

新形画像処理装置 「NV6000」 における高速 テンプレート マッチング機能の 開発

*High speed template-matching
technique developed on the new vision
sensor NV6000*



キーワード

画像処理, ナチビジョン,
テンプレートマッチング, サブピクセル,
正規化相関, 粗サーチ, 精サーチ



技術開発部
電子技術部
三田 豊

技術開発部
電子技術部
坂田正和

技術開発部
電子技術部
田中久博

摘要

自動化システムを構築する際に欠くことのできない構成要素として、画像処理装置はその適用分野を年々拡大してきた。当社でも自動化システム用として、これまでにナチビジョンシリーズを商品化してきたが、新たに計測システムをターゲットとしたHOSTビジョンNV6000を開発、商品化した。NV6000では、高速テンプレートマッチング機能を新たに開発、搭載し、400×400画素の画像に対して100×100画素のテンプレートをサーチした時の処理時間0.3秒、検出位置精度±0.2画素を達成した。

Abstract

The applications of image processors, one of the essential components in automation systems, have been increasing greatly over the years. NACHI Fujikoshi developed NACHI VISION Series for automation systems, and now in addition to that, has developed NV6000, a HOST VISION SENSOR that targets measuring systems. NV6000 integrates a high speed template-matching technique, achieving a processing time of 0.3 second and a detection accuracy of 0.2 pixels when searching for a 100x100-pixel template in a 400x400-pixel image.

1. はじめに

低経済成長の時代に入り、産業界では多品種少量生産に対応するために、その生産設備には低コスト・高速・高機能化が求められている。当社においても、ロボットの目、あるいは計測の自動化用途を中心に、早くから画像処理装置の開発・商品化を行い、ナチビジョンとしてシリーズ化を図ってきた。ナチビジョンの開発の方針は、計測精度の向上、ユーザーズに合った画像処理システムを提供するためのフレキシブル性の向上であった。画像の明るさ（濃度）情報から画素（ピクセル）間の情報を読み取り、みかけ上の解像度を向上させるサブピクセル処理は、磁気ヘッドなど0.01 μ m以下の高精度の計測を要求する分野におけ

る画像計測を可能にした。また、BASICプログラミング言語をベースとした当社独自の画像処理プログラミング言語NACHI-BASIC¹⁾2)は、ユーザーズに的確に対応する画像処理システム開発ツールとして好評を得た。

これらの蓄積した画像処理技術、画像処理応用のノウハウをベースに、システム拡張性、フレキシブル性の向上を実現したのが、今回新たに商品化した計測・検査用ホストビジョンNV6000である。NV6000は従来のスタンドアロンタイプと異なり、パソコンの活用を前提として開発したもので、パソコンソフトとのデータの授受、ネットワーク対応など、計測・検査用途を中心に幅広いニーズに対応できるように構成されている。

NV6000では、新たに正規化相関係数演算による高速テンプレートマッチング機能を搭載した。テンプレートマッチングはあらかじめ記憶しているパターンと新たに入力された画像を照合し、画像内のどこに所定の物体があるかを見つけて出す機能で、最大の特徴はティーチング作業と呼ばれる事前に見つけたい物体の画像を指定するだけ（プログラムレス）で、後はその位置を正確に検出することができる点である。このため、画像処理の知識が全くなくても使える、プログラム開発工数が不要であるなど、画像処理アプリケーションを開発する上で大きなメリットがある。従来のテンプレートマッチングは参照画像（テンプレート）と入力画像の差を単に比較するだけであったために、明るさが変化すると正確に検出することが困難になるなど実用的なものではなかった。この問題を解決するために考えら

れた評価関数が正規化相関係数であった³⁾。正規化相関係数による評価は画像の明るさを正規化することで、明るさの変化に影響されることなくマッチングが行われるため、機能面では実用的なものであったが、第3節で説明するように計算式が非常に複雑なため、膨大な計算時間が必要であるという問題を持っており、処理時間の面で実用的ではなかった。そこで、最近計算量を減らす方法がいろいろ工夫され、ここ数年、実用レベルに達した正規化相関係数テンプレートマッチング機能を搭載した画像処理装置が商品化されてきている⁴⁾。

当社においても、間引き手法⁵⁾と呼ばれる高速化手法を開発し、ロボットビジョンNV-R1、計測用高精度画像処理装置NV5100に搭載し、実績を積んできた。しかし、基本的には間引き手法はテンプレート情報の一部のみでサーチするため、認識能力に限界がある。また、基本的にソフトウェア処理で行っているため、認識時間が長いなどの問題があった。そこで、新たにNV6000では繰返し処理部分のハードウェア化、サーチ方法の改良を行い、認識時間の高速化と認識精度の向上を実現した。例えば、全画面に対して、100×100（画面面積比で1/20）のテンプレートを設けた場合の処理時間は、約0.3秒、認識位置精度は±0.2画素となった。

本稿では、2節でNV6000の特徴・機能を紹介した後、3節で新たに開発した高速テンプレートマッチング機能のアルゴリズムを説明し、4節で実験結果と問題点を説明する。5節はまとめである。

2. ホストビジョンNV6000の特徴

図1にNV6000の外観を示す。図の右側がNV6000本体およびカメラとモニタである。左側がパソコンでNEC PC98シリーズ、およびIBM互換機（DOS/V機）のいずれも使用できる。NV6000本体はサイズが430（W）×130（H）×330（D）mmで、AC100V±10%、120VAの電力で動作する。動作保証は0～45℃で、一般のFA機器の動作環境を保証している。

図2に基本システム構成を示す。NV6000とパソコン間の通信はGP-IBインタフェースで接続されるため、パソコン側の拡張スロットにGP-IBインタフェース基板（市販）を追加する必要がある。通信速度は、平均100kバイト/秒であるが、後に示すようにパソコンとNV6000間のデータの

