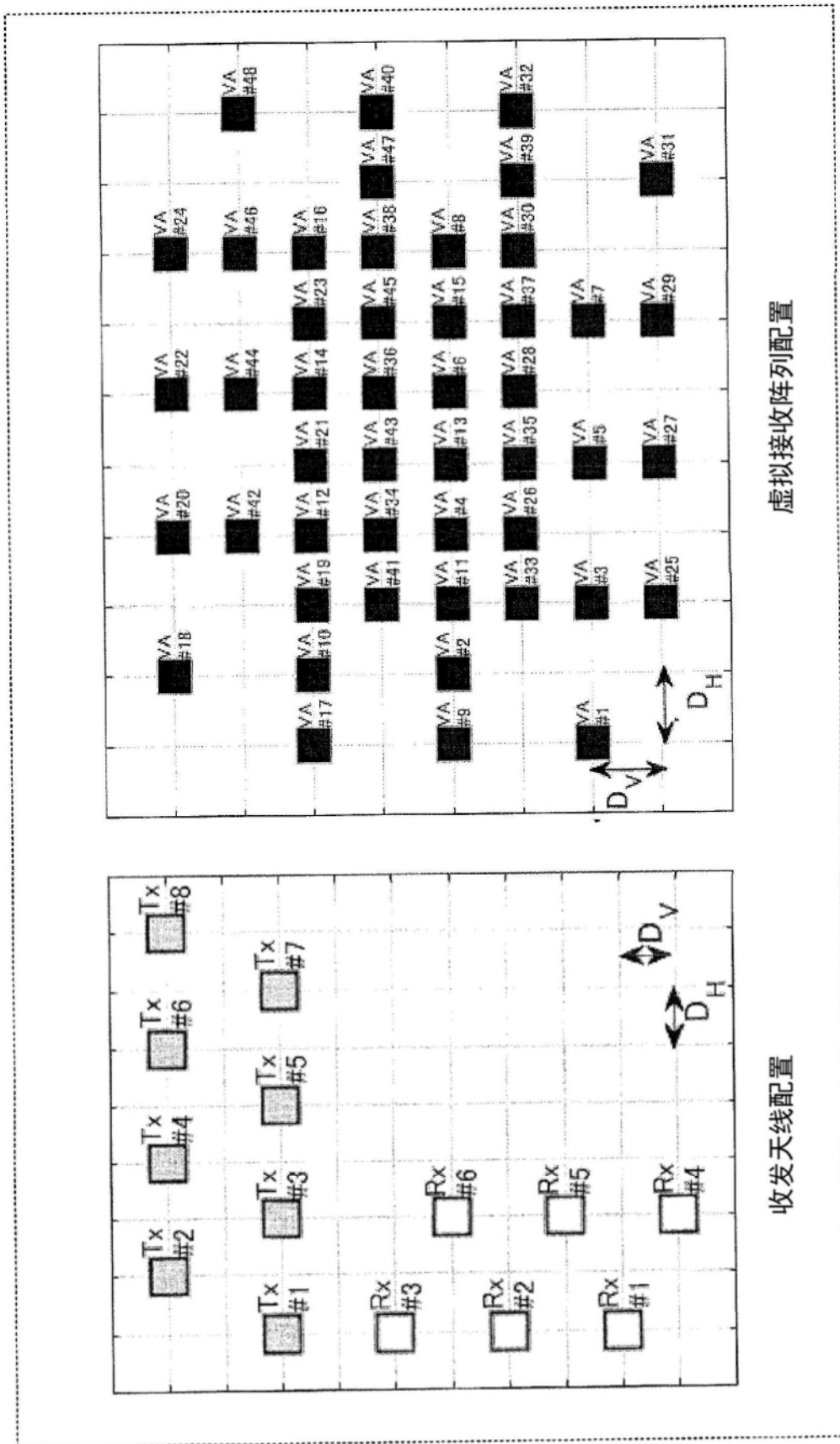


图60

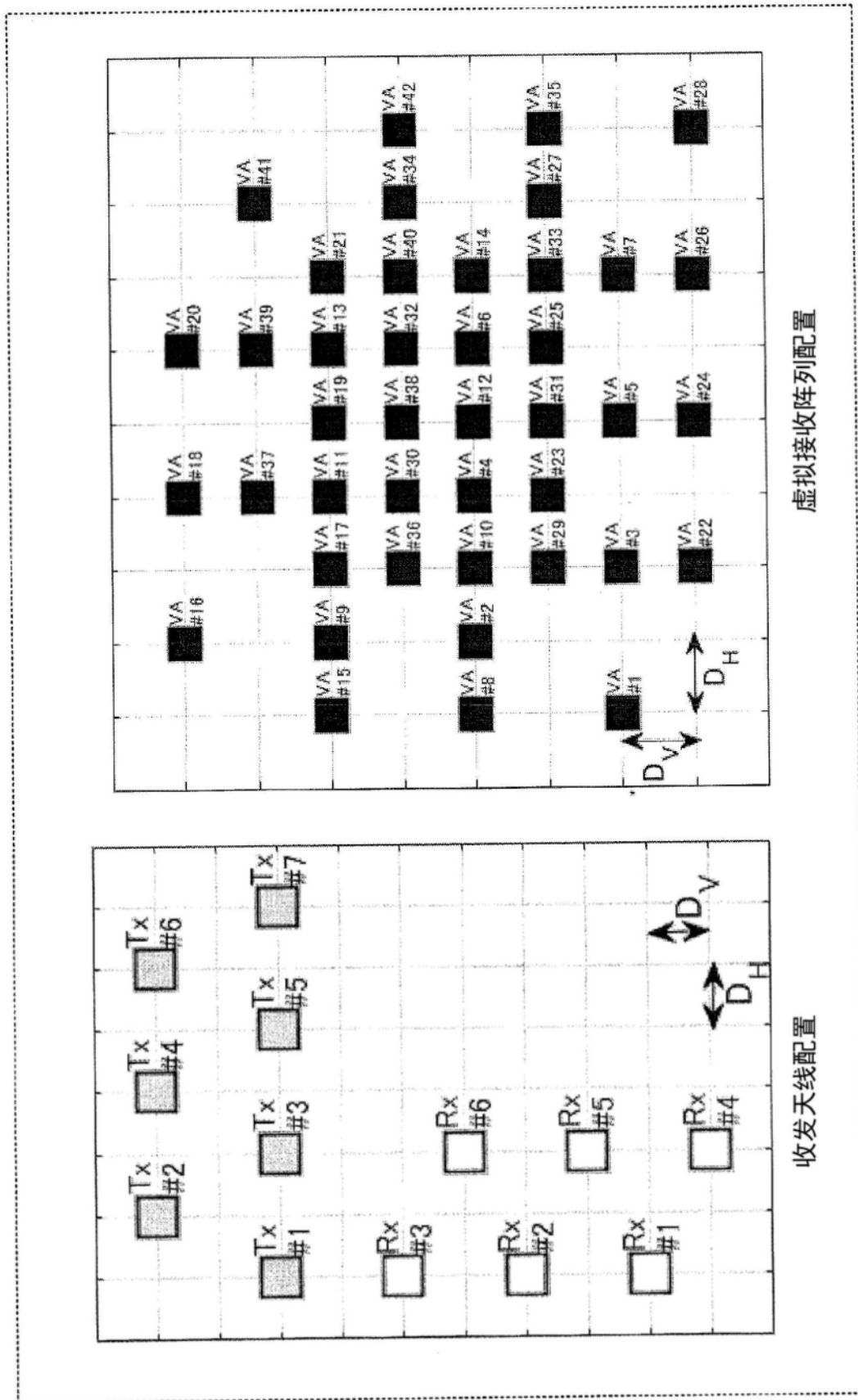


图61

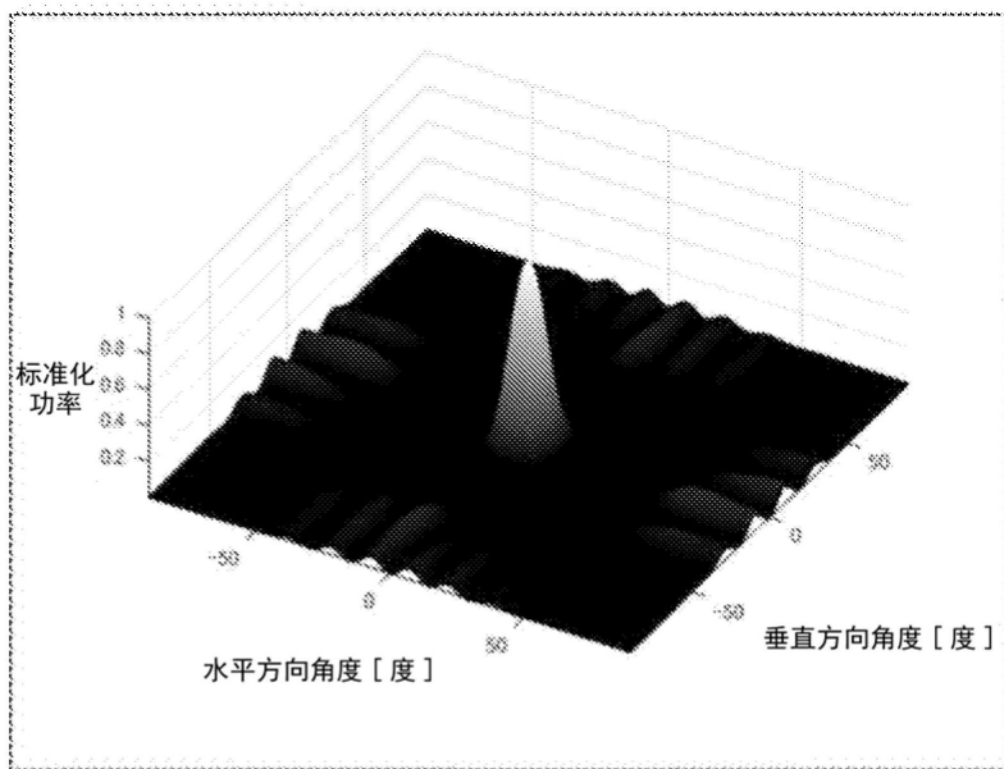


图62

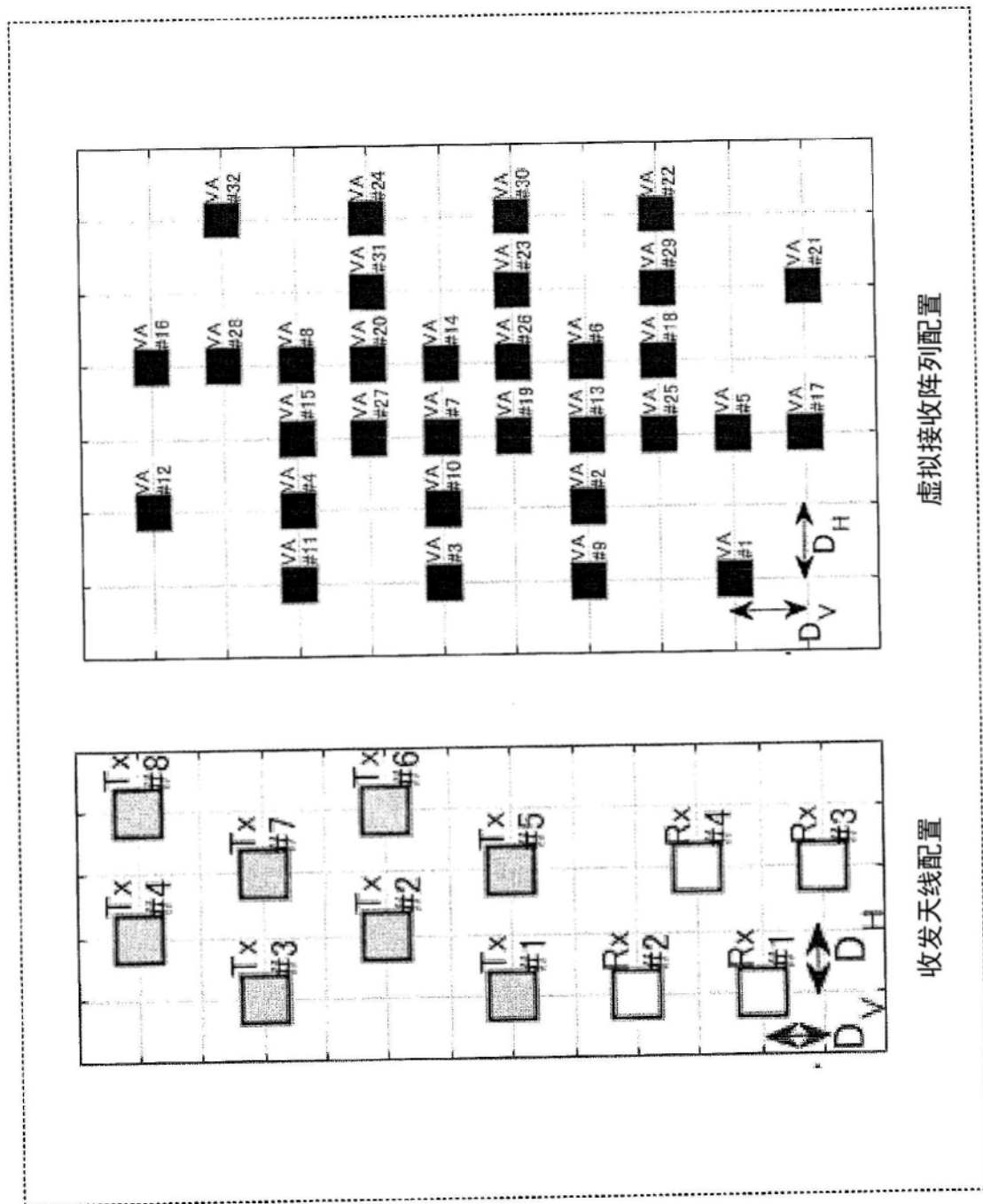


图63

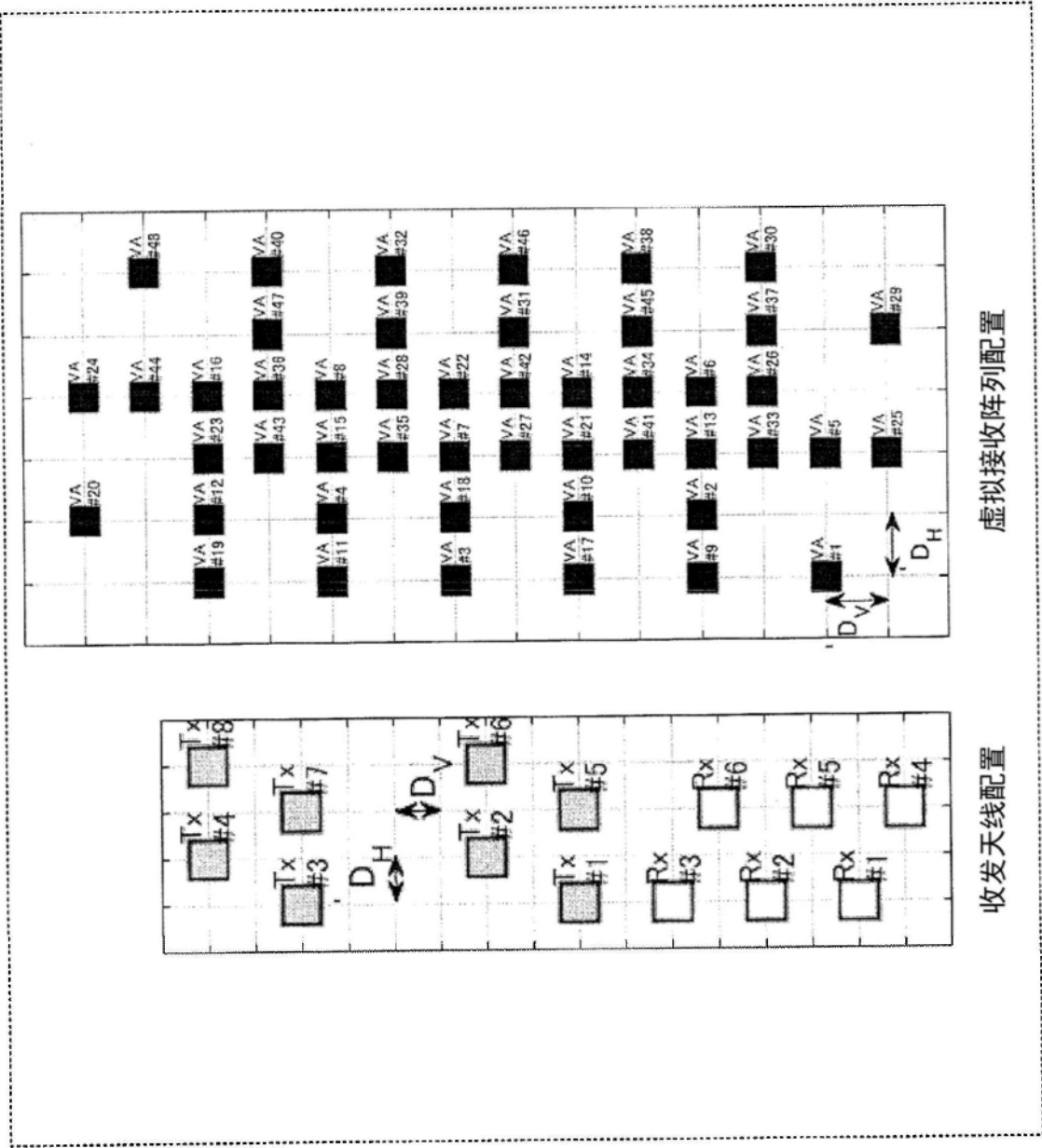


图64

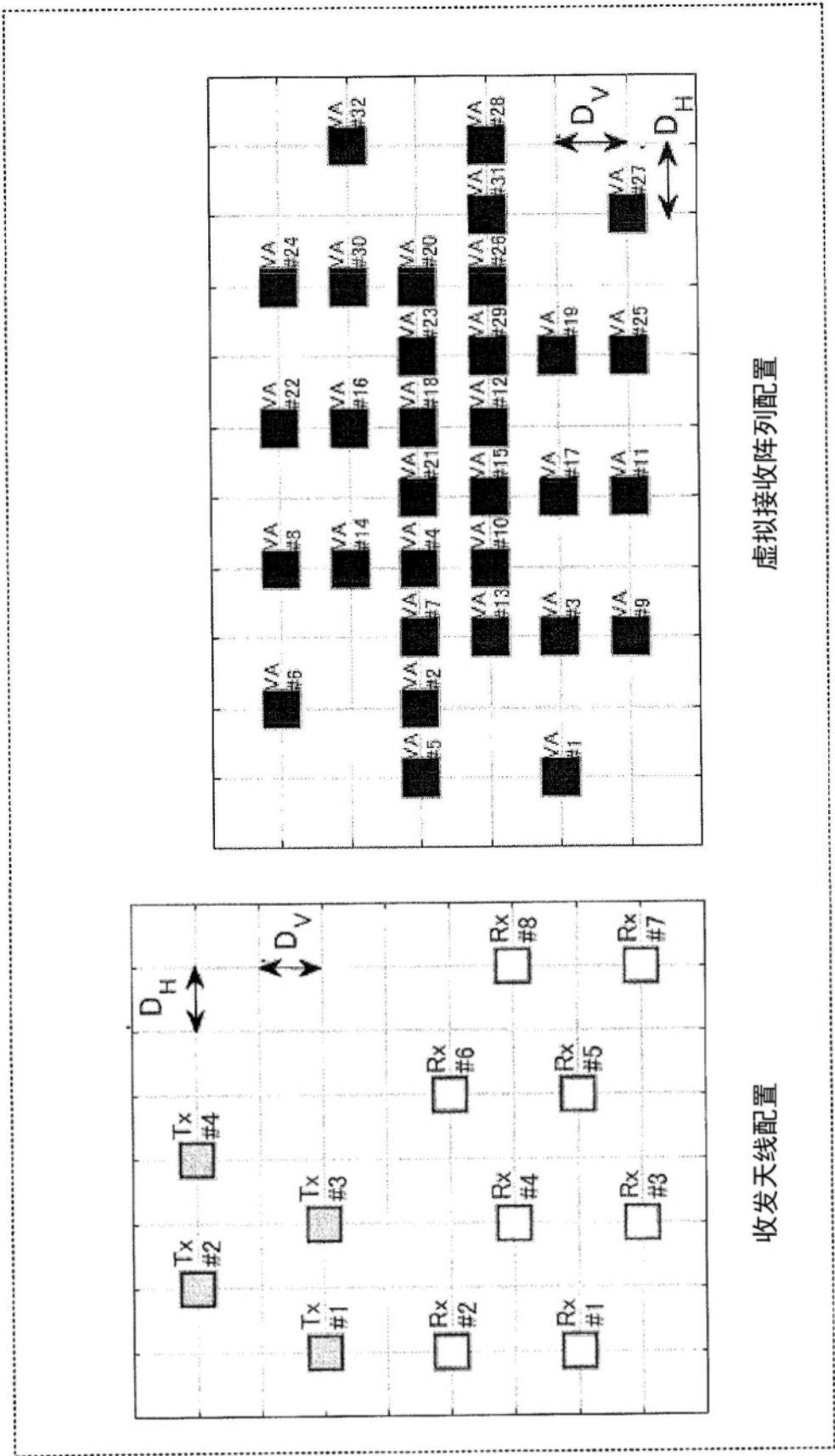


图65

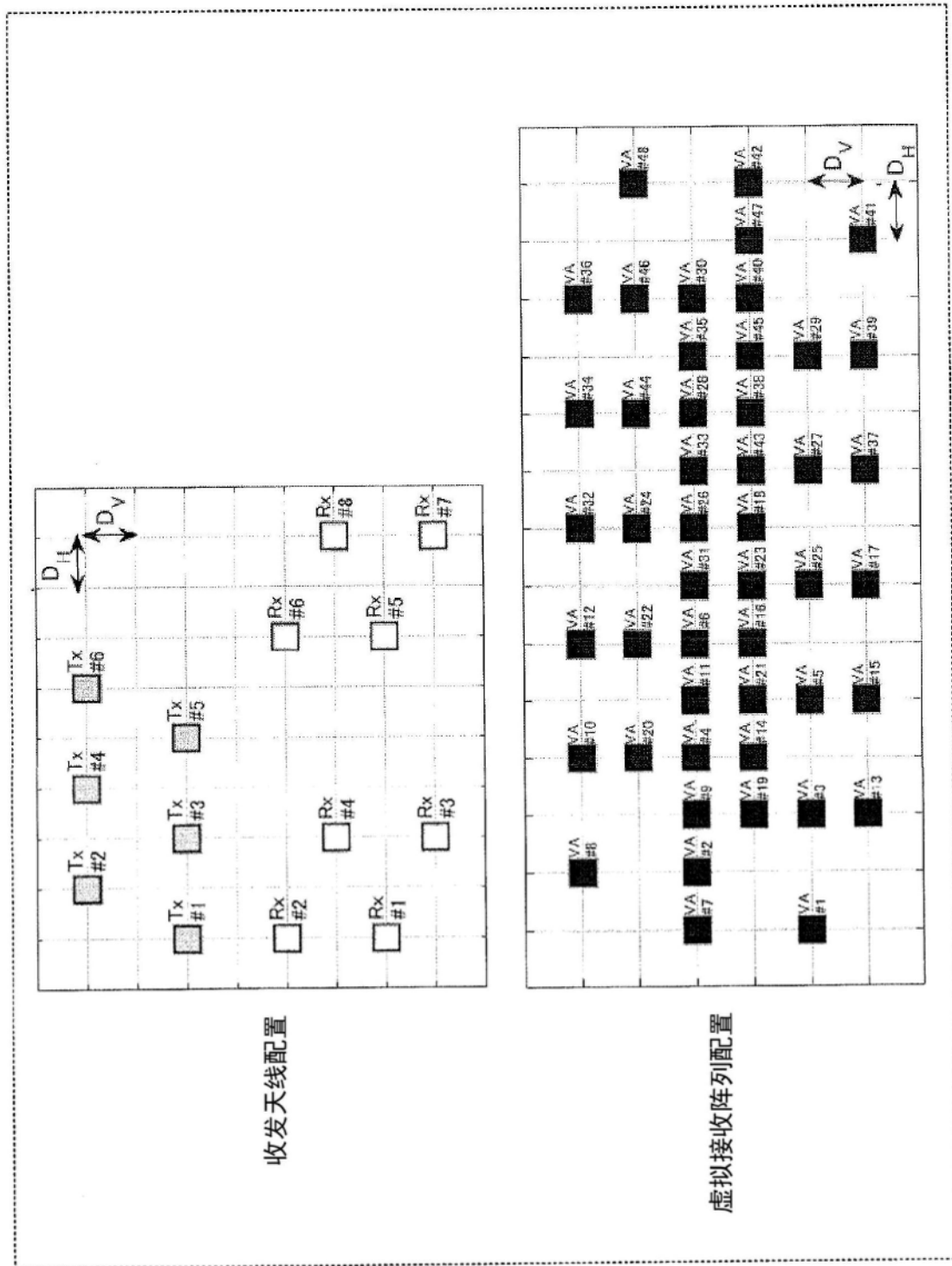


图66

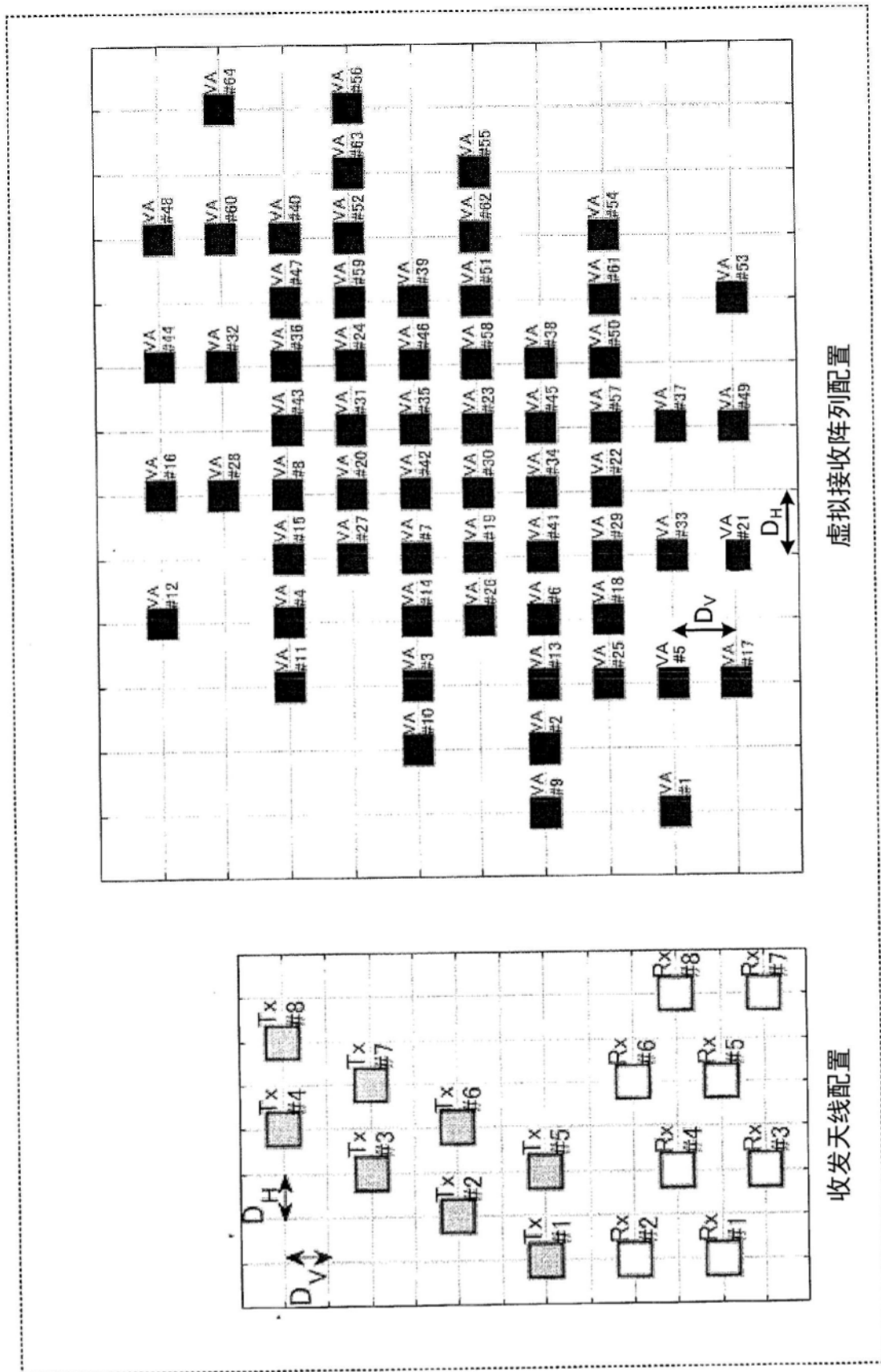


图67

