

ビデオレートステレオマシン

蚊 野 浩

A Video-Rate Stereo Machine

Hiroshi KANO

A video-rate stereo machine had been developed at Carnegie Mellon University with the capability of generating a dense range map, aligned with an intensity image, at video rate. The stereo machine is based on a multi-baseline stereo method with some extensions. The major ones are: 1) the use of SAD (sum of absolute difference) instead of SSD (sum of squared difference), 2) the use of small integers for image data representation, and 3) camera geometry compensation capability for precise camera alignment. The stereo machine successfully generates disparity map of 200×200 with 23 steps of disparity search range in the video rate.

Key words: stereo vision, real time, special purpose hardware, parallel processing, depth image

1. マルチベースライン法¹⁾による距離計測

一組のステレオ画像対において、対応点の位置のずれ量を視差とよぶ。図1に示すように、視差 d とシーン中の点までの距離 z の関係は $d = B \cdot F / (\lambda \cdot z)$ で与えられる。ここで λ は画像の画素サイズ、 B と F は基線長と焦点距離である。ステレオ画像対から直接計測されるのは視差 d であり、基線長を長くすればその精度がよくなる。一方、基線長を長くするとより広い視差の範囲を探索しなければならず、偽対応の可能性が高まる。すなわち、基線長の選択に関して、計測の精度とマッチングの正しさの間にトレードオフが存在する。

$d = B \cdot F / (\lambda \cdot z)$ を変形し $\lambda \cdot d / (B \cdot F) = 1/z = \xi$ を得る。この式は、真の視差を基線長で割った値はステレオ対によらず一定であることを示している。それゆえ、対応点探索において、マッチングの評価関数を距離の逆数に比例した ξ の関数として表現すると、基線長によらず正しい距離に対応した ξ において大きな評価値を示すはずである。このことから、複数の基線長に対応した各評価関数を足し合わせることで、精度と信頼性の向上が期待できる。

一組のステレオ画像対において、一方の画像（基準画像）内のある1点のまわりにウィンドウを定義する。これと同様のウィンドウを他方の画像（検査画像）にも定義し、エ

ピポーラー線に沿って移動させる。画像 f_0 を共通の基準画像とする $n+1$ 個のステレオ画像 f_k ($k=0 \sim n$) を得たとき、 f_0 のカメラ座標 (i, j) における ξ を変数とする k 個の SSD (sum of squared difference) 関数 $SSD_k(i, j, \xi)$ はウィンドウ内の対応する画素値の差の2乗を足し合わせたものである。このようにして得られる k 個の SSD 関数を足し合わせることで SSSD (sum of SSD) 関数を得る。

SSD 関数は、真の距離に対応する ξ の位置で極小値をとる。SSD 関数を足し合わせた SSSD 関数は、よりはっきりしたあいまい性の少ない最小値をとる。また、最小値付近での曲率が大きくなっており、このことは距離計測の精度

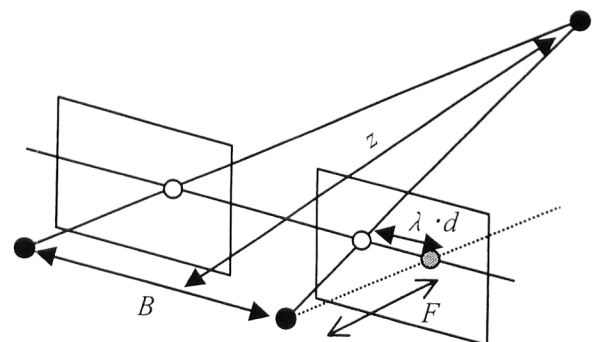


図1 ステレオ画像計測。

三洋電機(株)メカトロニクス研究所 (〒573-8534 枚方市走谷 1-18-13) E-mail: h_kano@rd.sanyo.co.jp

がよくなっていることを示すものである。

2. ビデオレートステレオマシンの設計

マルチベースライン法に基づいて、ビデオレートステレオマシンの設計を行った²⁾。アルゴリズムのハードウェア化において、以下の3点の拡張を行った。1) 画像データ表現にビット数の少ない整数を用いた。2) SSD計算において2乗の代わりに絶対値を用いた(SSDではなくSAD(sum of absolute difference))。3) 入力画像の幾何補正回路を導入した。

