

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 4 月 28 日 (28.04.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/083091 A1

(51) 国际专利分类号:
G06N 10/00 (2019.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/089966

(22) 国际申请日: 2021 年 4 月 26 日 (26.04.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202011141385.5 2020 年 10 月 22 日 (22.10.2020) CN

(71) 申请人: 苏州浪潮智能科技有限公司
(**INSPUR SUZHOU INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市吴中

区吴中经济开发区郭巷街道官浦路 1 号 9 幢, Jiangsu 215000 (CN)。

(72) 发明人: 李辰(**LI, Chen**); 中国江苏省苏州市吴中区郭巷街道官浦路 1 号 9 幢, Jiangsu 215000 (CN)。张新(**ZHANG, Xin**); 中国江苏省苏州市吴中区郭巷街道官浦路 1 号 9 幢, Jiangsu 215000 (CN)。姜金哲(**JIANG, Jinzhe**); 中国江苏省苏州市吴中区郭巷街道官浦路 1 号 9 幢, Jiangsu 215000 (CN)。赵雅倩(**ZHAO, Yaqian**); 中国江苏省苏州市吴中区郭巷街道官浦路 1 号 9 幢, Jiangsu 215000 (CN)。李仁刚(**LI, Rengang**); 中国江苏省苏州市吴中区郭巷街道官浦路 1 号 9 幢, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司
(**UNITALEN ATTORNEYS AT LAW**); 中国北京

(54) **Title:** QUANTUM DECOHERENCE DEGREE MEASUREMENT METHOD AND APPARATUS, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 量子退相干程度检测方法、装置及电子设备和存储介质

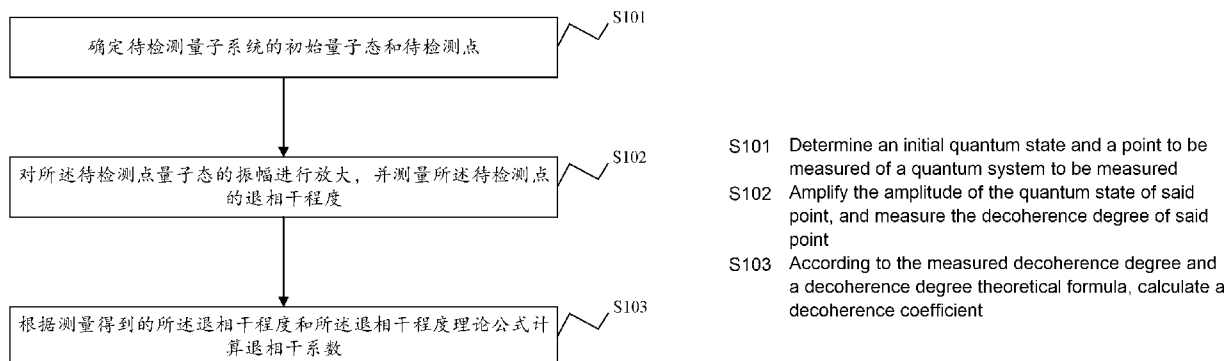


图 1

(57) **Abstract:** A quantum decoherence degree measurement method and apparatus, an electronic device and a computer-readable storage medium. Said method comprises: determining an initial quantum state and a point to be measured of a quantum system to be measured (S101); amplifying the amplitude of the quantum state of said point, and measuring the decoherence degree of said point (S102); and according to the decoherence degree, calculating a decoherence coefficient of said quantum system (S103). In the quantum decoherence degree measurement method, the amplitude of the quantum state of said point in said quantum system is amplified, and the probability of said point is obtained by means of measurement, so as to measure the decoherence degree of said point. Furthermore, according to the measured decoherence degree, the decoherence coefficient of said quantum system can be calculated quantitatively, providing an effective method for decoherence analysis of quantum systems.

(57) **摘要:** 一种量子退相干程度检测方法、装置及一种电子设备和计算机可读存储介质, 该方法包括: 确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点(S101); 对所述待检测点量子态的振幅进行放大, 并测量所述待检测点的退相干程度(S102); 根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数(S103)。该量子退相干程度检测方法, 将待检测量子系统中待检测点量子态的振幅放大, 测量得到其概率, 以测量待检测点的退相干程度。同时, 根据测量得到的退相干程度可以定量计算待检测量子系统的退相干系数, 提供了有效的量子系统退相干分析方法。

市朝阳区建国门外大街22号赛特广场
7层, Beijing 100004 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

量子退相干程度检测方法、装置及电子设备和存储介质

本申请要求于 2020 年 10 月 22 日提交中国专利局、申请号为 202011141385.5、发明名称为“量子退相干程度检测方法、装置及电子设备和存储介质”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及量子计算技术领域，更具体地说，涉及一种量子退相干程度检测方法、装置及一种电子设备和一种计算机可读存储介质。

