

心臓ペースメーカーのレート制御における CMAC 法とファジィ制御法の比較

松山 賢 水品 静夫 木村 元彦 木村 泰三* 原田 幸雄* 杉浦 敏文
静岡大学電子工学研究所, 浜松医科大学第一外科*

〒432 浜松市城北 3-5-1

Tel: 053-478-1328, Fax: 053-478-1333

E-mail: t-sugi@rie.shizuoka.ac.jp

あらまし 複数の指標を有する心臓ペースメーカーのレート制御に CMAC(Cerebellar Model Arithmetic Computer)の手法を応用し, その可能性について検討した. 2入力と3入力の場合についてレート算出を行い, ファジィ推論を用いた場合との比較・検討をした. その結果, ファジィ推論とほぼ同程度の結果が得られるとともに計算速度は, その 20~30 倍であった. 本方法は, 低消費電力を要求される植え込み型心臓ペースメーカーのレート制御アルゴリズムとして有望であると思われる.

キーワード レート応答型心臓ペースメーカー, CMAC 法, ファジィ制御法

Comparison between CMAC and fuzzy algorithm for the rate regulation in rate adaptive cardiac pacemakers

K. Matsuyama, S. Mizushina, M. Kimura, T. Kimura*, Y. harada*, T. Sugiura

Research Institute of Electronics, Shizuoka University

1st Dept., Hamamatsu University, School of Medicine*

Johoku 3-5-1, Hamamatsu 432

Tel: 053-478-1328, Fax: 053-478-1333

E-mail: t-sugi@rie.shizuoka.ac.jp

Abstract The method of CMAC(Cerebellar Model Arithmetic Computer) was applied to the rate regulation in a rate adaptive cardiac pacemaker with multiple sensors. In the cases of 2 and 3 input guide parameters, pacing rates were calculated and compared with those obtained through fuzzy logic. The results were almost the same with those from fuzzy algorithm. Calculation speed was 20~30 times faster than those by fuzzy logic. CMAC algorithm is very simple and therefore, promising as an algorithm in multigude cardiac pacemakers.

key words rate adaptive cardiac pacemaker, CMAC, fuzzy logic

1. はじめに

我々はマルチセンサー型心臓ペースメーカー⁽¹⁾のレート制御において、ファジィ制御の手法を応用することを提案してきた。そして、制御指標として分時換気量、酸素飽和度、体温、呼吸数などを用いた制御において良好な結果を得ている^(2,3)。しかしながら、ファジィ推論では、レートを算出する際に多数回の乗算を行う必要がある。さらにその回数は、入力する制御指標の数が増えると指数関数的に増加する。低消費電力が要求される植え込み式ペースメーカーでは、簡単なアルゴリズムでレートを算出することが望ましいと思われる。そこで、今回はより単純な計算でレートの算出が可能と思われる、米国の Albus⁽⁴⁾によって提案された CMAC (Cerebellar Model Arithmetic Computer) の手法を複数の指標を持つ心臓ペースメーカーのレート制御に適用し、その可能性について検討した。本報告では、最初に CMAC について簡単に述べ、次にファジィ推論との比較を制御指標が2つ

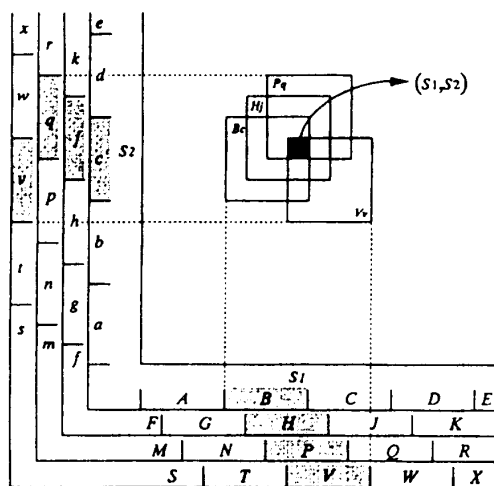
(分時換気量、酸素飽和度)と3つ(分時換気量、酸素飽和度、体温)の場合について行った結果について述べる。

2. CMAC 法によるレート制御の概要

2.1 制御の流れ⁽⁴⁾

CMAC 法では制御の際にまず、量子化関数によって分割された入力空間を定義する。図1は入力2つの場合の2次元の入力空間であり、3入力の場合は入力空間は3次元となる。

