

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700082
 研究課題名(和文)リアルタイム再生可能なカラーホログラフィック 3次元ディスプレイに関する研究
 研究課題名(英文) Study of real-time colored electroholographic 3D display

研究代表者
 下馬場 朋禄 (SHIMOBABA TOMOYOSHI)
 山形大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：20360563

研究成果の概要：

電子ホログラフィによる 3次元ディスプレイは、3次元像の光を完全に再現できるため究極の方式として期待されている。しかし、その問題点にホログラム生成の計算量と再生像サイズや視域が狭いことが挙げられる。これらを拡大するにはピクセル間隔が細かく表示面積の大きなホログラム表示素子が必要である。現在このような素子がないため、素子を複数並べレンズで縮小することで等価的にこのような素子を実現している。ただし、ホログラムの画素数の増加に比例して計算時間も増加する。

本研究では、高精細 LCD パネルを 9 枚使用した 1800 万画素ホログラムを表示可能な光学システムの構築と、そのホログラムをリアルタイム生成する GPU クラスタによる計算システムについて研究を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	900,000	0	900,000
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	570,000	3,370,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：ホログラフィ，ホログラム，計算機合成ホログラム，CGH，GPU，3次元ディスプレイ，立体ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

ホログラフィは物体光の波面を忠実に記録・再生できる唯一知られた技術であり、究極の 3次元像技術であるといわれる。計算機合成ホログラムという手法も知られており、この手法を用いれば理論的には、3次元像動画表示や 3次元構造の動的計測が可能になる。

ホログラム画像上に記録された「3次元像の光を忠実に再生可能」というホログラフィ

の特徴に着目したホログラフィ方式の 3次元ディスプレイ(以下、ホログラフィックディスプレイ)は、1990年に米国 MIT の S.A.Benton 教授らが音響光学素子(AOM: Acoustic Optical Modulator)を使用したシステムの構築を行い、以前に比べ画期的な 3次元再生像を得ることに成功し注目を集めた。ホログラフィックディスプレイは原理的には理想の 3次元ディスプレイを実現できる

が、主に以下の2点の技術的課題があり、いまだに実用化されていない。

「課題 ホログラムをリアルタイムで生成する計算能力」

「課題 ホログラムから3次元像を再生する光学システム」

コンピュータ上に用意した仮想的な3次元物体データからホログラムを計算するには、3次元物体を点光源の集合体と考え、その各点光源からの光の伝播計算をホログラム面上の各画素に対して行う。そのため、点光源数がMでホログラムの画素数がNの場合、その計算量は $O(MN)$ となる。例えば、 $M=1000$ 点、 $N=1000 \times 1000$ の場合、その計算量は $O(10^9)$ となり、現在の高速なコンピュータを使用しても約1分を要する。

ホログラムから3次元像を再生する光学システムには、観察者が像を見ることが出来る範囲(視域)の狭さや、像サイズの小ささ、少ない色数のカラー再生しかできないなどの問題点を抱えている。これらの問題は、ホログラム画像を表示する表示素子の性能(画素ピッチや解像度など)に起因する。表示素子として、前述のAOM素子や、H.Garner(米 The University of Texas Southwestern)や佐藤(湘南工科大)のグループはDMD(Digital Micro-mirror Device)素子を使用したシステムの研究を行っている。

2. 研究の目的

本研究は実用的なホログラフィックディスプレイを実現するために必要な要素技術の開発を目的とする。

技術課題として、「再生像のサイズと視域の拡大」、「再生像のマルチカラー化」、「ホログラムのリアルタイム計算」があり、これらを同時に克服する必要がある。具体的に以下の要素技術を開発する。

- (1) GPUボードの並列化によるホログラムのリアルタイム計算システムの構築
- (2) 高精細LCDパネルを9枚使用した再生像の視域・像サイズ拡大手法の確立
- (3) 空間分割法と誤差拡散法による3次元再生像のマルチカラー化手法の確立

