

量子ビット制御装置のマイクロ波安定化 —デバイス個別温度制御によるアプローチ—

Microwave Signal Stabilization in Qubit Control — An Approach Based on Device-Level Temperature Control —

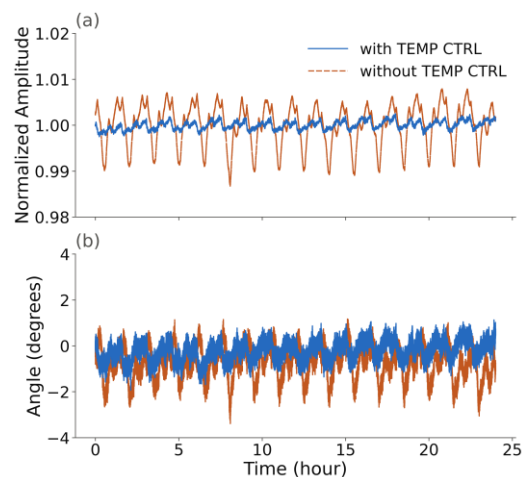
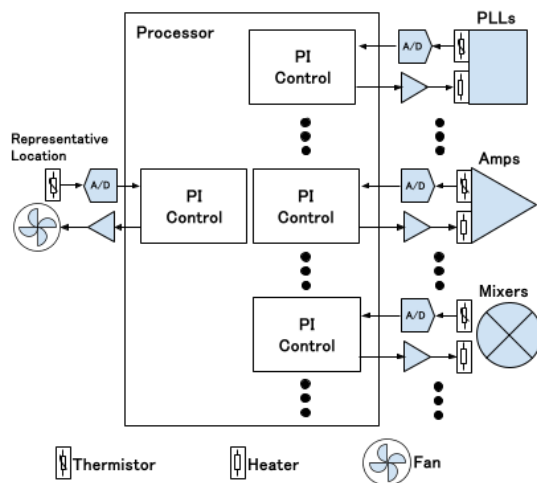
栗本 佳典

Yoshinori Kurimoto

キューエル株式会社

概要

誤り耐性量子計算では量子ゲート操作を長時間にわたり繰り返し実行する必要があり、制御マイクロ波の振幅・位相の長期安定性がその忠実度を左右する。本講演では、量子ビット制御装置 QuEL-1 SE に搭載したマイクロ波安定化手法を紹介する。マイクロ波発生装置で使用される PLL・増幅器・ミキサといったアナログデバイスは温度によって特性が変わり、通常の実験室環境において、空調による温度制御だけでは十分なマイクロ波の安定度が得られないことがある。QuEL-1 SE では、アナログデバイスごとに専用のヒータとサーミスタを配置し、独立した PI 制御ループで恒温化することでマイクロ波を安定化する。本手法の有効性を示すために、15 チャンネルのマイクロ波出力を共通の ADC で 24 時間同時測定した。その結果、規格化振幅の標準偏差は 0.09%~0.22% (平均 0.15%)、位相は 0.35° ~ 0.44° (平均 0.39°) であり、温度制御を停止した場合と比べいずれも半分以上に抑えられた。これらの変動に起因する $X\pi/2$ ゲートの不忠実度は、振幅誤差で約 2×10^{-6} 、位相誤差で約 2×10^{-5} と見積もられ、表面符号などの誤り耐性しきい値を大きく下回る。あわせて、温度制御を補完するアプローチとして、筐体間のモニタポート相互結線による位相差の直接測定・補正についても紹介する。



デバイス個別温度制御の構成（左）と、温度制御の有無による振幅・位相安定度の比較（右）

Abstract

Fault-tolerant quantum computation requires gate operations to run repeatedly over long durations, demanding long-term stability of control microwaves. Analog devices—PLLs, amplifiers, and mixers—are temperature sensitive, and air conditioning alone can be insufficient. The qubit controller QuEL-1 SE stabilizes each device with a dedicated heater, thermistor, and PI loop. Over 24 hours, 15 channels show amplitude and phase deviations of 0.09%-0.22% and 0.35° - 0.44° , implying gate infidelities far below fault-tolerance thresholds. Inter-chassis phase correction is also introduced.