

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24年4月1日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2011

課題番号：22686041

研究課題名（和文） 画像情報のダイナミックな量子化による高精度位置決め制御

研究課題名（英文） Precise position control using dynamic quantization of image data

研究代表者

残間 忠直（TADANAO ZANMA）

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20324543

研究成果の概要（和文）：

近年の制御技術と通信技術の発展に伴い、ネットワークを介した制御システムが研究されている。本研究ではまず、複数の拘束条件下での応答性能の向上手法を提案し、シミュレーションと実験によりその有効性を明らかにした。さらに、量子化フィードバックにおける解像度の最適性についてモデル予測制御を用いた手法を提案し、先行研究では考慮されていなかった解像度の増減を許容した制御が可能であることをシミュレーションおよび実験によって明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

This research addressed a dynamic quantization of image data in a networked control system. Our goal is to optimize the measurement resolution of the quantizer in the feedback control so as to improve the control performance.

In our method, the optimal resolution is calculated with help of model predictive control. The effectiveness of the proposed method is verified by simulations and experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	7,100,000	2,130,000	9,230,000

研究分野：制御工学

科研費の分科・細目：電力工学・電気機器工学

キーワード：量子化フィードバック，モデル予測制御，ビジュアルフィードバック混合整数計画，拘束付き最適化，ハイブリッドシステム

1. 研究開始当初の背景

先進国が少子高齢化する時代に向けて、ロボットや通信などを介した医療工学の発展が望まれている。なかでも対象物に接触型の位置センサを必要としない画像情報を利用したビジュアルフィードバックによる高精度位置決め制御は、ロボティクス医療などにおける高精度位置決め制御には欠くことのできない技術であり、今後の

医療工学における中核技術としてその発展が期待されている。ビジュアルフィードバック制御では高精度な画質であるほど制御性能を向上できるが、遠隔操作のように通信を介する場合には通信路を効率的に利用する必要があるため、過不足のない画像情報を適切に設定する必要がある。しかしながら、制御性能と画像情報との関係を考慮した最適制御系設計に關す

る研究は発展途上であり、理論的にも興味深い問題と位置付けられている。

この課題に対して、申請者らはこれまで制御に必要なデータを理論上最適に量子化するダイナミックな量子化フィードバック安定化手法を提案し、実験によりその有効性を明らかにしてきた。本申請によってこの手法をさらに発展させ、通信路を介して量子化された画像情報を送受信する場合にパケット損失などの不安定要因が存在する場合においても、安定性を保証した上で高精度位置決め制御を実現する手法を確立する。これにより今後一層需要が高まる高度医療技術の発展に貢献する。

制御対象の情報を計測するカメラのフォーカシングは制御周期毎にズームイン、ズームアウト、変化なしの3とおりのモードに限定される。そこで、離散時間型状態空間モデルを利用して制御対象の挙動を予測して最適なカメラのモードをリアルタイムに決定する。この手法の基礎は、2005年度の三豊科学技術振興協会からの研究助成における人間のスキル解析とその自動化への応用の研究成果の知見が発展的に活用されている。具体的には、カメラのモード選択問題を制御周期毎の数理計画問題に帰着させ、常に最適なモードを設定することで制御対象の高精度位置決め制御を可能とする。ビジュアルフィードバックが主としてロボティクス環境認識等に利用されているのに対して、本申請のように制御性能とダイナミックな画像情報の圧縮・伸張を同時に考慮した最適制御に関する研究は多くない。そのような背景からも本申請は先端的な研究内容であり、その成果を特に先端医療工学に活用できるように研究項目を次頁のように設定する。

2. 研究の目的

位置決め制御では制御対象の位置情報が必要である。すなわち、大雑把な位置決めの場合には粗い情報でよいものの、精密な位置決め制御ではより高精度な情報が要求される。これは、ビジュアルフィードバックにおいてカメラが固定され解像度が一定である場合には、大域的な高精度位置決め制御性能が実現し得ないことを意味する。

そこで本研究期間では、与えられた仕様を満足するための最適な画像取得範囲と解像度を決定する。すなわち、カメラ画像の動的量子化の最適化アルゴリズムを提案し、高精度位置決め制御の有効性を2次元上を任意に移動する2DOF実験装置を利用して理論的・実験的に明らかにする。

当該分野における本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義を述べる。画像情報を利用する高精度位置決め制御においては、多くの場合は、カメラからの

取得画像は固定の解像度であり、制御性能を考慮して設定されることはない。これに対して、本研究で申請者らの提案する量子化フィードバック手法は、ビジュアルフィードバック制御におけるカメラのズームイン・アウトを制御対象の挙動を考慮して常に最適に自動化できるという特長を有する。すなわち、与えられた制御仕様と関連づけてカメラが能動的かつ最適に制御対象の情報を取得して、高精度な位置決め制御を実現できる点が特色である。

具体的には、系の最適性および拘束条件を考慮するためモデル予測制御を用いた量子化フィードバック安定化制御を提案する。

また、モデル予測制御を導入することにより、離散化された変数を扱うことが可能になる。具体例として制御対象の状態制御実験装置を用いて、シミュレーションおよび実機実験によって提案手法の有効性を検証する。

