

磁気浮上機の量子化制御

2009SE011 荒川紘次

指導教員：大石泰章

1 はじめに

通常の制御理論において制御入力は連続値をとりうるものと仮定することが多い。しかし、例えば制御対象に搭載されたアクチュエータが ON-OFF 型のときなど、入力が離散値入力に限定される場合も現実には多い。このような場合の入力生成法の 1 つは、図 1 の関数 q を使って、連続値の入力 x を離散値の入力 $q(x)$ に変換することである。このような変換器を静的量子化器という [1]。しかし、これでは間隔 d が大きいとき、連続値入力のために保証された制御性能が保証されなくなることがある。これに対して、東・杉江 [2] は過去の量子化誤差を量子化器内に保持し制御入力を決定することで、静的量子化器より良い制御性能を実現することを提案した。これを動的量子化器という。しかし、動的量子化器の概念はもともと安定な制御対象に対して考えられたもので、不安定な制御対象に適用するときは注意が必要である [3]。以上を背景として、澤田・新 [4] は LMI を用いた量子化器の性能の解析・設計法を提案した。これより不安定な制御対象に対する動的量子化器を設計することが可能になった。

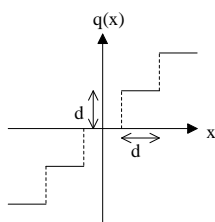


図 1 静的量子化器

本研究では、不安定な制御対象の例として磁気浮上機を選び、その量子化制御を試みる。まず前述の問題が生じないよう制御器を分解することによって東・杉江の方法で量子化器を設計する。つぎに澤田・新の方法で量子化器を設計する。一方、動的量子化器は与えられた制御対象と制御器に対して定まるので、制御器の選び方によっては十分な性能の動的量子化器が得られないことが懸念される。そこで、制御器の選び方により、動的量子化器の性能にどのような影響が生じるかを数値実験により検証する。本稿ではページ数が限られているので東・杉江の方法による量子化器の設計については割愛する。

2 LMI を用いた動的量子化器設計

図 2 において、与えられた制御対象 P と制御器 K に対して、 Q で生成される量子化誤差が z_p に及ぼす影響を、小さくなるように Q を設計する。澤田・新 [4] は以下の方法を提案した。

Q はシステム L と静的量子化器 q が含まれており、システム L は設計すべき線形システムで次の状態空間表現

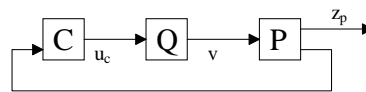


図 2 フィードバックシステム

を持つとする：

$$L : \begin{bmatrix} x_l(k+1) \\ u_l(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_l & B_l \\ C_l & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_l(k) \\ e_l(k) \end{bmatrix}$$

$u_l(k)$ は線形システム L の出力、 $e_l(k)$ は線形システム L の入力である。また、考えているシステムは通常の線形システムに動的量子化器 Q 内部の静的量子化器 q が生成する、量子化誤差が外乱として加わったものと考えることができる。この外乱が出力 z_p に与える影響の大きさは LMI を使って評価することができ、さらに Q の設計問題を出力フィードバック制御器の設計問題の要領で LMI に定式化することができる [4]。

磁気浮上機、磁気浮上機のサンプル制御器を用いて、澤田・新の方法で動的量子化器を設計する。以下に数値実験、実機実験の結果を示す。

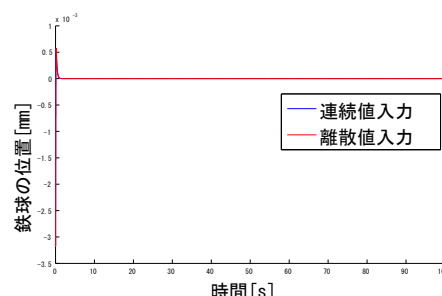


図 3 数値実験

数値実験では連続値入力の場合と動的量子化器にほとんど違いがみられない。実機実験でも数値実験と同様にほとんど違いがみられないが、外乱があり少しぶれている。

3 制御器の選び方による動的量子化器への影響

3.1 制御器設計

制御対象 P が状態方程式で

$$P : \begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + B_1w(k) + B_2u(k) \\ z(k) = C_1x(k) + D_{11}w(k) + D_{12}u(k) \\ y(k) = C_2x(k) + D_{21}w(k) \end{cases}$$

