

マルチカメラシステム

2 個から 60 個のカメラを使ったシステム -

桑島茂純

株式会社ビュープラス

人とコンピュータ、人と環境の関係においては、現実環境におけるユーザーの動きや行動等の動的なイベントや、人とコンピュータや物体との 3 次元位置関係等の情報をリアルタイムかつ広範囲に取得することが必要である。近年の 2 次元撮像デバイスの高性能化および廉価化、ソフトウェアによる演算能力の高性能化および廉価化は、画像処理アルゴリズムの進展とあいまって、画像処理による 3 次元処理の普及の後押しをしている。本稿では、ステレオ・ビジョンなど同期がかかることを前提に複数のカメラを使用したシステムを紹介する。

1. コンパクト・ステレオビジョン・システム

(C3AX-03)

C3AX-03 は、2 つの CMOS 撮像素子からなるカメラユニットによるステレオ・ビジョン・システムである。システムは、カメラユニット、カメラ・コントロール・ユニット、ソフトウェアからなる。ステレオ・ビジョンが小型化することで携帯型の端末などの知的化に寄与できると考えられる。¹⁾

カメラユニット (写真 1)

撮像素子: 1/3 インチ CMOS × 2
解像度: 640(H) × 480(V) (VGA 相当)
外形寸法: 23x23x92 mm
ベースライン: 50mm
重量: 約 100g

カメラ・コントロール・ユニット

メモリ: 2Mbyte
I/F: USB2.0
消費電力: 2.5W
外形寸法: 約 110x160x23 mm

Software System

API: Triclops V2.3.x(Special version)
Stereo Algorithm: SAD



写真 1 . C3AX Camera Unit

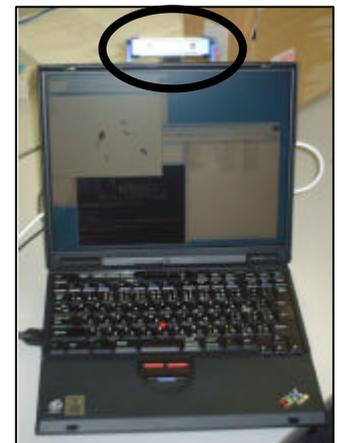


写真 2 . C3AX System



写真 3 . C3AX 取得画像



写真 4 . C3AX 距離画像

2 . PC ベース 3 眼ステレオ・ビジョン・システム (Digiclops) ²⁾

Digiclops は、3 つの撮像素子からなるカメラユニットによるフルデジタル・ステレオ・ビジョン・システムである。マルチベースライン・ステレオ処理アルゴリズムに基づいて距離画像を高精度に演算できる。システムは、校正された 3 眼カメラユニットと MMX 命令をもつ Pentium III CPU で実行されるソフトウェアにより、視野内にあるオブジェクトの距離をリアルタイムに計測できる。

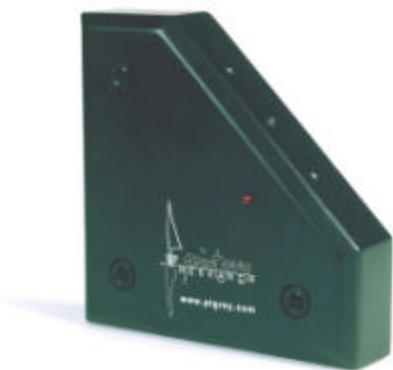


写真 5 . Digiclops Camera Unit

2 . 1 ステレオ処理の解説

ステレオ処理について Digiclops を例に解説する。システムは、まず、カメラユニットに取り付けられた 3 つの CCD 素子により得られた画像を同期して並列してメモリし、つぎに IEEE1394 を介して CPU に転送される。レンズ歪等を取り除き校正された画像を生成する。写真 6 は、生画像と処理の結果画像である。Depth Image は、ステレオ処理により得られた距離画像である。グレースケールで表現されており、明るいところが近距離であることを表している。3D Point cloud visualization は、計測した距離画像を 3 次元座標に変換し仮定の視点を与えて 3 次元空間に点プロットしたものである。3D surface reconstruction は、テクスチャーをはったものである。ステレオビジョンの原理についてであるが、マルチベースステレオ理論に基づいている。詳しくは、奥富^{3) 4)}を参照してもらいたい。

