実時間マイクロ VR カメラの試作

正員 大場 光太郎 (機械技術研究所) 非会員 段 木 亮 一 (川鉄テクノリサーチ)
 非会員 Jesus Carlos Pedraza Ortega (筑波大学) 非会員 武井 由 智 (長岡技術科学大学)
 非会員 金子 卓 (デンソー)
 正員 谷 江 和 雄 (機械技術研究所) 非会員 川 原 伸 章 (デンソー)
 非会員 林 学 明 (デルフトハイテック)

Implementation of Real Time Micro VR Camera

Kohtaro Ohba, Member (Mechanical Engineering Lab.), Jesus Carlos Pedraza Ortega, Non-member (University of Tsukuba), Kazuo Tanie, Member (Mechanical Engineering Lab.), Gakuyoshi Rin, Non-member (DHT Corp.), Ryoichi Dangi, Non-member (Kawasaki Steel Techno-Research Corp.), Yoshinori Takei, Non-member (Tokyo Institute of Technology), Takashi Kaneko, Non-member, Nobuaki Kawahara, Non-member (Denso Corp.)

In this paper, a real time virtual reality camera system for the micro environments has been developed with a dynamic focusing lens and a smart vision sensor using the "depth from focus" criteria.

In the operation with a microscope, such as the micro-surgery, DNA operation and etc., the small depth of a focus makes bad controllability to actuate 3D micro objects with actuators. For example, if the focus is on the object, the actuator could not be seen in the microscope. On the other hand, if the focus is on the actuator, the object could not be observed. In this sense, the "all-in-focus image" is useful for the actuation in micro environments. However, one drawback on the all-in-focus image is that there is no information about the depth of objects. It is also important to reconstruct the micro 3D environments in real time to actuate the object with the micro virtual environments.

This paper discusses the criteria of "depth from focus" to achieve the all-in-focus image and micro 3D reconstruction, simultaneously. Then, a micro VR camera system has been developed to achieve the micro VR environments with the "depth from focus" criteria, i.e. the combination of the all-in-focus image and the micro 3D reconstruction. This system is constructed by a dynamic focusing lens, which can change the focus in high frequency, and a smart vision system, which is capable in capturing and processing the image data in high speed with SIMD architecture.

キーワード : Depth from Focus, All-in-Focus Image

1. はじめに

近年、マイクロマシン環境における作業として、顕微鏡画像を覗きながらの細胞や DNA 操作が求められている。しかしながら顕微鏡画像の様に被写体深度が浅い光学系では、物体に焦点を合わせるとアクチュエータに焦点が合わず、逆に、アクチュエータに焦点を合わせると物体に焦点が合わ

ないという例が多く見受けられる。

例えば図.1には、実際に通産省機械技術研究所で $5\mu\text{m}$ 程度のガラス玉を積み重ね三次元構造物を構築する際の顕微鏡画像の例を示している。(a) の一つ目のガラス玉に焦点の合わせた場合には、ほぼ同じ位置手前にある二つ目のガラス玉を掴んだグリッパはボケて見えず、逆に、(b) の二つ目の玉とグリッパに焦点を合わせた場合は、一つ目のガラス

図 1 マイクロ環境下での操作例.

Fig. 1. Microscope Actuation with Micro Image.

玉が見えない様子を示している。

このような劣悪な視認性環境下においては、熟練者が顕微鏡の焦点距離を手動で動かしながら頭の中で物体の三次元的形状を構築し、操作器を用いて物体を操作する事を強いられる。しかしながら、超微細加工技術やマイクロサージェリのための Human Machine Interface (HMI) として、微視的な環境を作業者に理解し易い形で提示するシステムは、その操作性・精度と作業効率を向上させる利点から、必要性が高まっている。

ここで試作しようとしているマイクロ VR カメラシステムは、これらの顕微鏡画像の問題を解決するため、実時間でどこでもピントの合った画像(全焦点画像)と、対象物体の三次元的なプロファイルを生成・表示する事を目的とする。全焦点画像と三次元プロファイルを同時に得る事により、対象物体を詳細に観測する事が可能となると同時に、対象物体を希望の視点から観測する事を可能とする。

