

有噪量子信道生存函数研究及其仿真*

张琳[†] 聂敏 刘晓慧

(西安邮电大学, 通信与信息工程学院, 西安 710061)

(2013年3月3日收到; 2013年4月18日收到修改稿)

为了构建高生存性的量子信令网, 基于保真度概念, 提出量子信道生存函数和信令网生存性的概念. 分析光纤和自由空间生存系数, 计算三种消相干机理下有噪量子信道保真度, 给出生存函数测试模型. 仿真分析表明, 通过降低量子态跃迁率, 控制光纤衰减损耗和大气衰减系数, 减小量子态演化时间, 设置量子中继, 可以建立高生存性量子信道, 为量子纠缠信令网标准的制定提供理论基础.

关键词: 量子通信, 量子信令网, 保真度, 生存函数

PACS: 03.67.Hk, 42.50.Lc, 42.50.Nn, 89.70.-a

DOI: 10.7498/aps.62.150301

1 引言

量子信令^[1,2]因其传递信息的载体是纠缠光子, 不可避免的与环境发生相互作用, 两者发生量子纠缠^[3], 这会导致信令信息的错误, 使得网络因信令的扰乱而全部瘫痪. 量子信令网络是由量子通信终端、网络设备以及相应的量子信道构成. 其中, 量子信道衰减^[4]是量子信令衰减的主要因素, 直接影响整个信令网络的生存性. 因此, 信道的生存性就可作为一个参考来衡量整个网络的抗干扰性.

目前量子通信^[5,6]研究主要集中于量子存储技术^[7]、纠缠态的制备和操纵方法^[8]、量子中继器的实现^[9]、量子态隐形传输^[10]、自由空间下量子纠缠态的分发^[11]、量子密码学^[12]等问题上, 而对量子信道生存函数研究尚未展开. 为此, 本文研究有噪量子信道生存函数, 提出信道生存函数和信令网生存函数, 定义光纤和自由空间信道生存系数, 分析信令保真度. 仿真分析表明, 可以作为构建量子信令网的一种标准, 本文仅考虑三种有噪量子信道对信道生存函数的影响.

2 信道生存函数和信令网生存函数

在经典通信网络中, 生存性泛指网络经受各种故障, 甚至灾难性故障后仍能维持可接受的业务质量的能力, 它主要是指通信网络在随机破坏作用下仍可继续提供服务的能力^[13,14]. 当我们只研究量子噪声随机破坏信道时, 可以根据经典通信网生存函数的概念, 如下定义量子信道生存函数以及信令网生存函数.

我们定义: 信令态经过三种消相干机理影响的有噪量子信道保真度和信道生存函数成正比例关系, 而信令网络的生存性就是信道生存函数的加权平均. 经过一段时间演化, 如果初始信令量子态和经过信道衰减后的信令量子态的保真度高, 也就是与初始量子态越接近, 那么信令网络能够继续提供服务的概率越大, 也就是生存性越好. 根据定义, 我们可以将此信道的生存函数表示为

$$S = \xi F, \quad (1)$$

其中 $0 < \xi < 1$, 是信道生存系数, 它与信道的物理结构和所处环境有关, F 是保真度. 接下来具体分析生存系数 ξ 和保真度 F .

* 国家自然科学基金 (批准号: 61172071)、陕西省自然科学基金基础研究计划 (批准号: 2010JM8021) 和陕西省教育厅自然科学研究项目 (批准号: 2011JK1017) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: linlin_1106@126.com

3 光纤和自由空间信道生存系数分析

在量子保密通信中,量子信令采用弱光信号传输量子信息,而光信号对大气中的尘埃、雾、雨、雪以及光纤的材质等因素非常敏感,这些因素都会限制信号的传输,进而影响信令网的生存性.为此我们定义生存系数 ξ ,它是衡量信道是否易于传输量子信令的标准,与信道的物理结构和所处环境有关.下面,我们分别分析光纤和自由空间下的生存系数 ξ .

