



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118971995 B

(45) 授权公告日 2025. 05. 27

(21) 申请号 202411156145.0

(22) 申请日 2024.08.22

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118971995 A

(43) 申请公布日 2024.11.15

(73) 专利权人 广州市宸思通讯科技有限公司

地址 510000 广东省广州市黄埔区南翔三路19号自编一栋121房

(72) 发明人 李钦昕 刘剑辉 刘志勇

(74) 专利代理机构 成都中幅知识产权代理有限公司 51260

专利代理师 邢伟

(51) Int. Cl.

H04B 17/12 (2015.01)

(56) 对比文件

CN 111596145 A, 2020.08.28

CN 113835073 A, 2021.12.24

审查员 吴江霞

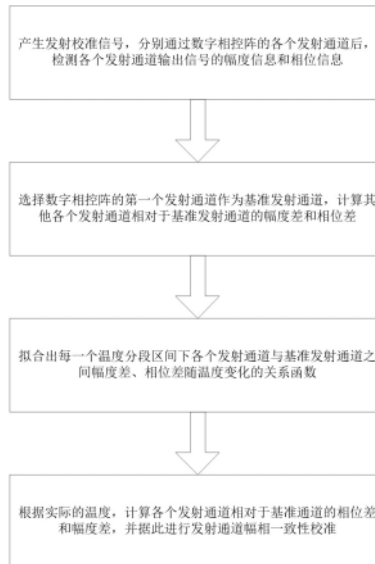
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法

(57) 摘要

本发明公开了一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,包括:S1.产生发射校准信号,分别通过数字相控阵的N个发射通道后,检测各个发射通道输出信号的幅度信息和相位信息;S2.选择数字相控阵的第一个发射通道作为基准发射通道,计算第2~N个发射通道相对于基准发射通道的幅度差和相位差;S3.拟合出每一个温度分段区间下第2~N个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;S4.根据实际的温度,计算第2~N个发射通道相对于基准通道的相位差和幅度差,并据此进行发射通道幅相一致性校准。本发明能够拟合出每一个温度分段区间下各个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数,提高了实际应用时校准的精度。



1. 一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,其特征在于:包括:

S1. 产生发射校准信号,分别通过数字相控阵的N个发射通道后,检测各个发射通道输出信号的幅度信息和相位信息;

S2. 选择数字相控阵的第一个发射通道作为基准发射通道,计算第2~N个发射通道相对于基准发射通道的幅度差和相位差;

S3. 在给定的温度区间内,按照固定的温度步进逐步提升温度,并在每一个温度下重复执行步骤S1~S2,然后对温度区间进行分段得到多个温度分段区间,拟合出每一个温度分段区间下第2~N个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

所述步骤S3包括:

S301. 设给定的温度区间为 $[T_{\min}, T_{\max}]$,固定的温度步进为 ΔT ,其中 $T_{\max} - T_{\min}$ 为 ΔT 的整数倍;

在环境温度为 $T_{\min}, T_{\min} + \Delta T, T_{\min} + 2\Delta T, \dots, T_{\max}$ 时,重复执行步骤S1~S2,得到每一个温度下第2~N个发射通道输出信号相对于基准发射通道输出信号的幅度差和相位差;

S302. 对温度区间进行均匀分段,得到多个温度分段区间,每一个温度分段区间至少包含M个环境温度,M不小于5;

S303. 对于任意一个温度分段区间,拟合出各个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数:

(1) 对于第1个发射通道,由于第1个发射通道为基准通道,故其与基准通道之间的幅度差和相位差均为0,不随环境温度变化;

(2) 对于第2~N个发射通道中任意一个发射通道:

在当前温度分段区间内共有M个环境温度 $T_1, T_2, \dots, T_M$,M个环境温度对应的幅度差记为 $\Delta A^{T_1}, \Delta A^{T_2}, \dots, \Delta A^{T_M}$,其中 ΔA^{T_j} 表示第j个环境温度对应的幅度差,M个环境温度对应的相位差记为 $\Delta \theta^{T_1}, \Delta \theta^{T_2}, \dots, \Delta \theta^{T_M}$,其中 $\Delta \theta^{T_j}$ 表示第j个环境温度对应的相位差, $j=1, 2, \dots, M$

构建二次多项式回归模型:

$$y = ax^2 + bx + c$$

其中,a,b,c为模型参数,x,y表示模型的自变量和因变量;