ここで環境の三次元モデル構築手法をまとめると、以下の様な手法が提案されている⁽¹⁾。

- 三角測量
- Focus
- 光波干渉
- Time of Flight
- 回折
- 偏光

それぞれの手法には計測原理に依存する特徴がある。例えば三角測量では、二つ以上のカメラもしくは能動的光源を用い、一般環境をモデリングする事を可能としているが、それぞれの装置のキャリブレーションが必要であることと、顕微鏡のような被写体深度の浅い環境には適用が不可能である事が上げられる。

前述のような顕微鏡画像の場合、“被写体深度の浅さ”問題は操作性に大きな問題を与えることを論じたが、これは同時に三次元モデリング手法の一つである“depth from focus (defocus)”手法を実現するためには大きな利点であると言える。

そこで本論文では、マイクロマシン環境における操作性を高める事を目的とし、“depth from focus”理論⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

図 2 “Depth of a Focus” と “Depth of a Photographic Subject”.

Fig. 2. “Depth of a Focus” and “Depth of a Photographic Subject”.

⁽⁵⁾⁽⁶⁾により、実時間でマイクロ環境を三次元モデリングすると同時に物体表面の全焦点画像⁽⁷⁾⁽⁸⁾を獲得するカメラシステムの構築を試みる。現在まで、同様の顕微鏡システムは期待され各社から試作されているが、実時間での実現は行われていない。ここではまず、“depth from focus”理論を紹介し、次に、実時間 VR マイクロカメラの試作を行なうに当たっての問題点の検討を行ない、システムの検証を行なう。ここで用いる可変焦点機構は、別途、株式会社デンソーにより試作された“可変焦点レンズ”⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を適用する。また高速画像処理機構は、通常の画像処理システムはビデオフレームレート(30frame/sec.)をベースとした画像取り込みで規制される事から、C-MOS ビジョンチップ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾である IVP 社スマートセンサ MAPP2200⁽¹³⁾を用いる。

2. “Depth from Focus” 理論

〈2・1〉 “Depth from Focus” のための光学理論
“depth from focus”理論は、光学的に対象物体に焦点の合う範囲から対象物体の形状を計測する手法である⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

あるレンズ系において、像が結像した場合には以下の式が成り立つ。

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{X} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (1)$$

この式はガウスのレンズ法則として知られ、 x と X は、レン

ズからの対象物体までの距離 (以後、物体距離) とレンズから結像面までの距離 (以後、画像距離) であり、 f がレンズの焦点距離である。

光学的には、図.2に示すように (a) 焦点深度と (b) 被写界深度があり、一般的に混同されている事から、ここではそれらの明確な区別を行ないたい。

焦点深度 (The Depth of a Focus) 焦点深度 Δx は、撮像面において前後に多少ずれていてもピントの合っている (ボケが認められない) 範囲を意味し、撮像素子もしくは肉眼の分解能に関係しており、図 2(a) の幾何学的な関係から、撮像素子の許容散乱円径 δ により以下のように得られる⁽¹⁵⁾。

$$\text{無限遠の時: } \Delta x = 2\delta \frac{f}{D}, \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{有限遠の時: } \Delta x = 2\delta \frac{X}{D'}, \dots\dots\dots (3)$$

ここで D と D' はそれぞれレンズ直径と絞りである。

被写界深度 (Depth of a Photographic Subject) 一方、被写界深度 ΔX は、物体面において前後に物体面が多少ずれてもピントの合っている許容距離の事を意味し、図 2(b) から、次式が得られる⁽¹⁵⁾。

$$\Delta X = \frac{2\delta X f D (X - f)}{f^2 D^2 - \delta^2 (X - f)^2} \quad (4)$$

この式から、被写界深度は焦点距離 f と物体との距離 X が関係している事が分かる。ここで、被写界深度はレンズ方向手前に浅く、奥行き方向に深くなる性質を持つが、ここでは、手前方向と奥行き方向を足し合わせ被写界深度 ΔX を定義している事に注意したい。