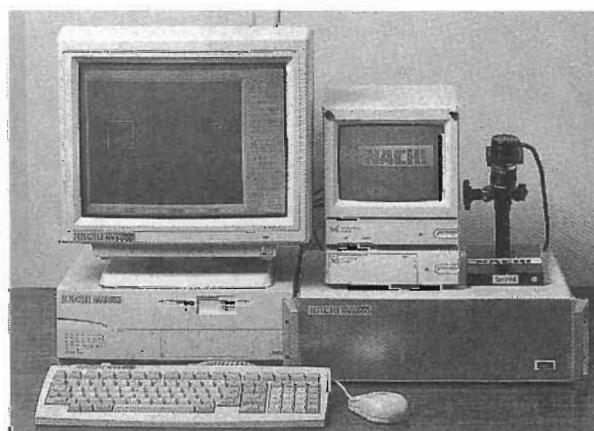


図1. NV6000の外観

通信量は非常に少ないため、通信速度が全体の処理時間におよぼす影響はごくわずかである。

図3にNV6000を使用した精密計測システムの構成例を示す。この図に示すように、かなり複雑なシステムでも実現することが可能である。

図4にNV6000のハードウェア構成を示す。内部はDSPボード、画像処理ボード、画像入出力ボードの3枚のプリ

ント基板とオプションとして用意されている高速相関ボードで構成される。表1にNV6000の画像処理仕様を示す。

DSPボードは32bitデジタルシグナルプロセッサ、メインメモリ、GP-IBインタフェースなどからなり、NV6000全体の管理、パソコンとの通信、画像特徴計算などを行う。画像処理ボードは空間フィルタなど画像前処理を高速に実行する。画像入出力ボードはビデオカメラからの画像信号を

