並列計算機を用いた電子ホログラフィにおける負荷分散の最適化

Optimization of Load Distribution in Electronic Holography with a Parallel Computer

正会員 田 中 一 行[†], 高 橋 秀 也^{†*}, 正会員 志 水 英 二^{††}
Kazuyuki Tanaka[†], Hideya Takahashi^{†*} and Eiji Shimizu^{††}

Abstract Although electronic holography requires a large number of computations, we succeeded in generating holographic images, even moving images, using a parallel computer "CYBERFLOW" with 64 processors. Because of the computer's performance, however, the number of point sources in the image was limited. In this paper, we attempt to speed up the generation of images including more point sources, using a CYBERFLOW with 128 processors. Generation speed, however, does not increase in proportion to the number of processors with our conventional method of distributing the hologram among the processors, because this method results in differences between their loads. We propose an algorithm that distributes the hologram among the processors so that the difference between their loads can be reduced. Applying this algorithm to the 128 processors, we achieve a generation speed that is 2.76 times higher than that of the conventional method. We also propose a method for finding the most appropriate value of the parameter for the dynamic distribution.

キーワード：電子ホログラフィ，計算機合成ホログラム，データ駆動計算機，並列処理，並列化，負荷分散

1. ま え が き

立体映像に対する関心が高まる中，人間が立体を知覚する要素をすべて備えた理想的な立体表示技術であるホログラフィが注目されている^{1)~3)}．また，ホログラムを電子的に生成する電子ホログラフィ⁴⁾は理想的な立体テレビジョンとして期待されている．電子ホログラフィにはホログラムを計算機によって生成する計算機合成ホログラム(CGH)が広く用いられている．しかし，CGHの生成には膨大な量の計算が必要であり，従来の計算機の処理能力ではリアルタイムに生成することが不可能であった．そこで筆者らは，CGHに内在する高い並列性に着目し，64プロセッサを備えたデータ駆動型並列計算機CYBERFLOWを用いて並列処理を行うことにより，CGHによるリアルタイム動画生成に成功している⁵⁾⁶⁾．しかしながら，CGHの計算量は表示する物体の点光源数に比例するため，これは簡単な画像に限られていた．

一方，CGHに内在する並列性は極めて高いため，計算

機の並列度を向上させることにより，陰影処理された画像のような更に多くの点光源を含む画像のリアルタイム生成も可能になると考えられる．しかし，各プロセッサの負荷にばらつきがあると，プロセッサ数に比例した処理速度の向上は期待できない．つまり，並列計算機の処理能力を最大限に引き出すためには，各プロセッサの負荷が均等になるような最適な並列化を行う必要がある．

そこで本論文では，このような多数の点光源を含むCGHの高速生成を目指し，各プロセッサの負荷の差を縮小することができる並列化アルゴリズムを提案する．また，従来の2倍の128プロセッサを備えた並列計算機CYBERFLOW-128を用いて実験を行い，本並列化アルゴリズムの有効性を検証する．さらに，多数の点光源を含むリアルタイム動画ホログラムの実現を目指し，本並列化アルゴリズムにおける最適なパラメータを動的に決定する方法を提案する．

2. システム構成

2.1 電子ホログラフィシステム

図1に本電子ホログラフィシステムの構成を示す．空間光変調器には音響光学素子(AOD)を使用しており，並列計算機CYBERFLOWで生成されたCGHデータがビデオ信号としてAODに入力される．AODではこの入力信号に応じた屈折率変化が生じ，入射レーザ光が回折される．これをガルバノミラー，ポリゴンミラーによって垂

1996年11月5日，テレビジョン学会映像表現研究会で発表

1997年3月31日受付，1997年11月17日最終受付，1997年12月8日採録

[†] 財団法人イメージ情報科学研究所

(〒565 豊中市新千里西町1-1-8, TEL 06-836-0256)

^{††} 大阪市立大学 工学部 電気工学科

(〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138, TEL 06-605-2679)

^{*} Laboratories of Image Information Science and Technology

(1-1-8, Shinsenri-Nishimachi, Toyonaka-shi, Osaka 565, Japan)

^{††} Faculty of Engineering, Osaka City University

(3-3-138, Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan)

図 1 電子ホログラフィシステムの構成
Constitution of the electronic holography system.