図1の入力空間に入力 (s_1, s_2) が入力されると、各々の軸の量子化関数から s_1 の点を含む要素の集合 m_1^* と s_2 の点を含む要素の集合 m_2^* が選出され、この2つの集合の組み合わせから、 (s_1, s_2) を含む空間の集合 A^* が定義される。定義より、 A^* の全ての要素に含まれる入力の組み合わせは (s_1, s_2) のみであるため、 A^* の各要素にそれぞれ図2のような荷重の値を定義し、その総和をとることによって入力に対する応答を得ることができる。

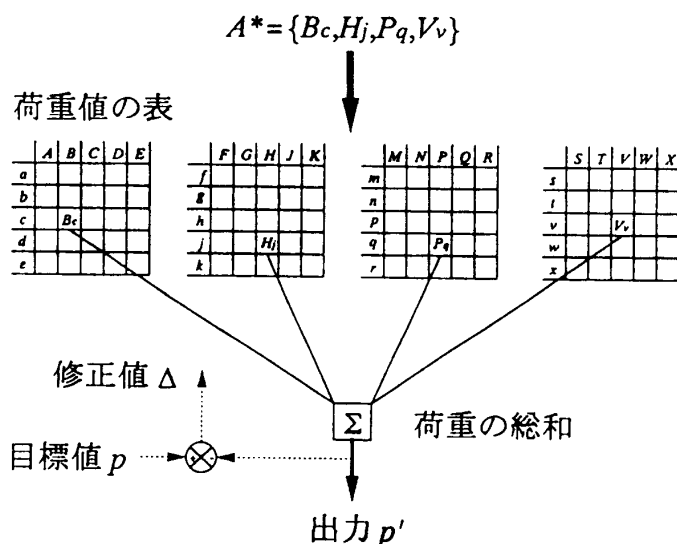


$$m_1^* = \{B, H, P, V\}$$

$$m_2^* = \{c, j, q, v\}$$

$$A^* = \{Bc, H_j, P_q, V_v\}$$

図1. CMACにおける入力空間
(文献(4)より引用)



$$\Delta = g \frac{p - p'}{|A^*|}$$

$|A^*|$: p' の算出時に使用した荷重の個数
 g : 学習利得 ($0 < g \leq 1$)

図2. 応答の出力及び学習
(文献(4)より引用)

2.2 目標値を用いた学習

CMAC 法では出力を荷重値の総和によって求めるため、制御を行うためには前もって荷重の表を作成しておく必要がある。荷重表の作成を行うために、CMAC では目標値を用いた学習を行う。学習は次のような順序で行われる。

1. データの入力を行い、現段階の荷重の状態での応答 p' を出力する。
2. p' と目標値 p とを比較し、誤差が許容範囲内であれば何も行わないが、許容範囲外であれば

$$\Delta = g \frac{p - p'}{|A^*|}$$

で表される修正値 Δ を応答を得るために使用した全ての荷重に加える。但し、上式において $|A^*|$ は p' を求める際に用いた荷重の個数であり、修正値は荷重表に均等に振り分けられる。また、 g は 1 回の学習における修正の度合いを表す学習利得である。

先に述べたように CMAC 法では、出力を荷重値の総和によって求めるため、少ない回数の加算のみでレート算出が可能である。よって比較的単純なプログラムを用いて短時間で応答が得られることが CMAC 法の利点である。

3. 実験

3.1 計算条件

CMAC 法による制御の有効性を確認するため、実際の運動負荷実験のデータを用いて結果を出力し、ファジィ推論による結果との比較を行った。レート算出に使用した CMAC 法とファジィ推論の計算条件を右に示す。

3.2 使用するデータ

入力データと目標値は 2 入力についてはすでに報告した値⁽²⁾を用い、3 入力については新たに走行実験を行って得た結果をデータの前後 3 点を用い

表 1. CMAC 法の計算条件

計算条件	
量子化関数の数	5 個
入力分解能	1(体温に関しては 0.1)
データ学習の繰り返し数	1000 回
学習利得	0.005

表 2. ファジィ推論の条件

計算条件	
メンバーシップ関数のファジィ・ラベル数	7 個
推論法	代数和-product 法
非ファジィ化	重心法

た移動平均を取り、平滑化して使用した。実験の方法を簡単に示す。健康成人に簡易トレッドミルと自転車エルゴメータによって運動負荷をかけ、その間の分時換気量、酸素飽和度、体温、及び心拍数を測定した。分時換気量は呼気流速曲線を積分することにより、酸素飽和度はパルスオキシメータを用いて左手第 2 指先端から求め、体温はサーミスタ温度計を用いて左腋下部から求めた。また、心拍数は心電図から求めた。以下に 2 種類の実験について記す。

