

## トランスピュータを用いた応用システム事例

瀬戸山達夫\*・原田和茂\*・後藤哲也\*・西川晃平\*\*

\*神戸製鋼所 情報エレクトロニクス部 \*\*神戸製鋼所 電子技術センター

トランスピュータはインモス社の開発した32ビット並列処理用マイクロプロセッサである。我々はトランスピュータの演算処理能力と並列処理システムへの適応性に着目し、これらの特長を活かしてFA・画像処理・CGなど多岐にわたる分野のシステムに応用した。(能動型センサシステム・タイヤ試験機データ収集システム・プリント基板検査装置・Personal HOOPS) さらに、移動物体形状計測のアルゴリズム開発においてトランスピュータを用いて実験を行った。本稿では、これらの応用事例を紹介する。

## Application System Using Transputers

Tatsuo Setoyama \*・Kazushige Harada\*・Tetsuya Gotoh \*・Kohhei Nishikawa\*\*

\* Electronics Department, \*\* Electronics Technology Center, Kobe Steel Limited

1-3-18, Wakinohamacho, Chuo-ku, Kobe, Hyogo, 651 Japan

Transputer developed by INMOS Limited is the 32-bit microprocessor for parallel processing. Taking notice of the arithmetical ability and the adaptability to parallel processing system of the transputer, we applied these features to many systems such as FA, image processing, CG, etc. ( Active Sensing System, Data Acquisition system for Tire Uniformity Machine, PCB testing equipment, Personal HOOPS ) Moreover, we used the transputer in an experiment to develop the algorithm of the measurement of travelling objects' shape. We would like to introduce these applied samples in this report.

## 1. はじめに

トランスピュータはインモス社が開発した32ビット並列処理用マイクロプロセッサである。トランスピュータの特長は10MIPS (Million Instructions Per Second) という高速演算処理能力と、20Mbit/secの高速通信シリアルリンクを内蔵し、並列処理システムの構成に柔軟に対応できる点である。

我々は、このトランスピュータを搭載した各種のボードを開発し、更にこれらのボードを用いてF A、画像処理、コンピュータグラフィックスなど、トランスピュータの特長を活かした様々なシステムに応用した。その応用例の幾つかを紹介する。

## 2. トランスピュータの特長

### (1) 高速な演算処理能力

トランスピュータファミリ<sup>1)</sup>には

T 2 1 2 . . . . 16bit

T 4 1 4 . . . . 32bit

T 8 0 0 . . . . 32bit , FPU 内蔵

がある。このうち、T800とT414の実数演算速度に関して、インモス社より比較データが出されている。これを表1に示す<sup>2)</sup>。この表によれば、浮動小数点機構を持たないT414単体でもかなりの演算速度が出ているのに加えて、浮動小数点機構を持ったT800では、その8倍の演算速度にまで上げている。

表1. T414/T800 のWhetestoneベンチマーク<sup>2)</sup>

メーカー	プロセッサ	クロック	Whetestone/秒	シングル長
Intel	80286+80287	8MHz	300K	
Inmos	T414-20	20MHz	663K	
NS	NS32332+32081	15MHz	728K	
Motorola	MC68020+68881	16/12MHz	755K	
Inmos	T800-20	20MHz	4000K	
Inmos	T800-30	30MHz	6000K	

### (2) 並列処理システムの構成に柔軟に対応

トランスピュータはチップ内に4チャンネルのシリアルリンクをもつ。これを用いて、CPU間のデータ通信を行う。また通信中にCPUの処理が止まらないようにDMAコントローラを内蔵し、通信を独立させている。また、通信速度は最大20Mbpsと高速である。これらのシリアルリンクは用途に応じて接続形態を變えることができ、並列処理システムの実現に非常に柔軟性が高い。

### (3) 並列処理言語「Occam」を採用

「Occam」は、オックスフォード大学のホーア教授によるCSP理論 (Communication Sequential Process)に基づいて<sup>3)</sup>、インモス社が開発した並列処理言語である。Occamとトランスピュータのインストラクションセットはほとんど1対1に対応しており、Occamを使うと並列プロセスの宣言、プロセス間通信などの記述がプログラム中で行える。トランスピュータはOccamによって最も効率よくプログラムを実行できるように設計されている。

