

SW 試験法を用いた FA 制御ソフトウェアの適合性試験に関する基礎研究

北海道大学大学院工学研究科 ○魚住 一 金井 理 岸浪 建史

要旨

現在、FA 制御ソフトウェアに対しては適切な適合性試験法が存在しない。そこで、FA 制御ソフトウェアの制御フローの最も基本的な仕様が有限状態機械で近似的に記述できるという性質を利用して、通信制御ソフトウェアに対する適合性試験の 1 つである SW 試験法を、具体的な機器の制御を行う FA 制御ソフトウェアの適合性試験に対して応用し、その有効性を確認する。

1. はじめに

現在通信制御ソフトウェアでは、有限状態機械によって制御仕様が形式的に記述されることが多く、実装されたソフトウェアに対する各種の適合性試験方法が提案されている[1]。一方 FA 制御ソフトウェアの挙動も本質的には有限状態機械で記述可能なものが多いが、現状では仕様が文章、タイミングチャート、フローチャート等による記述が多く、また実装されたソフトウェアに対する適合性試験も活用されていない。そこで本研究では、制御仕様が有限状態機械として与えられることを前提とし、通信制御ソフトウェアの適合性試験法を FA 制御ソフトウェアの適合性試験に応用する方法論を提案する。また試験系列自動作成プログラムによって得られた試験系列を用いて、具体的な FA 制御ソフトウェアの適合性試験を行い、その有効性を確認する。

2. 各種適合性試験法の特徴

従来提案されている適合性試験法とそれぞれの特徴は以下のようにまとめられる[1] (1)PW 法: 試験系列の存在は保証されているが、状態数に依存して試験系列長が長くなるという欠点を持つ。(2)DS 法: 試験系列は単一であり試験系列長は短い、試験系列の存在が必ずしも保証されていないという欠点を持つ。(3)SW 法: 試験系列の存在が保証されているが、試験系列は単一でない。しかし PW 法よりも試験系列長は短い。

上記の比較により本研究では SW 法を選択し、これを

FA 制御ソフトウェアの適合性試験に応用する。まず、図 1 のように有限状態機械で表された制御仕様から SW 試験法に基づいて、試験入力系列と基準出力系列の作成を行う。次に得られた試験入力系列を仕様から別途開発された制御プログラムに入力し、得られた実出力系列と基準出力の比較を行い、開発されたプログラムが仕様に適合しているかの検証を行う。

3. 有限状態機械

制御仕様の記述手段である有限状態機械は以下の 5 つの項目によって定義される。

$$\langle S, X, Z, \delta, \omega \rangle$$

ここで $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ は状態集合、 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ は入力記号の集合出力記号の集合、 $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ は出力記号の集合、 $\delta: X \times S \rightarrow S$ は状態遷移関数、 $\omega: X \times S \rightarrow Z$ は出力関数である。

このような有限状態機械は、図 2 のような状態遷移図表現、もしくは表 1 のような状態遷移表、出力表を用いて表現できる。

4. SW 試験法の試験系列作成法

SW 試験法の試験入力系列には、任意の 2 状態 $s_i, s_j \in S$ を区別するための入力系列の集合である W 集合を用いる。W 集合は以下の 3 手順に従い作成される[2]。

- ①状態集合 S の k 次等価分割を実行する。全状態 s_1, \dots, s_n に対し、任意の入力 $x \in X$ を入力しその出力値の同一性によって状態集合 S を分割する。長さ k の入力系列で状態の区別ができる S の部分集合を k 次等価分割の集合と呼ぶ。
- ②得られた k 次等価分割の集合より任意の 2 状態 s_i, s_j を区別するための入力系列を決定する。図 3 のように k 次等価分割では等価分割内の同一の集合に含まれ、かつ k-1 次等価分割では等価分割の異なる集合にそれぞれの状態が含まれる様な長さ 1 の入力を考える。このような入力を k の値が減少する順に並べることで、状態 s_i と s_j を区別するための入力系列を決定できる。
- ③状態集合内の全ての 2 状態の組合わせに対し①②の手