3. 研究の方法

実験に使用する2次元ボールバランス装置およびその概略図を図1に示す。



図1. 2次元ボールバランス装置

図1の2次元ボールバランス制御装置では、平板上をボールが回転できる。上部に取り付けられたカメラで用いた球の位置の画像データを取得することが可能である。画像データを適切に画像処理することにより、ボールを平板上の所望の位置に制御する装置である。平板の制御は2台のDCモータによって実現される。図1では、x軸およびy軸は干渉しない。すなわち、x軸のアクチュエータ

は y 軸の応答に影響しないものとする. 2つの DC モータは同じ構成であり, パラメータは共通であるので, 2つの軸のダイナミクスは同一である. 制御対象を制御周期 0.03[s] の条件で離散化し, 離散時間型状態空間モデルを得る. さて, カメラを用いた制御系に対しての分解能幅の離散化について説明する. ボールバランス装置では板幅をカメラの解像度で除算することにより最小分解能が算出される. つまり, カメラの 1 ピクセルが表現できる実寸値が最小分解能である. 平板が正方形であることから, 量子化器の分布も同様に正方形を保ちつつ変化する. たとえば分解能が 3 のときの画像データ例を図 2 に示す. 図 2 のような場合, ボールの位置は 4 つの 3×3 の領域のいずれかにいることのみがわかるだけで, 正確な位置情報はわからない. しかしながら, 図 2 の Δ の値を最適に変化させることで, データ量を圧縮することができる.

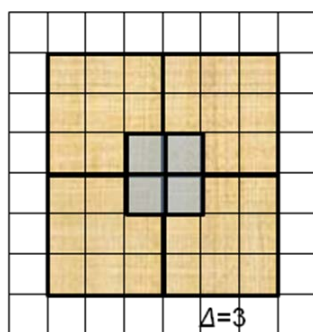


図 2. 分解能が 3 のときの画像データ例

4. 研究成果

まず提案手法の有効性をシミュレーションによって明らかにする. 量子化器の飽和値として 4 ビットを採用した. これは通常のデジタル制御で用いられる AD 変換のビット数 (12 ビット) とは異なり, 大幅に小さく設定されていることに注意されたい.

図 3 にボール位置の, x および y 座標の時間応答および分解能幅のシミュレーション結果を示す.

図 3 より, 提案する量子化フィードバックで所望の位置 (原点) へボール位置が収束していることがわかる. また, 分解能幅も適切に増減していることがわかる. これは, 従来他研究とは異なり, 制御対象の挙動を予測しながら常に最適な分解能幅を決定しているためである.

以上の結果から, 量子化フィードバック安定化制御においてその結果, 拘束条件を満たしつつ, 状態に応じた分解能幅が選択できることが明らかになった. 状態が所望の状態に収束したことから, 提案手法の有効性を示すことができた.

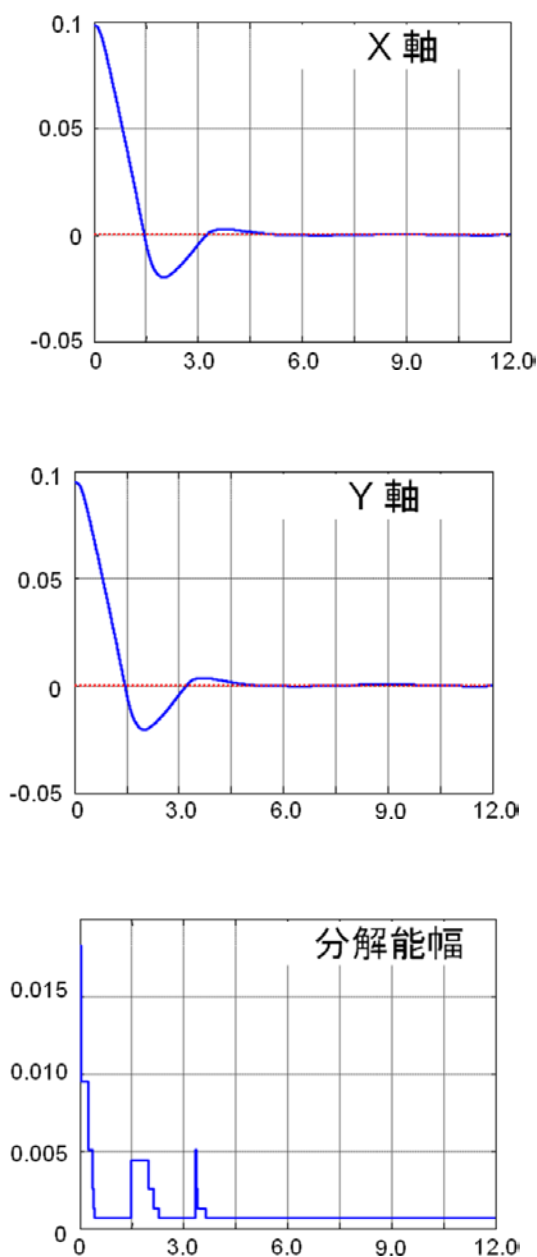


図 3. シミュレーション結果 (上: ボール位置の x 座標, 中: 同 y 座標, 下: 分解能幅, 横軸の単位は [s])

