

工場作業データベース設計支援のためのビデオ映像に基づく 動作解析

奥井 宏昌 岡本 陽介 今井 さやか 富井 尚志 有澤 博

横浜国立大学 工学部 電子情報工学科
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

E-mail: {okui,okamo,sayaka,tommy,arisawa}@arislabs.dnj.ynu.ac.jp

あらまし

本稿では、生産工程設計支援などを目的とした工場作業データベースについて述べる。工場作業データベースへの要求として、作業風景の蓄積、作業員やロボットなどの動きや形状情報の蓄積・管理などが挙げられる。これを実現するための基本技術として、ステレオ映像からそこに映り込んだ被写体の3次元的な運動を抽出することが重要であると考えた。そこで、ステレオ映像を解析し、作業に関する情報を抽出するシステムとして、“3D CHASER”を設計・実装し、実際の工場作業映像を用いてその評価を行なった。

Motion Analysis for designing Factory Work Database based on Video Data

Hiromasa OKUI Yousuke OKAMOTO Sayaka IMAI Takashi TOMII Hiroshi ARISAWA

Division of Electrical and Computer Engineering
Faculty of Engineering
Yokohama National University
79-5, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Japan

E-mail: {okui,okamo,sayaka,tommy,arisawa}@arislabs.dnj.ynu.ac.jp

Abstract

In this paper Factory Work Database Systems which capture video images of works and analyze motions of workers for the purpose of optimum design of man machine cooperative systems are discussed. The “3D CHASER” program, by which spatial positions and motions of major parts of human bodies, are presented and evaluated.

1 はじめに

近年、コンピュータの性能の向上により、高精細な画像や映像の取り込み、表示、あるいは高速なグラフィック描画処理ができるようになった。これに伴い、工業、産業、医療など、様々な分野において、映像やグラフィック情報といった、いわゆるマルチメディア情報を基にした支援システムの導入が盛んに行なわれている。特に、生産技術分野では、製品の設計・評価、工程の設計・管理などを効果的に行なうために、CAD/CAM、CIMのようなコンピュータ支援環境が導入され、実用化されてきている [1]。

また、これらのデータを基に、新たな工場、ライン、工程などを建設・作成する生産工程設計を統合的に行ないたいという要望も存在する。しかし、作業者とロボット、搬送機などが動的に関係する複雑な工場環境の統一モデルは存在せず、それぞれの目的に応じた単体のシステムごとに異なったデータ管理が行なわれているのが現状である。特に、作業工程を解析・モデル化し、これらのデータを統合的に取り扱うことのできる工場作業データベースの必要性は極めて高い。

工場作業データベースの応用としては、作業解析・分析・改善提案を行なうための手法である IE[2]などが挙げられる。しかし、生産工程における作業要素分解・割り当ての最適化や生産評価などを行なうために必要なデータの獲得は、コンピュータ化されていないのが現状である。

これを解決する手段として、映像を利用する方法があり、映像から様々な情報を獲得しようという動きが生じてきている。しかし、映像中に映り込んだ被写体の形状、運動、あるいはその空間的な位置関係などの情報を獲得し、データベースに蓄積するためには、マルチメディアデータベースシステムが必要であり、その上で、工程や作業、撮影された映像などをスキーマ化し、取得されたデータを解析してスキーマに対応するデータに分解・抽出しなければならない。

そこで本稿では、我々が現在開発しているマルチメディアデータベースシステムを応用し、ステレオ映像に基づいた工場作業データベースの設計を試みた。特に、ステレオ映像からの被写体の運動の抽出は、データベース設計を行なう上での重要な要素

技術であり、映像から同一色領域の重心の空間位置を計測・追跡する“3D CHASER”の設計・開発を進めてきた。

本稿では、まず、工場作業データベースについて考察する。次に、3D CHASERについて述べ、試作した3D CHASERについての評価を行なう。

2 工場作業データベースの設計

ここでは、生産工程設計支援を行なう上で必要なデータを管理・運用するための工場作業データベースにおいて、要求される事項や蓄積されるデータの種類、そしてそのデータベースの設計法について述べる。