利用M个环境温度构成的集合 $\{T_1, T_2, \dots, T_M\}$ 作为模型的自变量取值集合,对应的幅度差集合 $\{\Delta A^{T_1}, \Delta A^{T_2}, \dots, \Delta A^{T_M}\}$ 作为模型的因变量取值集合,对二次多项式回归模型进行拟合,求解出模型参数a,b,c,得到当前发射通道与基准通道之间幅度差随温度变化的关系;

利用M个环境温度构成的集合 $\{T_1, T_2, \dots, T_M\}$ 作为模型的自变量取值集合,对应的相位差构成集合 $\{\Delta \theta^{T_1}, \Delta \theta^{T_2}, \dots, \Delta \theta^{T_M}\}$ 作为模型的因变量取值集合,对二次多项式回归模型进行拟合,求解出模型参数a,b,c,得到当前发射通道与基准通道之间相位差随温度变化的关系;

(3) 对于第2~N个发射通道中每一个发射通道,重复执行步骤(2),得到当前温度分段区间下,第2~N个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

S304. 对于每一个温度分段区间,重复执行步骤S303,得到每一个温度分段区间下,第2~N个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

S4.在通过数字相控阵进行发射时,根据实际的温度所在的温度分段区间,获取第2~N个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数,计算第2~N个发射通道相对于基准通道的相位差和幅度差,并据此进行发射通道幅相一致性校准。

2.根据权利要求1所述的一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,其特征在于:所述步骤S1包括:

S101.产生发射校准信号,传输到数字相控阵的各个发射通道;所述数字相控阵共包含N个发射通道;

S102.发射校准信号经过发射通道后,对各个发射通道输出信号进行检测,得到各个发射通道输出信号的幅度和相位信息。

3.根据权利要求1所述的一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,其特征在于:所述步骤S2包括:

设基准发射通道输出信号的幅度信息为 A_1 ,相位信息为 θ_1 ;第2~N个发射通道输出信号的幅度信息为 $A_2, A_3, \dots, A_N$,第2~N个发射通道输出信号的相位信息为 $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_N$;

第2~N个发射通道相对于基准发射通道的幅度差分别为 $\Delta A_2, \Delta A_3, \dots, \Delta A_N$:

$$\Delta A_2 = A_2 - A_1;$$

$$\Delta A_3 = A_3 - A_1,$$

...

$$\Delta A_N = A_N - A_1$$

第2~N个发射通道相对于基准发射通道的相位差分别为 $\Delta \theta_2, \Delta \theta_3, \dots, \Delta \theta_N$:

$$\Delta \theta_2 = \theta_2 - \theta_1;$$

$$\Delta \theta_3 = \theta_3 - \theta_1,$$

...

$$\Delta \theta_N = \theta_N - \theta_1$$

4.根据权利要求1所述的一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,其特征在于:所述步骤S4包括:

S401.在通过数字相控阵进行发射时,测量实际环境温度,并判断实际环境温度所在的温度分段区间,然后获取该温度分段区间下,第2~N个发射通道中每一个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

S402.对于第2~N个发射通道中的每一个发射通道,将实际环境温度带入发射通道与基准通道之间幅度差随温度变化的关系函数,得到该发射通道与基准通道之间幅度差;

S403.对于第2~N个发射通道中的每一个发射通道,将实际环境温度带入发射通道与基准通道之间幅度差随温度变化的关系函数,得到该发射通道与基准通道之间幅度差;

S404.在在通过数字相控阵进行发射时,利用第2~N个发射通道中的每一个发射通道与基准通道之间的幅度差和相位差,对第2~N个发射通道进行补偿,使其输出信号保持与基准发射通道的幅相一致性。

一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法

技术领域

[0001] 本发明涉及数字相控阵,特别是涉及一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法。

背景技术

[0002] 数字相控阵以数字方式精确控制天线的波束指向和形成。与传统相控阵天线相比,其具有体积小,成本低的优势,但是由于阵列各通道间器件性能差异、时钟和同步信号传输路径差异、阵列天线单元的实际位置误差以及阵列天线单元间的互耦效应等因素的影响,阵列通道之间的初始相位和幅度具有不一致性,会造成阵列波束方向图发生畸变。