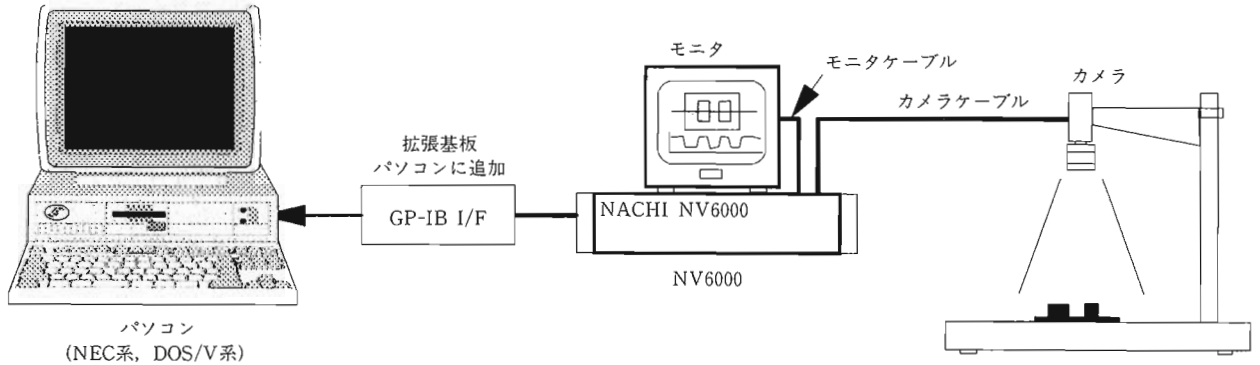


図2. 基本構成

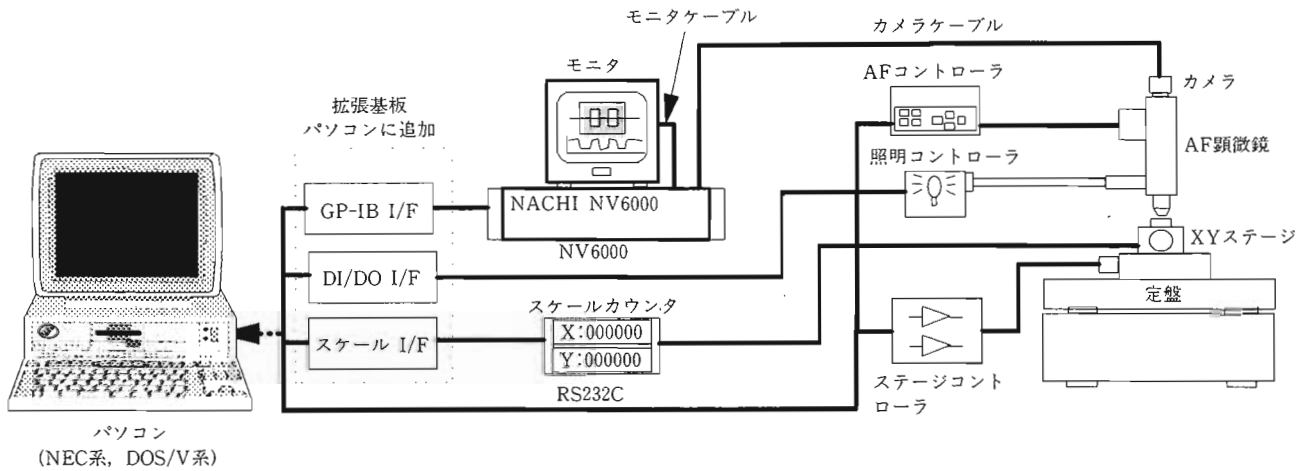


図3. 計測システム

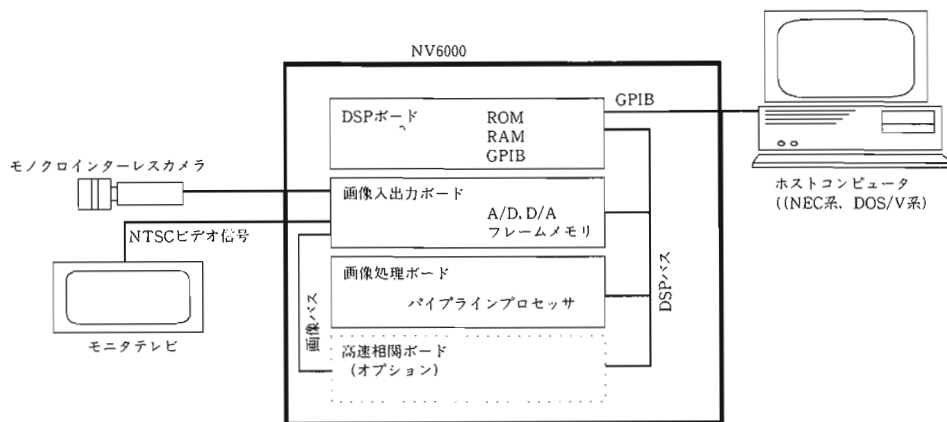


図4. ハードウェア構成

表1 画像処理仕様

プロセッサ および周辺	CPU	T.I.社 32bitDSP 32MHz
	ROM	512kB
	ワークRAM	2MB(画像メモリを含む)+512kB(バックアップ可能)
	ホスト通信	GP-IB 準拠(平均転送レート:約100kB/sec)
画像入出力	カメラ仕様	NTSC 外部同期方式, 標準2台, 最大8台接続可能
	A/D変換解像度	512×480画素×10bits×1フレーム, 画像スムージング機能
	表示メモリ	濃淡画面, 2値画面, グラフィック画面, キャラクタ画面
	ビデオ出力	コンポジットビデオ出力(1Vpp, 75Ω)
画像メモリ	濃淡画像メモリ	512×480画素×8bits×4フレーム
	2値画像メモリ	512×480画素×1bits×4フレーム
ウィンドウ	ウィンドウ種類	2種類(長方形, 円)
濃淡処理	空間フィルタ	3×3, 5×5 ソーベルフィルタ, メディアンフィルタなど 約40種類
	画像演算	濃度変換, コピー, 回転, ヒストグラムなど 約10種類
	正規化相関	イメージサイズ512×480, テンプレートサイズ 最大300×300
	濃度特徴量	濃度最大値, 最小値, 標準偏差, サブピクセルなど 約15種類
2値処理	2値化処理	256段階2値化 固定2値化, 自動2値化
	膨張・収縮	7種類のマスク(最大7×7画素), 繰返し処理など
	2値特徴量	面積, 慣性等価楕円など 約50種類
その他	外形寸法, 重量	432(W)×132(H)×340(D)mm(取付部は除く) 約10kg
	動作環境	温度:0~45°C, 湿度:20~80%(無結露)
	動作電源	AC100V±10%, 50/60Hz, 74VA

512×480画素×8bitのグレイメモリに記憶し, また, 処理結果をモニタに表示する。オプションとして用意されている高速相関ボードは, 次節で述べるテンプレートマッチングを高速に実行する。

以下, NV6000の特徴を簡単に説明する。

2.1 高精度グレイ画像処理機能

NV6000はグレイ画像処理機能を重視した設計となっている。画像処理の基本となる画像入力機能では, 10bitA/D変換機能, 画像スムージング機能などによりカメラから入力される画像の品質を入口で改善する。特に画像スムージング機能は, カメラケーブルに重畳してくるランダムノイズを縮減できるため, 高精度計測には計測再現性の上で欠かせない機能である。通常4回程度の画像スムージングを行うことにより, 計測のばらつきを約半分に縮減できることを実験で確認している。

画像処理機能としては, 最大5×5マスクの各種空間フィルタ, 従来の2値化処理(面積, 重心, 主軸長, 副軸長, 主軸傾きなど)に加えてグレイ特徴量としてヒストグラム, 標準偏差など統計的な特徴量を計算できる。画像のグレイ特徴量は単に物体の濃度分布の状態をあらわしているだけでなく, 画質(ピントの状態など)を評価する尺度として利用できる。例えば, 画面内に映っている立体的な物体の画像の特定の領域でオートフォーカスを行うことができるピ

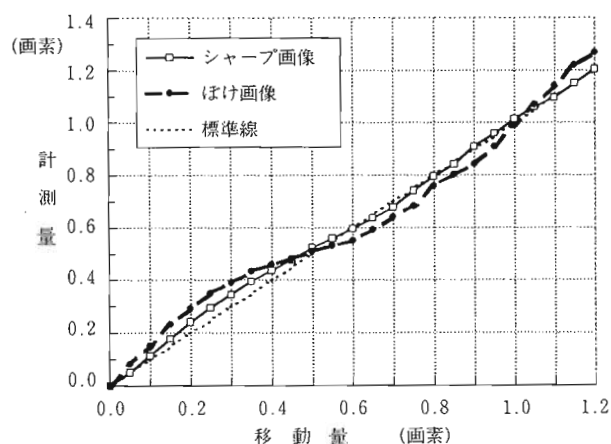


図5. サブピクセル処理計測例

デオオートフォーカスには欠かせない機能である。

グレイ画像処理を集約した機能として, 独自に開発したサブピクセル処理機能⁽⁶⁾が搭載されている。画像のエッジ部分の濃度変化の微分値がガウス分布となる特性を生かして, エッジ位置を高精度に計測する機能で, 0.1画素以下の精度でエッジ位置を正確に計測することができる。

図5に計測結果を示す。ワークを精密移動ステージを用いて0.05画素毎移動させ, その位置を計測したものである。ぼけた画像で0.1画素, シャープな画像で0.05画素以下の偏差でエッジ位置を正確に計測できている。

2.2 マルチプロセッサ方式による高速処理とシステムの拡張性

NV6000の大きな特徴の1つは、それぞれ明確な役割を持った3個のプロセッサを有し、これらが機能的に構成されていることである。従来、画像処理装置内部では処理速度を上げるために、複数のプロセッサを用いるケースがあるが、今回パソコン画像処理を実現するにあたり、パソコンを含めたトータルでの効率を上げるためのマルチプロセッサ方式を取り入れた。パソコン画像処理といえば、複雑な画像処理、例えば先に説明したサブピクセル処理などはパソコンのCPUに行わせるケースが多いが、この場合、パソコンへの負担が大きくなってパソコンの本来持っているフレキシブル性、拡張性を十分に活用できなくなる。NV6000では、パソコンを計測・検査コントローラとして位置付けたホストビジョンの思想のもとに、画像処理だけでなく物体の位置などまで計算する(認識処理)ことにより、通信データが非常に少なく、パソコンへの負荷がほとんどの構成となっている。この結果、パソコンにはシステム管理、モータの制御なども任せることができ、最近重要視されているパソコンをFAコントローラとして活用することが容易となっている。