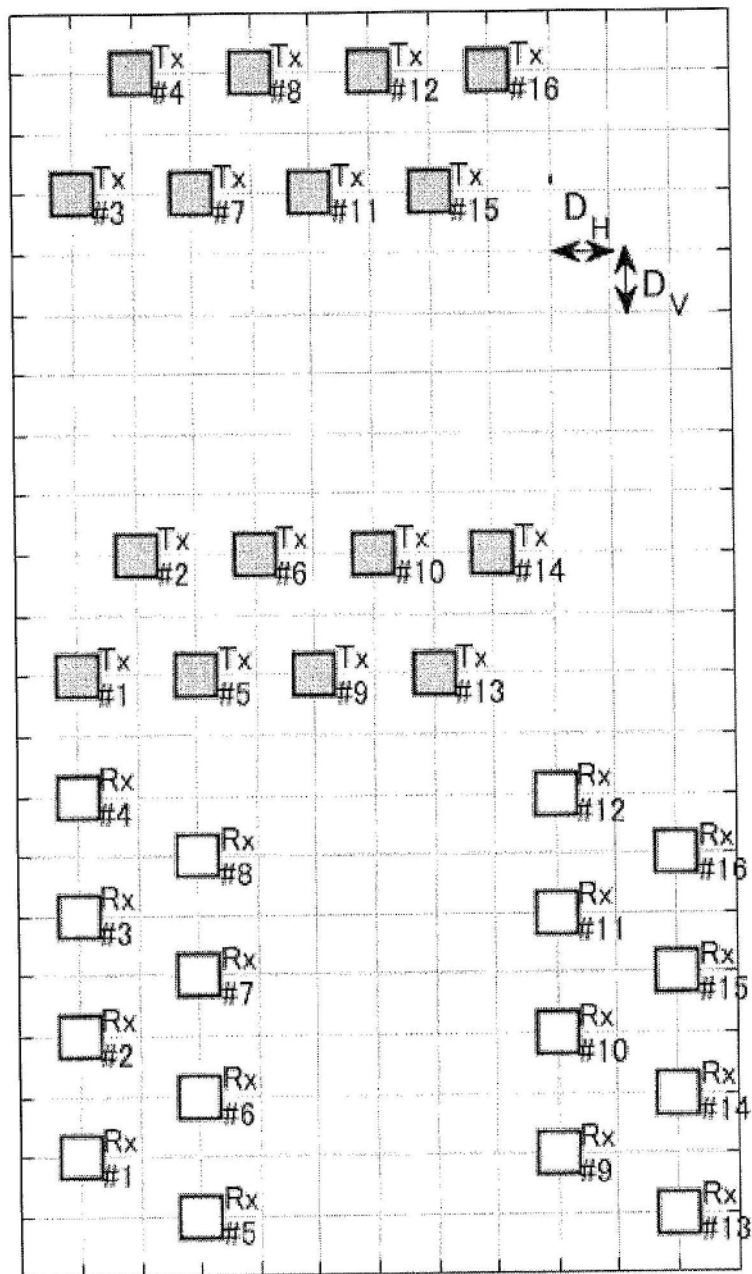


图68A

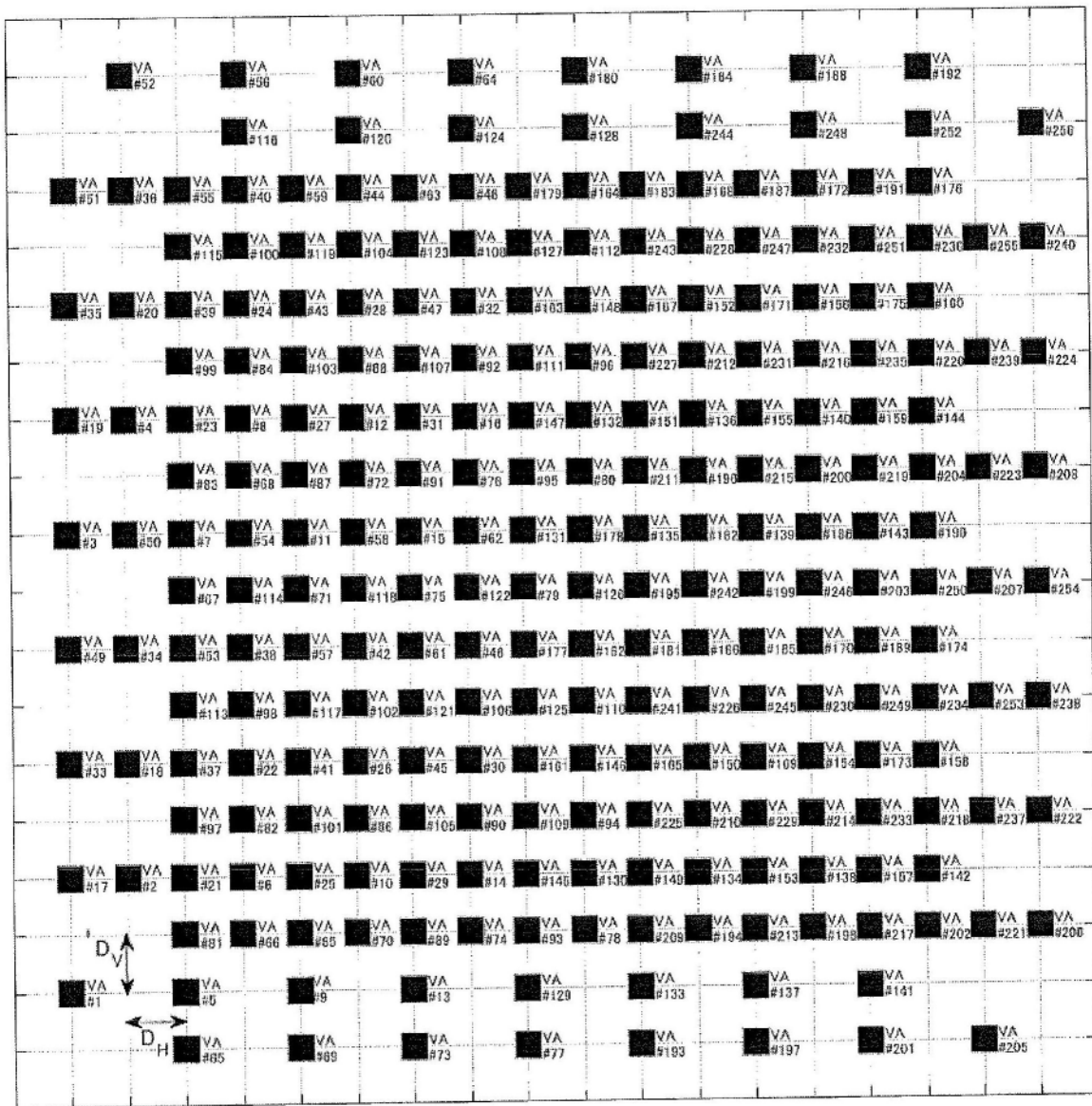


图68B

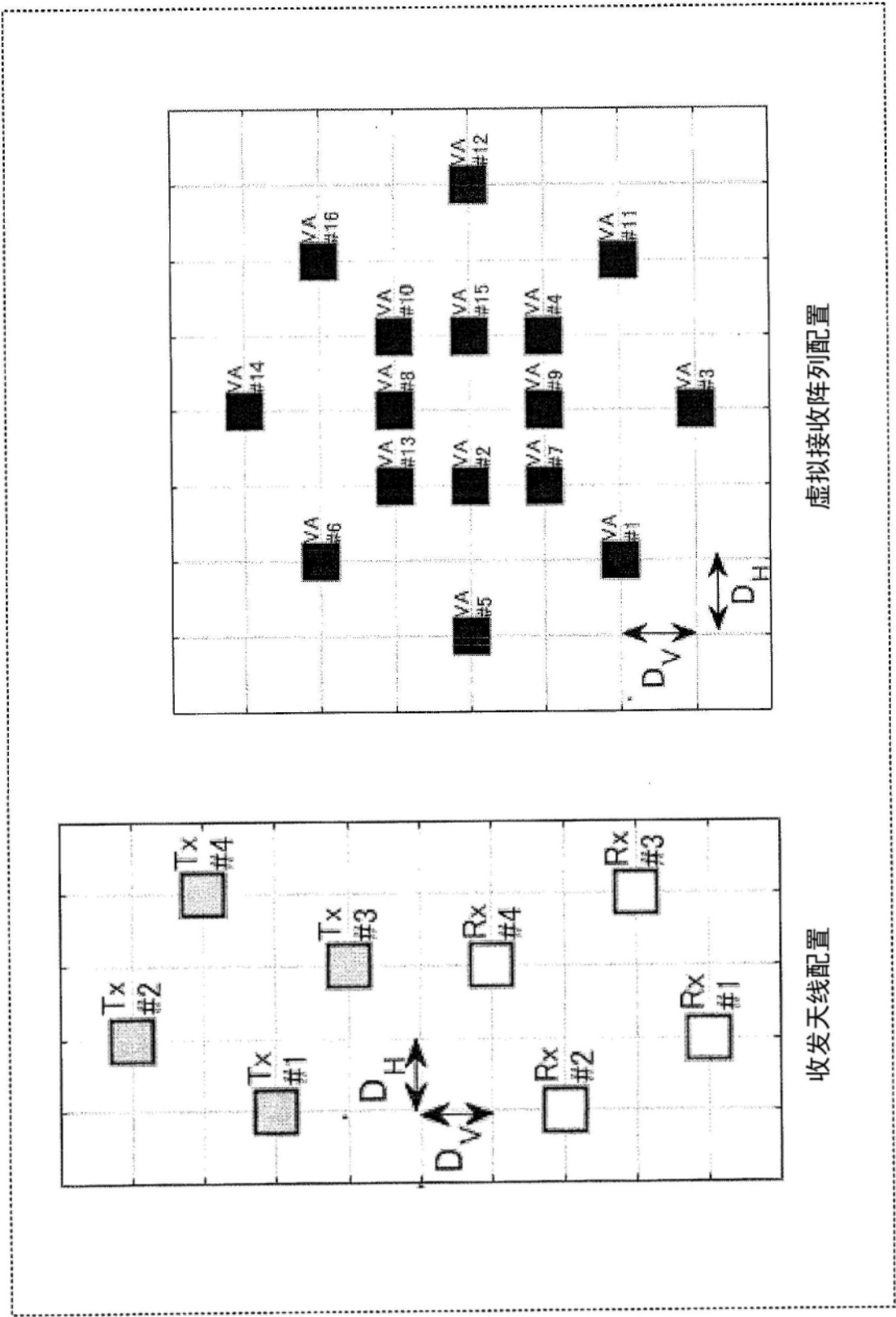


图69

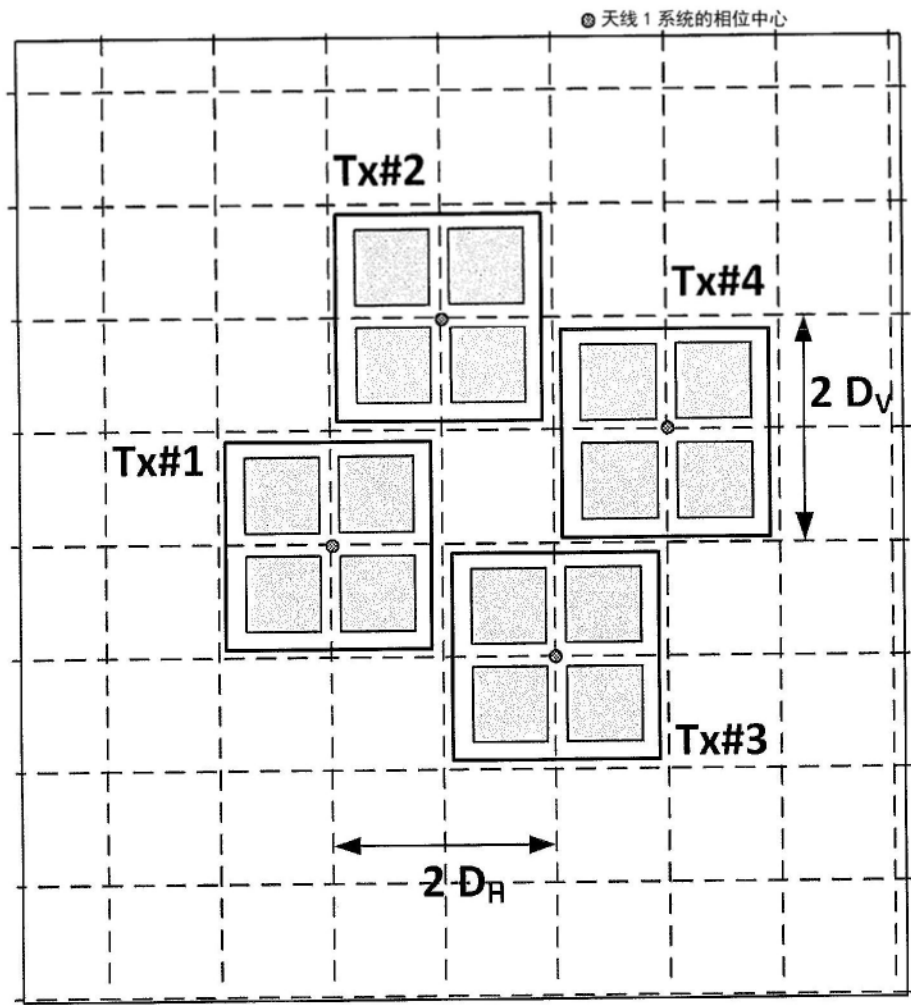


图70A

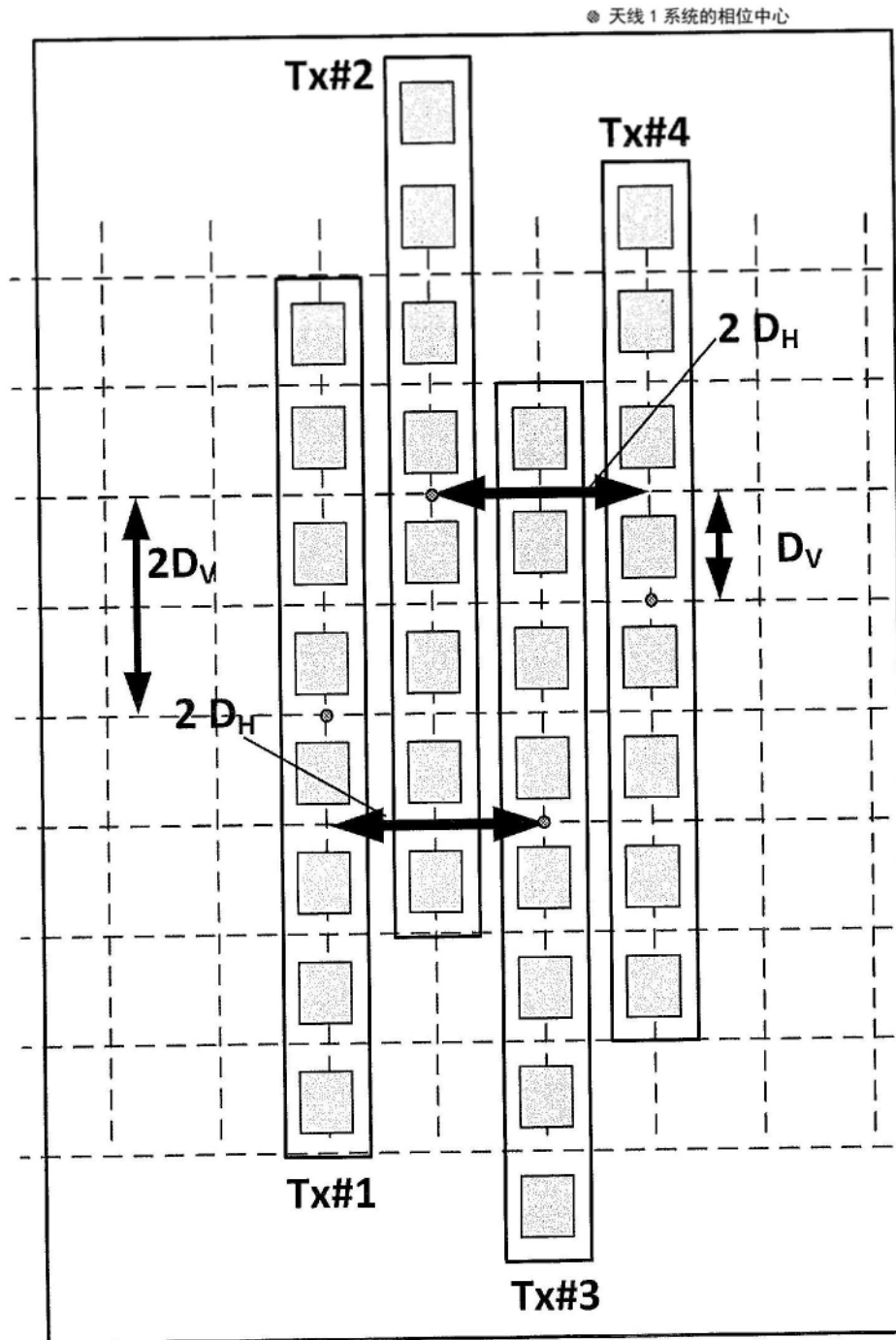


图70B

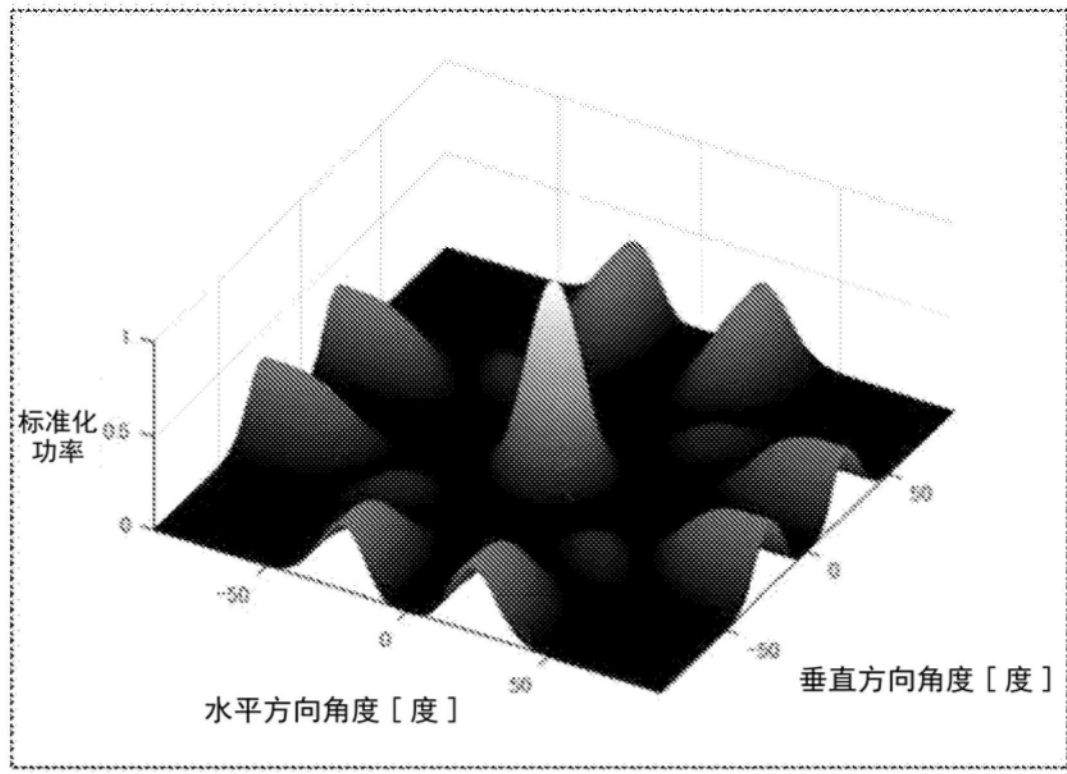


图71

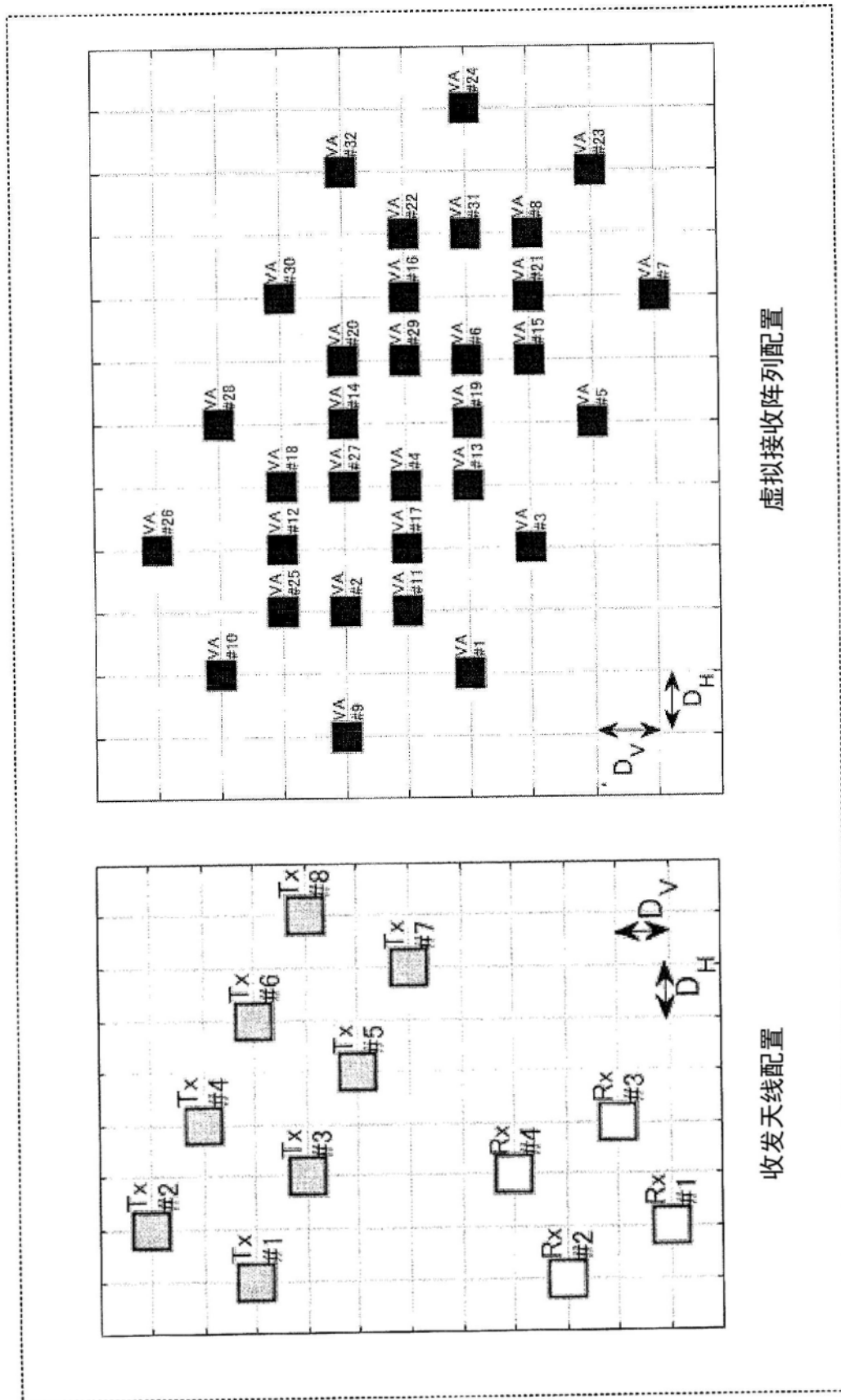


图72

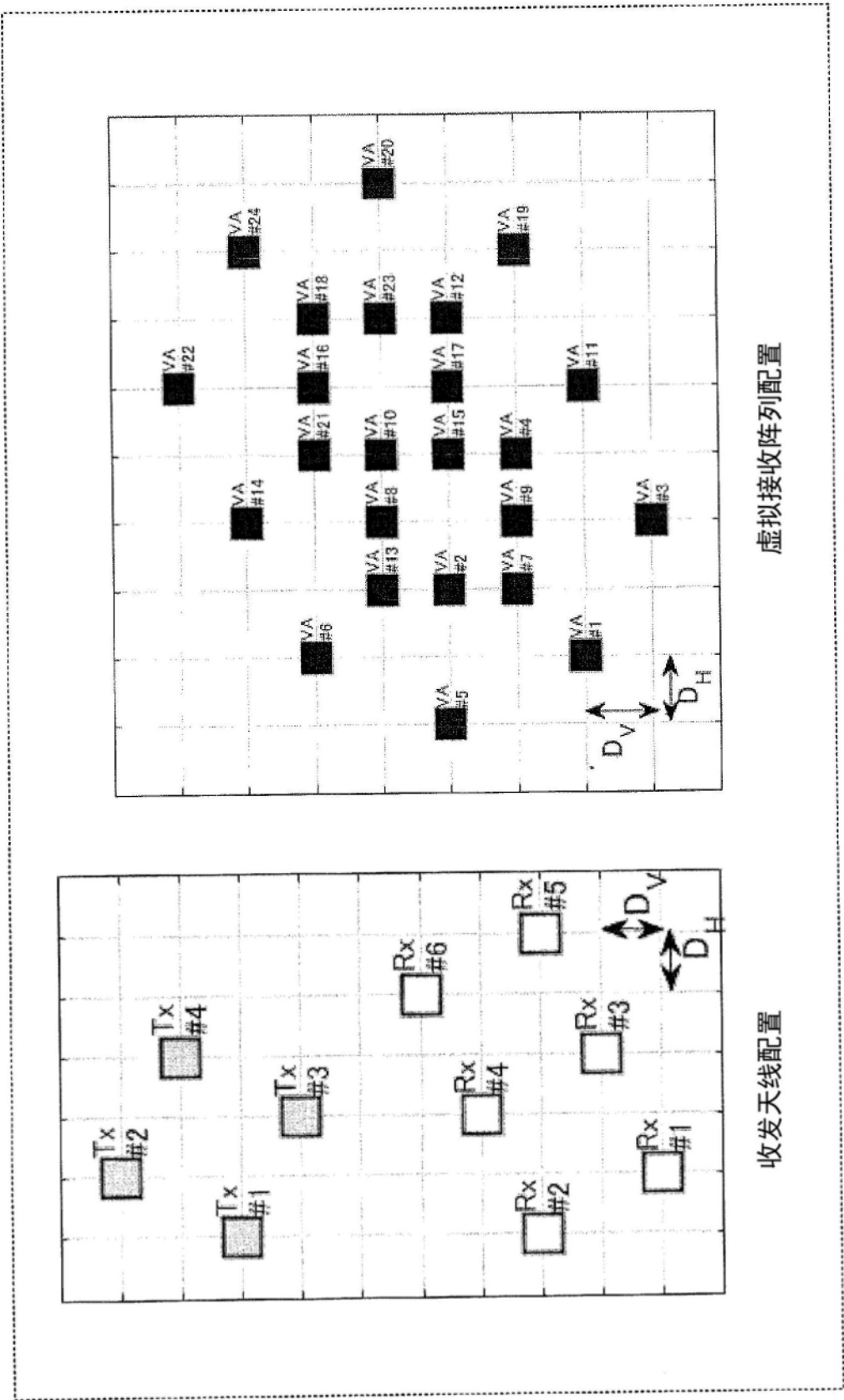


图73