10 背景技术

量子计算是一种利用量子力学性质（如叠加和纠缠等）进行运算的新型计算。目前已证明量子计算在某些领域有远超经典计算的计算能力。在量子计算体系中，信息以量子比特的形式进行存储。与经典比特类似，量子比特也有状态，它可以是 $|0\rangle$ 或 $|1\rangle$ 这两种基态，也可以是 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的线性组合，称为叠加态。量子态容易受外界环境影响，导致信息失真。处于叠加态的量子比特会随时间推移与周围的物理环境产生纠缠，导致量子比特中储存的信息丢失，这一现象称为退相干。

在目前使用广泛的超导量子计算机和核磁共振量子计算机中，常见的量子退相干是由能量流失引起的。对于单个量子比特，状态 $|0\rangle$ 是能量最低的状态，也是最稳定的状态。所有处于其他状态的系统的能量会随时间流失，逐渐向状态 $|0\rangle$ 坍缩。量子比特的退相干程度随时间呈指数级上升。发生退相干后，量子信息就变为经典信息，丧失掉其量子优势。解决退相干问题一直是量子计算的难题之一，目前有大量研究探索延长量子退相干的时间。但目前为止，还没有系统的量子退相干程度测量方法被提出。

因此，如何检测量子退相干程度是本领域技术人员需要解决的技术问题。

发明内容

本申请的目的在于提供一种量子退相干程度检测方法、装置及一种电子设备和一种计算机可读存储介质，实现了检测量子退相干程度。

为实现上述目的，本申请提供了一种量子退相干程度检测方法，包括：
确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点；

5 对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的退相干程度；

根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数。

其中，所述测量所述待检测点的退相干程度，包括：

根据所述待检测量子系统的类型确定对应的测量方式，并利用所述测量方式测量所述待检测点的退相干程度。

其中，所述利用所述测量方式测量所述待检测点的退相干程度，包括：

利用所述测量方式对所述待检测点的退相干程度进行多次测量，并将所有测量结果的平均值作为最终的退相干程度。

其中，对所述待检测点量子态的振幅进行放大，包括：

15 确定所述待检测点对应的相位翻转矩阵；其中，若所述待检测点为第 k 个位点，则所述相位翻转矩阵中第 k 个对角元为-1，其他对角元为 1，非对角元为 0；

采用 Grover 算法基于所述相位翻转矩阵对所述待检测点量子态的振幅进行多次放大。

20 其中，还包括：

根据所述初始量子态计算所述待检测点的振幅放大次数；其中，所述振幅放大次数的计算公式具体为：

$$R = \left\lceil \frac{\pi}{4} \sqrt{N} \right\rceil;$$

其中，R 为所述振幅放大次数，N 为所述初始量子态中的位点总数。

25 其中，所述根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数，包括：

通过比较所述待检测点量子态的实际振幅放大程度与假设不发生退相干时的振幅放大程度确定退相干程度理论公式；

根据测量得到的所述退相干程度和所述退相干程度理论公式计算退相

干系数。

其中，所述退相干程度理论公具体为：

$Dc = \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{-\frac{t}{T}}} \right)$ ；其中，Dc 为所述退相干程度，t 为时间，T 为退相干系数， $\cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{-\frac{t}{T}}} \right)$ 为所述待检测点量子态的实际振幅放大程度，假

5 设不发生退相干时的振幅放大程度为 1。

为实现上述目的，本申请提供了一种量子退相干程度检测装置，包括：

确定模块，用于确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点；

测量模块，用于对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的退相干程度；

10 计算模块，用于根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数。

为实现上述目的，本申请提供了一种电子设备，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如上述量子退相干程度检测

15 方法的步骤。

为实现上述目的，本申请提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如上述量子退相干程度检测方法的步骤。

20 通过以上方案可知，本申请提供了一种量子退相干程度检测方法，包括：确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点；对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的退相干程度；根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数。

本申请提供的量子退相干程度检测方法，将待检测量子系统中待检测点量子态的振幅放大，测量得到其概率，以测量待检测点的退相干程度。

25 同时，根据测量得到的退相干程度可以定量计算待检测量子系统的退相干系数。由此可见，本申请提供的量子退相干程度检测方法，提供了有效的量子系统退相干分析方法。本申请还公开了一种量子退相干程度检测装置

及一种电子设备和一种计算机可读存储介质，同样能实现上述技术效果。

应当理解的是，以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性的，并不能限制本申请。

5 附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。附图是用来提供对本公开的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本公开，但并不构成对本公开的限制。在附图中：

图1为根据一示例性实施例示出的一种量子退相干程度检测方法的流程图；

15 图2为根据一示例性实施例示出的一种Grover算法的示意图；

图3为根据一示例性实施例示出的一种退相干程度检测方法的线路图；

图4为根据一示例性实施例示出的一种量子退相干程度检测装置的结构图；

图5为根据一示例性实施例示出的一种电子设备的结构图。

20

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的

25 范围。

本申请实施例公开了一种量子退相干程度检测方法，实现了检测量子退相干程度。

参见图1，根据一示例性实施例示出的一种量子退相干程度检测方法的

流程图，如图1所示，包括：

S101：确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点；

单量子比特的状态可表示为 $|\varphi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ ， α 和 β 为复数，且 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ 。故单量子比特状态也可以表示成维度为 2 的向量 $(\alpha, \beta)^T$ ，该向量的模长为 1。对量子系统的测量操作会使系统随机地坍缩到基态，概率取决于每个基态前的系数。当多个量子比特纠缠在一起时，对应的基态数会呈指数上升。N 个量子比特纠缠的系统有 2^N 种基态，系统状态可表示为基态的线性叠加。