図 2 並列計算機 CYBERFLOW の構成
Architecture of the parallel computer CYBERFLOW.

直、水平にそれぞれ走査することによって再生像が得られる。一方、AOD の回折角は約 3° と極めて小さいため、再生像をレンズで縮小することにより、約 8° の視域を得ている。また、計算量を削減するために垂直方向の視差情報を削除しているため、縦方向のみに拡散する拡散板を通して再生像を観察する。

2.2 並列計算機 CYBERFLOW

CYBERFLOW は非ノイマン型計算機の一つであり、問題に内在する並列性を自然に引き出すことができるデータ駆動方式の並列計算機である⁷⁾。図 2 に示すように、多数のプロセッサが 2 次元トラス状に相互接続されて構成され、各プロセッサがローカルメモリーを備えた分散メモ

リー方式を採用している。

各プロセッサは 4 系統の通信ポートによりプロセッサ間通信を行う通信制御部と、演算などの命令を実行する循環パイプライン構造の命令処理部から構成されており、これらは並列に動作する。また、命令処理部は通常の演算と並列実行可能なベクトル演算機構を備えており、多数のデータに対して同一の演算を行うような処理を一括して高速に実行できる。これは CGH の計算に極めて有効であり、大幅な高速化が図れる⁵⁾。なお、一度のベクトル演算で実行できる最大要素数は 4096 である。

一方、多数のプロセッサが結合されて構成されているプロセッサ結合網には I/O インタフェースが挿入されてお

り、これを介して各プロセッサの演算結果を 1280×1024 画素のフレームバッファに即時描画することができる。本電子ホログラフィシステムでは、このフレームバッファに水平方向の要素ホログラム数 40960、垂直方向の解像度 32 ラインの CGH 干渉縞を書き込んでいる。

CYBERFLOW はプロセッサ数が可変であり、論理的には最大 1024 プロセッサを接続することができる。今回、従来の 64 プロセッサ構成の CYBERFLOW-64 に代えて 128 プロセッサ構成の CYBERFLOW-128 を使用した。その最大性能は 1.28 GFLOPS である。

3. 計算機合成ホログラムの生成

通常の光学ホログラムが光の干渉を干渉縞として記録するのに対して、この干渉縞を計算機で生成したものが計算機合成ホログラム (CGH) であり、電子ホログラフィにおいて広く用いられている^{8)~10)}。この干渉縞は物体を点光源の集合として定義し、次のよう各点光源に対する参照光との干渉を計算することによって求められることが知られており、筆者らも従来よりこの方法で CGH を生成している⁵⁾⁶⁾。

すなわち、ある点光源 i からの物体光のホログラム面上の複素振幅 $O_i(x, y, t)$ 、参照光の複素振幅 $R(x, y, t)$ をそれぞれ

$$O_i(x, y, t) = A_i \exp[j\phi_i(x, y) + j\omega t] \quad (1)$$

$$R(x, y, t) = A_R \exp[j\phi_R(x, y) + j\omega t] \quad (2)$$

と表すと

$$H(x, y) = \sum_{i=1}^n A_i \cos(\phi_R - \phi_i) \quad (3)$$

を計算すれば点 (x, y) における要素ホログラムを求めることができる³⁾。ここで、 A_i 、 A_R はそれぞれ点光源 i からの物体光の複素振幅の係数、参照光のそれであり、いずれも定数である。また、 ϕ_i 、 ϕ_R は、それぞれ点光源 i の位相、参照光のそれであり、ホログラム面上の座標の関数である。

しかしながら、(3)式の計算量は膨大であるため、筆者らは情報量を削減するために、立体の認識にとって水平方向の視差情報に比べて余り重要でない垂直方向の視差情報は削除してきた。また、サンプリング定理により CGH の空間周波数は、音響光学素子が応答可能なホログラム信号の最高サンプリング周波数 f_s によって制限される。すなわち、 $f_s/2$ を越える空間周波数が CGH に含まれていると、再生される干渉縞に歪みが発生する。これを防ぐために、 f_s によって決まる音響光学素子の回折範囲に含まれない情報は削除しなければならない。すなわち、この回折角を θ 、CGH の最大空間周波数を f_h 、入射光の波長を λ とすると