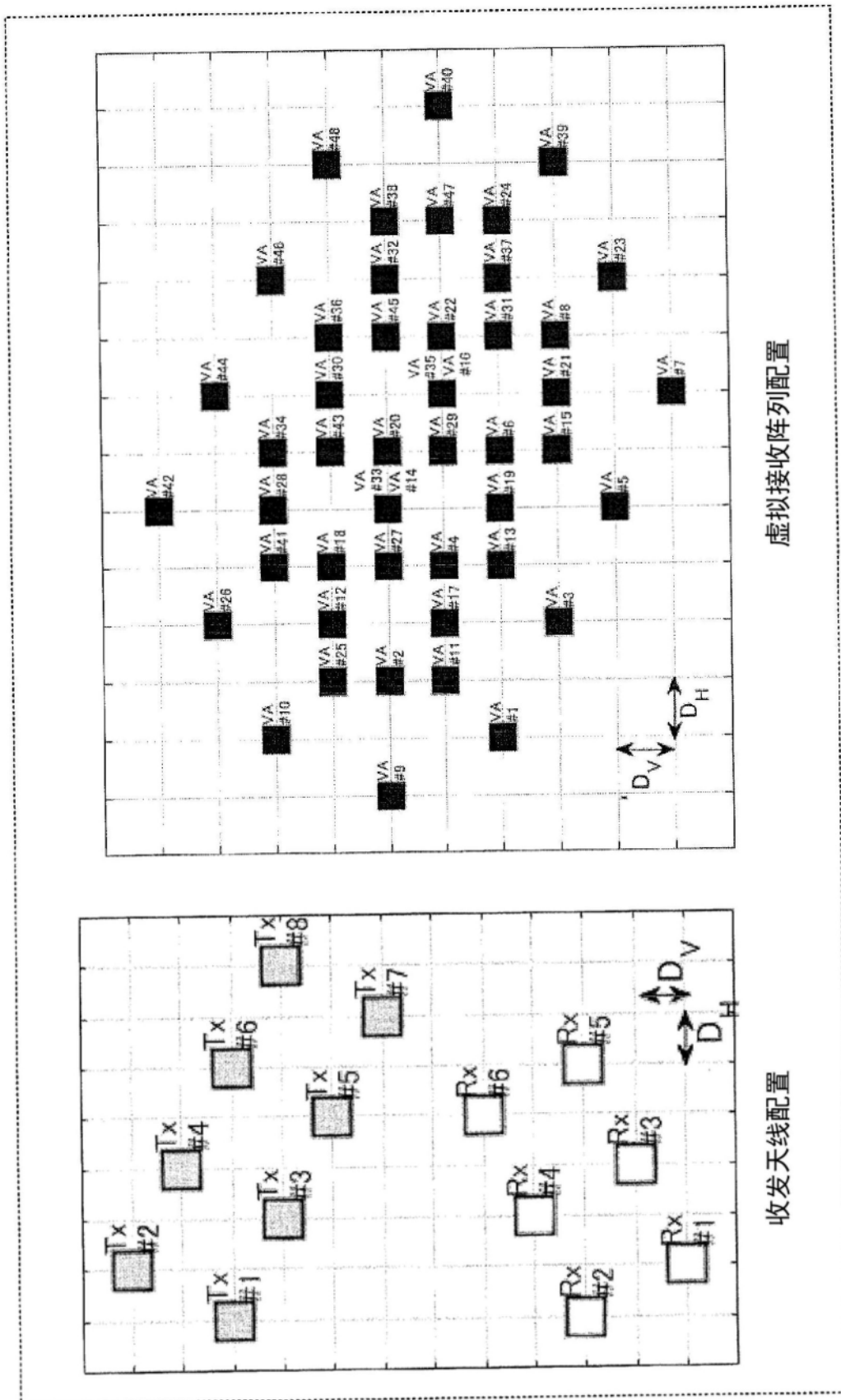


图74

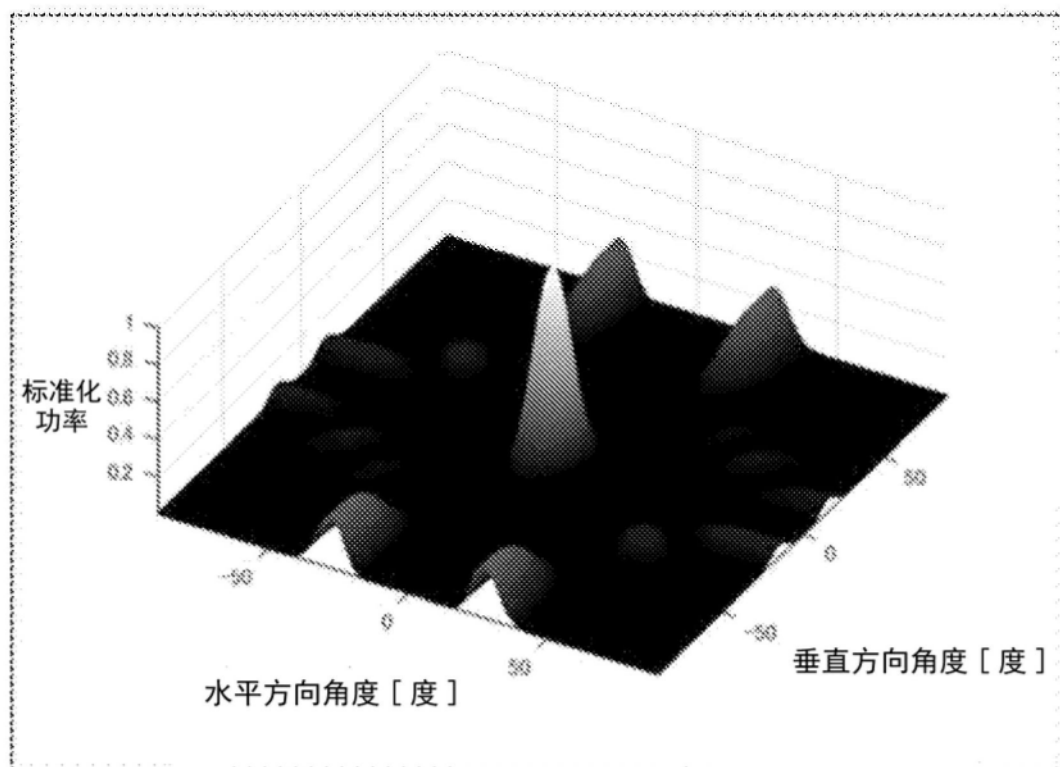


图75

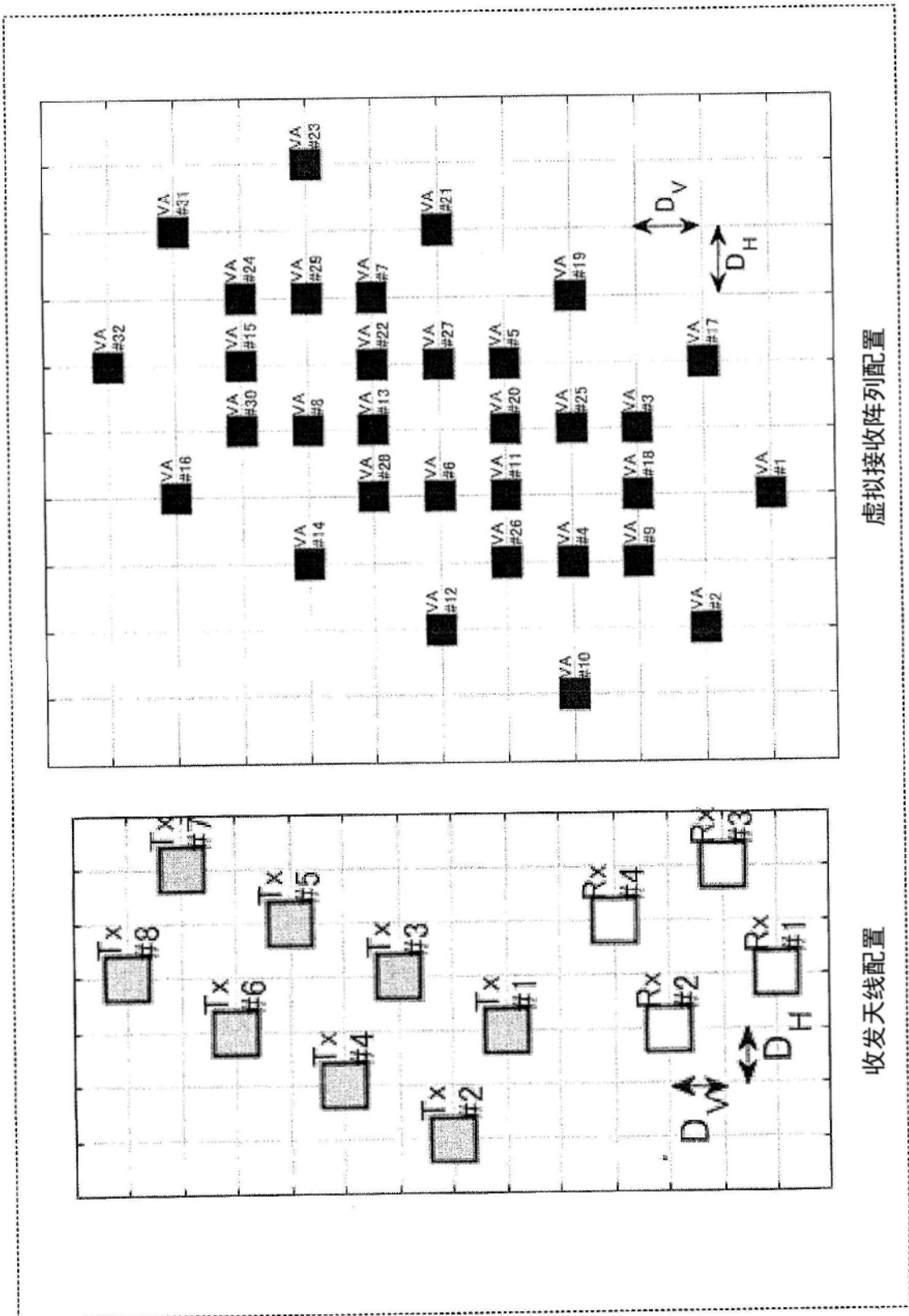


图76

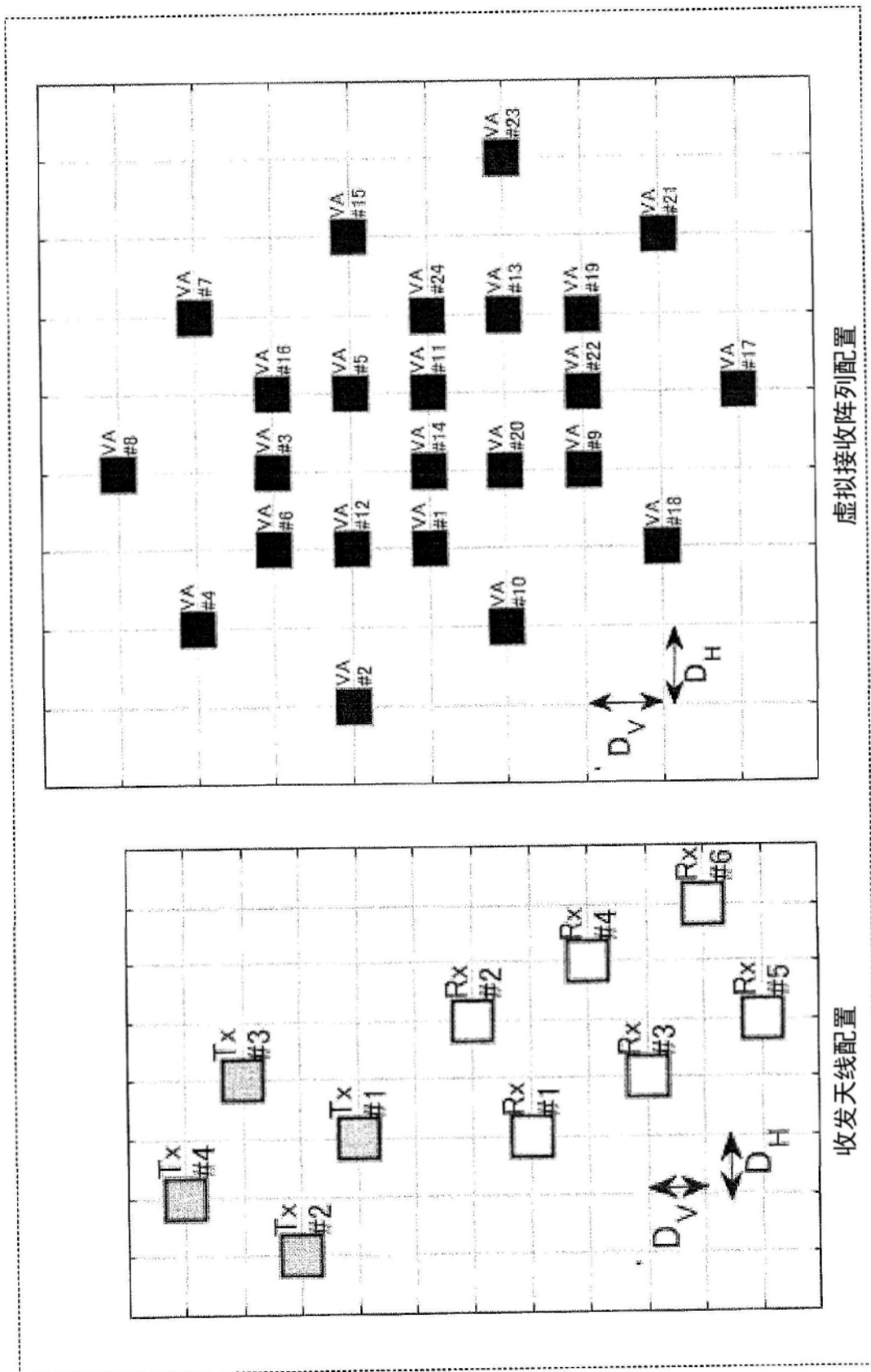


图77

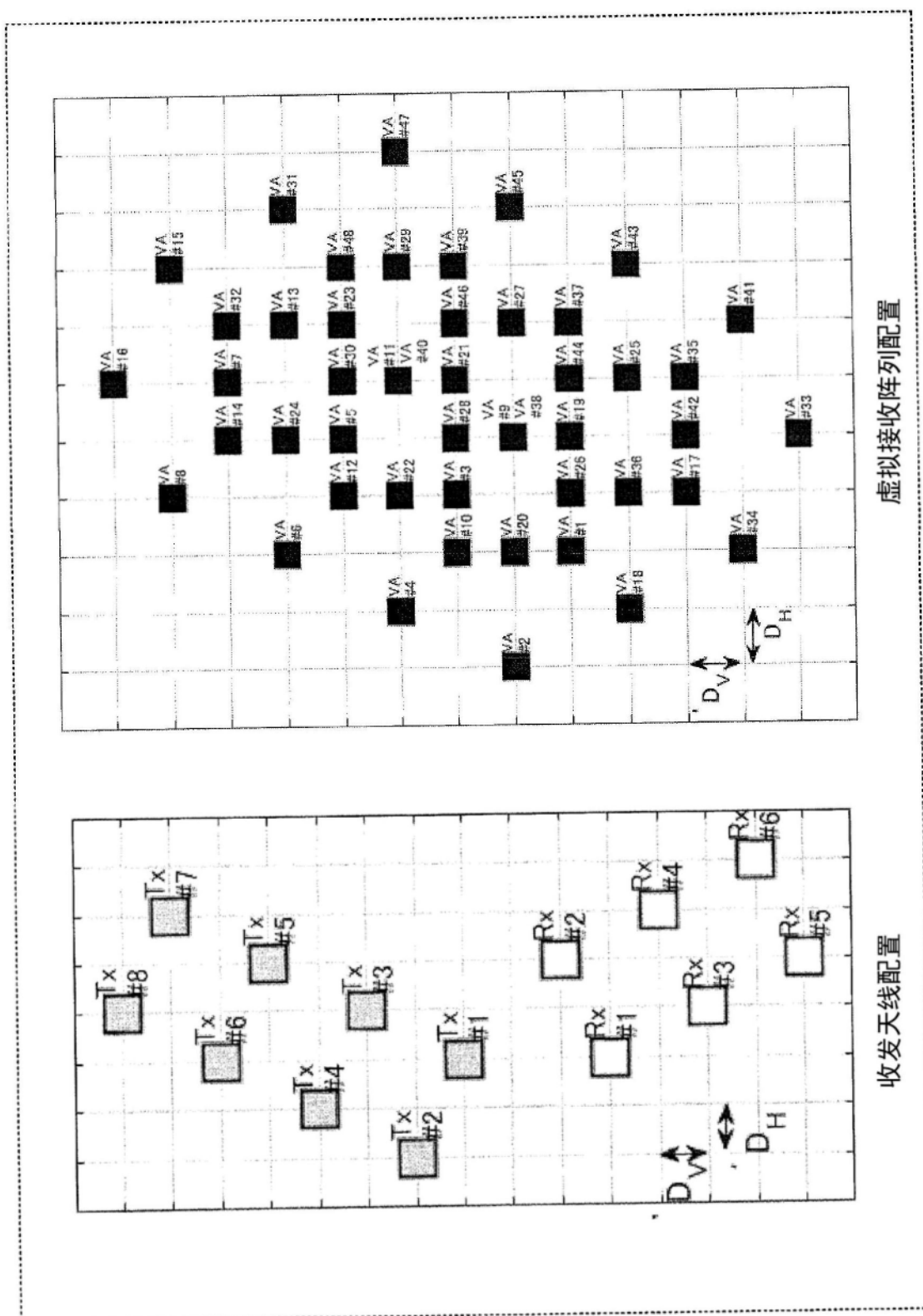


图78

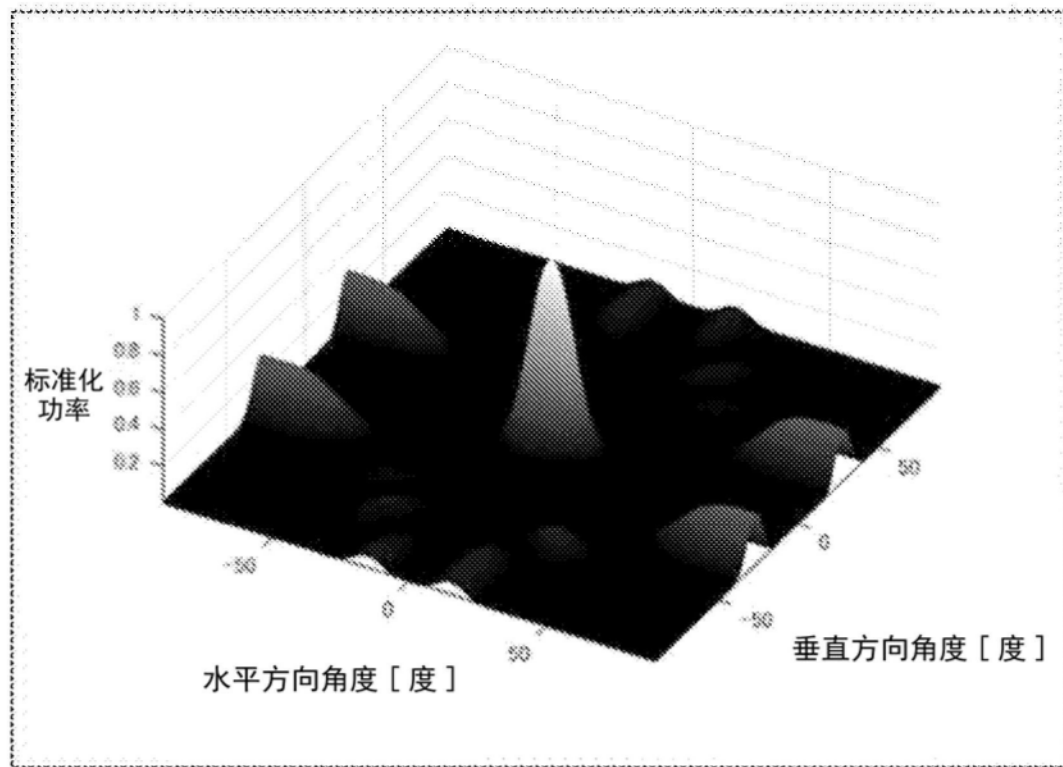


图79

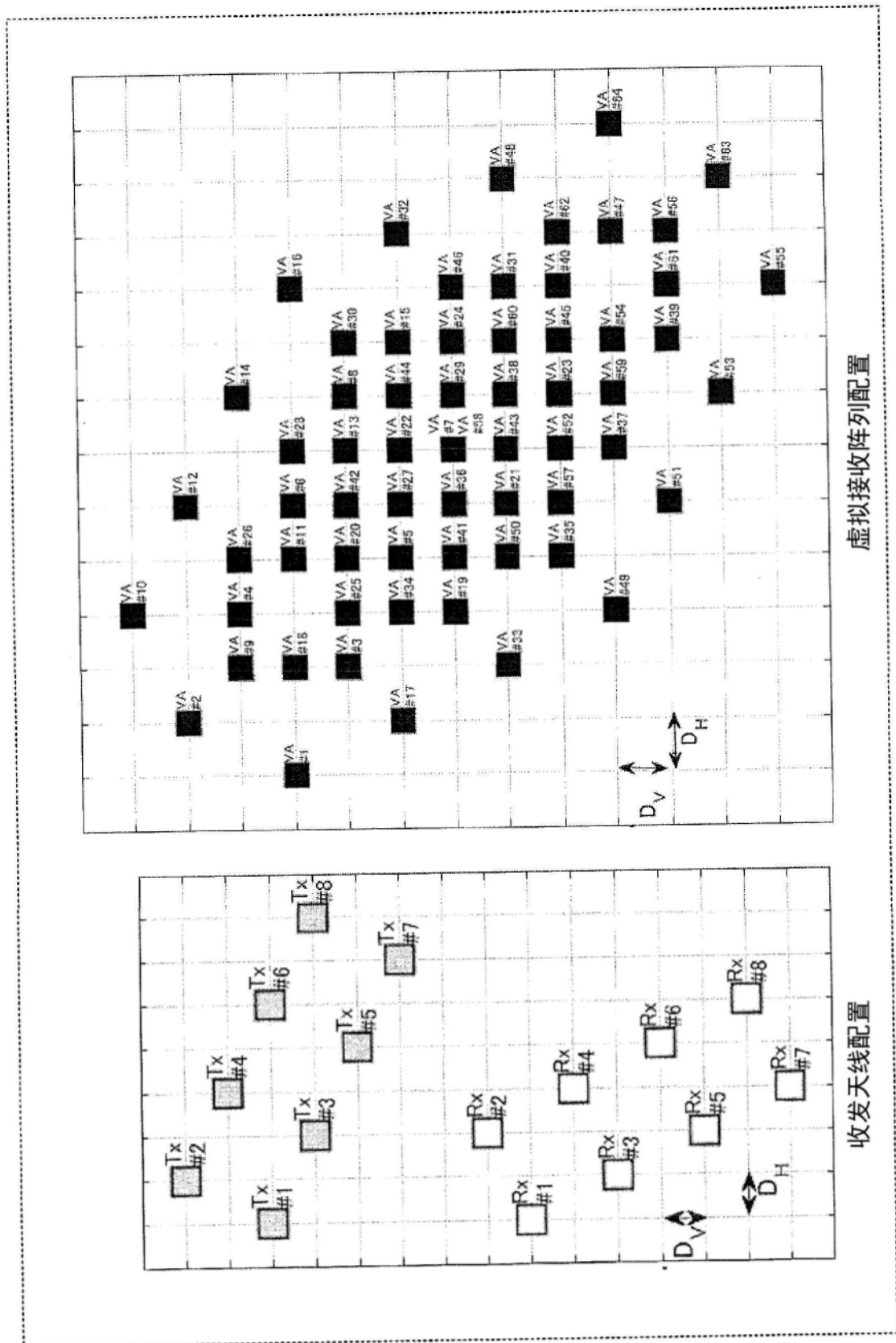


图80

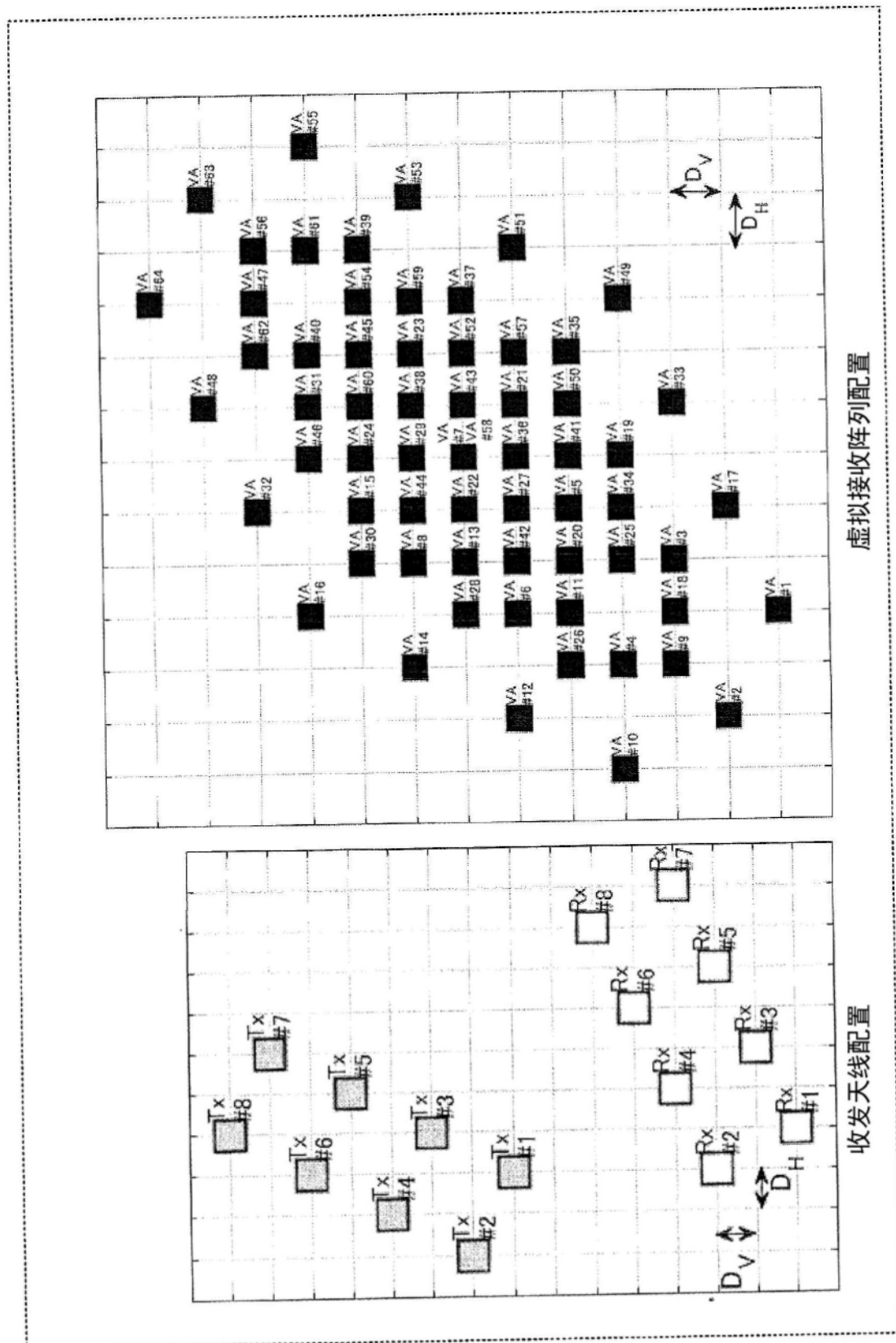


图81

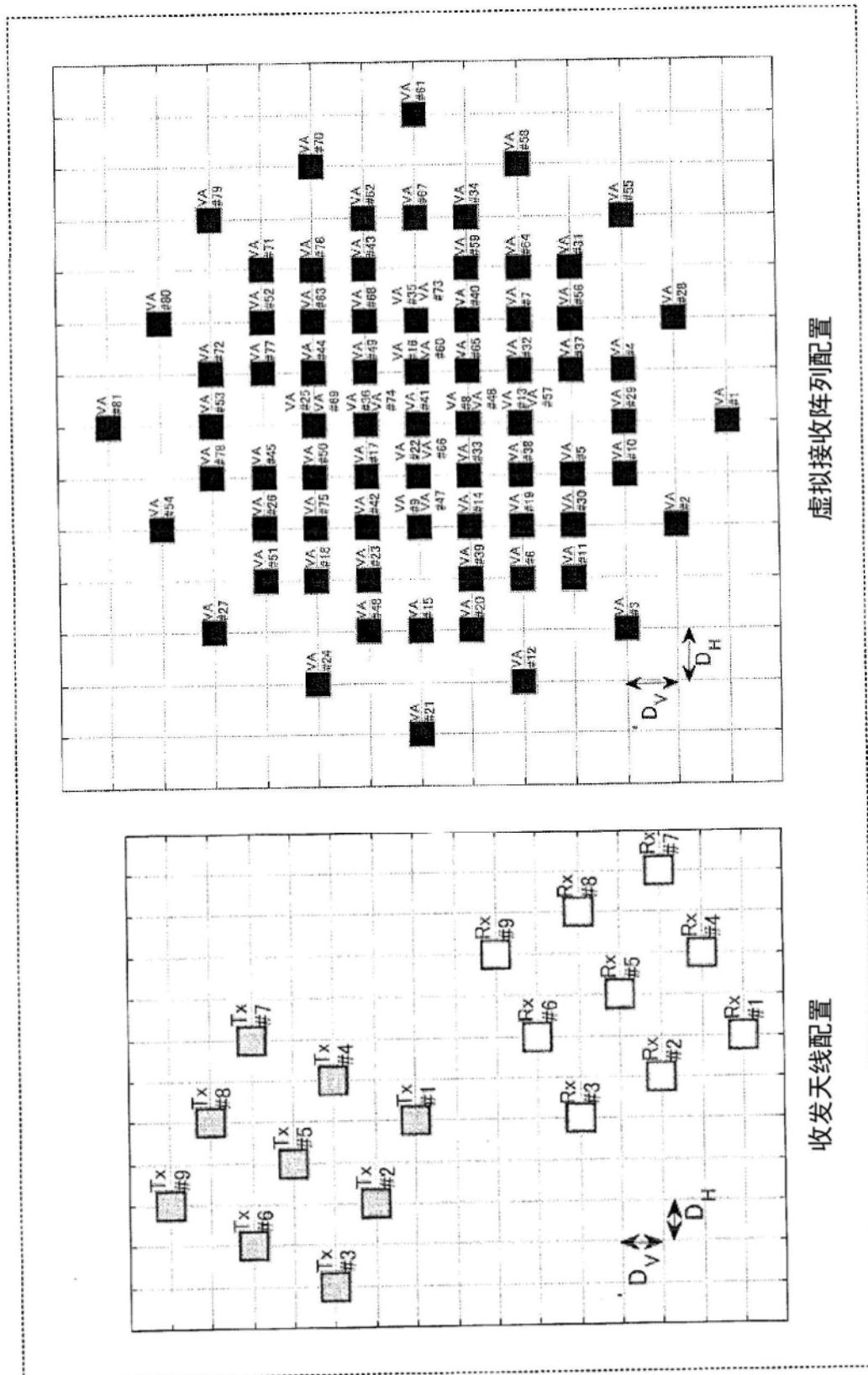