本申請課題の研究期間を2年間とし、期間内にこれらの問題を解決する要素技術を確立し、要素技術を組み合わせたホログラフィックディスプレイの開発とその有効性を評価する。

3. 研究の方法

本研究で構築した電子ホログラフィシステムの概略図を図1に示す。システムの写真

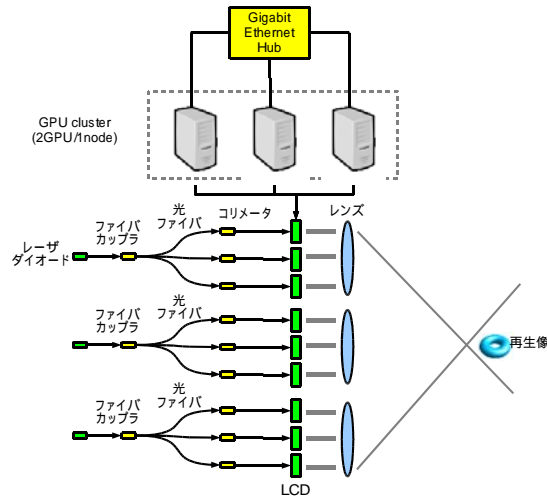


図1 GPUクラスタを用いた1800万画素電子ホログラフィシステム



図2 本システムの全体写真

を図2に示す。

GPUクラスタには3ノードのPCを用意し、各ノードに2枚のGPU(Nvidia社 GeForceGTX260)を搭載した。このGPUはストリームプロセッサ(SP)を192個搭載し、SPのクロック周波数は1.242GHzとなっている。1つのSPがCGHの1点を担当し、各SPが並列動作するため高速なCGH計算が可能となる。GPUでCGH計算を行うために、GWOライブラリにCGH計算を実装した。GWOライブラリは申請者が開発を行っている波動光学計算をGPU上で高速に実装するライブラリで、このライブラリにCGHの計算コードを実装した。

各ノードは3枚の透過型LCDパネル(1920×1080画素、8.5μm)を制御する。このLCDパネルはエプソン社製プロジェクタに搭載されているものを流用した。

各ノードのGPUはLCD3枚分に相当する5760×1080画素ホログラムを生成し、このホログラムを3枚のLCDへ表示する。システム全体では、17820×1080画素ホログラム(1800

万画素)を表示できる。

参照光源には3つのグリーン半導体レーザを用いた(カラー再生時には赤,青,緑の3つのレーザ光源使用)。それぞれのレーザ光を1×3ファイバカップラで3つに分岐しコリメータを通すことで9本の平行参照光を得ている。

ノード間をギガビットイーサネット接続し,通信にはソケット通信を用いた。本システムでは,3ノードのいずれかをマスタとし,残りの2台のノードをスレーブとしてソケット通信を行う。マスタノードは,物体点データの生成と,その物体点データを他の2台のノードに送信する。

ここで,本システムのCGH生成の概略を以下にまとめる。

- (1) マスタノードが物体点データの生成を行う
- (2) マスタノードは,残りのスレーブノードに物体点データを送信する
- (3) 各ノードは受信した物体点データを元に,GPUでCGH計算を行う
- (4) 計算されたCGHを9枚のLCDに表示を行う。

本システムはステップ1~4を繰り返し行うことで3次元像のアニメーション再生を行う。

4. 研究成果

本システムの性能について見積もりを行う。 T_{comm} をギガビットイーサネットの通信時間, T_{GPU} を1枚のGPUが1024点の3次元物体から 1920×1080 画素CGHを生成する計算時間, T_{PCLe} をPCとGPU間の通信時間, N_{node} をシステムに含まれるノード数, N_{obj} を物体点数, N_{CGH} を1ノードで担当する 1920×1080 画素CGHの枚数, B_{obj} を物体点1点を表現するのに必要なバイト数とする。この時,GPUクラスタ全体でステップ1からステップ4を処理するのに要する時間 T_{all} は,

$$T_{all} = 8B_{obj}N_{obj}(N_{node} - 1)T_{comm} + N_{CGH} \frac{N_{obj}}{1024} T_{GPU} + 8B_{obj}N_{obj}T_{PCLe}$$