光纤产生损耗的原因很多,主要是由于杂质吸收引起的损耗.根据 ITU-T 的建议,在 1550 nm 窗口, G.652 光纤衰减系数为 0.4 dB/km,而目前衰减最小的 G.654 的单模光纤衰减系数 α 为 0.18 dB/km^[15].因此,我们规定:光纤衰减系数 α 为 0.4 dB/km 的信道生存系数 $\xi_f = 0.8$;光纤衰减系数 α 为 0.18 dB/km 的信道生存函数 $\xi_f = 0.98$.根据一一映射原理和两点确定一条直线定理,参照上述定义的映射点 $X_1(0.4, 0.8)$ 和 $X_2(0.18, 0.98)$,可求得生存系数 ξ_f 和光纤衰减系数 α 的一一对应关系,即光纤传输量子信令的生存系数为

$$\xi_f = 62/55 - 9\alpha/11, \quad (2)$$

其中 $0 < \xi_f < 1$, α 是光纤衰减系数.

自由空间中,考虑到大气对量子信令的吸收、散射、和湍流等因素的影响,量子信令的衰减系数^[16]为

$$A = 10 \lg \left[\frac{L^2 \lambda^2}{D_T^2 D_R^2} \frac{1}{T_T (1 - L_p) T_R} \right] + 10 \lg \left(1 + \frac{D_T^2}{r_0^2} \right) + A_{\text{atm}} L \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

其中 L 为通信信道长度, λ 为光信号的波长, D_T 和 D_R 分别为发送端和接收端的望远镜孔径, T_T 和 T_R 分别为发送端和接收端望远镜传输因子, L_p 为定位损耗, r_0 为大气相干长度, A_{atm} 为大气衰减系数.

自由空间传输以量子卫星通信^[16]为例,衰减系数最小的是 Ground-LEO 的 6.4 dB/km,而最大的是 Ground-GEO 的 64.5 dB/km.我们规定:衰减系数 A 为 6.4 dB/km 的信道生存系数 $\xi_s = 0.98$;衰减系数 A 为 64.5 dB/km 的信道生存系数 $\xi_s = 0.8$.类似上述求法,根据映射点 $Y_1(6.4, 0.98)$ 和 $Y_2(64.5, 0.8)$ 可得到自由空间传输量子信令的生存系数为

$$\xi_s = 5809/5810 - 9A/2905, \quad (4)$$

其中 $0 < \xi_s < 1$, A 是量子信令衰减系数.

通过以上的办法,将光纤和自由空间下的量子信令衰减系数转化为生存系数 ξ ,作为判断信道物理条件是否利于传输量子信令的依据.光纤衰减系数 α 和量子信号衰减系数 A 越小,生存系数 ξ 越大.

4 量子信道生存函数分析

量子信令在信道中总与外界环境发生相互作用,两者发生量子纠缠,从而导致消相干现象.引起消相干的原因有自发幅度衰变、退极化和相位阻尼.在一般情况下,量子信道中必然会同时存在三种消相干机理导致的信令畸变.下面分别分析三种消相干机理对信令保真度的影响,进而分析信道生存函数.

4.1 自发幅度衰变

设环境系统 E 量子态为 $|e\rangle_E$, 信令系统 A 的初始信令量子态为

$$|\phi\rangle_A = a|0\rangle_A + b|1\rangle_A, \quad (5)$$

其中 $|a|^2 + |b|^2 = 1$.