$$f_h \lambda = \sin \theta \quad (4)$$

であるから、サンプリング定理より

$$f_s \lambda / 2 = \sin \theta \quad (5)$$

となる⁴⁾。 θ は極めて小さいので、縮小レンズを考慮した回折範囲 α は

$$\alpha = 2\theta / m \approx f_s \lambda / m \quad (6)$$

で求められる。ここで、 m はレンズの倍率である。つまり、(3)式のうち水平方向の各 1 次元ホログラムと同一 x - z 平面上に存在する点光源のみを計算の対象とし、さらに 1 次元ホログラム上の各要素ホログラムについては、これらの点光源のうち、この回折範囲内に存在する点光源のみについて計算すればよい。

また、(3)式より各要素ホログラムは独立に計算できるので、筆者らはホログラムを並列計算機 CYBERFLOW の各プロセッサに分割し、並列に計算することによりリアルタイム生成を行ってきた⁵⁾⁶⁾。さらに、CYBERFLOW の特長であるベクトル演算機構を用いて (3)式における位相差や余弦を計算することにより、各プロセッサ内の 1 次元ホログラムを一括して生成し、高速化を図っている⁵⁾⁶⁾。

4. 並列化の最適化

4.1 従来の並列化手法における課題

これまで筆者らは、ホログラムを単純に領域分割し、各プロセッサに分配していた⁵⁾⁶⁾。すなわち、垂直方向の解像度が 32 ラインのホログラムを 64 プロセッサで並列処理する場合は、図 3 のように各 1 次元ホログラムを中央で 2 分割し、それぞれを各プロセッサ (PE) に割り当てていたわけである。なお、図 3 における括弧内の数字は、プロセッサ結合網の水平方向、垂直方向の順に各プロセッサに割り当てられた 1 次元の識別番号である。

一方、前節で述べたように、サンプリング定理により音響光学素子の最大空間周波数 f_s によって決まる回折範囲に含まれない情報は削除しなければならない。筆者らのシステムでは、 f_s は約 76.2 本/mm である。また、レンズの倍率 m は 1/2.94、入射光の波長 λ は 632.8 nm であるので、(6)式より回折範囲 α は約 0.1418 rad となる。また、1 次元ホログラム上で計算が必要な範囲 i は、点光源とホログラムとの間の距離を d とすると

x y	0	20479	20480	40959
	0	PE(0)	PE(1)	
1		PE(2)	PE(3)	
2		PE(4)	PE(5)	
30		PE(60)	PE(61)	
31		PE(62)	PE(63)	

図 3 従来の並列化手法

Conventional method of distributing hologram among the processors.

$$l=2d \tan(\alpha/2) \quad (7)$$

で求められる。例えば、点光源がホログラムから 200 mm の距離にある場合、 l は 28.4 mm となる。1 次元ホログラム長は約 116 mm であるので、この場合は水平方向の要素ホログラム 40960 点のうち約 75.5% の情報が削除されることになる。

しかし、このような情報の削除を行うと、点光源の x 座標が 1 次元ホログラムの中央にある場合を除き、2 つのプロセッサの負荷に差が生じることになる。さらに、隠面消去¹⁰⁾を行うと、各点光源に対する影響が 1 次元ホログラム全体に及ばなくなる。したがって、これによって 2 つのプロセッサの負荷の差は更に大きくなる。

一方、128 プロセッサで並列処理する場合は問題は更に大きくなる。すなわち、従来の並列化手法を拡張して図 4 のように各 1 次元ホログラムを 4 分割して、それぞれを異なるプロセッサに割り当てると、(7)式より点光源とホログラムとの間の距離が約 408 mm 以下の場合は点光源の x 座標にかかわらず、サンプリング定理による情報の削除により、各点光源の影響は 4 プロセッサのうちのただか 2 プロセッサにしか及ばないことになり、64 プロセッサの場合に対する CGH 生成速度の向上は期待できない。したがって、計算機の並列度の向上により CGH 生成の高速化を図るためには、各 1 次元ホログラムの負荷を対応するプロセッサに均等に分散させることが不可欠である。