2.1 工場作業データベースへの要求

生産工程の設計・記述に必要なデータは、空間的な広がりを持つ3次元データや、時間的な連続性を持つ動きのデータなどである。例えば、作業ロボット-作業-搬送系からなる工程の設計・管理・最適化・評価、そして作業チェックや作業シミュレーションなど、様々なアプリケーションのデータが存在する。また、これらのデータは、作業シミュレーションの結果を生産工程の最適化にフィードバックする場合などにおいて、他のアプリケーションにも利用されるであろう。

工場作業データベースには、

- 実映像を用いた作業風景の蓄積
- 工具やロボット、搬機などの用途や形状・重量・容量などの情報管理
- 作業者としての「人間」のモデリング
- 「要素作業」内の「要素動作」といった作業者の動きの情報蓄積

のようなことが要求される。

以上のことから、全てのデータは共通のデータベースに蓄積され、管理・運用されなければならない。このデータベースを工場作業データベースと呼ぶ。

ここで、工場作業データベースを実現する際、作業者に様々なセンサやマーカを取り付け、そこから動きの情報を得る方法も考えられる。しかし、この

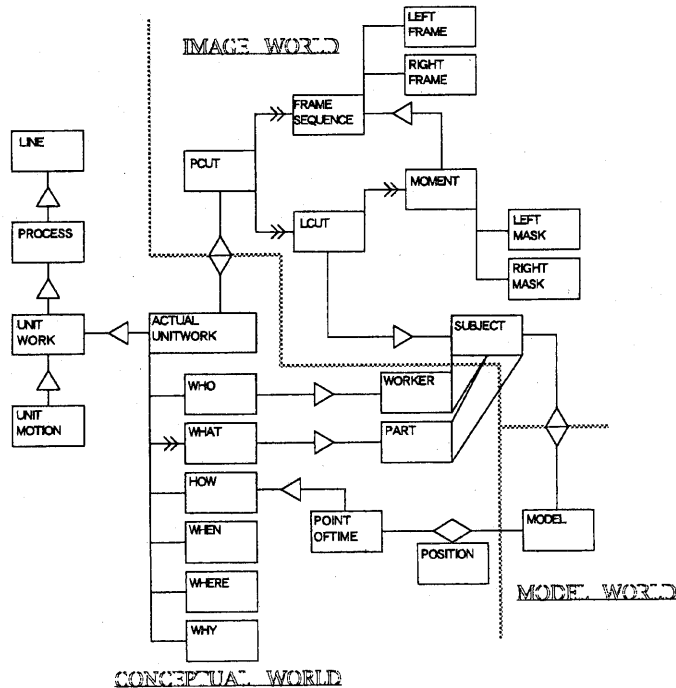


図 1: AIS ダイアグラムによる工場作業データベースの概念スキーマ

方法では、作業者に普段と異なる環境で作業を強いることになり、本来の動きを忠実に再現できないことがあるだけでなく、作業の失敗や別の危険の原因となり、実用的ではない。

一方、映像を用いる方法は、作業者をビデオカメラにより撮影するだけであり、作業環境に大きな影響を及ぼすことはない。

また、作業風景を撮影するとき、単に1台のカメラでなく、複数のカメラにより多視点から撮影することで、作業者の3次元的な動きの記録を行なうことができる。多視点からの撮影の中でも、2台のカメラを平行に配置するステレオ撮影法を用いれば、そのままステレオ視することで、直接立体感を得ることができる。また、得られた左右フレーム間において、対応する領域を検出すれば、ステレオ映像から3次元情報を獲得することができる。

そこで本研究では、工場作業データベースをステレオ映像を用いて構築することを試みた。

このとき、特に、実映像から半自動的に作業者の

動きの情報を抽出することは重要な要素技術である。映像データは、作業者の動きを時間と共に記録したデータであるが、映像は静止画フレームの列であり、そこに映り込んだ被写体の情報は明示的には含まれていない。