假设信令系统 A 的 $\rho_A = \begin{pmatrix} \rho_{00} & \rho_{01} \\ \rho_{10} & \rho_{11} \end{pmatrix}$. 辐射场真空涨落经过一段时间后,假设量子位以概率 p 从 $|1\rangle_A$ 跃迁到 $|0\rangle_A$, 环境量子态以概率 p 由真空态跃迁到有一个光子的状态 $|e\rangle_X$, 这个过程表示为量子位与环境组成的复合系统上的么正演化:

$$U: \begin{cases} |0\rangle_A \otimes |e\rangle_E \rightarrow |0\rangle_A \otimes |e\rangle_E, \\ |1\rangle_A \otimes |e\rangle_E \rightarrow \sqrt{1-p}|1\rangle_A \otimes |e\rangle_E \\ + \sqrt{p}|0\rangle_A \otimes |e\rangle_X, \end{cases} \quad (6)$$

即可得到

$$U(|\phi\rangle_A |e\rangle_E) = (a|0\rangle_A + \sqrt{1-p}b|1\rangle_A) + \sqrt{pb}|0\rangle_A |e\rangle_X, \quad (7)$$

为了计算信令系统 A 的演化算符 \mathcal{S} , Kraus 算符可取为

$$M_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \sqrt{1-p} \end{pmatrix}, \\ M_1 = \begin{pmatrix} 0 & \sqrt{p} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

其中 $M_0^\dagger M_0 + M_1^\dagger M_1 = 1$.

由此可得任意的 t 时刻描述量子位的密度算符

$$\begin{aligned} \rho_A^n &= M_0 \rho_A M_0^\dagger + M_1 \rho_A M_1^\dagger \\ &= \begin{pmatrix} \rho_{00} + p\rho_{11} & \sqrt{1-p}\rho_{01} \\ \sqrt{1-p}\rho_{10} & (1-p)\rho_{11} \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (9)$$

最后, 在 $t = n\Delta t$ 内系统的演化为

$$\begin{aligned} \rho_A^n &= \\ &= \begin{pmatrix} \rho_{00} + [1 - (1-p)^n]\rho_{11} & (1-p)^{n/2}\rho_{01} \\ (1-p)^{n/2}\rho_{10} & (1-p)^n\rho_{11} \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (10)$$

初始信令 A 的密度算符可以表示为

$$\rho_A = \begin{pmatrix} |a|^2 & ab \\ ab & |b|^2 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

根据纯态和任意态的保真度公式

$$F = \sqrt{\langle \varphi | \rho | \varphi \rangle}, \quad (12)$$

其中 $|\varphi\rangle$ 表示信令系统 A 的量子态, ρ 表示任意态的密度算符. 根据 (12) 式, 得出信令初态和经过自发幅度衰变影响的量子态保真度

$$F = \sqrt{a^4 + a^2b^2 - a^2b^2(1-p)^n + 2a^2b^2(1-p)^{n/2} + (1-p)^nb^4}, \quad (13)$$

其中 $|a|^2 + |b|^2 = 1$.

将上式化简, 令 $a^2 = a$, $b^2 = b$, $(1-p)^{n/2} = r$, 可得

$$F_t = \sqrt{a[2r(1-a)(1-r(1-1/2a)) + 1]}, \quad (14)$$

由以上分析可得, 随着时间的演化 $n \rightarrow \infty$, $r \rightarrow 0$, $F \rightarrow \sqrt{a}$.

根据 (1) 式, 将生存函数表示为

$$\begin{aligned} S_t &= \xi_t F_t \\ &= \xi_t \sqrt{a[2r(1-a)(1-r(1-1/2a)) + 1]}, \end{aligned} \quad (15)$$

ξ_t 是自发幅度衰变生存系数, 它与信道的物理结构和所处环境有关. 当 $n \rightarrow \infty$, $S_t \rightarrow \xi_t \sqrt{a}$.