一方、垂直方向の視差情報の削除により、各 1 次元ホログラムの負荷はそれが属する x - z 平面上の点光源数に比例する。一般に、各 x - z 平面上の点光源数は同一ではないため、各 1 次元ホログラムの負荷に差が生じる。このため、各 1 次元ホログラム上で均等に負荷を分散させても、プロセッサ間の負荷に差が生じることになる。一方、画像全体で均一な正規化を行うためには、全プロセッサに分散した CGH データの最大値/最小値を求める必要があるため、全プロセッサの計算が終了するまで正規化が行えない¹¹⁾。このため、各プロセッサの負荷に差があると処理効率が大幅に低下する。したがって、並列計算機の処理能力を最大限に引き出すためには、各 1 次元ホログラム上の負荷だけではなく、1 次元ホログラム間の負荷の差も考慮し

図 4 点光源の影響範囲

Affected area on a one-dimensional hologram by a point source.

て各プロセッサに均等に負荷を分散させることが必要である。

4.2 並列化アルゴリズム

(3)式より各要素ホログラムの計算は独立に行えるため、水平方向に隣接する要素ホログラムの計算を同一のプロセッサが行うことには、CGH の高速生成にとって全く利点はない。一方、垂直方向に関しては、通常の画像では隣接する 1 次元ホログラム上の点光源数はほぼ等しいことが多く、離れるほど相関がなくなると考えられる。そこで、各プロセッサの負荷の差を縮小するために、次のような並列化アルゴリズムを考案した。

(1) 垂直解像度が L の CGH を N 台のプロセッサで並列に生成する場合、 N 台のプロセッサを h 台ずつ v 個のブロックに分割する。ここで h, v は $1 \leq h \leq N, 1 \leq v \leq L$, かつ $hv=N$ を満たす任意の自然数である。

(2) 第 j ブロックの第 i プロセッサを $PE[i, j]$ と表すと、垂直方向に l 番目、水平方向に k 番目の要素ホログラムは $PE[\text{mod}(k, h), \text{mod}(l, v)]$ に割り当てる。

このアルゴリズムによる並列化の様子を図 5 に示す。図中の小さな四角形が要素ホログラムであり、各要素ホログラムが割り当てられるプロセッサ $PE[i, j]$ を単に i, j と表している。このように並列化すると、水平方向の要素ホログラム数がプロセッサ数に対して充分大きいため、負荷が水平方向に均等に分布していなくてもブロック内のプロセッサに均等に負荷分散される。また、各プロセッサ内の同一 1 次元ホログラム上の要素ホログラムには、従来と同様ベクトル演算が活用できる。

一方、垂直方向に関しては、ブロック数 v が 1 のときに各プロセッサが計算する点光源数が等しくなるため負荷が均等に分散され、 v が大きくなるほどブロック間の点光源数の差が広がり、負荷のばらつきが大きくなると考えられる。しかし、 v が小さいほど、すなわちブロック内のプロセッサ数 h が大きいほど、各プロセッサに割り当てら

	0	1	2		h	h+1	h+2	
0	0,0	1,0	2,0		0,0	1,0	2,0	
1	0,1	1,1	2,1		0,1	1,1	2,1	
2	0,2	1,2	2,2		0,2	1,2	2,2	
v	0,0	1,0	2,0		0,0	1,0	2,0	
v+1	0,1	1,1	2,1		0,1	1,1	2,1	
v+2	0,2	1,2	2,2		0,2	1,2	2,2	

図 5 並列化手法

Method of distributing hologram among the processors.

れる同一1次元ホログラム上の要素ホログラムが少なくなるため、ベクトル演算の要素数が少なくなり、その効果が小さくなる。つまり、水平方向に関しては、各プロセッサに割り当てられる同一1次元ホログラム上の要素ホログラム数がベクトル演算の最大要素数である4096以下で最大になるときが最適であると考えられる。このように、 h と v はトレードオフの関係にあり、最適な組合せは画像によって異なると考えられる。

5. 実 験

5.1 実験結果

本並列化アルゴリズムの効果を実証するとともに、パラメータ h, v の最適な値を求める方法を検討するために、全点光源1390点のうち陰影処理後の振幅が正となる有効な点光源714点が各 $x-z$ 平面に表1のように分布した物体「円柱」で実験を行った。なお、以下ではこの有効な点光源の数を単に点光源数と呼ぶことにする。また、点光源とホログラムの間の距離は約200mmである。