在本步骤中，首先确定待检测量子系统的初始量子态，若是曾经已制备并保存的量子态，可直接进入下一步，若是需要分析一种新的量子态情况，需制备此量子态。其中，待检测量子系统的初始量子态为：

$$|\phi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{2^N-1} |x\rangle;$$

其中，x 为初始量子态中的位点，N 为初始量子态中的位点总数。

其次，在初始化量子态中的所有位点中确定待检测的量子位点 k，量子位点 k 的初始量子态为 $|k\rangle$ 。

S102：对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的退相干程度；

在具体实施中，对待检测点反转后的量子态的振幅进行放大，并测量待检测点的概率，即将 $|k\rangle$ 前系数放大，经过多轮操作后理论上测量得到 $|k\rangle$ 的概率应接近 100%。

作为一种可行的实施方式，对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的概率，包括：确定所述待检测点对应的相位翻转矩阵；其中，若所述待检测点为第 k 个位点，则所述相位翻转矩阵中第 k 个对角元为 -1，其他对角元为 1，非对角元为 0；采用 Grover 算法基于所述相位翻转矩阵对所述待检测点量子态的振幅进行多次放大。

在具体实施中，将待检测点 k 进行相位反转后待检测量子系统的量子态为：

$$|\phi_1\rangle = \frac{\sqrt{N-1}}{\sqrt{N}} \sum_{x=0, x \neq k}^{2^N-1} |x\rangle - \frac{1}{\sqrt{N}} |k\rangle。$$

Grover 算法示意图如图 2 所示, 图中待检测量子系统的初始化量子态为 $|\varphi\rangle$, 经过一次翻转为 $O|\varphi\rangle$, 两次翻转后为 $G|\varphi\rangle$, 可见, 每次 Grover 操作可将 $|x\rangle$ 朝着 $|k\rangle$ 翻转一定角度, 多次操作后逐渐接近 $|k\rangle$ 。Grover 操作次数即振幅放大次数可以根据初始量子态进行计算, 即本实施例还包括: 根据所述初始量子态计算所述待检测点的振幅放大次数。

设 $\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \sqrt{(N-1)/N}$, $\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = \sqrt{1/N}$, 则操作 R 次有

$$G^R|\varphi_1\rangle = \cos\left(\frac{2R+1}{2}\theta\right) \sum_{x=0, x \neq k}^{2^{N-1}} |x\rangle + \sin\left(\frac{2R+1}{2}\theta\right) |k\rangle, \text{ 操作次数 } R \text{ 满足}$$

$$\frac{2R+1}{2}\theta = \frac{\pi}{2}, \quad \text{当 } N \text{ 很大时, 有}$$

$$\theta \approx \sin\theta = 2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = 2 \frac{\sqrt{N-1}}{\sqrt{N}} \frac{1}{\sqrt{N}} \approx \frac{2}{\sqrt{N}}, \text{ 则 } R = \left\lceil \frac{\pi}{4} \sqrt{N} \right\rceil。$$

可以理解的是, 对于不同的待检测量子系统, 可以采用不同的测量方式测量待检测点的退相干程度, 即所述测量所述待检测点的退相干程度, 包括: 根据所述待检测量子系统的类型确定对应的测量方式, 并利用所述测量方式测量所述待检测点的退相干程度。以光量子体系为例, 其对应的测量方式为测量待检测点的偏振特征, 待检测点 k 的偏振特性为 I_k , 测量得到偏振符合 I_k 的概率 P , 也就是测量得到 $|k\rangle$ 的概率, 则退相干程度 $D_c = 1 - P$ 。

为了准确测量待检测点的退相干程度, 可以对待检测点的退相干程度进行多次测量, 将所有测量结果的平均值作为最终的退相干程度, 即所述利用所述测量方式测量所述待检测点的退相干程度, 包括: 利用所述测量方式对所述待检测点的退相干程度进行多次测量, 并将所有测量结果的平均值作为最终的退相干程度。

S103: 根据测量得到的所述退相干程度和所述退相干程度理论公式计算退相干系数。

在具体实施中, 通过比较所述待检测点量子态的实际振幅放大程度与假设不发生退相干时的振幅放大程度确定退相干程度理论公式; 根据测量得到的所述退相干程度和所述退相干程度理论公式计算退相干系数。