4.2 退极化

设信令系统 A 与环境系统 E 的演化过程为

$$|\varphi\rangle_A \otimes |0\rangle_E U_{AE} \sqrt{1-p} |\varphi\rangle_A \otimes |0\rangle_E$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= \sum_{\mu} M_{\mu} \rho_A M_{\mu}^\dagger = (1-p)\rho_A + \frac{p}{3}(\sigma_1 \rho_A \sigma_1 + \sigma_2 \rho_A \sigma_2 + \sigma_3 \rho_A \sigma_3) \\ &= \begin{pmatrix} \rho_{00} + \frac{2p}{3}(\rho_{11} - \rho_{00}) & \left(1 - \frac{4p}{3}\rho_{01}\right) \\ \left(1 - \frac{4p}{3}\right)\rho_{11} & \rho_{11} + \frac{2p}{3}(\rho_{11} - \rho_{00}) \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (17)$$

根据 (12) 式, 求得信令初态和经过退极化影响的量子态保真度为

$$F_t = \sqrt{1 - \frac{2p}{3}}, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} &+ \sqrt{\frac{p}{3}}[\sigma_1 |\varphi\rangle_A \otimes |1\rangle_E + \sigma_2 |\varphi\rangle_A \otimes |2\rangle_E \\ &+ \sigma_3 |\varphi\rangle_A \otimes |3\rangle_E], \end{aligned} \quad (16)$$

其中

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \\ \sigma_2 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \\ \sigma_3 &= \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

类似于前面的求法, 对信令系统 A 中的初始密度算符的演化可以表示为

则生存函数表示为

$$S_t = \xi_t F_t = \xi_t \sqrt{1 - \frac{2p}{3}}, \quad (19)$$

其中 ξ_t 是退极化生存系数.

4.3 相位阻尼

信令系统 A 与环境系统 E 的么正演化可以表示为

$$U: \begin{cases} |0\rangle_A \otimes |0\rangle_E \rightarrow \sqrt{1-p}|0\rangle_A \otimes |0\rangle_E \\ \quad + \sqrt{p}|0\rangle_A \otimes |1\rangle_E, \\ |1\rangle_A \otimes |0\rangle_E \rightarrow \sqrt{1-p}|1\rangle_A \otimes |0\rangle_E \\ \quad + \sqrt{p}|0\rangle_A \otimes |2\rangle_E. \end{cases} \quad (20)$$

类似可求得

$$\rho_A^n = \begin{pmatrix} \rho_{00} & (1-p)^n \rho_{01} \\ (1-p)^n \rho_{10} & \rho_{11} \end{pmatrix}. \quad (21)$$

根据 (12) 式, 求得信令初态和经过相位阻尼影响后量子态的保真度为

$$F_x = \sqrt{1 + 2a^2(1-a^2)(r^2 - 1)}, \quad (22)$$

其中 $(1-p)^{n/2} = r$. 则生存函数表示为

$$S_x = \xi_x F_x = \xi_x \sqrt{1 + 2a^2(1-a^2)(r^2 - 1)}, \quad (23)$$

其中 ξ_x 是相位阻尼生存系数.

$$n \rightarrow \infty, \quad r \rightarrow 0, \\ S_x \rightarrow \xi_x \sqrt{1 + 2a^4 - 2a^2}.$$

根据以上分析, 三种消相干机制共同作用量子纠缠信令网络的信道生存函数 S 可表示为

$$S = J_f S_f + J_t S_t + J_x S_x, \quad (24)$$

其中 $J_f + J_t + J_x = 1$. J 表示三种消相干机理在量子纠缠信令网中的影响因素. J 越大, 说明对应消相干因素对信令网影响越大.

5 量子信道生存函数测试网络模型和信令网生存函数

根据以上的讨论, 如图 1 所示, 我们给出量子信道在信令网中测试生存函数的网络模型. 根据信道的传输距离或者环境等条件决定测试点的情况.