2.3 Windowsによる対話型操作環境と開発環境

パソコンのOSには次世代のOSとして急速に普及しつつあるマイクロソフト社のWindows3.1を採用した。WindowsのもつGUI(グラフィカルユーザーインターフェース)によって、見やすく操作性の非常に優れた環境を提供した。また、プログラムの開発用言語には、Visual Basic™ Ver2.0(以下Visual Basic)を採用した。Visual Basicは、WindowsのGUIの開発に必要な各種ツールを標準で備えており、しかもデバッガなどが準備されているので、アプリケーションプログラムを容易に開発することができる。

画像処理ソフトウェアは、Windows用プログラミング言語Visual Basicのライブラリとして提供されており、容易にプログラムを開発することができる。また、自動化システムを構築する際に必要な、パラレルI/Oなどの各種インタフェースを利用するためのライブラリも標準で用意されており、さまざまなシステム構成に柔軟に対応することができる。

図6にプログラム開発画面の例、図7に実際のアプリケ

ーション画面の例として標準で搭載される画像処理テストプログラムを示す。

この他に、Windowsが用意している優れた機能に、DDE(Direct Data Exchange)、OLE(Object Linking and



図6. プログラム開発画面例

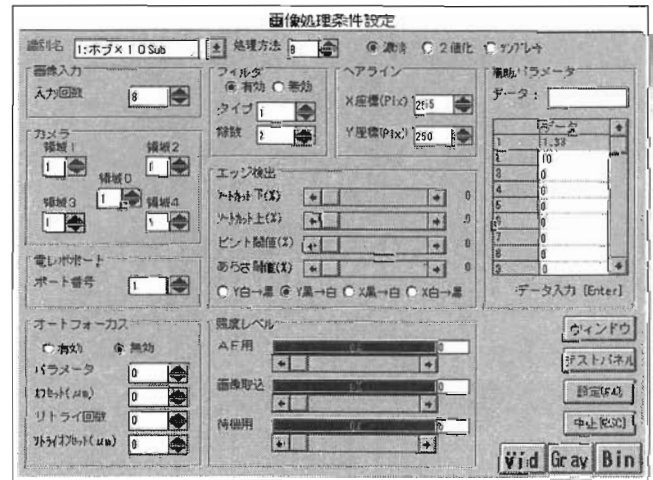


図7. アプリケーション画面例

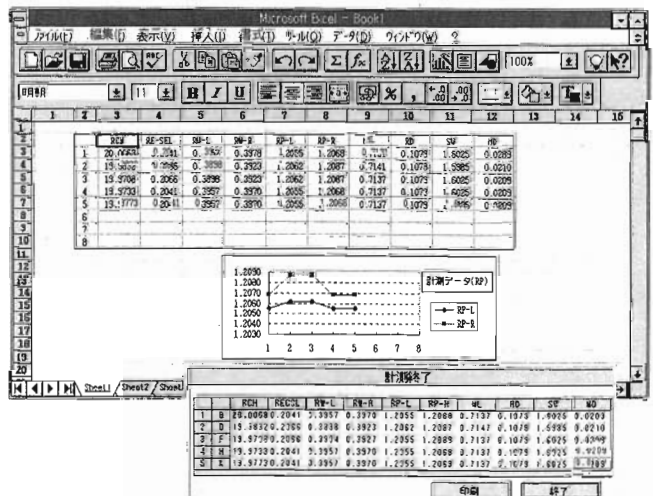


図8. 画像処理とデータ処理の連携例

Embedding) があるが、これらの機能を利用すると画像処理ソフトと市販されている表計算ソフトやデータベースソフトなどをリンクすることで、計測データの管理なども容易になる。図8にその例を示す。この例は画像処理ソフトと表計算ソフトExcel™をリンクさせ、計測結果を

DDEを介して直接Excelのグラフ機能に送り、リアルタイムに計測結果を表示した例である。

画像処理機能としてNV6000で新たに開発した正規化相関高速テンプレートマッチング機能については、次節で述べる。

3. 高速テンプレートマッチング処理

テンプレートマッチング処理とは、マスタパターン（テンプレート）と撮影されたパターンとを重ね合わせることで、撮影されたパターンが何であるかを判断する技術である。画像処理に関する専門的な知識を必要とせず、しかも簡単に正確な結果が得られることから、ワークの位置決めや穴位置検出などに広く利用されている。テンプレートと対象となる画像のマッチングの尺度としては、正規化相関係数が用いられる。正規化相関係数演算によるテンプレートマッチング処理の特徴は、テンプレートと対象画像の明暗差がある場合でも、比較的良好な結果を得ることにある。ただしその問題点は、データ計算量の膨大さである。

これまででも、一部のナチビジョンにはテンプレートマッチング機能が搭載されている。ただし、それらはソフトウェア処理を中心にテンプレートマッチングを実行しており、処理時間は平均1～2秒程度で、いま以上の処理速度向上には限界がある。そこでNV6000を開発する際には、処理時間短縮のためのアルゴリズムを新たに開発すると同時にそれを実行するためのハードウェアを設計し、シミュレーションを活用することで高速テンプレートマッチング処理を実現した。以下に、正規化相関係数演算によるテンプレートマッチングの原理、処理アルゴリズムとシミュレーション、演算用ハードウェアである高速相関ボードについて述べる。

3.1 テンプレートマッチングの原理

いま、図9に示す文字列より文字「8」の位置を探し出す場合を考える。テンプレートマッチングでは、まず探し出す文字「8」をテンプレートとして登録する。次に、撮影された画像（文字列）の、例えば左上隅にテンプレートを重ね合わせてその類似度を計算する。その後、テンプレートを水平方向（X方向）あるいは垂直方向（Y方向）に1画素ずつ移動させながら類似度を計算し、これを全撮影領域に対して実行する。最後に、その中で最も高い類似度を

