



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105137395 B

(45)授权公告日 2017.06.20

(21)申请号 201510451891.7

(22)申请日 2015.07.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105137395 A

(43)申请公布日 2015.12.09

(73)专利权人 电子科技大学
地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72)发明人 王文钦 代苗苗 邵怀宗 陈慧

(74)专利代理机构 成都正华专利代理事务所
(普通合伙) 51229

代理人 李蕊

(51)Int.Cl.
G01S 7/02(2006.01)

(56)对比文件
CN 103592635 A,2014.02.19,全文.
US 2006/0152403 A1,2006.06.13,全文.
US 2009/0058717 A1,2009.03.05,全文.

Waseem Khan et.al.Frequency Diverse Array Radar With Logarithmically Increasing Frequency Offset.《IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROGAGATION LETTERS》.2014,第499-502页.

Waseem Khan et.al.Frequency Diverse Array Radar With Time-Dependent Frequency Offset.《IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS》.2014,第758-761页.

Long Zhuang et.al.Precisely Beam Steering for Frequency Diverse Arrays Based on Frequency Offset Selection.《RADAR》.2010,全文.

Kuandong Gao et.al.Impacts of frequency increment errors on frequency diverse array beampattern.《EURASIP Journal on Advances in Signal Processing》.2015,全文.

审查员 鹿倩

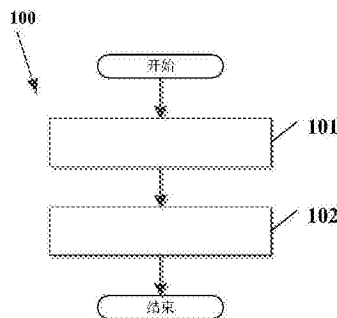
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种设定 FDA 雷达的频率差的方法及装置

(57)摘要

本发明公开了一种设定FDA雷达的频率差的方法及装置,该方法包括:构建步骤:根据FDA雷达的模糊函数构建包含有频率差的代价函数;以及搜索步骤:搜索频率差,将使得代价函数最小的频率差设定为FDA雷达的频率差。



1. 一种设定FDA雷达的频率差的方法,其特征是,包括:

构建步骤:根据所述FDA雷达的模糊函数构建包含有所述频率差的

代价函数;以及

搜索步骤:搜索所述频率差,将使得所述代价函数最小的频率差设定为所述FDA雷达的频率差;

其中,所述构建步骤进一步包括:

第一积分计算步骤:计算所述模糊函数的P范数在预先设定的较小距离角度范围内的第一积分;

第二积分计算步骤:计算所述模糊函数的P范数在预先设定的较大距离角度范围内的第二积分;以及

比值计算步骤:将所述第一积分与所述第二积分的比值作为所述代价函数。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征是,所述搜索步骤进一步包括:

频率差矩阵产生步骤:在预先设定的元素取值范围内,随机选取多个互不相等的元素值以产生频率差矩阵并保存;

第一代价函数值计算步骤:根据保存的频率差矩阵计算第一代价函数值;

元素值更改步骤:更改保存的频率差矩阵中的任一元素值;

第二代价函数值计算步骤:根据更改后的频率差矩阵计算第二代价函数值;

第一更新步骤:当第一代价函数值大于第二代价函数值时,将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵;

第二更新步骤:当第一代价函数值小于第二代价函数值时,根据第一代价函数值与第二代价函数值的差值和控制变量计算接受概率值并根据所述接受概率值将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵,所述控制变量具有一个初始值;

控制变量调整步骤:当在所述控制变量不变的情况下所述频率差矩阵被更改的次数达到预先设定的次数时,调整所述控制变量;以及频率差输出步骤:当所述控制变量小于预先设定的下限值时,输出保存的频率差矩阵以设定FDA雷达的频率差。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征是,所述搜索步骤进一步包括:当在所述控制变量不变的情况下所述频率差矩阵被更改的次数小于预先设定的次数时,返回所述第一代价函数值计算步骤。