对于发生退相干的情况，发生退相干时体系的量子态为：

$$|\phi_2\rangle = \left(\sqrt{1 - \frac{1}{N}} e^{\frac{t}{T}} \right) \sum_{x=0, x \neq k}^{2^N-1} |x\rangle - \left(\frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{e^{\frac{t}{T}}} \right) |k\rangle;$$

经过 Grover 算法操作后末态量子态为：

$$G^{R'} |\phi_2\rangle = \cos\left(\frac{2R'+1}{2}\theta'\right) \sum_{x=0, x \neq k}^{2^N-1} |x\rangle - \sin\left(\frac{2R'+1}{2}\theta'\right) |k\rangle;$$

5 同样考虑 N 很大的情况，有

$$\theta' \approx \sin\theta' = 2\sqrt{1 - \frac{1}{N}} e^{\frac{t}{T}} \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{e^{\frac{t}{T}}} \approx \frac{2}{\sqrt{N}} \sqrt{e^{\frac{t}{T}}}, \text{ 设经过 } R' \text{ 次 Grover 算法迭代}$$

才能满足接近 90 度，则 $R' = \left\lceil \frac{\pi}{4} \sqrt{N e^{t/T}} \right\rceil$ 。

当发生退相干后，仍按照 R 次操作，在对该量子态测量时得到 $|k\rangle$ 的概率不是 $\sin^2\left(\frac{2R+1}{2}\theta\right) \approx \sin^2\frac{\pi}{2} = 1$ ，而是 $\sin^2\left(\frac{2R+1}{2}\theta'\right) \approx \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{\frac{t}{T}}}\right)$ ，退

10 相干程度 Dc 表示为 $Dc = 1 - \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{\frac{t}{T}}}\right) = \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{\frac{t}{T}}}\right) = Me$ ，其中 Me 为测量到非 $|k\rangle$ 态的概率。

可见，当 t 很长，体系发生完全退相干时，测量到 $|k\rangle$ 的概率十分小，而测量到非 $|k\rangle$ 态的概率 Me 接近 100%，即退相干程度接近 100%。在上述公式中，步骤 S102 测量得到退相干程度 Dc，反推即可通过上述公式计算

15 得到退相干系数 T。

上述退相干程度检测方法的线路如图 3 所示，第一个 H 门是数据的初始化，若对已有的量子态分析则可省略此门，随后的 U_f 门使得待测位点的相位反转；之后 $U_f - H^{\otimes n} - U_{\neq 0^n} - H^{\otimes n}$ 四个门联合在一起为一次 Grover 操作，共操作 R 次，最后 Readout 即测量，不同的量子系统对应各自的测量

20 方式。

可见，若不采用本方法，直接测量到待检测点的概率 $P_0 = (1 - Dc) \times \frac{1}{N}$ ，而采用本方法后测量到待检测点的概率 $P = 1 - Dc$ ，效率远远高于直接测量。而其测量退相干的时间复杂度 $O\left(e^{\frac{t}{T}} \sqrt{N}\right)$ 也小于直接测量的时间复杂

度 $O\left(e^{\frac{t}{T}}N\right)$ 。本实施例利用 Grover 算法放大待检测点被监测到的概率，对其退相干程度进行定量测量。

本申请实施例提供的量子退相干程度检测方法，将待检测量子系统中待检测点量子态的振幅放大，测量得到其概率，以测量待检测点的退相干程度。同时，根据测量得到的退相干程度可以定量计算待检测量子系统的退相干系数。由此可见，本申请实施例提供的量子退相干程度检测方法，提供了有效的量子系统退相干分析方法。

下面对本申请实施例提供的一种量子退相干程度检测装置进行介绍，下文描述的一种量子退相干程度检测装置与上文描述的一种量子退相干程度检测方法可以相互参照。

参见图4，根据一示例性实施例示出的一种量子退相干程度检测装置的结构图，如图4所示，包括：

确定模块 401，用于确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点；
测量模块 402，用于对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的退相干程度；

计算模块 403，用于根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数。

本申请实施例提供的量子退相干程度检测装置，将待检测量子系统中待检测点量子态的振幅放大，测量得到其概率，以测量待检测点的退相干程度。同时，根据测量得到的退相干程度可以定量计算待检测量子系统的退相干系数。由此可见，本申请实施例提供的量子退相干程度检测装置，提供了有效的量子系统退相干分析方法。

在上述实施例的基础上，作为一种优选实施方式，所述测量模块 402 包括：

放大单元，用于对所述待检测点量子态的振幅进行放大；

测量单元，用于根据所述待检测量子系统的类型确定对应的测量方式，

并利用所述测量方式测量所述待检测点的退相干程度。

在上述实施例的基础上，作为一种优选实施方式，所述测量单元具体为根据所述待检测量子系统的类型确定对应的测量方式，利用所述测量方式对所述待检测点的退相干程度进行多次测量，并将所有测量结果的平均值作为最终的退相干程度的单元。

在上述实施例的基础上，作为一种优选实施方式，所述放大单元包括：

确定子单元，用于确定所述待检测点对应的相位翻转矩阵；其中，若所述待检测点为第 k 个位点，则所述相位翻转矩阵中第 k 个对角元为 -1，其他对角元为 1，非对角元为 0；