示す位置を、探し出す文字「8」の位置として検出する。これが、テンプレートマッチング処理の概要である。

テンプレートマッチングでは、その類似度を表す尺度として一般に正規化相関係数が用いられる。座標(m,n)における正規化相関係数C(m,n)は、テンプレート画像をf、撮影された画像（イメージ画像）をgとすると次式で定義される³⁾。

$$C(m,n) = \frac{\sum_x \sum_y [(f(x,y) - \bar{f}) \times (g(m+x,n+y) - \bar{g})]}{\sqrt{\sum_x \sum_y [f(x,y) - \bar{f}]^2 \times \sum_x \sum_y [g(m+x,n+y) - \bar{g}]^2}}$$

$$\bar{f} = \frac{\sum_x \sum_y f(x,y)}{N}, \quad \bar{g} = \frac{\sum_x \sum_y g(m+x,n+y)}{N}, \quad N = x \times y \quad (1)$$

(1)式をgのすべての領域に適用し、C(m,n)が最大となる座標(m,n)をマッチング座標とみなす方法が正規化相関係数演算によるテンプレートマッチングの原理である。いま(1)式の $\sum_x \sum_y f$, $\sum_x \sum_y f^2$, $\sum_x \sum_y g$, $\sum_x \sum_y g^2$, $\sum_x \sum_y f \times g$ の各項が並列に演算可能であると仮定すると、(1)式の演算時間は $\sum_x \sum_y f \times g$ の演算時間に依存する。ここで、fのサイズをx×y、gのサイズをp×qとし、ハードウェアによる乗算1回当たりの演算時間を40nsec.と仮定すると、正規化相関係数演算によるテンプレートマッチングのおおよその処理時間T1は、次式のようになる。

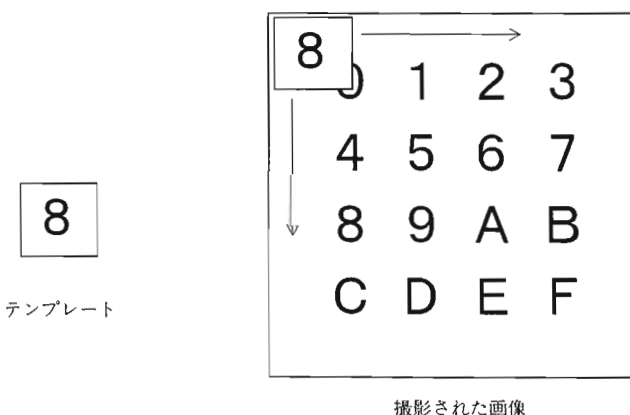


図9. テンプレートマッチング

$$T1 = (\text{テンプレートサイズ}) \times (\text{水平方向移動量}) \times (\text{垂直方向移動量}) \times (1 \text{ 回あたりの乗算時間})$$

$$= (x \times y) \times (p - x + 1) \times (q - y + 1) \times 40 \text{ [nsec.]} \quad (2)$$

(2)式から、イメージサイズと処理時間の関係を求めると図10を得る。最も実用的と考えられるテンプレートサイズが100×100以上の場合、イメージサイズが150×150以上で処理時間が1.0秒以上となる。したがって、演算をハードウェア化するだけでは処理時間を大幅に短縮することはできない。

3.2 処理アルゴリズムとシミュレーション

画像をその画素単位で考察すると、ある画素とその隣接する画素とで濃度値を比較した場合、画像の性質上あまり濃度値に差がないことは良く知られている。したがってテンプレートマッチングを行う場合、すべての画素(座標)で正規化相関係数を計算することは無駄が多い。そこで、テンプレートマッチングの前処理としておおよそのマッチングを行い、その後に精密にマッチングを行うことにより処理時間を短縮する。ここでは、前者を粗サーチ、後者を精サーチと呼ぶことにする。

粗サーチでは、正規化相関係数の演算を簡略化する方法(間引きによる方法)と、正規化相関係数を計算する座標を飛び飛びに移動させる方法(飛び越し走査による方法)により処理時間を短縮する。

間引きによる方法では、テンプレートとイメージ画像を重ね合わせ、r画素に1回対応点間の正規化相関係数を演算する(r=1の場合は、間引き処理を行わない)。図11に、文字「8」を間引き2および間引き3とした場合の例を示す。このように、間引きを行うことにより画像がもとの1/r²の

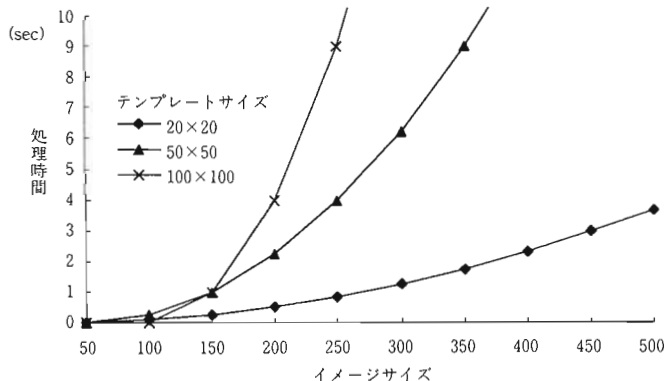


図10. イメージサイズと処理時間

大きさととなり、処理時間も1/r²に縮減する。ただし、間引き処理の場合、rの値を大きくすると画像情報が部分的に欠落し、テンプレートとは全く異なる位置で正規化相関係数が最大となる恐れがある。例えば図11のr=3の場合は、本来は文字「8」であった画像が、間引きの結果文字「0」になっているために、「8」と「0」を判別することは困難である。これまでの実験では、テンプレートサイズおよびイメージサイズによって異なるが、間引き量は2程度までが良好な処理結果を得ることができることがわかっている。図12に、間引き処理を行った場合(テンプレートサイズ100×100)の処理時間シミュレーション結果を示す。r=2の場合、イメージサイズが200×200以上で処理時間が1.0秒以上となり、間引き処理のみでは十分に処理時間を縮減することは困難であることがわかる。