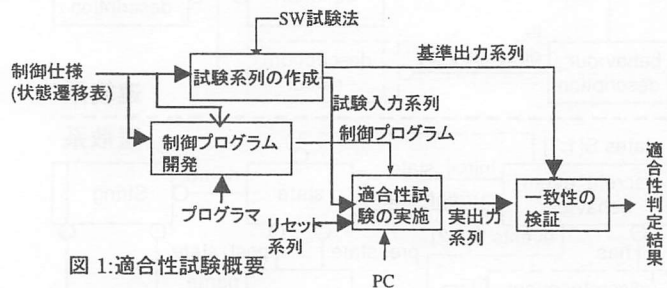


図 1: 適合性試験概要

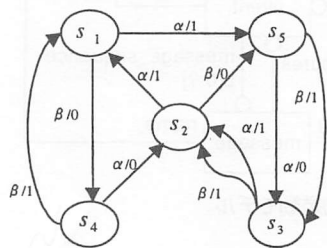
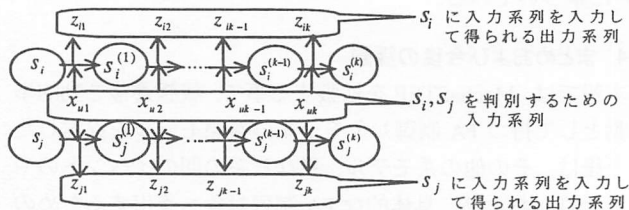


図 2: 状態遷移図

表 1: 状態遷移表 出力表

X \ S	δ		ω	
	α	β	α	β
s_1	s_5	s_4	1	0
s_2	s_1	s_5	1	0
s_3	s_2	s_2	1	1
s_4	s_2	s_1	0	1
s_5	s_3	s_3	0	1



$z_{i1} = z_{j1}, z_{i2} = z_{j2}, \dots, z_{i(k-1)} = z_{j(k-1)}, z_{ik} \neq z_{jk}$
 $s_x^{(k)}$: 状態 s_x に対し長さ k の入力を入力した後の状態

図 3: W 集合作成のための入力系列決定

順を行い、全ての状態の区別を行う入力系列を決定する。

5. SW 試験法を用いた適合性試験実施方法

図 4 に示すように、以下の①②③④の順に従って適合性試験を行う。[3]

- ①任意の状態から特定状態 s_i にするためのリセット系列を入力
- ②状態 s_i に対し W 集合に属する全ての試験系列を 2 回入力する。1 回目の入力得られる実出力系列の集合と基準出力系列の集合の比較を行い、仕様で定めた状態が全て存在することを確認する。さらに 2 回目も上記と同様に W 集合を入力し、W 集合を入力した後の状態に正しく遷移していることを確認する。
- ③ある状態 s_i に対し、集合 X 内の入力記号を全て入力して状態遷移を起し、遷移後の状態が仕様で定めた状態であることを②と同様の手順で確認する。
- ④①～③を状態集合内の全ての状態に対し繰り返す。

例えば、図 2 の状態遷移図から得られる W 集合は図 5、図 6 より $W = \{\alpha\beta, \alpha, \beta\}$ となる。またこの W 集合に対する基準出力系列はそれぞれの状態に対し $s_1\{11,1,0\}$ $s_2\{10,1,0\}$ $s_3\{10,1,1\}$ $s_4\{00,0,1\}$ $s_5\{01,0,1\}$ となり、全ての状態が異なる出力系列の集合を持つため、各状態の存在の確認ができる。次に状態 s_1 に対し、入力 α を入力し、その遷移先 s_5 に対し、W 集合の入力系列を入力して得られる出力系列は $\{01,0,1\}$ となるので、 s_1 から s_5 の状態遷移が仕様どおりであるのが確認できる。これを入力 β についても同様の手順で行う。この後 $s_2 \dots s_5$ についても

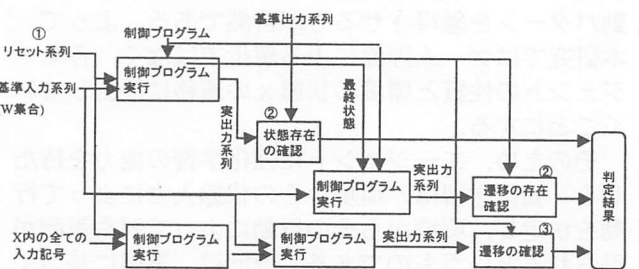
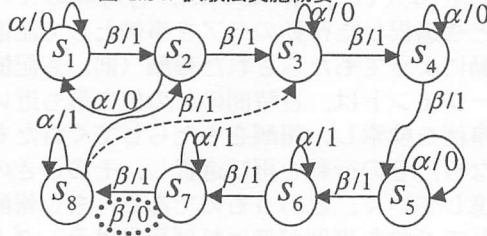