以上の要求を満たすために、映像データから被写体の運動を抽出することは、工場作業データベースの構築にとって、大きな割合を占める。

2.2 ビデオ映像に基づく工場作業データベース

前節で述べた要件を満たすデータベースを構築するためのデータ解析方法として、映像からの3次元的な動きの抽出が挙げられる。こうした動きの情報を基にして、また、工場作業には「工程」、「要素作業」、「要素動作」の段階があり、作業者の動きの情報を基にして、「要素作業」や「要素動作」の開始時点などを抽出しておけば、工場作業データベースにおける時間的情報の蓄積・解析に用いるこ

とができる。

工場作業データベースの概念スキーマは、AISダイアグラム [4] を用いて、図 1 のように表現される [5]。このスキーマは、意味的なまとまりにより、CONCEPTUAL WORLD、IMAGE WORLD、および MODEL WORLD という 3 つの世界に分けることができる。

CONCEPTUAL WORLD

CONCEPTUAL WORLD は、生産ラインを構成している「工程 (process)」、「要素作業 (unit work)」、「要素動作 (unit motion)」、及び「要素動作 (unit motion)」がどのように組み合わせられているか、また、誰が、いつ、どこで、何を、何故、どのように作業を行なったかということを表している。

IMAGE WORLD

IMAGE WORLD は、対象となる世界、ここでは、プロダクション・エンジニアリングの事象を撮影した映像を構造的に蓄積するためのスキーマである。映像にインデックスをつける必要性から、一連の作業や映像の切り替わりとなるシーンのように大きいフレーム列である物理カット、及び物理カット内における個々の被写体を表すフレーム列である論理カットを中心に、論理カットの表す被写体、論理カットの位置を示すマスクなどが主体型として構成されている。なお、2 つのカットは、ステレオ映像として構成されている。

MODEL WORLD

作業やロボットといった物体の形状を表すのが、MODEL WORLD である。モデルに時間に関連することによって、動きが表される。

3 ビデオ映像に基づく動作の解析

動作の解析を行なうためには、作業や、工具、部品といった主題の位置関係を知る必要があり、そのためには、それぞれの空間位置を計測しなければならない。

被写体の空間位置の計測は、「被写体の認識」と「空間位置の計測」という 2 つの部分に分けることができる。以下、両者の手法について述べる。

3.1 被写体の同一色領域の認識

本研究では、被写体を簡単に認識するために特徴的な色をしている被写体に着目し、色情報からある領域を認識することを考えた。例えば、被写体が人間の場合、その人の顔や手といった領域を認識する。つまり、被写体の同一色領域の認識とは、左目・右目映像に映っている同一被写体の同一色領域が、それぞれのフレーム上においてどこに映っているかを認識することである。

しかし、単に色情報といっても、1 ピクセル当たり RGB それぞれが 256 階調、つまり $256^3 = 16,777,216$ 色と非常に膨大であるため、このままで扱うのは、困難である。このため、最も一般的な Y-C 分離方式 [6] への変換を行ない、色を輝度情報 (Y) と色相情報 (C) とに分割して扱うことにした。これにより、被写体領域の輝度、つまり明るさに左右されず、色相だけで解析を行なうことができる。

ここで、ある色 (R,G,B) の輝度 (Y) への変換式は、

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1)$$

で表さる。

次に、実際に被写体の同一色領域を認識するまでの手順を述べる。

1. ユーザが被写体の同一色領域内の任意の 1 ピクセルを指定する。
2. 指定ピクセルとその上下左右のピクセルにおける輝度の差と色相ベクトル上での距離の差が、共にユーザの指定した閾値より小さいならば、そのピクセルを中心として再度、上下左右のピクセルにおける輝度の差と色相ベクトル上での距離の差を比較していく (図 2)。