图82

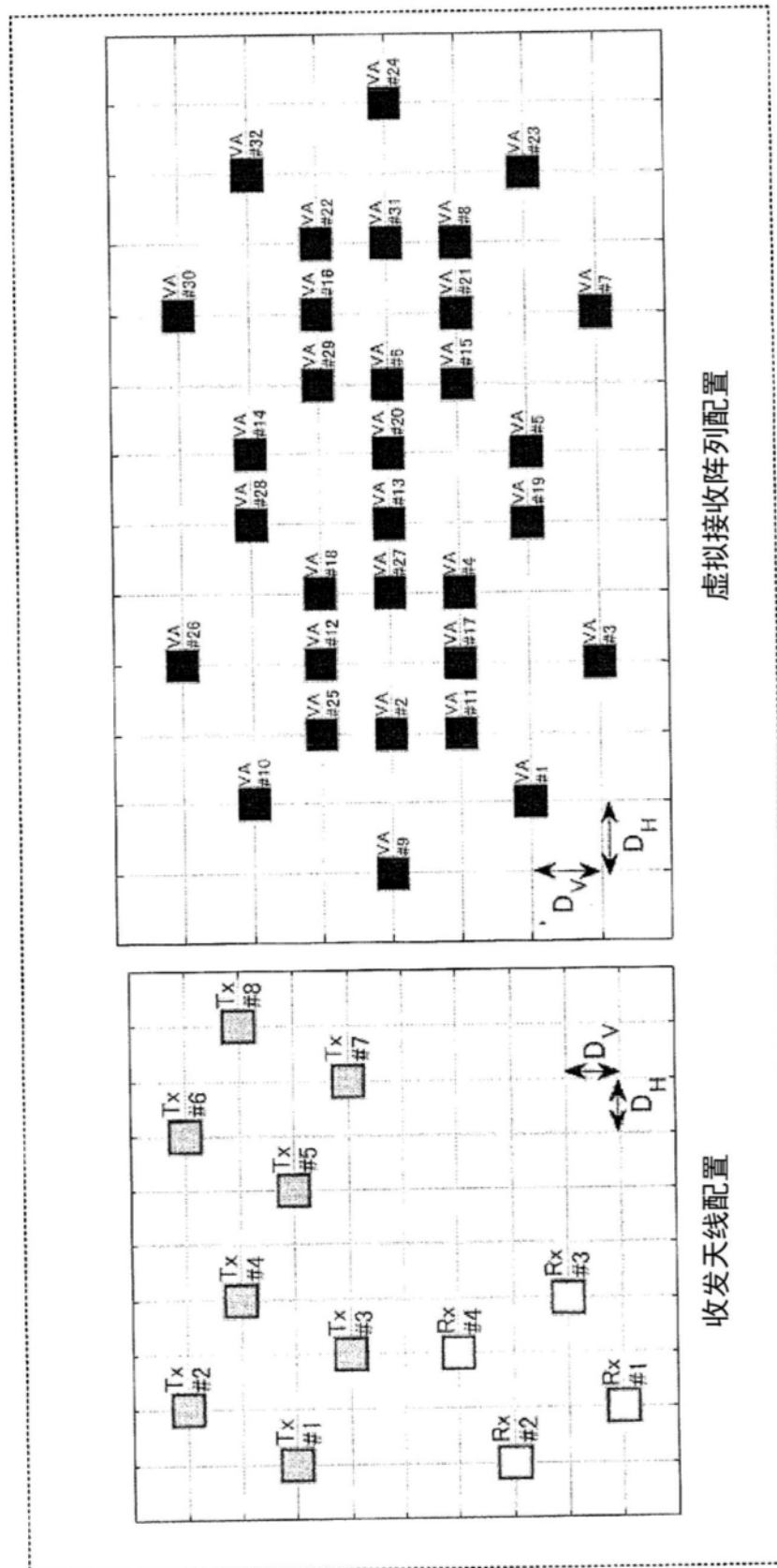


图83

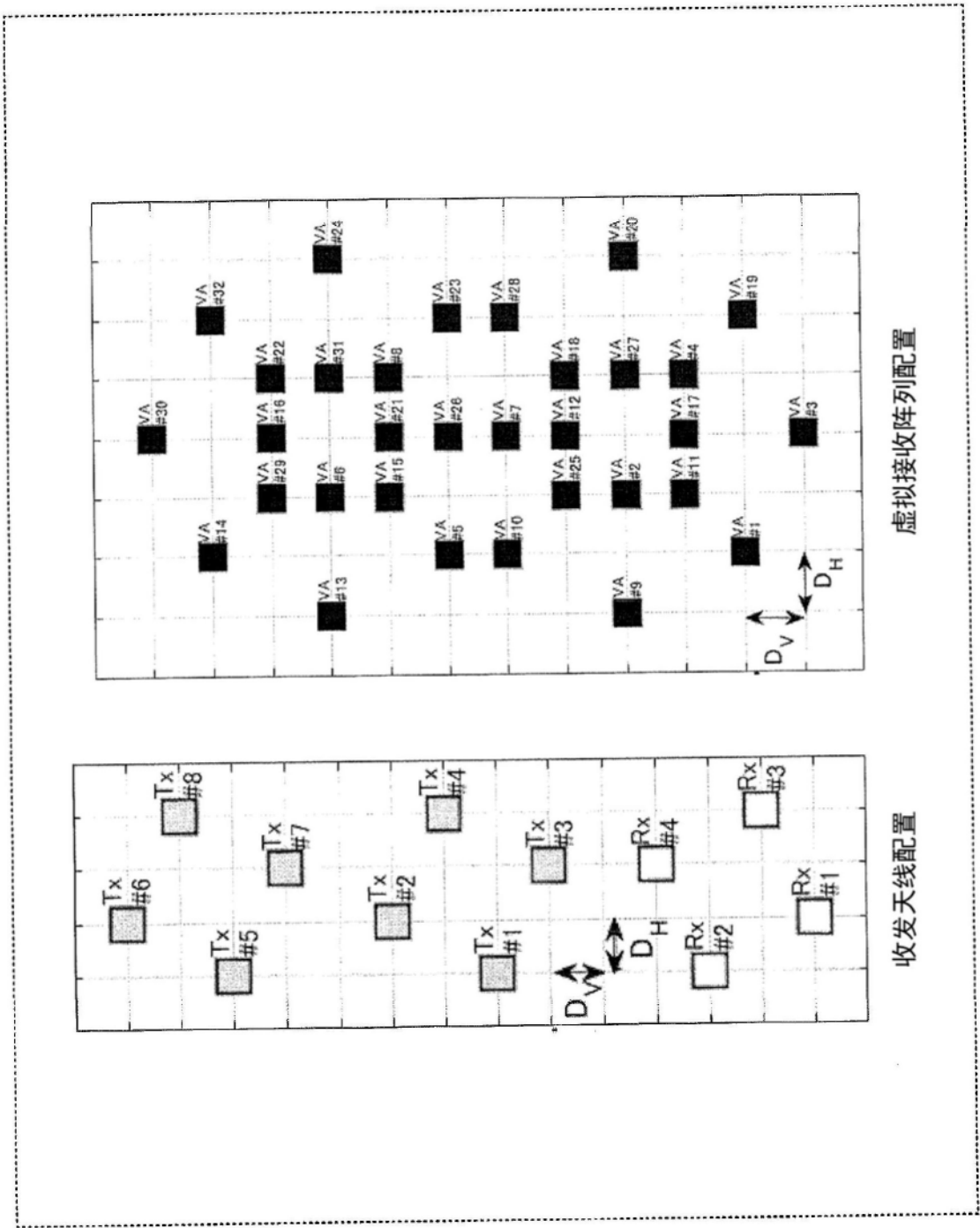


图84

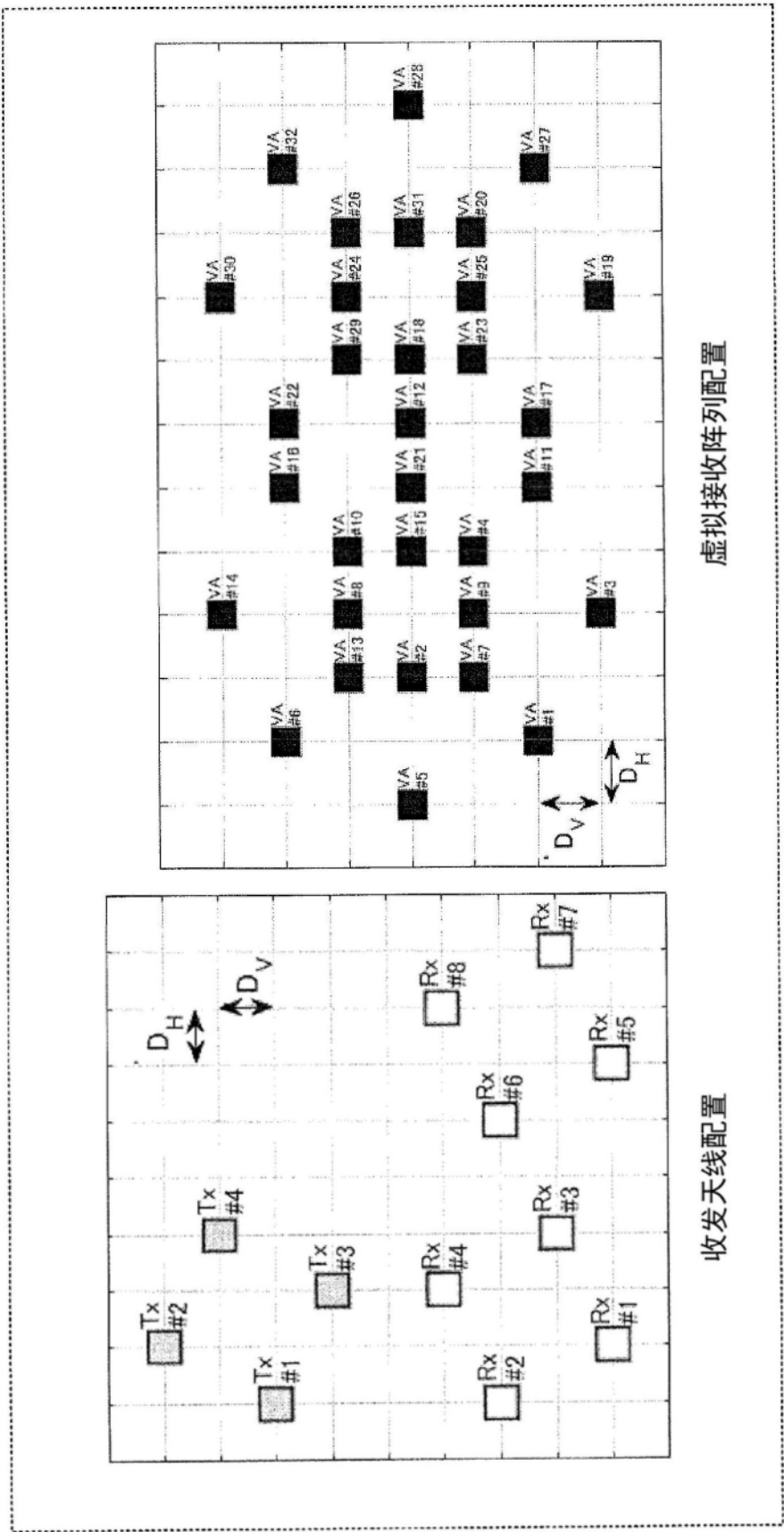


图85

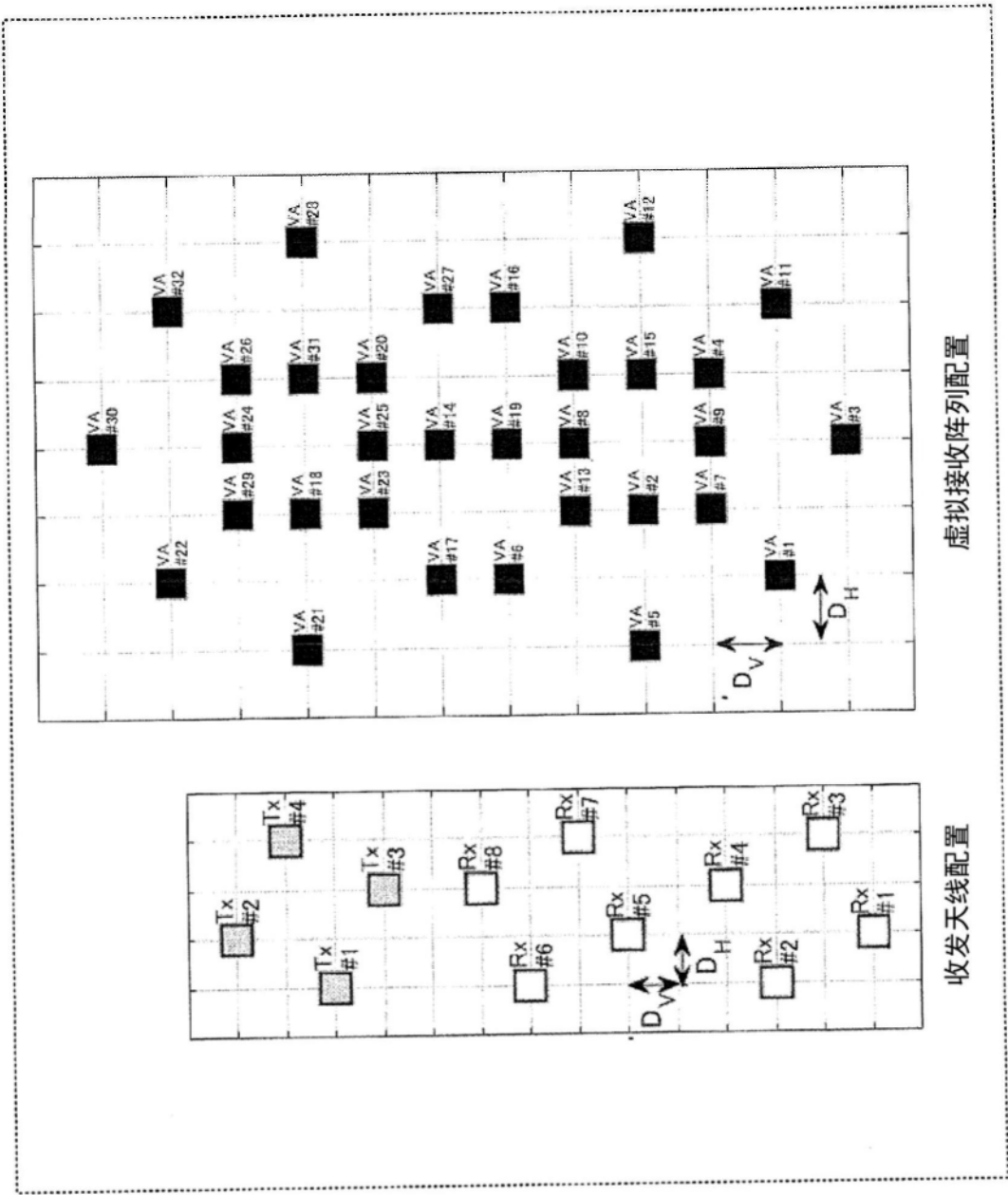


图86

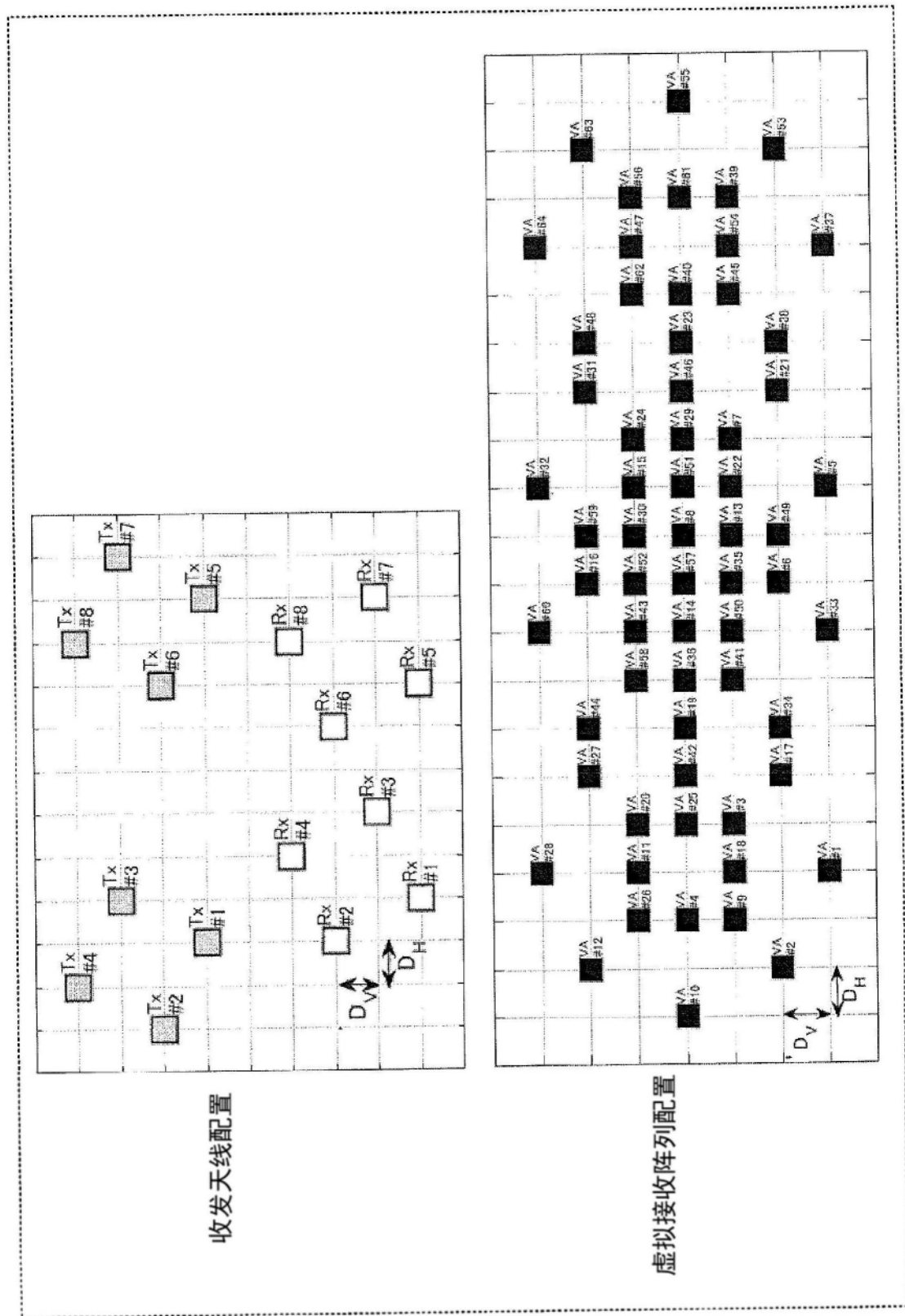


图87

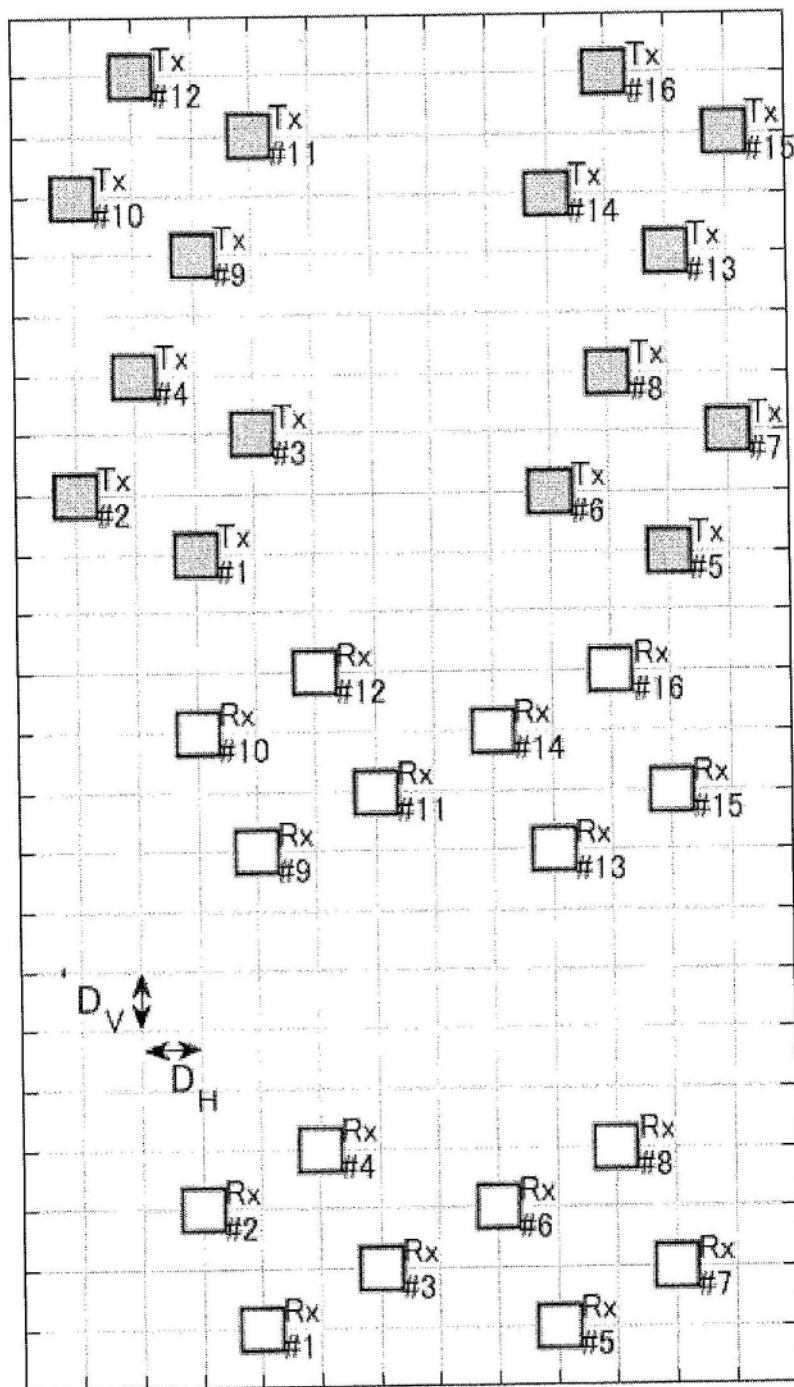


图88A

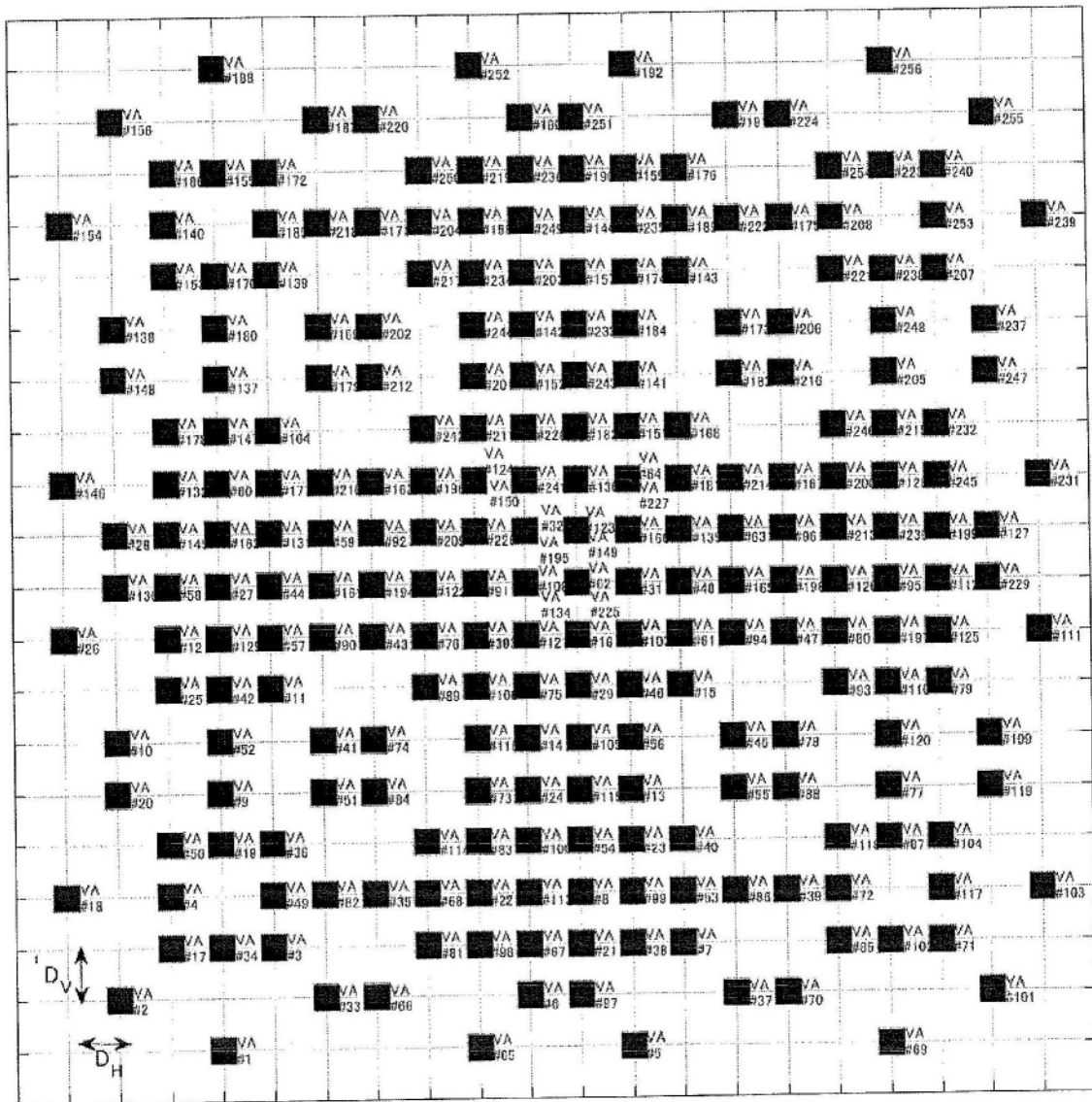


图88B

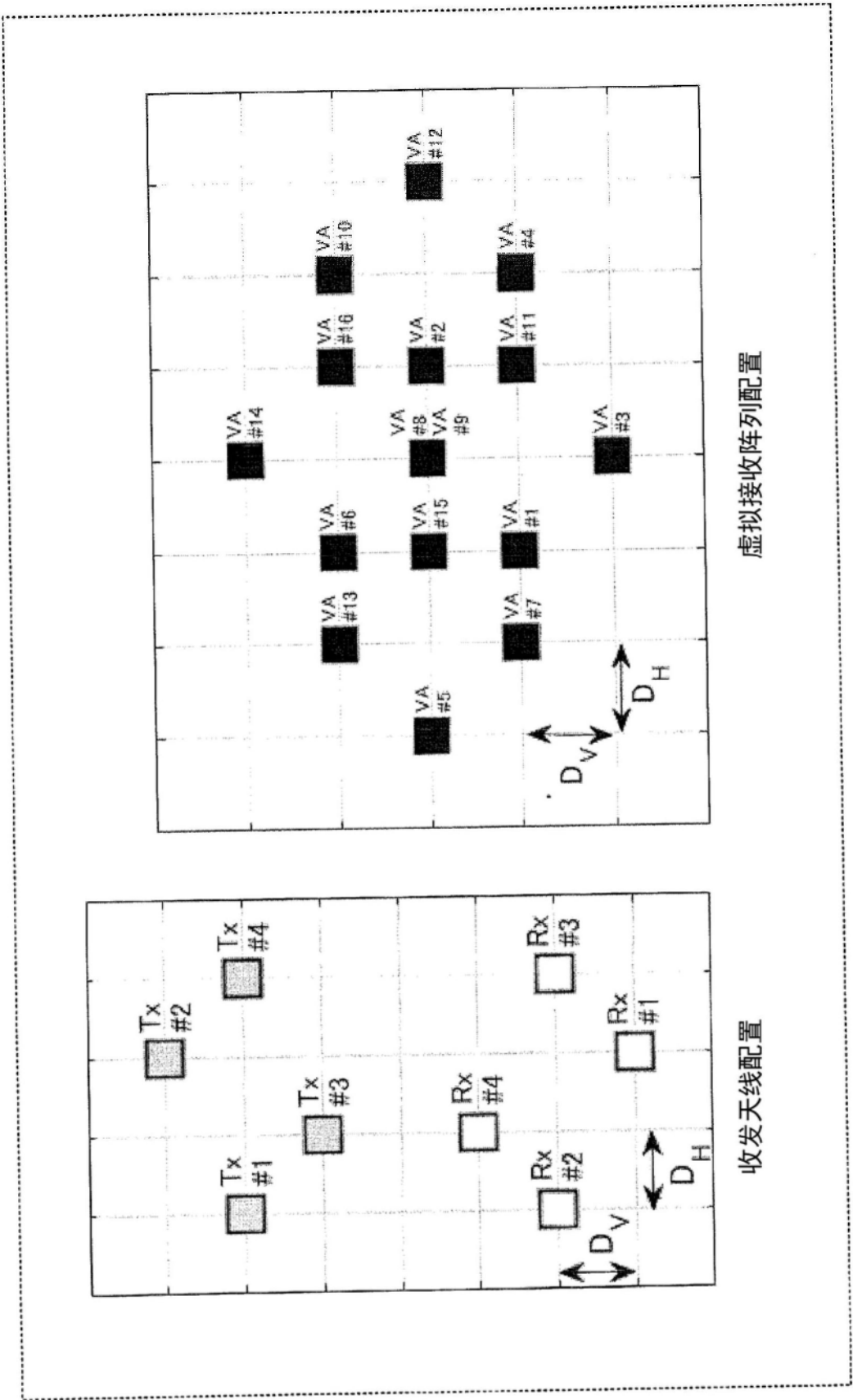