4. 根据权利要求2所述的方法,其特征是,所述搜索步骤进一步包括:当所述控制变量大于预先设定的下限值时,返回所述第一代价函数值计算步骤。

5. 根据权利要求2所述的方法,其特征是,在所述元素值更改步骤中,更改后的元素值与该元素在之前任一次的值均不相同。

6. 根据权利要求2所述的方法,其特征是,所述接受概率值根据公式 $p = \exp(-\Delta F/k * Tmp)$ 计算得到,其中,p表示所述接受概率值,exp()表示以自然对数e为底的指数函数, ΔF 表示第一代价函数值与第二代价函数值的差值,k表示波尔兹曼常数,Tmp表示所述控制变量。

7. 一种设定FDA雷达的频率差的装置,其特征是,包括:

构建模块,用于根据所述FDA雷达的模糊函数构建包含有所述频率差的代价函数;以及

搜索模块,用于搜索所述频率差,将使得所述代价函数最小的频率差设定为所述FDA雷

达的频率差；

其中，所述构建模块进一步包括：

第一积分计算模块，用于计算所述模糊函数的P范数在预先设定的较小距离角度范围内的第一积分；

第二积分计算模块，用于计算所述模糊函数的P范数在预先设定的较大距离角度范围内的第二积分；以及

比值计算模块，用于将所述第一积分与所述第二积分的比值作为所述代价函数。

8. 根据权利要求7所述的装置，其特征是，所述搜索模块进一步包括：

频率差矩阵产生模块，用于在预先设定的元素取值范围内，随机选取多个互不相等的元素值以产生频率差矩阵并保存；

第一代价函数值计算模块，用于根据保存的频率差矩阵计算第一代价函数值；

元素值更改模块，用于更改保存的频率差矩阵中的任一元素值；

第二代价函数值计算模块，用于根据更改后的频率差矩阵计算第二代价函数值；

第一更新模块，用于当第一代价函数值大于第二代价函数值时，将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵；

第二更新模块，用于当第一代价函数值小于第二代价函数值时，根据第一代价函数值与第二代价函数值的差值和控制变量计算接受概率值并根据所述接受概率值将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵，所述控制变量具有一个初始值；

控制变量调整模块，用于当在所述控制变量不变的情况下所述频率差矩阵被更改的次数达到预先设定的次数时，调整所述控制变量；以及

频率差输出模块，用于当所述控制变量小于预先设定的下限值时，输出保存的频率差矩阵以设定FDA雷达的频率差。

一种设定FDA雷达的频率差的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及FDA雷达技术领域,尤其涉及一种设定FDA雷达的频率差的方法及装置。

背景技术

[0002] 频率分级阵列雷达(FDA,Frequency Diverse Radar)在同一时间对不同的阵元施加了不同的频率差,即:每个阵元发射出去的信号频率不相同。这些发射出去的信号在空间上相互叠加,会使FDA雷达波束在空间上呈现出某些距离角度位置上加强,其他距离角度位置上减弱的特性。

[0003] 现有的FDA雷达的频率差通常是线性设定的,也就是说,通常会选取一个远小于FDA雷达的中心频率 f_0 的频率差 Δf_m ,第一个阵元的发射信号的中心频率为 f_0 ,第 n 个阵元的发射信号的中心频率为 $f_0+(n-1)\Delta f_m$ 。

[0004] 现有的一些技术文献研究了如何优化FDA雷达的发射信号。但是,还没有披露通过调整频率差来优化FDA雷达发射信号的技术方案。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种设定FDA雷达的频率差的方法及装置,使得FDA雷达的发射信号得到优化。

[0006] 本发明的一个实施例提供了一种设定FDA雷达的频率差的方法,包括:构建步骤:根据FDA雷达的模糊函数构建包含有频率差的代价函数;以及搜索步骤:搜索频率差,将使得代价函数最小的频率差设定为FDA雷达的频率差。

[0007] 本发明的另一个实施例提供了一种设定FDA雷达的频率差的装置,包括:构建模块,用于根据FDA雷达的模糊函数构建包含有频率差的代价函数;以及搜索模块,用于搜索频率差,将使得代价函数最小的频率差设定为FDA雷达的频率差。

附图说明

[0008] 通过阅读下文优选实施方式的详细描述,各种其他的优点和益处对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。附图仅用于示出优选实施方式的目的,而并不认为是对本发明的限制。而且在整个附图中,用相同的参考符号表示相同的部件。其中在附图中,参考数字之后的字母标记指示多个相同的部件,当泛指这些部件时,将省略其最后的字母标记。在附图中:

[0009] 图1为本发明的设定FDA雷达的频率差的方法的一个实施例的流程图;

[0010] 图2为图1所示方法中的步骤101的一个实施例的流程图;

[0011] 图3为图1所示方法中的步骤102的一个实施例的流程图;

[0012] 图4为本发明的设定FDA雷达的频率差的装置一个实施例的示意性框图。

[0013] 在附图中,使用相同或类似的标号来指代相同或类似的元素。

具体实施方式

[0014] 现在将参考附图来详细描述本发明的示例性实施方式。应当理解，附图中示出和描述的实施方式仅仅是示例性的，意在阐释本发明的原理和精神，而并非限制本发明的范围。

[0015] 参考图1，图1为本发明的设定FDA雷达的频率差的方法的一个实施例100的流程图。图1所示的实施例100可以包含如下步骤101至102。

[0016] 步骤101是构建步骤：根据FDA雷达的模糊函数构建包含有频率差的代价函数。

[0017] 在本发明的一个实施例中，参考图2，步骤101可以包含如下子步骤201至203。

[0018] 子步骤201是第一积分计算步骤：计算模糊函数的P范数在预先设定的最小距离角度范围内的第一积分。

[0019] 在本发明的一个实施例中，模糊函数可以用如下公式(1)来表示：

[0020]

$$\chi(\tau, \nu, \theta, r, \theta', r')$$

$$= M \times \sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M \left\{ \exp \left[j2\pi \left(\frac{T_0 (\Delta f_m - \Delta f_{m'}) - \frac{(\Delta f_m r - \Delta f_{m'} r')}{c_0}}{+ \frac{f_0 d ((m-1) \sin \theta - (m'-1) \sin \theta')}{c_0}} \right) \right] \times \chi_{m,m'}(\tau, \nu) \right\} \quad (1)$$

[0021] 其中，M表示FDA雷达中的阵元总数，exp表示以自然对数e为底的指数函数， T_0 表示一个固定的导向矢量时刻， τ 表示延时， ν 表示多普勒频移， θ 表示第一方位角， r 表示第一距离， θ' 表示第二方位角， r' 表示第二距离， c_0 表示光速， f_0 表示中心频率， Δf_m 表示第一频率差，

$\Delta f_{m'}$ 表示第二频率差。 $\chi_{m,m'}(\tau, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} u_m(t) u_{m'}^*(t+\tau) e^{j2\pi \nu t} dt$ ，其中， $u_m(t) = \phi_m(t) e^{-j2\pi f_m t}$ ，*表示取共轭， $f_m = f_0 + \Delta f_m$ ， $\phi_m(t)$ 表示第m个阵元的发射信号的包络。

[0022] 相应的，上述的模糊函数的P范数在预先设定的较小距离角度范围内的第一积分可以表示为：

$$[0023] \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \int_{r_{\min}}^{\theta_{\max}} \int_{r_{\min}}^{\theta_{\max}} \int_{r_{\min}}^{\theta_{\max}} |\chi(\tau, \nu, \theta, r, \theta', r')|^P dr dr' d\theta d\theta' d\nu d\tau$$

[0024] 其中，预先设定的较小距离角度范围是由 $r_{\min} < r < r_{\max}$ 且 $\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$ 所限定的范围， r_{\min} 表示较小距离范围中的距离最小值， r_{\max} 表示较小距离范围中的距离最大值， θ_{\min} 表示较小角度范围中的角度最小值， θ_{\max} 表示较小角度范围中的角度最大值。预先设定的较小距离角度范围可以是需要干扰或跟踪的目标所在的区域范围。

[0025] 在本发明的一个实施例中，P范数中的P值可以等于1或者2。

[0026] 子步骤202是第二积分计算步骤：计算模糊函数的P范数在预先设定的较大距离角度范围内的第二积分。

[0027] 在本发明的一个实施例中，模糊函数的P范数在预先设定的较大距离角度范围内的第二积分可以表示为：

$$[0028] \quad \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} |\chi(\tau, \nu, \theta, r, \theta', r')|^p dr dr' d\theta d\theta' d\nu d\tau$$