10 放大子单元，用于采用 Grover 算法基于所述相位翻转矩阵对所述待检测点量子态的振幅进行多次放大。

在上述实施例的基础上，作为一种优选实施方式，所述放大单元还包括：

15 计算子单元，用于根据所述初始量子态计算所述待检测点的振幅放大次数；其中，所述振幅放大次数的计算公式具体为：

$$R = \left\lceil \frac{\pi}{4} \sqrt{N} \right\rceil;$$

其中， R 为所述振幅放大次数， N 为所述初始量子态中的位点总数。

在上述实施例的基础上，作为一种优选实施方式，所述计算模块 403 包括：

20 确定单元，用于通过比较所述待检测点量子态的实际振幅放大程度与假设不发生退相干时的振幅放大程度确定退相干程度理论公式；

计算单元，用于根据测量得到的所述退相干程度和所述退相干程度理论公式计算退相干系数。

25 在上述实施例的基础上，作为一种优选实施方式，所述退相干程度理论公式具体为：

$$Dc = \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{-\frac{t}{T}}} \right); \text{ 其中, } Dc \text{ 为所述退相干程度, } t \text{ 为时间, } T \text{ 为退}$$

相干系数, $\cos^2\left(\frac{\pi}{2}\sqrt{e^{\frac{t}{T}}}\right)$ 为所述待检测点量子态的实际振幅放大程度, 假设不发生退相干时的振幅放大程度为 1。

关于上述实施例中的装置, 其中各个模块执行操作的具体方式已经在有关该方法的实施例中进行了详细描述, 此处将不做详细阐述说明。

5

本申请还提供了一种电子设备, 参见图 5, 本申请实施例提供的一种电子设备 500 的结构图, 如图 5 所示, 可以包括处理器 11 和存储器 12。该电子设备 500 还可以包括多媒体组件 13, 输入/输出 (I/O) 接口 14, 以及通信组件 15 中的一者或多者。

10 其中, 处理器 11 用于控制该电子设备 500 的整体操作, 以完成上述的量子退相干程度检测方法中的全部或部分步骤。存储器 12 用于存储各种类型的数据以支持在该电子设备 500 的操作, 这些数据例如可以包括用于在该电子设备 500 上操作的任何应用程序或方法的指令, 以及应用程序相关的数据, 例如联系人数据、收发的消息、图片、音频、视频等等。该存储器 15 12 可以由任何类型的易失性或非易失性存储设备或者它们的组合实现, 例如静态随机存取存储器 (Static Random Access Memory, 简称 SRAM), 电可擦除可编程只读存储器 (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, 简称 EEPROM), 可擦除可编程只读存储器 (Erasable Programmable Read-Only Memory, 简称 EPROM), 可编程只读存储器 20 (Programmable Read-Only Memory, 简称 PROM), 只读存储器 (Read-Only Memory, 简称 ROM), 磁存储器, 快闪存储器, 磁盘或光盘。多媒体组件 13 可以包括屏幕和音频组件。其中屏幕例如可以是触摸屏, 音频组件用于输出和/或输入音频信号。例如, 音频组件可以包括一个麦克风, 麦克风用于接收外部音频信号。所接收的音频信号可以被进一步存储在存储器 12 25 或通过通信组件 15 发送。音频组件还包括至少一个扬声器, 用于输出音频信号。I/O 接口 14 为处理器 11 和其他接口模块之间提供接口, 上述其他接口模块可以是键盘, 鼠标, 按钮等。这些按钮可以是虚拟按钮或者实体按钮。通信组件 15 用于该电子设备 500 与其他设备之间进行有线或无线通信。

无线通信，例如 Wi-Fi，蓝牙，近场通信（Near Field Communication，简称 NFC），2G、3G 或 4G，或它们中的一种或几种的组合，因此相应的该通信组件 15 可以包括：Wi-Fi 模块，蓝牙模块，NFC 模块。

在一示例性实施例中，电子设备 500 可以被一个或多个应用专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit，简称 ASIC）、数字信号处理器（Digital Signal Processor，简称 DSP）、数字信号处理设备（Digital Signal Processing Device，简称 DSPD）、可编程逻辑器件（Programmable Logic Device，简称 PLD）、现场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array，简称 FPGA）、控制器、微控制器、微处理器或其他电子元件实现，用于执行上述的量子退相干程度检测方法。

在另一示例性实施例中，还提供了一种包括程序指令的计算机可读存储介质，该程序指令被处理器执行时实现上述量子退相干程度检测方法的步骤。例如，该计算机可读存储介质可以为上述包括程序指令的存储器 12，上述程序指令可由电子设备 500 的处理器 11 执行以完成上述的量子退相干程度检测方法。

说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言，由于其与实施例公开的方法相对应，所以描述的比较简单，相关之处参见方法部分说明即可。应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请原理的前提下，还可以对本申请进行若干改进和修饰，这些改进和修饰也落入本申请权利要求的保护范围内。