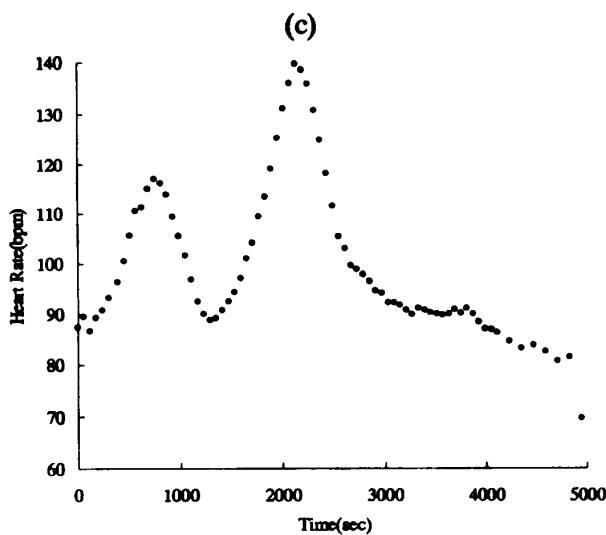
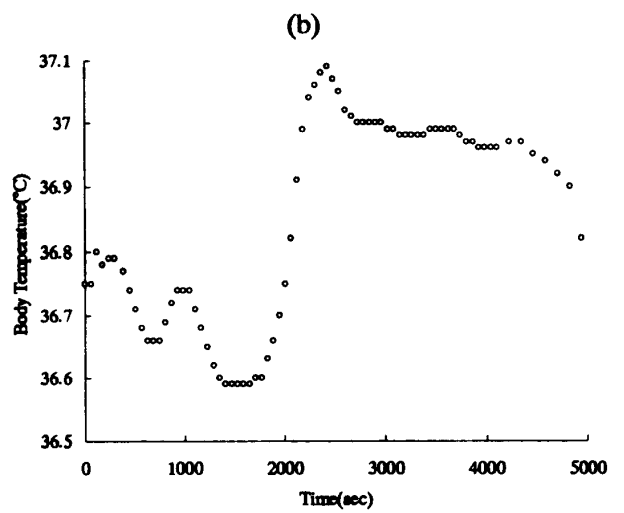
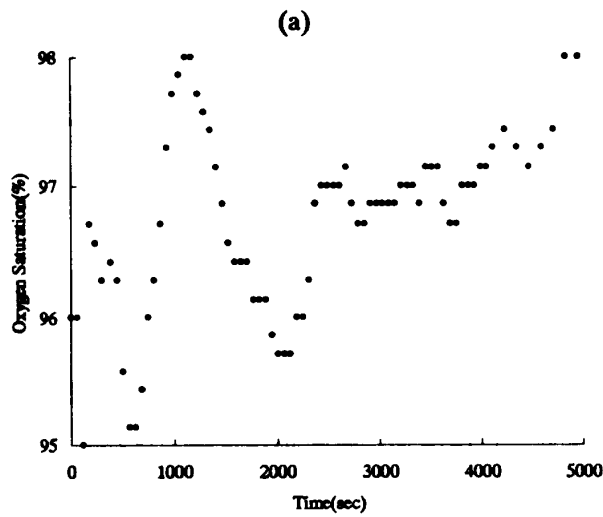
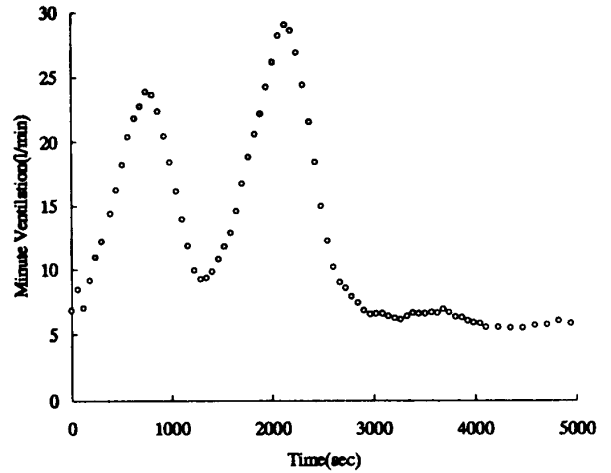
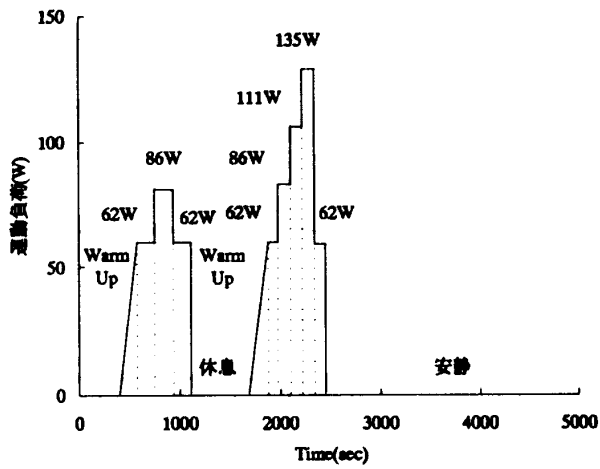
実験 A: 健康成人に簡易トレッドミルを用いて走行させ、その時の分時換気量、酸素飽和度、心拍数を計測