图89

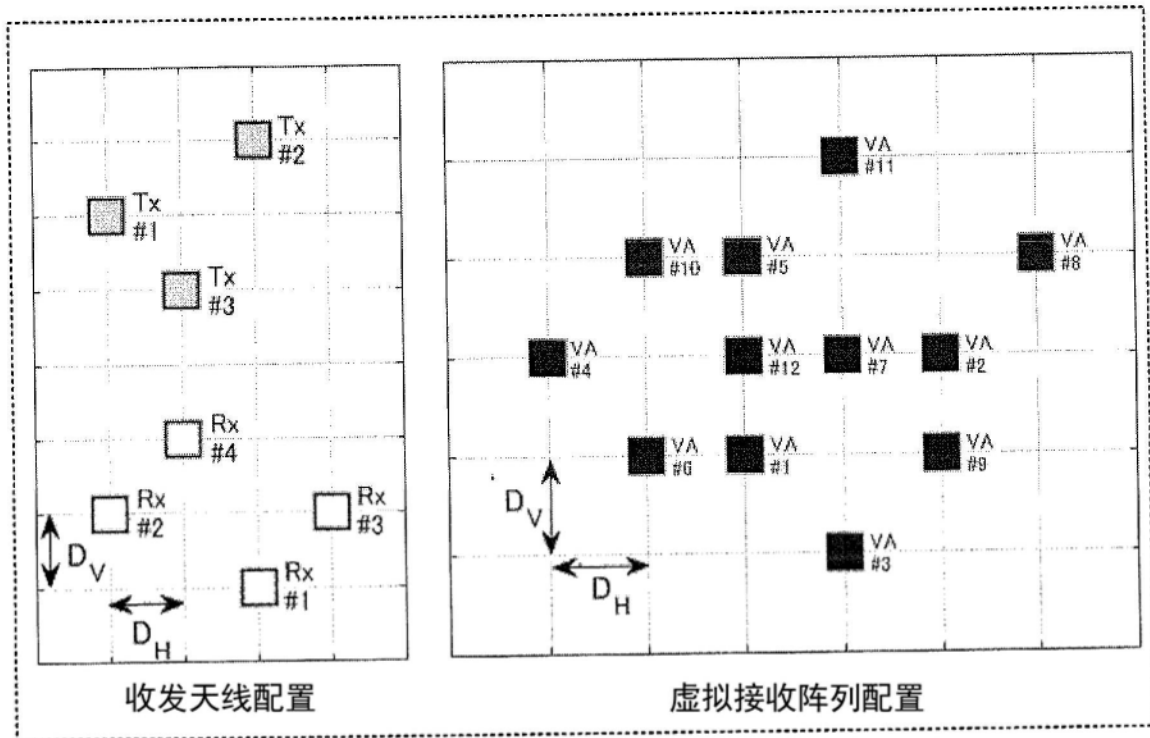


图90A

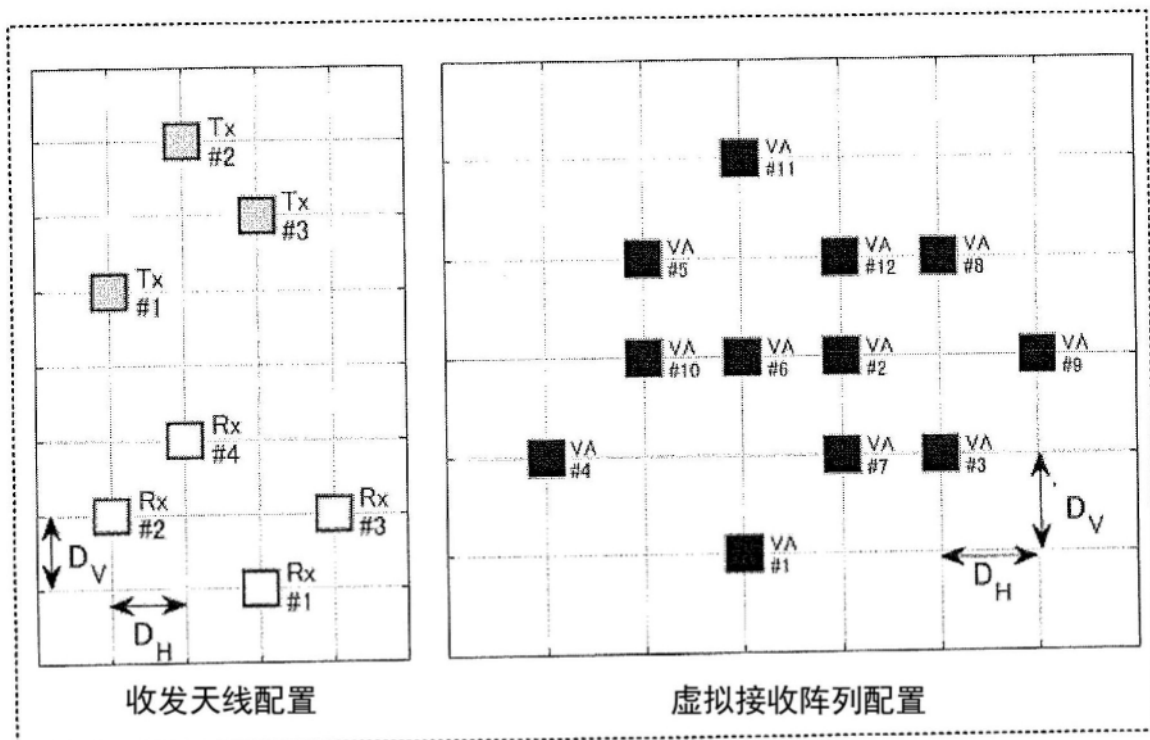


图90B

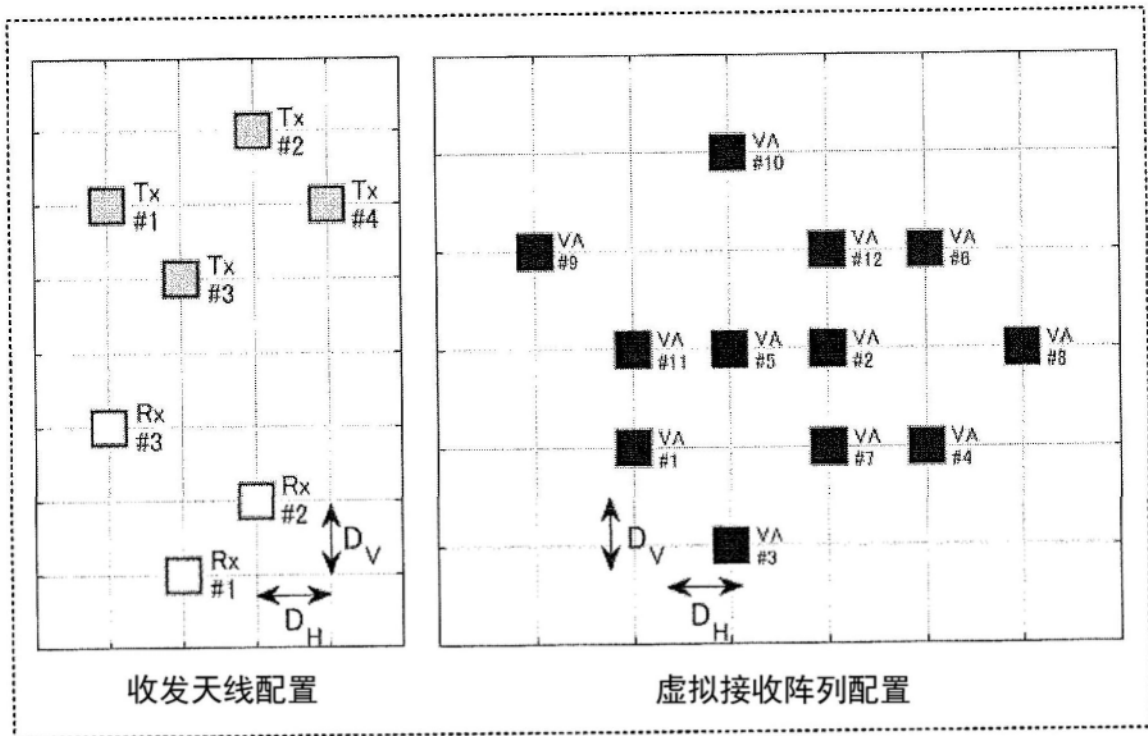


图91A

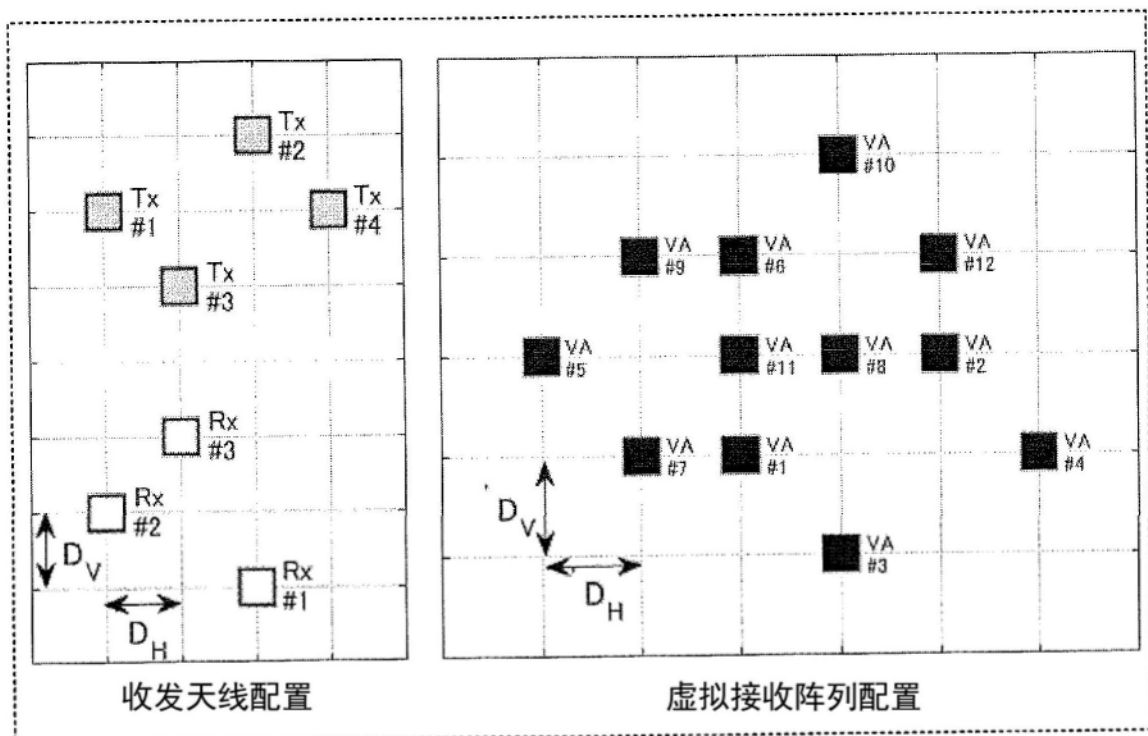


图91B

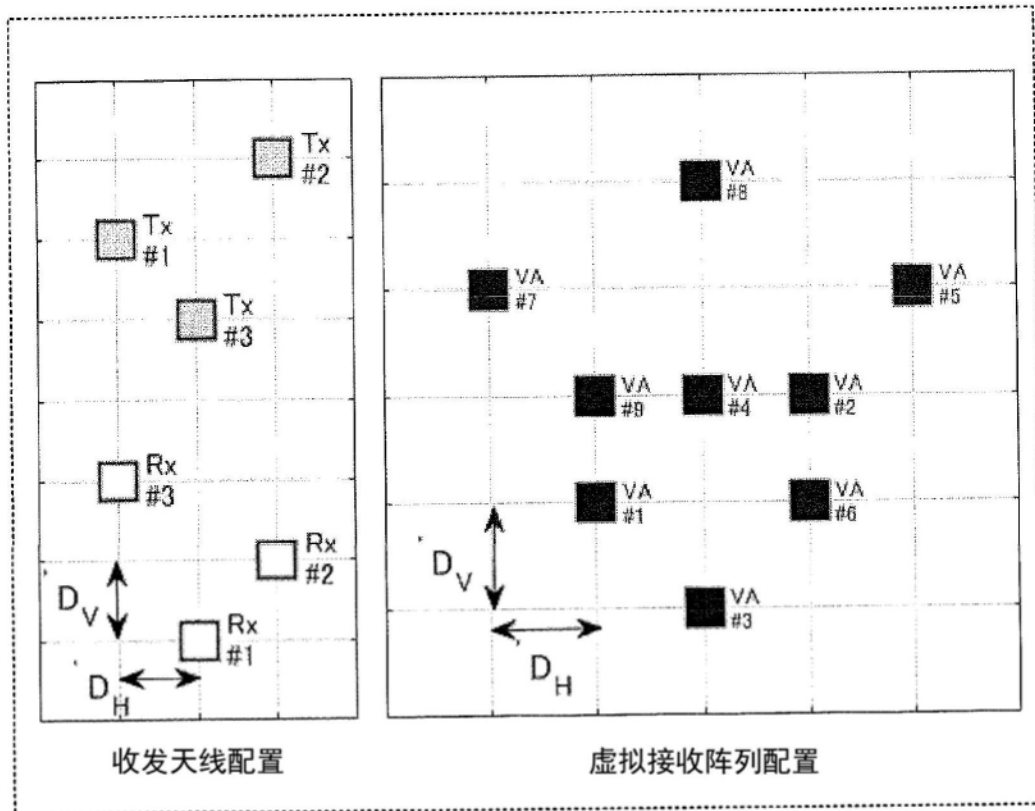


图92A

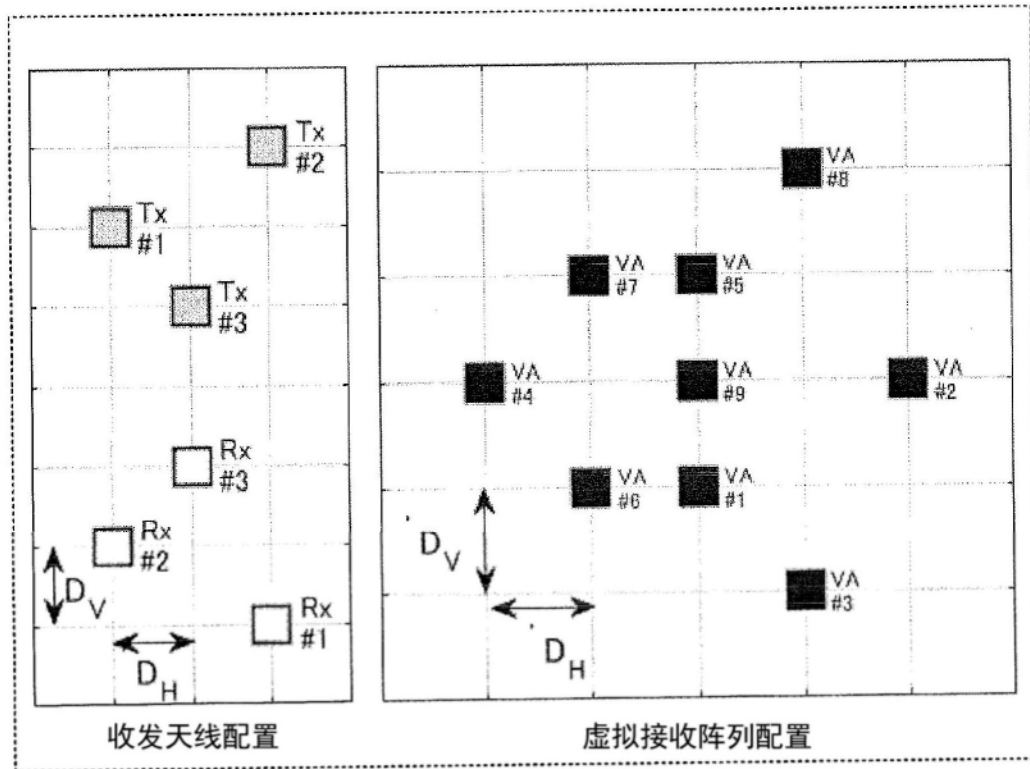


图92B

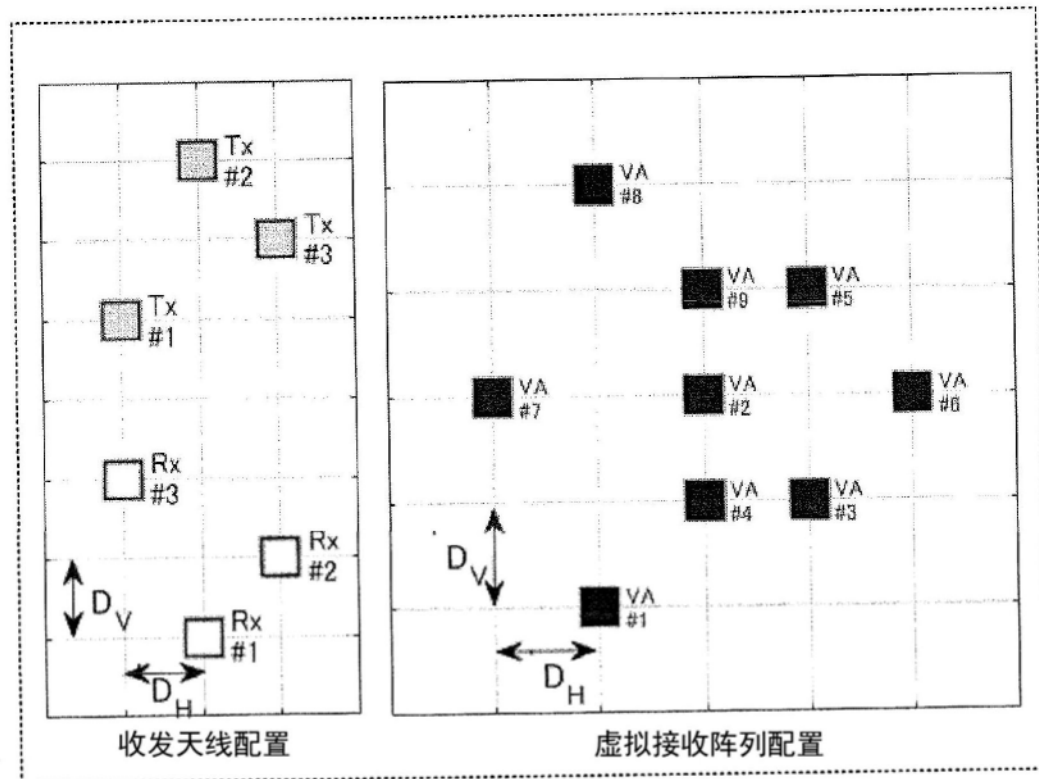


图92C

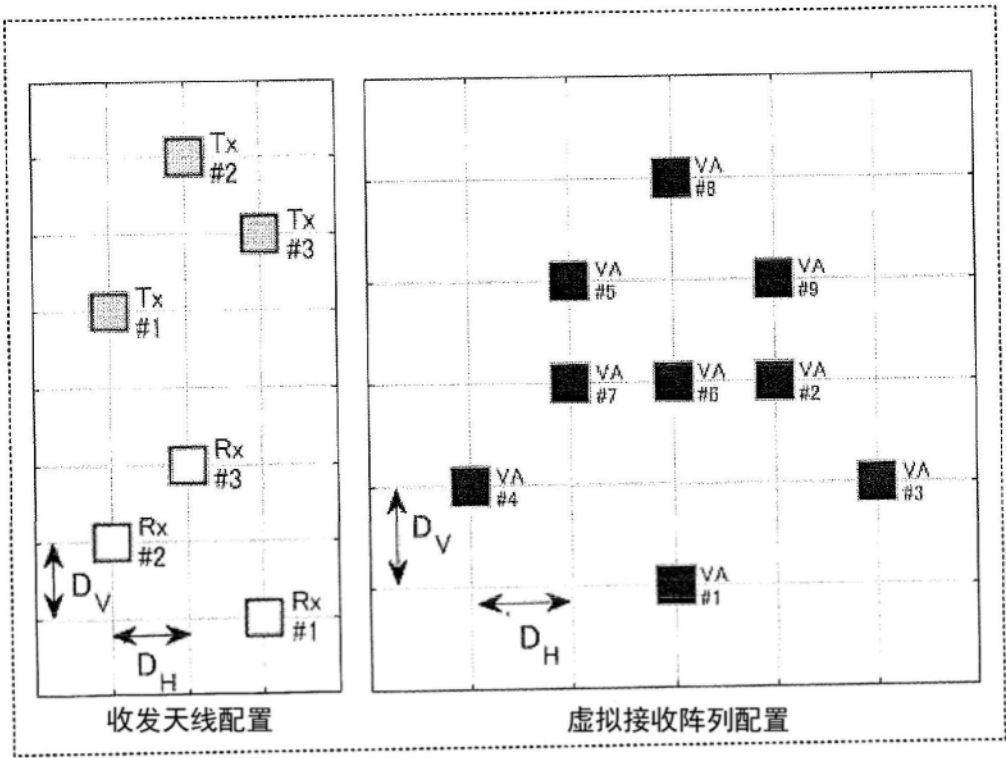