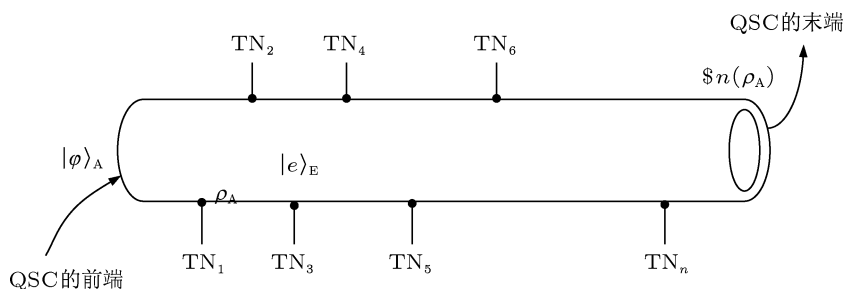


图 1 量子信道的生存函数测试网络模型

量子态是无法精确测量的, 一旦被测量, 量子物体就会发生“坍缩”, 从多种可能位置的状态变成类似经典物体的单一位置. 对此, 2006 年, Andrew Jordan 和 Alexander 等人提出, 应该有可能对量子粒子进行持续的微弱测量, 令量子态发生部分坍缩, 这时如果进行“去测量”(unmeasured), 那么粒子又能恢复到坍缩前的初始量子态. 这也就是所谓的量子“去坍缩”假说. 2008 年, Nadav 等人对该假说进行了检验 [17]. 研究人员发现, 的确可以对量子粒子进行“弱”测量, 并触发部分坍缩, 消除施加的破坏, 改变了粒子的特定属性, 并再次进行了类似的弱测量. 结果发现, 粒子回到了初始的量子态, 就好像从未被测量过一样. 根据量子去坍缩理论, 我们可以运用于量子信道生存函数测试网络模型.

在图 1 中, QSC 是量子信令信道, TN_i ($i =$

$1, 2, \dots, n$) 表示第 i 个生存函数测试节点, 每个 TN 设置去坍缩的量子设备, 保证经过每个 TN 点后的量子态未坍缩. 量子信令 $|\varphi\rangle_A$ 进入 QSC 前端与环境系统 $|e\rangle_E$ 开始发生纠缠. 随着时间演化, 信令的生存函数会发生变化, 我们在信道前后端设置相应的 TN 来评测当前信令信道的状态. n 与信令信道的距离 L 表示如下关系:

$$n = \log_2(L + 1), \quad (25)$$

当 L 较小时, 测量密集, 随着 L 的增加, 测量次数增加量相对减少. 如图 1 所示, 为了测量的准确性, 信道前端 TN 排列紧密, 在中后端 TN 相对减少. 说明信令信道需要有一个测试生存函数的模拟过程, 假设多次测量后信道传输信令可靠, 那么随着距离的增大, 测量次数可减少. 而对整个信令网来说, 就需

要作多次的量子信道生存函数测量, 然后再得出信令网生存函数, 则根据第一部分的信令网生存性定义, 量子信令网生存函数可以表示为

$$S_n = \sum_{i=1}^{TN} J_i S_i, \quad (26)$$

其中, S_i 是第 i 次信道生存函数, J_i 是测试比例系数, TN 是测试节点数.

6 仿真

我们分别仿真三种量子信道的生存函数. 图 2 和图 3 为自发幅度衰变信道下的生存函数, 图 4 为退极化信道下的生存函数, 图 5 和图 6 为相位阻尼信道下的生存函数.