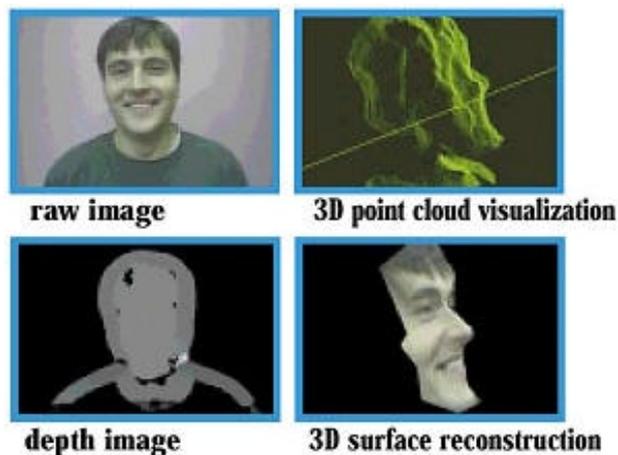


写真 6 . Digiclops ステレオ処理

2 . 2 システム構成

システムは、カメラユニット、IEEE1394 ケーブル、IEEE1394 インターフェースカード、及び、ソフトウェアパッケージにより構成される。ステレオ処理に必要な演算は、すべてソフトウェアで行われている。

2 . 3 仕様

カメラユニット (写真 5)

撮像素子:	1/3 インチ CCD × 3
解像度:	640(H) × 480(V) (VGA 相当)
外形寸法:	155 × 155 × 50 mm
出力信号:	IEEE1394 400Mbit/sec
最低照度:	6 lux
電源:	12V 約 400mA
焦点距離:	4.0 mm または 6.0mm
ベースライン:	100 mm
重量:	約 500g

カメラ制御

ゲイン:	-3dB to 33dB
シャッター:	1/25s to 1/15000s
I / F:	IEEE1394

Software System

API:	Digiclops API V2.2 Triclops API V2.5
------	---

Stereo Algorithm: SAD

CPU: Intel Pentium III

OS: Windows2000, Windows98SE or Linux

2.4 性能

1) 分解能

画像のすべてのピクセルに対して距離演算されるので、空間分解能は、画像分解能と同じである。距離分解能は、視差(Disparity)に対応している。距離計測の分解能を、図1に示す。1m先で、2mmの分解能である。(焦点距離4.0mm)サブピクセル機能により3 - 10倍高分解能な距離データを求めている。

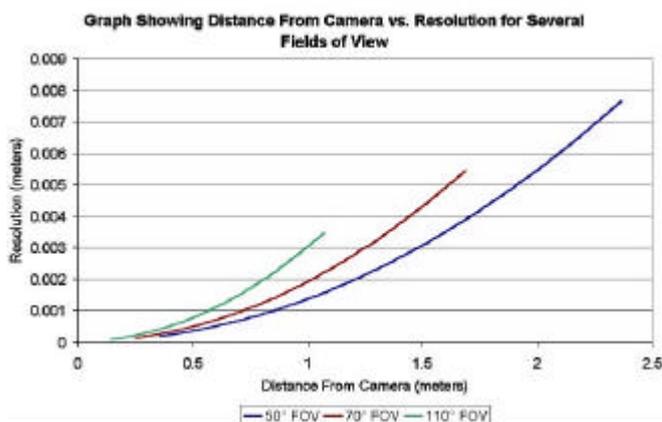


図1. 計測分解能

フルデジタル方式であるので画像をリサンプルすることによる誤差、伝送路でのジッタが無くなり基本的な画像処理精度が向上している。

2) 処理速度

処理速度は、CPUの速度に依存する。また、処理画素数、計測範囲にほぼ比例する。分解能(640×480~160×120)によるが、最高で24フレーム/秒(分解能160×120時)で実時間計測できる。

