

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2017-225043
(P2017-225043A)

(43) 公開日 平成29年12月21日(2017. 12. 21)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4N 13/04 (2006.01)	HO4N 13/04 380	2H199
GO9G 5/36 (2006.01)	GO9G 5/36 510V	5C061
GO2B 27/22 (2006.01)	GO2B 27/22	5C182

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2016-120169 (P2016-120169)	(71) 出願人	504159235
(22) 出願日	平成28年6月16日 (2016. 6. 16)		国立大学法人 熊本大学
			熊本県熊本市中央区黒髪二丁目39番1号
		(74) 代理人	100116573
			弁理士 羽立 幸司
		(74) 代理人	100136180
			弁理士 羽立 章二
		(72) 発明者	上瀧 剛
			熊本県熊本市中央区黒髪二丁目39番1号
			国立大学法人熊本大学内
		Fターム(参考)	2H199 BA29 BA64 BB42 BB62
			5C061 AA03 AA23 AB17 AB20
			5C182 AA04 AA26 AA31 AC46 BA54
			BC01

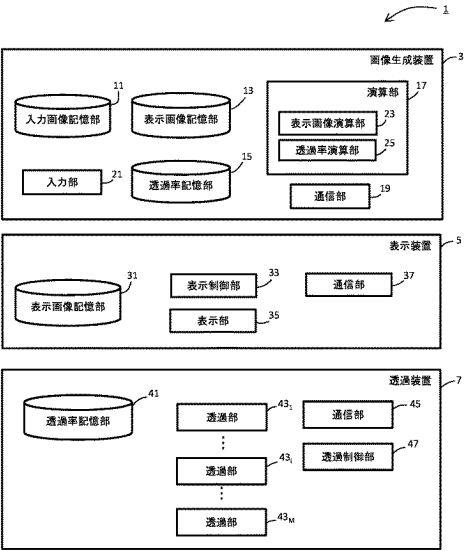
(54) 【発明の名称】 画像表示システム、画像表示方法及び透過装置

(57) 【要約】

【課題】 チラツキを少なくし、視点数が増加しても画質の悪化を防ぐことが可能な画像表示システム等を提案する。

【解決手段】 画像表示システム1において、表示装置3は表示画像を表示する。透過装置7の透過部43は、開閉状態に加え、中間状態（部分的に遮断し、部分的に透過する状態）となるものである。透過制御部47は、各透過部43の透過率を連続的に変化させる。そのため、各視点では、ブラックフレームの発生を抑えてチラツキを防ぐとともに、視点数が増加しても各視点で利用できるサブフレームの数を増加させて画質を向上させることができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表示画像を表示する画像表示システムであって、
 前記表示画像を表示する表示装置と、
 前記表示装置が表示した前記表示画像の光が通過する透過部と、
 前記透過部を、前記表示装置による前記表示画像の表示に同期して、光を部分的に遮断して部分的に通過させる中間状態にする透過制御部を備える画像表示システム。

【請求項 2】

前記透過部は、複数存在して、第 1 透過部と第 2 透過部を含み、
 前記透過制御部は、前記第 1 透過部及び前記第 2 透過部を前記中間状態にし、前記表示画像の光が前記中間状態にある前記第 1 透過部及び前記第 2 透過部を共に通過する、請求項 1 記載の画像表示システム。

10

【請求項 3】

前記表示装置は、複数の表示画像を連続して表示し、
 前記複数の表示画像は、第 1 表示画像と第 2 表示画像を含み、
 前記第 1 表示画像及び前記第 2 表示画像の光が、前記中間状態である前記透過部を通過し、
 前記第 1 表示画像の光の通過量と前記第 2 表示画像の光の通過量とは異なり、
 前記透過制御部は、前記第 1 表示画像と前記第 2 表示画像の表示に同期して、前記透過部の光の透過量を変える、請求項 1 又は 2 に記載の画像表示システム。

20

【請求項 4】

画像生成装置が、表示装置が表示する表示画像を生成する画像表示方法であって、
 前記画像生成装置に M 個 (M は 2 以上の整数) の入力画像 f^i (i は M 以下の自然数) が入力される入力ステップと、
 前記画像生成装置が備える演算部が、N 個 (N は 2 以上の整数) の表示画像 B_n (n は N 以下の自然数)、及び、 i 及び n に対応して透過率 r_n^i (r_n^i は 0 以上 1 以下の数) を決定する決定ステップと、
 前記表示装置が前記表示画像 B_n を連続して表示し、透過制御部が、前記表示装置が表示した前記表示画像 B_n の光が通過する透過部における光の透過量を、前記表示画像 B_n の表示に同期して、少なくとも一つの i の値に対応する透過率 r_n^i に従って制御する表示ステップを含む画像表示方法。

30

【請求項 5】

前記決定ステップにおいて、前記演算部は、
 前記表示画像の初期値 B_n^0 及び前記透過率の初期値 r_n^0 に対して S^i を演算し、
 S^i が S^i よりも f^i に近い前記表示画像 B_n (n は N 以下の自然数) 及び透過率 r_n^i (r_n^i は 0 以上 1 以下の数) を決定する、請求項 4 記載の画像表示方法。

【数 1】

$$S_0^i = \sum_{n=1}^N B_{n0} r_{n0}^i, \quad S^i = \sum_{n=1}^N B_n r_n^i.$$

【請求項 6】

前記決定ステップにおいて、前記演算部は、
 前記透過率 r_n^i は、0 よりも大きく 1 未満の値を含み、周期的に増減するものとし、
 前記表示画像を決定して、 S^i と前記入力画像 f^i の違いを、前記表示画像の初期値の場合の値よりも小さくする、請求項 5 に記載の画像表示方法。

【請求項 7】

表示装置が表示した表示画像の光が通過する透過部と、前記透過部の透過率を制御する透過制御部を備える透過装置であって、
 前記透過部は、光を遮断する閉状態、光を通過させる開状態、及び、光を部分的に遮断して部分的に通過させる中間状態を有し、

50

前記透過制御部は、前記表示装置の前記表示画像の表示に同期して、前記透過部の透過率を、前記中間状態を利用して、前記開状態から前記閉状態までの間で連続的に変化させる、透過装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、画像表示システム、画像表示方法及び透過装置に関し、特に、表示画像を表示する画像表示システム等に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、3D映像や多視点映像は、例えば、デジタルライトプロセッシング(DLP)プロジェクタとアクティブシャッターメガネ(液晶メガネ)を使って実現されている。これは、左右に独立に制御可能な液晶シャッターを備えたメガネで、プロジェクタの左右像の投影とシャッターの開閉を同期させることで人間に視差映像を与えるデバイスである。

【0003】

図14及び図15を使って、従来の3D映像表示技術の一例を説明する。まず、図14を参照して概要を説明する。表示装置101に、右目用の映像と左目用の映像を時分割で表示する。(a)及び(b)は、それぞれ、右目用及び左目用の映像を表示した状態を示す。液晶メガネの左目側部分103は、右目用の映像の表示に同期して閉じ、左目用の映像の表示に同期して開く。液晶メガネの右目側部分105は、右目用の映像の表示に同期して開き、左目用の映像の表示に同期して閉じる。そうすると、利用者は、(c)にあるように、右目用と左目用の視差映像を得ることができる。

【0004】

図15を参照して、より具体的に説明する。図15(a)を参照して、DLPプロジェクタでは、濃淡や色を表現するために、一枚の絵を複数のサブフレームに分割して表示する。従来技術は、サブフレームを時分割で表示する。図15(b)は、2視点の場合の一例である。2視点の場合、各視点に使えるサブフレームの数が半分になる。図15(c)は、2視点の場合に得られる画像の一例を示す。

【0005】

液晶シャッターはOn/Off制御(0/1制御)で行っている。この原理は、1922年にハモンドが発明した機械式のメガネである3D televue systemに遡る(特許文献1参照)。1970年代にこれが液晶シャッターに置き換わって以来、同じ原理である。

【0006】

また、近年、左右2視点だけでなく、それよりも多い視点の映像を投影可能な多視点ディスプレイが注目を集めている。例えば、高速回転する板に映像を投影することで、裸眼多視点ディスプレイを実現している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第1435520号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、アクティブシャッターメガネは、映像の時分割による。利用者が右目で右目側の映像を見るとき、左目側は閉じているため、利用者は左目でブラックフレームを見ることとなる。これがチラツキ(フリッカ)を生じる。単純に視点数を増加させると、より多くの数のブラックフレームを生じることとなる。このように、視点数を増やすとフリッカが増えてしまい、深刻な問題になる。

【0009】

さらに、量子化誤差も問題となる。視点数を増加させることは、視点あたりのサブフレ

10

20

30

40

50

ーム数を減少させる。例えば、4 視点の場合、2 視点の場合よりも半分になる。そのため、視点数を増やすと画像情報量が大幅に減少し、画質が悪くなってしまう。

【0010】

また、高速回転する板などを利用すると、投影サイズを大きくすることは難しい。

【0011】

そこで、本願発明は、チラツキを少なくし、視点数が増加しても画質の悪化を防ぐことが可能な画像表示システム等を提案することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本願発明の第1の観点は、表示画像を表示する画像表示システムであって、前記表示画像を表示する表示装置と、前記表示装置が表示した前記表示画像の光が通過する透過部と、前記透過部を、前記表示装置による前記表示画像の表示に同期して、光を部分的に遮断して部分的に通過させる中間状態にする透過制御部を備えるものである。

10

【0013】

本願発明の第2の観点は、第1の観点の画像表示システムであって、前記透過部は、複数存在して、第1透過部と第2透過部を含み、前記透過制御部は、前記第1透過部及び前記第2透過部を前記中間状態にし、前記表示画像の光が前記中間状態にある前記第1透過部及び前記第2透過部を共に通過するものである。

【0014】

本願発明の第3の観点は、第1又は第2の観点の画像表示システムであって、前記表示装置は、複数の表示画像を連続して表示し、前記複数の表示画像は、第1表示画像と第2表示画像を含み、前記第1表示画像及び前記第2表示画像の光が、前記中間状態である前記透過部を通過し、前記第1表示画像の光の通過量と前記第2表示画像の光の通過量とは異なり、前記透過制御部は、前記第1表示画像と前記第2表示画像の表示に同期して、前記透過部の光の透過量を変えるものである。

20

【0015】

本願発明の第4の観点は、画像生成装置が、表示装置が表示する表示画像を生成する画像表示方法であって、

前記画像生成装置にM個(Mは2以上の整数)の入力画像 f^i (i はM以下の自然数)が入力される入力ステップと、前記画像生成装置が備える演算部が、N個(Nは2以上の整数)の表示画像 B_n (n はN以下の自然数)、及び、 i 及び n に対応して透過率 r_{in}^i (r_{in}^i は0以上1以下の数)を決定する決定ステップと、前記表示装置が前記表示画像 B_n を連続して表示し、透過制御部が、前記表示装置が表示した前記表示画像 B_n の光が通過する透過部における光の透過量を、前記表示画像 B_n の表示に同期して、少なくとも一つの i の値に対応する透過率 r_{in}^i に従って制御する表示ステップを含むものである。

30

【0016】

本願発明の第5の観点は、第4の観点の画像表示方法であって、前記決定ステップにおいて、前記演算部は、前記表示画像の初期値 B_0 及び前記透過率の初期値 r_{i0} に対して S^i を演算し、 S^i が S_0^i よりも f^i に近い前記表示画像 B_n (n はN以下の自然数)及び透過率 r_{in}^i (r_{in}^i は0以上1以下の数)を決定するものである。

40

【0017】

本願発明の第6の観点は、第5の観点の画像表示方法であって、前記決定ステップにおいて、前記演算部は、前記透過率 r_{in}^i は、0よりも大きく1未満の値を含み、周期的に増減するものとし、前記表示画像を決定して、 S^i と前記入力画像 f^i の違いを、前記表示画像の初期値の場合の値よりも小さくする。

【0018】

本願発明の第7の観点は、表示装置が表示した表示画像の光が通過する透過部と、前記透過部の透過率を制御する透過制御部を備える透過装置であって、前記透過部は、光を遮断する閉状態、光を通過させる開状態、及び、光を部分的に遮断して部分的に通過させる中間状態を有し、前記透過制御部は、前記表示装置の前記表示画像の表示に同期して、前

50

記透過部の透過率を、前記中間状態を利用して、前記開状態から前記閉状態までの間で連続的に変化させるものである。

【 0 0 1 9 】

【 数 1 】

$$S_0^i = \sum_{n=1}^N B_{n0} r_{n0}^i, \quad S^i = \sum_{n=1}^N B_n r_n^i.$$

【 発明の効果 】

【 0 0 2 0 】

本願発明によれば、透過部に、開状態及び閉状態に加えて、中間状態を許容する。すなわち、透過部の光の透過率は、0以上1以下の連続値となる。従来方式では、液晶シャッターは開状態及び閉状態のみであり、時分割であったため、ブラックフレーム（映像を完全にシャットアウト）が入るため、チラツキが酷かった。特に、視点数が増えるとその影響が顕著になる。本願発明によれば、常に一定の映像が視野に入るためチラツキが少なくなる。

10

【 0 0 2 1 】

特に、従来方式では、複数の透過部がある場合に、表示画像は一つの透過部のみを通過し、他の透過部ではブラックフレームとなっていた。本願発明によれば、第2の観点にあるように、表示画像は、中間状態にある複数の透過部を通過することができ、ブラックフレームの発生を回避することができる。

20

【 0 0 2 2 】

さらに、本願発明によれば、原理的には、投影すべき複数の視点で共通する部分を使いまわして投影する。そのため、情報理論的には、少ないデータ量で多くのデータを表現する情報圧縮技術が本デバイスに自動的に組み込まれることになる。よって、従来方式よりも高画質で映像を表示することが可能である。そのため、視点数が増加しても、画質の低下を防ぐことができる。

【 0 0 2 3 】

さらに、本願発明の第5の観点によれば、表示画像と透過率を容易に決定することができる。特に、第6の観点にあるように、透過率の増減を予め定めておき、入力画像に対して表示画像を決定することにより、計算量を大幅に削減することができる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 本願発明の実施の形態に係る画像表示システムの構成の一例を示すブロック図である。

【 図 2 】 図 1 の画像表示システム 1 の動作の一例を示すフロー図である。

【 図 3 】 図 1 の画像生成装置 3 の演算部 17 による表示画像及び透過率の演算の一例であるアルゴリズムを示す図である。

【 図 4 】 図 3 のアルゴリズムによる処理の一例を示す図である。

【 図 5 】 本願発明による2視点の場合の表示画像と透過率の一例を示す図である。

【 図 6 】 サブフレーム 8 枚で、3視点の場合のシミュレーション例を示す図である。

40

【 図 7 】 ランダムサンプリングパラメータ K による PSO アルゴリズムの収束を示すグラフである。

【 図 8 】 3視点の場合のサブフレームを時空間フーリエ解析した結果を比較するための図である。

【 図 9 】 サブフレーム 12 枚で、5視点の場合のシミュレーション例を示す図である。

【 図 10 】 本願発明の試作品の一例を示す図である。

【 図 11 】 図 10 の試作品による3視点の場合の一例を示す図である。

【 図 12 】 図 10 の試作品による5視点の場合の一例を示す図である。

【 図 13 】 本願発明の他の試作品の例を示す図である。

【 図 14 】 従来の 3D 映像表示技術の一例の概要を説明するための図である。

50

【図 1 5】図 1 5 の従来の 3 D 映像表示技術の一例を具体的に説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 5】

以下では、図面を参照して、本願発明の実施例について説明する。なお、本願発明は、この実施例に限定されるものではない。

【実施例】

【0 0 2 6】

図 1 は、本願発明の実施の形態に係る画像表示システム 1 の構成の一例を示すブロック図である。画像表示システム 1 は、画像生成装置 3（本願請求項の「画像生成装置」の一例）と、表示装置 5（本願請求項の「表示装置」の一例）と、透過装置 7（本願請求項の「透過装置」の一例）を備える。

10

【0 0 2 7】

画像生成装置 3 は、表示装置 5 が表示する表示画像と、透過装置 7 における光の透過率を決定する。画像生成装置 3 は、入力画像記憶部 1 1 と、表示画像記憶部 1 3 と、透過率記憶部 1 5 と、演算部 1 7（本願請求項の「演算部」の一例）と、通信部 1 9 と、入力部 2 1 を備える。演算部 1 7 は、表示画像演算部 2 3 と、透過率演算部 2 5 を備える。

【0 0 2 8】

表示装置 5 は、画像生成装置 3 が決定した表示画像を表示する。ハードウェアは、例えばデジタルライトプロセッシング（DLP）プロジェクタを利用して実現することができる。表示装置 5 は、表示画像記憶部 3 1 と、表示制御部 3 3 と、表示部 3 5（本願請求項の「表示部」の一例）と、通信部 3 7 を備える。

20

【0 0 2 9】

透過装置 7 は、表示装置 5 が表示した表示画像の光の透過率を制御する。利用者は、表示装置 5 が表示した表示画像を、透過装置 7 を経由して見る。従来は、液晶シャッターを利用し、On/Off制御(0/1制御)で行っていた。そのため、例えば左右の目の場合には、表示装置 5 の右目用の表示画面は、右目のみで見て、左目は遮蔽されていた。本願発明では、開状態及び閉状態に加えて、中間状態（すなわち、部分的に遮断し、部分的に通過させる状態）をも許容する。そのため、表示画像を左右両目で同時に見るように、同時に複数の透過部を通過し得ることとなる。ハードウェアは、従来の液晶シャッターを、中間状態が可能なものに変更すればよい。透過装置 7 は、透過率記憶部 4 1 と、M 個の透過部 4 3（本願請求項の「透過部」の一例）と、通信部 4 5 と、透過制御部 4 7（本願請求項の「透過制御部」の一例）を備える。

30

【0 0 3 0】

図 2 は、図 1 の画像表示システム 1 の動作の一例を示すフロー図である。図 2（a）、（b）及び（c）は、それぞれ、図 1 の画像生成装置 3、表示装置 5 及び透過装置 7 の動作の一例を示す。

【0 0 3 1】

図 2（a）を参照して、図 1 の画像生成装置 3 の動作の一例を説明する。利用者は、入力部 2 1 より、複数の入力画像を入力する（ステップ S T S 1）。入力部 2 1 は、入力された複数の入力画像を入力画像記憶部 1 1 に記憶する。演算部 1 7 の表示画像演算部 2 3 と透過率演算部 2 5 は、それぞれ、複数の表示画像と各表示画像に対応する透過率を決定する（ステップ S T S 2）。演算部 1 7 による処理の一例は、後に説明する。続いて、通信部 1 9 は、表示装置 5 及び透過装置 7 に対して、それぞれ、表示画像と透過率を送信する（ステップ S T S 3）。

40

【0 0 3 2】

図 2（b）を参照して、図 1 の表示装置 5 の動作の一例を説明する。通信部 3 7 は、透過装置 7 の通信部 4 5 と通信を行い、同期する（ステップ S T D 1）。通信部 3 7 は、画像生成装置 3 の通信部 1 9 より表示画像を受信し、表示画像記憶部 3 1 に記憶する（ステップ S T D 2）。表示制御部 3 3 は、表示部 3 5 に、複数の表示画像を連続して表示する（ステップ S T D 3）。

50

【 0 0 3 3 】

図 2 (c) を参照して、図 1 の透過装置 7 の動作の一例を説明する。通信部 4 5 は、表示装置 5 の通信部 3 7 と通信を行い、同期する (ステップ S T T 1) 。通信部 4 5 は、画像生成装置 3 の通信部 1 9 より透過率を受信し、透過率記憶部 4 1 に記憶する (ステップ S T T 2) 。透過制御部 4 7 は、透過率を用いて、表示装置 5 における表示画像の表示に同期して、各透過部 4 3 における光の透過率を制御する (ステップ S T T 3) 。

【 0 0 3 4 】

なお、図 1 及び図 2 で例では、透過装置 7 が、例えばメガネの右目用と左目用の液晶シャッターのように、一つの装置内に複数の透過部がある場合を例にして説明する。本願発明は、透過装置が複数あり、各透過装置に一つ又は複数の透過部がある場合でもよい。また、各視点に応じて透過率が定まっている場合に、各視点の透過率と各透過部との対応関係は、固定されておらずに変更してもよい。例えば、GPS 装置などで利用者の位置を検出し、利用者が右側から見ているときには視点 1 の透過率を使用し、左側に移動すると視点 2 の透過率を使用して、透過部の透過率を制御してもよい。

【 0 0 3 5 】

続いて、図 3 及び図 4 を参照して、図 1 の画像生成装置 3 の演算部 1 7 による表示画像及び透過率の演算の一例について説明する。

【 0 0 3 6 】

DLP イメージモデルは、式 (1) で定義される。ここで、 $B_n(x,y)$ は、DLP におけるデジタルミラーデバイス (DMDs) のバイナリイメージを示す。 L_n は、光の強さを示す。 N は、バイナリイメージの数を示す。例えば、8 ビットのグレースケールイメージに対して、式 (2) の正規化された輝度係数が使われる。このモデルでは、投影されるイメージ $0 \leq f(x,y) \leq 1$ を提示することができる。

【 0 0 3 7 】

【 数 2 】

$$f(x,y) = \sum_{n=1}^N B_n(x,y)L_n \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{255} [128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1]^T \quad (2)$$

【 0 0 3 8 】

続いて、従来の 0 - 1 アクティブシャッターを使った多視点ディスプレイモデルを説明する。このモデルでは、 M 個のイメージ f^i は、式 (3) として示すことができる。ここで、 $r^i = \{ 0, 1 \}$ は、アクティブシャッターの状態を示す。1 は「開」状態、0 は「閉」状態である。例えば、 $M = 2$ の立体映像では、式 (4) のパラメータが使用される。。この場合、右側及び左側の映像 f^1 及び f^2 は、時分割で提示される。イメージの深さは、4 ビットに減らされている。

【 0 0 3 9 】

【 数 3 】

$$f^i(x,y) = \sum_{n=1}^N B_n(x,y)r_n^i L_n, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

$$\begin{cases} r^1 = [1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0]^T \\ r^2 = [0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1]^T \\ L = \frac{1}{255} [128, 64, 32, 16, 128, 64, 32, 16]^T \end{cases} \quad (4)$$

【 0 0 4 0 】

続いて、提案手法によるアナログシャッターを使った多視点ディスプレイモデルを説明する。従来の時分割アクティブシャッターに関する技術的な問題は、次のものである。まず、0 - 1 シャッターは、完全なブラックパターンを投影するために人の目にフリッカを

生じる。フリッカは、時分割数 M に従って増加する。そして、入力画像と投影画像との間に量子化誤差が生じる。バイナリパターンは M 個に分かれているためである。

【 0 0 4 1 】

本願では、アクティブシャッターモデルを式(5)のように緩和することにより、これらの技術的な問題を解決することを提案する。このモデルは、アクティブシャッターが 0 - 1 状態をとることに制限されるのではなく、代わりに連続的な遷移を使うことを意味する。従来の 0 - 1 アクティブシャッターとは違って、提案モデルは、完全なブラックパターンの投影を防止し、ディスプレイのフリッカを減らすことができる。さらに、提案モデルは、単純な時分割システムよりも多くのバイナリパターンを使用することができるため、イメージの量子化誤差を減らすことができる。

10

【 0 0 4 2 】

ここで、光の強さを $L = 1$ の一定値に維持することで問題を単純化する。投影のバイナリパターンの光の強さは、連続シャッター r_i^t で制御することができるためである。このモデルは、式(6)で示すことができる。提案の多視点 DLP イメージ変換は、次のように要約することができる。

問題 1 : 入力として M 個 (M は 2 以上の整数) のイメージ $f_i(x, y)$ とバイナリパターン (イメージビット) の数 N が与えられた場合、アクティブシャッターの最適な透過率 r_i^t とバイナリパターン $B_n(x, y)$ を決定する。

【 0 0 4 3 】

問題 1 に関する技術的な問題とこれに対する我々の貢献は、以下のものである。まず、問題 1 に対し、効率のよい数値解法を提案する。問題 1 は、NP 困難の問題を含む。これは、現実的な計算時間で解くことが必要である。そして、透過率が連続的に変化するアクティブシャッターメガネを開発した。提案モデルは、アクティブシャッターメガネが $[0, 1]$ の範囲で連続的な透過率の状態をとることができることを仮定する。よって、このようなデバイスを開発する必要がある。我々は、LCD シャッターに対する PWM 制御を使うことで、連続的な透過率を実装した。

20

【 0 0 4 4 】

【数 4】

$$r^i = [r_1^i, \dots, r_N^i]^T, \quad 0 \leq r_n^i \leq 1 \quad (5)$$

$$f^i(x, y) = \sum_{n=1}^N B_n(x, y) r_n^i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

【 0 0 4 5 】

続いて、バイナリの連続的なイメージ分解について説明する。式(7)により、与えられた入力画像 f_i と、 B_i と $A := [r^1, \dots, r^M]$ によって再構成された画像との間の最小二乗のエラーベースのコスト関数を定義する。ここで、 W 及び H は、入力画像及び $B(x, y) = [B_1(x, y), \dots, B_N(x, y)]^T$ のサイズを示す。バイナリパターン B_i とシャッターの透過率 r_i^t は、 E を最小化することによって得られる。しかしながら、コスト関数 E と $B_i(x, y) = \{0, 1\}$ と $0 \leq r_i^t \leq 1$ の特別な制約のために、正確な最小化を達成することは、とても難しい。例えば、もし B_i と r_i^t に何も制約がなければ、特異値分解 (SVD) を使うことができる。しかし、このモデルでは、SVD を使用することができない。言い換えると、バイナリと連続をベースに、入力画像を非対称の形式に分解する必要がある。

40

【 0 0 4 6 】

この困難を解決する可能性のあるアプローチは、この問題を 2 つのステップに分解するものである。連続変数 r_i^t と 0 - 1 変数 B_i の最適化である。よって、あらかじめ定めた r_i^t を与えると、問題の残りは 0 - 1 の組み合わせ最適化問題となる。コスト関数を $E(B; A)$ と記す。

【 0 0 4 7 】

この研究では、PSO (particle swarm optimization) アルゴリズムを使って最適なシャッター透過率 r_i^t を探索する。PSO は最適解を保証するものではないが、PSO は

50

、問題についての仮説を必要としない強力なメタヒューリスティックな探索技術である。

【 0 0 4 8 】

【 数 5 】

$$E(\mathbb{B}, \mathbb{A}) := \sum_{i=1}^M \sum_{x,y}^{W,H} \left\| f^i(x,y) - \sum_{n=1}^N B_n(x,y) r_n^i \right\|^2 = \sum_{i=1}^M \sum_{x,y}^{W,H} \left\| f^i(x,y) - \mathbb{B}(x,y)^T \mathbf{r}^i \right\|^2 \quad (7)$$

【 0 0 4 9 】

シャッター透過率に対する P S O アルゴリズムを説明する。P S O アルゴリズムでは、複数の小片 z_1, z_2, \dots, z_m を使用する。ここで、 m は、小片の数である。各小片 z_i は、速度 $\mathbf{v}_i = [\mathbf{v}_i^1, \dots, \mathbf{v}_i^{M \times N}]^T$ を持っている。我々のモデルでは、 M シャッター透過率 \mathbf{r}^i は、 z に割り当てられる。ここで、 $z = \{r_1^1, \dots, r_1^M, r_2^1, \dots, r_m^M\}$ である。小片は、式(8)及び(9)で更新される。ここで、 rand は、範囲 $[0,1]$ の一様乱数の値である。 ω_0, ω_1 及び ω_2 は、制御パラメータである。 t は、タイムステップである。 $z_{pbest,i}^t$ は、式(10)で与えられる小片に対する最良の解である。 $z_{gbest,i}^t$ は、式(11)で与えられる群の最良解である。

10

【 0 0 5 0 】

最適化の過程で、小片の数 m と最大反復数 t_{\max} が与えられ、初期の小片 z^0 とその速度 z^0 がランダムに与えられる。すると、タイムステップ t が t_{\max} に至るまで、小片は式(8)によって反復して更新される。P S O の反復は、コスト関数 E をだんだんと減らすために使用することができる。

20

【 0 0 5 1 】

【 数 6 】

$$z_i^{t+1} = z_i^t + \mathbf{v}_i^{t+1} \quad (8)$$

$$\mathbf{v}_i^{t+1} = \omega_0 \mathbf{v}_i^t + \omega_1 \text{rand} \cdot (z_{pbest,i}^t - z_i^t) + \omega_2 \text{rand} \cdot (z_{gbest,i}^t - z_i^t) \quad (9)$$

$$z_{pbest,i}^t = \arg \min_{z_i^{t'}, t' \leq t} E(\mathbb{B}; z_i^{t'}) \quad (10)$$

$$z_{gbest,i}^t = \arg \min_i E(\mathbb{B}; z_{pbest,i}^t) \quad (11)$$

【 0 0 5 2 】

バイナリパターンの最適化を説明する。P S O アルゴリズムは、 $E(\mathbb{B}; \mathbb{A})$ の計算を要求する。 \mathbf{r} が与えられることにより、コスト関数 E が (x,y) と独立になるため、各ピクセル (x,y) での式(12)のコスト関数を最適化するのに十分である。ここで、 $\mathbf{b} = \mathbf{B}(x,y)$ 及び $\mathbf{f}^i = \mathbf{f}(x,y)$ である。 \mathbf{A} と $\mathbf{f} = [\mathbf{f}^1, \dots, \mathbf{f}^M]^T$ を使うと、式(13)である。 \mathbf{f}^2 が一定の値であるため、式(14)が成り立つ。ここで、 $\mathbf{Q} = \mathbf{A} \mathbf{A}^T$ 、 $\mathbf{q} = -2 \mathbf{A} \mathbf{f}$ である。よって、コスト関数を式(15)で再定義する。

【 0 0 5 3 】

これは、0 - 1 の二次計画問題である。これは N P 困難な問題であるため、効率のよい解法が必要となる。一般に、整数計画問題を最適化するために分岐限定法を使用することができる。この方法では、線形緩和を適用することにより、0 - 1 の整数値の制約は、範囲 $[0,1]$ の連続値とサブ問題の下限に変換される。よって、下限を使用することにより、探索するノードを効率よくカットすることができる。

40

【 0 0 5 4 】

対照的に、式(15)の我々のモデルでは、線形緩和がなくても下限を容易かつ効率よく計算することができる。これは、0 1 整数二次計画問題において $Q_{ij} > 0$ 及び $q_i < 0$ の対称行列であることを含む特別な場合であるためである。

【 0 0 5 5 】

【数 7】

$$E(x, y) = \sum_{i=1}^M \|f^i - \mathbf{b}^T \mathbf{r}^i\|^2 \quad (12)$$

$$E(x, y) = \|\mathbf{f}\|^2 - 2\mathbf{b}^T \mathbf{A} \mathbf{f} + \|\mathbf{A} \mathbf{b}\|^2 \quad (13)$$

$$\min_{\mathbf{b}} E(x, y) \Leftrightarrow \min_{\mathbf{b}} [\mathbf{b}^T \mathbf{Q} \mathbf{b} + \mathbf{q}^T \mathbf{b}] \quad (14)$$

$$E(\mathbf{b}) = \mathbf{b}^T \mathbf{Q} \mathbf{b} + \mathbf{q}^T \mathbf{b} \quad (15)$$

【0056】

サブ問題への分割を説明する。分岐限定法はノードの階層的な木探索を行う。子ノードはピヴォットノードの下限によってカットされる。よって、この探索はピヴォットノードとその加減のコストの計算を要求する。

10

【0057】

そのコストは、分割バイナリベクトル $\mathbf{b}^T = [\mathbf{b}_1^T, \mathbf{b}_2^T]$ でコスト関数 E を分割することで計算することができる。ここで、 \mathbf{b}_1 及び \mathbf{b}_2 は、それぞれ、 n_1 ビット及び n_2 ビットのベクトルである。 \mathbf{b}_1 が与えられて固定されているとき、残りの 2^{n_2} ノード ($\mathbf{b}_2 = [0, 0, \dots, 0]^T := 0$ から $[1, 1, \dots, 1]^T := 1$) が探索ノードになる。 $\mathbf{b}_2 = 0$ のノード (n_2 をピヴォットノードと定義する。

【0058】

固定した \mathbf{b}_1 に関する分割コスト関数は、式(16)で定義される。ここで、式(17)及び式(18)である。分割行列は、 $\mathbf{Q}_{11} \in \mathbb{R}^{n_1 \times n_1}$ 、 $\mathbf{Q}_{12} \in \mathbb{R}^{n_1 \times n_2}$ 及び $\mathbf{Q}_{22} \in \mathbb{R}^{n_2 \times n_2}$ である。ベクトルは、 $\mathbf{q}_1 \in \mathbb{R}^{n_1}$ 及び $\mathbf{q}_2 \in \mathbb{R}^{n_2}$ である。定数 $c = E(0; \mathbf{b}_1) = \mathbf{b}_1^T \mathbf{Q}_{11} \mathbf{b}_1 + \mathbf{q}_1^T \mathbf{b}_1$ は、式(16)から得ることができる。

20

【0059】

【数 8】

$$\begin{aligned} E(\mathbf{b}_2; \mathbf{b}_1) &= \mathbf{b}_1^T \mathbf{Q}_{11} \mathbf{b}_1 + 2\mathbf{b}_1^T \mathbf{Q}_{12} \mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_2^T \mathbf{Q}_{22} \mathbf{b}_2 + \mathbf{q}_1^T \mathbf{b}_1 + \mathbf{q}_2^T \mathbf{b}_2 \\ &= 2\mathbf{b}_1^T \mathbf{Q}_{12} \mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_2^T \mathbf{Q}_{22} \mathbf{b}_2 + \mathbf{q}_2^T \mathbf{b}_2 + c \end{aligned} \quad (16)$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{11} & \mathbf{Q}_{12} \\ \mathbf{Q}_{12}^T & \mathbf{Q}_{22} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\mathbf{q}^T = [\mathbf{q}_1^T, \mathbf{q}_2^T] \quad (18)$$

【0060】

下限の分析について説明する。サブ問題への分割に従い、与えられたピヴォットノードを計算し、もしピヴォットノードの下限を得ることができるのであれば、ピヴォットノードの下限 E と現在の最小計算 E_{\min} によって子ノードの探索をスキップすることができる。

【0061】

$[\mathbf{b}_1, 0, \dots, 0]$ から $[\mathbf{b}_1, 1, \dots, 1]$ のノードの下限を推定する。式(19)にあるように、 \mathbf{b}_1 が与えられ、条件 $\mathbf{Q}_{11} \geq 0$ 及び $\mathbf{q}_1 \geq 0$ を使うことで、式(16)によりおおよその下限を容易に推定することができる。ここで、 $E_i := \mathbf{q}_2^T \mathbf{1}$ である。この式は、ピヴォットノード $E(0; \mathbf{b}_1)$ を計算した後で、 \mathbf{b}_2 によることなく E_i を加算することでおおよその下限を計算することができることを意味する。

40

【0062】

式(16)のコスト関数を変換することで、式(20)にあるように下限を変える。ここで、 $E_i := \mathbf{u}^T \mathbf{1}$ 及び $\mathbf{u}_i = \min(0, \mathbf{u}_i)$ である。さらに、式(21)にあるように下限を変えることができる。ここで、 $\text{diag}(\mathbf{A})$ は、要素が行列 \mathbf{A} の対角要素によって与えられるベクトルを示す。すなわち、 $\text{diag}(\mathbf{A}) = [\mathbf{A}_{11}, \mathbf{A}_{22}, \dots, \mathbf{A}_{nn}]^T$ 。 \mathbf{A}^\wedge は、 \mathbf{A} の対角要素が 0 に置き換わった行列を示す。 $\mathbf{m} := 2\mathbf{b}_1^T \mathbf{Q}_{12} + \text{diag}(\mathbf{Q}_{22})^T + \mathbf{q}_2^T$ である。

【0063】

50

$Q_{ij} = 0$ より、強化された下限は、式(22)のように計算することができる。ここで、 $E_3 := m_1^T \mathbf{1}$ 及び $m_1' = \min(0, m_1)$ である。バイナリパターンの最適化の手続きは、図3のアルゴリズムにより記載することができる。

【 0 0 6 4 】

【 数 9 】

$$E(\mathbf{b}_2; \mathbf{b}_1) \geq \mathbf{q}_2^T \mathbf{1} + E(\mathbf{0}; \mathbf{b}_1) = \Delta E_1 + E(\mathbf{0}; \mathbf{b}_1) \quad (19)$$

$$E(\mathbf{b}_2; \mathbf{b}_1) \geq [2\mathbf{b}_1^T \mathbf{Q}_{12} + \mathbf{q}_2^T] \mathbf{b}_2 + c = \mathbf{w}^T \mathbf{b}_2 + c \geq \mathbf{w}^T \mathbf{1} + c = \Delta E_2 + E(\mathbf{0}; \mathbf{b}_1) \quad (20)$$

$$E(\mathbf{b}_2; \mathbf{b}_1) = [2\mathbf{b}_1^T \mathbf{Q}_{12} + \text{diag}(\mathbf{Q}_{22})^T + \mathbf{q}_2^T] \mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_2^T \hat{\mathbf{Q}}_{22} \mathbf{b}_2 + c = \mathbf{m}^T \mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_2^T \hat{\mathbf{Q}}_{22} \mathbf{b}_2 + c \quad (21)$$

$$E(\mathbf{b}_2; \mathbf{b}_1) \geq \mathbf{m}^T \mathbf{b}_2 + c \geq \mathbf{m}^T \mathbf{1} + E(\mathbf{0}; \mathbf{b}_1) = \Delta E_3 + E(\mathbf{0}; \mathbf{b}_1) \quad (22)$$

【 0 0 6 5 】

バイナリパターンの最適化の例を説明する。図4(a)を使って図3のアルゴリズムの簡単な例を提示する。図4(a)は、0-1二次計画問題に対する探索木構造の例である。ピヴォットノードの下限を計算した後で、ピヴォットノードの子ノードを探索からスキップすることができる。入力画像の数は、 $M = 2$ である。バイナリパターンの数は $N = 4$ である。与えられたパラメータは、式(23)及び式(24)である。最初のピヴォットノード[0100]に到達するまで4つのノードが計算され、一時的な最適コスト $E_{opt} = 16$ を得る。

そして、ピヴォットノード[0100]で、ノードのコストと $E = -2$ を計算し、下限 $E + E = 35$ を得る。この下限は $E_{opt} = 16$ よりも大きいので、[0100]の子ノードをカットすることができる。同じ方法により、次のピヴォットノード[1000]の子ノードもカットすることができる。最終的には、フルサーチでは $2^4 = 16$ ノードが必要となるが、6ノードを計算することによって最適ビット[0010]及び最適コスト $E_{opt} = 16$ を得る。

20

【 0 0 6 6 】

【 数 1 0 】

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2 & 10 & 4 & 4 \\ 8 & 7 & 10 & 8 \end{bmatrix}^T \quad (23)$$

$$\mathbf{f} = [10, 11]^T \quad (24)$$

【 0 0 6 7 】

計算点のサンプリングについて説明する。PSOを使った各小片の計算は、すべてのピクセル(x,y)に対するEの計算が必要である。しかしながら、ピクセルの数はイメージサイズ $W \times H$ に比例し、その計算はコンピュータによる集中的なものとなる。よって、我々は、Kランダムサンプリングによって決定された少ない数のピクセルを計算することのみによって計算するためのコンピュータ時間を加速させる。サンプリングピクセルを評価点(E_P)という。

30

【 0 0 6 8 】

各ノードのカットによる効率化について説明する。いろいろなビット数 ($N = 8, 12, 16, 20, 24$) の100個の数値例をテストすることで分岐探索法の効率化をする。表1は、サーチノード数の比較を示すリストである。これは、各アルゴリズムに対するサーチノードを示す。そして、(・)は、フルサーチと比較したサーチノードの要素を示す。表中、「フル」はフルサーチを示す。「 E_1 」「 E_2 」及び「 E_3 」は、それぞれ、式(19)、式(20)及び式(22)における下限 E_1 、 E_2 及び E_3 に関する分岐限定法の結果を示す。図4(b)は、表1の結果をグラフ化したものを示す。フルサーチと、 E_1 、 E_2 及び E_3 によってカットされたときのサーチノード数を示す。

40

【 0 0 6 9 】

表1と図4(b)の結果より、サーチノード数を効率よく減らせることができる。特に、 E_3 を使うことで、サーチ効率を大幅に良くすることができる。20ビットを使用することで、探索ノード数が2,046分の1に削減される。ここで、分岐限定法を使って得られた $\min E$ と b は、フルサーチの結果に等しい。

【 0 0 7 0 】

50

【表 1】

ビット	フル	ΔE_1	ΔE_2	ΔE_3
8	256	228.85	84.30	49.62
12	4096	1820.76	231.91	116.70
16	66536	13098.39	548.30	248.54
20	1048576	113162.17	1527.36	512.30
24	16777216	671769.65	2820.28	932.99

【0071】

図5～図9を参照して、シミュレーション結果を説明する。

【0072】

図5は、本願発明による2視点の場合の一例を示す。図5(a)は、第1視点(例えば左目側)を示す。図5(b)は、第2視点(例えば右目側)を示す。共に、サブフレームの数は8であり、減っておらず、高画質である。また、完全に黒いフレームはなく、ちらつきがない。図5(a)と(b)で、表示される画像は同じであり、既存のプロジェクタで表示することができる。メガネを変えるだけでよい。なお、従来技術では、図15(b)にあるように、2視点ではサブフレームは半減し、4となっていた。

【0073】

図5(c)にあるように、右目側と左目側で、表示画像に同期して透過部の中間状態の透過率を変更するだけで、各視点に応じた画像をえることができる。なお、従来技術では、図15(c)にあるように、半分のサブフレームのみを利用することとなった。

【0074】

図6は、サブフレーム8枚で、3視点の場合のシミュレーション例を示す。(a)は単純な時分割、(b)は提案法の初期状態、(c)は提案法の30反復後のものを示す。

【0075】

(a)単純な時分割では、8枚の画像をプロジェクタで高速に投影し、第1及び第2視点で3枚ずつのサブフレームを使用し、第3視点には2枚しかサブフレームを割り当てていない。そのため、第3視点では、投影できる情報量が少なく、画質が急激に劣化している。単純な時分割でのエラーの度合いは、13.60である。

【0076】

(c)提案法によれば、全8枚の画像を3視点に利用することができる。すなわち、各視点で共通する画像データを使いまわすことができている。これにより、投影パターンは各視点で混ざったような不自然な画像データ列となるが、発明したメガネで通してみると高画質な映像がちゃんと表示される。初期値でのエラーの度合いが13.66であったところ、30反復後のエラーの度合いは10.58となった。よって、提案法によって大幅に画質が改善することを示す。さらに、各視点での画質が極端に変化していない。

【0077】

図7は、ランダムサンプリングパラメータKの異なる値によるPSOアルゴリズムの収束を示す。(a)K=50、(b)K=200、(c)K=1000である。Kが増加すると、ピクセルの全体に対する推定された計算が改善する。

【0078】

図8は、サブフレームを時空間フーリエ解析したものである。XY軸に加えて、時間軸を考慮している。(a)、(b)、(c)は、3つの視点における解析を示す。提案法は、時間軸方向で高周波成分が少ない。よって、ちらつきが少ない。

【0079】

図9は、5視点の場合を示す。これは12枚のプロジェクタの投影パターンを5視点に割り振っている。(a)は、入力画像を示す。(b)は、単純な時分割によるものを示す。各視点に2枚か3枚しかパターンを割り当てることができないため、大きな量子化誤差が生じ、画質が非常に悪い。(c)は、提案法での初期状態を示す。パラメータは、M =

10

20

30

40

50

5、 $N = 12$ ビットで $K = 1000$ である。(d) は、30 反復後の状態を示す。提案法では、濃淡値がきちんと表示されている。エラーの度合いは、(b) 単純な時分割が 15.7 であったところ、(d) では 5.9 となった。よって、提案法が画質を大幅に改善していることがわかる。このように、提案法は、多視点映像の投影において顕著に画質が有利である。

【0080】

図10～図12を使って、具体的な実装例について説明する。

【0081】

図10は、開発した試作品を示す。(a)にあるように従来のメガネのLCDシャッターを使用し、(b)にあるように構成した。LCDシャッターの透過率は、DSPによって生成されたPWM信号によってコントロールしている。シャッターのOn/Offではなく、透過率を自由に制御できる。図10(c)は、回路図である。

【0082】

図11は、3視点の場合を示す。(a)は、単純な時分割を示す。(b)は、提案法によるものを示す。画質は、飛躍的に向上している。さらに、各視点では、黒いフレームがなく、チラツキが大幅に抑えられている。

【0083】

図12は、5視点の場合を示す。図9の場合と同様に、12枚のサブフレームを使用する。(a)は、視点の一つについて、上から、従来の単純な時分割、従来の黒いフレームの連続を防いだもの、そして、提案法によるものの12枚のフレームを示す。従来法では、1視点に3枚しか割り振ることができず、投影のほとんどが黒フレームで占められている。これは強烈なチラツキ(フリッカ)を引き起こす。従来法は、視点数が増えるとチラツキが特にひどくなる。提案法では、5視点でも、なだらかなパターン変化を投影することとなり、従来方式のような黒フレームが少なくなり、チラツキが大幅に抑えられている。両者を見比べたところ、提案法では、実際に優位にチラツキが少ないことを確認した。(b)は、5つの視点で得られる画像を比較するものである。従来法に比べ、提案法は大幅に画質がよい。

【0084】

なお、図10では、液晶シャッターを利用し、開閉の中間状態をPWM制御により実現している。従来では液晶シャッターの開閉(On/Off, 0/1)であった。提案法では、その中間状態0~1を許容する。また、例えば、機械式シャッターで実現してもよい。この場合、例えば、中間状態はシャッター開閉面積で制御すればよい。

【0085】

なお、図13にあるように、多視点プロジェクタとして活用してもよい。(a)は試作品を撮影したもので、(b)は概略図である。ライブや展示会場などの多数の人に対して、その人の位置に応じた複数の映像を提示させることができる。たとえば、演奏者や建造物・作品などである。従来のプロジェクションマッピングでは、一つの平面映像を投影するため視点によっては不自然になっていた。

【0086】

また、裸眼多視点ディスプレイとして活用してもよい。液晶シャッターとディスプレイを組み合わせることで裸眼多視点ディスプレイを実現することが可能である。従来ではミラーやディスプレイをモーターで高速回転・同期表示させることで裸眼多視点ディスプレイを実現していたが、板状のものを高速回転させることは装置を大きくすることが困難で、騒音・安全上に問題があり、とても実用化できるものではない。他方、何十台ものプロジェクタを投影する方式もあるがコスト・サイズに難がある。一方、本方式では1台のプロジェクタで回転させずとも光源のコントロールで裸眼多視点ディスプレイが可能となり、サイズの制約もない。

【符号の説明】

【0087】

1 画像表示システム、3 画像生成装置、5 表示装置、7 透過装置、11 入力

10

20

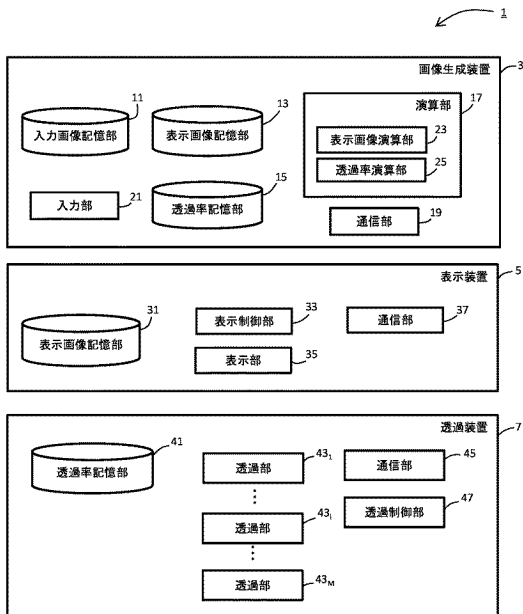
30

40

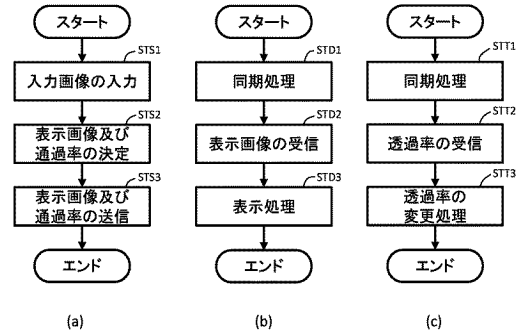
50

画像記憶部、13、31 表示画像記憶部、15、41 透過率記憶部、17 演算部、
19、37、45 通信部、21 入力部、23 表示画像演算部、25 透過率演算部、
33 表示制御部、35 表示部、43 透過部、47 透過制御部

【図1】



【図2】



【図3】

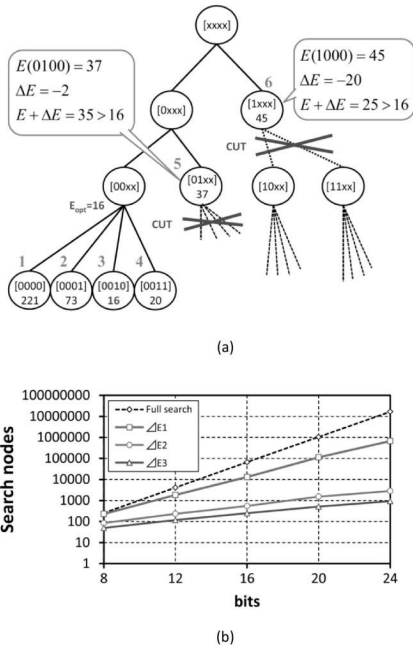
Input: $Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$ and $q \in \mathbb{R}^n$
Output: $E_{opt} = \min E(\mathbf{b})$ and \mathbf{b}_{opt}

```

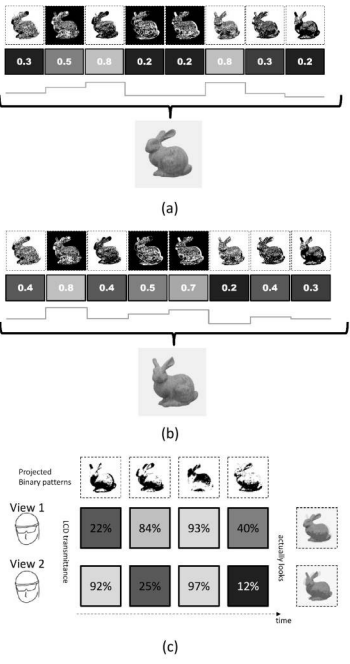
1:  $b \leftarrow 0$ 
2:  $E_{opt} \leftarrow \infty$ 
3: while  $b < 2^n$  do
4:   current search node  $\mathbf{b}$  from value  $b$ 
5:   if  $\mathbf{b}$  is pivot node then
6:     compute  $E = E(\mathbf{0}; \mathbf{b}_1)$ 
7:     compute  $\Delta E$ 
8:     if  $E + \Delta E \geq E_{opt}$  then
9:       skip child node of  $\mathbf{b}$ ;  $b \leftarrow b + 2^{n-2}$ 
10:    end if
11:  else
12:    compute  $E = E(\mathbf{b}_2; \mathbf{b}_1)$ 
13:    if  $E < E_{opt}$  then
14:       $E_{opt} \leftarrow E$ 
15:       $\mathbf{b}_{opt} \leftarrow \mathbf{b}$ 
16:    end if
17:     $b \leftarrow b + 1$ 
18:  end if
19: end while

```

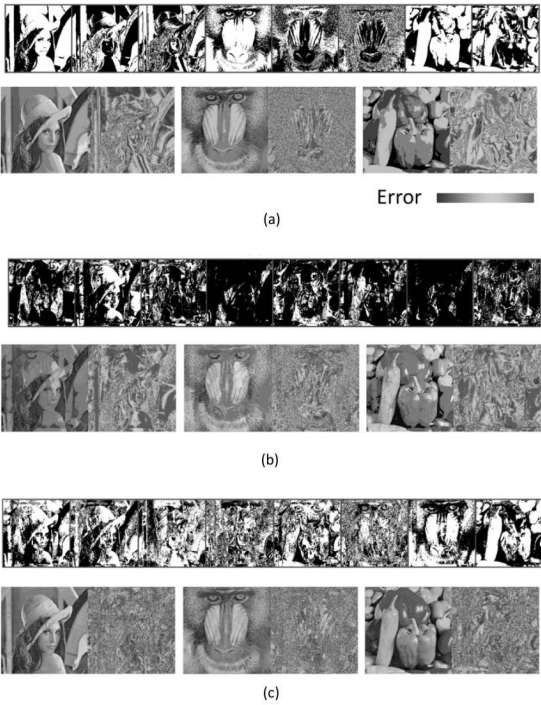
【 図 4 】



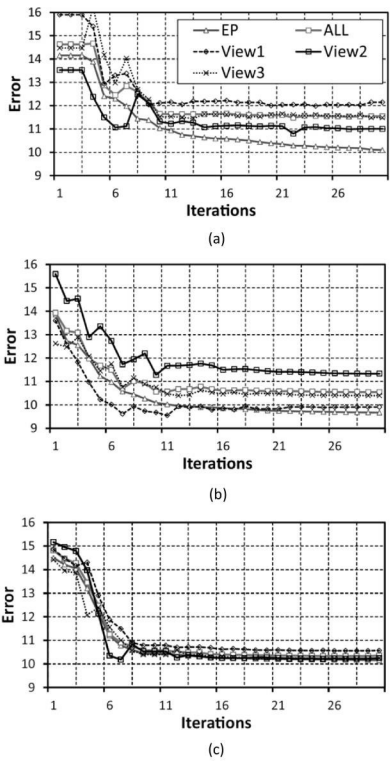
【 図 5 】



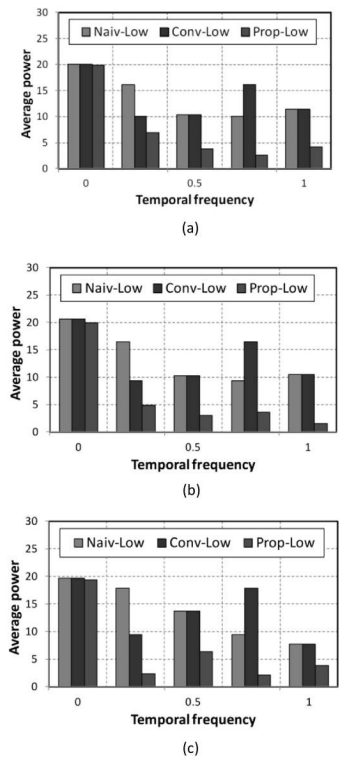
【 図 6 】



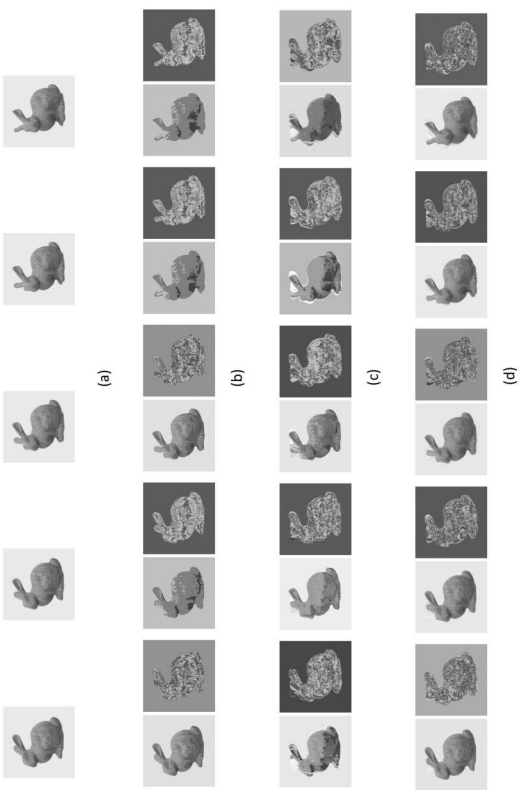
【 図 7 】



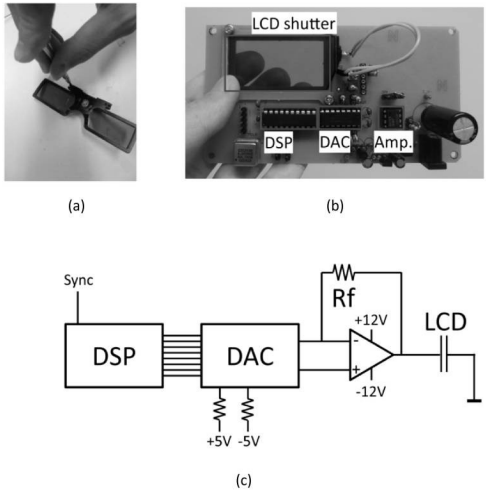
【図 8】



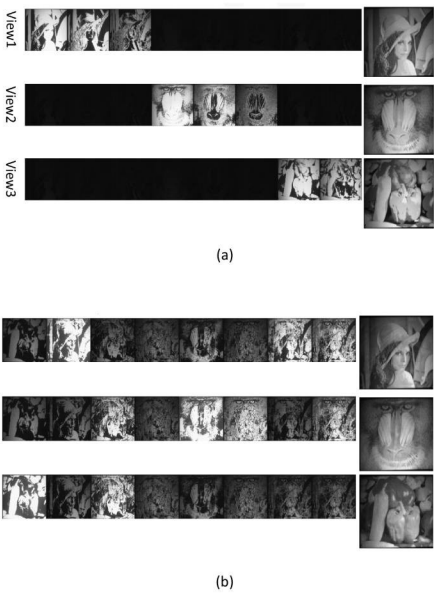
【図 9】



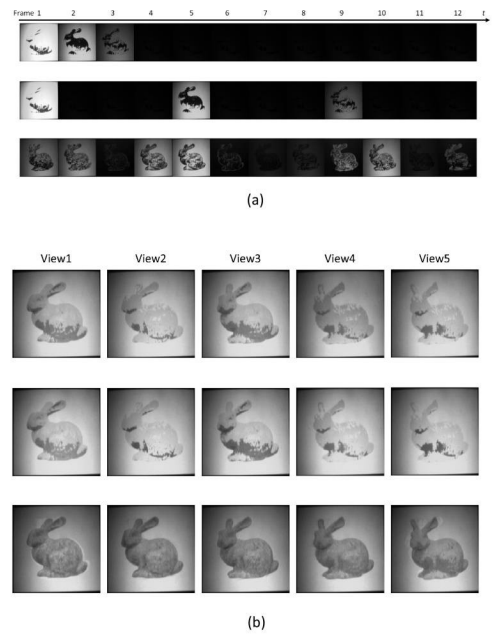
【図 10】



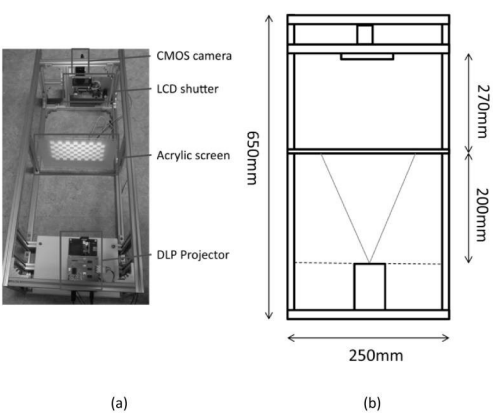
【図 11】



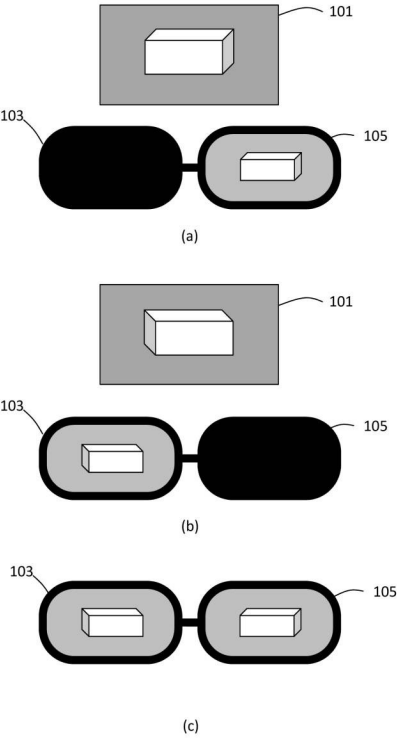
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】

