

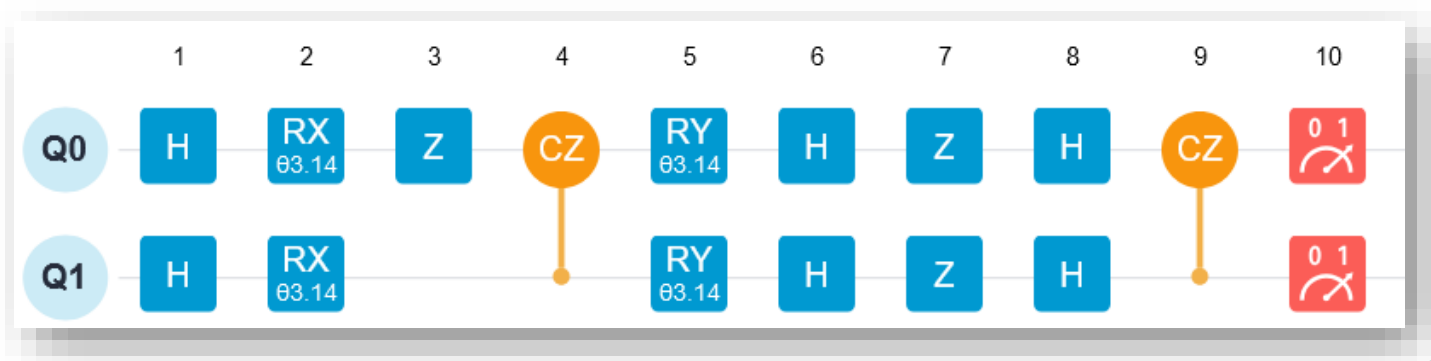
量子线路消消乐

Quantum Circuit Elimination

大群与你同在

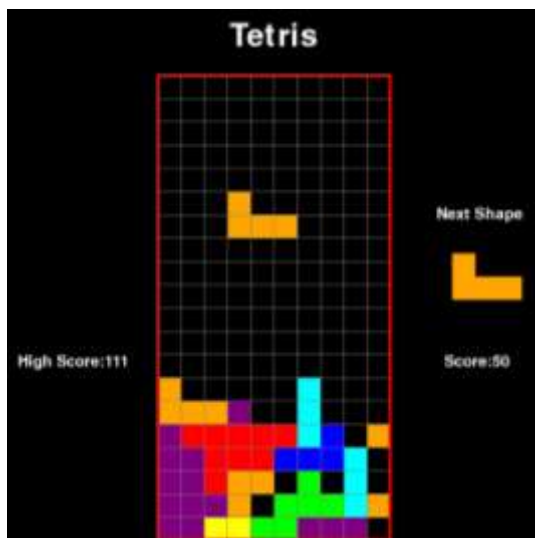
选题概述

- ▶ 教育目的，面向量子计算初学者
- ▶ 熟悉量子线路构建、认识各种量子逻辑门、理解不同门之间的关系
- ▶ 相关理论领域
 - ▶ 基于逻辑门的量子计算 & 量子线路
 - ▶ 量子线路化简
 - ▶ 量子线路等价性验证