### 3. トランスピュータ搭載ボードの開発

我々はトランスピュータを様々な応用分野に適用させるために、表2に示すようなトランスピュータ搭載のボードを開発した。

表2. 神戸製鋼所製トランスピュータ搭載のボード製品

型名	製品名	仕様および用途
KTR-B01	マルチCPU ボード	トランスピュータを4チップ搭載、マルチ規格準拠
KTR-B02	インテリジェントアナログ I/O ボード	アナログ信号入出力4チャンネル内蔵
KTR-B03	NEC PC アドインボード	PC9800シリーズの拡張スロットにアドイン
KTR-B04	IBM PC アドインボード	IBM PCおよびAX機の拡張スロットにアドイン
KTR-B05	カメラ信号入力ボード	モノカメラ信号入力8チャンネル内蔵
KTR-B07	VMEバス CPU ボード	トランスピュータを3チップ搭載可能、VMEバス規格準拠
GE100	Personal HOOPS演算用ボード	3Dグラフィックスライブラリ「Personal HOOPS」のハードウェアツール、NEC PC9800シリーズの拡張スロットにアドインして使用する。
GE200	Personal HOOPS描画用ボード	

### 4. システムへの応用

#### (1) 応用事例1 (能動型センサシステム<sup>4)</sup>)

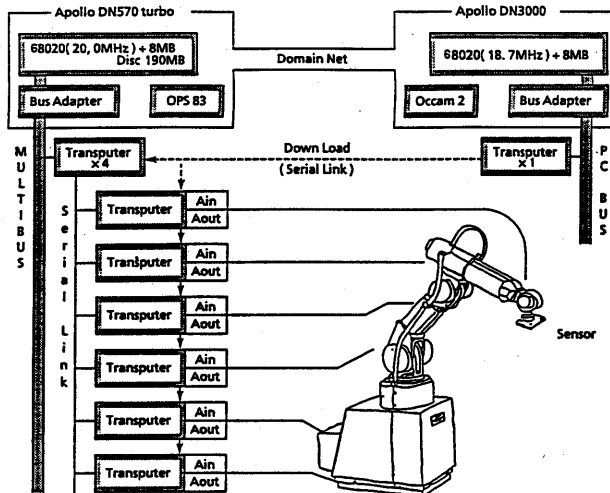


図1. 能動型センサシステム構成図

このシステムは、我々の開発したKTR-B01 ボードとKTR-B02 ボードを組み込んで、工業技術院製品科学研究所で開発されたものである。図1にシステム構成図を示す。このシステムではセンサとアクチュエータで構成される計測制御部とここから送られる情報をもとに対象物の認識などの高次の処理を行う認識・判断部に分かれる。このうち、リアルタイム性を要求される計測制御の処理にトランスピュータを使用した。また認識・判断部にはEWSを使用した。

計測制御部では、トランスピュータがセンサ入力信号の処理や処理結果の出力、さらにロボットの制

御を関節ごとに分割して並列に行っている。これによって計測制御部のリアルタイム性が保証される。

### (2) 応用事例 2 (タイヤ試験機データ収集システム)

このシステムは、当社の製品であるTire Uniformity Machine (自動車のタイヤの品質保証検査を行う装置) から送られてくる検査結果データの収集にトランスペュータを用いたシステムである。

図2にシステム構成図を示す。

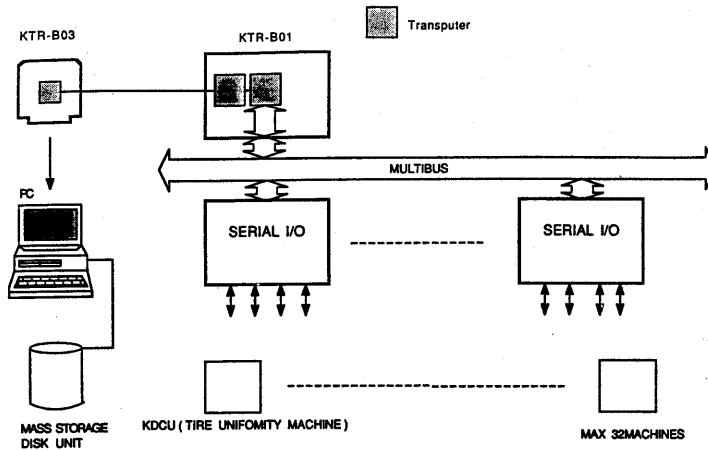


図2. Tire Uniformity Machineデータ収集システム構成図

ここでは最大32台のTire Uniformity Machineから同時に検査結果データが送られてくる。このシステムにおいて、トランスペュータを合計3個使っており、それぞれのトランスペュータでは以下のように処理を分散している。