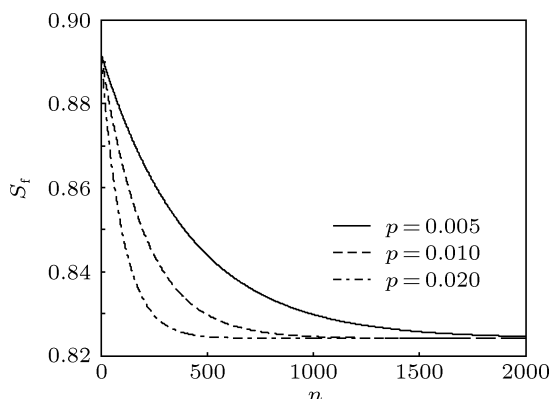


图 2 在不同跃迁率下时间演化和生存函数的关系

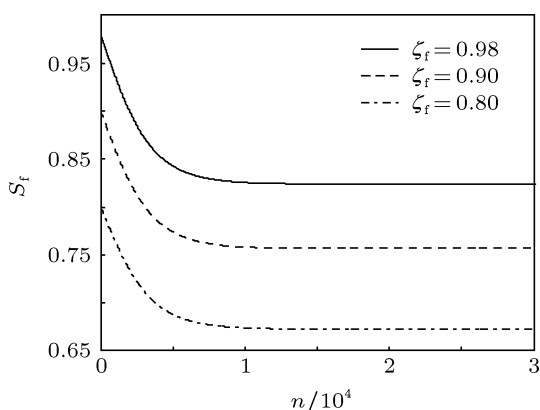


图 3 在不同生存系数下时间演化和生存函数的关系

图 2 和图 3 中, 信令的量子态为 $|\varphi\rangle_A = |0\rangle_A/\sqrt{2} + |1\rangle_A/\sqrt{2}$, 横坐标 n 表示时间演化次数, 纵坐标 S_f 表示信令网络生存函数, p 表示量子态跃迁率, ξ_f 表示自发幅度信道生存系数. 图 2 中, $\xi_f = 0.98$. 从图 2 可以看出, 生存函数随着演化

次数的增加而减小, 说明量子信令经过自发幅度衰变信道的的时间越久, 生存性就会降低, 但是最后会收敛于 $\xi_f\sqrt{a}$, 当 $n \rightarrow \infty$ 时, 根据 (15) 式可得 $S_f = \xi_f F_f = 0.98\sqrt{a} = 0.8241$, 与理论分析相符合. 从这看出需要增加中继来提高信令网络的生存性. 而随着 p 的增大其生存性也会降低, 因此应该大大降低信令出错率. 图 3 中, $p = 0.001$. 从图 3 中可以看出, 随着时间演化, S_f 会收敛于 $\xi_f\sqrt{a}$. 自发幅度衰变信道下, 高生存系数的生存函数曲线要明显高于低生存系数的生存函数曲线, 说明提高信道生存系数可以整体提高该信令网络的生存函数.

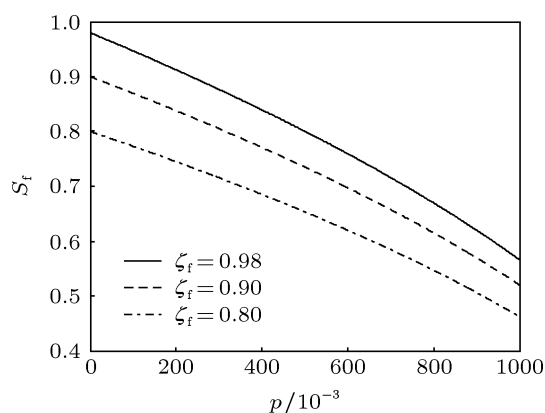


图 4 在不同生存系数下量子态跃迁率和生存函数的关系

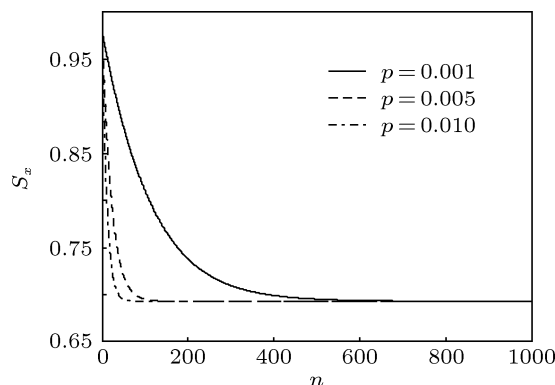


图 5 在不同量子态跃迁率下时间演化和生存函数的关系

图 4 中, 横坐标 p 是量子态跃迁率, 纵坐标是生存函数, 实现、虚线、点画线分别表示 $\xi_f = 0.98$, $\xi_f = 0.9$, $\xi_f = 0.8$ 时的生存函数曲线. 从图 4 可以看出, 随着量子态跃迁率的增加, 生存函数会下降. 而当量子态跃迁率一定时, 生存函数会随着退极化信道生存系数的降低而大幅度减小. 且信道不同生存系数的生存函数, 它的最大生存函数也是不同的, 说明提高信道生存系数可以整体提高该信道生存

