

Quantum Chase 游戏设计报告

直接打出 GG 队
~~（差不多确实寄了）~~

前情提要：由于复赛工期实在太短🤔，我们在初赛草案 Quantum Tour 的基础上做了极大删减，确定了单一的游戏目标——**在Bloch球上展开追逐战**——并简化了相应的程序设计。

游戏名字：Quantum Chase

游戏类别：教育/休闲/双人

文案包装：你醒了，这里是 Bloch 612 星球——并不是小王子的家。你是 Alice，总之不知道犯了什么事，你正在被 Bob 追杀。伟大的受信第三方 Charlie 长老告诉你，这个星球有它自己的法则，了解这些法则能帮助你活下去：

1. 你的本质是一个量子态，所以你可以使用量子门来进行快速位移从而远离 Bob 的魔爪，这些量子门是随机生成湮灭的，你得搞快点；
2. 多多地收集那些从天而降的纠缠光子吧——没错，是我发给你们的——可以通过隐形传态来探测对方的位置，Bob 会利用它来靠近你，而 Alice，你要逃离；
3. 由于某些我擦我也不好说的测不准原理，当你们相距越远的时候，看见对方的概率就越小；当 Bob 看见你的时候，你也就完蛋了，而你只需要在给定时间内不被抓住就算成功。

规则很简单是吧——别回头，该开始跑路了！

游戏目的：

- 通过Bloch球可视化展示量子叠加态、相对相位等概念，以各种常见单比特量子门的效果
- 通过全振幅模拟计算展示 CNOT 门的效果和量子纠缠态
- 模拟展示量子随机数、变分量子线路、量子掷币协议、量子隐形传态等常见量子算法

游戏玩法：

- 两位玩家进入房间，通过量子掷币协议公平决定各自的游戏角色（Alice 或 Bob）
- 玩家在同一个 Bloch 球面上移动，由 w/a/s/d 操纵
- 玩家可以查看自己当前位置/经纬度（量子态），或者整个系统的纠缠态（发生纠缠时）
- 玩家可以收集道具“量子门”，进行快速的长距离移动（单比特门）、位置交换（SWAP 门），或产生系统纠缠（CNOT门）
- 玩家可以收集道具“ERP 光子”，通过量子隐形传态来探测另一位玩家的位置信息
- 在限定时间内，Alice 的目标是避免被 Bob 捕获，而 Bob 的目标则是主动去捕捉 Alice