[0029] 其中,预先设定的较大距离角度范围是由 $R_{\min} < r < R_{\max}$ 且 $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$ 所限定的范围, R_{\min} 表示较大距离范围中的距离最小值, R_{\max} 表示较大距离范围中的距离最大值。预先设定的较大距离角度范围可以是FDA雷达能够干扰或跟踪的区域范围。

[0030] 在本发明的一个实施例中,预先设定的较小距离角度范围是完全被包含在较大距离角度范围内的区域。

[0031] 子步骤203是比值计算步骤:将第一积分与第二积分的比值作为代价函数。

[0032] 在本发明的一个实施例中,代价函数可以用如下公式(2)来表示:

[0033]

$$F_p(C) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} |\chi(\tau, \nu, \theta, r, \theta', r')|^p dr dr' d\theta d\theta' d\nu d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} |\chi(\tau, \nu, \theta, r, \theta', r')|^p dr dr' d\theta d\theta' d\nu d\tau} \quad (2)$$

[0034] 其中,C表示由各个阵元的频率差所组成的矩阵,即:频率差矩阵。

[0035] 步骤102是搜索步骤:搜索频率差,将使得代价函数最小的频率差设定为FDA雷达的频率差。

[0036] 在本发明的一个实施例中,可以在预先设定的较小距离角度范围内,搜索多组频率差,并根据这些频率差计算代价函数值,然后将代价函数值最小的频率差作为在该预先设定的较小距离角度范围内最优的频率差。

[0037] 在本发明的一个实施例中,参考图3,步骤102可以包含如下子步骤301至308。

[0038] 子步骤301是频率差矩阵产生步骤:在预先设定的元素取值范围内,随机选取多个互不相等的元素值以产生频率差矩阵并保存。

[0039] 在本发明的一个实施例中,频率差矩阵C中的每一个元素的初始值可以从预先设定的范围 $\{1, \dots, K\}$ 中随机选取。在本发明的一个实施例中,选取时还可以使得频率差矩阵中的任意两个元素的值均不相等。

[0040] 子步骤302是第一代价函数值计算步骤:根据保存的频率差矩阵计算第一代价函数值。

[0041] 在本发明的一个实施例中,可以将保存的频率差矩阵C代入上述的公式(2)以计算得到第一代价函数值 $F_p(C)$ 。

[0042] 需要说明的是,当第一次执行子步骤302时,保存的频率差矩阵指的是经由子步骤301产生的初始的频率差矩阵。当非第一次执行子步骤302时,保存的频率差矩阵指的是经由子步骤304或305保存下来的频率差矩阵。

[0043] 子步骤303是元素值更改步骤:更改保存的频率差矩阵中的任一元素值。

[0044] 在本发明的一个实施例中,可以在保存的频率差矩阵中随机地选择一个元素,并从预先设定的范围 $\{1, \dots, K\}$ 中随机选取一个值。由于子步骤303可能会被多次循环执行,矩阵中的某一个元素值也就有可能被不止一次地被修改,在本发明的一个实施例中,更改后的元素值与该元素在之前任一次的值均不相同。

[0045] 子步骤304是第二代价函数值计算步骤:根据更改后的频率差矩阵计算第二代价函数值。

[0046] 如果经过子步骤303更改以后的频率差矩阵用 C' 表示,则可以将 C' 代入上述的公式(2)并计算得到第二代价函数值 $F_p(C')$ 。

[0047] 子步骤305是第一更新步骤:当第一代价函数值大于第二代价函数值时,将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵。

[0048] 当第一代价函数值大于第二代价函数值时,说明更改后的频率差 C' 是更为优化的选择,则可以将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵并舍弃原有的频率差矩阵 C 。

[0049] 子步骤306是第二更新步骤:当第一代价函数值小于第二代价函数值时,根据第一代价函数值与第二代价函数值的差值和控制变量计算接受概率值并根据接受概率值将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵。

[0050] 当第一代价函数值小于第二代价函数值时,为了防止一直停留于局部极小点,可以以一定的概率值决定是将更改后的频率差矩阵 C' 作为保存的频率差矩阵还是将更改前的频率差矩阵 C 作为保存的频率差矩阵。具体来说,可以通过如下方法:首先根据第一代价函数值与第二代价函数值的差值和控制变量计算接受概率值,具体来说,可以通过如下公式来计算接受概率值:

[0051] $p = \exp(-\Delta F/k*Tmp)$,其中, p 表示接受概率值, $\exp()$ 表示以自然对数 e 为底的指数函数, ΔF 表示第一代价函数值与第二代价函数值的差值, k 表示波尔兹曼常数, Tmp 表示控制变量,控制变量可以有一个初始值,并且,控制变量的值可以通过下面的子步骤307调整。

[0052] 然后产生0到1之间的随机数 a ,若 $p > a$ 则将更改后的频率差矩阵 C' 作为保存的频率差矩阵,否则将更改前的频率差矩阵 C 作为保存的频率差矩阵 C 。

[0053] 子步骤307是控制变量调整步骤:当在控制变量不变的情况下频率差矩阵被更改的次数达到预先设定的次数时,调整控制变量。

[0054] 在本发明的一个实施例中,当在控制变量不变的情况下频率差矩阵被更改的次数达到预先设定的次数时,可以按照预先设计的调整策略,降低控制变量 Tmp 的值并进入子步骤308。

[0055] 在本发明的一个实施例中,当在控制变量不变的情况下频率差矩阵被更改的次数小于预先设定的次数时,则可以保持控制变量不变并返回子步骤302并执行子步骤302到子步骤306。

[0056] 上述的预先设定的次数可以是在性能和运算量/运算时间之间进行权衡后设定的。

[0057] 子步骤308是频率差输出步骤:当控制变量小于预先设定的下限值时,输出保存的频率差矩阵以设定FDA雷达的频率差。

[0058] 当经过子步骤307调整后的控制变量小于预先设定的下限值时,可以认为对频率差的搜索已经达到可以接受的程度,因此,可以用保存的频率差矩阵中的元素值对FDA雷达的频率差进行设定。

[0059] 该预先设定的下限值可以是在性能和运算量/运算时间之间进行权衡后设定的。

[0060] 在本发明的一个实施例中,当经过子步骤307调整后的控制变量大于预先设定的

下限值时,可以基于调整后的控制变量返回子步骤302。

[0061] 至此描述了根据本发明实施例的设定FDA雷达的频率差的方法。

[0062] 本发明提出的设定FDA雷达的频率差的方法,能够通过选取适当的频率差来对FDA雷达的发射信号进行优化,从而使得其模糊函数在主瓣值不降的前提下旁瓣值降低。

[0063] 与该方法类似,本发明还提供了相应的设定FDA雷达的频率差的装置。

[0064] 图4所示为本发明的设定FDA雷达的频率差的装置一个实施例400的示意性框图。

[0065] 如图所示,装置400可以包括:构建模块401,用于根据FDA雷达的模糊函数构建包含有频率差的代价函数;以及搜索模块402,用于搜索频率差,将使得代价函数最小的频率差设定为FDA雷达的频率差。

[0066] 在本发明的一个实施例中,构建模块401可以进一步包括:第一积分计算模块,用于计算模糊函数的P范数在预先设定的较小距离角度范围内的第一积分;第二积分计算模块,用于计算模糊函数的P范数在预先设定的较大距离角度范围内的第二积分;以及比值计算模块,用于将第一积分与第二积分的比值作为代价函数。

[0067] 在本发明的一个实施例中,搜索模块402可以进一步包括:频率差矩阵产生模块,用于在预先设定的元素取值范围内,随机选取多个互不相等的元素值以产生频率差矩阵并保存;第一代价函数值计算模块,用于根据保存的频率差矩阵计算第一代价函数值;元素值更改模块,用于更改保存的频率差矩阵中的任一元素值;第二代价函数值计算模块,用于根据更改后的频率差矩阵计算第二代价函数值;第一更新模块,用于当第一代价函数值大于第二代价函数值时,将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵;第二更新模块,用于当第一代价函数值小于第二代价函数值时,根据第一代价函数值与第二代价函数值的差值和控制变量计算接受概率值并根据接受概率值将更改后的频率差矩阵作为保存的频率差矩阵;控制变量调整模块,用于当在控制变量不变的情况下频率差矩阵被更改的次数达到预先设定的次数时,调整控制变量;以及频率差输出模块,用于当控制变量小于预先设定的下限值时,输出保存的频率差矩阵以设定FDA雷达的频率差。

