

7V-6

# 汎用OSテスト支援システムOSTD(3)

## — テストカバレッジ評価方式 —

佐藤孝夫 吉澤康文 久保隆重 戸塚健司 鶴飼良夫

(株)日立製作所

### 1. はじめに

汎用計算機オペレーティング・システム(OS)は、機能の拡大に伴い大規模化複雑化している。計算機システムのソフトウェアによる事故を防止するには、OSの高信頼化、高品質化が必須であり、そのためには、OSを構成するプログラムの品質を定量的に評価する必要がある。プログラムの品質を定量的に示す指標として、一般にテストカバレッジ率が用いられている。テストカバレッジ率の算出には、対象プログラムの命令実行列をモニタする必要があるが、汎用大型OSは、数百万ステップを越える膨大なソフトウェアであり、かつ特権モード比率が高く、その動作をモニタすることは困難であり、テストカバレッジ情報を自動的に採取することができなかった。汎用大型OSの高信頼化のために開発されたOSテスト支援システム(OSTD:OS Test Driver)では、テストカバレッジ情報採取用ハードウェア(TCA:Test Coverage Assist)を中央処理装置に付加し、被テストOSのテストカバレッジ情報を採取し、解析するシステムを開発した。ここでは、TCA機構の概要およびOSTDシステムにおけるサポート方式について報告する。

### 2. テストカバレッジアシスト機構

プログラムの品質の定量的評価のためプログラムを構成する命令語および実行パスの実行、未実行の比率(C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>メジャー)を評価するテスト充分性評価技法が一般的に用いられている。C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>メジャーは、以下の式により算出する。

$$C_0 = \frac{\text{実行済命令ステップ数}}{\text{全命令ステップ数}} \times 100 [\%]$$

$$C_1 = \frac{\text{実行済部分パス数}}{\text{部分パスの総数}} \times 100 [\%]$$

ここで部分パスとは、分岐点から分岐点までを示すため、分岐命令の分岐成功、失敗を求めることによりC<sub>1</sub>メジャーを算出することができる。したがって、TCAはこれらテストカバレッジ率を算出するための情報(分岐命令を除く命令語の実行の有無、分岐命令の分岐成功、失敗)を被テストOSの実行速度を落すことなく採取する。TCAの機能、特徴を以下に示す。

- (1) スタティック・トレース機能: 一般の命令トレースの様な命令の実行履歴を時系列に記録してゆき動的なプログラムの動きをトレースするものではなく、プログラム側からみて各々の命令が実行されたかどうかという情報を採取する機能(これをスタティック・トレース機能という)を持つ。これによりOSの核プログラムに動的トレースを採用した時の膨大な動的トレースデータの発生を回避するこ

トレース情報の意味

ビット位置 2<sup>2</sup> 2<sup>1</sup>

0 0	.....	命令未実行
0 1	.....	命令実行(分岐命令を除く)、又は、分岐不成功
1 0	.....	分岐成功
1 1	.....	分岐成功、分岐不成功の両方の事象を記録

トレース実行例

オブジェクト		カバレッジデータ		
番地	命令語	番地	情報	命令語との対応
00	L	00	00	
04	ST	02	00	
08	BC	04	01	L (命令実行)
0C	---	06	00	
16	AR	08	01	ST (命令実行)
18	L	0A	00	
		0C	10	BC (分岐成功)
		0E	00	
		10	00	
		12	00	
		14	00	
		16	00	
		18	01	AR (命令実行)
		1A	00	
		1C	01	L (命令実行)
		1E	00	

図1 TCAが採取するテストカバレッジ情報

とができる。さらに、このようなスタティック・トレース情報は、図1に示すように2バイトの命令に2ビットのトレースデータがあればよいので、プログラムの領域の1/8の容量のトレースメモリで済む。