実験 B: 健康成人に自転車エルゴメータを用いて図 3(a)に示すパターンで運動負荷をかけ、その時の分時換気量、酸素飽和度、体温、心拍数を計測

2 つの実験のうち、実験 B の結果を図 3(b),(c),(d),(e)に示す。実験 A については分時換気量と酸素飽和度の 2 つを入力とし、実験 B については分時換気量と酸素飽和度、体温の 3 つを入力と

し、それぞれの自発心拍数を目標値として、CMAC
については荷重表を、ファジィ推論についてはメ

ンバーシップ関数と制御規則を作成した。その後、
もう一度同じ入力を与えてレートを計算した。



(e)

図3. 自転車エルゴメータによる運動負荷実験(実験B)

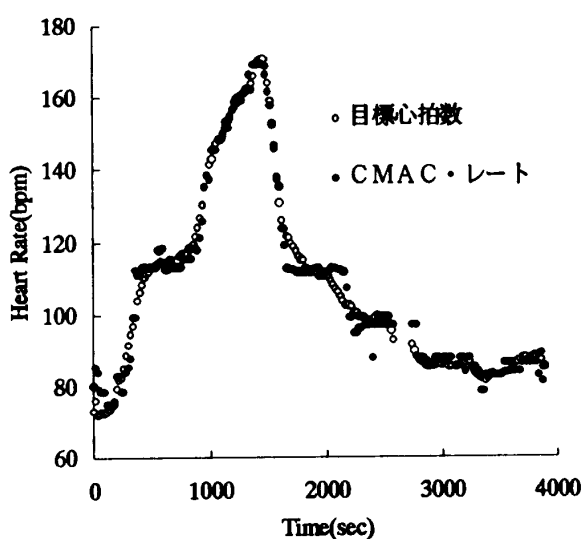
- (a) 負荷パターン (b) 分時換気量 (c) 酸素飽和度
(d) 体温 (e) 目標心拍数

4. レート算出結果

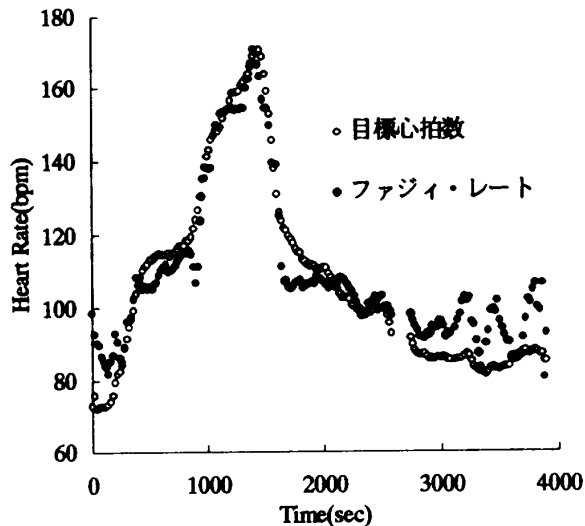
レート算出の結果を実験 A は図 4 に、実験 B は図 5 に示す。図からファジィ推論と CMAC 法とで

はほぼ同等の結果が出ていることが確認できた。

また、実験 A と実験 B のそれぞれについて CMAC 法とファジィ推論を用いた場合の 1 組の入力に対する応答が出力されるまでの時間を表 3 に示す。



(a)