3) IEEE1394

バス用カードI/Fから開放されノート型PCでの動作が可能になる。移動型機器での利用が容易になるだけでなく、通電中のコネクタの抜き差しが可能、カメラ制御が同じケーブルで行える、電源をネットワーク越しに供給できる、などIEEE1394のメリットを得ることができる。

また、複数台のDigiclopsを直列接続することで、同期して動作させることができる。同期は、IEEE1394を介して行われるので特別な配線は必要なく、接続は簡単である。これによりStereo Multiple-Viewpoint Systemを実現できる。

4) Triclops API V2.5

ステレオ処理は、3眼でのステレオ処理となっておりすべてソフトウェアで行われている。PointGreyResearch社⁵⁾のステレオ処理ライブラリTriclopsAPI⁶⁾によりおこなわれる。TriclopsAPIは、ステレオ処理のすべてをソフトウェアにより実行する。このライブラリでは、距離画像の演算を高速に行えるだけでなく、距離画像をスケールされた3次元座標に変換する関数が用意されている。

2.5 応用

(1) ジェスチャー認識

新情報処理の西村ら⁷⁾は、距離画像を用いてジェスチャー認識を報告している。3x3x3の立体領域での物体の存在判定を行い、それを連続DPマッチングによりダイナミックなジェスチャー認識を実現している。さらに、立体領域をボディーポジションの動きに合わせて相対的に切り出すことで認識能力の向上と安定をはかっている。

IntelのGrzeszczuk⁸⁾らは、手の向きや位置および照明に不変なジェスチャー認識を行った。6つのジェスチャーを96%で認識したとしている。

(2) EasyLiving⁹⁾¹⁰⁾

EasyLivingは、Microsoft ResearchのVision Technology Groupによるプロジェクトである。その目標は、人と人、人とコンピュータ、人その他の機器との新しいinteractionや環境を提案し作り上げることである。

Contact Anyone Anywhere, Child Care, Home Automationなどのコンセプトが提案されている。センサーとしてカラー情報を扱えるパッシブ・ステレオ・ビジョン(Digiclops)が使われている。

(3) StereoPLUS

StereoPLUSは、ビュープラスのステレオビジョン応用製品である。Digiclopsからの3次元画像情報を、台数にかかわることなく1つのデータとして扱うことができる。複数台のステレオビジョンの座標系は、簡単なキャリブレーションにより一つのグローバル座標系にマップされる。全ての3次元データは、グローバル座標系上の3次元座標として統一的に扱うことができる。Sync Unitを

使用することにより異なる PC に接続された Digiclops 間の同期を取ることができる。(図2)

仕様 (抜粋)

Digiclops ノード数 : 2 台より

距離画像解像度 : 各ノードで 120x90 ~ 320x240

テクスチャ画像解像度 :

各ノードで 256x192、512x384

生成ポリゴン数 : 1 ノード当たり約 10 万

表示モード : テクスチャ付きポリゴン表示、

ワイヤフレーム、ポイントクラウド

キャリブレーション : 対応点指定 (ノード間)

グローバル座標入力 (独立ノード)

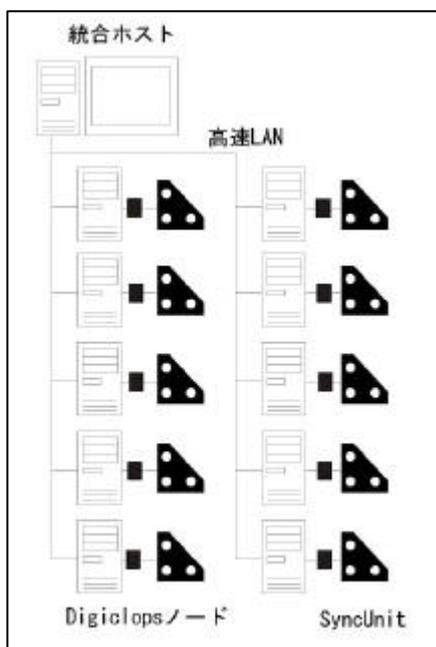


図2 . StereoPLUS システム構成例

3 . 全方向デジタルカメラシステム (Ladybug)