[0003] 因此,需要对数字相控阵的发射通道的幅相一致性进行校准,但是传统的校准方式大多没有考虑温度的影响,虽然近些年来考虑到进行温度补偿,但一般都是通过查表方式,而查表方式涉及到的温度信息是离散的,如果处于两个离散温度之间,往往只能通过取最接近温度的方式进行补偿,这样对校准精度有一定影响。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,能够拟合出每一个温度分段区间下各个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数,从而在实际应用时根据实际环境温度能够得到各个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差,提高了校准的精度。

[0005] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,包括:

[0006] S1.产生发射校准信号,分别通过数字相控阵的N个发射通道后,检测各个发射通道输出信号的幅度信息和相位信息;

[0007] S2.选择数字相控阵的第一个发射通道作为基准发射通道,计算第2~N个发射通道相对于基准发射通道的幅度差和相位差;

[0008] S3.在给定的温度区间内,按照固定的温度步进逐步提升温度,并在每一个温度下重复执行步骤S1~S2,然后对温度区间进行分段得到多个温度分段区间,拟合出每一个温度分段区间下第2~N个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

[0009] S4.在通过数字相控阵进行发射时,根据实际的温度所在的温度分段区间,获取第2~N个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数,计算第2~N个发射通道相对于基准通道的相位差和幅度差,并据此进行发射通道幅相一致性校准。

[0010] 本发明的有益效果是:本发明考虑到各个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随着温度的变换的复杂性,如果在很大范围的温度内,很难一个函数关系进行描述,故将温度区间进行分段,每个分段内,函数关系是能够进行拟合确定的,因此本发明拟合出每一个温度分段区间下各个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随温度变化的关

系函数,从而在应用时根据实际环境温度能够得到各个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差,提高了校准的精度。

附图说明

[0011] 图1为本发明的方法流程图。

具体实施方式

[0012] 下面结合附图进一步详细描述本发明的技术方案,但本发明的保护范围不局限于以下所述。

[0013] 如图1所示,一种数字相控阵的发射通道幅相一致性校准方法,包括:

[0014] S1.产生发射校准信号,分别通过数字相控阵的N个发射通道后,检测各个发射通道输出信号的幅度信息和相位信息;

[0015] 所述步骤S1包括:

[0016] S101.产生发射校准信号,传输到数字相控阵的各个发射通道;所述数字相控阵共包含N个发射通道;

[0017] S102.发射校准信号经过发射通道后,对各个发射通道输出信号进行检测,得到各个发射通道输出信号的幅度和相位信息。

[0018] S2.选择数字相控阵的第一个发射通道作为基准发射通道,计算第2~N个发射通道相对于基准发射通道的幅度差和相位差;

[0019] 所述步骤S2包括:

[0020] 设基准发射通道输出信号的幅度信息为 A_1 ,相位信息为 θ_1 ;第2~N个发射通道输出信号的幅度信息为 $A_2, A_3, \dots, A_N$,第2~N个发射通道输出信号的相位信息为 $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_N$;

[0021] 第2~N个发射通道相对于基准发射通道的幅度差分别为 $\Delta A_2, \Delta A_3, \dots, \Delta A_N$:

[0022] $\Delta A_2 = A_2 - A_1$;

[0023] $\Delta A_3 = A_3 - A_1$

...

[0024] $\Delta A_N = A_N - A_1$

[0025] 第2~N个发射通道相对于基准发射通道的相位差分别为 $\Delta \theta_2, \Delta \theta_3, \dots, \Delta \theta_N$

$\Delta \theta_2 = \theta_2 - \theta_1$;

$\Delta \theta_3 = \theta_3 - \theta_1$,

[0026] ...

$\Delta \theta_N = \theta_N - \theta_1$

[0027] S3.在给定的温度区间内,按照固定的温度步进逐步提升温度,并在每一个温度下重复执行步骤S1~S2,然后对温度区间进行分段得到多个温度分段区间,拟合出每一个温度分段区间下第2~N个发射通道与基准发射通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

[0028] 所述步骤S3包括:

[0029] S301.设给定的温度区间为 $[T_{\min}, T_{\max}]$,固定的温度步进为 ΔT ,其中 $T_{\max} - T_{\min}$ 为 ΔT 的整数倍;在本申请的实施例中, $[T_{\min}, T_{\max}]$ 的范围为 $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$;在本申请的实施例中,

所述温度步进 ΔT 为 0.1 或 0.2°C ;