飛び越し走査による方法では、テンプレートとイメージ画像を重ね合わせる位置を、1画素ずつではなくs画素ずつ移動させ、イメージ画像に含まれる全位置(画素)の1/s²の位置でのみ正規化相関係数を演算する(s=1の場合は、飛び越し処理を行わない)。飛び越し処理は、間引き処理とは異なり画像情報を欠落させることはないため、sの値は任意

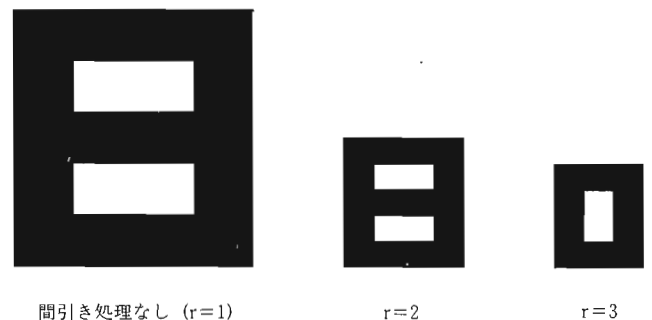


図11. 間引き処理

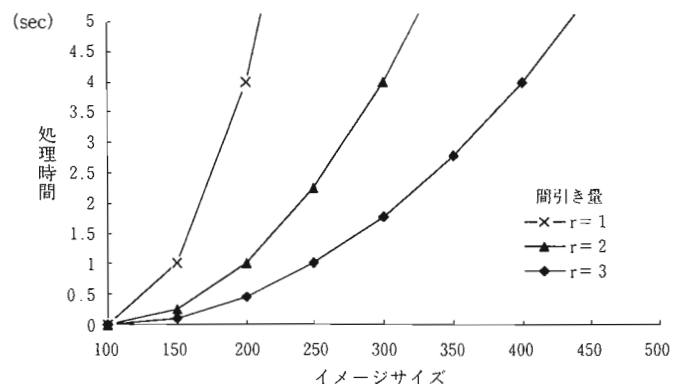


図12. 間引き処理による処理時間シミュレーション(テンプレートサイズ 100×100)

の値を設定することができる。ただし、sの値がテンプレートサイズより大きい場合には、真のマッチング位置を見落とす場合があるために、sの大きさはイメージサイズを越えて設定することはできない。

間引き処理および飛び越し処理を行った場合の処理時間T2は、次式で表すことができる。

$$T2 = T1 \times \frac{1}{r^2} \times \frac{1}{s^2} = \{x \times y \times (p-x+1) \times (q-y+1) \times 40\} \times \frac{1}{r^2} \times \frac{1}{s^2} \text{ [nsec]} \quad (3)$$

図13に、間引きおよび飛び越し処理を行った場合（テンプレートサイズ100×100）の粗サーチ処理時間シミュレーションを示す。この図から、飛び越し量を5、間引き量を2に設定すれば、イメージサイズ500×500の領域の処理時間は約0.3秒となることがわかる。したがって、後述する精サーチ処理時間が、粗サーチ処理時間に比較して十分に短かければ、ほぼ実用的な処理時間となることが予想される。

精サーチでは、まず粗サーチで求めた各座標における正規化相関係数を、あるしきい値を基準に領域化する。次に、領域内での正規化相関係数が最大となる点を見つけ出し、この点を中心に(2s-1)×(2s-1)の領域に対し、間引き、飛び越しを行うことなく、再度正規化相関係数を演算する。

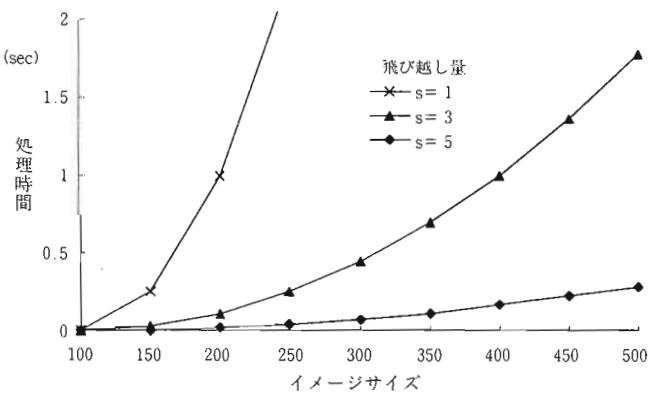


図13. 粗サーチ処理時間シミュレーション (テンプレートサイズ 100×100 間引き量 2)

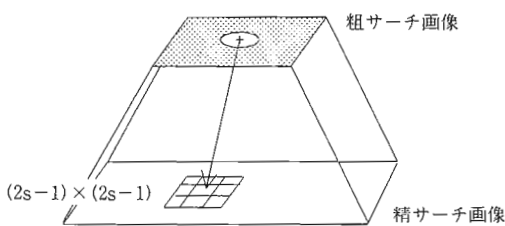


図14. 粗サーチと精サーチ

最後に、ここで得られた正規化相関係数が最大となる座標を中心に、3×3領域内での重心座標（正規化相関係数を重みとして計算する）を計算し、この座標をマッチング座標とする。図14は、粗サーチと精サーチの関係を表している。この図は、粗サーチで演算を行ったサンプル点は、(2s-1)×(2s-1)の領域を代表する点であることを示している。