Ladybug¹³⁾ は、全方向の高精細非圧縮カラー動画像を連続して蓄積できるシステムである。小型カメラヘッドに水平方向に5個、上向きに1個の CCD を配置することにより均質な画像を取得でき

る。全方向の75%以上の視野を確保している。小型カメラヘッド(中心より20mmにカメラを配置)であることと、バッテリーで30分の画像を15Hzで取得できることから、移動機器(車両など)からのパノラマ動画像の取得が可能である。パノラマ画像は、アプリケーションプログラムによりオフライン処理となる。(写真8)



写真7 .Ladybug Camera Head

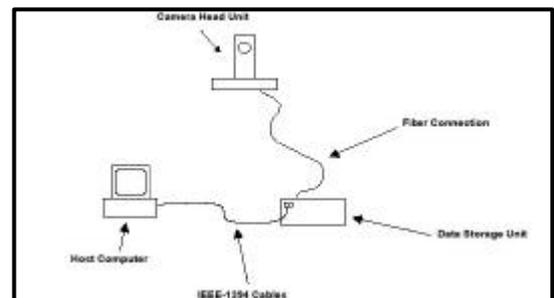


図3 . Ladybug システム構成図

3 . 1 仕様

カメラヘッド(写真7)

撮像素子 : color CCD x 6

解像度 : 1024 x 768 ピクセル/CCD

フレームレート : 15Hz



写真8 . Ladybug Stched Image

5. 全方向ステレオシステム

全方向ステレオシステム SOS (Stereo Omnidirectional System) (写真 1 2) は、60 個のカメラを用いて正 20 面体の各面上に 3 眼のステレオ・ビジョンを配置することによって、観測点を中心としたすべての方向の 3 次元カラー情報を同時並列的に得ることができるシステムである。¹⁾



写真 1 2 . SOS

5. 1 特長

(1) 全方向で同時並列 3 次元情報取得

20 組のステレオカメラを球状外向きに、視野が全方向をカバーするように配置し、同時並列的に全画像をメモリユニットに取り込むことで全方向の 3 次元情報の取得を実現した。

(2) 小型高精度

ステレオカメラの形状と配置を工夫することで、距離計測の精度を決めるカメラ間隔 (ベースライン) の確保とセンサ寸法の小型化との両立を図った。

(3) 高分解能均一 3 次元情報取得

20 組のステレオカメラを正 20 面体に配置することで、方向による空間解像度の差異が少ない 3 次元高分解能情報の取得ができた。

(4) Rigid & Weak Calibration による実用性
ステレオカメラごとに Rigid なキャリブレーションを行い、ステレオカメラ間の関係は簡単に Weak なキャリブレーションで済ませるといった構成をとることにより、大量にカメラを使いつつも

現実的な使い勝手で使用できるシステムを実現した。

5. 2 システム構成 (図 4)