これにより、1 フレーム上における被写体の同一色領域を認識できる (図 3)。

このようにして、現フレームにおける被写体の同一色領域が取得できれば、この領域内の輝度と色相ベクトルの両平均値を基に、次フレームにおける被写体の同一色領域が取得できる。そして、この処理を時間軸方向に繰り返すことにより、被写体の同一色領域の取得が連続的に行なわれる。

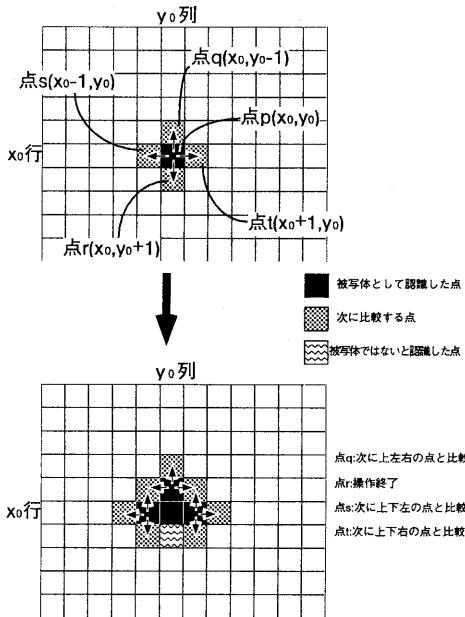


図 2: 被写体の同一色領域の取得の様子

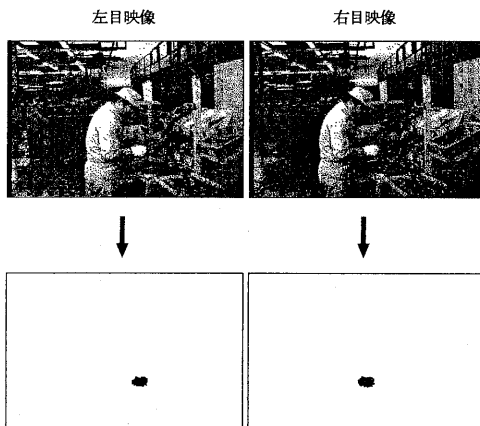


図 3: 被写体の同一色領域(右手)の取得結果

3.2 空間位置の計測

前節で述べた手法により、ある 1 フレーム上における被写体の同一色領域の認識が行なわれる。また、その領域から重心座標をそれぞれ求めることができる(図 4)。

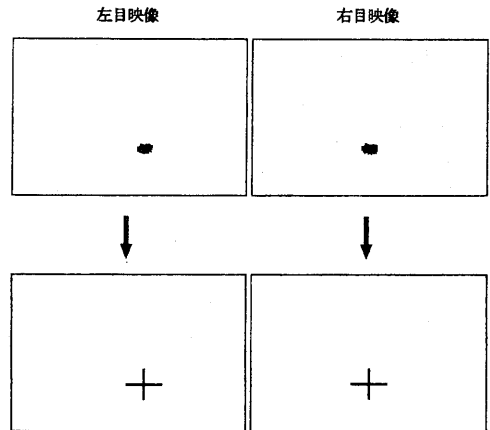


図 4: 被写体の同一色領域の重心の取得

今、カメラの焦点距離を f 、カメラ間距離を D とし、得られた重心座標をそれぞれ $P_L(x_L, y_L, z_L)$ 、 $P_R(x_R, y_R, z_R)$ とすれば、被写体の同一色領域の重心 $P(X, Y, Z)$ における空間位置(座標)は、三角測量の原理[7]により次のようになる。ただし、左目カメラの焦点を原点とする。

$$(X, Y, Z) = \left(\frac{x_L D}{x_L - x_R}, \frac{y_L D}{x_L - x_R}, \frac{f D}{x_L - x_R} \right) \quad (2)$$

4 試作システム的设计と評価

前途の理論に基づき、映像情報を解析・モデル化する要素技術の 1 つとして、3D CHASER を開発した。以下、3D CHASER について述べ、その評価を行なう。