このように、粗サーチ、精サーチの2段階で正規化相関係数を演算することで、非常に高速にテンプレートマッチング処理を実現することができると考えられる。

なお、本稿のテンプレートマッチング手法については、現在特許申請中である。

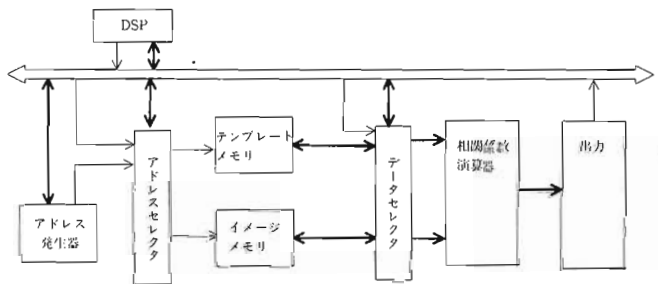


図15. 高速相関ボードのブロック図

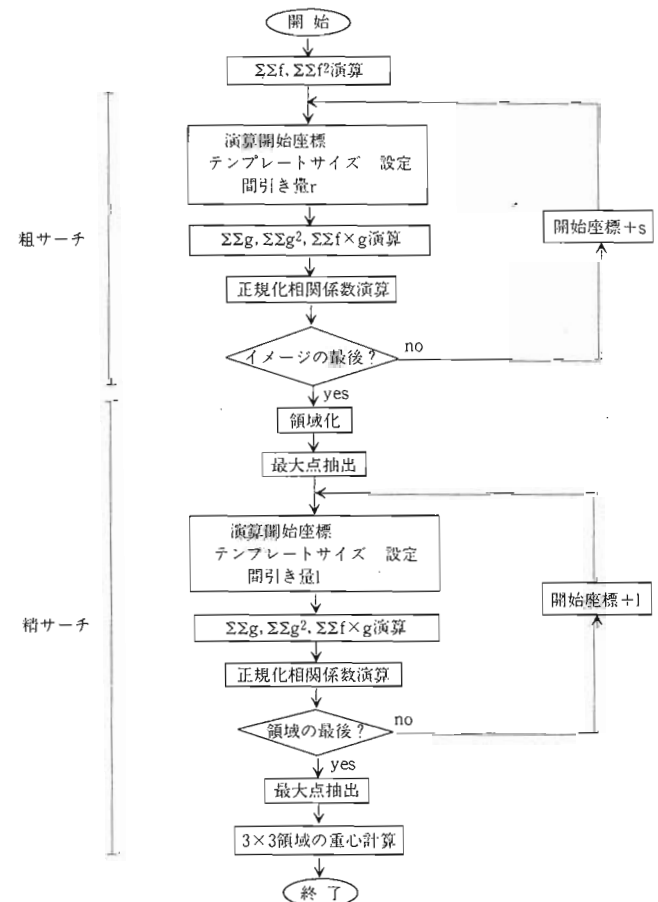


図16. テンプレートマッチング処理フロー

3.3 正規化相関ボード

いま(1)式に注目すると、 $\sum\sum f$ 、 $\sum\sum f^2$ の項はあらかじめ演算可能であることがわかる。そこでNV6000では、粗サーチに必要なパラメータを設定した後、 $\sum\sum g$ 、 $\sum\sum g^2$ 、 $\sum\sum f \times g$ の項の演算をハードウェア(高速相関ボード)で演算し、(1)式の演算や粗サーチ後の領域化などはソフトウェアにて処理することでテンプレートマッチングを行うこととした。図15に高速相関ボードのブロック図を示す。

図16は、NV6000におけるテンプレートマッチングの処理フロー図である。粗サーチでは、まず正規化相関演算開始座標、テンプレートサイズ、間引き量 r を設定し、 $\sum\sum g$ 、 $\sum\sum g^2$ 、 $\sum\sum f \times g$ 演算器に対して演算開始を指令する。演算終了後、 $\sum\sum g$ 、 $\sum\sum g^2$ 、 $\sum\sum f \times g$ の結果を取り出して、

あらかじめ計算しておいた $\sum\sum f$ 、 $\sum\sum f^2$ とともに(1)式に基づいて正規化相関係数を演算する。次に、演算開始座標に飛び越し量 s を加算し、上記処理をイメージの全領域に対して繰り返し実行する。

精サーチでは、まず粗サーチより得られた各座標における正規化相関係数をしきい値を基準に領域化し、この中で正規化相関係数が最大となる座標を検出する。次に、間引き量および飛び越し量を1として、粗サーチと同様の処理を $(2s-1) \times (2s-1)$ の領域に対して繰り返し実行する。最後に、正規化相関係数が最大となる座標を抽出し、この座標を中心に 3×3 領域内の重心座標を計算してこの座標をマッチング座標とする。

4. 実験結果と考察

図17に、正規化相関ボードをNV6000に搭載し、テンプレートマッチング処理を実行した場合の処理時間結果を示す。テンプレートサイズは 100×100 、間引き量を2、飛び越し量を5とした場合の結果である。シミュレーションの処理時間と実機での処理時間はほぼ一致している。また、この処理条件の場合、イメージサイズ 500×500 の領域を約0.3秒で処理することがわかる。これは、十分に実用的でさまざまな画像処理アプリケーションに適用可能な処理時間である。

テンプレートマッチングで重要なポイントは、高速処理とともにマッチング座標を正確に検出することである。そこで、テンプレート用ワークをステージ上に置き、ステージを微小量(0.5mm)ずつ移動させた場合のマッチング座標の変化を測定した。図18(a)はステージをX方向に移動

させた場合、図18(b)はY方向に移動させた場合である。この場合、移動量に比例して検出座標が線形に増加すれば、座標は正確に検出されたと考えてよい(図中破線に、近似していればよい)。この図から、ワークの移動量にほぼ比例し