Transputer 1・・・データの取り込み

Transputer 2・・・受信データのエラーチェック、データの分類と変換、統計処理

Transputer 3・・・保存データの磁気ディスクへの転送

このようにトランスペュータで処理を分散することによって、多点かつ高速なデータの収集を実現した。

### (3) 応用事例 3 (プリント基板検査装置)

この装置は、我々と大洋工作所とで共同開発したものであり、プリント基板の製造工程において、基板に空けられた穴の位置、形状、大きさをカメラを用いて検査を行う。我々はこの装置にトランスペュータを組み込んだ。図3にシステム構成図を示す。

この装置では8台のカメラで検査エリアを分割し、さらに画像処理ボード(KTR-B05)8枚がそれぞれのカメラに接続されている。8台のカメラが取り込んだ画像を、8個のトランスペュータが同時に並列処理することによって、プリント基板の検査を高速化した。例えば基板サイズ最大640mm × 400mm、穴数4000個の基板では、約10秒で検査することができる。

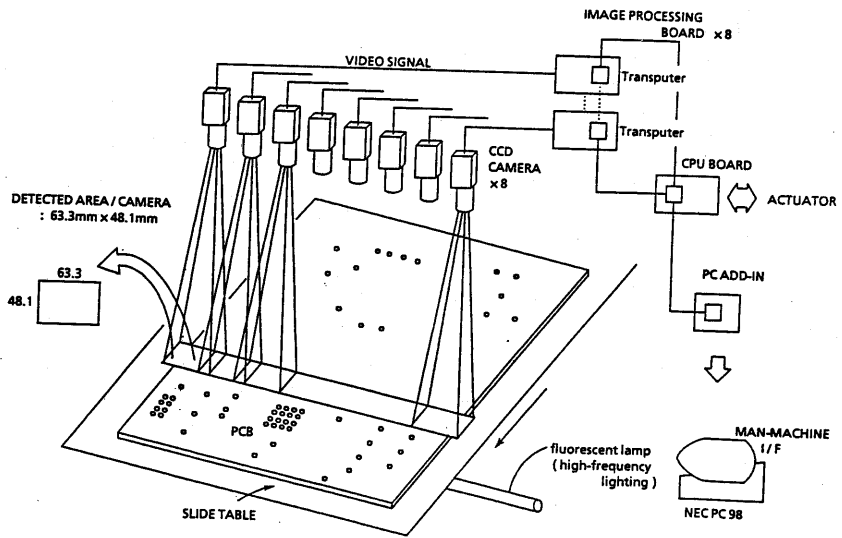


図3. プリント基板検査装置構成図

(4) 応用事例4 (Personal HOOPS)

「Personal HOOPS」は、米国イサカ社で開発された3次元のグラフィックライブラリー「HOOPS」を搭載したコンピュータグラフィックシステムである。元来「HOOPS」はワークステーションやミニコンをホストとするものであるが、我々の開発した「Personal HOOPS」においてはトランスピュータをパソコンのアクセラレータとして用いることで、専用グラフィックワークステーションなみの処理速度をパソコン上で実現した。

図4にシステム構成図を示す。このシステムではトランスピュータを2個使っている。1つはグラフィックにおける座標変換等の演算を行い、1つは専用のフレームメモリのコントロールを行っている。また「Personal HOOPS」のユーザーはトランスピュータを意識することなく、プログラムをパソコン上で開発することができる。

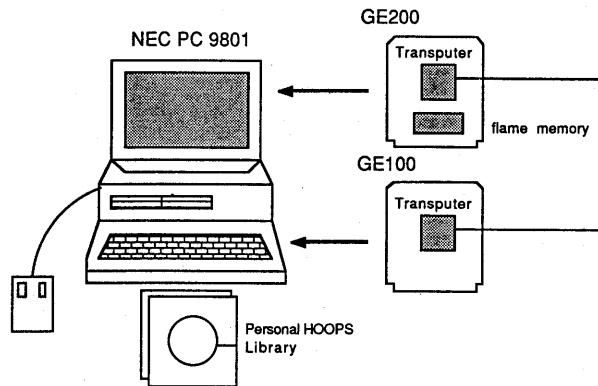


図4. Personal HOOPSシステム構成図

## 5. アルゴリズム開発への応用

我々はさらに移動物体形状計測<sup>5)</sup>のアルゴリズム開発においてトランスピュータを用いた。以下にその内容について述べる。

### (1)概要

近年のユーザーニーズの多様化と製品のライフサイクルの短期化に伴い、従来の単なるティーチングアンドレパック方式のロボットでは対応できない場合が増えている。このため、外界を知覚し変化に適応して動作を修正する機能を有する知能ロボットが求められている。外界を3次元計測する手法に両眼立体視があるが、両眼立体視の手法には、まだ対応付けと高速化という課題が残されている。