关于选题动机与思路的说明，应赛方邮件要求详述如下：

- 我们首先调研了相关的综述文献并汇总成一个报告（见文件 [Quantum Basics for Game Design.pdf](#)）在小组内传阅、学习、讨论；我们发现量子游戏设计的历史高峰期是2019年，在 Quantum Wheel game jam 与 Qiskit 的引领下产生了一次席卷世界范围的开发与涌现。
- 我们收集并上手体验了当年大小各种 QGame 并将其主要分类为五类：
 1. 量子线路计算解谜：Qiskit Blocks（量子门线路）、Quantum Flytrap（光学线路）
 2. 量子计算机操作模拟：The qubit game
 3. 棋类游戏（用多重位置表示叠加与纠缠）：Quantum Chess、Quantum Tic-Tac-Toe
 4. 牌类游戏（用卡片构筑表示线路构建与测量）：QuantumCards、Brackets
 5. 其他小游戏，用以演示相位、纠缠、概率分布等等概念
- 我们分析了这五类游戏的优缺点，以及它们如何能照应本次比赛题目“双人对抗游戏”：
 1. 解谜类游戏高度依赖数学计算，并且要求玩家具备领域相关知识基础，比起游戏来说更像是回答考卷计算题，难度较大
 2. 量子计算机操作模拟是一个很完整的教育演示游戏，但难以改造成双人对抗模式，并且我们对现目前实际的量子计算机的物理性质和硬件参数知之甚少
 3. 将一个经典棋类游戏改造成量子版本是一个很容易想到的思路，我们最初也想过改造 Tic-Tac-Toe，但发现早已有人做过并且成为了量子博弈论的基础玩具 😊。但我们最终否决了这条道路：首先是实现上的障碍，诸如五子棋、六子棋、西瓜棋、黑白棋、跳棋等这些棋的棋盘空间通常很大，可能难以用20个 qubit 左右来进行经典模拟；其次，“将棋盘空间映射为qubit资源、将棋子落子吃杀映射为某种特定门操作”这种套路化的设计本质上还是在构建产生叠加、纠缠的量子线路，玩家需要承受的计算量随着测量之前累计的门操作数量指数暴涨；最后，传统棋类游戏的本质是“在对等的初始资源条件下比拼玩家因地制宜的策略”，而在棋类游戏中过度引入不确定性实际上是在给玩家的策略引入噪声偏差，从而拉平不同策略的效果，这有违于游戏体验
 4. 像 QuantumCards 一样“双发玩家轮流打出卡片共同构筑一个长线路，最后测量产生评分”这种套路也是容易想到的，也是我们最初想到并否决的方案，因为这仍然是一种“不是量子在计算，而是人在计算”的逆天设计。而 Brackets 则极大缩短了线路长度，来提高游戏的可行性，但分析可知它的游戏性是匮乏的，除了抽牌手气外，可以直接写一个确定性逻辑来最大化得分 😞
 5. 各种各样的小游戏中最让我们在意的是 Quaze，它同样是一个门线路解谜游戏，但是要求玩家使用H/Z/X门达到目标相位，而不是更常见的目标计算基投影概率分布。
- 我们知道，Bloch球可用作可视化单个两能级量子态的基本教具，它简洁直观对普通人友好，但我们却在所有调研过的游戏设计中都没有看到它的出现，我们认为主要原因是它无法可视化多量子系统的纠缠态这个表达限制。但我们认为它有两个方面优于其他表达载体：
 1. 能直观地展示相位，体现出量子计算本质是复数域上的线性代数这个特点
 2. 在Bloch球上的任意一个移动实际都对应于某个量子门/酉演化，玩家不需要从头计算一个很长的量子线路来得到线路结果，玩家所在的位置就是线路演化的当前结果
- 经过上述调查、分析和讨论，我们确定了两个基本纲领
 1. 以Bloch球为游戏表达的核心载体，注重表达量子态（相对）相位的概念，并尽可能模拟一些广为人知的量子算法，以增加游戏玩法特性和教育意义
 2. 设计实现一个亲民可玩的双人休闲小游戏，而不是一个面向科研的博弈论玩具
- 于是在第一版草案 Quantum Tour 的设计中，正如名字所暗示：我们一方面表明玩家确实是在Bloch球面上使用各种量子门来旅行，另一方面也试图加入门线路计算、变分线路优化（拟合任意概率分布、VQE算法）、量子安全协议（掷币协议、比特承诺协议）、量子通信（BB84协议、量子隐形传态）等等量子计算领域的一些广为人知的入门级应用的概览，引导玩家在游戏过程中对量子计算的逻辑和法则有所知晓。
- 但是由于工期和人手不够、合作效率不高等工程性的障碍，我们在实现了所有上述量子算法的核心代码逻辑之后，发现外层游戏业务逻辑的工作量远超预期，不得不开始删减需求。在第二版（也是最终版）设计案 Quantum Chase 中，我们依旧坚持了原来的两个纲领，简化了游戏目标为Bloch球面上的追逐战——更加切题——删除了玩法上难以整合融入的VQE和BB84的部分而尽可能保留了其他算法模拟，并额外引入了线路计算中的噪声模拟。

软件架构设计：

- 开发语言：Python
- 客户端：PyGame、Python-SocketIO
- 服务端：Flask、Flask-SocketIO； isQ-open、 Docker (isQ)
- 数据同步方式：帧同步、差分状态同步

服务端结构：

- 量子计算模块
 1. 任意分布量子随机数生成器
 2. 量子线路振幅计算器
 3. 隐形传态协议
 4. 量子抛币协议
- 游戏功能 API
 1. 房间管理
 2. 定时任务管理
 3. 存档与游戏业务逻辑