还需要说明的是，在本说明书中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一

个.....”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

权 利 要 求

1、一种量子退相干程度检测方法，其特征在于，包括：

确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点；

对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的退相干程度；

根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数。

2、根据权利要求 1 所述量子退相干程度检测方法，其特征在于，所述测量所述待检测点的退相干程度，包括：

根据所述待检测量子系统的类型确定对应的测量方式，并利用所述测量方式测量所述待检测点的退相干程度。

3、根据权利要求 2 所述量子退相干程度检测方法，其特征在于，所述利用所述测量方式测量所述待检测点的退相干程度，包括：

利用所述测量方式对所述待检测点的退相干程度进行多次测量，并将所有测量结果的平均值作为最终的退相干程度。

4、根据权利要求 1 至 3 中任一项所述量子退相干程度检测方法，其特征在于，对所述待检测点量子态的振幅进行放大，包括：

确定所述待检测点对应的相位翻转矩阵；其中，若所述待检测点为第 k 个位点，则所述相位翻转矩阵中第 k 个对角元为 -1，其他对角元为 1，非对角元为 0；

采用 Grover 算法基于所述相位翻转矩阵对所述待检测点量子态的振幅进行多次放大。

5、根据权利要求 4 所述量子退相干程度检测方法，其特征在于，还包括：

根据所述初始量子态计算所述待检测点的振幅放大次数；其中，所述振幅放大次数的计算公式具体为：

$$R = \left\lceil \frac{\pi}{4} \sqrt{N} \right\rceil;$$

其中， R 为所述振幅放大次数， N 为所述初始量子态中的位点总数。

6、根据权利要求 5 所述量子退相干程度检测方法，其特征在于，所述根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数，包括：

通过比较所述待检测点量子态的实际振幅放大程度与假设不发生退相干时的振幅放大程度确定退相干程度理论公式；

根据测量得到的所述退相干程度和所述退相干程度理论公式计算退相干系数。

- 5 7、根据权利要求6所述量子退相干程度检测方法，其特征在于，所述退相干程度理论公具体为：

$$Dc = \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{-\frac{t}{T}}} \right); \text{ 其中, } Dc \text{ 为所述退相干程度, } t \text{ 为时间, } T \text{ 为退}$$

相干系数, $\cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{e^{-\frac{t}{T}}} \right)$ 为所述待检测点量子态的实际振幅放大程度, 假设不发生退相干时的振幅放大程度为 1。

- 10 8、一种量子退相干程度检测装置，其特征在于，包括：

确定模块，用于确定待检测量子系统的初始量子态和待检测点；

测量模块，用于对所述待检测点量子态的振幅进行放大，并测量所述待检测点的退相干程度；

- 15 计算模块，用于根据所述退相干程度计算所述待检测量子系统的退相干系数。

- 9、一种电子设备，其特征在于，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如权利要求1至7任一项所述量子退相干程度检测方法的步骤。

- 20 10、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至7任一项所述量子退相干程度检测方法的步骤。