対応付けを容易にする手法として、微小視差両眼立体視<sup>6)</sup>が提案されているが、微小視差両眼立体視では測距精度低下は避けられない。

そこで、微小視差両眼立体視を一定距離離れた2箇所で行い、得られた2視点の図内の物体エッジを奥行き方向に分類し、分類グループごとに大視差両眼立体視の対応付けを行う手法を検討した。

さらに高速化のため、トランスピュータ・マルチバスボード(KTR-B01)を用いて、4個のトランスピュータによる並列計算を行った。

### (2)原理

作業対象ワークの3次元形状及び位置を計測する基本原理として、移動ステレオ法を用いた。移動ステレオ法は、両眼立体視の1つの手法であり、撮像装置を移動させて複数画像を撮影するか、あるいは移動する対象ワークを固定した撮像位置から複数時点に撮影して3次元計測を行う手法である。

移動ステレオ法を用いた移動物体形状計測アルゴリズムの概略の流れを図5に示す。

#### i) 撮像及び微小視差両眼立体視

図6に示すように、搬送装置に載って撮像装置の水平走査線方向に移動する物体を時刻 $T_1$ ,  $T_1 + \Delta t$ 及び、時刻 $T_2$ ,  $T_2 + \Delta t$ に撮影する。時刻 $T_1$ ,  $T_1 + \Delta t$ の撮影画像対、及び時刻 $T_2$ ,  $T_2 + \Delta t$ の撮影画像対を用いて、微小視差両眼立体視を行い各々微小視差図を作成する。画像特徴としては、1次元のラプラシアン・ガウシアン・フィルタによる積和画像のゼロ交差点を用いる。静止背景を消去し移動物体エッジのみを抽出するために、微小視差関係にある両眼画像を減算し、減算値がゼロでない部分を移動物体エッジ探索範囲とした。

#### ii) 微小視差図のエッジ分類

エッジの位置順序逆転や隠れの発生可能性が高いシーンでは、手前と遠方のエッジを異なるグループに分類した後、大視差の対応付けを行う。発生可能性が低いシーンでは、エッジを分類せずに大視差対応付けを行う。エッジ分類可否の判断は、微小視差

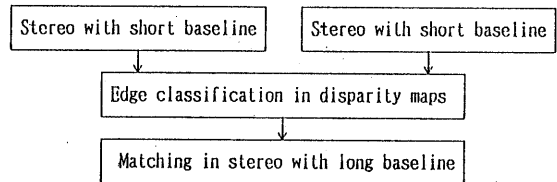


図5. 概略フロー

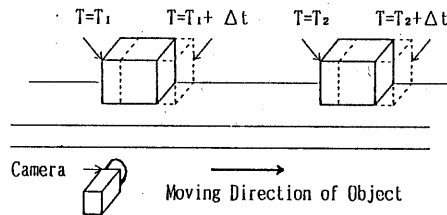


図6. 撮像タイミング

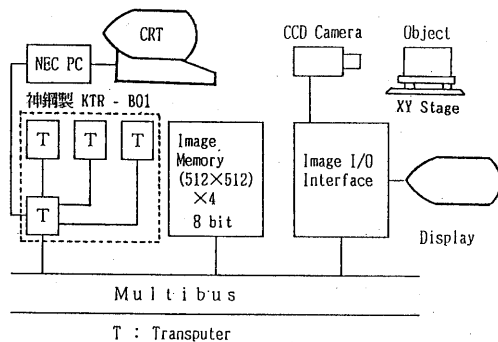


図7. 実験装置の構成

図における奥行き方向のエッジバラツキ度合を示す視差分散値  $\sigma^2$  で行う。視差図内の各エッジが持つ微小視差を  $\{d_i\}$  ( $i = 1 \sim n$ ;  $n$  は検出エッジ数 (画素)) とすると、

$$\text{平均微小視差 } d_{av} = \Sigma d_i / n,$$

$$\text{視差分散値 } \sigma^2 = \Sigma (d_{av} - d_i)^2 / n$$

となる。視差分散値  $\sigma^2$  が予め設定した視差分散しきい値より大きい場合には、平均微小視差  $d_{av}$  以上の微小視差を有するグループと平均微小視差  $d_{av}$  未満の微小視差を有するグループとにエッジを分類する。