4.1 3D CHASER

3D CHASER とは、同一被写体を 2 台のカメラにより同期撮影した映像を用いて、被写体の同一色領域の重心の空間的な位置 (X, Y, Z) を計測し、時

間軸方向に沿って、その位置を追跡していくシステムである。

3D CHASER の構成を図 5 に示す。このシステムを用いて、作業者と機械(あるいは、危険な工具など)の空間位置をそれぞれ計測することができれば、そこから

- 両者の接触や作業者の危険度
- 両者の接触を原点とする作業の 1 サイクルの所要時間

をはかることができる。

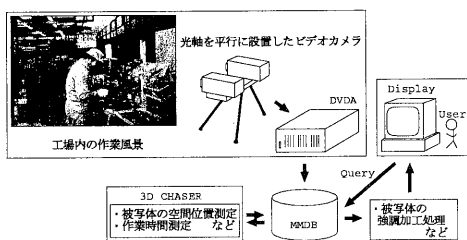


図 5: 3D CHASER の構成

図 6 に、カメラの設置の様子を示す。両方のカメラの光軸は水平で、互いに平行である。また、3D CHASER の解析の流れを図 7 に示す。「加工映像の作成」とは、指定した被写体領域の存在位置をユーザが視覚的に理解できるように、輪などの強調加工処理を行なった映像(図 8)を作成することである。

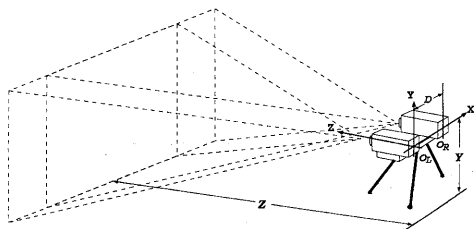


図 6: カメラの設定

4.2 3D CHASER の評価

実際に、工場内で働いている作業者に関する映像に対して、解析を行なった結果を図 8 に示す。輪が

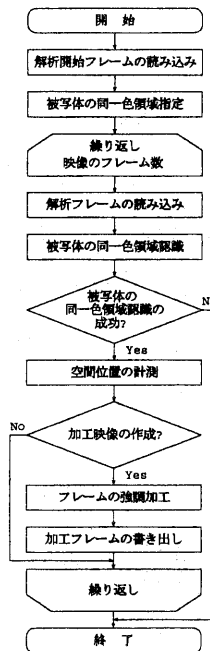


図 7: 3D CHASER の解析の流れ図

描かれている部分は、空間位置が計測された同一色領域であり、この場合、作業者の顔と手の位置が計測されている。このときの手の位置の軌跡を図 9 に示す。

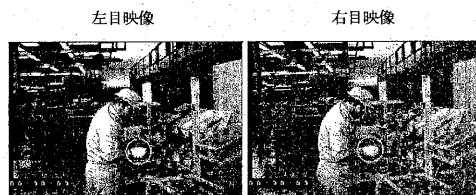


図 8: 3D CHASER による解析結果

カメラから被写体の同一色領域(作業者の右手)までの距離、つまり奥行き Z について、実測値と 3D CHASER による計測値とをグラフにしたものを図 10 に示す。なお、ここでの実測値とは、手動により割出した作業者の右手の位置座標を式(2)に代入して算出した距離のことである。