- (2) **トレースバッファ域分割機能**：OSTDシステムは、同時に複数のOSのテスト、デバッグを可能としている。したがって、TCAも同時に複数のOSの実行をトレースしなければならない。このために、TCAのトレースメモリを分割し、各仮想計算機に分割したトレースメモリ（トレースエントリ）の一つを割当てる。さらに、TCAのトレースメモリ容量は大きくなく（現在64K\*2ビット）、トレース対象プログラムを限定する必要がある。このため、トレースエントリに対し4つのトレース領域を独立に設定できる。

- (3) **仮想計算機走行状態識別機能**：TCAは、仮想計算機上のOSの実行だけをトレースする必要がある。したがって、現在実行されている命令語が仮想計算機上のOSのものか、仮想計算機制御プログラム（VMCP：Virtual Machine Control Program）のものかを識別する機能を有する。

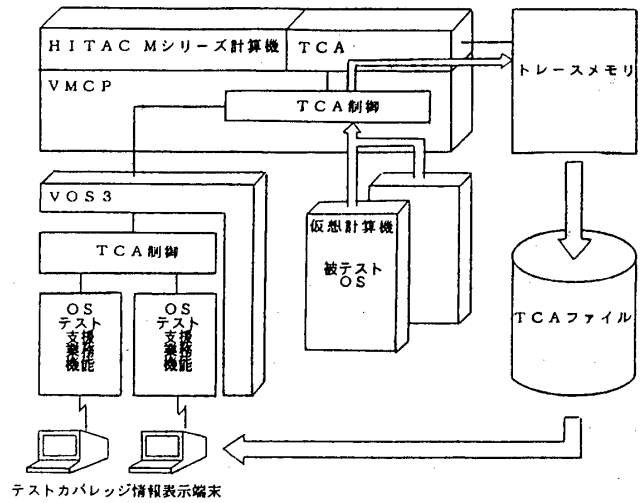


図2 OSTDにおけるTCAサポート構成図

### 3. TCAサポート方式

OSTDシステムでは、先に示したTCAを用いて被テストOSのテスト充分性評価情報を収集解析する。このため、以下の機能をOSTDシステム上に実現した。（図2）

- (1) **仮想TCA機能**：1つの実TCAを複数の仮想計算機がそれぞれあたかも1台の実TCAを専用しているかのごとく共用させる。
- (2) **トレースデータの収集**：OSTDでは、同時に複数のOSのテスト、デバッグを行なう。このため、トレース対象OSが動作する仮想計算機をディスパッチする際の、TCA起動制御を行なうと同時に、トレースメモリからこれを解析蓄積処理するため、被テストOS実行監視用OS内に用意しTCAファイルに転送する。
- (3) **トレースデータ解析方式**：TCAが採取するトレースデータはビットパターン情報であり、これだけではテスト充分性の評価はできない。このため、被テストOSのトレース対象領域のメモリ内容を取り込み、この情報とTCAが採取したトレース情報を突き合わせ、テストカバレッジ情報（ $C_0$ 、 $C_1$ ）を解析する。
- (4) **テストカバレッジ情報保存機能**：テスト充分性評価は、一つ一つのテストにより採取されるカバレッジ情報を積み重ねて行なわなければならない。したがって、テストケースとカバレッジ情報管理機能が必要となる。

### 4. 効果

従来人手に頼っていた汎用OSのテスト充分性評価をこれにより自動的に行うことができ、さらに未テスト部分の検出が容易になると同時にテストの重複を避けることができるため、テスト作業の高効率化と、より高品質なプログラムの開発を行うことができる。

### 5. おわりに

プログラムの品質の定量的評価のためのテスト充分性評価技法を汎用大型OSに適用するため、プログラムのスタティックトレースを行なうハードウェア（TCA）を開発し、OS高信頼化用ワークベンチOSTDシステムでこれをサポートした。

### 参考文献

中所武司：「パステストに本質的な分岐に着目した網ら率尺度の提案」情報処理学会論文誌Vol.23, No.5(1983)