图92D

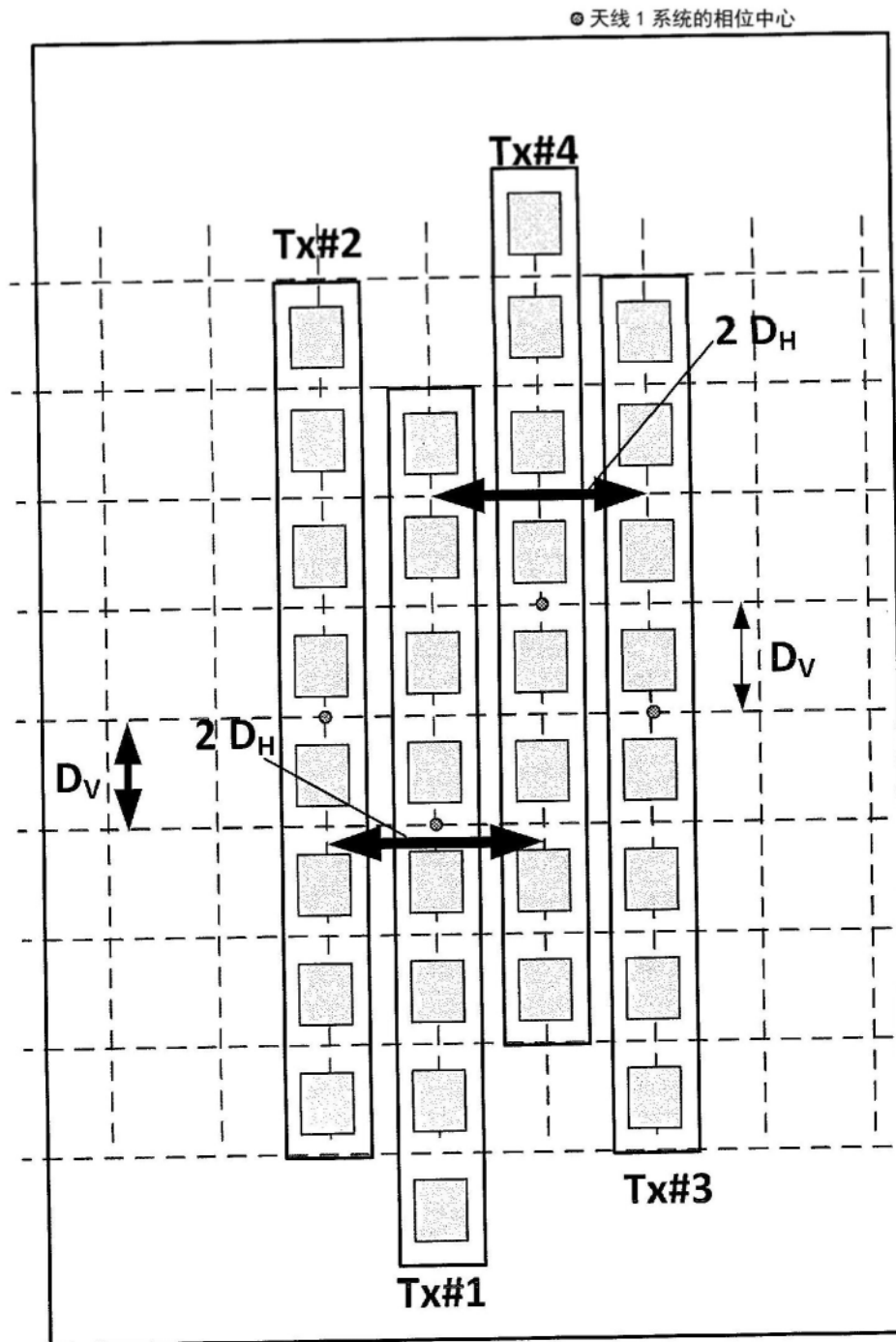


图93A

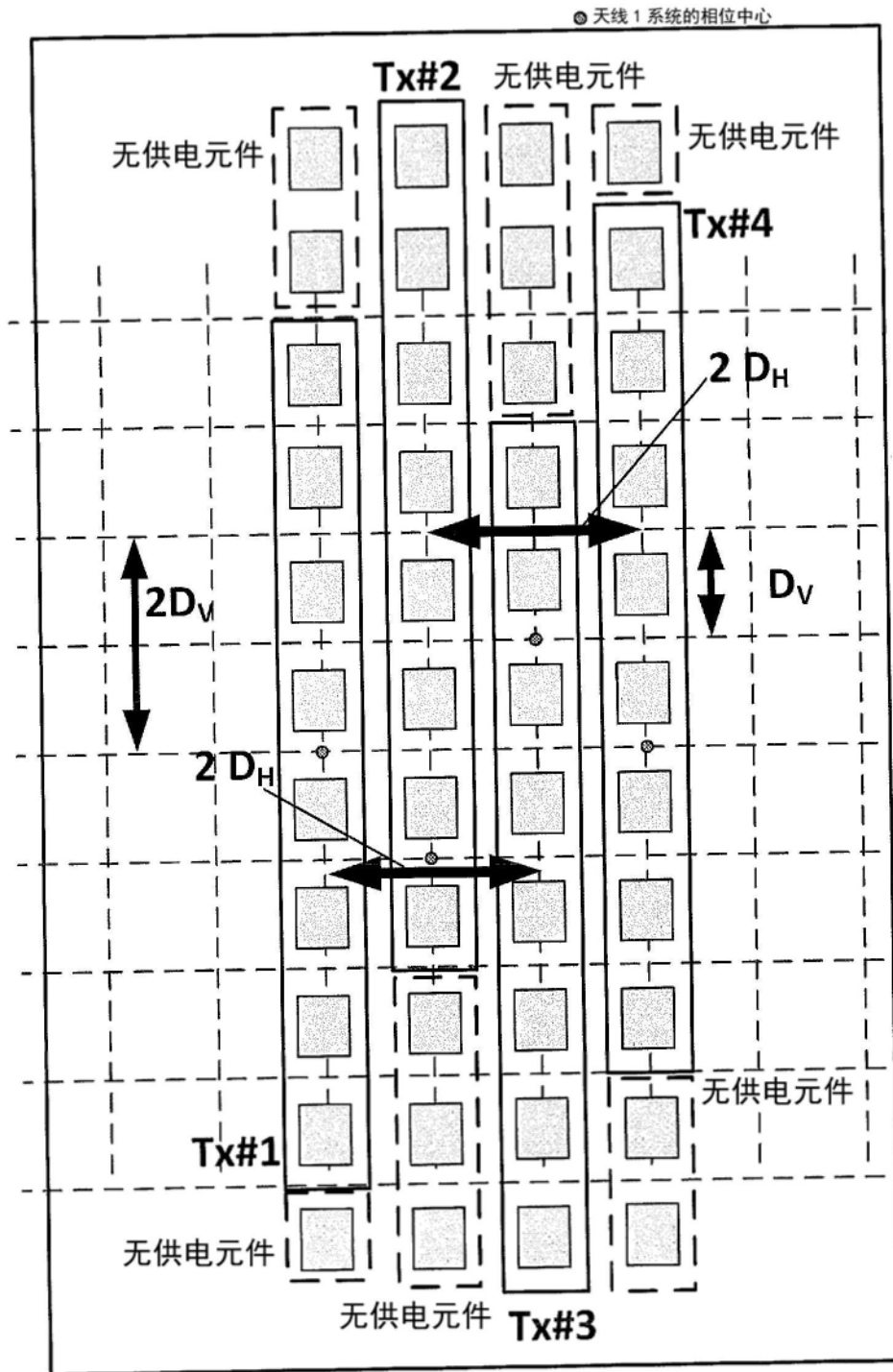


图93B

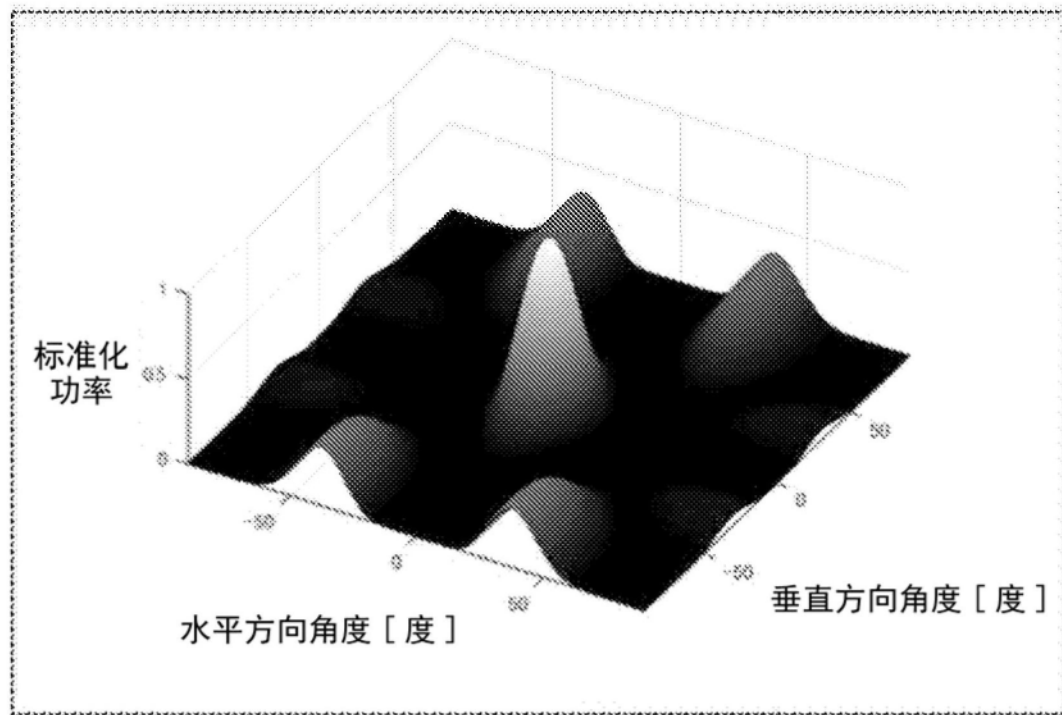


图94

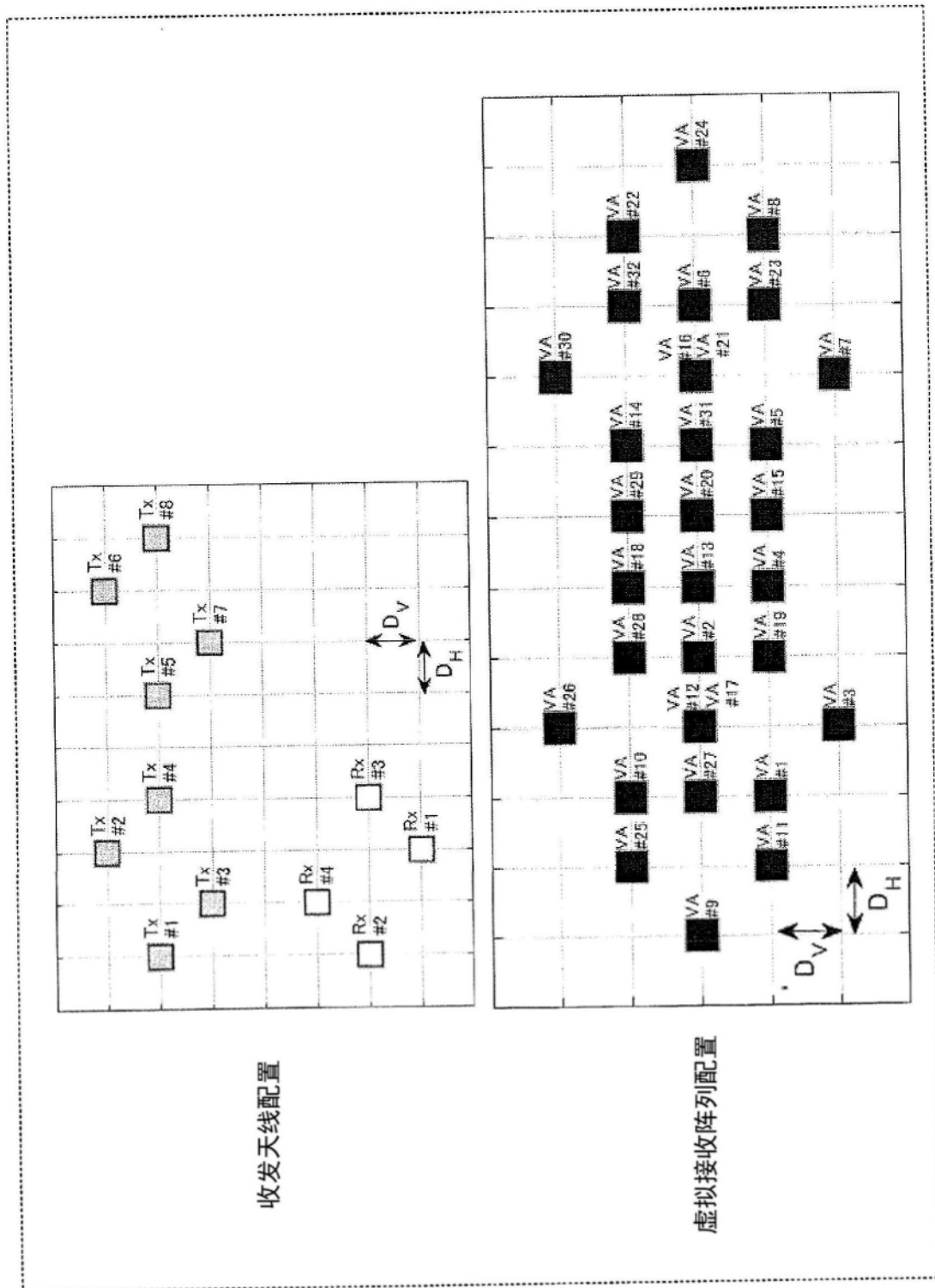


图95

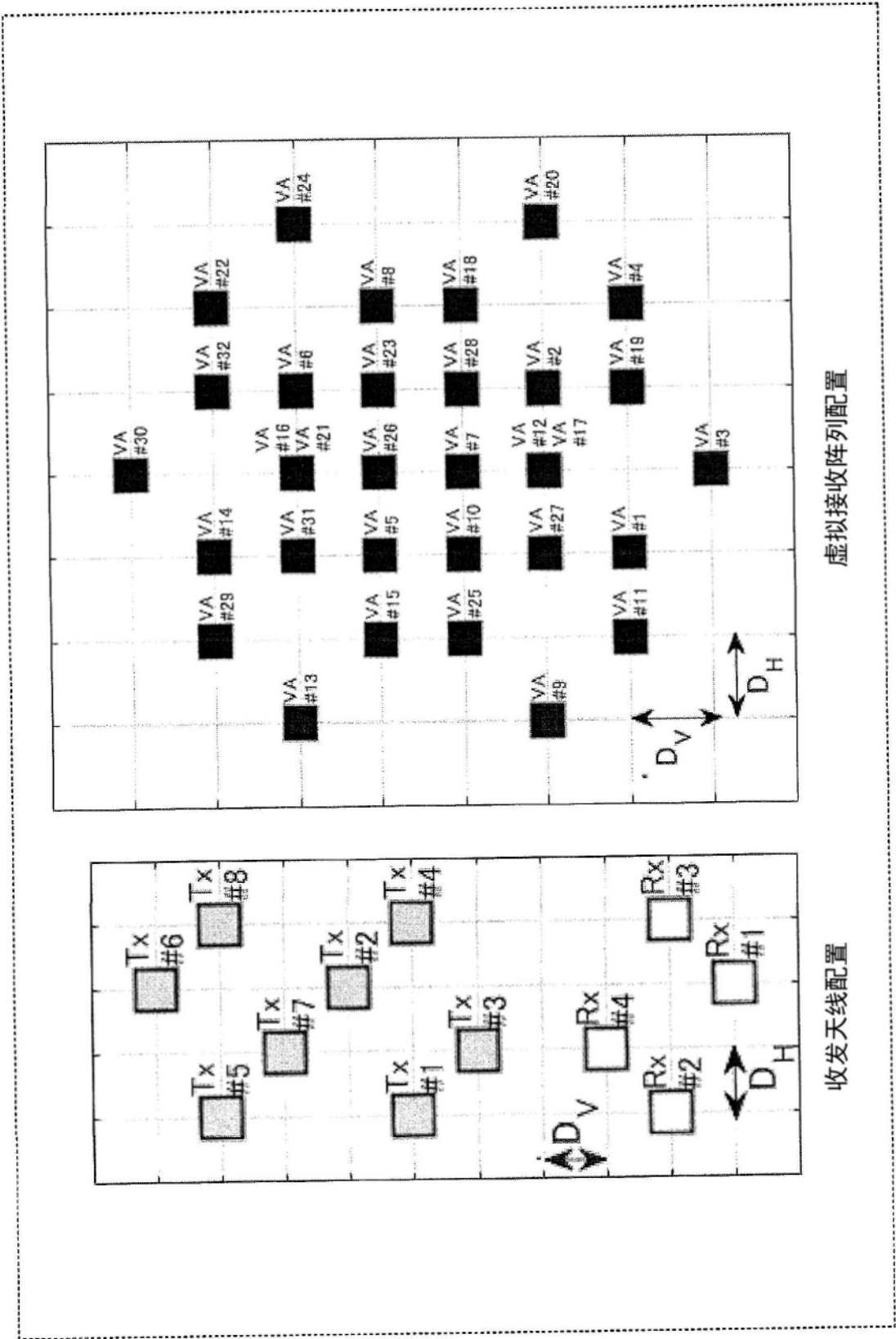


图96

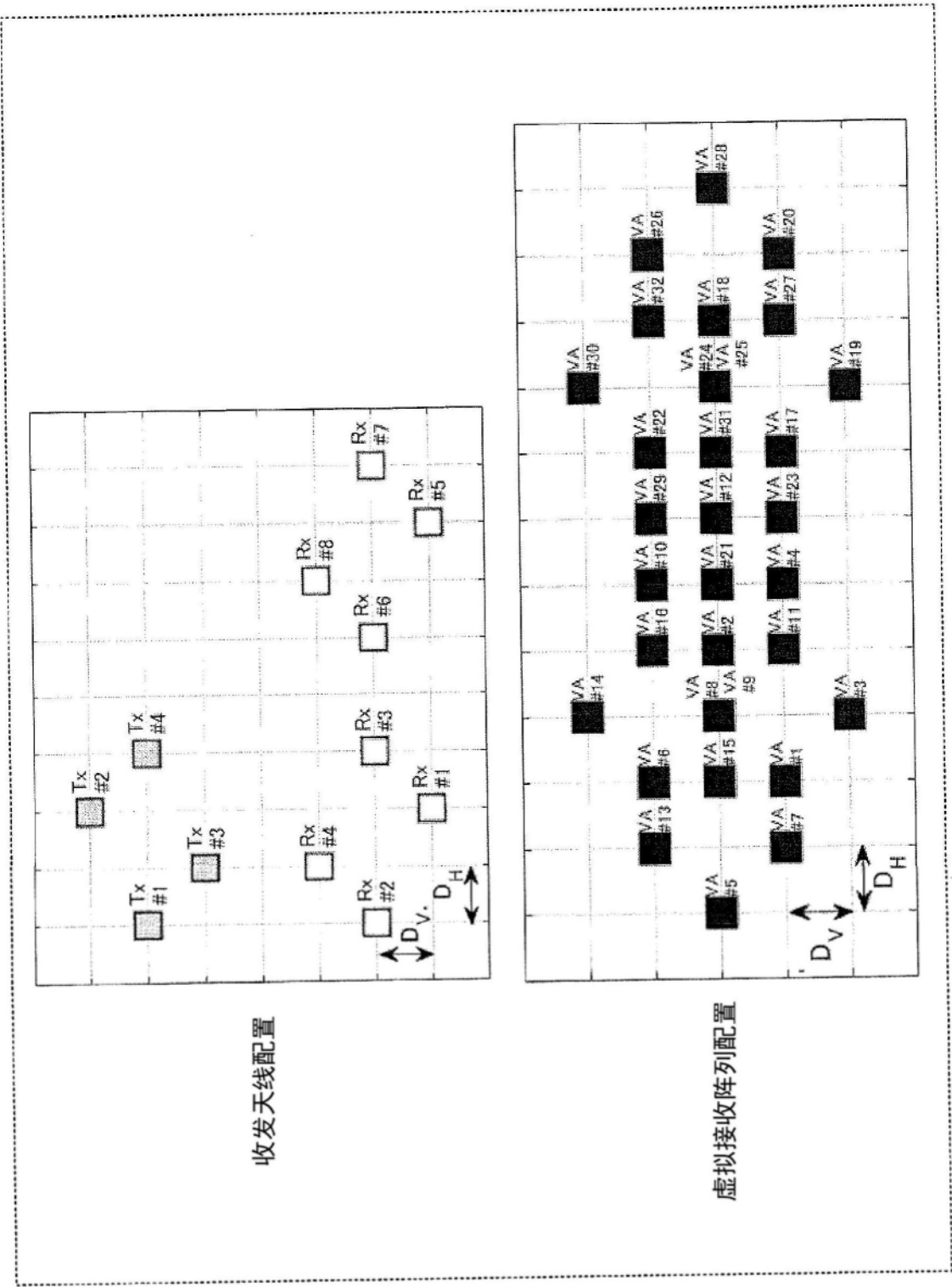


图97

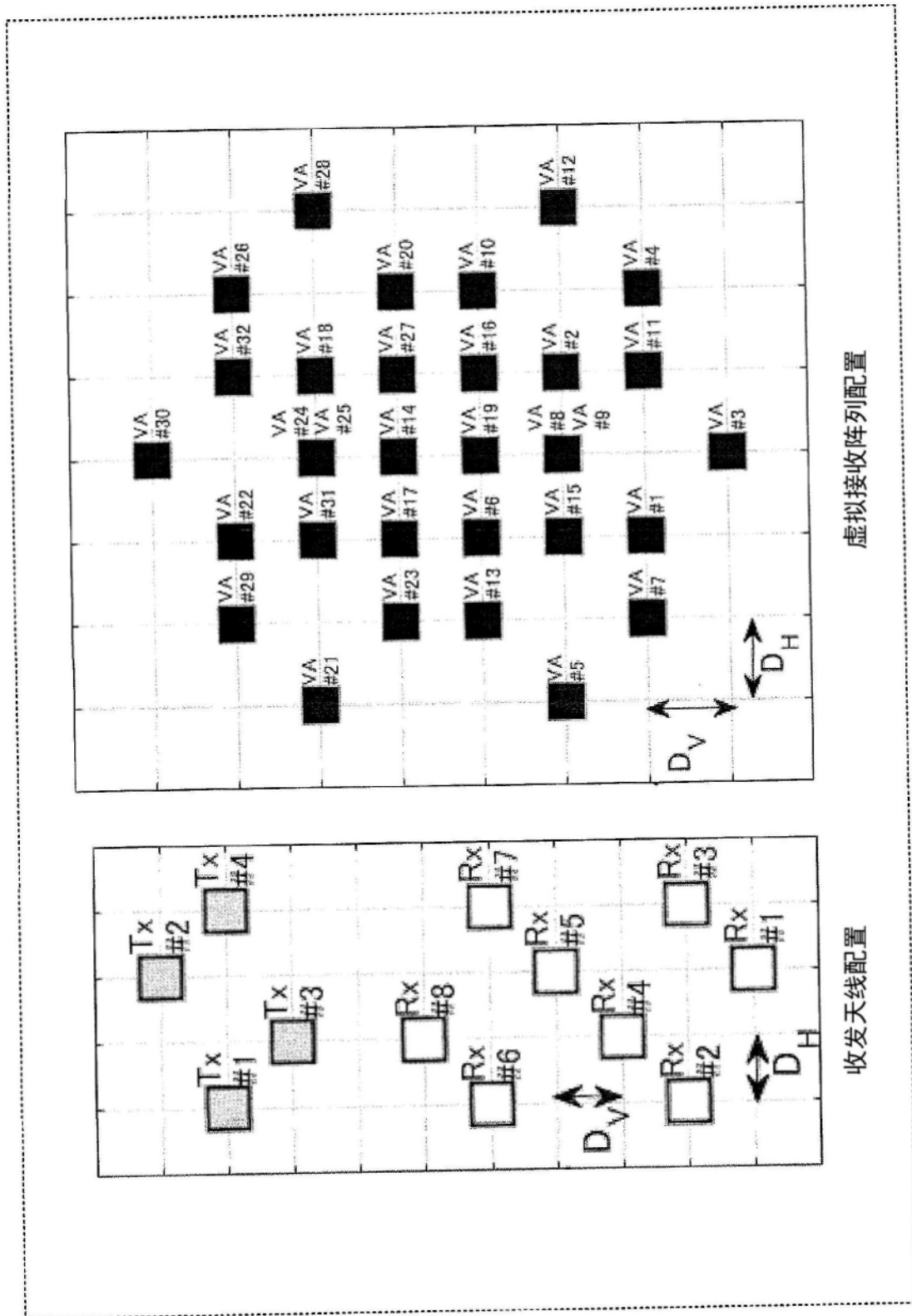


图98

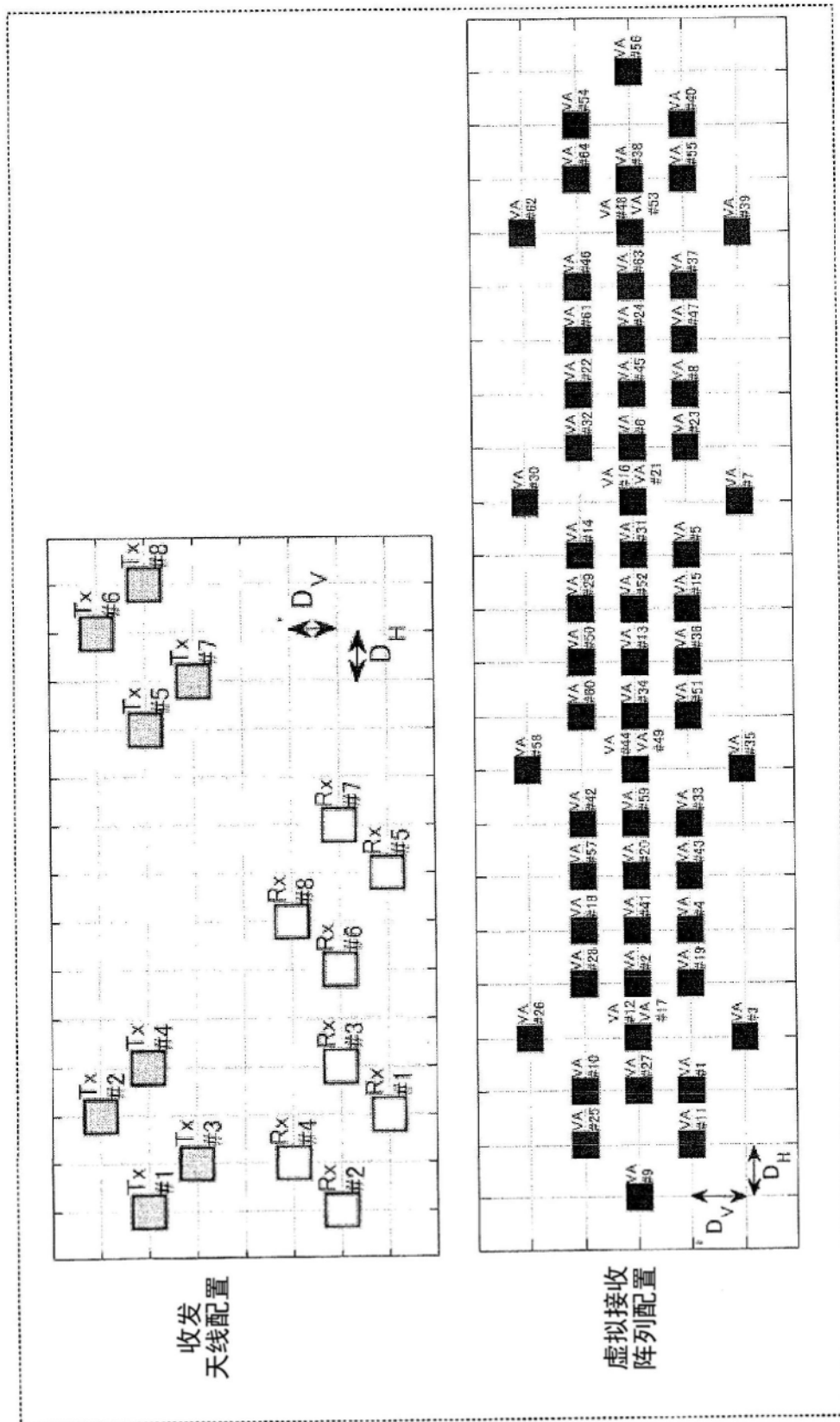


图99