[0030] 在环境温度为 $T_{\text{MIN}}, T_{\text{MIN}} + \Delta T, T_{\text{MIN}} + 2\Delta T, \dots, T_{\text{MAX}}$ 时, 重复执行步骤 S1 ~ S2, 得到每一个温度下各个发射通道输出信号相对于基准发射通道输出信号的幅度差和相位差; 在本申请的实施例中, 温度调节方式可以是将测试环境放在室内, 调节室内温度实现。

[0031] S302. 对温度区间进行均匀分段, 得到多个温度分段区间, 每一个温度分段区间至少包含中的 M 个环境温度, M 不小于 5 ; 在本申请的实施例中每一个温度区间的最大温度和最小温度之差为 1°C 。

[0032] S302. 对于任意一个温度分段区间, 拟合出各个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数:

[0033] (1) 对于第 1 个发射通道, 由于第 1 个发射通道为基准通道, 故其与基准通道之间的幅度差和相位差均为 0 , 不随环境温度变化;

[0034] (2) 对于第 $2 \sim N$ 个发射通道中任意一个发射通道:

[0035] 在当前温度分段区间内共有 M 个环境温度 $T_1, T_2, \dots, T_M$, M 个环境温度对应的幅度差记为 $\Delta A^{T_1}, \Delta A^{T_2}, \dots, \Delta A^{T_M}$, 其中 ΔA^{T_j} 表示第 j 个环境温度对应的幅度差, M 个环境温度对应的相位差记为 $\Delta \theta^{T_1}, \Delta \theta^{T_2}, \dots, \Delta \theta^{T_M}$, 其中 $\Delta \theta^{T_j}$ 表示第 j 个环境温度对应的相位差, $j=1, 2, \dots, M$

[0036] 构建二次多项式回归模型:

[0037] $y = ax^2 + bx + c$

[0038] 其中, a, b, c 为待求解的模型参数, x, y 表示模型的自变量和因变量;

[0039] 利用 M 个环境温度构成的集合 $\{T_1, T_2, \dots, T_M\}$ 作为模型的自变量取值集合, 对应的幅度差集合 $\{\Delta A^{T_1}, \Delta A^{T_2}, \dots, \Delta A^{T_M}\}$ 作为模型的因变量取值集合, 对二次多项式回归模型进行拟合, 求解出模参数 a, b, c , 得到当前发射通道与基准通道之间幅度差随温度变化的关系;

[0040] 利用 M 个环境温度构成的集合 $\{T_1, T_2, \dots, T_M\}$ 作为模型的自变量取值集合, 对应的相位差构成集合 $\{\Delta \theta^{T_1}, \Delta \theta^{T_2}, \dots, \Delta \theta^{T_M}\}$ 作为模型的因变量取值集合, 对二次多项式回归模型进行拟合, 求解出参数 a, b, c , 得到当前发射通道与基准通道之间相位差随温度变化的关系;

[0041] (3) 对于第 $2 \sim N$ 个发射通道中每一个发射通道, 重复执行步骤 (2), 得到当前温度分段区间下, 第 $2 \sim N$ 个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

[0042] S303. 对于每一个温度分段区间, 重复执行步骤 S302, 得到每一个温度分段区间下, 第 $2 \sim N$ 个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数。

[0043] S4. 在通过数字相控阵进行发射时, 根据实际的温度所在的温度分段区间, 获取第 $2 \sim N$ 个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数, 计算第 $2 \sim N$ 个发射通道相对于基准通道的相位差和幅度差, 并据此进行发射通道幅相一致性校准。

[0044] 所述步骤 S4 包括:

[0045] S401. 在通过数字相控阵进行发射时, 测量实际环境温度, 并判断实际环境温度所在的温度分段区间, 然后获取该温度分段区间下, 第 $2 \sim N$ 个发射通道中每一个发射通道与基准通道之间幅度差、相位差随温度变化的关系函数;

[0046] S402. 对于第 $2 \sim N$ 个发射通道中的每一个发射通道, 将实际环境温度带入发射通

道与基准通道之间幅度差随温度变化的关系函数,得到该发射通道与基准通道之间幅度差;

[0047] S403.对于第2~N个发射通道中的每一个发射通道,将实际环境温度带入发射通道与基准通道之间幅度差随温度变化的关系函数,得到该发射通道与基准通道之间幅度差;

[0048] S404.在在通过数字相控阵进行发射时,利用第2~N个发射通道中的每一个发射通道与基准通道之间的幅度差和相位差,对第2~N个发射通道进行补偿,使其输出信号保持与基准发射通道的幅相一致性。