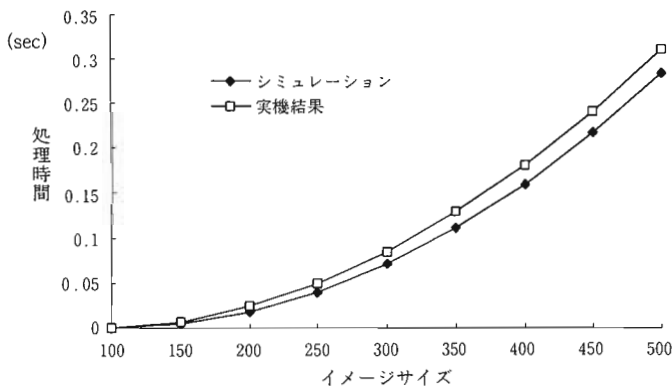
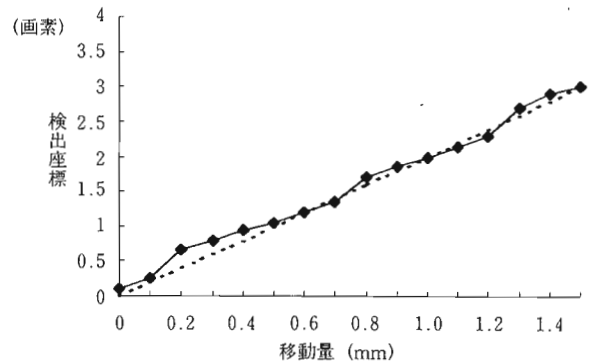
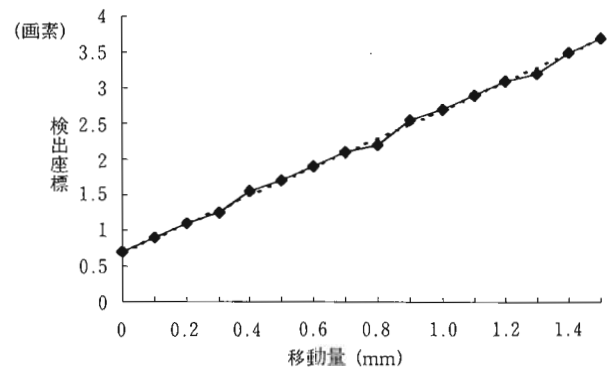


図17. 実機結果とシミュレーションの比較



(a)X方向の変化



(b)Y方向の変化

図18. 検出座標の変化

でマッチング座標も増加し、しかも座標は約±0.2画素の精度(破線との差)で検出されていることがわかる。しかも、その繰り返し精度は最大約0.03画素程度(標準偏差)であることがわかっている。したがってマッチング座標は、約±0.2画素の精度(サブピクセル精度)で正確に検出されていると考えてよい。

図19は、照度変動に対するマッチング座標および正規化相関係数の変化を示している。照度は、照明装置付属のボリュームにより調節した。この図から、照度変動に対してもマッチング座標の変動量は0.1画素程度で、正規化相関係数も5%ほど変化するに過ぎないことがわかる。したがっ

て、照度変化に対しても安定にマッチング座標を得ることができる。

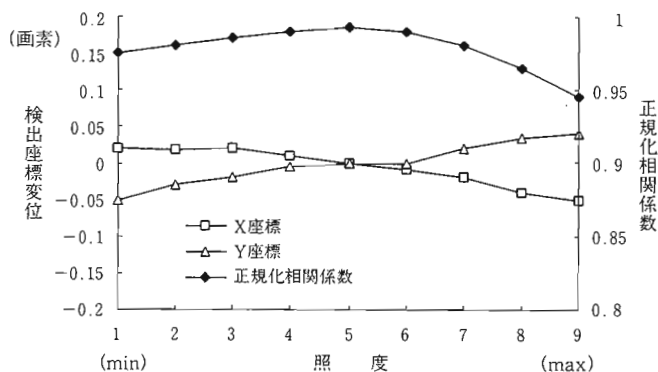


図19. 照度変動の影響

5. おわりに

今回開発したテンプレートマッチング機能は、オプションとしてNV6000に搭載され、精密計測用システムに応用が開始されている。この基板を用い、パラメータ(間引き量や飛び越し量など)を適切に設定すれば、0.3秒程度の処理時間でしかも約±0.2画素の精度でテンプレートマッチングを実現できることがわかった。今後は、計測用のみならず汎用の画像検出機能として他の分野への展開を図るため、処理条件などを設定すれば自動的にパラメータを決定し、最適な処理時間でテンプレートマッチングを実行する方法を開発する必要がある。

NV6000では、Windows上でのプログラミング環境を提供することにより、非常に優れたユーザインタフェースを構築することが可能となった。ただし、システムの設計は

依然としてプログラミング方式で、やや開発経験が必要とし、しかもパソコン別置型の画像処理装置であるために、通信速度などに制約があり、この点がNV6000の適用を妨げる要因の1つともなっている。今後は、プログラミング以外の方式によるシステム設計手法の開発、パソコンとのバス結合方式による通信速度の向上など、より高性能な使いやすい画像処理装置を開発して行く予定である。

最後に、NV6000を開発するにあたり、御助言、御協力いただいた弊社精機製造部関係者の方々に感謝する。

文献

- (1) 桐井裕司他. 「新型ビジョンセンサ NV5000」. 不二越技報. 44(1), p.15-29 (1988).
- (2) 田中久博他. 「新型ビジョンセンサ NV5100」. 不二越技報. 48(1), p.105-110 (1992).
- (3) 田村秀行. 「コンピュータ画像処理入門」. 第1版. 東京, 総研出版. 1985. p.148-151.
- (4) イーゼルシャープ社. 「GPB-1 取扱説明書」. 1994.
- (5) KIRII, Y. "Vision Sensor NV-R1 for Industrial Robots". 24th International Symposium on Industrial Robots (ISIR). p.721-726.
- (6) 安本雅昭. 富山技術開発財団主催, リフレッシュセミナー「計測・制御コース」資料. 1994.

注) Microsoft, MS-DOSは、米マイクロソフト社の登録商標です。

Windows, Visual Basic, Excelは、米マイクロソフト社の商標です。



三田 豊

1990年金沢大学工学部(電気)卒, 同年, ㈱不二越に入社, 技術開発部電子技術部にて, NC装置のハードウェアの開発に従事, 1992年より画像処理システムの開発に従事, ナチビジョンNV6000の商品化を担当, 現在に至る。



坂田正和

1989年新潟大学工学部(電気)卒, 同年, ㈱不二越に入社, 技術開発部電子技術部にて, 画像処理システムのハードウェアの開発に従事, ナチビジョンNV5100, NV6000の商品化を担当, 現在に至る。



田中久博

1984年東北大学(電気)卒, 1986年同大学院博士課程前期課程修了, 同年, ㈱不二越に入社, 技術開発部電子技術部にて, 画像処理システムの研究開発に従事, 現在に至る。