[0068] 至此描述了根据本发明实施例的设定FDA雷达的频率差的装置。

[0069] 本发明提出的设定FDA雷达的频率差的装置,能够通过选取适当的频率差来对FDA雷达发射信号进行优化,从而使得其模糊函数在主瓣值不降的前提下旁瓣值降低。

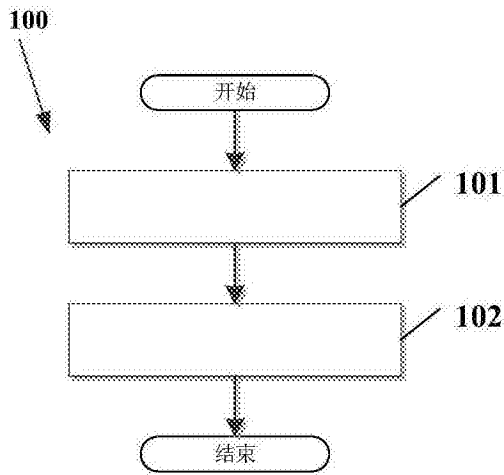


图1

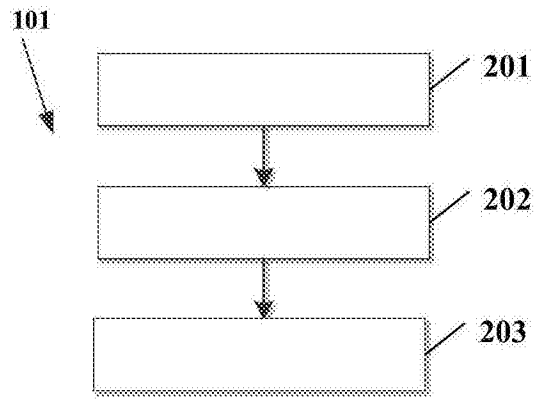


图2

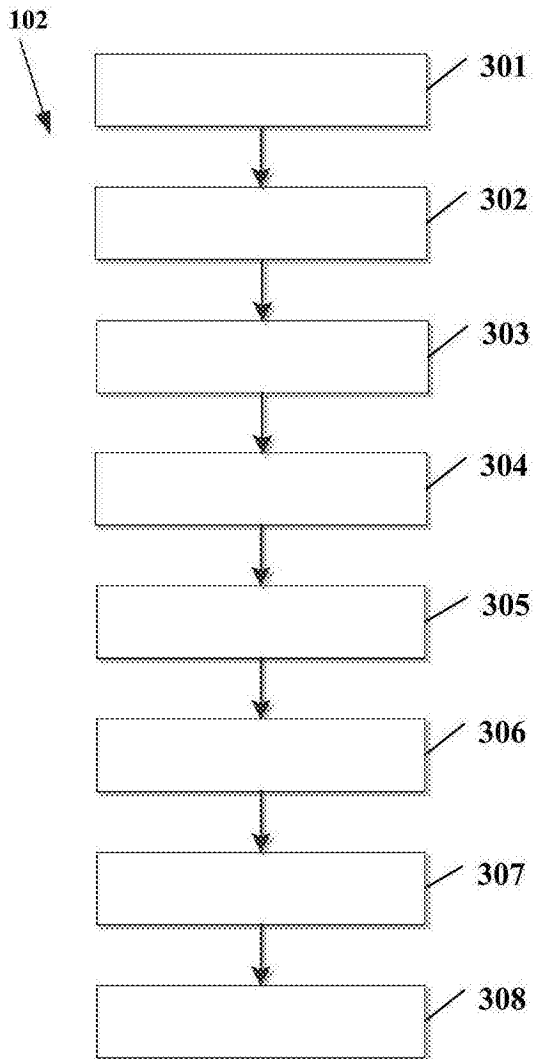


图3

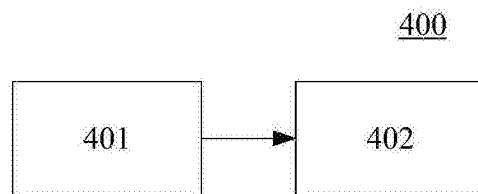


图4