実験結果を表2に示す。なお、表2における全実行時間はフレームバッファへの転送を除く全体の実行時間であり、この時間から初期化に要する時間を除いたものを求める計算時間としている。また、計算速度比は従来の並列化手法を用いて同数の128プロセッサで並列処理した場合の計算速度との比を示している。

5.2 実験結果の評価

表2のように、 $h=8, v=16$ の場合が最も高速であり、従来の並列化手法⁹⁾の2.76倍という結果が得られた。したがって、この並列化手法は有効であるといえる。また、4.1節で述べたように、この場合は従来の並列化手法では各点光源の影響がその1次元ホログラムを計算するプロセッサの半分にしか及ばないのに対して、本手法ではこれらのすべてのプロセッサに及ぶので、各点光源の計算を実行するプロセッサ数が2倍になるため、このように2倍を超える速度向上が得られたものと考えられる。

また、この実験では128プロセッサを用いて並列処理を行い、最も高速な $h=8, v=16$ の場合では初期化などのオーバーヘッドを除くと、有効な点光源714点のCGHを1.36秒で計算した。すなわち、1点光源あたりのCGHを約1.9msで計算したわけである。

一方、文献9)では、CGHの計算方法を改善することにより、汎用ワークステーションで1点光源あたり約10msで計算することができたとグラフに示されている⁹⁾。すなわち、今回の実験結果の計算速度はこの約5倍である。

また、1次元ホログラムの計算に着目すると、筆者らは本並列化手法と同様に1次元ホログラム上の各要素ホログラムの計算を各プロセッサに交互に割り当てることにより、要素ホログラム数がこれを計算するプロセッサ数に比べて充分大きい場合は、プロセッサ数に比例した処理速度の向上が得られることを確認している¹²⁾。したがって、パ

表1 各 $x-z$ 平面上的有効点光源数
The number of effective point sources on each $x-z$ plane.

y	点光源	y	点光源
0	0	16	32
1	13	17	31
2	15	18	30
3	19	19	30
4	23	20	29
5	25	21	27
6	26	22	25
7	28	23	22
8	29	24	21
9	31	25	20
10	32	26	17
11	31	27	14
12	33	28	12
13	33	29	0
14	34	30	0
15	32	31	0
		合計	714

表2 実験結果
The results of the experiment.

(単位:秒)

h	v	全実行時間	初期化時間	計算時間	計算速度比
4	32	2.36	0.65	1.71	2.19
8	16	2.64	1.28	1.36	2.76
16	8	2.69	1.28	1.41	2.66
32	4	2.67	1.28	1.39	2.70
64	2	2.91	1.24	1.67	2.25
128	1	3.51	1.23	2.28	1.64

ラメータ v を一定にすれば、本並列化アルゴリズムにおいても計算速度はプロセッサ数に比例すると考えられる。例えば、CYBERFLOWの論理的最大構成である1024プロセッサを用いれば、計算速度がプロセッサ数に比例するとすると1点光源あたりのCGHを238 μ sで計算できると推定される。これは、例えばBentonらが論理プロセッサ数が16384であるCM-2を用いて達成した1点光源あたりのCGHの計算時間299 μ sを上回る値である¹⁰⁾。

5.3 実験結果の分析

表3に、パラメータ v の各値について各ブロックに含まれる点光源数を示す。表3ではブロック番号を j としている。なお、 $v=32$ の場合は各ブロックに含まれる点光源数は表1に示した各 $x-z$ 平面上的点光源数そのものであり、 $v=1$ の場合は全プロセッサが同じ数の点光源について計算することになる。また、各1次元ホログラムに含まれる要素ホログラム数は40960である。つまり、各プロセッサに割り当てられる同一1次元ホログラム上の要素ホロ

表 3 各ブロックの有効点光源数
The number of effective point sources in each block.