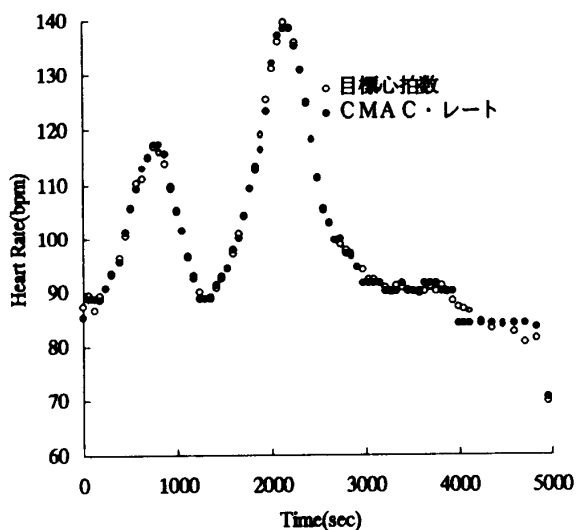


(b)

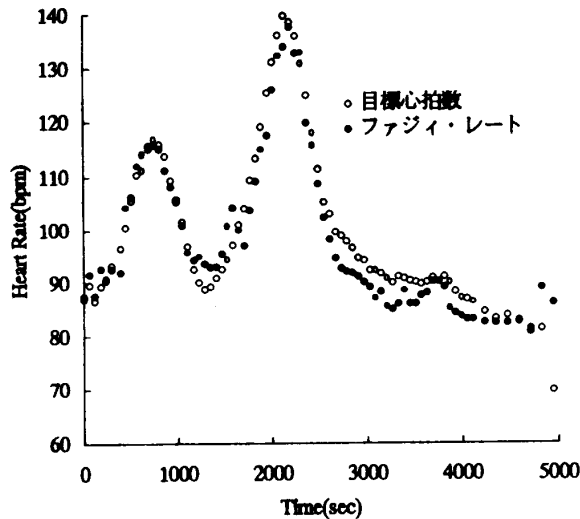
図 4. レート算出結果(実験 A)

(a) CMAC 法

(b) ファジィ推論



(a)



(b)

図 5. レート算出結果(実験 B)

(a) CMAC 法

(b) ファジィ推論

表3. 応答に要した時間 (単位: msec)

	CMAC 法	ファジィ推論
実験 A	0.4	9.6
実験 B	0.6	21.3

表からわかるように CMAC 法とファジィ推論では CMAC 法の方が実験 A ではおよそ 20 倍、実験 B ではおよそ 35 倍の速さでレートの算出が可能であることが確認でき、入力パラメータの数が増えるほど計算速度に関する CMAC 法の優位性が顕著になることがわかる。このことは将来指標が増えた場合には^(6,7)特に有望な性質となると考えられる。また、必要となるメモリ容量については今後検討していきたい。

5. おわりに

本研究では、ファジィ推論よりも単純な計算でレートの算出が可能と思われる CMAC の手法を応用して、制御指標を 2 つ及び 3 つ用いたレート制御を行い、ファジィ推論による結果との比較を行った。CMAC 法はファジィ推論とほぼ同等の結果をファジィ推論の数十倍の速さで出力しており、CMAC 法の心臓ペースメーカーのレート制御への応用が有効であることが確認できた。また、入力する制御指標が多い場合には、その有効性はさらに増すことが確認できた。

参考文献

- (1) S. Serge Barold and Jacques Mugica : "New perspectives in cardiac pacing .2" ,Futura Publishing (1991)
- (2) 杉浦敏文、水品静夫、木村元彦、石神直之、木村泰三、原田幸雄 : "マルチセンサー型心臓ペースメーカーにおけるレート設定支援システム" ,人工臓器 21 (2), pp. 678-681 (1992)
- (3) 高木孝之、水品静夫、杉浦敏文、木村元彦、

木村泰三、原田幸雄 : "3 入力指標によるファジィレート制御" ,人工臓器 23 (1), pp. 199-202 (1994)

- (4) James S. Albus 著、小林幸夫、林巖、亀井宏行 訳 : "ロボティクス" ,啓学出版 (1984)
- (5) Benett T, Sharma A, Sutton R, et al : "Development of a rate adaptive pacemaker based on the maximum rate-of-use of right ventricular pressure (RV dp/dt max)" , PACE 15, pp. 219-234 (1992)
- (6) Schaldach M and Hutten H : "Intracardiac impedance to determine sympathetic activity in rate responsive pacing" , PACE 15, pp. 1778- 1786 (1992)
- (7) Stangl K, Wirtzfeld A, Heinze R, et al : "A new multisensor pacing system using stroke volume, respiratory rate, mixed venous oxygen saturation, and temperature, right atrial pressure, right ventricular pressure, dp/dt" , PACE 11, pp. 712-724, (1988)