

フィードバック制御下における量子フィッシャー情報量

Quantum Fisher Information under Feedback Control

東大情報理工, °(M1) 柚木 隼人, 長谷川 禎彦

Univ. Tokyo, °Hayato Yunoki, Yoshihiko Hasegawa

E-mail: yunoki@biom.t.u-tokyo.ac.jp

量子フィッシャー情報量 (quantum Fisher information, QFI) とは量子状態のパラメータ推定における精度限界を特徴づける量であり, 量子系の高精度な測定系を設計するための理論的指標として広く用いられている。先行研究[1]によると, 時間をスケールリングするパラメータに対する QFI を用いることで量子速度限界 (quantum speed limit, QSL) と量子熱力学不確定性関係 (quantum thermodynamic uncertainty relation, QTUR) を定式化することができる。QSL とは量子系の状態の変化に必要な時間に対して下限を与える不等式であり, QTUR とは量子系における熱力学的なコストと推定精度のトレードオフ関係を与える不等式である。先行研究[2, 3]では開放量子系のダイナミクスを記述する Lindblad 方程式に対する QFI が解析的に導出された。

量子系のフィードバック制御とは, Fig. 1 に示すように主系に対して測定を行った結果に応じて主系に制御入力を与えることでダイナミクスを制御することである。フィードバック制御は機械工学や電気工学などにおいて応用上重要であり, 量子系においても量子精密計測や量子誤り訂正など様々な量子技術の実用化に対して重要な役割を果たすことが期待されている。

本研究ではポアソン過程のジャンプ測定の結果をフィードバックする場合と, ガウス過程のホモダイン測定の結果をフィードバックする場合に対して, QFI を解析的に導出した。これによりフィードバック制御下における QFI において, フィードバックによる寄与を明らかにすることが可能になる。また同時にフィードバック制御下における QSL と QTUR の定式化が可能になり, 量子系のフィードバック制御へのさらなる理解が期待される。

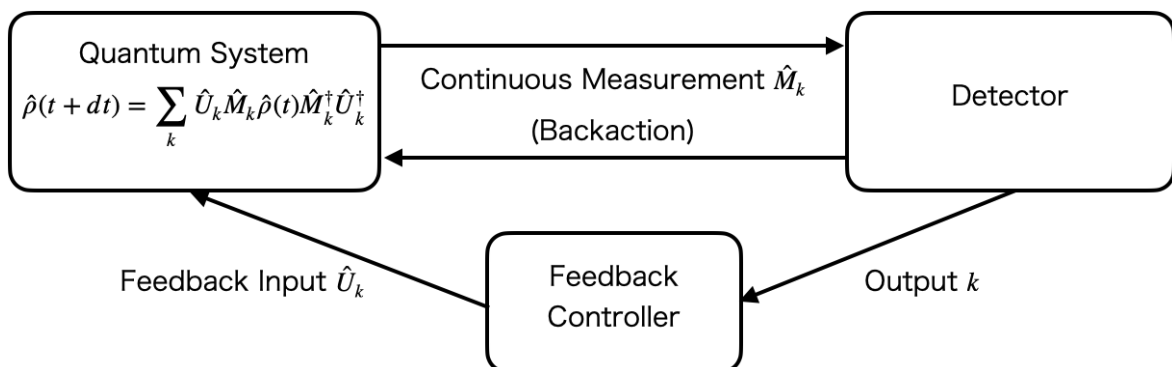


Fig. 1 Setup for quantum feedback control.

参考文献: [1] Y. Hasegawa, Nat. Commun. 14, 2828 (2023). [2] T. Nishiyama and Y. Hasegawa, Phys. Rev. E 109, 044114 (2024). [3] S. Nakajima and Y. Utsumi, Phys. Rev. E 108, 054136 (2023).