一般的に、画像距離 x 、物体距離 X 、もしくは焦点距離 f (以後、光学距離) を変えながら撮像した一連の画像列から最も焦点の合った画像を選び出し、その時の物体距離 X を導く “depth from focus” 理論では、被写界深度 ΔX が大きい場合、光学的に物体の奥行き判断が困難であると同時に、焦点深度 Δx が大きい場合、一連の画像列に明らかな焦点の鮮明度の違いが明確でない事から測定誤差を大きく含む可能性がある事に注意したい。このことは、焦点深度の式 (3) において、物体距離 X が大きくなると焦点深度が大きくなると同時に、被写界深度においても、受光素子の認識できる許容散乱円径 δ を考慮に入れると、物体距離が 20m を越えた場合には通常のレンズと CCD 受光素子では測定が困難である事が知られている⁽¹⁶⁾。

また、被写界深度はカメラの絞り (レンズ直径) に大きく影響している事が容易に理解できる。例えば、絞りを絞ると被写界深度は深くなり、逆に絞りを解放すると被写界深度は浅くなる。内視鏡などではこの原理を用い、なるべく絞りを絞って被写界深度を深くして撮影を行なっているが、十分な感度で撮像するためには強い光源が必要である。本論文ではこの絞りの影響については深く議論せず、絞りがどのような状況でも全焦点画像を獲得する事を目的とする。

以上の事から、depth from focus 理論は、顕微鏡などの

図3 “Depth from Focus” 理論。

Fig. 3. Concept of the “Depth from Focus”.

物体距離の小さい光学システムにおいては、焦点深度、被写界深度とも極端に小さくなる事から、非常に有用な理論である。

〈2・2〉 全焦点画像と奥行き画像の獲得 “depth from focus” 理論を用い、全焦点画像と奥行き画像を獲得する手法を図.3に示す。基本的には、ある画像内の位置で、光学距離 (画像距離 x 、物体距離 X 、もしくは焦点距離 f) を動かしながら画像の局所空間周波数分析を行ない、周波数がピークの焦点距離がピントの合ったところである事から、全焦点画像はそれぞれの焦点距離での焦点の合った部分の張り合わせで表され、同時に奥行き画像はそれぞれの部分での焦点の合った所での物体距離 X から得る事が可能である。つまり、光学距離を動かしながら撮像した複数の画像から良い所 (合焦点部分) だけを寄せ集めて全焦点画像を作成し、その時の良い所を撮像した物体距離 X から物体の奥行き画像を生成する。

本論文では、各画素の局所空間周波数分析は、画像濃淡値の空間的な分散で評価するものとし、次式の Image Quality Measure (IQM) を定義する⁽¹⁴⁾。

$$IQM = \frac{1}{|D|} \sum_{x=x_i}^{x_f} \sum_{y=y_l}^{y_r} \left(\sum_{p=-L_c}^{L_c} \sum_{q=-L_r}^{L_r} |I(x, y) - I(x+p, y+q)| \right) \quad (5)$$

ここで領域 $(-L_c, L_c) - (-L_r, L_r)$ と $(x_i, x_f) - (y_l, y_r)$ はそれぞれ、分散評価と平滑化を行なうための小領域である。また、 D は画素単位で正規化するための評価を行なうすべての画素数である。したがって、焦点距離を動かしながら IQM の値をそれぞれの画素毎もしくは領域毎に評価し、IQM 値のピークを検出し、その時の画素濃淡値 I と画像距離 x から算出した物体距離 X を、それぞれの画素位置に対応するマトリクス要素にそれぞれ代入する。この処理をすべての焦点距離について行なった後、それぞれのマトリクスが、全焦点画像と奥行き画像に相当する。

この手法は、単眼で全焦点画像と奥行き画像を獲得可能で、複数カメラのキャリブレーションも必要としないものである事から、顕微鏡映像などへの応用には非常に適した手法であると言える。