つぎに, 実験によって提案手法の有効性を明らかにする. 図 4 に, ボール位置の x および y 座標, 分解能幅および入力の実機実験結果を示す. 図 4 より, 入力の拘束条件を満足し, かつそれぞれのボールの位置は原点付近に収束していることがわかる. 図 3 のシミュレーション結果と異なり, 図 4 のボールの挙動に違いがあるが, これはモデル化誤差などが主因である.

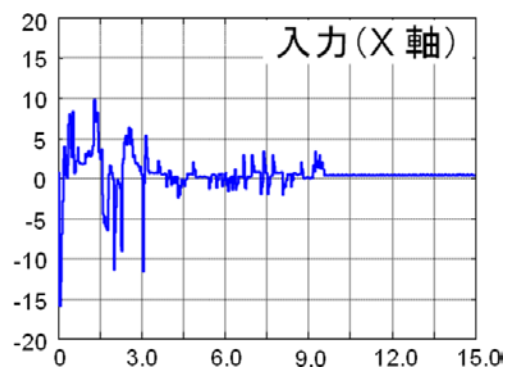
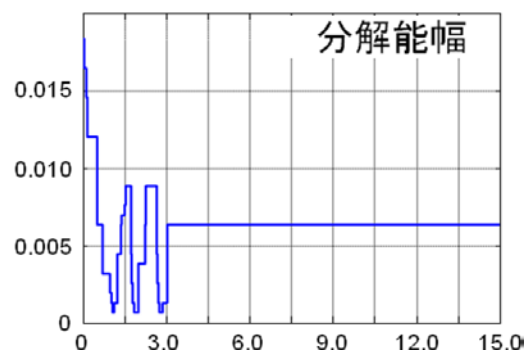
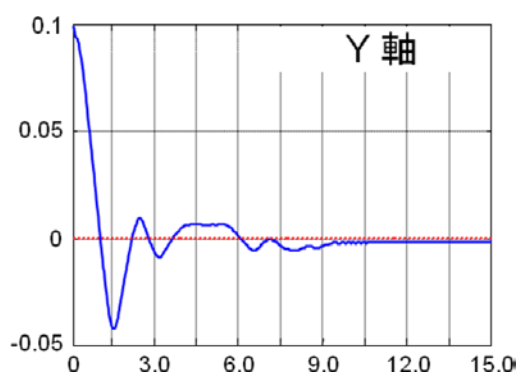
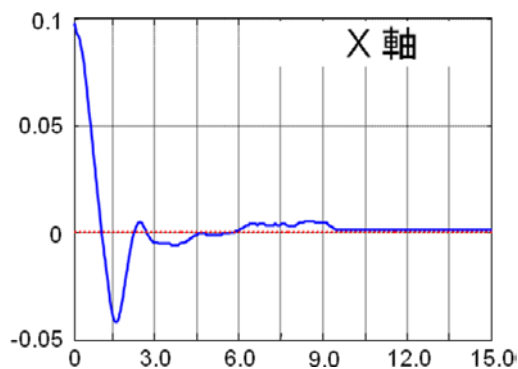


図4. 実験結果(上: ボール位置の x 座標, 2 段目: 同 y 座標, 3 段目: 分解能幅, 下:

入力 (DC モータへの, 横軸の単位は[s])

今後の課題として, 外乱の考慮, 安定化保証およびサーボ問題への拡張が挙げられる. 実際の制御系には, モデル化誤差やノイズによる入力誤差が存在する. そこで, 一つ目の課題として外乱に対してロバストな制御系を構築する必要がある. 二つ目の課題として, 現在提案している手法では最適性を保証しているが安定性は保証できていない点が挙げられる. そこで最適化問題に系の安定を保証するような制約条件を課し得られる解によって系を安定化する量子化フィードバック制御を提案する

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)

[学会発表] (計 2 件)

① Makoto Chujo, Muneaki Ishida Tadanao Zanma, Study on Quantized Feedback Stabilization Based on Model Predictive Control International Symposium for Sustainability by Engineering MIU (IS2EMU2011), 2011 年 12 月 1 日, 三重

② 仲条誠人, 残間忠直, 石田宗秋, 量子化フィードバック安定化に関する研究, 平成 23 年度電気関係学会東海支部連合大会, 2011 年 9 月 27 日, 三重

[その他]

新聞記事記載, 日刊工業新聞, 「通信技術と位置決め技術の研究」, 2012 年 3 月 19 日

ホームページ等

<http://www.sd.te.chiba-u.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

残間 忠直 (ZANMA TADANAO)

千葉大学 ・ 大学院工学研究科 ・ 准教授

研究者番号 : 2 0 3 2 4 5 4 3