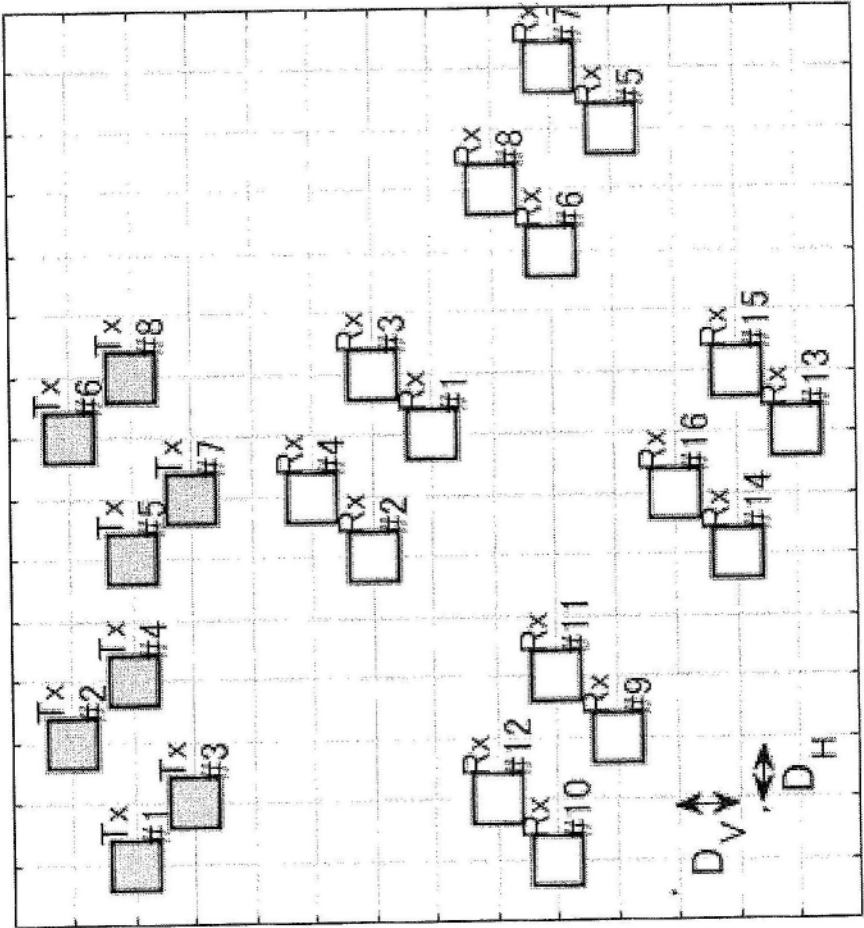


图100A

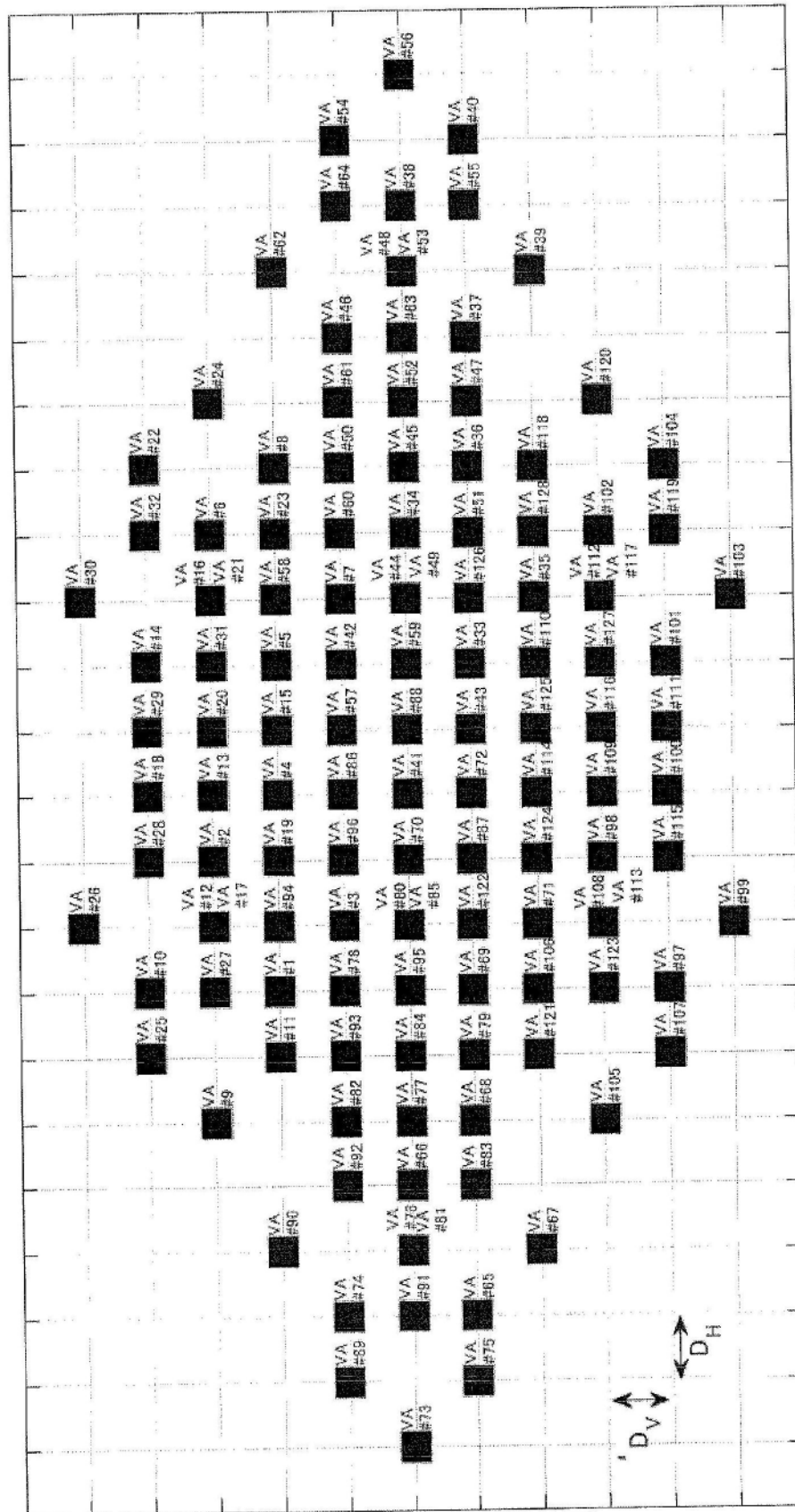


图100B

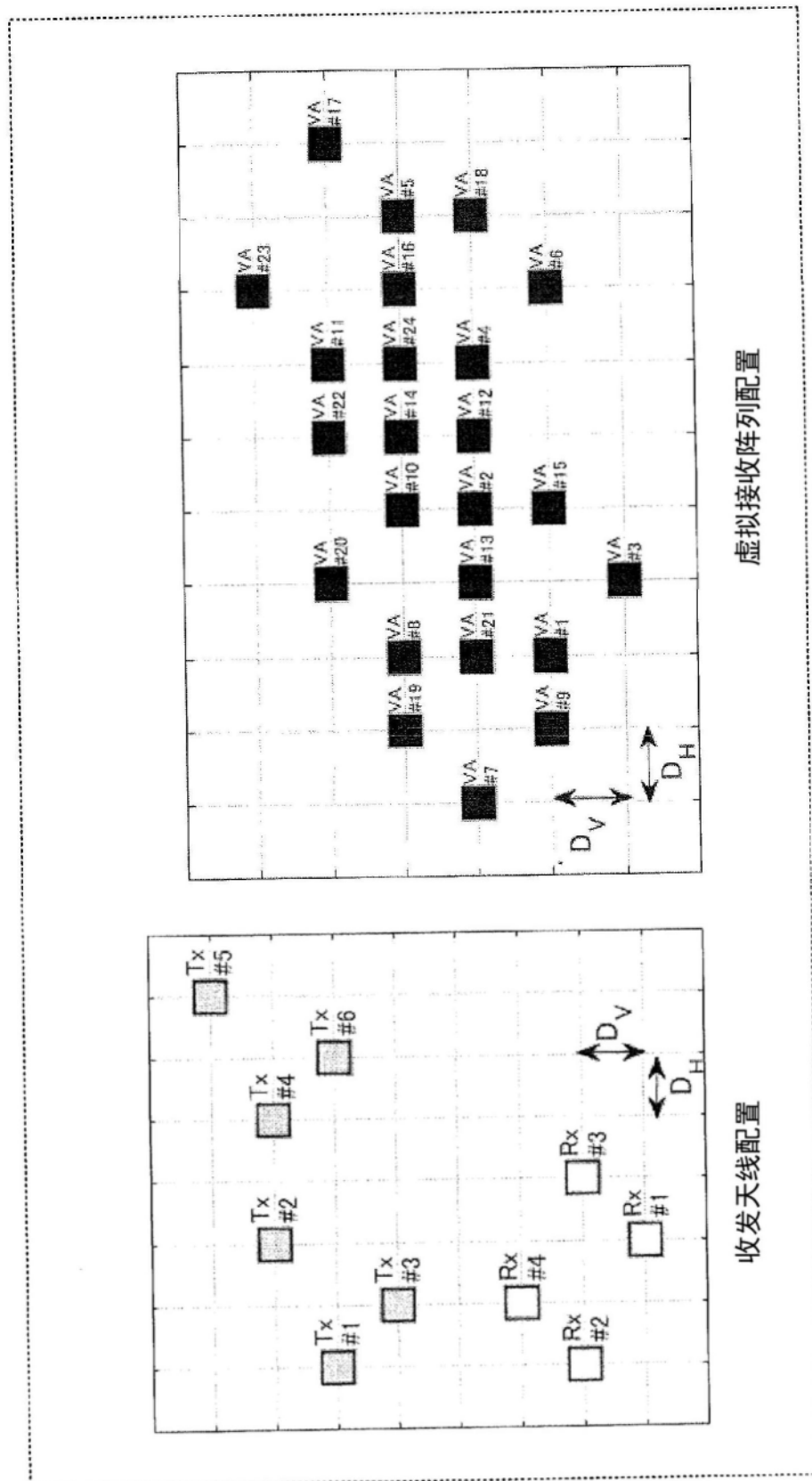


图101

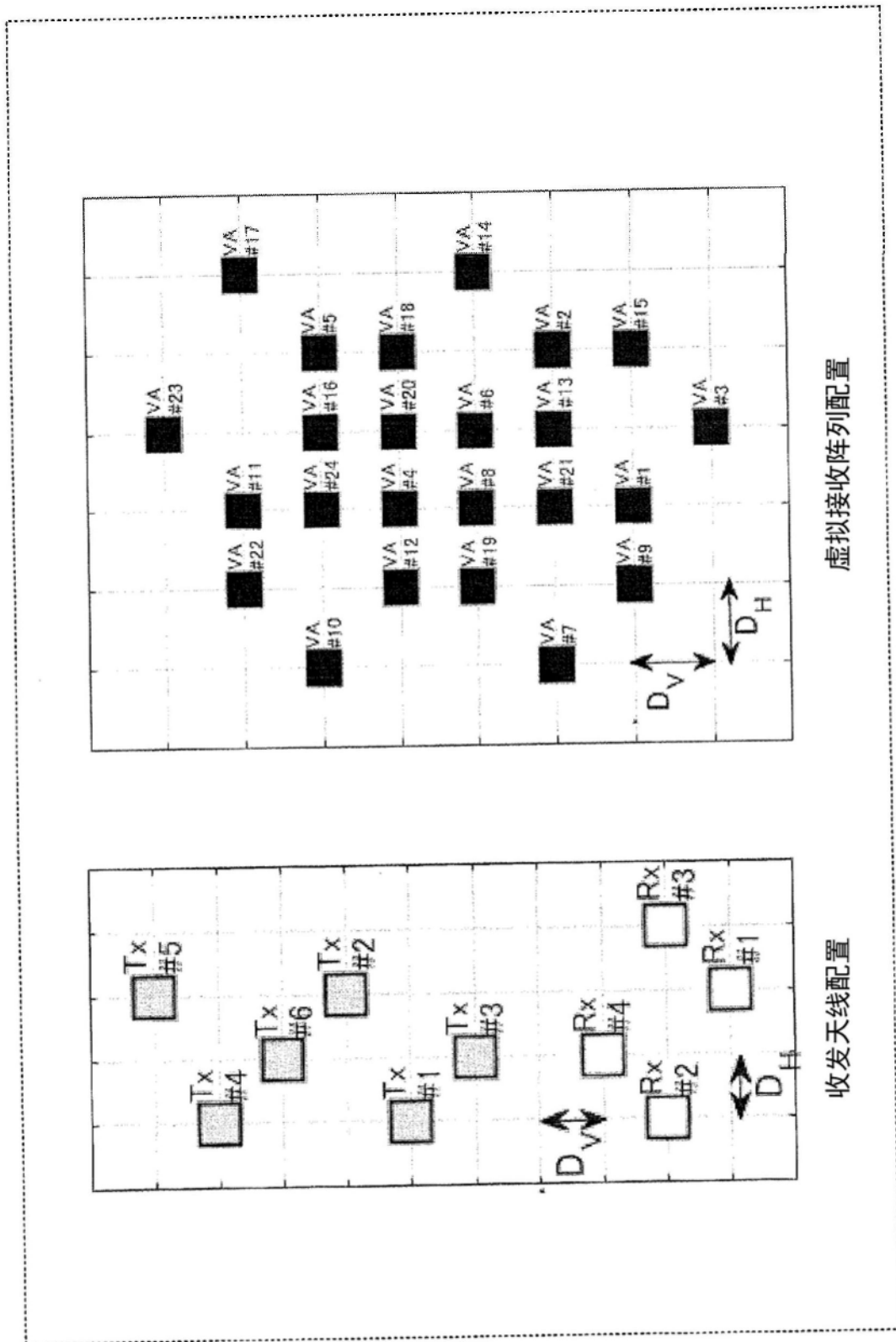


图102

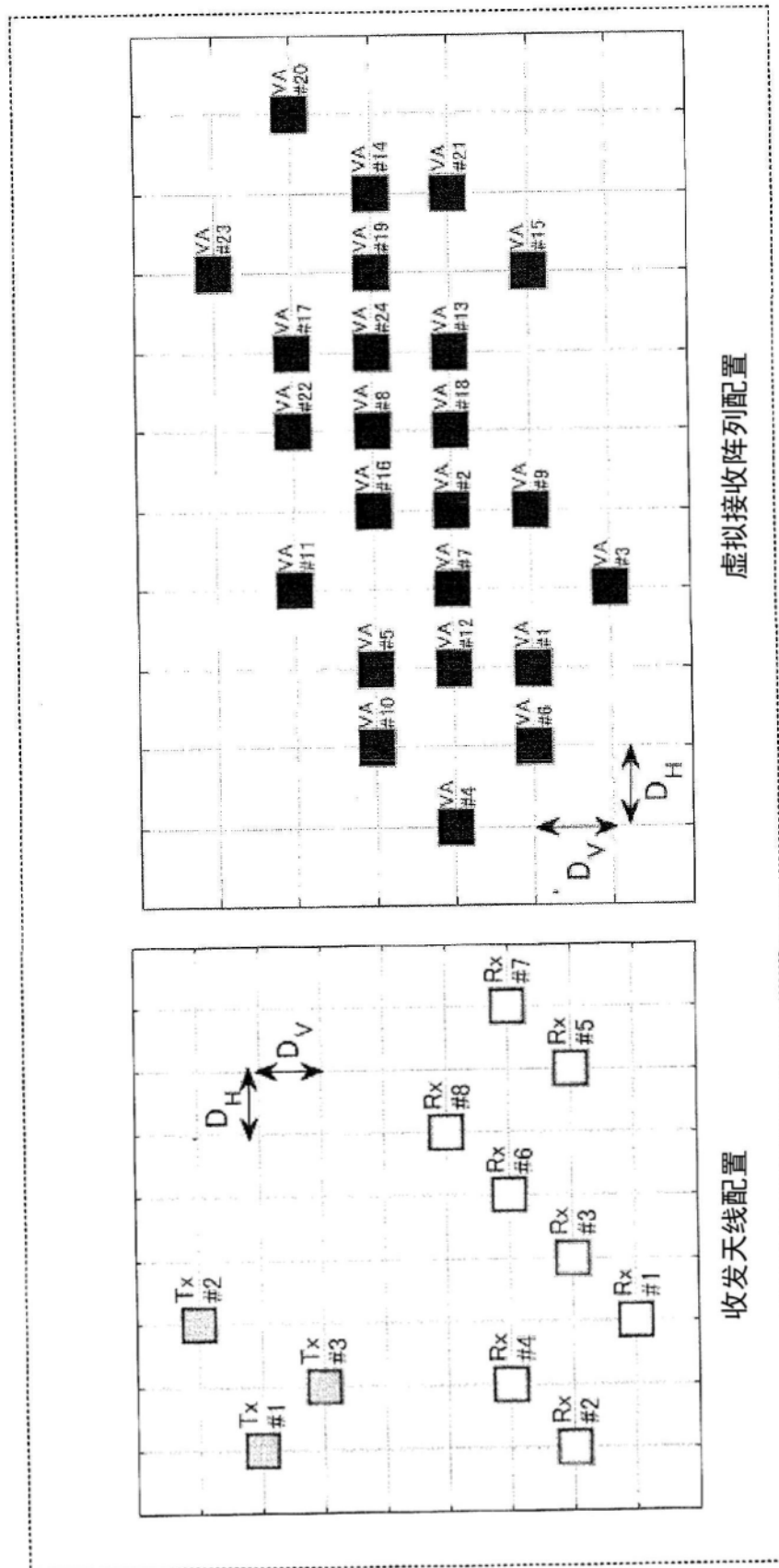


图103

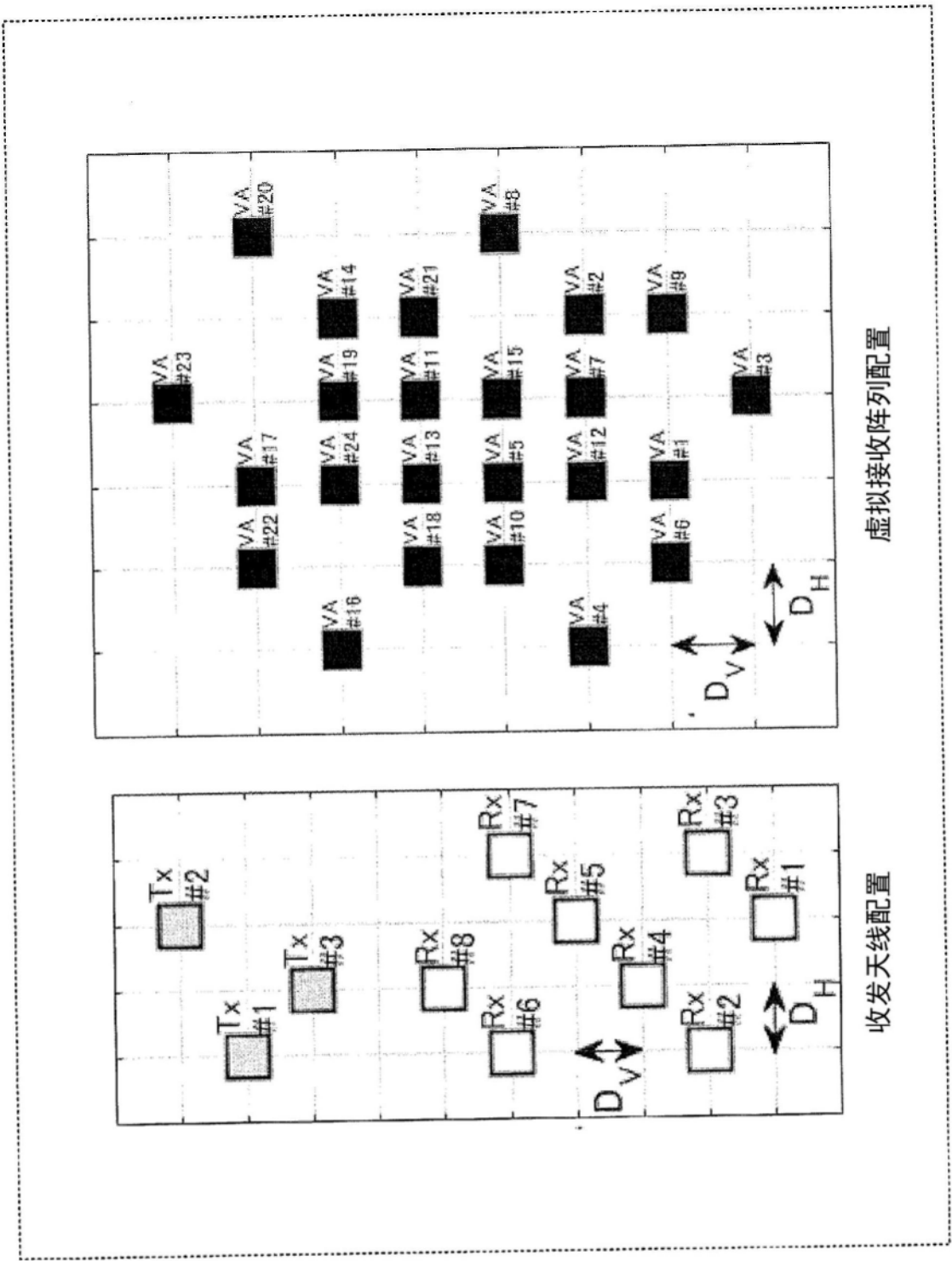


图104

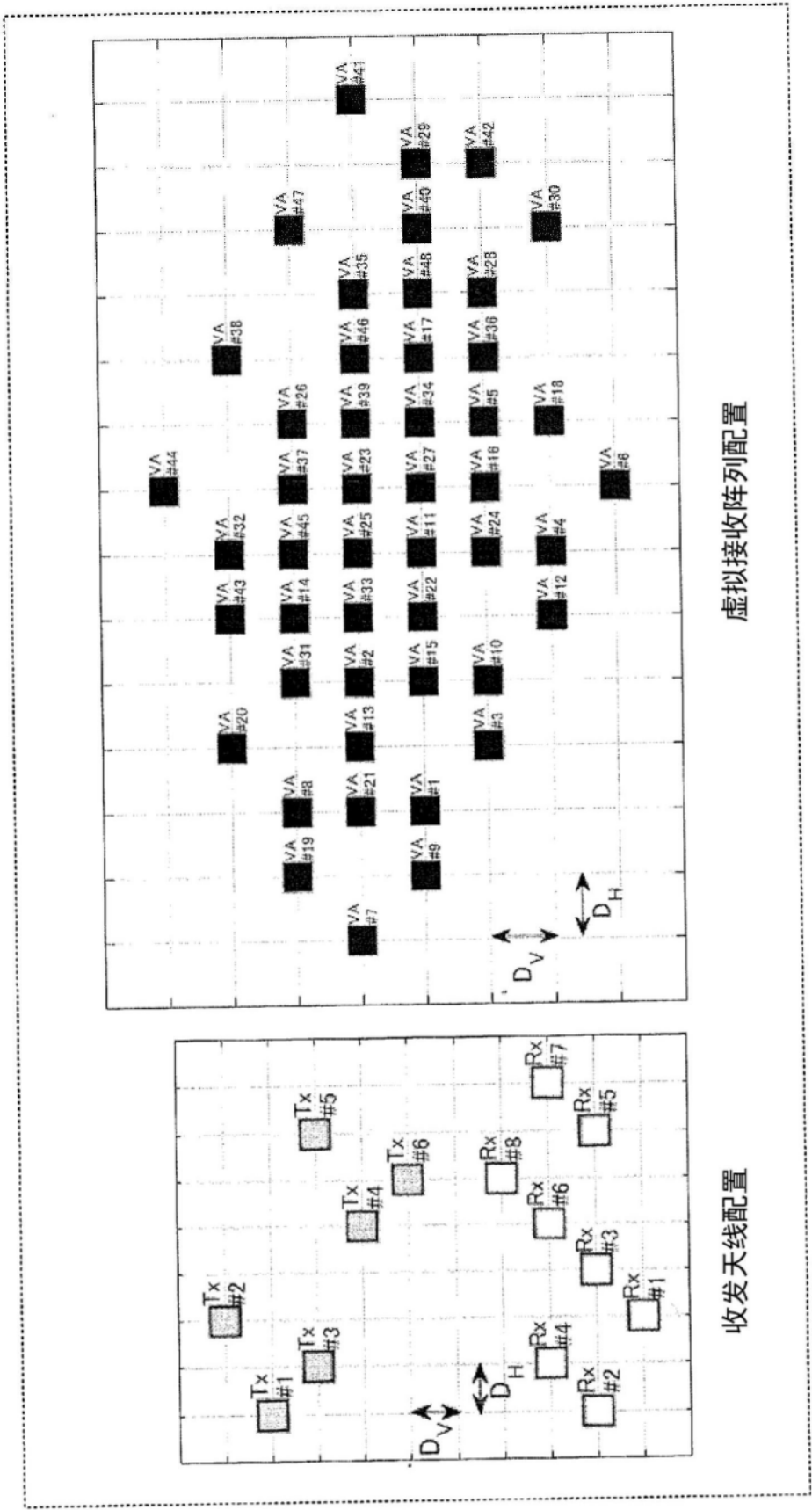


图105

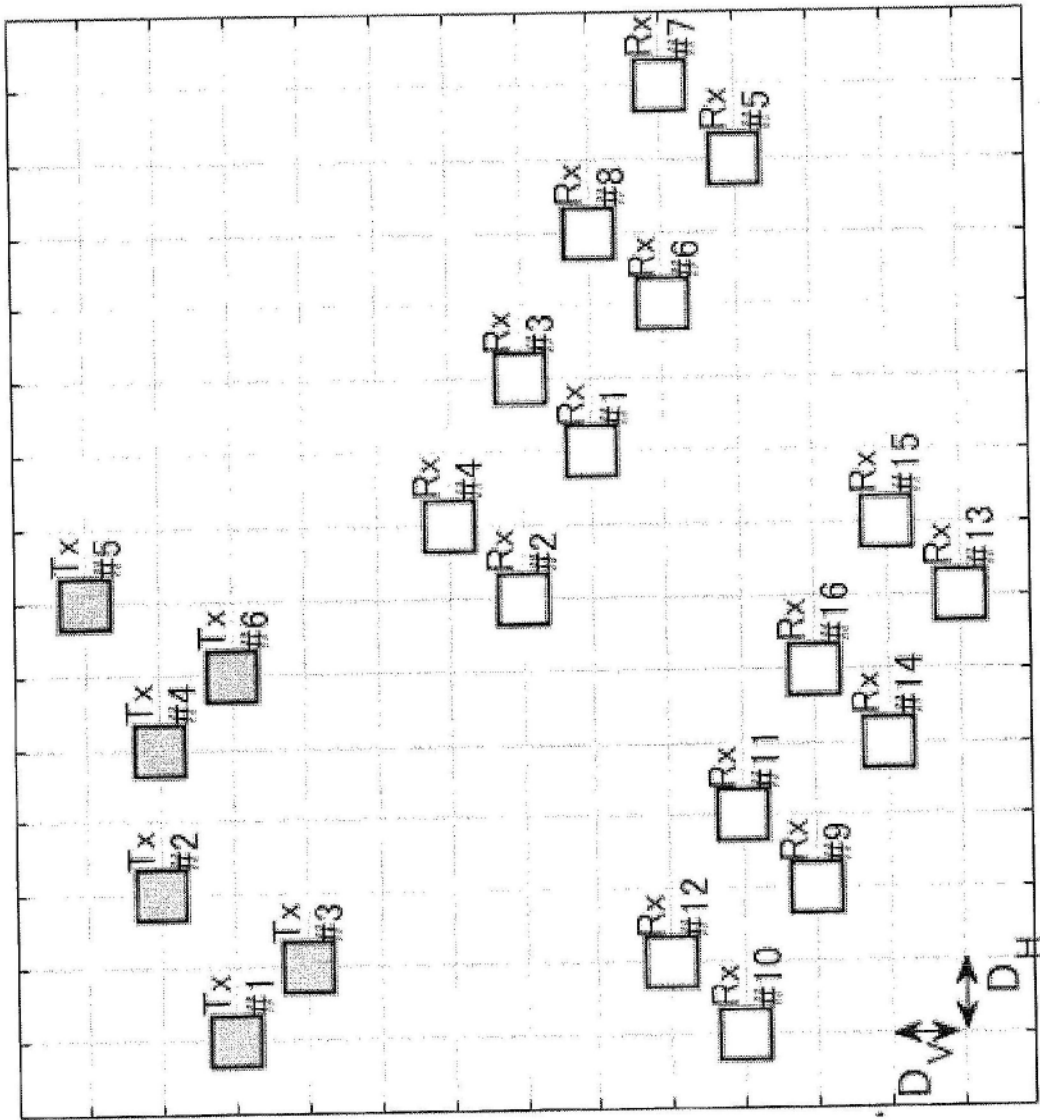


图106A