3. 実時間マイクロ VR カメラ

前述の“depth from focus”理論を用い、実時間マイクロ VR カメラを実現するための大きな問題点としては次の二点が考えられる。

- 焦点距離の高速移動機構
- 画像情報の高速入力・処理システム

ここで目的としている実時間性とは、1秒間に30枚の出力画像を生成する事である。そこで、本節では以上の二点についてそれぞれ解決し、実時間マイクロ VR カメラシステムの構築を目指す。

〈3・1〉 可変焦点レンズシステム 前述の仕様を満たす実時間 VR カメラを実現するためには、最終的に 30Hz で光学距離を変える必要がある。従来の同様な目的のための顕微鏡システムが採用している、物体位置、光学的機構もしくは撮像面を高速で垂直方向に並進移動し、それぞれ物体距離、画像距離、焦点距離を変える手法は、機構自体の持つダイナミクスから実時間性に乏しい。そこでここでは、別途、金子らの試作した、PZT バイモルフアクチュエータとガラスダイアフラムにより構築された可変焦点レンズを用いる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

可変焦点レンズの概形と構成を図.4、図.5にそれぞれ示す。このレンズは PZT バイモルフに印加する電圧を変える事により、図.6 に示すように、凸レンズから凹レンズまで変化する事が可能である。電圧を印加しない場合は平板ガラスとなる。金子らの実験によると、 150Hz 程度まで位相が遅れずに周波数応答に対応する事が検証されている。詳細は⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を参考にされたい。我々は、この可変焦点レンズを市販のマクロズームレンズ (Asahi co. MZ-30, $f=27.2 \sim 58.5\text{mm}$, F7.5) の先端に取り付ける事により、マクロズームレンズの本来の光学特性 (焦点距離) を高速に前後に振る可変焦点機構を実現した。

またここでは、物体距離 X 、画像距離 x を動かして全焦点画像を得る手法とは異なり、焦点距離 f 自体を動かしながら全焦点画像と奥行き画像を獲得する手法である事に注意したい。焦点距離を動かす事により、画像の大きさは変化するものの、今回用いた画像の倍率と測定レンジでは、画像の大きさの変化は十分無視できるものである事が確認された事から、本論文では画像の大きさの補正は行わず、実時間性の実現に専念することとする。

〈3・2〉 高速画像入力・処理システム 通常の画像処理システムは、カメラからの NTSC ビデオ信号を一つの ADC で逐次取り込み画像データを PC 内のメモリーに構築するものであるため、インターレースのビデオ信号を用いても、フレームレート 60frame/sec 以上での取り込みは不可能である。

近年、画像入力・処理を高速化する事を目的として、ビジョンチップの開発が行なわれている。中でも画像デバイス上の任意の部分を読み込める C-MOS ビジョンチップの開発が盛んに行なわれている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。これらのビジョンチップ

図 4 可変焦点レンズ概観。

Fig. 4. Photo of Dynamic Focusing Lens.

図 5 可変焦点レンズ機構。

Fig. 5. Schematic View of Dynamic Focusing Lens.

の構成としては、以下のようなものがある。

- (1) Single ADC Architecture
- (2) Column Parallel ADC Architecture
- (3) Pixel Parallel ADC Architecture

(1) のタイプのものは PC ベースのビジョンシステムであり、十分なデータ転送の帯域が確保できない問題がある。(2)、(3) は、画像情報を並列に取り込み・処理が行なえる事からデータ転送帯域・処理能力は高い。特に (3) は、処理自体は超並列処理である事からデータ転送・処理とも高速であるが、まだ試作の域を越えていないため、十分な画像解像度を確保する事が困難である。

そこで、今回は図.7に示す、IVP 社製 C-MOS ビジョンチップ (MAPP2200) を用いる⁽¹³⁾。このシステムは、解像度

図 6 可変焦点機構原理.

Fig. 6. Principle of Dynamic Focusing.

図 7 MAPP2200.

Fig. 7. MAPP2200.

