

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 7 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760322

研究課題名（和文） 通信量制約を陽に考慮した新しい動的量子化器の解析・設計手法の構築

研究課題名（英文） Design method of dynamic quantizer under communication constraint

研究代表者

岡島 寛（OKAJIMA HIROSHI）

熊本大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：40452883

研究成果の概要（和文）：

通信ネットワークを介してものを遠隔制御する場合、通信速度が有限であることからそのデータを性能が劣化しないような工夫の元で圧縮（量子化）する必要がある。本研究では、そのような量子化器の設計問題を計算機で解ける形のLMI最適化問題に帰着させることで最善の量子化器を求める方法を導く。その効果は、音声信号圧縮等への応用によって検証し、圧縮により音声劣化が生じないことを確認した。

研究成果の概要（英文）：

We propose analysis and synthesis method of dynamic quantizer under the communication rate constraints. To avoid the performance degradation caused by the communication rate constraints of the channel, filter part and static quantizer part of the dynamic quantizer are designed appropriately by using LMI design algorithm.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：動的量子化・通信路容量・LMI・数値最適化

## 1. 研究開始当初の背景

(1) ネットワーク社会における通信容量の有限性に関する問題や保存データ量の処理の問題などから情報圧縮の重要性は知られており、これらに関する研究は古くからなされている。特に近年、ネットワーク通信が身近なものとなってきたことから、無線通信

機器を用いたビークルの遠隔制御や、遠隔手術などのようにネットワークを介して制御するシステムが様々に開発・実現されている。

(2) 遠隔制御においては制御器やヒトが生成した指令値を制御対象に正確に伝達することで制御対象を操作する。その際、ネットワ

ークの通信容量が小さいと“指令値そのもの”を伝送することはできず、量子化により値を丸められた信号で操作せざるを得ない。ここでは、量子化器を工夫することによって劣化を少なくすることを考え、過去の量子化情報をフィードバックする動的量子化器の設計が有効である。

(3) これまでの動的量子化器の設計法では信号の分解能を規定する”量子化幅”を与えられた固定値としている。そのため、動的量子化器のフィルタ部分の設計法のみ考えられていた。しかし、設計したフィルタにより通信容量の制約を満たすか否かが大きく変わることから、量子化幅を固定値と考えてフィルタの設計をすることは適切ではなく、量子化幅も適切に設計しなければならない。

(4) 通信容量制約を扱う問題においては、フィルタ部のみならず量子化部も同時に評価した上で性能解析や設計を行う必要があることが本研究の背景になる。本研究課題では、通信容量を陽に考慮して動的量子化器全体（フィルタ部、量子化部）の設計手法を構築する。

## 2. 研究の目的

(1) 動的量子化器の同時設計問題を考えるための端緒として、与えられた動的量子化器の性能を解析する手法を構築する。与えられた量子化器の良し悪しを定量的に評価できれば、良好な性能を満たす量子化器の設計に有用である。具体的には、量子化器の性能およびどれだけの通信容量があればその動的量子化器が利用可能となるかを数値解析により求めることが目的となる。このような解析は、通信容量に起因する制御性能の限界値を、フィルタ構造に起因する性能、量子化幅

に起因する性能に分けて見積もる意味では有用である。また、制御工学においては解析結果から設計手法が導かれることが多く、解析手法の確立はその意味でも本研究課題の遂行において重要な役割を果たす。

(2) 通信容量制約下でのフィルタ部と量子化部の同時設計問題を考える。従来、制御性能のみに着目してフィルタ部の設計がなされていたが、通信制約の下では量子化部の階段数も考慮する必要がある。もし、フィルタ部の設計が悪いと通信のために量子化幅を大きくせざるを得ない。よって、通信制約下での動的量子化器の最良設計のため、動的量子化器のフィルタ部、量子化部の同時設計手法の構築を行う。通信容量制約下での解析手法を設計条件に拡張する形で遂行する。この目的は当初の研究背景に基づくものであり、遂行にあたって変更していない。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究は3年で行う。まず、動的量子化器が与えられた場合について、適用範囲、制御性能を定量的に評価するための解析手法を導く。定量的な評価により、量子化器自体の性能・優劣を見積もるだけでなく、特定の制御性能を実現するために必要な通信容量を見積もることにもなり、この解析によって通信制御系構築を行う際の重要な情報を導くこととなる。図1では、通信量に制約がない、すなわち超高速の通信ができる場合を理想システムとし、通信容量（通信速度）が有限の場合を実システムとして表している。

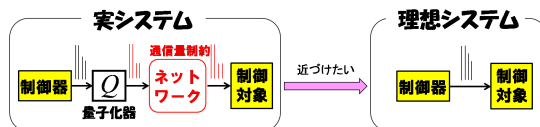


図1 実システムと理想システム

実システムでは量子化された信号を制御対象に印加することになる。そのため、理想システムで達成できる性能は実システムで達成できるとは限らず、実システムの制御性能は理想システムより悪くなる。実システムの通信速度が速ければ両者の差  $e$  は小さくでき、遅ければ両者の差  $e$  は大きい。同じ通信速度であっても量子化器の性能に依存して実システムの制御性能が決まる。本研究では、両者が近いか遠いかをシステム間の誤差  $e$  を用いて定量的に評価する方法を線形行列不等式 (LMI) 最適化の枠組みで推進する。