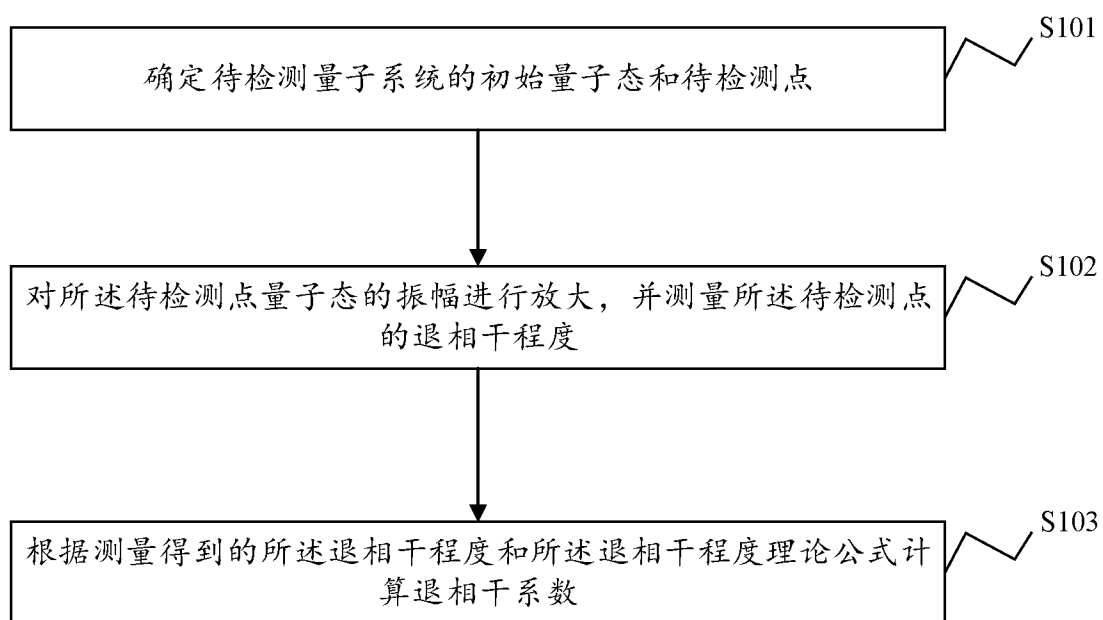


图 1

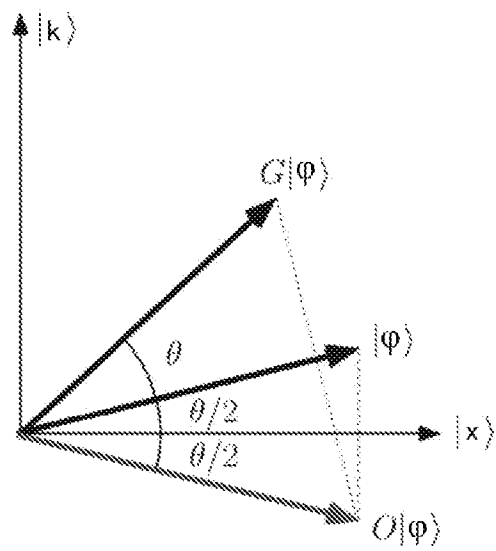


图 2

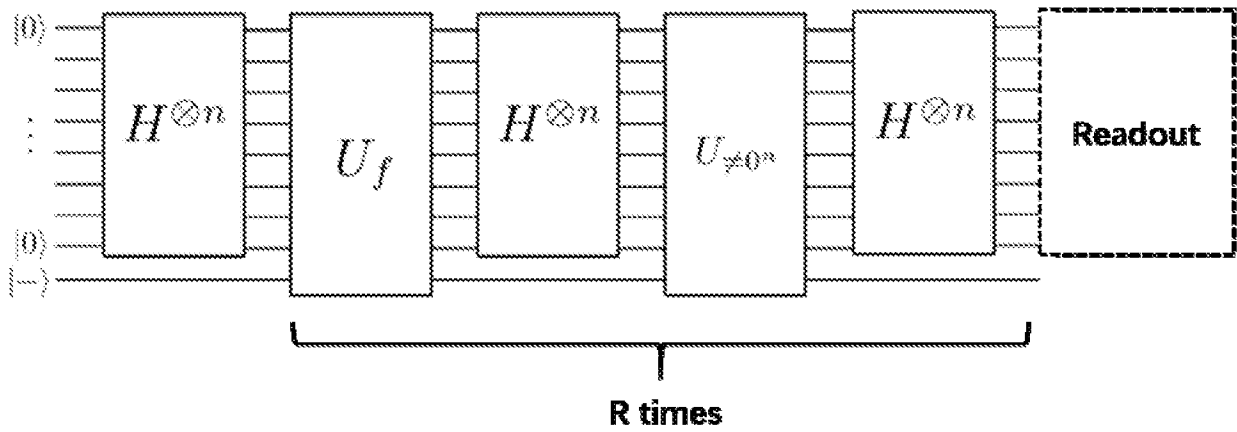


图 3

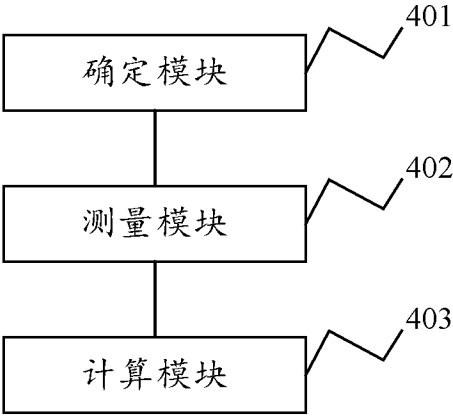


图 4

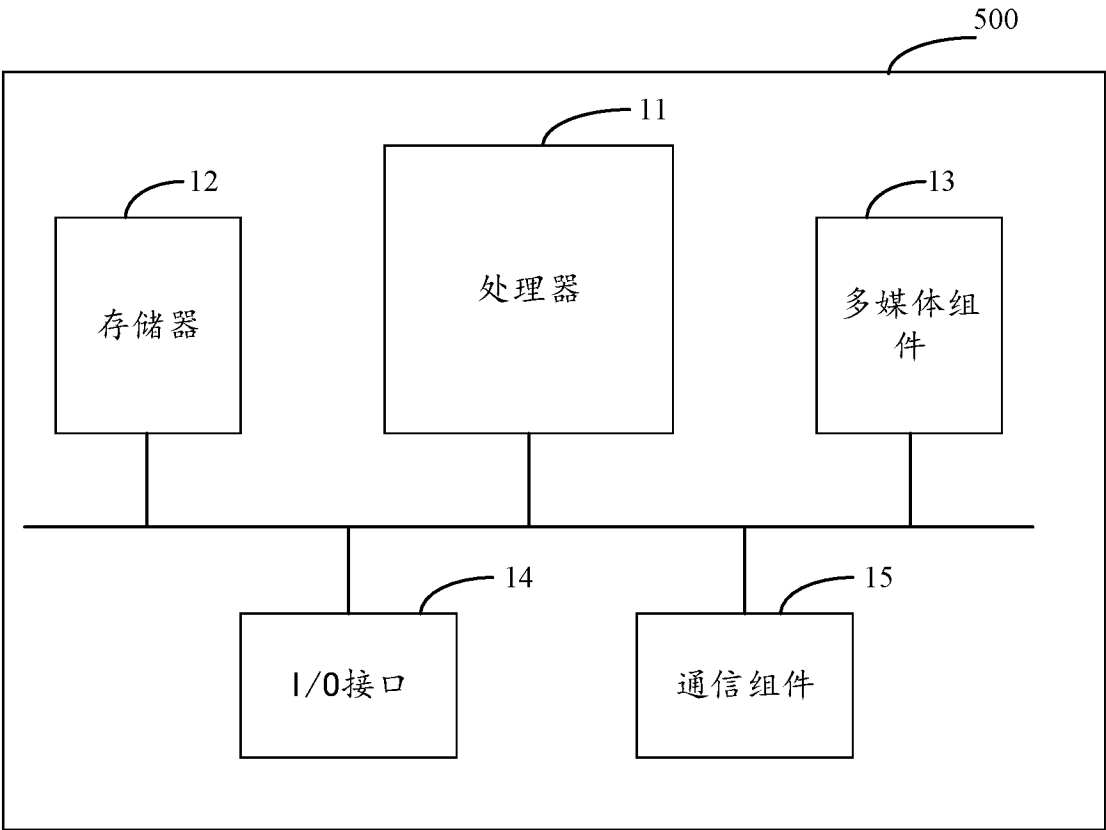


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/089966

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N 10/00(2019.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 量子, 态, 退相干, 测量点, 振幅, 放大, 系数, 程度, 相位, 翻转, quantum, state, decoherence, detect, amplitude, amplifying, coefficient, degree, rate, phasic, turn, revers+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112270411 A (SUZHOU INSPUR INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 26 January 2021 (2021-01-26) claims 1-10	1-10
A	LO, Tung-Sheng et al. "Mode Dependency of Quantum Decoherence Studied via an Aharonov-Bohm Interferometer" <i>PHYSICAL REVIEW LETTERS</i> , 24 February 2016 (2016-02-24), pp. 1-4	1-10
A	CN 111598248 A (NANJING XILINGLU INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD.) 28 August 2020 (2020-08-28) entire document	1-10
A	KUBALA, Bjorn et al. "Decoherence in a double-dot Aharonov-Bohm interferometer: Numerical renormalization group study" <i>PHYSICAL REVIEW B</i> 90, 31 December 2014 (2014-12-31), pp. 1-4	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 July 2021

Date of mailing of the international search report

29 July 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/ CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/089966

