

Takagi-Sugeno ファジィモデルを用いた リアルタイムシステムにおける QoS 適応制御 QoS Adaptive Control Based on Takagi-Sugeno Fuzzy Model in Real-time Systems

大阪大学大学院基礎工学研究科

上滝 晴雄, 潮 俊光

Haruo KOUTAKI and Toshimitsu USHIO

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract The development of middleware supporting QoS adaptive control is important. Koller et al. applies a standard fuzzy control technique to QoS adaptation control of distributed multimedia systems. However, there is large overhead caused by calculation of fuzzy inferences. In this paper, we propose a QoS adaptive control method based on the Takagi-Sugeno fuzzy model and its effectiveness is shown by experiment.

1 はじめに

計算機環境においてリアルタイムに送られてくるデータを処理する場合、ユーザはある一定の水準以上のサービス品質 (QoS:Quality of Service) が保証されることを期待する。ユーザレベルの QoS とシステムレベルの QoS とを変換する QoS マッピングにファジィ表現が応用されている [1]。最近, “Standard” なファジィモデルを用いた QoS 適応制御法 [2] が提案されたが, 非ファジィ化処理でのオーバーヘッドが大きく効率がよくない。そこで本論文では, Takagi-Sugeno ファジィモデル [3] を用いた QoS 適応制御法を提案する。さらに, 画像トラッキング実験によって本手法により QoS 適応制御器での計算負荷が大幅に軽減できることを示す。

2 Takagi-Sugeno ファジィモデル

Takagi-Sugeno ファジィモデルについて概説する。Takagi-Sugeno ファジィモデルのルール $R^i (i = 1, \dots, n)$ は以下のような If 部からなる前件部と then 部からなる後件部から構成される。

$$R^i : \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i, \dots, \text{ and } x_k \text{ is } A_k^i, \\ \text{then } y = g_i(x_1, \dots, x_k) \quad (1)$$

ここで, x_1, x_2, \dots, x_k は前件部の変数, y は後件部の変数, A_1, A_2, \dots, A_k はメンバシップ関数のファジィ集合, g_i は入力 (x_1, x_2, \dots, x_k) が前件部の条件を満たすときの出力 y を与える関数である。本論文では関数 g_i を 1 次関数 $g_i(x_1, \dots, x_k) = p_0^i + p_1^i x_1 + \dots + p_k^i x_k$ と仮定する。但し, $p_j^i (j = 0, \dots, k)$ はオフラインで決定される定数である。ルールの前件部からの入力 x_1, \dots, x_k に対

するメンバシップ関数値を $\mu_{A_1^i}(x_1), \dots, \mu_{A_k^i}(x_k)$ とすると満足度 α_i は $\alpha_i = \mu_{A_1^i}(x_1) \wedge \mu_{A_2^i}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{A_k^i}(x_k)$ である。ただし $a \wedge b = \min(a, b)$ とする。ファジィ推論値 y^* は以下ようになる。

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i (p_0^i + p_1^i x_1 + \dots + p_k^i x_k)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (2)$$

3 QoS 適応制御

3.1 QoS パラメータとタスクパラメータ

各タスクで行われた処理結果の評価は QoS パラメータとして定量的に評価できるとする。QoS パラメータの例として CPU での計算時間などがある。また, タスクを実行するときにはタスクパラメータと呼ばれる変数によって処理が異なる。タスクパラメータの例としてタスクのリリース時間, 最大 CPU 利用時間などがある。

3.2 ファジィ QoS 適応制御器

各 QoS パラメータからファジィ推論を用いてリアルタイムシステム全体を評価する QoS レベル値を求め, この値を基にタスクパラメータを制御するファジィ QoS 適応制御器を提案する。ファジィ制御には Takagi-Sugeno ファジィモデルを応用し, 図 1 に示すように 3 つのサブシステムから構成される。

- ファジィ制御器 (fuzzy controller)

各タスクの QoS パラメータをファジィ化し, ファジィ推論エンジンに送る。ファジィ推論エンジンでは, ファジィルールを適応し Takagi-Sugeno ファジィモデルを用いて QoS レベル値を計算する。