通信容量制約を陽に満たすような信号  $u$  のレンジは与えられた動的量子化器に依存する。本研究によって「信号  $u$  の振幅」, 「量子化部における階段の数  $M$  (通信容量)」, 「フィルタ  $F(z)$ 」, 「量子化幅  $d$ 」の4つの要素の相互関係を LMI 最適化の枠組みで関連づける。いま、通信容量が 1[bit/s] の場合、図2のように量子化器の出力は2値しかとれない。すなわち、階段数  $M=2$  となる。サイン波が動的に量子化されることで、図2の右図のような出力を得る。出力信号は2値が高速で切り替わっている。また、この出力はフィルタ  $F(z)$  や量子化幅  $d$  などに依存して決まり、最適化問題の枠組みで性能評価を行う。

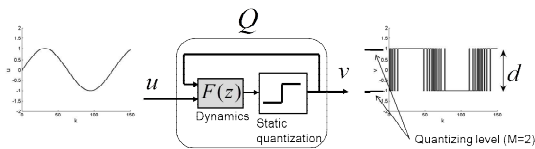


図2 動的量子化器とその入出力信号

図3の偏差システムを考え、両システムの差  $e$  の値の最大値を評価値として用いることが本研究におけるアイデアである。この値  $e$  は小さいほどよい。「量子化部における階段

の数  $M$  (通信容量)」, 「フィルタ  $F(z)$ 」, 「量子化幅  $d$ 」が既知の場合、システム間の出力差  $e$  は不変集合解析という手法によってその最大値の評価が可能であり、LMI を用いることによって定量的に上界を導き出すことができる。量子化器が異なると、求まる  $e$  の最大値も異なることをシミュレーション等で確認しており、実際のシミュレーション結果との整合性はとれている。

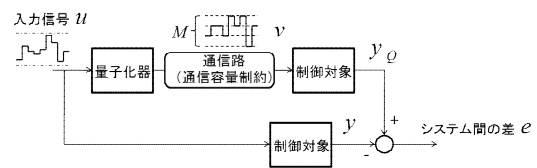


図3 偏差システム

動的量子化器の機能について考えるにあたり、通信容量と制御性能との関係を解明することは重要であるが、従来、そのような解析はなされていなかった。しかし、LMI を用いた解析手法を導くことでその解決を図ることができる。

(2) 導いた解析手法を拡張することで動的量子化器におけるフィルタ部、量子化部の同時設計手法を構築する。解析手法における評価量を最小化する動的量子化器を導出することでネットワーク環境下でのより良い制御性能を実現する。すなわち、通信容量の制約を満たしつつ最良の制御性能を満足する動的量子化器の設計問題を扱う。

このとき、フィルタパラメータが設計変数になるため、このままの問題は LMI 最適化問題にはならない。しかし、ロバスト制御の枠組み等では解析問題から設計問題への拡張は従来から多く行われてきている。そのひとつとしてイタレーション法があり、設計パラメータを固定して最適化問題を解き、内部変数を固定して設計パラメータを解く2つの数値

最適化問題を交互に繰り返す手法である。これによって、繰り返しごとによりよい量子化器が求まる。

(3) 信号の周波数などのクラスがあらかじめわかっている場合にはわからない場合と比べてよりよい制御性能を満たす量子化器の構築が期待される。例えば遠隔手術では、手先の動きは遅く印加信号  $u$  には高周波成分を含まないと想定されることから、このような枠組みでの量子化器の設計も重要課題であると考えられる。このような解析・設計手法の構築についても、プレフィルタとポストフィルタを量子化器の前後に挿入するアイデアにより実現する。

#### 4. 研究成果

(1) 動的量子化器の同時設計問題を考えるための端緒として、与えられた動的量子化器の適用条件、性能を評価する手法の構築を行った。具体的には、量子化器の性能およびどれだけの通信容量があればその動的量子化器が利用可能となるかの解明を過去の研究成果に基づいた解析手法として導いた。具体的には、LMI 最適化問題に準じた設計問題に帰着させることで数値的に動的量子化器の性能解析値を求める手法を提案した。この結果は、雑誌論文①および⑧に示している学術論文として公表している。通信容量の制約を陽に扱った量子化器設計については国内に研究しているグループはなく、インパクトは大きいと考えられる。

(2) 求めた解析手法に基づいた動的量子化器の設計法を導出した。導出した設計法はイタレーションを利用したアルゴリズムとなっており、良い性能となることを数値シミュレーションによって明らかにしている。また、