256 × 256 で、ADC とシフトレジスタが 256 個並列に付いており、256 画素データの並列取り込みが可能である。また内蔵の DSP は SIMD (Single Instruction Multiple Data stream) 処理が可能なものである。プログラム開発は DSP 様のアセンブラ言語、もしくは、WindowsNT 上の MS Visual C++ でライブラリを呼び出す事で処理が可能である。ここでは式 (5) の IQM を計算するためには、SIMD 処理を DSP アセンブリにより構築した。

〈3・3〉全体システム スマートカメラ MAPP2200 に可変焦点レンズシステムを取り付けたシステム概観を図.12 に示す。可変焦点レンズは、PC の DAC により amp. を通して制御し、画像情報はスマートセンサ内部の DSP で処理を行ない、最終的な結果のみを PC に取り込み、OpenGL による三次元表示を行なう。

DSP 内で行なった処理は、(5) 式で行なった IQM を簡略化し、近隣 3 近傍 Laplacian フィルタと $2^3 \times 2^3$ 近傍での平滑化処理である。今回用いた DSP が、SIMD 処理である列計算が得意である事から、Laplacian filter、および平滑化ア

ルゴリズムは、図.9、図.10 の様な処理手法で行なっている。Laplacian filter の場合、得られた画像濃淡情報をレジスタ R1, R2, R3 にそれぞれ取り込み、図.9 に示した処理を行なう事により、列内の全ての要素での Laplacian filter が同時に計算できる。また、平滑化 (加算) 処理の場合は、図.10 に示すマスクレジスタを事前に作成しておけば、単純な処理の組合せで処理可能である。この加算処理はトーナメント方式であり、 $N = 2^k$ 個の通常の足し合わせに必要な計算回数 $N - 1$ を k 回で抑えられる事から、 N が大きい場合には処理速度の軽減が計られる。

システムの空間解像度は、光学機器の設定に依存するが、今回の場合、16mm × 16mm 平方を画像解像度 256 × 256 で処理する事から、 $62.5\mu\text{m}/\text{pixel}$ の解像度を持つ。また奥行き方向の解像度も光学機器設定と、取り込み画像枚数に依存するが、今回、可変焦点レンズから 160mm の所に 35mm 程度の奥行きを持つ物体を置き、21 枚の画像を取り込み処理している事から、奥行き解像度は 1.67mm である。この時、PZT には電圧を -30V から +30V まで 3V 刻みで印加し、焦点距離を動かしながら取られた 21 枚の画像の一部を図.11 に示す。ここで用いた測定対象は、円筒形を四段重ねたピラミット状の物で、円筒形の形状はそれぞれ下から、(直径 $\phi = 10\text{mm}$; 高さ $h = 10\text{mm}$), ($\phi = 7\text{mm}$; $h = 10\text{mm}$), ($\phi = 4\text{mm}$; $h = 10\text{mm}$), ($\phi = 3\text{mm}$; $h = 5\text{mm}$) である。また表面にはテキスチャーとして、高さ 0.8mm、幅 0.4mm 程度の英文字フォントが印刷されている。

前述のような処理を施す事により、全焦点画像: 図.12 と VR 表示: 図.13 がそれぞれ得られた。全焦点画像自体は適当であるものの、奥行き画像は、平滑化する領域が小さい事、奥行き方向の解像度 (画像枚数) が少ない事などから、分散の大きな結果が得られた。

検証のため、ある距離に設置した画像距離の同じ平面を撮影し、得られた奥行き画像距離、画像番号および PZT への印加電圧、および標準偏差値を図.14 に示す。この図より、被写体距離と画像番号 (PZT への印加電圧) は、可変焦点レンズの焦点距離変化が飽和しないある範囲において比例関係である事が分かる。またその時の標準偏差は、被写体距離が遠くなるほど大きな値を示し、被写体距離 147mm で $\pm 1\text{frame}$ (1.67mm) であるものが、161mm では $\pm 3\text{frame}$ (5.01mm) であることが分かる。基本的な処理速度を上げる事が可能であれば、多くの画像を取り込み処理すると同時に、局所空間周波数とスムージング処理の領域の大きさを変える事により、標準偏差の値の改善が期待できる。