システムは、ステレオカメラアレー部 (以下センサ部) 画像メモリ部、ステレオ処理部 (10 台)、システム制御部から構成される。

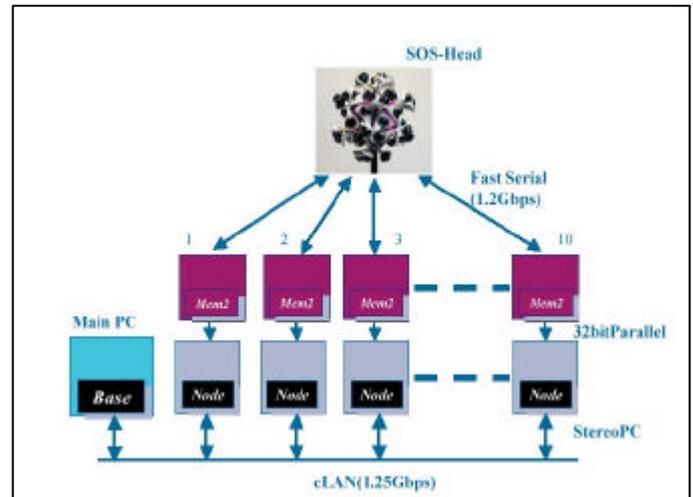


図 4 . SOS システム構成図

センサ部は、カメラユニット 10 個を用いたボール状の構造をもっており専用のスタンドに取り付けられる。カメラユニットは、カメラ素子を 3 個用いたステレオカメラ 2 組からなり、正 20 面体の隣接する 2 面となる。ステレオカメラは、L 字型に CMOS 撮像素子が配置され L 字交点の素子からはカラー情報を含む画像、他の 2 つの素子からはステレオ処理に使用する白黒画像が取得される。これら 1 枚のカラー画像を含む 3 枚の画像のセットが 2 組まとめられてカメラユニットから高速シリアル通信により出力される。

5. 3 仕様

センサ部

外径	: 約 27 cm
高さ	: 49 cm
消費電力	: 約 50 W
重量	: 4.5 Kg (スタンドを除く)

ステレオカメラ (写真 1 3)

撮像素子	: 1/3 インチ CMOS x 3
解像度	: 644(H)x484(V)
焦点距離	: 2.9 mm

画角 : 96.6 ° (H) x 71.9 ° (V)

ベースライン : 90mm



写真 1 3 . Stereo Camera

カメラユニット

ステレオカメラ : 2 台

通信 : 1.2GbitSerial, RS232C(TTL)

機能 : カメラ制御, カメラ同期

画像メモリ部

通信 (センサ部) : 1.2GbitSerial x 10

通信 (ステレオ処理部) : 32Bit パラレル

メモリ : 15 フレーム (連続、単発)

ステレオ処理部

Stereo Algorithm : SAD

処理分解能 : 640 x 480, 320x240, 160 x 120

距離分解能 : 3mm-30mm/1m

処理速度 : 最大 15 Hz / ユニット

CPU : Pentium III 866MHz Dual

OS : Windows2000

6. おわりに

カメラまたはカメラ素子を同期して多数使うシステムを紹介した。ハードウェアとソフトウェアの飛躍的進歩すなわち高速化と廉価化の持続を考えると、ステレオ処理システムをはじめとする Multiple-View システムは、画像による環境認識の大きな流れと思われる。

なお、全方向ステレオカメラシステムは、科学技術振興事業団の委託を受けて岐阜大学、財団法人ソフトピアジャパン、及び(株)ビュープラスにより開発されたものである。

Digiclops、Ladybug、Dragonfly は、Point Grey Research 社の製品である。

参考文献

- 1) 長谷川修 “マルチモーダル研究の現状と展望画像” ラボ, Vol. 12, No. 11 2001.11
- 2) 桑島茂純 “世界初のフルデジタル・ステレオ・ビジョン・システム「Digiclops」..” 映像情報 1999.12
- 3) 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” 電子通信情報学会 Vol. J75-D-II No.8 pp.1317-1327 1992.8
- 4) 奥富正敏 “ステレオ視” CVCV-WG 特別報告: コンピュータビジョンにおける技術評論と将来展望 (X) 1998.11
- 5) [URL:http://www.ptgrey.com/](http://www.ptgrey.com/)
- 6) Point Grey Research, Inc., Triclops Stereo Vision System User's Manual
- 7) 西村拓一他 “距離画像を用いた移動人物のジェスチャのスポッティング認識” 第 5 回画像センシングシンポジウム pp.153-158 1999.6
- 8) Radek Grzeszczuk etc. “Stereo Based Gesture Recognition Invariant to 3D Pose and Lighting”, CVPR2000, 2000.6
- 9) Steve Shafer etc. “The New EasyLiving Project at Microsoft Research” Joint DARPA/NIST Smart Spaces Workshop, July 1998
- 10) <http://www.research.microsoft.com/easyliving/>
- 11) Hideki Tanahashi et al. “Development of a Stereo Omnidirectional-Image System (SOS)”, SS8-VECVA-1, IEEE IECON2000(2000).
- 12) 桑島茂純, 桑原裕之, 棚橋英樹, 丹羽義典, 山本和彦 “全方向ステレオカメラシステム” O plus E, Vol. 22, No. 12 2000.12
- 13) Ladybug カタログ
- 14) Dragonfly カタログ