となる。

この式の第1項は物体点データのノード間通信,第2項はGPUによるCGHの計算時間に関するものである。CGHの計算時間は物体点数と比例するため,第2項は物体点数が1024点を基準とした時のCGH計算時間を表している。

上式にはノード間の通信レイテンシや3次元物体生成などの処理時間は微小なものと

して無視した。また,実際には各ノードのGPUは数ms程度の遅延を伴って並列動作をするが,この遅延時間も微小なものとして無視した。第3項はPCI-express経由の通信時間でその他の項に比べると微小なため,この項も無視した。

現在のシステムは, $T_{comm} = 2.2ns$ (通信速度は約450Mbps), $T_{GPU} = 62ms$, $N_{node} = 3$, $N_{obj} = 1024$, $N_{CGH} = 3$, $B_{obj} = 16$ なので, T_{all} は約186msとなる。

本システムでは実際に1024点の物体であれば,1800万画素ホログラムを秒間5枚程度生成することが出来る。一般的なPCでは,この規模のホログラムをアニメーション再生することは困難である。図3と図4に本システムにより得られた3次元再生像を示す。その再生像サイズはおよそ30mm×30mm程度となった。

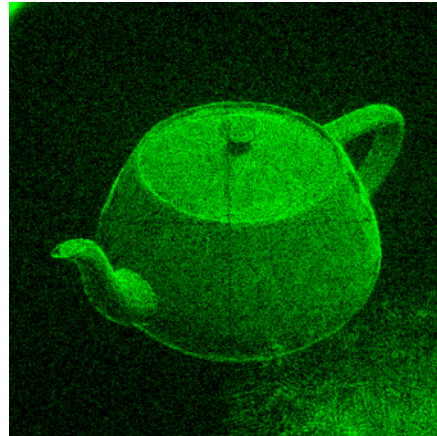


図3 再生像例

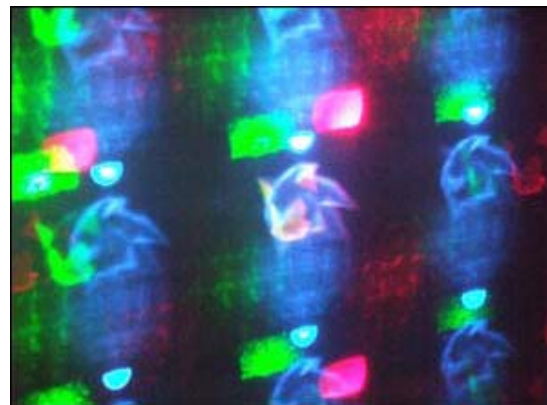


図4 カラー再生像例

5. 主な発表論文等

(研究代表者,研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計11件)

1. Tomoyoshi Shimobaba, Atsushi Shiraki, Yasuyuki Ichihashi, Nobuyuki Masuda and Tomoyoshi Ito, Interactive color electroholography using the FPGA technology and time division switching method, IEICE Electronics Express (ELEX), 5, 271-277, (2008), 査読有り

2. Tomoyoshi Shimobaba, Tsubasa Nakajima, Atsushi Urayama, Takuho Sanbei, Yasuyuki Ichihashi, Yukio Abe, Hirotaka Nakayama, Nobuyuki Masuda, Atsushi Shiraki, Naoki Takada, Tomoyoshi Ito, A real-time color electroholographic display system using the space-division method and the GPU cluster", IDW'08, 3Dp-10, CD-ROM, (2008), 査読有り

3. Y. Ichihashi, M. Tsuge, T. Mizukami, H. Nakayama, T. Shimobaba, A. Shiraki, N. Masuda and T. Ito, One-Unit System for Electroholography Using a Special-Purpose Computer with a High-Definition Liquid Crystal Display, IDW'08 (The 14th International Display Workshops), CD-ROM, (2008), 査読有り

4. Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, Nobuyuki Masuda, Yukio Abe, Yasuyuki Ichihashi, Hirotaka Nakayama, Naoki Takada, Atsushi Shiraki and Takashige Sugie, Numerical calculation library for diffraction integrals using the graphic processing unit: the GPU-based wave optics library, Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 10, 075308(5pp), (2008), 査読有り

5. Tomoyoshi Shimobaba, Yoshikuni Sato, Mai Takenouchi, Junya Miura and Tomoyoshi Ito, Real-Time Digital Holographic Microscopy using the Graphic Processing Unit, Optics Express, 16, 11776-11781, (2008), 査読有り

6. 下馬場朋禄, 伊藤智義, INDANE 法を用いたホログラムからの数値再生像のダイナミックレンジ圧縮, 電子情報通信学会誌, 2032-2034, J91-D, (2008), 査読有り

7. 市橋保之, 中山弘敬, 白木厚司, 阿部幸雄, 増田信之, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 電子ホログラフィによる複雑な立体像のリアルタイム再生, 電子情報通信学会, J91-D, 2037-2038, (2008), 査読有り

8. 水上貴史, 市橋保之, 下馬場朋禄, 中山

弘敬, 白木厚司, 増田信之, 伊藤智義, リアルタイム再生を可能にする専用計算機と高精細液晶ディスプレイによる一体型電子ホログラフィシステム, 映像情報メディア学会誌, 62, 1874-1876, (2008), 査読有り

9. Yasuyuki Ichihashi, Atsushi Shiraki, Yukio Abe, Tomoyoshi Shimobaba, Nobuyuki Masuda, Tomoyoshi Ito, Electroholography for Object Image Composed of 100,000 points, IDW'07 (The 14th International Display Workshops), 3D3-3, CD-ROM, (2007), 査読有り

10. Tomoyoshi Shimobaba, Atsushi Shiraki, Nobuyuki Masuda and Tomoyoshi Ito, An electroholographic colour reconstruction by time division switching of reference lights, Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, Vol. 9, 757-760, (2007), 査読有り

11. 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, 杉江 崇繁, 増田信之, 阿部 幸男, 白木 厚司, 市橋 保之, 高田直樹, 統合型シェーダを搭載したGPUによるフレネル回折積分の高速化, 電子情報通信学会誌, J90-D, 2656-2658, (2007), 査読有り

〔学会発表〕(計 34 件)

1. 市橋保之, 柘植宗範, 中山弘敬, 増田信之, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 専用計算機と液晶ディスプレイによる一体型リアルタイム電子ホログラフィシステム, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

2. 丹羽雅史, 岡田直久, 荒井大輔, 増田信之, 伊藤智義, 白木厚司, 高田直樹, 下馬場朋禄 GPUによる計算機合成ホログラムの高速化, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

3. 高橋岳之, 下馬場朋禄, OpenCV を利用したホログラフィック再生像への照明操作の検討, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

4. 長橋亮一, 下馬場朋禄, 市橋保之, 白木厚司, 中山弘敬, 増田信之, 伊藤智義 ディスプレイ出力を持つホログラフィ専用計算機の試作, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

5. 佐野麻理恵, 下馬場朋禄, 市橋保之, 白木厚司, 増田信之, 伊藤智義, 3 次元拡散体

を用いた電子ホログラフィの検討, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

6. 山崎宏樹, 下馬場朋祿, 波面記録法による計算機合成ホログラムの高速生成手法の検討, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

7. 浦山厚, 下馬場朋祿, ホログラフィック 3 次元再生像の陰面・陰影処, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

8. 佐々木昇平, 下馬場朋祿, 市橋保之, 白木厚司, 中山弘敬, 杉江崇繁, 高田直樹, 増田信之, 伊藤智義, GPU クラスタを用いた回折計算の高速並列計算システム, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

9. 佐藤芳邦, 下馬場朋祿, 茅原博信, 伊藤智義, 複数視点・任意分解能デジタルホログラフィック顕微鏡の開発, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