また現時点まで、前述のように実時間マイクロ VR カメラを構築したが、領域の大きさの設定や、取り込み画像枚数に依存するものの、処理時間は 2 秒間に 1 枚程度の出力しか得られていない。今後処理の高速化と解像度を向上させるためには、スマートセンサの DSP 部分の絶対的処理能力の改善が求められる。

図 8 実時間マイクロ VR カメラ概観.
Fig. 8. System Overview.

255

R1		$I(i-1, j-1)$	$I(i-1, j)$	$I(i-1, j+1)$	
R2		$I(i, j-1)$	$I(i, j)$	$I(i, j+1)$	
R3		$I(i+1, j-1)$	$I(i+1, j)$	$I(i+1, j+1)$	
R4=R2-R1		$I(i, j-1)-I(i-1, j-1)$	$I(i, j)-I(i-1, j)$	$I(i, j+1)-I(i-1, j+1)$	
R5=R3-R2		$I(i+1, j-1)-I(i, j-1)$	$I(i+1, j)-I(i, j)$	$I(i+1, j+1)-I(i, j+1)$	
R6=R5-R4		$I(i+1, j-1)-I(i, j-1)-I(i, j-1)+I(i-1, j-1)$	$I(i+1, j)-I(i, j)-I(i, j)+I(i-1, j)$	$I(i+1, j+1)-I(i, j+1)-I(i, j+1)+I(i-1, j+1)$	
R2		$I(i, j-1)$	$I(i, j)$	$I(i, j+1)$	
R7=ROR(R2)		$I(i, j-2)$	$I(i, j-1)$	$I(i, j)$	
R8=ROL(R2)		$I(i, j)$	$I(i, j+1)$	$I(i, j+2)$	
R9=R7-R2		$I(i, j-2)-I(i, j-1)$	$I(i, j-1)-I(i, j)$	$I(i, j)-I(i, j+1)$	
R10=R8-R2		$I(i, j)-I(i, j-1)$	$I(i, j+1)-I(i, j)$	$I(i, j+2)-I(i, j+1)$	
R11=R9+R10		$I(i, j-2)+I(i, j-1)-2I(i, j)$	$I(i, j-1)+I(i, j)-2I(i, j+1)$	$I(i, j)+I(i, j+1)-2I(i, j+2)$	
R12=R6+R11		$I(i+1, j-1)+I(i, j-1)-I(i-1, j-1)+I(i, j-2)+2I(i, j)$	$I(i+1, j)+I(i, j)-I(i-1, j)-I(i, j-1)+2I(i, j)$	$I(i+1, j+1)+I(i, j+1)-I(i-1, j+1)+I(i, j+2)+2I(i, j+1)$	

図 9 MAPP2200 におけるパラレルラプラスアンフィルタ処理.

Fig. 9. Parallel Processing for Laplacian Filtering in MAPP2200.

4. ま と め

本論文では, “depth from focus” 理論を用い, 可変焦点

R1	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
R2=cros(R1,1)	b	a	d	c	f	e	h	g	j	i	l	k
R3=R1+R2	a+b	a+b	c+d	c+d	e+f	e+f	g+h	g+h	i+j	i+j	k+l	k+l
R4=cros(R3,2)	c+d	c+d	a+b	a+b	g+h	g+h	e+f	e+f	k+l	k+l	i+j	i+j
R5=R3+R4	a+b+c+d	a+b+c+d	e+f+g+h	e+f+g+h	k+l+i+j	k+l+i+j						

cros(R1,1)	R1	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
R2=ROR(R1)	l	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	
MASK(1)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
R3=R2&MASK(1,R)	0	a	0	c	0	e	0	g	0	i	0	k	
R4=ROL(R1)	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	a	
MASK(1)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
R5=R4&MASK(1)	b	0	d	0	f	0	h	0	j	0	l	0	
R6=R3 or R5	b	a	d	c	f	e	h	g	j	i	l	k	

MASK(1)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
MASK(2)	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
MASK(3)	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	
⋮													

図 10 MAPP2200 におけるパラレル平滑化処理.
Fig. 10. Parallel Process for Smoothing in MAPP2200.