参考游戏

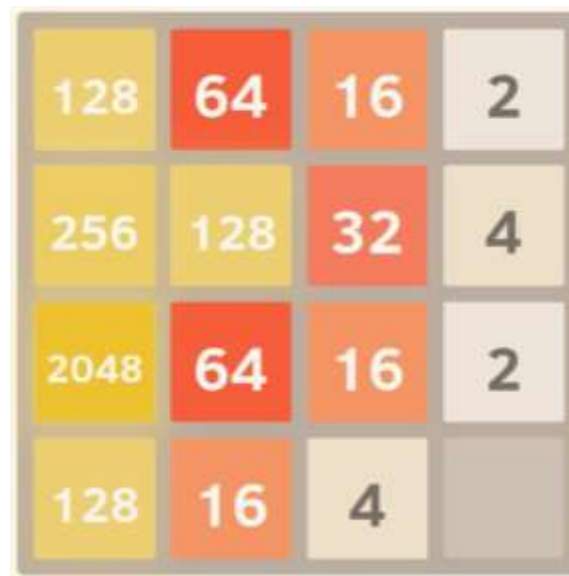
- ▶ 消除类游戏：Tetris、Jenga
- ▶ 数字类游戏：2048



Tetris



Jenga



2048

方案设计

- ▶ 玩家将一串随机生成的量子门逐个放入初始空线路中
 - ▶ 可能产生的门: H, X/Y/Z, RX/RX/RZ, S/T/SD/TD, CNOT/CZ, SWAP
- ▶ 玩法规则
 - ▶ 同一条线缆上相邻且互逆的门会被消除(eliminate), 同时产生积分和bingo计数
 - ▶ 同一条线缆上相邻且同类的旋转门会被融合(fuse)为一个门, 同时产生积分
 - ▶ SWAP门的操作语义为: 交换线路中任意指定位置的两个单比特门
 - ▶ 按积分的档级扩充当前可拖放门的槽位数 (初始1最大3)
 - ▶ 按bingo计数的一定比例发放删除小道具, 用于强制剔除线路中指定位置的门
- ▶ 游戏目标: 制定放置门方块的策略, 获得更多积分和bingo计数
- ▶ 记录玩家的游玩记录, 并制作最高分榜单列表以供展示

```
Current Circuit:
0: —Z————RY(3.14)— State
1: —RZ(4.71)———— State
2: —RZ(5.50)———— State
3: —H————X———— State
4: —————●———— State

Cur Gate: [Y, RX(-π)]
Next Gate: RZ(1/2π)
=====
Score: 2079
Token: 4

>> input your command (h for help): 1 0
```

RankList:

Refresh			
name	score	bingo	ts
YKPWE92X	2079	21	2024/8/1
4E4YCYLW	1682	15	2024/8/1
HDIH1LNx	1521	17	2024/8/1
2LVZ35P6	682	3	2024/8/1
Z73LIOJT	340	3	2024/8/1
M1BPS1CI	260	3	2024/8/1
MEPSJCYD	245	1	2024/8/1
QFGKEG2Y	215	0	2024/8/1
KI03XAF0	190	2	2024/8/1
QNR03GK8	185	1	2024/8/1
JLIA690Z	180	0	2024/8/1
7YDE200L	105	1	2024/8/1
RDM4X26W	80	0	2024/7/10
NJY8CN56	50	0	2024/7/10
0O99HW28	50	0	2024/8/1

方案设计(废弃初稿) - 消除的定义

- ▶ 在初版设计中，我们希望结合专业组赛题二做一个通用的自动线路化简/线路重写的状态机，即消除的概念被定义为
 - ▶ 若完整线路中存在某个子线路的对应酉矩阵为单位阵，则消去这个子线路
 - ▶ 然而，这个问题似乎是 NP 甚至 NP-hard 的！
 - ▶ 只能穷举，没有高效算法来检出所有满足该性质的子线路
- ▶ 考虑退化方案：基于规则的模式匹配系统
 - ▶ 构建重写规则集，如 $H-X-H = Z$, $H-CZ-H = \text{CNOT}$ 等
 - ▶ 需要积累大量重写规则库/等价规则库，且搜索-匹配的计算开销仍然很大
 - ▶ 经讨论评估，在有限的比赛时间内无法完成上述规则匹配系统
- ▶ 最终简化为：只考虑相邻门的同名互逆关系

规则示例 - 追加 (Append)

- ▶ 默认状态下，玩家新放置的门被追加到线路末尾
 - ▶ 获得1倍积分
 - ▶ 每种门的基本分不同，见右表

```
Current Circuit:
0: —RX(1.57)—|   State
1: —RZ(1.57)—|   State
2: —RZ(-3.14)—|  State
3: —X———|      State
4: —●———|      State

Cur Gate: [H]
Next Gate: TD
=====
Score: 55
Token: 0

>> input your command (h for help): 0 3
```

3号线缆
追加H门



```
Current Circuit:
0: —RX(1.57)—|   State
1: —RZ(1.57)—|   State
2: —RZ(-3.14)—|  State
3: —X———H——|   State
4: —●———|      State

Cur Gate: [TD]
Next Gate: RX(-1/2π)
=====
Score: 70
Token: 0

>> input your command (h for help):
```

```
# 量子门基础分值
score_gate = {
    'H': 15,
    'X': 10,
    'Y': 10,
    'Z': 10,
    'T': 15,
    'TD': 15,
    'S': 10,
    'SD': 10,
    'RX': 10,
    'RY': 10,
    'RZ': 10,
    'CNOT': 25,
    'CZ': 25,
    # ↓ this is NOT a gate,
    'SWAP': 5,
}
```