メモリ制約に起因した性能劣化の改善について考え、効果的な量子化器の設計方法を提案している。この結果をまとめたものが学術論文として掲載されている（雑誌論文⑤）。

さらに、多入出力系に対する結果も導いている（雑誌論文③）。従来は「通信容量」の問題を「ある固定量子化幅」での設計問題として仮定した上で、フィルタ部の設計のみに着目して動的量子化器の設計が間接的に行われた。本研究は、量子化部も考慮することで通信容量（量子化部の階段数）の問題を直接的に扱った動的量子化器の解析・設計を行う点で従来にない独創的な部分があり、本研究の特色である。通信容量制約を満たすか否かを判断するためにフィルタ部と量子化部の双方を同時に解析する点にも過去の研究に無い特色がある。また、通信と量子化との関係、それに伴い通信と制御性能との関係に見通しを与える点で、制御性能の本質的な限界値を見積もることとなるので学術的な意味でも産業的な意味でも意義がある。

(3) 入力信号の周波数が限定される場合に対して、量子化器の工夫だけでなくプレフィルタとポストフィルタの同時設計の方法を構築した。その結果は雑誌論文④にて公表している。さらに(1)および(2)で示した研究結果を踏まえ、周波数クラスが限定された場合の応用として、音声信号を少ないビットデータに圧縮し、その性能劣化について評価を行った。

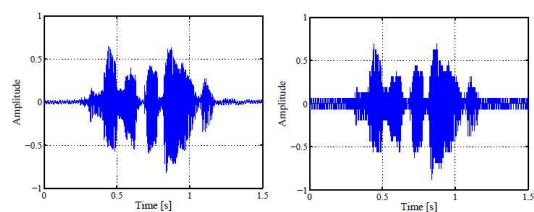


図4 音声信号圧縮前、圧縮後データ

図4に圧縮前後のデータを示す。圧縮後のデ

一タは量子化幅 0.0625 であり、離散的な値を取っていることが確認できる。本研究の結果を用いることで、従来の方法と比べて性能劣化度が少ないことを聴取実験などから確認した。この結果をまとめて学会発表している。本研究で得た結果の応用について、音声信号の圧縮だけでなく遠隔制御等の様々な枠組みに用いることが今後の課題となる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

①岡島寛, 海部静, 松永信智, 通信容量制約を満足する動的量子化器の出力可到達領域に基づいた性能改善, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.48, No.6, 359-361, 2012

②米良亮平, 岡島寛, 松永信智, 川路茂保, 筋の縦弾性係数の勾配法探索に基づく上肢6筋モデルの剛性パラメータ推定, 人間工学, 査読有, Vol. 48, No. 4, 187-195, 2012

③岡島寛, 澤田賢治, 松永信智, 南裕樹, 通信容量制約に基づく MIMO 系に対する動的量子化器設計, 電気学会論文誌 C 編, 査読有, Vol.131, No.10, 1767-1774, 2011

④岡島寛, 松永信智, AD/DA 変換におけるプレフィルタとポストフィルタの二段階設計, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 47, No. 4, 217-219, 2011

⑤岡島寛, 澤田賢治, 松永信智, 通信容量制約に基づく動的量子化器の統合設計, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 47, No. 2, 126-133, 2011

⑥ H. Okajima, N. Matsunaga and S. Kawaji, Design of Dynamic Quantizers for 2-DOF IMC and Its Application to the Temperature Control of a Heat Plate, SICE Journal of Control Measurement and System Integration, 査読有, Vol. 4, No.1, 77-82, 2011

⑦佐々野浩二, 岡島寛, 松永信智, 非整数次 PID 制御系のメモリ制約下での実装手法の検討と熱板温度制御系によ

る実機検証, システム制御情報学会論文誌, 査読有, Vol. 23, No. 11, 257-264, 2010

⑧岡島寛, 松永信智, 澤田賢治, 通信容量制約に基づく動的量子化器の量子化幅設計と性能解析, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.46, No.6, 327-335, 2010

[学会発表] (計 6 件)

①Y. Maruno, A. Z. Tarik, H. Okajima, N. Matsunaga, Driving Experiment of Front Drive Type Electric Wheelchair using Yaw-rate Control, SICE Annual Conference 2012, 秋田大学 (秋田県), 2012.8.23

②鍋倉司樹, 岡島寛, 松永信智, プレフィルタとポストフィルタを含む AD/DA 変換系の音声信号圧縮への応用, 第 55 回自動制御連合講演会, 京都大学 (京都府), 2012. 11.17~18

③梅井啓紀, 岡島寛, 松永信智, 浅井徹, モデル誤差抑制補償器を含むフィードバック制御系の安定性解析, 第 55 回自動制御連合講演会, 京都大学 (京都府), 2012.11.17~18

④岡島寛, 松永信智, 西村悠樹, 非線形システムの入出力線形化に対する新しいアプローチ, 計測自動制御学会第 12 回制御部門大会, 奈良文化センター (奈良県), 2012.3.14~16

⑤海部静, 岡島寛, 松永信智, 通信容量制約を満足する動的量子化器の出力可到達性に基づいた性能改善, 自動制御連合講演会, 豊橋技術科学大学 (愛知県), 2011.11.19~20

⑥岡島寛, 松永信智, AD/DA 変換におけるプレフィルタとポストフィルタの同時設計, 第 29 回 SICE 九州支部講演会, 宮崎大学 (宮崎県), 2010.12.4~5

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡島 寛 (OKAJIMA HIROSHI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号: 22760322