

Streszczenie

Splątanie kwantowe może zwiększyć czułość sensorów atomowych na pola statyczne lub wolnozmiennie. Jednak wiele istotnych zastosowań w dziedzinach takich jak medycyna czy nawigacja wymaga śledzenia sygnałów szybko lub nagle zmieniających się. Wiąże się to ze szczególnymi wyzwaniem, biorąc pod uwagę brak wystarczającego zrozumienia potencjalnych korzyści ze splątania w takich przypadkach. Aby to zbadać, w pracy doktorskiej zastosowano narzędzia z zakresu kwantowych pomiarów ciągłych i teorii estymacji do optycznych magnetometrów atomowych, w celu dokładnego modelowania tych urządzeń, interpretacji danych pomiarowych, kontroli ich dynamiki oraz osiągnięcia optymalnej czułości.

Określenie tej optymalnej wydajności wymaga wyznaczenia fundamentalnej kwantowej granicy czułości. Powyższa granica, zdeterminowana przez szum, którą wyznaczamy w pracy, w najlepszym wypadku skaluje się liniowo z czasem pomiaru i liczbą atomów N , co wyklucza jakiekolwiek skalowanie lepsze niż klasyczne. Co więcej, ta kwantowa granica jest niezależna od stanu początkowego, pomiaru, estymatora oraz sprzężenia zwrotnego opartego na pomiarze i zależy wyłącznie od modelu dekoherencji oraz siły fluktuacji pola. Zatem znalezienie estymatora osiągającego tę granicę jest dowodem na optymalność danej strategii pomiarowej.

Aby zbliżyć się do tej granicy, opracowujemy kwantowy model dynamiczny dobrze skalujący się z N , oparty na współporuszającym się przybliżeniu Gaussowskim kwantowego równania "master", który uwzględnia zarówno działanie pomiaru, jak i dekoherencję. Umożliwia to stworzenie architektury estymacji i kontroli w czasie rzeczywistym, integrującej rozszerzony filtr Kalmana (EKF) z regulatorem liniowo-kwadratowym (LQR).

Poprzez symulację magnetometru z wykorzystaniem naszego modelu oraz proponowanej strategii EKF+LQR pokazujemy, że kwantowo-ograniczone śledzenie zarówno pól stałych, jak i fluktuujących, jest w zasięgu obecnych magnetometrów atomowych. Co istotne, nasza strategia pomiarowa umożliwia także śledzenie sygnałów istotnych biologicznie, takich jak sygnały podobne do tych generowanych przez serce, ale może być po prostu użyta do wprowadzenia układu atomowego w stan splątany, także kiedy dane pomiarowe są wywołane przez sprzężenie zwrotne ale później zapominane.