$j \backslash v$	16	8	4	2
0	32	82	179	358
1	44	95	180	356
2	45	94	179	
3	49	94	176	
4	52	97		
5	52	85		
6	51	85		
7	50	82		
8	50			
9	51			
10	49			
11	45			
12	45			
13	33			
14	34			
15	32			

グラム数，すなわちベクトル演算の要素数はこれを h 等分したものになる．

次に，これらのことを踏まえ，パラメータ h, v の変更に伴う実行速度の変化を分析する．まず， $h=128, v=1$ の場合は，全プロセッサの点光源数が同じになるため負荷は等しくなるが，ベクトル演算の要素数が最小になるため，その効果が最も小さい．したがって，実行速度が最も遅くなるものと考えられる．

逆に， $h=4, v=32$ の場合は，ベクトル演算の要素数は最大になるが，最大要素数 4096 を越える．しかし，この画像ではサンプリング定理による情報の削除により約 75.5% の要素ホログラムの計算が削除されるので，この場合もベクトル演算の要素数は最大要素数以下となる．したがって，ベクトル演算の効果はこの場合が最大となると考えられるが，実行速度は 2 番目に遅いという結果になった．これは各ブロックの点光源数は各 $x-z$ 平面上の点光源数そのものであるため，ブロック間の点光源数の差が大きく，異なるブロックのプロセッサ間にかなりの負荷の差が生じたためであると考えられる．

これに対して，ベクトル演算の要素数が 2 番目に大きい $h=8, v=16$ の場合は，表 3 からブロック間の点光源数の差は $h=4, v=32$ の場合よりも小さいと考えられる．したがって，異なるブロックのプロセッサ間の負荷の差は軽減され，この場合の実行速度が最も速くなるものと考えられる．

6. 動的な並列化

6.1 負荷分散の評価

前節では実験によって最適な並列化パラメータを求めた

表 4 負荷分散の評価
Evaluation of load distribution.

h	v	$P_{\max}$	C
4	32	34	1.524
8	16	52	1.165
16	8	97	1.087
32	4	180	1.008
64	2	358	1.003
128	1	714	1

が，動画のように多数の CGH をリアルタイムに生成する場合などでは，画像に応じて動的に並列化を行うことが要求される．このためには，負荷分散を定量的に評価する手法を確立することが必要である．一方，画像全体で均一な正規化を行う場合は，実行時間は最も実行の終了が遅いプロセッサ，すなわち最も負荷が大きいプロセッサに左右される¹¹⁾．したがって，負荷が最大のプロセッサを評価すれば，負荷分散を評価することができると考えられる．

そこで，点光源数に着目し，次式によって得られる値 C によって負荷分散を評価することにする．

$$C = \frac{NP_{\max}}{hP_{\text{all}}} \quad (8)$$

ここで， N は全プロセッサ数， h は前節で述べた各ブロックのプロセッサ数， $P_{\max}$ は各ブロックの点光源数のうちの最大のもの， P_{all} は全点光源数である．この式は負荷が最大のプロセッサに，全プロセッサに均等に負荷分散された場合の何倍の負荷がかかっているかを示している．つまり，全プロセッサに均等に負荷分散された場合は $C=1$ となり， C の値が大きいほど負荷にばらつきがあるということができる．

前節の実験において v の各値に対する C を表 4 に示す．表 4 のように $v=32$ のときに C は最大であり， $v=16$ にすると改善される．したがって，前節の実験結果の分析が裏付けられた．また， v が小さいほど負荷のばらつきが小さくなっていることがわかる．

6.2 動的な並列化

実験結果と上述の負荷分散の評価方法を踏まえ，次のような前述の並列化アルゴリズムにおける最適なパラメータを動的に決定する手法を提案する．

- (1) ベクトル演算の要素数が最大となる v を v_0 ，その次に大きい v を v_1 とする．
- (2) 次の処理を v が選択されるまで繰り返す．

$C_0/C_1 \geq K$ のときは v_1 を v_0 ，その次に大きい v を v_1 とする．それ以外のときは v_0 を v として選択する．

ここで， C_0, C_1 はそれぞれ v_0, v_1 に対する C の値， K は適当な定数である．つまり， v をその次に大きいものに変更するとベクトル演算の要素数は半分になるため処理効率は低下するが，負荷分散の改善率 C_0/C_1 が K 以上

の場合は、これに変更することにする。例えば実験の場合では、表4から $K=1.2$ 程度に設定すれば最適なパラメータ $v=16$ が選択されることになる。

このようにして、最適な並列化パラメータを画像に応じた動的に決定することができる。したがって、画像データが動的に決定されるような場合においても、最適な並列化を行うことによってリアルタイム CGH 生成が可能になるものと考えられる。

