

单比特错误

单比特错误

比特错误

如何归一化 $\hat{I}_a + \epsilon \hat{Z}_a$

修正错误

其他单比特错误

纠错能力

📅 2022-11-14

比特错误

数据比特 a 上的错误, $\hat{I}_a + \epsilon \hat{Z}_a$, $\epsilon \ll 1$, 导致系统变化: $|\psi\rangle \rightarrow |\psi'\rangle = (\hat{I}_a + \epsilon \hat{Z}_a)|\psi\rangle$, $|\psi\rangle$ 是一个不动态。

下一个循环的镇定测量会让 $|\psi'\rangle \rightarrow$

1. 变回不动态 $|\psi\rangle$, 几率 $\sim 1 - |\epsilon|^2$
2. 变成不动态 $Z_a|\psi\rangle$, 几率 $\sim |\epsilon|^2$

情形 1, 镇定测量的输出不变;

情形 2, 比特 a 上的两个 measure-X 测量的结果变号, 而两个 measure-Z 测量不变, 因为

$$\begin{aligned}\hat{X}_a \hat{X}_b \hat{X}_c \hat{X}_d (\hat{Z}_a |\psi\rangle) &= -X_{abcd} (\hat{Z} |\psi\rangle) \\ \hat{Z}_a \hat{Z}_b \hat{Z}_c \hat{Z}_d (\hat{Z}_a |\psi\rangle) &= Z_{abcd} (\hat{Z} |\psi\rangle)\end{aligned}$$

如何归一化 $\hat{I}_a + \epsilon \hat{Z}_a$

令 $\hat{O} \equiv \hat{I}_a + \epsilon \hat{Z}_a$, \hat{O} 的矩阵表象中的两个行应当正交归一, 所以应用施密特正交化即可。

修正错误

同一数据比特上的两个 measure-X 测量变号指示了一个 \hat{Z} 错误已经发生。

修正方法:

- 方法 1. 立即补偿一个 \hat{Z} 操作来抵消错误 (不推荐)
- 方法 2. 将该数据比特上的后续 measure-X 测量人为取反, 作为纠正, 直至再次发生一个 \hat{Z} 错误 (推荐 ☒)

其他单比特错误

1. 数据比特上的 \hat{X} 错误, 采取类似上述操作, 只是将表述中的 Z 和 X 对调。
2. 数据比特上的 $\hat{Y} = \hat{Z} \hat{X}$ 错误, 等同于同时发生 \hat{X} 和 \hat{Z} 错误
3. 测量比特上的测量错误, 一般不会导致成对的测量编号, 且同一测量比特连续发生该错误的可能性指数降低, 所以可以通过测量比特在多个循环中的表现来修正该错误。

纠错能力

当错误足够稀少，有可能完全被纠正。当错误的时空密度增加，判定错误会因可能性太多而误判，导致纠错失败，进而限制表面码的能力。