

光スイッチを用いた時間位置量子ビットのエンタングラ

A time-bin qubit entangler using optical switch

NTT 物性基礎研 ° 武居弘樹

NTT Basic Research Labs. ° Hiroki Takesue

E-mail: takesue.hiroki@lab.ntt.co.jp

はじめに: 2 入力 2 出力のマッハツェンダ干渉計からなる光スイッチを用いて独立した 2 つの時間位置量子ビットを量子もつれ状態にする手法を提案し、原理確認実験を行ったので報告する。

提案手法: 構成を図 1(a) に示す。光スイッチは、干渉計の 2 腕の位相差が 0 の時はポート A(B) から入力された光はポート C(D) から出力され (“bar”)、位相差 π では逆のポートから出力される (“cross”)。光スイッチの入力ポート A 及び B に、それぞれ量子状態が $\frac{1}{\sqrt{2}}(a_A^\dagger(t_1) + e^{i\phi_A} a_A^\dagger(t_2))|0\rangle$, $\frac{1}{\sqrt{2}}(a_B^\dagger(t_1) + e^{i\phi_B} a_B^\dagger(t_2))|0\rangle$ であらわされる単一光子を入力する。ここで、 $a_X^\dagger(Y)$ はポート $X(= \{A, B\})$ 、時間位置 $Y(= \{t_1, t_2\})$ における生成演算子であり、 ϕ_A, ϕ_B は各光子の 2 パルス間の位相差である。光スイッチを 1 番目のパルスに対して cross、2 番目のパルスに対しては bar となるよう動作させることで、全系の状態は以下のように変換される。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(a_A^\dagger(t_1) + e^{i\phi_A} a_A^\dagger(t_2)) \otimes (a_B^\dagger(t_1) + e^{i\phi_B} a_B^\dagger(t_2))|0\rangle \rightarrow \frac{1}{2}(-a_D^\dagger(t_1) + e^{i\phi_A} a_C^\dagger(t_2)) \otimes (a_C^\dagger(t_1) + e^{i\phi_B} a_D^\dagger(t_2))|0\rangle \\ & = \frac{1}{2}(-|1, 0\rangle_C |1, 0\rangle_D - e^{i\phi_B} |0\rangle_C |1, 1\rangle_D + e^{i\phi_A} |1, 1\rangle_C |0\rangle_D + e^{i(\phi_A + \phi_B)} |0, 1\rangle_C |0, 1\rangle_D) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $|x, y\rangle_X$ はポート $X(= \{C, D\})$ において時間位置 t_1, t_2 にそれぞれ光子が x, y 個存在する量子状態を表す。上式のように、ポート C、D からの光子の同時計数イベントを抽出することにより、時間位置もつれ状態を生成することができる。

原理確認実験: 四光波混合により発生した自然放出雑音光子パルスと、モードロックレーザからの光パルスのフィルタリングにより得られたコヒーレント光パルスを、それぞれ 1 ビット遅延干渉計 (遅延時間 1 ns) に通すことで疑似的に 2 つの独立した時間位置量子ビットを生成し、ニオブ酸リチウム光スイッチを入力する。ここで、量子ビット当たりの平均光子数は 0.16 である。光スイッチは、前述の cross-bar 動作により 2 光子をエンタングルさせる。出力された光子はそれぞれ 1 ビット遅延干渉計と光子検出器からなる測定系により受信される。

ポート D 側の干渉計温度を 22.57 および 22.74 に設定し、ポート C 側干渉計温度を掃引した場合の同時計数を図 1(b) に示す。位相が $\sim \pi/2$ 異なる同時計数フリンジを観測した。以上より、提案手法の動作を確認することができた。

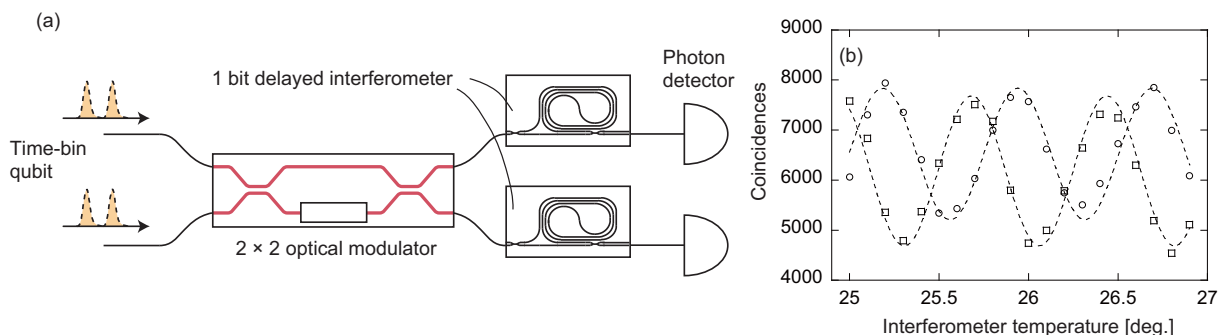


図 1: (a) 提案手法の構成。(b) 自然放出光とコヒーレント光による原理確認実験結果 (二光子干渉波形)。○: ポート D 側干渉計温度 22.74 °, □: 同 22.94 °。