[0049] 在本申请的实施例中,这里的幅度和相位一致性是指:使得第2~N个发射通道与第一个发射通道输出的信号幅度和相位保持一致,校准的方式,可以根据计算得到的幅度差和相位差,通过调节第2~N个发射通道内的衰减/放大器,以及移相器实现;也可以根据计算得到的幅度差和相位差,预先对第2~N个发射通道的输入信号进行幅度和相位调节。

[0050] 需要说明的是,利用本申请的方法也可以实现对接收通道的校准,校准方式同理,这里就不再赘述。

[0051] 以上所述是本发明的优选实施方式,应当理解本发明并非局限于本文所披露的形式,不应该看作是对其他实施例的排除,而可用于其他组合、修改和环境,并能够在本文所述构想范围内,通过上述教导或相关领域的技术或知识进行改动。而本领域人员所进行的改动和变化不脱离本发明的精神和范围,则都应在本发明所附权利要求的保护范围内。

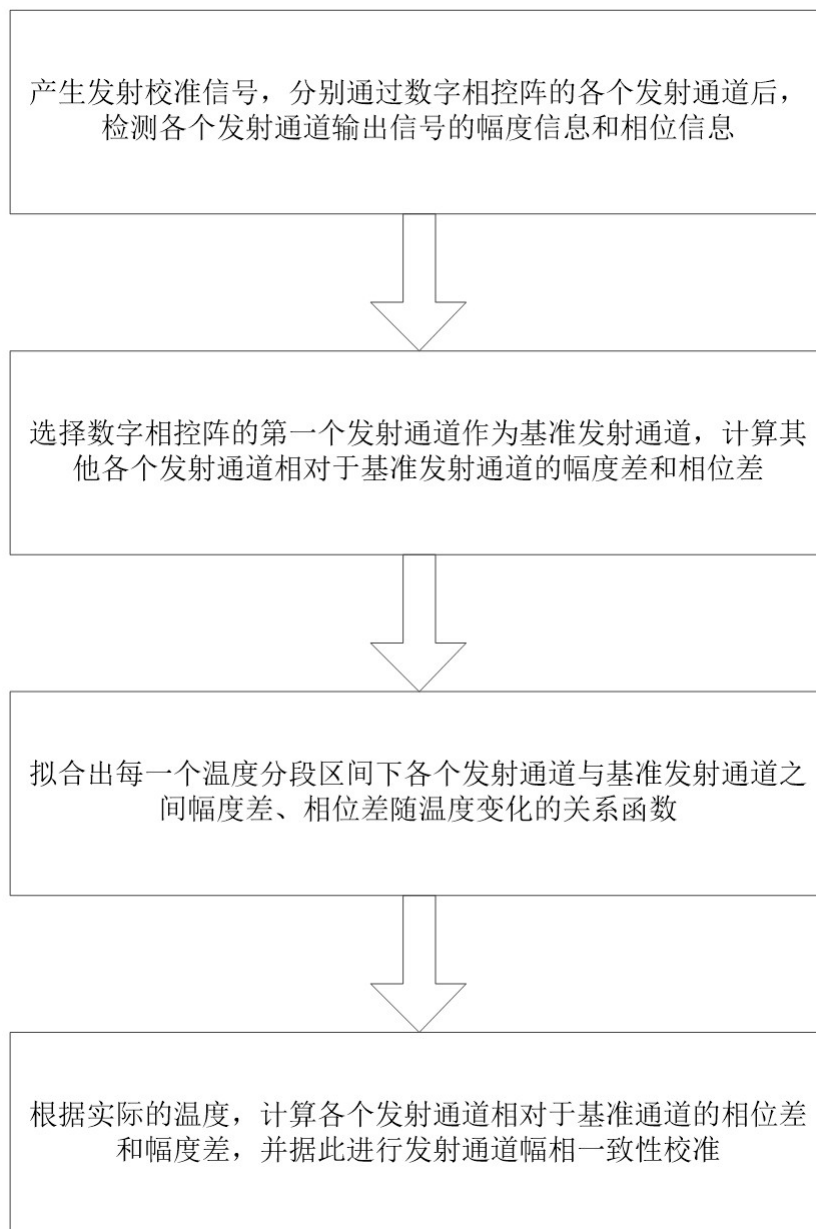


图1