図 11 単焦点画像例.

Fig. 11. Samples of the Single Focus Images.

レンズとスマートカメラシステムからなる, 三次元マイクロモデルと全焦点画像を同時に獲得するための実時間マイクロ VR カメラの試作を行なった.

今回は市販のスマートビジョンセンサを用いてシステム

図 12 全焦点マイクロ画像例.

Fig. 12. A sample of the All-in-Focus Image.

図 13 マイクロ VR 表示例.

Fig. 13. A sample of the Micro VR Environments.

を構築し処理を行なったが、今後は、分解解像度の向上を目指し基本的な処理能力を上げるため処理アルゴリズムの検証と、より高速な処理能力を実現するシステムの構築を試みる。

謝 辞

この研究は、通商産業省工業技術院機械技術研究所と、デルフトハイテック株式会社、川鉄テクノロジー株式会社、株式会社デンソーの共同研究により行なわれた。

また、本研究の可変焦点レンズの一部は、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度に基づく「マイクロマシン技術の研究開発」の一環として、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)から委託を受けた(財)マイクロマシンセンターの再委託業務として、(株)デンソーが実施し

図 14 実時間マイクロカメラシステムの校正.

Fig. 14. Calibration of the Distance on a Micro VR Camera System.

たものである。

(平成 11 年 7 月 23 日受付, 同 11 年 11 月 11 日再受付)

文 献

- (1) 石原満宏, 吉澤徹, “最近の光表面形状計測技術”, O plus E, Vol.20, No.11, pp.1251-1258, 1998.
- (2) Masahiro Watanabe and Shree K. Nayer, “Minimal Operator Set for Passive Depth from Defocus”, CVPR'96, pp.431-438, 1996.
- (3) Shree K. Nayer, Masahiro Watanabe, and Minoru Noguchi, “Real-Time Focus Range Sensor”, ICCV'95, pp.995-1001, 1995.
- (4) Shree K. Nayer, and Yasuo Nakagawa, “Shape from Focus”, IEEE Trans. on PAMI, Vol.16, No.8, pp.824-831, 1994.
- (5) A.P.Pentland, “A New Sense for Depth of Field”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-9, No.4, pp.523-531, 1987.
- (6) Michio Miwa, Tomoyuki Oohara, Masahiko Ishii, Yasuharu Koike, and Makoto Sato, “A Method of Far Object Recognition using Depth from Focus”, Proc. 3D Image Conference'99, pp.305-307, 1999.
- (7) Kazuya Kodama, Kiyoharu Aizawa, and Mitsutoshi Hatori, “Acquisition of an All-Focused Image by the Use of Multiple Differently Focused Images”, The Trans. of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineering Engineers, D-II, Vol.J80-D-II, No.9, pp.2298-2307, 1997.
- (8) 児玉和也, 大西隆之, 相澤清晴, 羽鳥光俊, “反復法に基づく複数画像からの任意焦点画像の生成”, 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.12, pp.2072-2081, 1997.
- (9) 金子卓, 多矢信之, 川原伸章, 秋田成行, 服部正, “可変焦点レンズを用いた長焦点深度視覚機構”, 電気学会マイクロマシン研究会, 1997.
- (10) Takashi Kaneko, Takahiro Ohmi, Nobuyuki Ohya, Nobuaki Kawahara, and Tadashi Hattori, “A New, Compact and Quick-Response Dynamic Focusing Lens”, Transducers'97, 1997.
- (11) Bladimir Brajovic and Takeo Kanade, “Sensory Attention: Computational Sensor Paradigm for Low-Latency Adaptive Vision”, DARPA Image Understanding Workshop 1997.
- (12) Alireza Moini, “Vision Chips or Seeing Silicon”, <http://www.eleceng.adelaide.edu.au/Groups/GAAS/Bugeye/visionchips/index.html>, March 1997.
- (13) “User Documentation MAPP2200 PCI System”, IVP, 1997.
- (14) Sridhar R. Kundur and Daniel Raviv, “Novel Active-Vision-Based Visual-Threat-Cue for Autonomus Navigation Tasks”,

Proc. CVPR'96, pp.606-612, 1996.