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	王国友 等 (WANG, Guoyou et al.). "量子退相位通道中量子Fisher信息动力学 (Dynamics of Quantum Fisher Information Under Pure Dephasing Channel)" 湖南工业大学学报 (<i>Journal of Hunan University of Technology</i>), 31 January 2015 (2015-01-31), pp. 98-100	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/089966

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	112270411	A	26 January 2021	None	
CN	111598248	A	28 August 2020	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/089966

A. 主题的分类

G06N 10/00 (2019.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

G06N

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 量子, 态, 退相干, 测量点, 振幅, 放大, 系数, 程度, 相位, 翻转, quantum, state, decoherence, detect, amplitude, amplifying, coefficient, degree, rate, phasic, turn, revers+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 112270411 A (苏州浪潮智能科技有限公司) 2021年 1月 26日 (2021 - 01 - 26) 权利要求1-10	1-10
A	LO, Tung-Sheng 等. "Mode Dependency of Quantum Decoherence Studied via an Aharonov-Bohm Interferometer" PHYSICAL REVIEW LETTERS, 2016年 2月 24日 (2016 - 02 - 24), 第1-4页	1-10
A	CN 111598248 A (南京希凌陆信息科技有限公司) 2020年 8月 28日 (2020 - 08 - 28) 全文	1-10
A	KUBALA, Bjorn 等. "Decoherence in a double-dot Aharonov-Bohm interferometer: Numerical renormalization group study" PHYSICAL REVIEW B 90, 2014年 12月 31日 (2014 - 12 - 31), 第1-4页	1-10
A	王国友 等. "量子退相位通道中量子Fisher信息动力学" 湖南工业大学学报, 2015年 1月 31日 (2015 - 01 - 31), 第98-100页	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2021年 7月 7日

国际检索报告邮寄日期

2021年 7月 29日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

李楠

电话号码 86-(10)-53961438

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/089966

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	112270411	A	2021年 1月 26日	无	
CN	111598248	A	2020年 8月 28日	无	