図2に試作システムのブロック図を示す。システムは以下の5つの重要なサブシステムで構成される。1) 複数のカメラで構成されるステレオカメラヘッド部。2) 複数画像を同時に取り込むことができる画像取り込み部。3) LOG(Laplacian of Gaussian) フィルター部。4) 並列SSAD計算部。5) SSAD(sum of SAD)関数のサブピクセル計算と計測距離の信頼度計算を行う並列DSP(digital signal processor)部。ビデオレートステレオマシンは、これらのサブシステムが入力画像のデータ列に対してパイプライン的に処理を進め、並列DSP部に30msごとに1枚の距離画像(視差画像)を生成する。

2.1 LOG サブシステム

並列に入力される6系統の入力画像に対応して6系統のLOGフィルターを実現した。画像読み取り部から濃淡画像を入力し、SSAD計算部にLOG画像を出力する。LOGフィルターの最大サイズは25×25である。

LOGサブシステムは、多重解像度のLOG画像を生成する能力も備えている。これは、画像をぼかせながら間引くことにより、複数の解像度の画像ピラミッドを作るものである。LOGフィルター処理されたデータは適当なシフト演算により8ビットを取り出す。さらに後段のSSAD計算部の回路規模を小さくすることを目的として、8ビットから4ビットにデータ圧縮される。

2.2 SSAD サブシステム

SSADサブシステムは次の3つの機能をもっている。すなわち、ステレオ対ごとに正しい対応点候補を抽出する幾何補正部。抽出された対応点候補の差の絶対値を全ステレオ対、およびウィンドウ内について足し合わせるSSAD演算部。SSAD関数から最小値を抜き出す最小値検出部である。

入力画像の幾何補正はSSAD演算の前処理として実行され、あらかじめ求めておいたカメラヘッドの幾何学的特性を、ステレオマシンの立ち上げ時に幾何補正回路部のlookupテーブルにダウンロードすることで機能する。これにより、カメラ特性のばらつきやカメラヘッドの位置

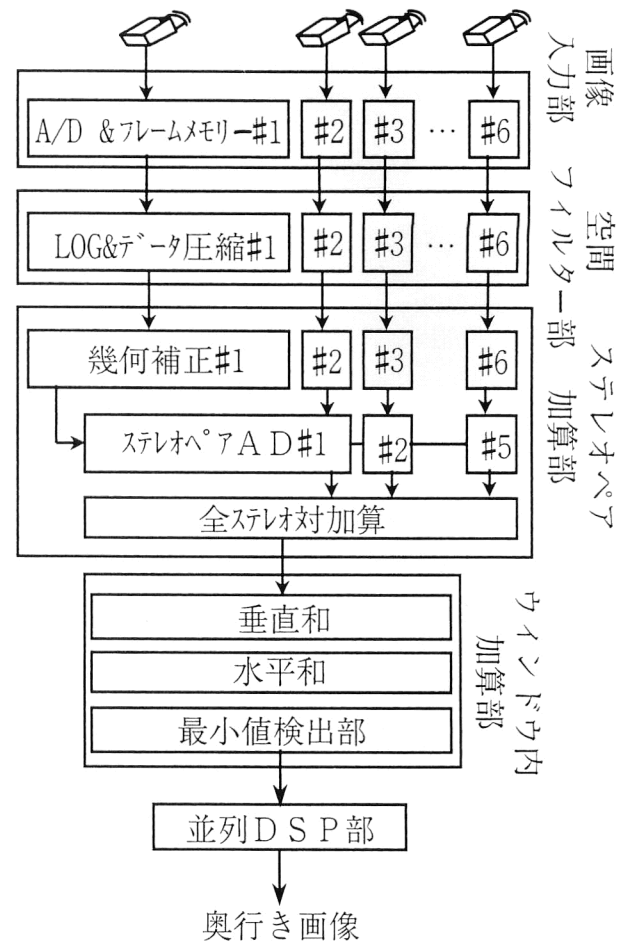


図2 ステレオマシンの構成。

決め精度を補正することが可能になっただけでなく、カメラを任意に配置することが可能になった。

SSAD関数の計算式には画素値の差の絶対値に関して、2種類の加算処理(ウィンドウ内の加算処理と複数ステレオ対の加算処理)が含まれる。前者は2次元的、後者は1次元的事であることから、この加算処理の順序を入れ換えることができ、ステレオ対での加算処理の後、ウィンドウ内での加算処理を実行する。その結果、ウィンドウ内加算の演算器を1個ですませることができる。