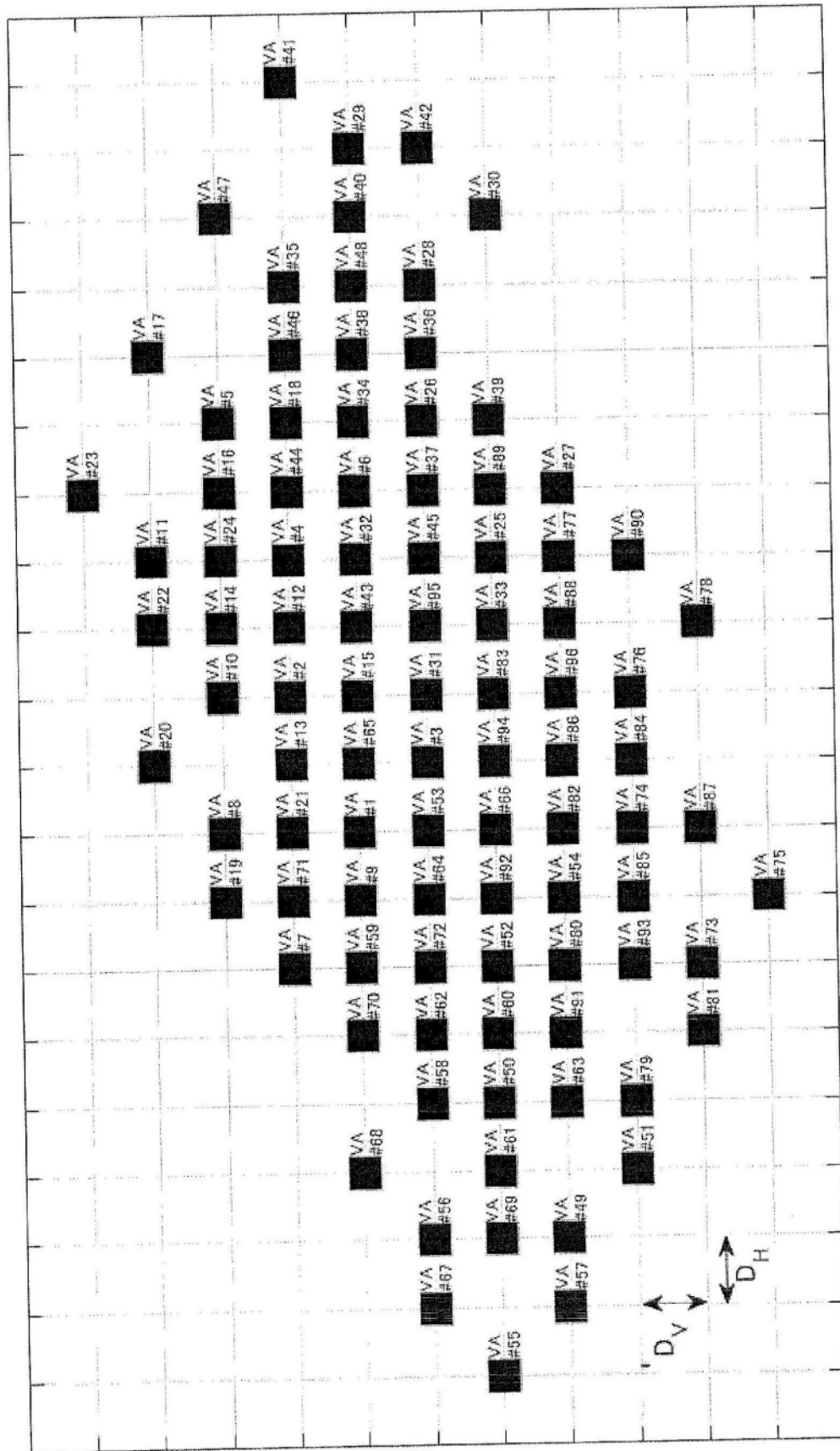


图106B

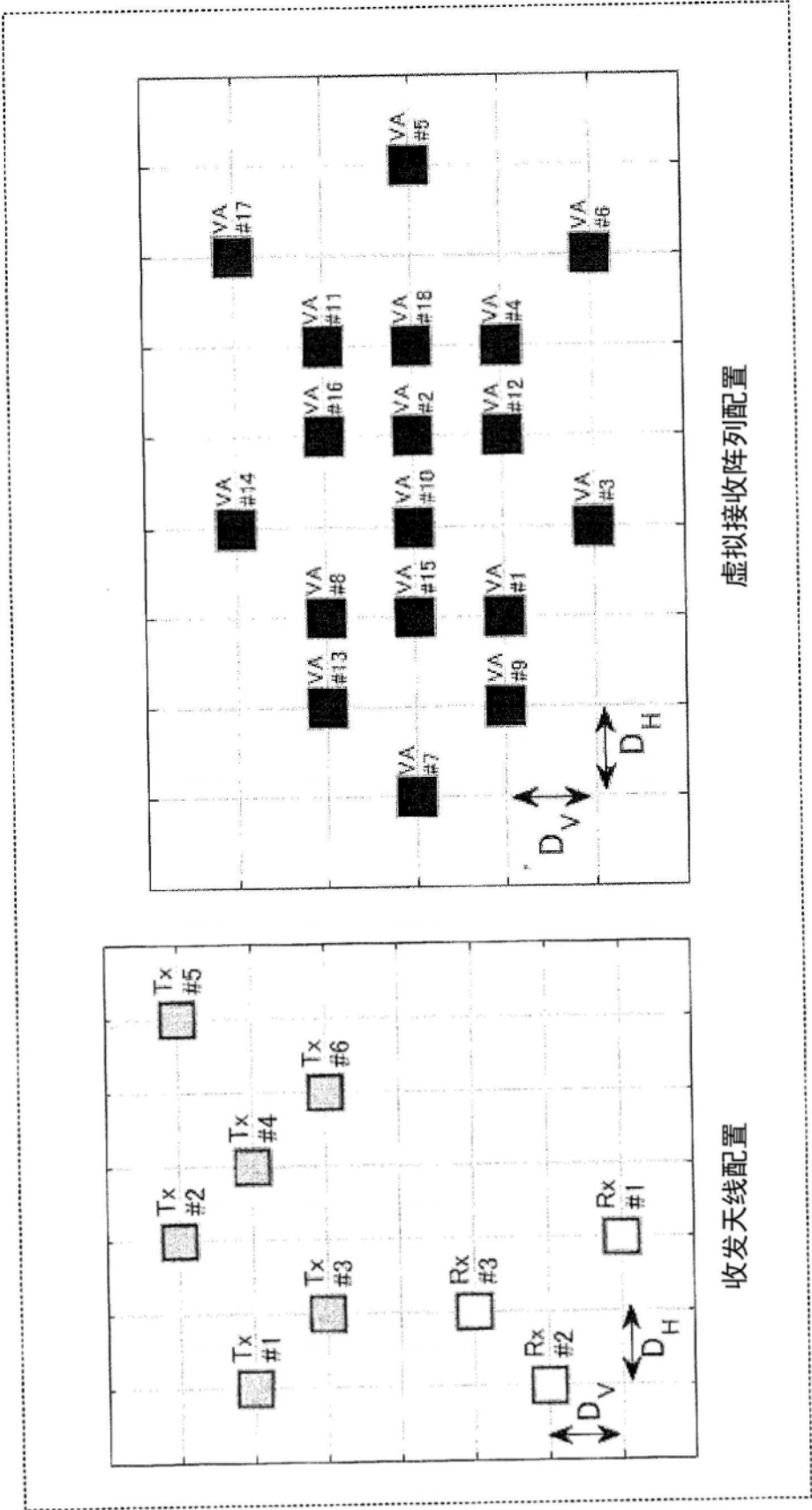


图107

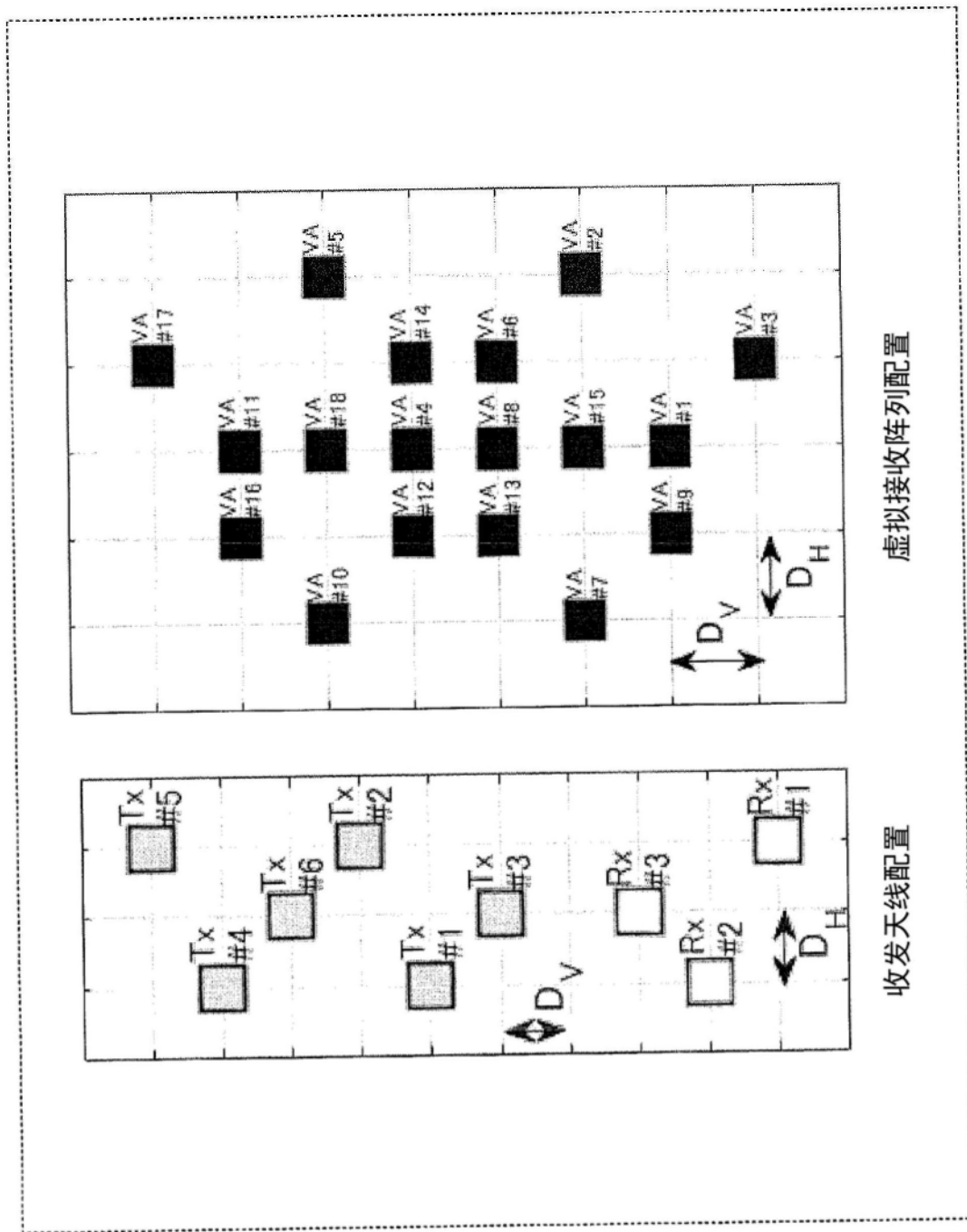


图108

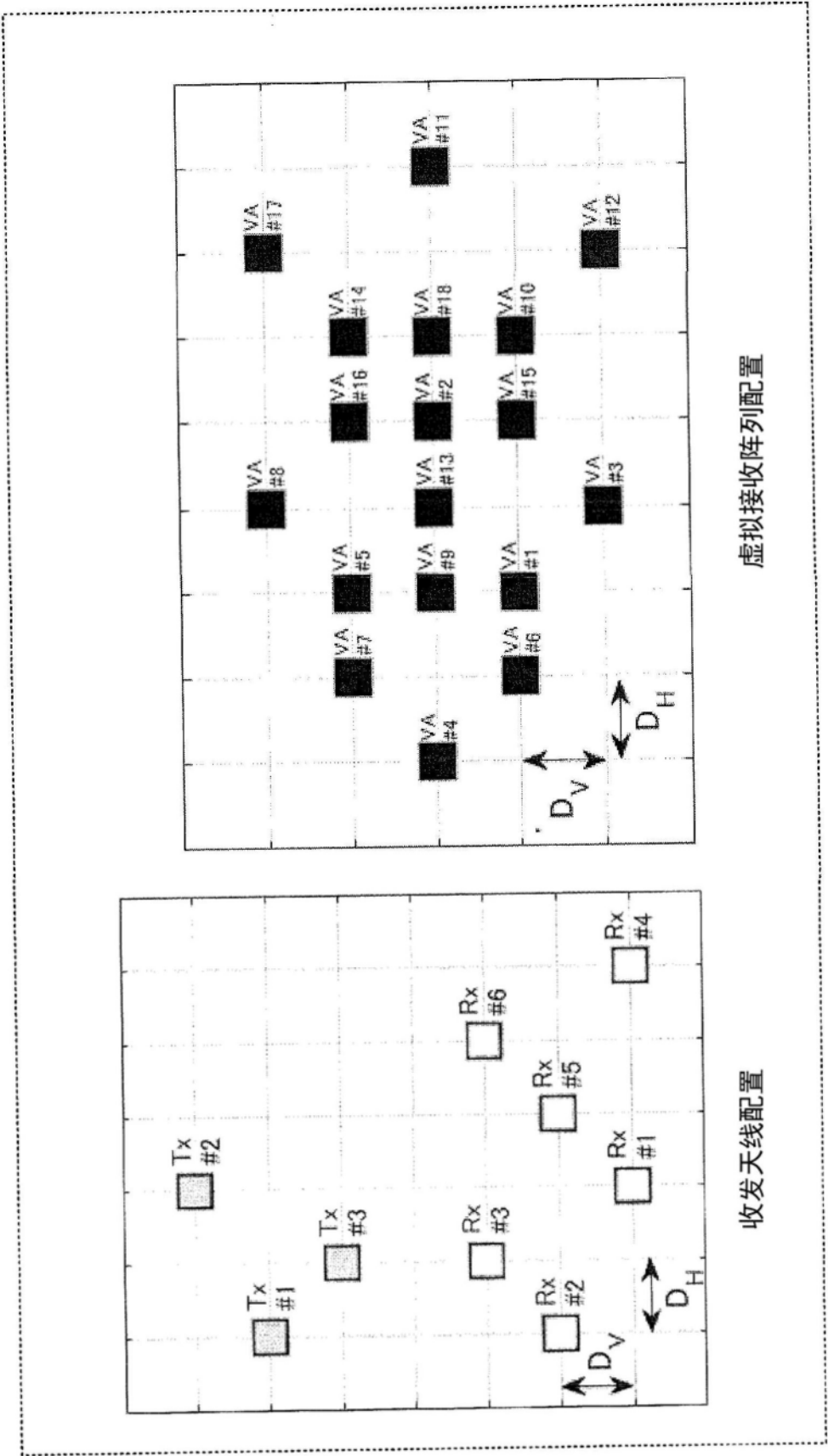


图109

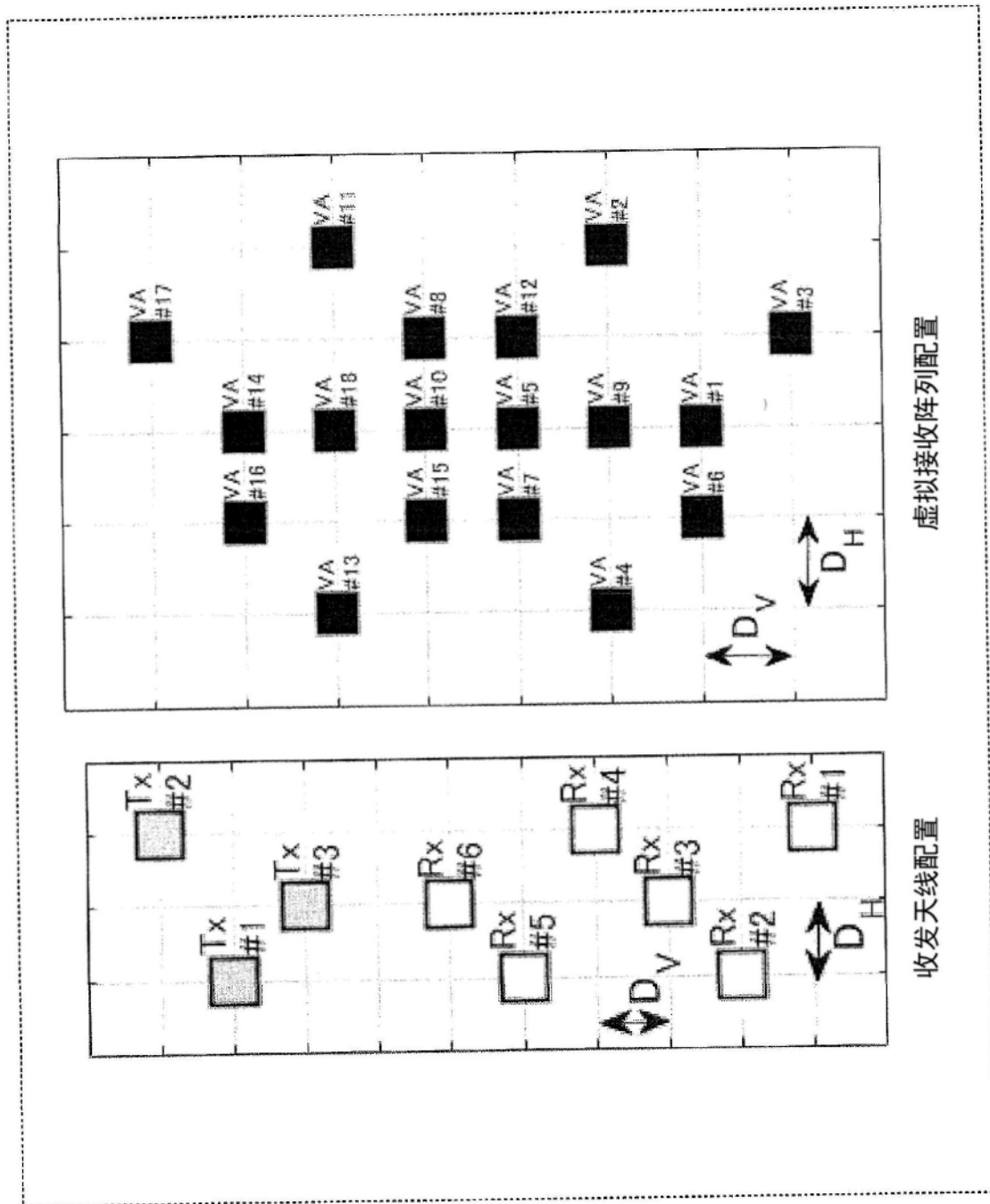


图110

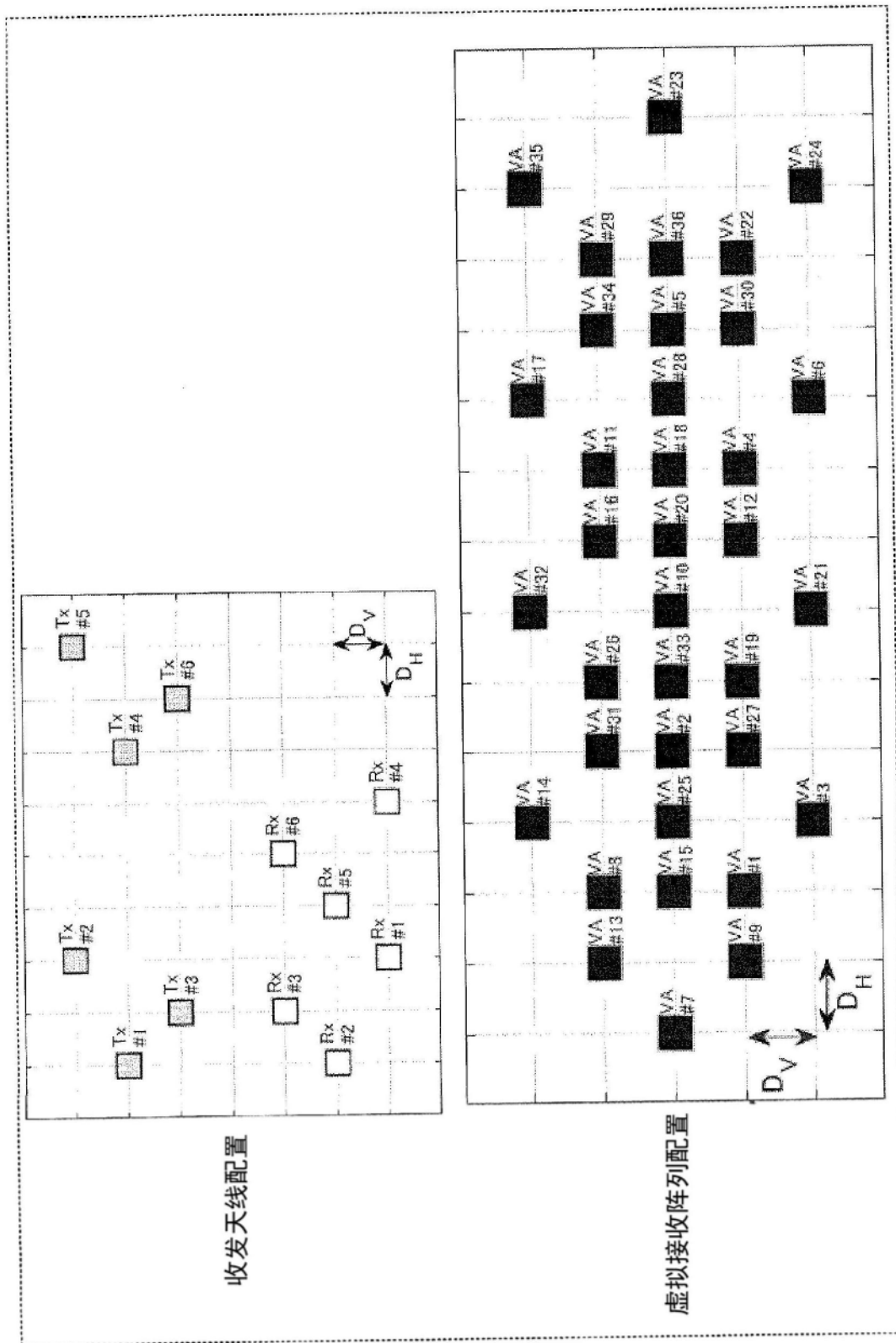


图111

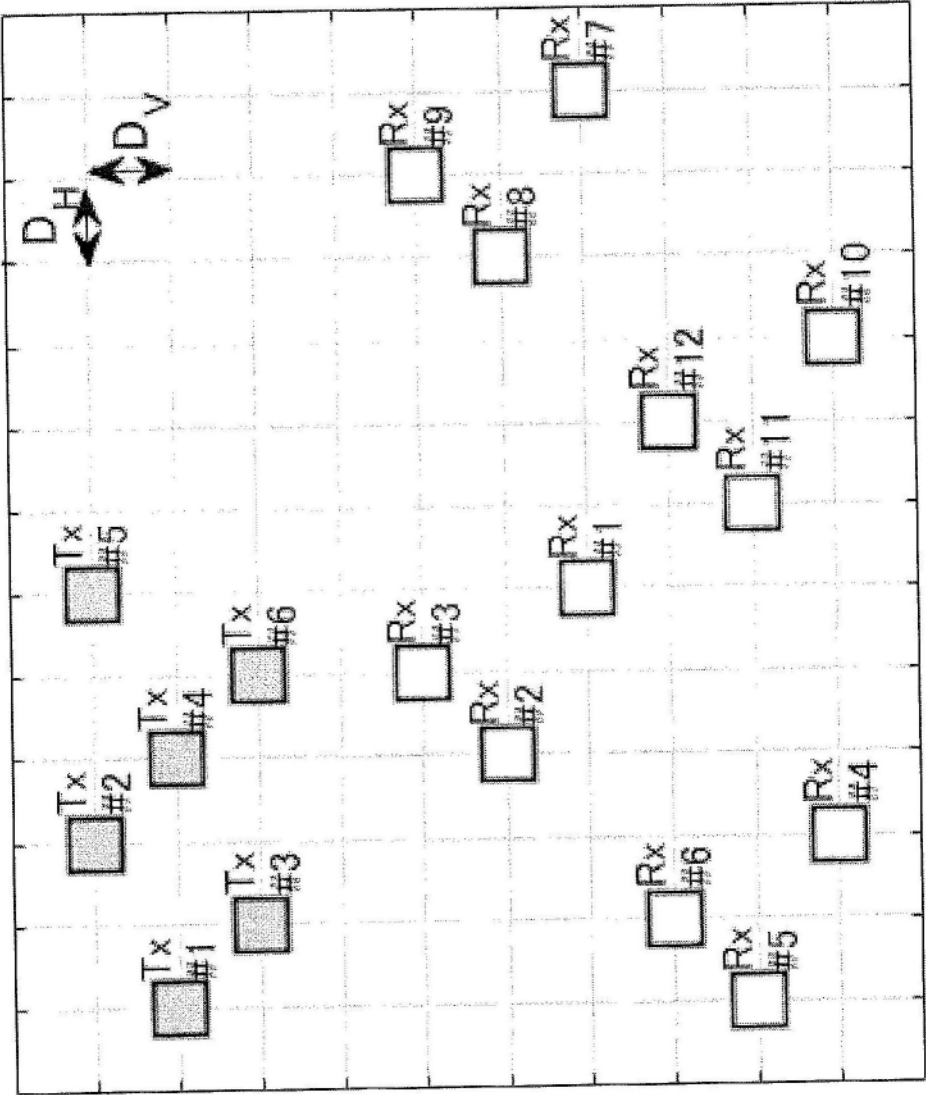


图112A

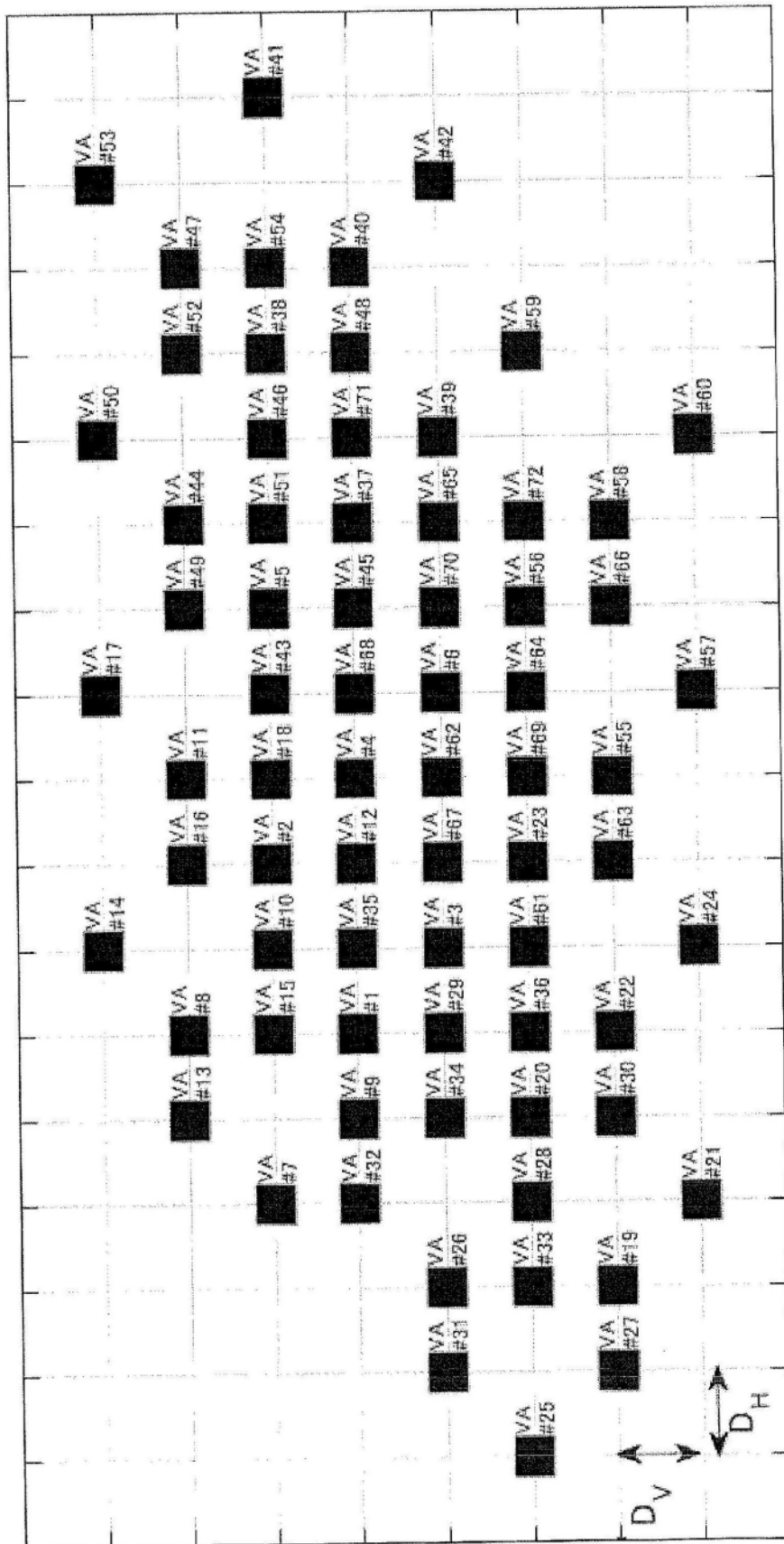


图112B