図 4: SW 試験法実施概要



S_1 : 停止 S_2 : 運動開始 S_3 : リフト下降 S_4 : リフト停止 S_5 : プッシャ前進 S_6 : プッシャ後退 S_7 : ステップ送り S_8 : ステップ送り停止
ステップ送り: 基盤を押し出すためにリフトが下降すること

図 7: 図 8 の機器の状態遷移図

表 2: 適合性試験実行結果

	状態存在の確認	状態遷移の確認
入力系列	$\{\beta\beta\beta\alpha, \beta\beta\beta\alpha, \beta\beta\alpha, \beta\alpha, \alpha\}$	$\beta\{\beta\beta\beta\alpha, \beta\beta\beta\alpha, \beta\beta\alpha, \beta\alpha, \alpha\}$
基準出力系列	$s_7\{11110, 1110, 110, 11, 1\}$	$s_4\{11111, 11111, 111, 10, 0\}$
仕様に適合したプログラムに対する実出力系列	$s_7\{11110, 1110, 110, 11, 1\}$	$s_4\{11111, 11111, 111, 10, 0\}$
仕様に適合しないプログラムに対する実出力系列	$\{01110, 0110, 010, 01, 1\}$	$\{11110, 11111, 111, 10, 0\}$

同様に状態遷移の確認を行う。

6. 具体的 FA 機器のソフトウェアに対する適合性試験の応用

制御仕様が図 7 の状態遷移図で与えられる図 8 のような具体的な FA 機器の制御ソフトウェアを C 言語によって開発し、そのソフトウェアに対し適合性試験を実施した。表 2 より仕様で適合したソフトウェアに対し試験を実施すると、基準出力系列と実出力系列が一致することが確認できた。また図 7 の点線部のように状態遷移関数、出力関数に欠陥を有するプログラムを作成し 5 節の②③の手順を行った。その結果表 2 のような結果となり、基準出力系列と実出力系列が一致しないため仕様が定めていない状態が存在することが確認でき、適合性試験の有効性を確認することができた。

7. 終わりに

仕様が有限状態機械で与えられる FA 制御ソフトウェアに対して通信制御ソフトウェアと同様の SW 試験法を利用する方法論を提案した。また、具体的な FA 制御ソフトウェアに対して提案した適合性試験を実施し、仕様に対する適合性の検証が実行可能であることを確認した。

参考文献
 [1] 佐藤文明: "通信プログラムの試験", 情報処理, Vol39, No1, p13-18
 [2] 当麻喜弘: "順序回路論", 昭晃堂(昭 51)
 [3] 佐藤文明他: "有限オートマトンに基づくシステムの試験系列自動作成手法の提案", 電子通信学会論文誌 (B-I), (1998) Vol. J72-B-1, No3, pp.183-192

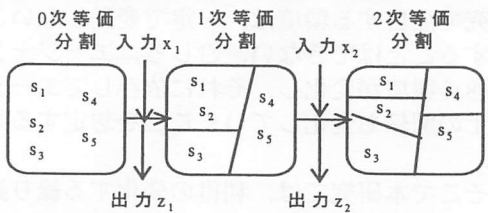


図 5: 図 2 の状態集合の k 次等価分割

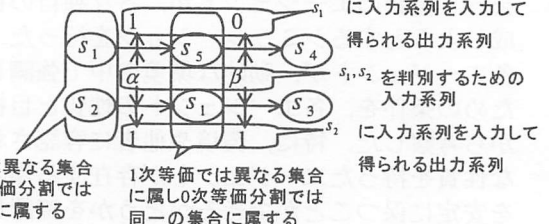


図 6: W 集合の入力系列作成例 (s_1, s_2 を区別)

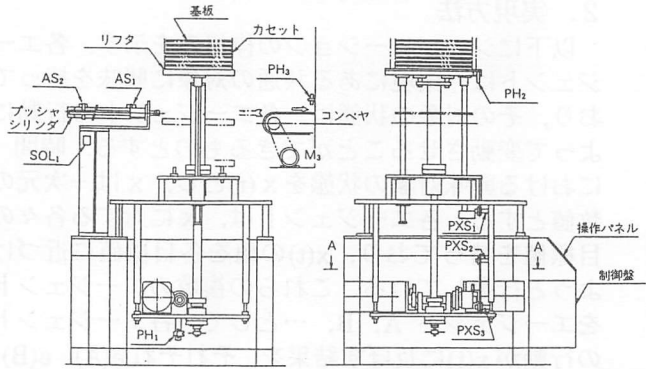


図 8: FA 機器の概要図(基板供給ユニット)