- (15) 三宅和夫, “幾何光学”, 共立出版, pp.73-76, 1997.
- (16) 三輪道雄, 大原知之, 石井雅博, 小池康晴, 佐藤誠, “焦点ボケを用いた遠距離物体の推定”, 3D Image Conference '99, pp.305-307, 1999.

大 場 光太郎 (正員) 1964 年 2 月 22 日生. 1991 年 4 月 東北大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程修了. 工学博士. 同年 東北大学工学部助手. 1996 年 同講師. 1997 年 通産省 工業技術院 機械技術研究所 主任研究官, 現在に至る. 1994 年 - 1996 年 CMU 計算機科学科客員研究員. 主としてコンピュータビジョン, HMI に関する研究に従事.

Jesus Carlos Pedraza Ortega (非会員) 1969 年 12 月 22 日生. 1993 年 9 月 セラヤ工業大学卒業. 1994 年 機械技術研究所ロボット工学部, 1995 年 メキシコ電力会社, 1997 年 グアナファト大学 機械・電気・電子工学部講師を経て, 1998 年 3 月 同大学 機械・電気・電子工学部卒業. 現在, 筑波大学 博士課程に在学中. IEEE 会員.

谷 江 和 雄 (非会員) 1946 年 11 月 6 日生. 1971 年 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了. 同年 通産省 工業技術院 機械技術研究所入所. 現在, 同所ロボット工学部部長. 筑波大学大学院工学研究科教授, 早稲田大学理工学総合研究センター客員教授等併任. ロボットの機構と制御の研究に従事. 日本機械学会, 日本ロボット学会, IEEE ほかの会員. 工学博士.

林 学 明 (非会員) 1956 年 7 月 29 日生. 1980 年 6 月 米国カルフォルニア大学バークレー校卒業. 同年 Delft Instruments NV 社就職. 1981 年 同社日本法人 オールデルフト, 1983 年 同社取締役, 1986 年 同社代表取締役を経て, 1989 年 デルフトハイテック株式会社創業 代表取締役就任, 現在に至る. 応用物理学, 情報処理工学, スマートセンサ/カメラの応用開発に従事.

段 木 亮 一 (正員) 1956 年 8 月 14 日生. 1981 年 静岡大学工学部卒業. 川鉄テクノロジー株式会社入社, 現在に至る. 情報処理工学, 電気, 電波, 制御, 通信工学に従事. 応用数学会, 電気学会, シミュレーション学会の各会員.

武 井 由 智 (非会員) 1965 年生. 1992 年 東京工業大学大学院修士課程修了. 同年 川鉄情報システム(株)入社. 1996 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻入学, 1996 年 同単位取得退学, 同年 東京工業大学工学部電気電子工学科助手, 長岡技術科学大学電気系助手, 現在に至る. 工学博士. 計算の複雑さの理論および離散数学の研究に従事. 電気情報通信学会および LA 会員.

金 子 卓 (正員) 1964 年 1 月 22 日生. 1989 年 早稲田大学大学院理工学部修士課程修了. 同年 日本電装(株)(現在の(株)デンソー)に入社. 現在基礎研究所にてマイクロマシンの研究に従事. 日本機械学会, 精密工学会各会員.

川 原 伸 章 (正員) 1957 年 5 月 16 日生. 1983 年 九州大学大学院総合理工学研究科修士課程修了. 同年 日本電装(株)(現在の(株)デンソー)に入社. 以来, 物性研究, マイクロデバイス, マイクロマシン研究に従事. 電気学会, 機械学会各会員. 工学博士.