7. む す び

多数の点光源を含む電子ホログラムの高速生成を目指し、最適な並列化を行うことができるアルゴリズムを提案するとともに、128 プロセッサを備えたデータ駆動型並列計算機 CYBERFLOW-128 を用いて実験を行った。その結果、従来の並列化手法に比べて 2.76 倍の処理速度の向上を達成した。また、このアルゴリズムでは、更にプロセッサを増設した場合においても最適な並列化が行えたと考えられ、プロセッサ数に比例した CGH 生成速度の向上が期待できる。

さらに、負荷分散を定量的に評価することにより、このアルゴリズムにおける最適な並列化パラメータを動的に決定する手法を提案した。これにより、物体のデータが動的に決定されるような場合においても最適な並列化が行え、CGH を高速に生成できると考えられる。また、更に計算機の並列度を向上させれば、多数の点光源を含む動画ホログラムのリアルタイム生成も可能になるものと期待できる。

今後は、提案した動的な並列化手法を用いて CGH を生成し、その有効性を検証するとともに、CGH 生成の更なる高速化に取り組むたいと考える。

本研究を進める上で、多くの助言・協力をいただいた財団法人イメージ情報科学研究所 上田主席研究員、岡本主席研究員、ならびに甲子園大学 梶木助教授に深く感謝い

たします。

(文 献)

- 1) 久保田敏弘：“ホログラフィ入門”，朝倉書店（1995）
- 2) 辻内順平編著：“ホログラフィックディスプレイ”，産業図書（1990）
- 3) 大越孝敬：“3次元画像工学”，朝倉書店（1991）
- 4) P. St. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, M. L. Jepsen, J. Kollin, H. Yoshikawa, J. Underkoffler：“Electronic Display System for Computational Holography”，SPIE Proc. No. 1212-20（1990）
- 5) 西田，中村，泰間，高橋，志水：“電子ホログラフィシステムにおける CGH 計算の高速化”，第 24 回画像工学コンファレンス論文集，8-2（1993）
- 6) 泰間，高橋，志水：“光学ホログラムとの合成により画質改善したリアルタイム電子ホログラフィ”，テレビ誌，48，10，pp. 1245-1252（1994）
- 7) 三浦，川口，田中，大橋，清水：“データ駆動計算機 EDDEN のアーキテクチャ”，情処学論，32，7，pp. 831-848（1991）
- 8) 吉川，亀山，長尾：“動画像圧縮法のホログラフィック 3 次元画像への適用”，3 次元画像コンファレンス '95 講演論文集，1-1（1995）
- 9) 岩瀬，吉川：“差分を用いたフレネルホログラム計算”，1996 年信学会情報・システムソサエティ大会講演論文集，D-306（1996）
- 10) S. A. Benton：“Experiments in Holographic Video Imaging”，3D 映像，5，2（1991）
- 11) 田中，高橋，志水：“リアルタイム電子ホログラフィの画質改善”，3 次元画像コンファレンス '96 講演論文集，7-5（1996）
- 12) 田中，高橋，志水：“並列計算機を用いたリアルタイム電子ホログラフィの高速化”，映像学誌，51，5，pp. 737-739（1997）

たなか かずゆき

田中 一行 1985 年，立命館大学理工学部電気工学科卒業。同年，三洋電機(株)に入社。データ駆動型並列計算機，3 次元映像システム等の研究開発に従事。1994 年より，(財)イメージ情報科学研究所に研究員として出向中。現在，電子ホログラフィに関する研究に従事。正会員。

たかはし ひでや

高橋 秀也 1982 年，大阪市立大学工学部電気工学科卒業。1984 年，同大学大学院前期博士課程修了。1987 年，同大学大学院後期博士課程単位取得退学。同年，大阪市立大学工学部助手，1996 年，同大学工学部講師となり，現在に至る。光情報処理，電子ホログラフィに関する研究に従事。博士(工学)。

しみず えいじ

志水 英二 1963 年，大阪大学工学部電子工学科卒業。同年，大阪市立大学工学部助手，1983 年，同大学工学部電気工学科教授となり，現在に至る。電子回路，オプトエレクトロニクス，光情報処理および電子ホログラフィの研究に従事。工学博士。正会員。