函数. 当 $p = 1$ 时, $\xi_t = 0.98$, $\xi_t = 0.9$, $\xi_t = 0.8$ 时的, $S_t = 0.5658$, $S_t = 0.5196$, $S_t = 0.4618$, 说明信令量子态完全遭受破坏时, 信令网络继续可以提供服务的概率只有一半左右. 所以, 在实际中需要网络设置中继对量子态进行修复, 补充能量等, 以提高网络的生存性.

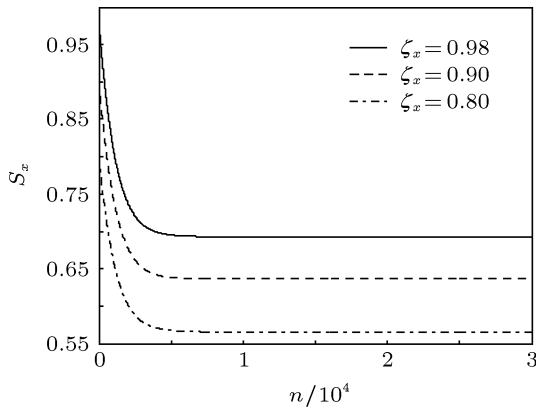


图 6 在不同生存系数下时间演化和生存函数的关系

图 5 和图 6 中, 信令的量子态为 $|\varphi\rangle_A = |0\rangle_A/\sqrt{2} + |1\rangle_A/\sqrt{2}$, 横坐标 n 表示时间演化次数, 纵坐标 S_x 表示信令网络生存函数, p 表示量子态跃迁率, ξ_x 表示相位阻尼信道生存系数. 图 5 中, $\xi_x = 0.98$. 从图 5 中可以看出, 随着时间的演化, S_x

会收敛于 $\xi_x\sqrt{1+2a^4-2a^2}$, 与理论分析 (23) 式相符, 当量子态一定, 那么生存函数就取决于 ξ_x . 表明网络的生存函数在经过长时间的演化后, 信令网络的生存性一定, 具有良好的抵抗破坏的能力. 而当时间一定, 生存函数随着量子态跃迁率的增大而迅速收敛, 所以在实际上需要降低出错的概率. 图 6 中, $p = 0.001$. 当出错率一定时, 生存函数随着时间的演化根据不同信道生存系数而收敛. 根据生存系数的分析, 需要控制光纤衰减系数和自由空间衰减系数等来得到更高的生存系数. 所以, 为了保证信令网络一定的生存性, 构造生存系数高的信道可以整体提高网络的生存性.

7 结论

为了提高信道生存函数, 构建具有高生存性的量子纠缠信令网, 本文定义信道生存函数, 分析光纤和自由空间生存系数, 提出信令网生存函数的测试模型. 通过仿真分析表明, 三种消相干机制中, 自发幅度对生存函数影响最小. 此外, 降低量子态跃迁率, 控制光纤衰减损耗和大气衰减系数, 减小量子信令演化时间, 设置相应的中继, 并且尽量多次的测量生存函数, 才能构建高生存性的量子信道及信令网.

- [1] Yi Y H, Nie M, Pei C X 2012 *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)* **42** 207 (in Chinese) [易运晖, 聂敏, 裴昌幸 2012 西北大学学报(自然科学版) **42** 207]
- [2] Li C, Nie M, Liu X H 2012 *Acta Photonica Sinica* **41** 339 (in Chinese) [李超, 聂敏, 刘晓慧 2012 光子学报 **41** 339]
- [3] Wang J, Chen H Q, Zhang Q, Tang C J 2007 *Journal of national university of defense technology* **29** 56 (in Chinese) [王剑, 陈皇卿, 张权, 唐朝京 2007 国防科技大学学报 **29** 56]
- [4] Ma X S, Kropatschek S, Naylor W, Scheidl T, Kofler J, Herbst T, Zeilinger A, Ursin R 2012 *Optics Express* **20** 23126
- [5] Liu D, Pei C X, Quan D X, Zhao N 2010 *Chin. Phys. Lett.* **27** 306
- [6] Deng F G, Long G L, Liu X S 2003 *Phys. Rev. A* **68** 042317
- [7] Shor P W 1995 *Phys. Rev. A* **52** 2493
- [8] Fei S M 2010 *Acta Phys. Sin.* **39** 816
- [9] Yuan Z S, Chen Y A, Zhao B, Chen S, Pan J W 2008 *Nature* **454** 1098
- [10] Chen Y A, Chen S, Yuan Z S, Zhao B, Chuu C S, Schmiedmayer J, Pan J W, 2008 *Nature Physics* **4** 103
- [11] Jin X M, Ren J G, Yang B, Yi Z H, Zhou F, Xu X F, Wang S K, Yang D, Hu Y F, Jiang S, Yang T, Chen K, Peng C Z, Pan J W 2010 *Nature Photonics* **4** 376
- [12] Zhang S, Wang J, Zhang Q, Tang C J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 73 (in Chinese) [张胜, 王剑, 张权, 唐朝京 2009 物理学报 **58** 73]
- [13] Shi G W, Zeng L G 2003 *J Tsinghua Univ (Sci & Tech)* **43** 1269 (in Chinese) [史国炜, 曾烈光 2003 清华大学学报(自然科学版) **43** 1269]
- [14] Huang S, Xu Y, Zhang L 2007 *Computer Engineering* **33** 22 (in Chinese) [黄松, 许勇, 张凌 2007 计算机工程 **33** 22]
- [15] Zhang W C, 2010 *Optical Fiber & Electric Cable* **6** 1 (in Chinese) [张万春 2010 光线与电缆及其应用技术 **6** 1]
- [16] Markus A, Thomas J, Martin P, Walter R. L, Anton Z 2003 *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* **9** 1541
- [17] Nadav K, Matthew N, Ansmann M, Radoslaw C B, Hofheinz M, Lucero E, O'Connell A, Wang H, Cleland A N, Martinis J M, Alexander N K 2008 *Phys. Rev. Lett.* **101** 200401

Study on survival function of noise quantum channel and its simulation*

Zhang Lin[†] Nie Min Liu Xiao-Hui

(College of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710061)

(Received 3 March 2013; revised manuscript received 18 April 2013)

Abstract

In order to build a quantum signaling network with high survivability, quantum channel survival function and survivability of signaling network have been proposed based on the concept of fidelity. The survival coefficient in optical fiber or free space is analyzed, fidelity in noisy quantum channel with the decoherence mechanisms is calculated and survival function test model is proposed. Simulation analysis shows that, by reducing the quantum state transition rate, controlling fiber attenuation coefficient and atmospheric attenuation coefficient, decreasing the time of quantum states evolution, and setting quantum repeaters, we can construct a high survivability of quantum channel and provide a theoretical foundation for the formulation of quantum entanglement signaling network standard.

Keywords: quantum communication, quantum signaling network, fidelity, survival function

PACS: 03.67.Hk, 42.50.Lc, 42.50.Nn, 89.70.-a

DOI: 10.7498/aps.62.150301

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61172071), the Natural Science Foundation Research Project of Shaanxi province, China (Grant No. 2010JM8021), and the Natural Science Research Projects of Shaanxi Provincial Department of Education, China (Grant No. 2011JK1017).

[†] Corresponding author. E-mail: linlin.1106@126.com