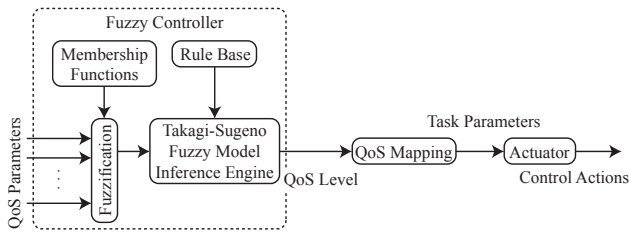


図 1: Takagi-Sugeno ファジィモデルの QoS 適応制御器

- QoS マッピング (QoS mapping)
ファジィ制御器で計算された QoS レベル値をもとに、各タスクのタスクパラメータ値を決定する。
- アクチュエータ (actuator)
QoS マッピングのプロセスで決定された新しいタスクパラメータ値をもとにシステムで実行されるタスクのリリースを行う。

4 画像トラッキングへの応用例

3 章で提案したファジィ QoS 適応制御の応用例として、リアルタイムに送られてくる画像のトラッキングを考える。ユーザが求める QoS は対象物体を見失うことなくトラッキングすることである。ファジィ制御器の入力である QoS パラメータとして、トラッキングしたフレームの対象物体の重心間距離とトラッキングにかかった CPU 計算時間を設定した。また、タスクパラメータとして、トラッキングする画像のフレームレートと対象物体の重心を中心とした領域の大きさを設定した。

4.1 計算時間の従来法との比較

文献 [2] で用いられたファジィ制御と本制御法を比較するために、ルール数を 6 とした場合のファジィ制御器における CPU 計算時間の平均を調べた結果を表 1 に示す。文献 [2] で用いられた制御法では、非ファジィ化処理でオーバーヘッドが大きくなるが、本制御法では式 (2) で示した簡単な演算によって出力を生成できるため、ファジィ制御器における計算時間が大幅に軽減できることが分かる。また、文献 [2] ではルール数を 3 として実験を行っているが、本制御法では 6 に増やしても計算のオーバーヘッドが小さいことを確認した。

4.2 QoS に関する考察

フレーム数を 100 とした同じ画像データを用いて 2 つの実験を行った。トラッキングする画像のフレームレートと対象物体の重心を中心とした領域の大きさをある一定値に固定した QoS 考慮しない場合と本制御法を用いた場合の CPU 計算時間をそれぞれ図 2 に示す。

表 1: 制御器における CPU 計算時間の比較

computation time	average (μsec)
Standard model	6.857×10^3
Takagi-Sugeno model	1.024

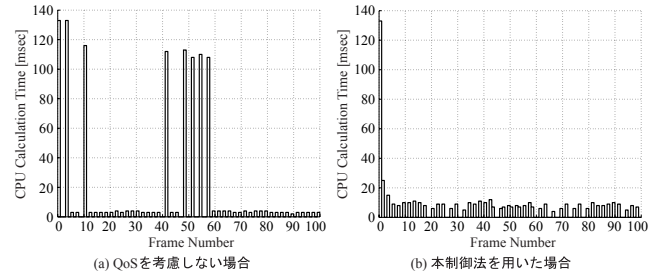


図 2: CPU 計算時間

QoS を考慮しない場合、トラッキングする領域を固定しているため、CPU 計算時間はほぼ一定の値を取る。しかし、フレーム番号が 40 から 60 の間でトラッキングミスしたことが原因で画像全体に対して物体の検索を行ったため CPU 計算時間が大きくバースト的に変化していることがわかる。本制御法を用いた場合、トラッキングする領域の大きさをリアルタイムに計算し変更するため CPU 計算時間が多少変動している。しかし、CPU 計算時間が大きくバースト的に変化するフレームがなく、トラッキングミスなく処理しており、本制御法が有効であることが確認できた。

5 あとがき

本論文では、リアルタイムシステムにおける QoS 適応制御法として Takagi-Sugeno ファジィモデルを用いる QoS 適応制御法を提案した。また、応用例として提案手法をリアルタイムに送られてくる画像のトラッキングに適用することによりその有用性を示した。

今後の課題としては、本手法に基づく QoS 適応制御を行うミドルウェアの開発が挙げられる。

参考文献

- [1] 中岡 謙, 松田 潤, “ファジィクラアシファイアシステムによる QoS マッピングルールの獲得”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J85-D-I, no.1, pp.69-78, Jan, 2002
- [2] Cristian Koliver, Klara Nahrstedt, Jean Marie Fraga and Sandra Aparecida Sandri, “Specification, Mapping and Control for QoS Adaptation”, Real-Time Systems, vol.23, no.1-2, pp.143-174, 2002.
- [3] Tomohiro Takagi and Michio Sugeno, “Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol.SMC-15, no.1, pp.116-132, January/February, 1985.