ウィンドウ内加算の計算は、単純な方法を用いると計算量が膨大になる。本ステレオマシンは、近傍画素のSSAD関数の計算において重複計算を含むことを利用し、計算量を削減した。すなわち、1つのウィンドウ加算を垂直加算と水平加算に分け、垂直加算の結果得られる部分和などをローカルメモリーに蓄え、再帰的に利用することでSSAD関数を得る。これらの演算をパイプライン的に実行することで、ウィンドウ単位でのマッチング処理をビデオレートで実行することを可能にした。

SSADサブシステムの最終段に位置する最小値検出モ

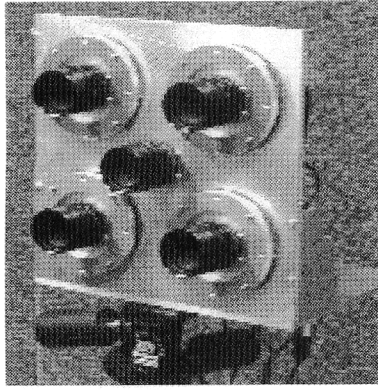


図3 5眼カメラヘッド.

ジュールはSSAD関数の最小値を検出する。また、このモジュールは、SSAD関数から最小値近傍の数点を抽出することも可能である。これらの情報は後段の並列DSP部に転送され、視差のサブピクセル補間処理や計算される視差情報の信頼度計算に使われる。

3. ビデオレートステレオマシンの性能

ビデオレートステレオマシンは市販のデバイスのみを用いて開発した。プログラマブルデバイスおよび、空間フィルタ用LSI (large scale integration), ALU (arithmetic logic unit), パイプラインレジスタなどが主要な部品である。200×200の画像サイズで23段階の視差探索範囲に対して、毎秒30フレームの速度で動作する。

図3に示すような、中央に基準カメラを配置し、そのまわりの4台のカメラとステレオ対を構成する対称型配置のカメラヘッドを開発した。対称型カメラ配置により、遮蔽

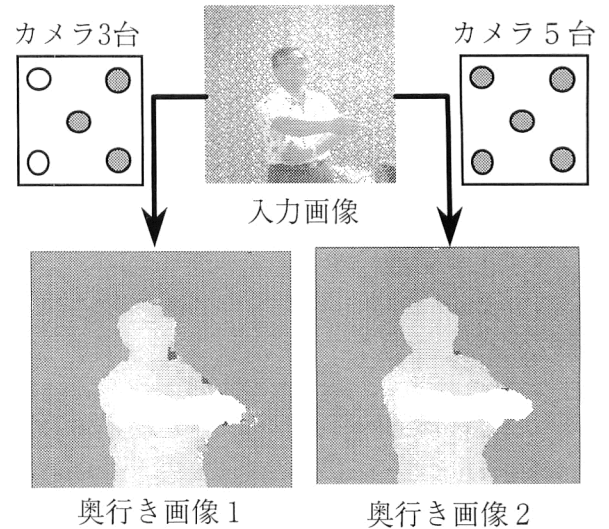


図4 計測例.

領域の影響による偽対応を解決できる場合がある。図4は、5台のカメラすべてを用いる場合と右半分の3台のカメラを用いる場合で、得られる視差画像を比較したものである。3台の場合には、遮蔽領域が発生するエッジ部でノイズ的な視差が計測されていることが確認できる。

文 献

- 1) 奥富正敏, 金出武雄: “複数の基線長を利用したステレオマッチング”, 電子情報通信学会誌, **J75-D-II** (1992) 1317-1327.
- 2) 金出武雄, 蚊野 浩, 木村 茂, 川村英二, 吉田收志, 織田和夫: “ビデオレートステレオマシンの開発”, 日本ロボット学会誌, **2** (1997) 261-267.

(2001年6月11日受理)