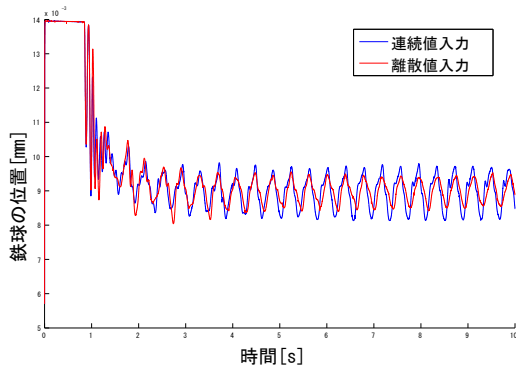


図 4 実機実験

のように与えられたとき、図 5 のように以下の 2 つのパターンを考え、それぞれ離散時間の H_∞ ノルムを最小にするように制御器を 2 つ設計する。

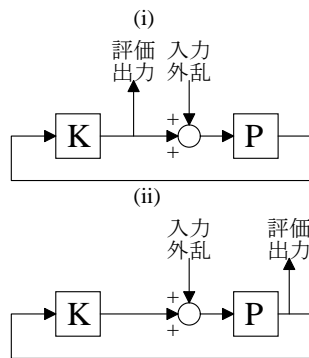


図 5 H_∞ 設計

(i) 入力外乱から入力までの H_∞ ノルムを最小にするように設計する。

(ii) 入力外乱から出力までの H_∞ ノルムを最小にするように設計する。

制御器を選ぶ際、量子化誤差が制御対象の出力に与える影響が小さいことが望ましいと考えられる。そこで、入力外乱から出力までの H_∞ ノルムを最小する (ii) の制御器を設計する。この制御器と比較するために (i) の制御器も同様に設計する。

3.2 動的量子化器の性能評価

制御器がどれくらい動的量子化器の性能に影響しているかをみるため、図 6 のシステムと図 7 のシステムに同一入力を入れたとき、最悪ケースの出力の差を評価関数として動的量子化器の性能を評価する [1]。それぞれの評価関数の値は表 1 のようになった。

表 1 性能評価

	静的量子化器	動的量子化器
(i)	8.2109×10^{-4}	4.4637×10^{-7}
(ii)	1.2777×10^{-4}	2.3607×10^{-7}

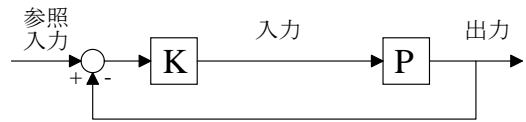


図 6 制御対象と制御器

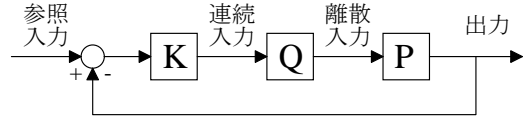


図 7 制御対象と制御器と量子化器

この結果より、動的量子化器を使う場合 2 つの制御器では量子化誤差の影響が 10^{-7} ぐらいで小さくなるので、他の制御器を使った場合でも、量子化誤差の影響が小さくなると予測される。したがって、量子化誤差を無視して制御器を設計できると考えられる。表 1 は制御器に動的量子化器を付けた場合の評価関数の値だけでなく、制御器に静的量子化器を付けた場合の評価関数の値も示されている。動的量子化器は静的量子化器と比較して量子化外乱を 10^{-3} 倍小さくできることがわかる。静的量子化器を使うより動的量子化器を使うことで、制御器の設計に量子化外乱を考えて設計する必要がないと考えられるので、他の性能を良くして設計できると考えられる。

4 おわりに

澤田・新の方法で動的量子化器を設計し、磁気浮上器に実装した。それを数値実験、実機実験の結果より、連続値制御の場合と動的量子化器の場合でほとんど違いがでないことを確認した。また、制御器の選び方が動的量子化器に影響することを評価関数を用いて確認し、同時に動的量子化器と静的量子化器では動的量子化器が優れていることを確認した。しかし、制御器の選び方が動的量子化器にどのように影響するかは確認することができなかった。これが今後の課題である。

参考文献

- [1] 東俊一, 杉江俊治: 『離散値入力型における最適動的量子化器』。システム制御情報学会論文誌, 第 20 卷 (2007), pp.122-129.
- [2] 東俊一, 杉江俊治: 『離散値入力フィードバック制御のための動的量子化器』。計測と制御, 第 49 卷 (2011), pp.795-800.
- [3] 東俊一, 杉江俊治: 『離散値入力型制御のための最適動的量子化器の安定性』。計測自動制御学会論文集, 第 43 卷 (2007), pp.1136-1143.
- [4] 澤田賢治, 新誠一: 『離散値入力型 SISO システムに対する不変集合解析に基づく動的量子化器設計』。システム制御情報学会論文誌, 第 23 卷 (2010), pp.249-256.