10. 中島翼, 下馬場朋祿, 市橋保之, 白木厚司, 中山弘敬, 増田信之, 伊藤智義, 誤差拡散法によるカラー電子ホログラフィの高速計算の検討, 平成 20 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, 2009.3.9, 山形・山形大学

11. 伊藤智義, 増田信之, 下馬場朋祿, GPU コンピューティングを利用した高性能信号処理システム開発の実際 FPGA 技術者のための GPU 入門, DSP & FPGA デザインワークショップ 2008, 2008.12.12, 秋葉原・UDX Conference

12. 下馬場朋祿, 佐藤芳邦, 三浦潤也, 伊藤智義複数視点・任意分解能で同時観察可能なリアルタイム・デジタルホログラフィック顕微鏡の検討, ホログラフィックディスプレイ研究会会報(HODIC), 2008.9.12, 千葉・日本大学

13. Syohei Sasaki, Tomoyoshi Shimobaba, Yukio Abe, Atsushi Shiraki, Yasuyuki Ichihashi, Hirotaka Nakayama, Nobuyuki Masuda, Takashige Sugie, Naoki Takada, Tomoyoshi Ito, Fast calculation system for diffraction integrals using a GPU cluster and the GWO library, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008.8.21, 福島・日本大学

14. Yoshikuni Sato, Tomoyoshi Shimobaba, Junya Miura, Tomoyoshi Ito A proposal of new digital holographic microscopy using the Shifted-Fresnel diffraction, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008.8.22, 福島・日本大学

15. 市橋保之, 中山弘敬, 白木厚司, 下馬場朋祿, 増田信之, 伊藤智義, 三次元テレビの実用化をめざす専用計算機システム, 第 36 回可視化情報シンポジウム(可視化情報シンポジウム 2008), 2008.7.23, 東京・工学院大

16. 市橋保之, 中山弘敬, 白木厚司, 増田信之, 伊藤智義, 下馬場朋祿, 10 万点の物体像を動画再生するためのホログラフィ専用計算機 HORN-6 の開発, 3 次元画像コンファレンス, 2008.7.11, 東京・東京大学

17. 中島翼, 下馬場朋祿, 三浦潤也, 浦山厚, 白木厚司, 市橋保之, 中山弘敬, 増田信之, 伊藤智義, 空間分割法と誤差拡散法を併用したマルチカラー再生可能な計算機合成ホログラム, 3 次元画像コンファレンス, 2008.7.11, 東京・東京大学

18. 下馬場朋祿, 三浦潤也, 佐藤芳邦, 阿部幸男, 白木厚司, 市橋保之, 中山弘敬, 増田信之, 杉江崇繁, 高田直樹, 伊藤智義, GPU を用いた波動光学計算用ライブラリ GWO ライブラリの開発とその応用, 3 次元画像コンファレンス, 2008.7.11, 東京・東京大学

19. 三浦潤也, 下馬場朋祿, 電子ホログラフィックディスプレイの構築支援シミュレータの開発, 3 次元画像コンファレンス, 2008.7.11, 東京・東京大学

20. 佐藤芳邦, 下馬場朋祿, 三浦潤也, 伊藤智義, リアルタイム・デジタルホログラフィック顕微鏡, 3 次元画像コンファレンス, 2008.7.11, 東京・東京大学

21. 白木厚司, 滝沢努, 増田信之, 高田直樹, 下馬場朋祿, 伊藤智義 GPU プログラミングにおけるシェーダ言語と開発環境 CUDA, 平成 19 年度情報処理学会東北支部研究会, 2008.3.11, 山形・山形大学

22. 水上貴史, 市橋保之, 中山弘敬, 白木厚司, 増田信之, 伊藤智義, 下馬場朋祿, ホログラフィ専用計算機と専用表示ボードを用いたリアルタイムシステム, 平成 19 年度情報処理学会東北支部研究会, 2008.3.11, 山形・山形大学

23. 三浦潤也, 下馬場朋禄, 電子ホログラフィックディスプレイの構築を支援する CAD ツールの開発, 平成 19 年度情報処理学会東北支部研究会, 2008.3.11, 山形・山形大学