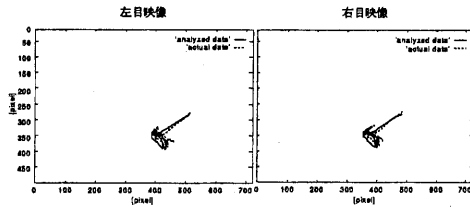


図 9: ある時間における作業者の右手の動き

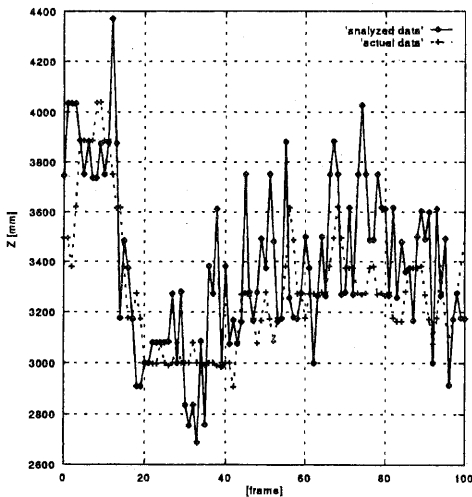


図 10: 実測距離と 3D CHASER による計測距離の比較

図 10 より、3D CHASER による計測値にはばらつきがあり、カメラからの正確な奥行きが得られていないことがわかる。これは、三角測量により距離を算出するときの座標として、同一色領域の重心を用いているためであり、正確には左右映像における対応点ではないからである。しかし、この距離を連続フレームにおいてスムージングすれば、被写体の同一色領域のおよその動きが得られ、ここから動作などの解析を行なうことができる。一方、元データのステレオ映像に、指定領域に輪を掛けるなどの強調加工処理を行ない、ステレオ視して映像を見た場合には、それほどのはらつきは見られず、視覚的には十分であった。

ここで取り扱った映像は、横 720[pixel]×縦 486[pixel] の大きさであり、1 ピクセル当たり RGB それぞれが 256 階調、つまり 1 バイトの色を持っているため、1 フレーム当たり

$$720 \times 486 \times 3 = 1,049,760[\text{byte}]$$

のデータを持っている。この映像の解析に要する時間を図 7 中の処理に対応させてまとめると、表 1 に示すようになる。なお、実験環境として、シリコングラフィックス社製ワークステーション Indigo²/XZ を使い、CPU は、MIPS R4600 134MHz で、メモリは、64MB であった。

表 1: 1 フレームの解析に要するおよその時間

処理項目	処理時間[s]
解析開始フレームの読み込み	6
被写体の同一色領域指定	2
解析フレームの読み込み	6
被写体の同一色領域認識	2
空間位置の計測	1
フレームの強調加工	1
加工フレームの書き出し	6
合計 (映像加工なし)	24(17)

表 1 より、1 秒間、つまり 30 フレーム分の映像に要する解析時間は、映像に強調加工処理を行なう場合は約 8 分、行なわない場合は約 5 分ということになる。

5 まとめ

生産工程設計支援を行なう上で必要なデータを管理・運用するためのデータベースとして、工場作業データベースの提案を行なった。また、工場作業データベースに情報を蓄積する上で重要なシステムとして、作業者に対する動作解析を行なう 3D CHASER について述べ、その評価を行なった。

現在のシステムでは、生産工程設計支援の中の 1 つの要素である IE 調査において、必要とされる調査項目の内の基本的な要求にしか応じることができない。しかし、様々な調査項目に応じた解析システムの充実をはかることにより、生産工程設計支援のためのシステムを構築することができる。

謝辞

本研究を行なうにあたり、御協力を頂いた(株)クボタ生産技術本部の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 穂坂 衛, 佐田 登志夫: “統合化 CAD/CAM システム”, オーム社, 1994.
- [2] 横溝 克巳, 三浦 達司, 河原 巖, 宮代 信夫, 小松原 明哲: “あたらしいワーク・スタディ”, 技報堂出版, 1994.
- [3] 有澤 博: “リアルワールドデータベースとその実現技術 1-3”, bit, Vol.28, No.9-11, 1996.
- [4] H.Arisawa, T.Tomii, H.Yui, H.Ishikawa: “Data Model and Architecture of Multimedia-Database for Engineering Applications”, IE-ICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E78-D No.11, pp.1362-1368, November 1995.
- [5] 林 路彦, 今井 さやか, 有澤 博: “作業データベースにおける映像情報の解析”, 電子情報通信学会技術研究報告, pp.13-18, July, 1996.
- [6] 原田 益水: “VTR のすべて”, 電波新聞社, 1990.
- [7] 木内 雄二: “画像認識のはなし”, 日刊工業新聞社, 1993.