### iii) 大視差立体視における対応付け

2 視点で得られた微小視差図間の対応付けを前記エッジグループごとに行う。この際には、各エッジが有する微小視差に従って、大視差立体視のエッジ探索範囲を限定する。

以上の手法により、エッジの位置順序の逆転や隠れに起因する偽対応の低減が図れる。

### (3) 実験装置

図 7 に実験装置の構成を示す。並列処理プロセッサとしてトランスピュータ (T414) 4 個を使用し、プロセッサ間通信は 20Mbps のスピード設定で行った。アルゴリズムは並列処理言語 Occam で記述した。

### (4) 適用実験 及び 効果

XY ステージ上に固定した自動車ボディ模型を移動させて 4 箇所撮影した。撮影には 384(H) × 491 (V) 画素の CCD カメラを用い、画像データは 256 階調の画像メモリに記憶した。撮影画像を図 8 (a) ~ (d) に示す。(a) (b) 及び (c) (d) が各々微小視差の関係にあり、(a) (c) が大視差の関係にある。微小視差立体視におけるカメラ間距離は 0.6mm とし、大視差立体視におけるカメラ間距離は 15.0mm とした。

本実験での微小視差分散値  $\sigma^2$  は 3.9 となり、予め設定した視差分散しきい値 (1.0) より大きくなった。そこで、微小視差図のエッジ分類が行われ、平均微小視差  $d_{av}$  との大小関係で 2 グループに分類された後、大視差の対応付けが行われた。大視差の視差図を図 9 に示す。視差図では各エッジが有する視差を濃淡度で表現するため、手前のエッジは明るく、また遠方のエッジは暗く表示されている。特徴抽出に 1 次元フィルタを用いたため、水平エッジの特徴点は消失している。実験の結果、物体エッジの位置順序の逆転が発生しているシーンに対しても、本アルゴリズムが有効であることを確認できた。

移動ステレオ計算時間を表 3 に示す。本アルゴリズムをトランスピュータ 4 個で並列計算させた結果、移動ステレオ計算に要した時間は 4.9 秒であった。また、各微小視差両眼立体視の計算時間のうち、0.83 秒はマルチバス経由の画像データ転送に要した時間であり、時間短縮には画像メモリを分割して各プロセッサの専有メモリ化する方法が考えられる。

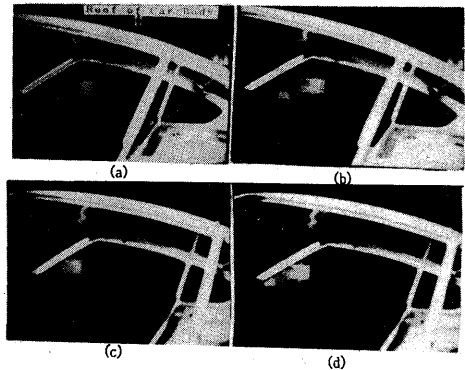


図 8 実験の入力画像

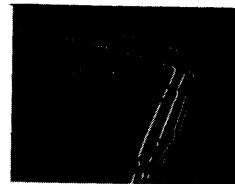


図 9 大視差立体視の視差図

表 3. 移動ステレオ計算時間

Stereo with short baseline < 図 8 (a), (b) >	2.441 sec.
Stereo with short baseline < 図 8 (c), (d) >	2.366 sec.
Edge classification in disparity maps	0.033 sec.
Matching in stereo with long baseline	0.052 sec.

(5) 今後の展開

今後、外界を知覚し変化に適応して動作を修正する機能を有する知能ロボットを実現するため、視覚センサの3次元計測結果と、ワークモデルとの照合技術についても検討を行っていく。

6. まとめ

トランスピュータは以上のようなそれぞれの応用事例において、その機能を十分に発揮することができた。また、これだけでなく、さらに様々なシステムに応用できると考えられる。

我々は 今後このような応用システムのメニューを増やすべく、ボードの開発とともに、ソフトウェア環境の整備を図る予定である。

参考文献

- 1) INMOS Limited, "Product information the transputer family," Jun. 1986.
- 2) INMOS Limited, "Product overview IMS T800 transputer," Nov. 1986.
- 3) C.A.R.Hoare, "Communicating Sequential Process," Prentice-Hall, 1985.
- 4) 石川正俊「センサフュージョンシステム —— 感覚情報の統合メカニズム」、日本ロボット学会誌6巻3号、1988年6月
- 5) 西川、西元、木邑、第27回計測自動制御学会学術講演会、pp 327 - 328 (1988)
- 6) 西元、白井、第2回日本ロボット学会学術講演会予稿集、pp 267 - 268 (1984)