规则示例 – 消除 (Eliminate)

- ▶ 若同一条线缆上存在相邻且互逆的门，则消除它们
 - ▶ 获得3倍积分，且bingo计数+1
 - ▶ 使用消除小道具也可能发生此情况

```
Current Circuit:
0: —RX(1.57)——| State
1: —RZ(1.57)——| State
2: —RZ(-3.14)——| State
3: —X——H——| State
4: —●——| State

Cur Gate: [TD]
Next Gate: RX(-1/2π)
=====
Score: 70
Token: 0

>> input your command (h for help): 0 1_
```

1号线缆
消除RZ门



```
Current Circuit:
0: —RX(1.57)——| State
2: —RZ(-3.14)——| State
3: —X——H——| State
4: —●——| State

Cur Gate: [RX(-1/2π)]
Next Gate: S
=====
Score: 115
Token: 0

>> input your command (h for help): _
```

规则示例 - 融合 (Fuse)

- ▶ 若同一条线缆上存在相邻且同类的旋转门，则融合它们
 - ▶ 旋转门定义为：RX/RY/RZ/X/Y/Z/S/T/SD/TD
 - ▶ 获得1.5倍积分
 - ▶ 使用消除小道具也可能发生此情况

```
Current Circuit:
2: —RZ(-3.14)—| State
3: —X—| State
4: —●—| State

Cur Gate: [S]
Next Gate: RX(-1/2π)
=====
Score: 145
Token: 0

>> input your command (h for help): 0 2_
```

2号线缆
融合RZ门



```
Current Circuit:
2: —RZ(3.93)—| State
3: —X—| State
4: —●—| State

Cur Gate: [RX(-1/2π)]
Next Gate: H
=====
Score: 160
Token: 0

>> input your command (h for help): _
```


规则示例 – SWAP操作

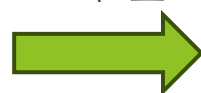
- 使用SWAP门时，指定线路中存在的两个单比特门，**交换**它们的位置

```
Current Circuit:
0: —RZ(-1.57)—RX(-3.14)—| State
1: —RZ(3.93)—| State
2: —RY(-3.14)—RX(-3.14)—Y—| State
3: —Z—H—T—| State
4: —●—| State

Cur Gate: [SWAP]
Next Gate: RY(- $\pi$ )
=====
Score: 375
Token: 0

>> input your command (h for help): 0 2 4
```

交换RX和
RY位置



引发
RX消除

```
Current Circuit:
0: —RZ(-1.57)—RY(-3.14)—| State
1: —RZ(3.93)—| State
2: —Y—| State
3: —Z—H—T—| State
4: —●—| State

Cur Gate: [RY(- $\pi$ )]
Next Gate: RX(-1/2 $\pi$ )
=====
Score: 405
Token: 0

>> input your command (h for help): _
```

规则示例 - 删除小道具

- ▶ 使用删除小道具时，指定线路中存在的一个门，**删除**它，并尝试引发消除与融合
 - ▶ 每5次bingo计数，发放一个删除小道具 (Token)

```
Current Circuit:
0: —RX(-1.57)———— State
1: —Y———— State
2: —RZ(5.50)——H—— State
3: —X————H——X—— State
4: —●————●—— State

Cur Gate: [RX(- $\pi$ )]
Next Gate: RZ(- $\pi$ )
=====
Score: 372
Token: 9

>> input your command (h for help): d 5
```

删除
第5个门H
→
引发
CNOT消除

```
Current Circuit:
0: —RX(-1.57)—| State
1: —Y——| State
2: —RZ(5.50)—H—| State

Cur Gate: [RX(- $\pi$ )]
Next Gate: RZ(- $\pi$ )
=====
Score: 447
Token: 8

>> input your command (h for help):
```

综合示例

```
选择 C:\Windows\System32\cmd.exe - conda activate q - python.exe start.py
Current Circuit:

Cur Gate: [RY(-1/2 $\pi$ )]
Next Gate: H
=====
Score: 0
Token: 0

>> input your command (h for help):
```

感谢观看

作品名 - 量子线路消消乐

队名 - 大群与你同在