24. 三瓶卓方, 下馬場朋禄, ホログラフィック数値再生像のダイナミックレンジ圧縮, 平成 19 年度情報処理学会東北支部研究会, 2008.3.11, 山形・山形大学

25. 宮本康介, 下馬場朋禄, 中島翼, 白木厚司, 市橋保之, 中山弘敬, 増田信之, 伊藤智義, 空間分割法と誤差拡散法を用いたマルチカラー電子ホログラフィ, 平成 19 年度情報処理学会東北支部研究会, 2008.3.11, 山形・山形大学

26. 小此木克之, 下馬場朋禄, 阿部幸男, 白木厚司, 市橋保之, 中山弘敬, 増田信之, 杉江崇繁, 高田直樹, 伊藤智義, GPU と PC クラスタを併用したフレネル回折積分高速化システム, 平成 19 年度情報処理学会東北支部研究会, 2008.3.11, 山形・山形大学

27. 浦山厚, 中島翼, 下馬場朋禄, ホログラフィック 3 次元像再生における各種シェーディングの適用とその効果, 平成 19 年度情報処理学会東北支部研究会, 2008.3.11, 山形・山形大学

28. 竹之内麻衣, 下馬場朋禄, 三浦潤也, 佐藤芳邦, 阿部幸男, 白木厚司, 市橋保之, 中山弘敬, 増田信之, 杉江崇繁, 高田直樹, 伊藤智義, GPU を用いた波動光学計算用ライブラリ: GWO ライブラリの開発, 平成 20 年東北地区若手研究者研究発表会, 2008.2.29, 仙台・東北工業大学

29. 三浦潤也, 下馬場朋禄, 傾きを持った平面間での Shifted-Fresnel 回折積分, 平成 20 年東北地区若手研究者研究発表会, 2008.2.29, 仙台・東北工業大学

30. 下馬場朋禄, 伊藤智義, 白木厚司, 市橋保之, 中山弘敬, 増田信之, 電子ホログラフィの計算高速化と 3 次元像再生, ホログラフィックディスプレイ研究会会報 (HODIC), 2008.2.29, 千葉・千葉大学

31. 下馬場朋禄, 中島翼, 宮本康介, 白木厚司, 市橋保之, 増田信之, 伊藤智義, 時分割法と誤差拡散法によるマルチカラー電子ホログラフィ, 情報科学技術フォーラム (FIT2007), 2007.9.5, 名古屋

32. 下馬場朋禄, 伊藤智義, INDANE 法を用

いたホログラムからの数値再生像のダイナミックレンジ圧縮, 情報科学技術フォーラム (FIT2007), 2007.9.5, 名古屋

33. 市橋保之, 中山弘敬, 白木厚司, 増田信之, 伊藤智義, 下馬場朋禄, 10 万点で構成された物体像の電子ホログラフィ再生, 情報科学技術フォーラム (FIT2007), 2007.9.5, 名古屋

34. 白木厚司, 中山弘敬, 市橋保之, 増田信之, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 3 次元テレビの実用化に向けた電子ホログラフィ再生像の拡大, 情報科学技術フォーラム (FIT2007), 2007.9.5, 名古屋

〔図書〕(計 3 件)

1. Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, Nova Publishers, "Real-Time Electroholography using the FPGA Technology, and Color Electroholography by the Time Division Switching Method", Miyu Takahashi and Hina Goto (eds.), Progress in Nonlinear Optics Research, 2009, 印刷中

2. 下馬場朋禄, 伊藤智義, CQ 出版社, CUDA 技術を利用した GPU コンピューティングの実際(後編)インターフェース 8 月号, 2008, pp.156-166

3. 下馬場朋禄, 伊藤智義, CQ 出版社, CUDA 技術を利用した GPU コンピューティングの実際(前編)インターフェース 6 月号, 2008, pp.144-153

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://brains.te.chiba-u.jp/~shimo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下馬場 朋禄 (SHIMOBABA TOMOYOSHI)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 20360563

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし