

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4494690号
(P4494690)

(45) 発行日 平成22年6月30日(2010.6.30)

(24) 登録日 平成22年4月16日(2010.4.16)

(51) Int.Cl.

F 1

HO4N	5/238	(2006.01)	HO 4 N	5/238	Z
HO1L	27/14	(2006.01)	HO 1 L	27/14	D
HO4N	1/407	(2006.01)	HO 4 N	1/40	1 O 1 E
HO4N	5/243	(2006.01)	HO 4 N	5/243	

請求項の数 34 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2001-504676 (P2001-504676)
(86) (22) 出願日	平成12年5月26日 (2000.5.26)
(65) 公表番号	特表2003-524316 (P2003-524316A)
(43) 公表日	平成15年8月12日 (2003.8.12)
(86) 國際出願番号	PCT/US2000/014515
(87) 國際公開番号	W02000/079784
(87) 國際公開日	平成12年12月28日 (2000.12.28)
審査請求日	平成19年4月18日 (2007.4.18)
(31) 優先権主張番号	09/326,422
(32) 優先日	平成11年6月4日 (1999.6.4)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	500382473 ザ トラスティーズ オブ コロンビア ユニヴァーシティ イン ザ シティ オ ブ ニューヨーク アメリカ合衆国 ニューヨーク州 100 27-6699 ニューヨーク ブロード ウェイ アンド ワンハンドレッドシック スティーンズ ストリート (番地なし)
(74) 代理人	100072051 弁理士 杉村 興作
(74) 代理人	100147485 弁理士 杉村 慎司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】空間的に変動する露出を用いて高ダイナミックレンジ画像化をする装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高ダイナミックレンジ画像化システムであって、

光検出素子のアレイを具え、シーンの画像をセンシングし、前記光検出素子の各々に衝突する光の強度を表す対応する画素値を供給し、前記光検出素子の対応するものに衝突する光の強度が第1しきい値レベルより大きい場合、飽和画素値を供給し、前記光検出素子の対応するものに衝突する光の強度が第2しきい値レベルより小さい場合、黒画素値を供給し、前記シーンの画像の光の強度の範囲に比べて低いダイナミックレンジを有する画像センサと、

前記シーンと前記画像センサの光検出素子のアレイとの間に置かれた、多数の光透過セルを有するマスクであって、該マスクによって前記光検出素子へと送られる前記シーンの光の強度を減衰させ、前記多数の光透過セルは、前記光検出素子へと送られる前記シーンの光の強度が前記光検出素子のアレイに対して空間的に変化する輝度レベルの量で減衰するように構成され、これにより前記シーンが前記光検出素子に対して空間的に変化するよう露出し、前記光検出素子の各々が、前記光検出素子に衝突する光が通過するセルの透明度を示す対応する露出値を有するマスクと、

前記光検出素子に対応する複数の露出値を格納する第1メモリと、

前記画像センサに結合され、これによって供給される画素値を受け、前記第1メモリに結合され、前記画素値に対応する露出値を受け、

前記露出値に基づいて複数の画素からなる領域から得られる画素値をマッピングして該領

域に対して正規化した画素値を計算することにより、当該画素値の正規化を行う正規化器を具える画像プロセッサと、
を具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

前記正規化器が、前記画素値の各々を、前記画素値によって表される光の強度を受ける前記光検出素子に対応する露出値で割り、対応する正規化画素値を得ることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

10

前記光検出素子に対応する露出値を固定し、前記画像プロセッサが、さらに、前記正規化画素値を補間し、前記光検出素子のアレイに重なった第 2 アレイの個々の位置における補間画素値を得る補間器を具える、

ことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

前記画像プロセッサの補間器が、飽和画素値及び黒画素値に対応する正規化画素値を除く前記正規化画素値を補間することを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

20

前記画像プロセッサの補間器が、個々の重み付け値を掛けた前記正規化画素値を補間することを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

前記重み付け値を、対応する画素値の個々の信号対雑音比としたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 7】

請求項 3 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

前記画像プロセッサの補間器が、補間フィルタを前記正規化画素値に用いることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

30

【請求項 8】

請求項 3 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

前記アレイの光検出素子を、垂直方向及び水平方向において延在する、間隔を置いて直交するラインによって規定される第 1 格子の個々の交点において配置し、前記補間器が、垂直方向及び水平方向において延在する、間隔を置いて直交するラインによって規定される第 2 格子の個々の交点における補間画素値を得るもので、前記第 1 及び第 2 格子が互いに重なることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記画像プロセッサの補間器が、前記第 1 格子の各々の異なった領域における正規化画素値を補間し、各々の領域が、隣接した領域と重なると共に、前記第 1 格子の予め決められた数の交点を包含することを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

40

【請求項 10】

請求項 9 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

前記マスクが、異なった透明度を有するセルが反復して配置された同一のグループを具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

前記マスクのセルが反復して配置された同一のグループの各々が、異なった透明度を有する 4 つの隣接するセルから成り、各々のセルが、前記光検出素子の異なったものの露出

50

を制御し、前記第1及び第2格子が、同一の寸法を有し、これらの格子を、水平方向において2分の1格子位置、垂直方向において2分の1格子位置だけ互いに移動させたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項12】

請求項9に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記画像プロセッサの補間器が、前記第1格子の各々の異なった領域における個々の補間画素値を、飽和画素値又は黒画素値に対応しない領域におけるすべての正規化画素値の平均をとることによって得ることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項13】

請求項1に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記画像センサの応答関数を格納する第2メモリをさらに具え、前記画像プロセッサを前記第2メモリに結合して前記応答関数を受けるようにし、前記画像プロセッサが、前記画像センサによって供給された画素値を、前記画素値が前記正規化器によって正規化される前に、前記応答関数に従って線形応答画素値に変換する較正器をさらに具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項14】

請求項3に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記画像プロセッサに結合され、前記補間画素値を受けると共に格納する出力画像メモリをさらに具える、これを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項15】

請求項1に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記シーンとマスクとの間に配置された、前記シーンの画像を前記マスクにおいて投影する第1レンズシステムと、前記マスクを透過した前記シーンの画像を前記光検出素子のアレイにおいて投影する第2レンズシステムとをさらに具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項16】

請求項15に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクと隣接し、前記第1レンズシステムによって合焦された光の指向性を除去する光拡散器をさらに具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項17】

請求項1に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記光検出素子のアレイを、半導体素子の画像検出素子としたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項18】

請求項17に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記半導体素子を、電荷結合素子光検出アレイとしたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項19】

請求項18に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記半導体素子を、CMOS光検出アレイとしたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項20】

請求項17に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクを、前記光検出素子と共に、同じ基板上に集積したことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項21】

請求項1に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクを、非線形光学材料で形成したことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項22】

高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、

光検出素子のアレイを具え、シーンの画像をセンシングし、前記光検出素子の各々に衝

10

20

30

40

50

突する光の強度を表す対応する画素値を供給し、前記光検出素子の対応するものに衝突する光の強度が第1しきい値レベルより大きい場合、飽和画素値を供給し、前記光検出素子の対応するものに衝突する光の強度が第2しきい値レベルより小さい場合、黒画素値を供給し、前記場面の画像の光の強度の範囲に比べて低いダイナミックレンジを有する画像センサと、

前記シーンと前記画像センサの光検出素子のアレイとの間に置かれた、多数の光透過セルを有するマスクであって、該マスクによって前記光検出素子へと送られる前記シーンの光の強度を減衰させ、前記多数の光透過セルは、前記光検出素子へと送られる前記シーンの光の強度が前記光検出素子のアレイに対して空間的に変化する輝度レベルの量で減衰するように構成され、これにより前記シーンが前記光検出素子に対して空間的に変化するよう露出し、前記光検出素子の各々が、前記光検出素子に衝突する光が通過するセルの透明度を示す対応する露出値を有し、該マスクのセルの各々の露出値が、個々の露出制御信号を該マスクに用いることによって変更可能である、マスクと、

前記画像センサに結合して、該画像センサにより供給される画素値を受信し、該画像センサの対応する領域からの飽和した画素値及び黒の画素値の数を最少にする露出制御信号を計算して前記マスクに与え、さらに与えられた露出制御信号に対応する露出値を供給するマスクコントローラと、

前記画像センサに結合され、これによって供給される画素値を受け、前記第1メモリに結合され、前記画素値に対応する露出値を受け、

前記露出値に基づいて複数の画素からなる領域から得られる画素値をマッピングして該領域に対して正規化した画素値を計算することにより、当該画素値の正規化を行う正規化器を具える画像プロセッサと、

を具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項23】

請求項22に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記画像プロセッサの正規化器が、前記画素値の各々を、前記画素値によって表される光の強度を受ける前記光検出素子に対応する露出値で割り、対応する正規化画素値を得ることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項24】

請求項22に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクコントローラに結合され、前記露出値を受けると共に格納する露出パターンメモリをさらに具え、前記画像プロセッサを前記露出パターンメモリに結合して前記画素センサからの画素値に対応する露出値を受けるようにしたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項25】

請求項22に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記画像プロセッサの正規化器に結合された、前記正規化画素値を受けると共に格納する出力画像メモリをさらに具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項26】

請求項24に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記露出パターンメモリに結合され、前記露出パターンメモリに格納された露出値を受け、平滑化フィルタを前記露出値に用いて、前記正規化画素値に対応する平滑化露出値を得る平滑化装置と、

前記画像プロセッサの正規化器に結合され、前記正規化画素値を受け、前記正規化画素値の各々に対応する平滑化露出値を掛け、モニタ画像画素値を得る露出再供給装置と、

前記露出再供給装置に結合され、前記モニタ画像画素値を供給するモニタ画像発生器とをさらに具える、

ことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項27】

請求項22に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクコントローラが、前記露出制御信号を計算し、前記画像センサによって供給された平均画素レベ

10

20

30

40

50

ルの信号対雑音比を最大にすることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 2 8】

請求項 2 2 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクコントローラが、前記露出制御信号を計算し、前記画像センサの光検出素子に対応する露出値の空間的平滑さを最大にすることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 2 9】

請求項 2 2 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクが液晶アレイを具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 3 0】

請求項 2 2 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記シーンとマスクとの間に配置された、前記シーンの画像を前記マスクにおいて投影する第 1 レンズシステムと、前記マスクを透過した前記場面の画像を前記光検出素子のアレイにおいて投影する第 2 レンズシステムとをさらに具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。 10

【請求項 3 1】

請求項 3 0 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記マスクと隣接し、前記マスクにおいて合焦された光の指向性を除去する光拡散器をさらに具えることを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 3 2】

請求項 2 2 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記光検出素子のアレイを半導体素子の検出素子としたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。 20

【請求項 3 3】

請求項 3 2 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記半導体素子の検出素子を電荷結合光検出アレイとしたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。

【請求項 3 4】

請求項 3 2 に記載の高ダイナミックレンジ画像化システムにおいて、前記半導体素子の検出素子を C M O S 光検出アレイとしたことを特徴とする高ダイナミックレンジ画像化システム。 30

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

本発明の背景

本発明は、あるシーン（場面）の画像を捕捉する装置及び方法に関し、より詳細には、低ダイナミックレンジの画像センサを使って高ダイナミックレンジの画像を捕捉する装置及び方法に関する。

【0 0 0 2】

あらゆる現実世界のシーンが、仮想的には極めて広いレンジの輝度値を生成する。それとは対照的に既知の画像センシング（検出）デバイスは極めて限定されたダイナミックレンジを持つ。例えば、典型的には、ビデオセンサは 8 ビット又はそれ以下のグレイレベル又は色情報を生成する。グレイスケール画像の場合には 8 ビットは僅か 2 5 6 個の離散的なグレイレベルを供給するに過ぎず、それは現実の日常シーンの大部分の精密な詳細を捕捉するのには十分でない。 40

【0 0 0 3】

低ダイナミックレンジの画像センサによって高ダイナミックレンジの画像を捕捉するという問題の既知の解決策は、シーンからの光の露出（露光）を変動させるながら、各局所的なシーン領域に対し複数の画像測定を行う、というものである。そのような露出変動は、異なる露出で複数の場面の画像を継続的にとって、次いでそれら複数の画像を結合して单一の高ダイナミックレンジの画像にすることにより、典型的に達成される。或る場面を画像化するときにダイナミックレンジを拡大するために、一時的に露出を変動させる技術 50

については、例えば1995年05月30日付のM. Konishi他による米国特許第5,420,635号、1995年10月03日付のA. Morimuraによる米国特許第5,455,621号、1998年09月01日付のE. Ikedaによる米国特許第5,801,773号、1997年06月10日付のK. Takahashi他による米国特許第5,638,118号、1994年05月03日付のY. T. Tsaiによる米国特許第5,309,243号、1995年05月刊行Proceedings of IST's 48th Annual Conference, pp. 422-428所載のMann及びPicardによる "Being 'Undigital' with Digital Cameras: Extending Dynamic Range by Combining Differently Exposed Pictures" という文献、1997年08月刊行Proceedings of ACM SIGGRAPH, 1997, pp. 369-378所載のDebevec及びMalikによる "Recording High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs" という文献、1999年06月刊行IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR99)所載のT. Misunaga及びS. Nayarによる "Radiometric Self Calibration" という文献に記載がある。しかし露出の一時的な変化の間に複数の画像を取得することに要する技術は、基本的な問題点として、露出の変化の間にシーンの変動が起こり得る。換言すればこれらの技術は、シーンの輝度値が一定の静止場面に対してのみ有用である。更にまた、露出の変化の間には、画像化デバイス及びそのコンポネントの位置及び方向が一定のままでなければならない。最後に、すべての所要の画像を継続的に捕捉するためにはかなり長時間が必要であるから、一時的な露出を変動させる技術は実時間への応用には不適当である。10

【0004】

低ダイナミックレンジの画像センサによって高ダイナミックレンジの画像を捕捉するという問題のもう1つの既知の解決策は、種々の異なる露出を使って複数のシーンの画像を同時に捕捉することである。そのような技術については例えばProceeding of the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 1997所載のYamada他による "Effectiveness of Video Camera Dynamic Range Expansion for Lane Detection" という文献に開示されている。典型的には2個の光学的に整列したCCD光感知アレイが使われて1つのシーンの同じ画像が異なる露出で同時に捕捉される。シーンからの光はビームスプリッタにより分割されて、両方のCCD光感知アレイに向かわれる。捕捉された2個の画像はポストプロセッサにより結合されて、1個の高ダイナミックレンジ画像となる。この技術は複雑で高価な光学技術を必要とするので不利であり、2つより多い異なる露出で画像を捕捉することは困難である。20

【0005】

電荷結合画像化デバイスのダイナミックレンジを増す努力が続けられてきた。M. Murakoshiによる特開昭59-217,358号には画像化デバイスの各画素に対し2個以上の電荷結合デバイス（CCD）光検出セルの使用が記載されている。1つの画素の各光検出セルはそれぞれ異なる感光度を持つので、シーンからの光に露出されたときに、幾つかのセルは、他のセルに比して飽和に達する時間が長くなる。このやり方で1つの画素のすべての光検出セル内の記憶光生成電荷が結合されると、該画素のダイナミックレンジは効果的に増大する。しかしこのMurakoshi文献は低ダイナミックレンジの画像センサを用いて高ダイナミックレンジの画像を捕捉するという問題の解決を目指すものではない。

【0006】

J. Ross他による米国特許第4,590,367号は、光学デバイスの感光領域に隣接し、電気的に制御される光変調器を使って、光学デバイスのダイナミックレンジを拡大し、画像化された光学的なシーンから入射する光の明るさを減らして、ダイナミックレンジ又は感光領域を越えないようにする装置を開示する。J. Ross他の文献に記載の光変調器は、個別の制御信号に応じて光の増幅又は減衰の制御をする個別の画素を有する。従って、変調器の各画素から出る光の強さを検出した検出レベルは、輝度レベルを検出器の定格のダイナミックレンジへするために、変調器の各画素の増幅又は減衰を調節するための、制御信号の生成に用いられる。こうして、幅の広い入力光の強さのダイナミックレンジは、1画素ごとに、狭いダイナミックレンジに縮小される。しかしJ. Ross他の文献の装置及び方法は投影された光を使う3次元測定を簡単化するのが目的であって、該文献は高ダイナミックレンジ画像をどのようにして捕捉するかには触れていない。4050

【0007】

高ダイナミックレンジ画像を捕捉する既知のシステムのもう1つの問題点は、低ダイナミックレンジのディスプレイを使ってこのような画像を表示することである。ビデオモニター、テレビジョン、コンピュータのディスプレイ等のような市販のディスプレイの大半は低ダイナミックレンジを持つ。それ故に、高ダイナミックレンジ画像が得られた後では、適切な可視情報を保存しながら、低ダイナミックレンジのディスプレイ上に画像を表示するのにマッピングを行う方法を使う必要がある。換言すれば、場面の詳細を保存しながら、捕捉された画像のダイナミックレンジを圧縮しなければならない。

【0008】

捕捉した画像のダイナミックレンジを圧縮する既知の技法は、トーンカーブ（またはレスポンス曲線）の再生であり、そこでは、適切なトーンカーブを用いて、高いダイナミックレンジのカラースケールを、低いダイナミックレンジのカラースケールへとマッピングする。この種の圧縮の例には、対数スケール変換およびガンマ補正がある。しかしながら、トーンカーブ再生圧縮は、シーンの視覚的な詳細を維持するものではない。

更に技巧的なトーンカーブ再生技術は、画像の色ヒストグラムを積分することによりトーンカーブを生成するヒストグラム等化である。ヒストグラム等化の結果は色空間の画像中の色の更に一様な再分配をもたらすが、しかしこの技術は、極めて明るい（又は極めて暗い）画素のような幾つかの局所領域を持つ画像の詳細を保存することはできず、そのような局所領域は共に、グレイレベルの全レンジに跨がり得る。それ故に、ヒストグラム等化の過程によって、個々の領域の内部の詳細の質が向上することはない。

【0009】

捕捉された画像のダイナミックレンジを圧縮するもう1つの技術は、1998年のSIGGRAPH 98 Proceedings, pp. 287-298所載のPattanaik他による "A Multiscale Model of Adaptation and Spatial Vision for Realistic Image Display" という文献に開示されている。この技術は画像データを数個の周波数成分画像、例えばラプラスのピラミッド、に分割する。それから各周波数成分が異なるやり方で変調された後に画像が組み立て直される。この技術の利点は、ヒストグラム等化とは異なり、絶対画素値がさほど寄与しない、という点である。しかしこの技術は周波数成分画像を得るために大量のメモリ及び膨大な計算を必要とする、という不都合がある。

【0010】

従って、相対的に低いダイナミックレンジの画像センサを使って高ダイナミックレンジの画像を捕捉し、また、捕捉した高ダイナミックレンジの画像を、相対的に低いダイナミックレンジのディスプレイ・デバイスによって表示するために、詳細を保存して圧縮する装置及び方法を必要とし、それは上述の従来技術の問題点を克服するものである。

【0011】**本発明の概要**

本発明によれば、光検出素子のアレイを持つ画像センサを含む高ダイナミックレンジの画像化システムが提供される。この画像センサはシーンの画像を検出して、その光検出素子の各々に当たる光の強さを表す、対応する画素値を供給する。画像センサは、対応する光検出素子に当たる光の強さが第1のしきい値レベルより大きい場合には、飽和した画素値を供給し、さらに、画像センサは、対応する光検出素子に当たる光の強さが第2のしきい値レベルより小さい場合には、黒の画素値を供給する。この画像センサは、シーンの画像における光の強さのレンジと比べて、相対的に低いダイナミックレンジを有する。

【0012】

このシステムは、シーンと画像センサとの間に配置したマスクを具える。このマスクは、複数の光を伝達するセルを持ち、その各々が、画像センサの1つ以上の光検出素子の各々の、シーンからの光の露出を制御する。光検出素子の各々は、光検出素子に当たる光が通過するセルの透明度によって定まる対応する露出値を有する。

【0013】

このシステムは更に、光検出素子に対応する露出値を格納する第1のメモリと画像プロ

10

20

30

40

50

セッサとを有し、この画像プロセッサは、画像センサに結合して、それにより供給される画素値を受信し、さらに、第1のメモリにも結合して、光検出素子に対応する露出値を受信する。画像プロセッサは、画素値を露出値の関数によりマッピングして対応する正規化された画素値を導くための正規化器を持つ。そのようなマッピングの一例としては、各画素値をそれぞれの露出値で除算するものがある。

【0014】

本発明の第1の典型的実施例によれば、光検出素子に対応する露出値を固定し、画像プロセッサは、正規化された画素値を補間して、光検出素子のアレイと一部分重なり合う第2のアレイのそれぞれの位置における補間された画素値を得るために補間器を更に有する。この補間処理は、飽和した画素値又は黒の画素値に対応する正規化された画素値については省略することができる。画像センサの応答関数が線型でない場合には、システムは画像センサの応答関数を格納するための第2のメモリを有することもでき、画像プロセッサは、第2のメモリに結合して応答関数を受信し、さらに、較正手段を更に有して、応答関数に従って画像センサにより供給される画素値を、該画素値を正規化器が正規化する前に線型化する。10

【0015】

本発明の第2の典型的実施例によれば、マスクの各セルの露出値はそれぞれの露出制御信号をマスクに与えることにより変更することができる。このシステムはマスクコントローラを有し、このマスクコントローラは、画像センサに結合して、画像センサにより供給される画素値を受信し、画像センサの対応する領域からの飽和した画素値及び黒の画素値の数を最少にする露出制御信号を計算してマスクに与え、さらに与えられた露出制御信号に対応する露出値を供給する。次いで正規化器は画像センサからの各画素値を正規化して、シーンの輝度画像を表す正規化された画素値を導き出す。20

【0016】

露出パターンメモリに結合して、その中に格納された露出値を受信する平滑器を備え、さらに、平滑化フィルタを露出値に適用して、正規化された画素値に対応する滑らかな露出値を得ることによって、捕捉された高ダイナミックレンジの画像のダイナミックレンジは圧縮されて、相対的に低ダイナミックレンジのディスプレイ上で表示することができるようになる。更には、画像プロセッサの正規化器に結合する露出再アプリケーターを設けて、正規化された画素値を受信して、それら正規化された画素値の各々に対応する平滑化された露出値を乗算し、それにより、圧縮されたダイナミックレンジを持つが画像の詳細には殆ど喪失のないモニター画像の画素値を導く。30

【0017】

本発明の第1の典型的実施例の1つの代案によれば、マスクは使わずに、画像センサの光検出素子のアレイが、入射光に対する感光度の空間的に変動するパターンと、それぞれの感光度を表す対応する感光度値とを持つようにする。この感光度値は第1のメモリに格納され、画像センサからのそれぞれの画素値と共に正規化器によって使われて、対応する正規化された画素値を導き、また正規化された画素値を補間する補間器を設けて、光検出素子のアレイと一部分重なり合う第2のアレイの位置に補間された画素値を導く。

【0018】

本発明のもう1つ別の態様によれば高ダイナミックレンジの画像化方法が提供され、該方法は、空間的に変動する露出を用いて、光検出素子のアレイを持つ画像センサにシーンの画像を露出するステップを含む。画像センサは、画像をセンシングして、それぞれの光検出素子に当たる光の強さを表す対応する画素値を供給する。画像センサは、それぞれの光検出素子に当たる光の強さが第1のしきい値レベルより大きい場合には飽和した画素値を供給し、また、画像センサは、それぞれの光検出素子に当たる光の強さが第2のしきい値レベルより小さい場合には、黒の画素値を供給する。この画像センサは、シーンの光学画像における光の強さのレンジと比べて相対的に低いダイナミックレンジを有する。該方法は更に、それぞれの露出値を使って、画像センサにより供給される画素値を正規化するステップも含む。4050

【0019】

該方法の1つの態様によれば、空間的に変動する露出を用いて画像センサに露出するステップは、その各々が、それぞれ1個又はそれ以上の光検出素子が場面からの光に露出するのを制御する、複数の光を伝達するセルを持つマスクを使うステップを含む。光検出素子の各々は、光検出素子に当たる光が通過するセルの透明度を表す対応する露出値を持ち、また画像センサの供給する画素値を正規化するステップは、露出値の関数により画素値をマッピングするステップを含む。

【0020】

該方法のもう1つ別の態様では、光検出素子に対応する露出値は固定され、該方法は更に、正規化された画素値を補間して光検出素子のアレイと一部分重なり合う第2のアレイにおけるそれぞれの位置に補間された画素値を導くことを含む。10

【0021】

更に別の態様では、該方法は、画像センサの応答関数に従って画像センサにより供給される画素値を較正して、該画素値が正規化されるステップの前に該画素値を線型化するステップを含む。

【0022】

該方法の更にもう1つ別の態様では、光検出素子の各々に対応する露出値を、それぞれの露出制御信号をマスクに与えることにより変更することができる。該方法は、画像センサからの飽和した画素値及び黒の画素値の数を最少にするために、画像センサの供給する画素値から露出制御信号を計算して、その計算された露出制御信号をマスクに与えると同時に与えられた露出制御信号に対応する露出値を、正規化ステップで用いるために供給するステップを更に含む。20

【0023】

さらなる好適例では、この方法は、供給される露出制御信号に対応する露出値に平滑化フィルタを適用して、正規化した画素値に対応する平滑化した露出値を導出するステップを含む。そして、各正規化した画素値に、これに対応する平滑な露出値を乗算することによって、平滑化した露出値を正規化した画素値に再適用して、圧縮したダイナミックレンジを有するが、画像の視覚的細部情報は保持する画像を表現するモニタ画像の画素値を導出する。

【0024】

本発明のさらに他の要点によれば、フィルムカメラ内の写真フィルムのフレームを、カメラのシャッタと焦平面との間に配置した平面状のマスクを通したシーンの画像に露出させるステップを具えた、高ダイナミックレンジの画像化方法が提供される。このマスクは、各々がフィルムのそれぞれの領域の露出を制御する多数の光透過セルを有する。マスクの各セルが、このセルの透過率を示す関連の露出値を有する。この露出値は露出パターンメモリに記憶する。そして露出したフィルムを処理して、シーンのマスク画像が含まれるようにする。フィルムまたはそのプリント上に含まれるマスク画像を走査して、マスクのセルを通してフィルム上に露出したマスク画像の異なる領域を表現する画素値を得る。画素値で表現されるマスク画像を、露出値で表現されるマスクに合わせて整列して、各画素値がマスクのセルに関連する露出値に対応するようにして、この画素値で表現される領域は、このマスクのセルを通して露出したものである。そしてこれらの画素値を、対応する露出値を用いて正規化して、第1アレイのそれぞれの位置にある正規化した画素値を導出する。30

【0025】

この方法の一つの好適例は、正規化した画素値を補間して、第1アレイに重なった第2アレイの各位置の補間画素値を導出するさらなるステップを含む。この方法の他の好適例はさらに、フィルムの応答関数と、フィルム上に含まれるマスク画像を走査するのに用いた画像センサの応答関数とを組合せた応答関数に従って、画素値を較正するステップを含む。本発明の特徴及び効果は、以下の図面を参照した実施例の詳細な説明より明らかになる。40

【0026】

(実施例の詳細な説明)

以下、本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1に、本発明の第1好適例による画像化システム100の機能図を示す。画像化システム100はマスク101を具え、シーン(図示せず)からの入射光が、画像センサ3に当たる前にこのマスクを通過する。画像センサ3は、マスク101を透過したシーンの画像をセンシングして、これに対応する画素値を画像プロセッサ4に供給し、画像プロセッサ4は、応答関数メモリ6及び露出パターンメモリ5に結合され、そして高ダイナミックレンジのデータを出力画像メモリ7に供給する。マスク101は透明な材料の平板であり、これは入射光の波長に対して無色の特性を有し、かつ入射光2が通過する領域では、固定の透明度の空間的パターンを有する。本明細書で用いる「光」とは、ミリメートル波長領域からガンマ線領域までに広がるスペクトルを有する電磁放射のことを称する。画像センサ3は、光センサ素子(図示せず)のアレイを有する電荷結合素子(CCD)画像検出器を具えていることが好ましいが、写真フィルムを含めた他のいずれの種類の画像センサとすることもできる。一般に画像センサ3は、シーンから発する入射光2のレンジに比べて低いダイナミックレンジを有する。応答関数メモリ6に記憶した応答関数データは画像センサ3の入力/出力特性であり、これは前以て測定して、パラメータ形式または他の適切なデータ形式の早見表として応答関数メモリ6に記憶したものである。メモリ5に記憶した露出値は、各画素位置におけるマスクの透明度を示すものであり、画像センサ3が供給する画素毎に対応する露出値が存在する。これらの露出値は前以て測定して、生データまたは符号化データとして露出パターンメモリ5に記憶したものである。画像プロセッサ4は、画像センサ3が供給する画像値、応答関数メモリ6に記憶している応答関数、及び露出パターンメモリ5に記憶している露出値から、高ダイナミックレンジの画像データを導出する。出力画像メモリ7に記憶している高ダイナミックレンジの画像データは、これに対応するシーンの放射輝度(ラジアンス)値に比例する放射輝度値を有する。

【0027】

図2に、図1のシステムを実現したビデオカメラ200のハードウェア構成要素を示す。図2のカメラは、画像センシング部401を有し、これはシーンの画像をCCD光センサアレイ165の感光面に結像させるレンズ402と、画像の全体的な露出を制御する開口部403と、前記CCD光センサアレイ165の近傍に位置するマスク101と、CCD出力を調整してノイズを低減する前段増幅器404を具えている。前段増幅器404は、相関倍化回路、自動利得制御回路、ガンマ補正回路、及びニー(折点)回路のような、通常ビデオカメラに用いるいくつかのアナログ回路を具えている。図2の実施例のカメラは、画像センシング部401からの捕捉した画像に対応する信号をデジタル化するアナログ-デジタル変換器406を有する画像処理部405も具えている。このデジタル化した画像をフレームメモリ407に記憶し、このメモリは図1の出力画像メモリに相当する。高ダイナミックレンジの画像データの演算は処理装置411で実行し、この処理装置はフレームメモリ407、ROM409、及びRAM410のデータにアクセスする。ROM409は、露出値及び応答関数データ、並びに処理装置411用の命令を記憶するために用いる。フレームメモリ407の高ダイナミックレンジの画像データを演算したものを、デジタル-アナログ変換器408によってアナログ信号に変換し、デジタル-アナログ変換器408はアナログ信号をビデオ出力部412に供給する。ビデオ出力部412はビデオカメラのみに必要なものであり、これに相当するものは図1にはなく、前記変換したアナログ信号をビデオ信号に変換するビデオエンコーダ413を具えている。そしてこのビデオ信号を出力装置414に通し、出力装置414はビデオ出力415を供給する。

【0028】

図3に、図1の画像プロセッサ4のデータフロー図3000を示す。この画像プロセッサは、較正器9、正規化器10、及び補間器11を具えている。較正器9は応答関数メモリ6に記憶している応答関数データを用いて、画像センサ3によって捕捉した画像データ

8を線形応答画像マッピングする。そして正規化器がこの線形応答画像を、シーンの放射強度に比例する画像に変換する。最後に補間器11が、飽和またはブラック化により演算不能な画素値を補間して、補正した画像データを出力画像メモリに供給する。補間は、飽和あるいはブラック化した画素がなくても、ノイズを低減する方法として用いることができる。図4Aに、図1のシステムに用いるマスク101用のマスクパターンの例を示す。このマスクの例では、マスク101は、異なる透明度(減衰率)を有するセルの2次元アレイである。マスク101は、異なる透明度を有する4つのセルの同じグループを反復的に配置したものから構成される。図4Bに、4つのセルのグループ102、103、104及び105を示し、これらの各々を、図4Aのパターンのマスク101を形成するように配置する。このグループは、最明セル102、明セル103、暗セル104、及び最暗セル105を有し、最明セル102が4つのセルのうち最も透明度が高く、最暗セル105が最も透明度が低い。図4A及び図4Bの例では、4つのセルのグループの各々を、マスク101の露出パターンを形成するように配置しているが、異なる透明度を有するセルをより少数あるいはより多数有するグループを同様に反復させて、同じ露出パターンあるいは異なる露出パターンを形成することができる。マスクの露出パターンは周期的である必要はなく、透明度の分布がランダムであってもよい。さらにマスク101を、非線形の光学応答特性を有する材料から構成することができる。こうした材料は、入射光の強度に対して非線形に変化する透過率(または減衰率)を有する。こうしたマスクは、視覚的細部情報を保存しつつ画像システムの有効ダイナミックレンジを拡大する細部保存性の光学フィルタを提供することができる。

10

20

【0029】

CCDまたはCMOS光センサアレイのような半導体素子の画像センシングデバイスを使用する場合には、フォトリソグラフィー及び薄膜フィルム堆積を用いて、マスクパターンを画像センシングデバイスと同じ基板上に製造することができ、あるいはフォトリソグラフィー及びデバイスそのもののエッチングによってマスクパターンを形成することができる。フィルム式カメラの場合には、シャッタとフィルム板の間にマスクを配置するか、あるいはフィルムそのものにマスクを取り付けることができる。マスクの代わりに、フィルムそのものが空間的に可変の光感度を有するようにすることもできる。チエッカー(碁盤模様)型のマスク101は、あらゆる局所領域に4つの異なる露出が生じるようにするものである。これにより、4つの異なる露出によって生成される大きなダイナミックレンジを用いて、あらゆる局所領域を捕捉する。チエッカー型のマスク101内のセルの露出値を露出値メモリ5に記憶して、これらの値を画像プロセッサ4が用いる。

30

【0030】

図5A及び図5Bに、チエッカーパターンのマスク101でのシーンの画像の捕捉を示す。図5Aに示すように、マスク板101を画像センシングデバイス165の前に置いて、各マスクセルが、画像センシングデバイス165のそれぞれの画素(即ち感光素子)の前に位置するように、マスク板101を合わせる。シーンからの入射光が画像光学器147を通して、画像センサ3の画像平面上に結像するが、各画素位置ではマスク板101によって減衰した光強度を記録する。また図5に、明るい物体106及び暗い物体107のあるシーンを示す。このため、マスク板101を通して画像センシングデバイス165によってシーンを捕捉すると、図5Bに示すような画像が得られる。なお、明るい物体106の領域で、より明るい露出の画素が飽和する場合には、同じ領域で、より暗い露出の画素はまだ、画像センサ3のダイナミックレンジ内の値を有する。同様に、暗い物体107の領域で、より暗い露出の画素が暗すぎる場合には、同じ領域では、より明るい露出の画素はまだ、画像センサ3のダイナミックレンジ内の値を有する。

40

【0031】

図6に、画像プロセッサ4の較正器9及び正規化器10で実行する処理の例を示す。この例では、シーンの背景中の領域111から、隣接する4つの画素の局所領域112を取り出す。シーンの背景が一定の明るさなので、4つの画素112の放射輝度値は同一になる。しかし、画像センサ3の応答関数の非線形性、及びマスクの透明度パターンの結果と

50

しての、4つの画素位置に対応する露出値の差により、4つの画素の測定値が異なる。図7の中央にある図は、測定した各画素値を、シーンの放射輝度に対して線形の画素値に変換して、この線形化した画素値を正規化するプロセスを示すものである。最初に較正器9が、実線の応答曲線113で表わす画像センサ3の応答関数を各測定画素値に適用して、点線114で表わす画像センサ3の非線形性を除去する。そして点線115で示すように、較正した各画素値を、これに対応する露出値で除算する。その結果を図116で表現し、これは、同じ放射輝度を有する隣接した画素位置の4つの画素値を較正して正規化したものと示す。図6の例で用いた正規化は、対応する露出値で画素値を除算することを含むが、正規化は、露出値の関数による画素値のマッピングのいずれをも含むということに留意すべきである。

10

【0032】

図7に、画像プロセッサ4の較正器9及び正規化器10による処理の他の例を示し、今回は、シーンの暗い領域117から取り出した隣接する画素位置118についての処理である。図7の例では、これらの画素位置のうちの3つが画像センサ3のダイナミックレンジ内の画素値を有するが、画素位置のうちの1つがブラック化した画素値を有する。これら4つの画素値の較正及び正規化を、図7の中央の図に示す。図の画素値軸では、画素のブラック化しきい値及び画素の飽和しきい値をそれぞれT_b及びT_sで示す。図に示すように、較正及び正規化プロセスは破線119で示すように、ブラック化した画素値には正しく適用することができない。こうして較正及び正規化した結果を図120で表わし、これは同じ放射輝度を有する3つの画素値を較正及び正規化したもの、及びブラック化した1つの画素値（文字“b”を付けたもの）を表わし、この画素値には較正及び正規化を正しく適用することができない。

20

【0033】

図8に、画像プロセッサ4の較正器9及び正規化器10による処理の他の例を示し、今回は、シーンの明るい領域121から取り出した隣接する画素位置122についての処理である。4つの画素位置122のうちの2つが、画像センサ3のダイナミックレンジ内の画素値を有するが、他の2つは飽和した画素値を有する。これら4つの画素値の較正及び正規化を、図8の中央の図で示す。ここでも図の画素値軸上に、画素のブラック化しきい値及び画素の飽和しきい値をそれぞれT_b及びT_sで示す。これら2つの飽和した画素値は、破線123で示すように正しく較正及び正規化することができない。処理の結果を図124で表わし、この図は、2つの画素位置の同じ放射輝度の画素値を較正及び正規化したもの、及び他の2つの画素位置の飽和した画素値（文字“s”を付けたもの）を示す。

30

【0034】

この好適実施例によれば、飽和及びブラック化した画素値を較正器9によってマークして、これにより補間器11がこうした例外を扱うことができるようになる。

【0035】

図9に、プロセッサ4の補間器11が実行する補間プロセスを示す。図の右上には、シーンの領域125を表現する10×10個の画素のグループ126を示し、これはシーンの暗部及び明部の境界を含む。各画素位置126の画素値は、図6、7及び8に関連して説明した較正及び正規化プロセスを行ったものであり、飽和した画素はすべて黒色の“×”を付けてあり、ブラック化した画素はすべて白色の“×”を付けてある。補間器は、画像の画素アレイの、すべての異なる2画素×2画素の領域に、2画素×2画素の補間フィルタを適用する。補間フィルタは、領域内の非飽和かつ非ブラック化の画素値の平均を取ることによって、各2画素×2画素領域の中心の補間画素値を計算する。すべての異なる2画素×2画素領域を、4つの異なる透明度のマスクを通して露出するので、一般に、各領域内に少なくとも1つの非飽和かつ非ブラック化の画素値が存在する。図9に示す補間フィルタ127の位置では、補間フィルタが包含する2画素×2画素の領域が2つの飽和画素値を含み、これらの画素値は補間プロセスが考慮に入れないので、結果として、この領域内の2つの非飽和かつ非ブラック化の画素値の平均値を有する補間画素129が、2画素×2画素領域の中心に得られる。あるいはまた、飽和画素及びブラック化画素にそれぞれ

40

50

所定値を割り当てて、これらを補間演算に含めることができる。

【0036】

各画素値に、補間結果の品質向上への寄与分に従って重み付けすることが有利である。隣接する4つの画素を異なる露出値によって正規化するので、4つの画素の各々の信号対ノイズ比(SNR)は相互に異なる。各画素値にSNRで重み付けすることによって、よりノイズ耐性のある補間を行うことができる。画素値Mの応答関数 $f(M)$ が与えられれば、この画素値のSNRは $SNR(M) = f(M) / f'(M)$ として計算することができ、ここで $f'(M)$ は $f(M)$ の1次導関数である。

【0037】

図10A及び図10Bにさらに、画像プロセッサ4の補間器11が実行する補間プロセスを示す。図10Aに、垂直方向(y方向)及び水平方向(x方向)に伸びる、直交する離間した直線によって規定される元の画像格子150を示す。画像センサ3は、元の画像格子150の各交点(画素位置)に配置した感光素子151のアレイで構成される。画像センサ3は、入射光に露出すると、各感光素子に対応するそれぞれの画素値を供給する。元の画像格子150には補間格子152が重なり、これも垂直方向及び水平方向に伸びる直交する離間直線によって規定される。ここで図10Bに示すように、補間フィルタ153が、元の画像格子150の異なる4つの交差領域の各々を包含して、この補間格子のそれぞれの交点における補間値154を導出する。この好適実施例では、補間格子が元の画像格子と同一であり、これらの格子は互いに、水平方向に半グリッド位置分だけ変位し、かつ垂直方向に半グリッド位置分だけ変位している。補間格子が元の画像格子と同一である必要がなく、そして、双線形補間フィルタ、補間フィルタ、双立方補間フィルタ、B-スプライン補間フィルタ、ガウス補間フィルタ、または当業者に既知の他のいずれの補間フィルタのような、2画素×2画素以外の補間フィルタを用いることは当業者にとって明らかである。さらに、感光素子の配置は格子の交点である必要がなく、いずれの形態のアレイとすることもできる。

【0038】

図11に、画像プロセッサ4が実行する処理を表わすフロー図300を示す。まず、ループ201のプロセスを画素位置毎に繰り返し、ここでx及びyは画素位置のx、y座標であり、xSize及びySizeは画素アレイのx次元及びy次元である。ループ201は、ステップ202、203、204、205、206、207、208及び209を含む。ステップ202では、画素位置(x, y)の画素値M(x, y)を評価する。M(x, y)が小さい所定画素値であるノイズレベルよりも小さければ、ステップ203を実行する。M(x, y)がノイズレベルよりも小さくなければステップ205を実行する。ステップ203では、画素位置に対応する露出値E(x, y)を露出パターンメモリ5から読み込む。E(x, y)が最高露出値であれば、ステップ205を実行する。さもなければステップ204を実行する。ステップ204では、画素を"ブラック化"画素値を有するものとしてマークして、現在行っているループの反復を終了する。一時メモリの当該画素位置に特定値を書き込むことによって、このマーク付けを行う。ステップ205では画素値M(x, y)を評価する。M(x, y)が非常に大きい所定画素値である飽和レベルよりも大きければ、ステップ206を実行する。M(x, y)が飽和レベルよりも大きくなればステップ208及び209を実行する。ステップ206では、露出値E(x, y)をメモリ5から読み込む。E(x, y)が最低露出値であれば、ステップ208及び209を実行する。さもなければステップ207を実行する。ステップ207では、画素を一時メモリ内の"飽和"画素値としてマークして、現在行っているループ201の反復を終了する。ステップ208では、図6、7及び8に関連して説明した方法でM(x, y)を較正する。ステップ209では、図6、7及び8に関連して説明したようにM(x, y)を正規化して、現在行っているループ201の反復を終了する。

【0039】

図11Aに、図11のフロー図の較正ステップ208の詳細フロー図を示す。ステップ311では、各画素位置(x, y)における画素値M(x, y)を、入力Mとして供給す

10

20

30

40

50

る。ステップ312では、応答関数 f をMに適用してmを得る。上述したように、この応答関数は早見表形式、パラメータ形式、あるいは他の適切な形式とすることができます。応答関数のデータが256レベルの早見表形式であるものとすれば、Mを正規化して、これら256レベルのうちの1つを指示する指標値にデジタル化することができる。そしてこの早見表を用いて、指標値Mに対応する $f(M)$ を見つける。ステップ313では、Mを出力として供給し、これは図11のフロー図では、ステップ209に供給する画素値M(x, y)である。

【0040】

図11に戻って説明すると、すべての画素位置についてループ201を完了した後に、ループ210の処理を行う。位置(1, 1)から位置($x\text{Size}-1, y\text{Size}-1$)までの画素位置毎にループ210を繰り返す。ループ210では、ステップ211、ループ212、ステップ213、214及び215を実行する。ステップ211では、L(x, y)及びNと共に0に初期化する。ここではL(x, y)が、出力画像メモリ7内の位置(x, y)における放射輝度値を示し、Nが処理した画素数を示す。そして、ループ212の処理を(i, j)について繰り返す。i及びjと共に0から1まで変化する。ループ212では、ステップ213及び214を実行する。ステップ213では、画素($x+i, y+j$)のマーク付けを決定する。画素がマーク付けしてなければ、ステップ214を実行する。さもなければ、現在行っているループの反復を終了する。ステップ214では、重み値Wを、画素値M($x+i, y+j$)のSNRとして計算する。そして画素値M($x+i, y+j$)にWを乗じて、この積をL(x, y)に加算し、WをNに加算する。ループ212を終了した後に、ステップ215を実行する。ステップ215では、L(x, y)をNで除算し、その後にループを終了する。すべての画素位置についてループ210を完了した後に、画像プロセッサ4による処理を完了する。10 20

【0041】

再び図1に戻って説明すると、本発明の第1の好適実施例による画像システムは、マスク101を除去して、空間的に可変のパターンの感光性を有する感光素子(画素)のアレイで構成される画像センサ3を用いることによって変形することができる。これらの感光素子の感光性のパターンを各感度値として、露出パターンの代わりにメモリ5に記憶する。再び図3に戻って説明すると、較正器9が捕捉した画像8の画素値を受けて、応答関数メモリ6内の各応答関数を用いて、これらの画素値を線形化する。そしてこれらの線形化した値を正規化器10によって、メモリ5に記憶している感光性の値を用いて正規化する。そしてこれらの正規化した画素値を上述した方法で補間して、高ダイナミックレンジの画像画素値を導出する。30

【0042】

図12に、本発明の第2の好適実施例による画像システムの機能ブロック図400を示す。第2の好適実施例によるシステムは、可変マスク12と、マスクコントローラ13と、画像センサ3と、露出パターンメモリ5と、応答関数メモリ6と、出力画像メモリ7と、画像プロセッサ14と、モニタ画像メモリ15とを具えている。図1のシステムと同様に、シーンからの入射光が、画像センサ3の感光面に当たる前に、空間的に可変の透明度パターンを有するマスク12を通過し、画像センサ3は対応する画素値を画像プロセッサ14に供給する。また画像プロセッサ14も、応答関数メモリ6からの関数データ及び露出パターンメモリ5からの露出値を受けて、高ダイナミックレンジの画像データを出力画像メモリ7に供給する。しかし図1のシステムとは異なり、図12のシステム400は、露出制御信号を供給することによって変化しうる透明度パターンを有するマスク12、及び画像センサ3が供給する画素値に応答して露出制御信号を発生してマスク12に供給するマスクコントローラ13を採用し、マスクコントローラ13は露出制御信号に対応する露出値を露出パターンメモリに供給する。これに加えて、画像プロセッサ14はモニタ画像データを供給して、これをモニタ画像メモリ15に記憶する。このモニタ画像データは、画像の細部情報を保存しつつ、テレビジョン、ビデオモニタ、あるいはコンピュータディスプレイのような低ダイナミックレンジの装置による表示用に圧縮したダイナミックレ40 50

ンジを有する。マスクコントローラ 13 は画像センサ 3 の出力を受けて、飽和及びブラック化した画素値が最小数になるように、マスク 12 の空間的に可変の透明度を調整する。

【0043】

次に、図 13 に、図 12 のシステムを実現したビデオカメラのハードウェア構成 500 のブロック図を示す。ビデオカメラは、光学式アタッチメント 161 を有し、これは、シーンを可変マスク 12 上に結像させる第 1 のレンズ素子 162 と、可変マスク 12 と光拡散器 131 を通過したシーンの画像を CCD 光検出アレイ 165 の感光面上に結像させる第 2 のレンズ素子 163 とを具えている。光拡散器また、光学式アタッチメント 161 は、透明度パターンが可変の液晶マスク 12 にマスク制御信号を供給する、液晶マスクコントローラ 183 を備える。図 13 のブロック図 500 は、画像処理部 164 を含み、これは、CCD 光検出アレイ 165 と、CCD 出力の振幅を調整してノイズを減らす、前段増幅器 166 とを具えている。。前段増幅器 166 は、通常ビデオカメラにおいて実現される、例えば相関倍化回路（ノイズ低減回路）、自動利得制御回路、ガンマ補正回路、二一（折点）回路などのいくつかのアナログ回路を備える。前段増幅器 166 の出力は、画像処理部 167 にあるアナログ・デジタル変換器 169 に供給される。アナログ・デジタル変換器 169 は、取り込んだ画像をデジタル化する。図 12 中の画像プロセッサ 14 の計算は実際には、RAM 170、ROM 171、フレームメモリ 1 172、フレームメモリ 2 178、および、フレームメモリ 3 174 にアクセスする処理ユニット 168 が実行する。図 13 のビデオカメラ 500 において、液晶マスクコントローラ 183 は、液晶マスク 12 に制御電圧を送る。処理ユニット 168 は、液晶マスク 12 に供給された制御電圧を計算する。ROM 171 は、制御パラメータと共に、処理ユニット 168 の命令を記憶する。RAM 170 は、処理中のデータを一時的に記憶する。フレームメモリ 1 172 は、図 12 の出力画像メモリ 7 に相当し、フレームメモリ 2 173 は、図 12 の露出パターンメモリ 5 に相当し、さらにフレームメモリ 3 174 は、図 12 のモニタ画像メモリ 15 に相当する。デジタル・アナログ変換器 175 は、フレームメモリ 1 172 に格納された高ダイナミックレンジの画像データを、それがビデオ出力部 1 177 に供給される前にアナログ信号に変換し、ビデオ出力部 1 177 では、ビデオ信号プロセッサ 178 が、そのアナログ信号を処理して、その出力を出力ユニット 179 に送り、出力ユニット 179 が、高ダイナミックレンジの画像であるビデオ出力 181 を供給する。フレームメモリ 3 174 中のモニタ画像データは、デジタル・アナログ変換器 176 によって、アナログ信号に変換される。モニタ画像のアナログ信号は、ビデオ出力部 2 180 に供給されて、ビデオ出力部 2 180 では、ビデオ出力プロセッサ 181 が、そのアナログ信号を処理して、その出力を、出力ユニット 182 に送り、出力ユニット 182 が、モニタ画像であるビデオ出力 183 を供給する。因みに、ビデオ出力部 1 177 とビデオ出力部 2 180 は、ビデオカメラ構成の一部をなしているが、図 12 の基本的な画像システム図において、対応する構成要素は存在しない。

【0044】

図 14 は、画像捕捉部 600 の模範的な構成図を示しており、これは、本発明の第 1 実施例および第 2 実施例において用いることができる。固定パターンまたは液晶マスク 130 および光拡散器 131 を、CCD 光検出アレイ 165 の画像面に並行するように配置しており、CCD 光検出アレイ 165 は、カメラ本体 134 に埋め込まれている。マスク 130 および光拡散器 131 は、2 つの光学素子 132 と 133 との間に配置している。シーンからの入射光は、第 1 の光学素子 132 によって、マスク 130 上に合焦される。光は、マスク 130 によって減衰されて、光拡散器 131 を通過し、第 2 の光学素子 133 によって、CCD 光検出アレイ 165 の画像面に合焦される。このように、CCD 光検出アレイ 165 によって測定された光は、マスク 130 とシーンにおいて合焦される。因みに、CCD 光検出アレイ 165 の画素位置 R に入射する光は、その光が通過したマスク 130 の狭い領域 Q からのみ出射される。マスク 130 の直後に位置する光拡散器 131 は、合焦した光の方向性を取り除いてしまう。あるいは、光拡散器 131 は、マスク 130 の直前に配置してもよいし、また、2 つの別個の光拡散器を、ひとつはマスク 130 の直

10

20

30

40

50

前に、ひとつはマスク 130 の直後に配置してもよい。狭い領域 Q は、順次、画像形成されているシーンのひとつのポイント P からのみの光を受光する。本発明の第 2 実施例において、液晶アレイは、可変性の露出マスクが好適であるが、光電変調器のアレイなど、適当な信号を使って露出パターンを制御する他の装置を利用してもよい。

【 0045 】

前述したように、可変マスク 12 としては、各露出制御電圧信号を使って個々に制御可能な透明度を有する、液晶セルの 2 次元アレイが好ましい。図 15 に示すように、可変マスク 12 の各セルを制御して、イメージセンサ 3 の光検出素子アレイ 165 の少なくとも 1 個の画素に光を送るようにする。光検出素子アレイ 165 の各光検出素子は、各画素に対応している。例えば、光検出素子アレイ 165 中の破線の正方形 183 で示す (4 × 4) の画素領域は、可変マスク 12 のマスクセル 184 を通過した光のみを受光する。露出制御信号は、可変マスク 12 の各セルにおける透明度（減衰率）を制御するものであり、マスクコントローラ 13 が、イメージセンサ 3 の出力（画素値）を受け、この画素値に従ってマスクのセルに対する露出制御信号を計算して供給する。各セルに対する露出制御信号は、以下の 3 点、即ち、(1) 光検出素子アレイ 165 への対応領域 183 内における飽和画素数あるいはブラック化画素数の最小化、(2) イメージセンサ 3 の供給する平均画素値における信号とノイズの比率の最大化、(3) マスクセルアレイ 12 の露出値の空間における平滑さの度合いの最大化、を満たすように計算される。
10

【 0046 】

次に、図 16 に、マスクコントローラ 13 の制御下にある、可変マスク 12 の露出パターンの展開例を示す。同図において、時間は左から右にシフトするものとする。図 16 の最上行の図解 137 は、シーンからの放射輝度を表しており、本例では時間を経ても変化しない。図 16 の中央行の図解 138 から 140 は、マスク 12 の露出パターンの一時的な変化を示している。図 16 の最下行の図解 141 から 143 は、キャプチャーした画像の一時的な変化を表すもので、イメージセンサ 3 の出力が表わす。初期状態（左列）では、露出パターン 138 が、可変マスク 12 の全てのセルに対して同じ透明度（減衰率）で現れる。従って、非常に明るい物体 185 と非常に暗い物体 186 を有するシーン 137 の放射輝度を均一に減衰して、キャプチャーした（非正規化の）初期画像 141 を形成する。しかし、イメージセンサ 3 のダイナミックレンジは、シーンの輝度範囲に対して狭いので、キャプチャーした初期画像 141 は、放射輝度画像 137 の視覚的な詳細全てを有していない。キャプチャーした初期画像 141 において、暗い物体 187 は、ほぼ完全に黒くなっている、明るい物体 188 は、ほぼ完全に飽和状態となっている。上述した 3 つの基準を満たすために、マスクコントローラ 13 が可変マスク 12 の各セルの露出値を調整した後、マスクコントローラ 13 が新たに露出制御信号を可変マスク 12 に供給することによって、第 2 の露出パターン 139 が生じる。第 2 の露出パターン 139 において、明るい物体の領域の露出値は減少し、暗い物体の領域の露出値は増加し、背景領域の露出値はわずかに増加する。露出パターン 139 を使って取り込んだ画像 142 には飽和画素もしくは黒い画素が存在しないが、画像の詳細部分は拡張されている。この様に、マスクコントローラ 13 は、継続的に露出値を調整して、平滑さを改善した露出パターン 140 を得る。露出。露出パターン 140 によって得た画像 143 は、露出パターンの平滑さの改善結果として、詳細な改良画像となっている。因みに、露出コントローラ 13 による露出パターンを用いるプロセスは、動く物体を伴うシーンなど、一時的にシーンが変化するものに、特に適している。
20
30
40

【 0047 】

図 17 に、マスクコントローラ 13 が実行する処理 170 のフローチャートを示す。処理 170 のフローチャートでは、可変マスク 12 のひとつのセルに対する露出制御信号を計算する処理を表しており、この処理は、マスクの各セルに対して繰返し行わねばならない。ステップ 216 において、S1 と S2 は共に、ゼロに初期設定される。ここで、S1 は、マスクセルからの光を受光する光検出素子アレイの領域内における飽和画素数もしくは黒い画素数を最小化させるという、第 1 の基準を満たす露出制御値を示している。S2
50

は、イメージセンサ3の供給する平均画素値の信号とノイズの比率を最大化させるという、第2の基準を満たす露出制御値を示している。ループ217の処理は、可変マスク12のセルを通過した光を受光する光検出素子アレイ165の領域内の各画素に対して、繰返し行われる。ここで、Qはその領域内の画素数である。ループ217は、ステップ218からステップ222までを含んでいる。ステップ218において、画素値Mqを見積もる。画素値Mqが、極めて小さい画素値である所定のノイズレベルよりも小さい場合には、ステップ219を実行する。ステップ218で画素値Mqがノイズレベルよりも大きい場合には、ステップ222を実行する。ステップ219において、S1を1増加し、ループ217の現在繰返し行われている処理はここで終了する。ステップ220において、Mqを見積もる。画素値Mqが、極めて大きい画素値とある所定の飽和レベルよりも大きい場合には、ステップ221を実行する。ステップ220で画素値Mqが、飽和レベルよりも小さい場合には、ステップ222を実行する。ステップ221において、S1を1減少させ、ループの現在繰返し行われている処理を終了する。ステップ222において、量(Mbest - Mq)を加えて、S2を更新する。ここで、Mbestは、使用しているイメージセンサ3の最適な信号とノイズの比率を有する、所定の画素値である。ループ217を終了すると、ステップ223と224を実行する。ステップ223において、プロック223中に示される式を使って、S3を計算する。この式において、gkはローパスカーネルの重み付け値、Ekは近傍セルの露出値、Eは現在処理されているセルの露出値である。この計算によって、ローパスフィルタのタイプが決まるが、通常、これは「アンシャープマスキング」と呼ばれている。ステップ224において、現在処理しているセルの露出値Eを、S1、S2、S3の重み付け加重により更新する。ここで、重み付けw1、w2、w3は画像品質を最適化するために経験的に決められた、所定のバランス要因である。ステップ224を終了した後には、現在処理しているセルの処理を完了させる。

【0048】

次に、図18に、図12のシステムにおける画像プロセッサ14のデータフロー800を示す。画像プロセッサ14は、較正器9、正規化器10、スマーザ16、および露出再アプリケータ17を具えている。図1において既に説明した本発明の第1実施例の画像プロセッサ4のように、較正器9は、応答関数メモリ6に格納されている応答関数データを使用して、イメージセンサ3がキャプチャーした画像の画素値を、線形応答画像に較正する。続いて、正規化器10は、線形応答画像を、シーンの放射輝度に比例する画像に変換する。因みに、マスクコントローラ13が可変マスク12の露出を調整して、飽和画素の画素値と黒い画素の画素値を最小化するため、本発明の第2実施例における画像プロセッサ14は、正規化器10の出力の補間を必要としない。

【0049】

更に、画像プロセッサ14が、モニタ画像メモリ15に書き込まれたモニタ画像の画素値を算出する。スマーザ16が、露出パターンメモリ5からの露出値を平滑化して、モニタ画像の画素値を算出する。続いて、露出再アプリケータ17が、平滑化した露出値を、正規化器10が供給する高ダイナミックレンジの画像の画素値に加える。図20に、モニタ画像の画素値を得るために処理を示す。図19の左側の列は、図16の右側の列と同一である。露出制御後にも、キャプチャーした画像143には、まだマスクセルの境界によって生じるわずかな非連続性が存在するので、理想的には、表示目的に適さない。故に、スマーザ16が、露出パターン140を平滑化して、可視的な非連続性が存在しない平滑化された露出パターン145を得る。。この場合は、平滑化された露出パターン145を、露出パターン140およびキャプチャーした(正規化されていない)画像143から既に得ている高ダイナミックレンジ画像144に再び加えることによって、モニタ画像146を得る。モニタ画像146は、キャプチャーした画像143あるいは高ダイナミックレンジ画像144よりも、表示するのにより適している。これは、モニタ画像146には非連続性が存在せず、イメージセンサ3と同じダイナミックレンジを有するためである。なお、モニタ画像は、連続的処理に対するビデオ出力であってもよい。

【0050】

10

20

30

40

50

図20は、スマーザ16と露出再アプリケータ17の実行する処理900のフローチャートを示している。平滑化に関し、ループ301をN回実行する。ここで、Nは所定の数を表し、通常、1から5の範囲にある。ループ301では、ステップ302、ループ303、ステップ304とステップ305が実行される。ステップ302では、露出パターンメモリ5における露出パターンデータEを、同じサイズの別のメモリスペースに複写し、Esとして参照される。図20の例では、画像の各画素が対応する露出値と同じ座標となるように、露出パターンは画像と同じ寸法とする。ループ303は、EとEsと同サイズの一時的な露出パターンデータ記憶であるEtempの各画素位置に対して繰返し行われる。ループ303では、ステップ304を実行する。ステップ304においては、平滑化フィルタgを、Esの現在位置(x, y)に適用する。フィルタによる計算は、図20中のステップ304の囲み中に表す。平滑化フィルタg(u, v)は、図21に示すものでもよい。図21においては、(5×5)(k=5)のガウスぼかしフィルタが示す。格子501中の各数字は、フィルタ位置におけるフィルタ係数を表す。例えば、g(3, 3)=0.16などがある。図20に戻ると、ステップ304の計算値は、Etempと同位置(x, y)に格納される。ループ303の終了後、ステップ305が実行される。ステップ305において、Etempの平滑化された露出値をEsに複写する。ループ301をN回繰返した後、露出を再び行うために、ループ306を実行する。ループ306はEsの各画素位置に対して繰返し行われる。ループ306では、ステップ307が行われる。ステップ307において、出力画像メモリ7の画素値L(x, y)と露出値Es(x, y)を乗算し、その積を、Lmonitor(x, y)として、モニタ画像メモリ15内の同じ画素位置に格納する。ループ306が完了すると、露出パターンの平滑化と高ダイナミックレンジ画像に対する平滑化パターンの再露出の処理が終了する。

【0051】

図22は、本発明における第3実施例に従って、シーンの高ダイナミックレンジ画像の捕捉を行うシステム1000の機能図を示している。このシステムは、シーンのマスク化された画像を撮影フィルム上に露出する、撮影フィルムカメラ509を備える。前述のとおり、図4に示すような、空間において変化する透明度パターンを有するマスク101を、カメラのシャッタ504とフィルム505の面との間に設けることによって、マスク化された画像を獲得してもよい。あるいは、マスクをフィルムの各フレームに貼りつけてもよいし、あるいはフィルム・エマルジョンが空間的に変化する露出感度パターンを有してもよい。各ケースにおいて、フィルムの各領域に対する露出値は、予め定められており、露出パターンメモリ5に格納されている。マスク化された画像に露出した後、フィルムを処理して、透明度もしくはマスク化された画像を含むプリントを形成する。そして、スキヤナ507は、マスク化された画像を表す画素値を供給し、マスク化された画像を含むフィルムあるいはプリントを走査する。図1のシステムにおける画像プロセッサと同様に、図3に示すものと同じデータフローを有する画像プロセッサ4に、画素値を供給する。較正を行う画像プロセッサ4が使用できるように、フィルムまたはスキヤナの合成された応答関数は、応答関数メモリ6に格納される。露出パターンメモリ5から直接に露出値を受ける代わりに、図22のシステム1000は、露出装置を備える。この露出装置は、スキヤナ507の出力と露出パターンメモリ5に格納された露出値とを受け、位置合わせ修正の行われた露出における露出値を、正規化化を行う画像プロセッサに供給する。画像プロセッサ4は、高ダイナミックレンジ出力画像を、出力画像メモリ7に供給する。通常のフィルムカメラでは、フィルムは、各フレームをシャッター504の後に位置させて、フレーム毎に移動させていく。このフィルムの動きによって、フィルム505の現在露出されているフレームとマスク101の間に配置誤差が生じる。このような配置誤差を修正するために、露出装置508を使用する。

【0052】

図23は、図22の露出装置508のデータフロー1100を示している。露出装置100は、3つの高速フーリエ交換プロセッサ512、513、514、回転検知器515、移動検知器516、ロータ517、およびシフタ518を具えている。露出装置50

8によって実行される処理を、図24のフローチャートに示す。図24において、ステップ519では、画像I(x, y)のフーリエ交換I(u, v)が、FFT1 512によって計算される。ステップ520では、露出パターンE(x, y)のフーリエ交換E(u, v)が、FFT2 513によって計算される。ステップ521では、I(u, v)の大きさにおける最高点の位置を検知する。ステップ522では、E(u, v)の大きさにおける最高点の位置を検知する。ステップ523では、ブロック523に示す誤差関数を利用して、最小二乗法による最適化によって、(2×2)回転マトリックスMを見積もる。ステップ521、522、523は全て、図23の回転検知器515によって実行する。ステップ524では、回転マトリックスMを利用しながら露出パターンE(x, y)を回転することによって、回転された露出パターンErrotated(x, y)を計算する。ステップ524は、図23のロータ517が実行する。ステップ525では、図525に示される誤差関数を最小化する移動ベクトルを検索することによって、移動ベクトル(s, t)を見積もる。最後に、ステップ526では、移動ベクトル(s, t)を利用してErrotated(x, y)を移動して、修正された露出パターンEcorrected(x, y)を計算する。修正された露出パターンEccorrected(x, y)は、正規化を行うイメージセンサ4に使用するために、修正露出パターンメモリ519に供給される。

【0053】

本発明を、特に本発明の具体的な実施例を参照して説明してきたが、本発明の原理と範囲から逸脱することなく、多様な変形と変更が行われてもよいことは、当業者に明らかである。また、本発明の開示された実施例は、単に説明のためのものであって、また、本発明は、特許請求の請求項において述べられた範囲のものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の好適実施例による画像システムの機能図である。

【図2】図1の画像システムを実現したビデオカメラのハードウェア構成要素のブロック図である。

【図3】図1のシステムの画像プロセッサのデータフロー図である。

【図4A】図1のシステムで用いるパターン化したマスクの平面図である。

【図4B】図4Aのマスクパターンを形成ために繰返し配置する、隣接する4つのセルのグループを表わす図である。

【図5A】図1のシステムの結像光学器、マスク及び画像センサ、及び画像を捕捉すべきシーン内の物体を表わす図である。

【図5B】図4Aのマスクを通して見た、シーンの物体の像を表わす図である。

【図6】マスクの4つの隣接セルを通して検出した4つの隣接画素値に対して図1のシステムが実行する較正及び正規化を示す図である。

【図7】マスクの4つの隣接セルを通して検出した4つの隣接画素値に対して図1のシステムが実行する較正及び正規化を示す図であり、ここでは画素値のうちの1つがブラック化画素値である。

【図8】マスクの4つの隣接セルを通して検出した4つの隣接画素値に対して図1のシステムが実行する較正及び正規化を示す図であり、ここでは画素値のうちの2つが飽和画素値である。

【図9】図1のシステムが実行する補間を示す図であり、特に、2×2の補間フィルタをマスク画像の2×2画素の局所領域のすべてに適用して、補間画素値を導出することを示す。

【図10A】格子の交点に配置した画像センサの感光素子を有し、補間格子に重なった元の画像格子を表わす図である。

【図10B】元の画像格子の異なる2画素×2画素領域の各々に適用して、補間格子の各交点における補間画素を導出する補間フィルタを示す図である。

【図11】図1のシステムの画像プロセッサの動作のフロー図である。

【図11A】図11のフロー図の較正ステップ208をより詳細に示すフロー図である。

10

20

30

40

50

【図12】本発明の第2の好適実施例による画像システムの機能ブロック図である。

【図13】図12の画像システムを実現したビデオカメラのハードウェア構成要素を表わすブロック図である。

【図14】図12のシステムの光学要素、マスク、光拡散器、及び感光アレイの配置を表わす図である。

【図15】図12のシステムの画像センサの、マスクセルと画素位置との対応を示す図である。

【図16】図12のシステムのマスクコントローラの動作を示す図であり、マスクの露出値を適応的に制御する。

【図17】図12のシステムのマスクコントローラの動作のフロー図である。 10

【図18】図12のシステムの画像プロセッサのデータフロー図である。

【図19】図12のシステムにおける、露出値の平滑化動作、及び平滑化した露出値を捕捉した高ダイナミックレンジの画素値に適用することを示す図である。

【図20】図12のシステムが実行する露出値の平滑化動作のフロー図である。

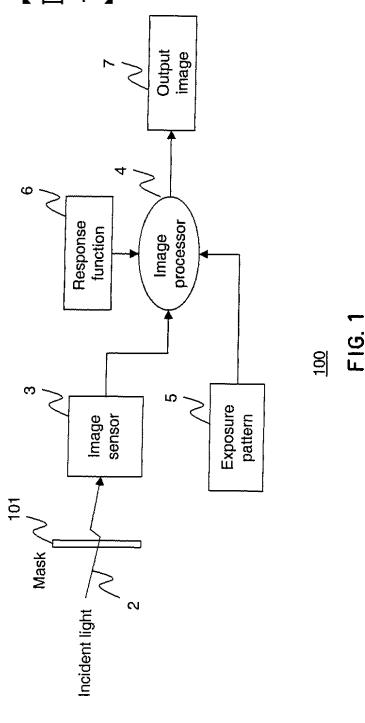
【図21】図20の平滑化動作で使用可能な平滑化フィルタの例を表わす図である。

【図22】本発明の第3の好適実施例による画像システムの機能図である。

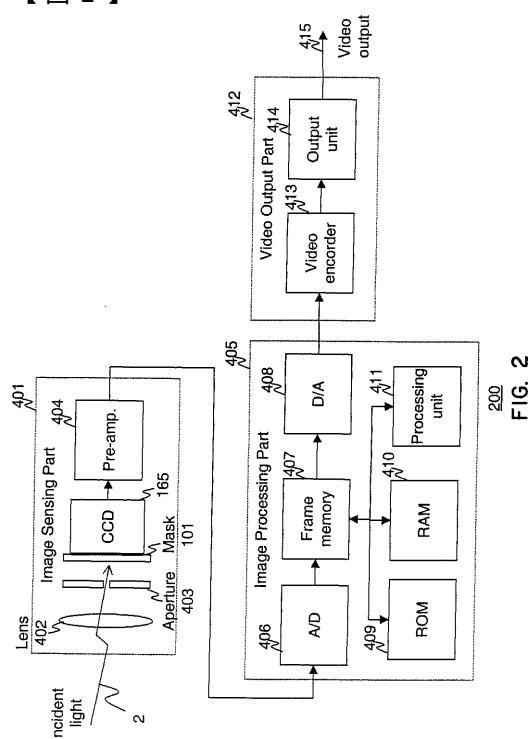
【図23】図22の画像システムのアライナーの詳細構造を表わす図である。

【図24】図22の画像システムのアライナーの動作のフロー図である。

【図1】



【図2】



【図3】

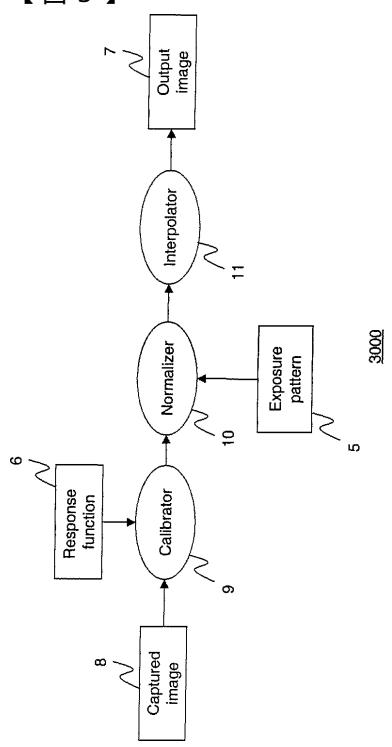


FIG. 3

【図4A】

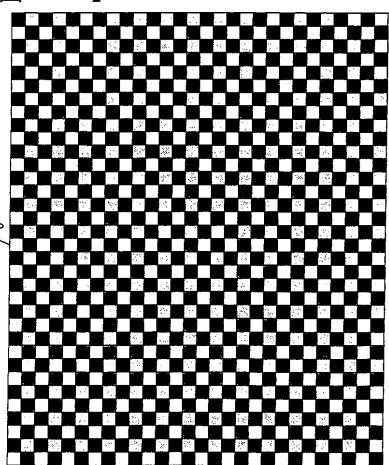


FIG. 4A

【図4B】

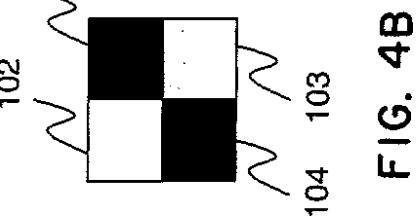


FIG. 4B

【図5A】

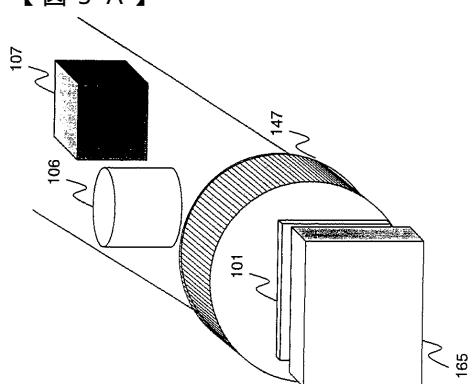


FIG. 5A

【図5B】

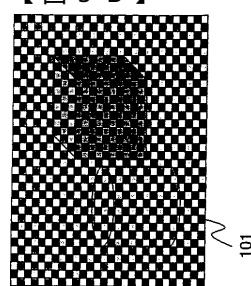


FIG. 5B

【図6】

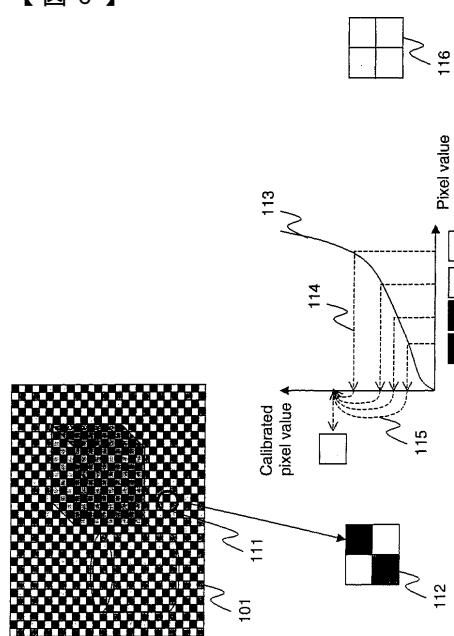
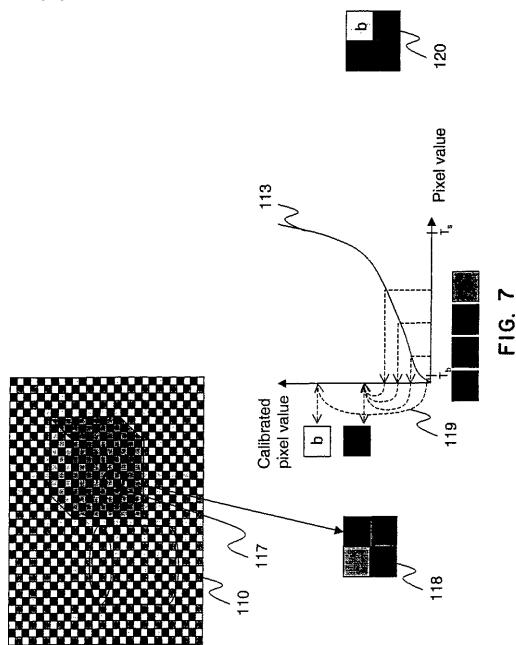
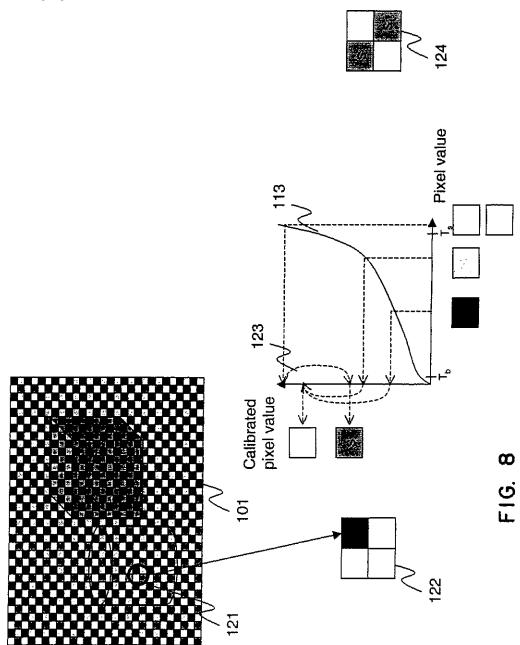


FIG. 6

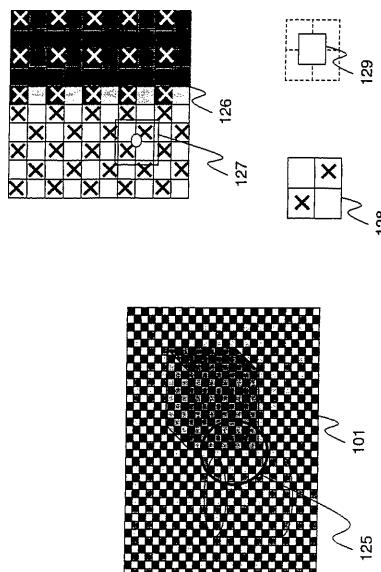
【図7】



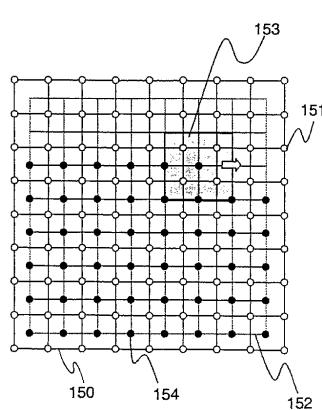
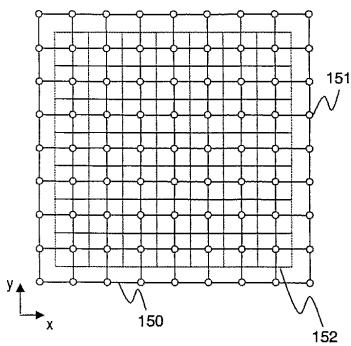
【図8】

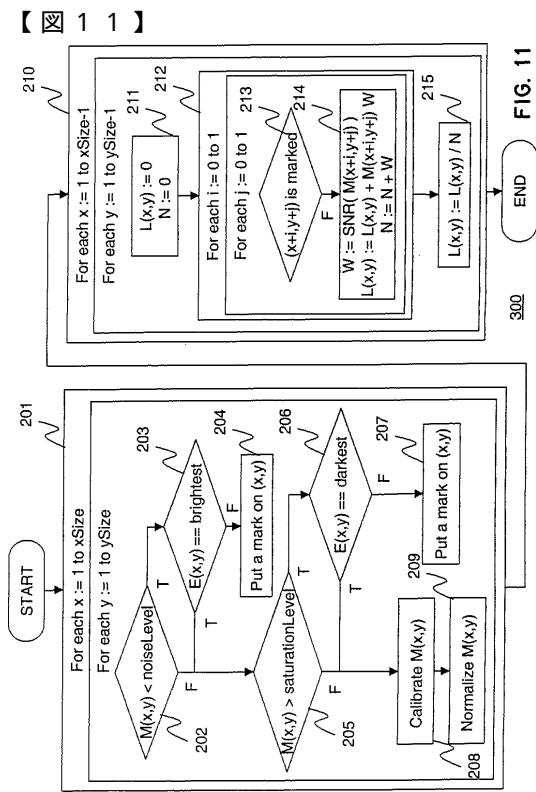


【図9】



【図10A】





11

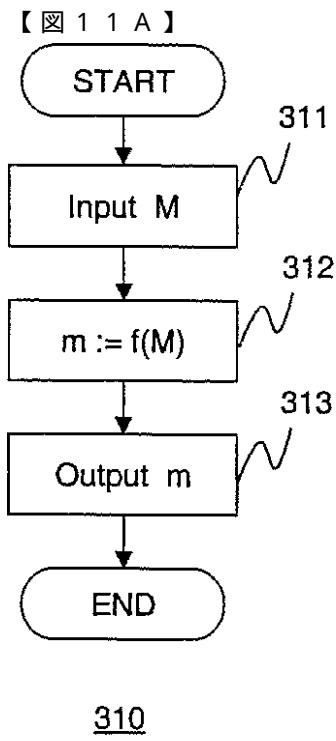


FIG. 11A

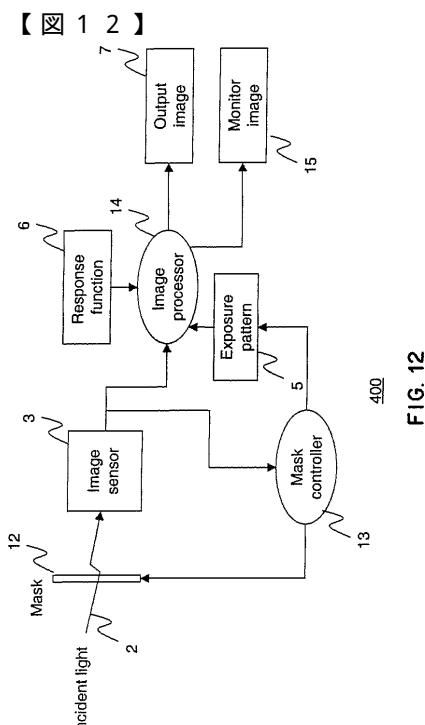


FIG. 12

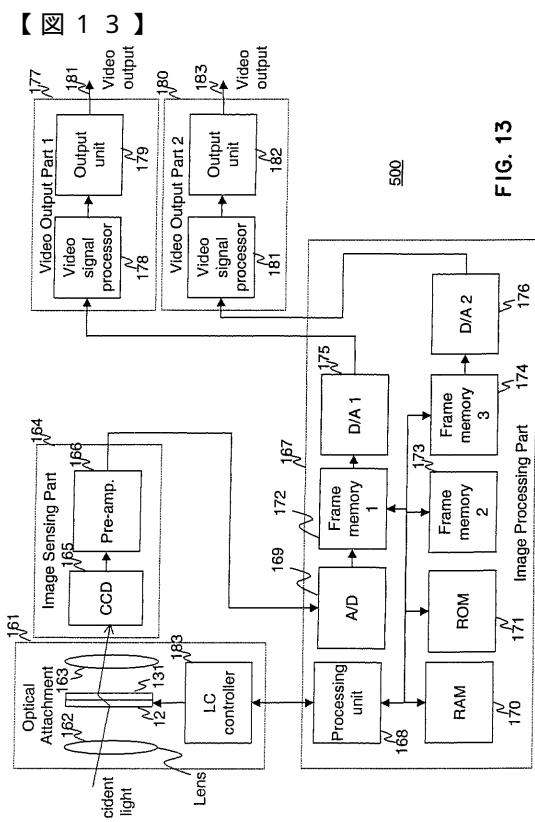


FIG. 13

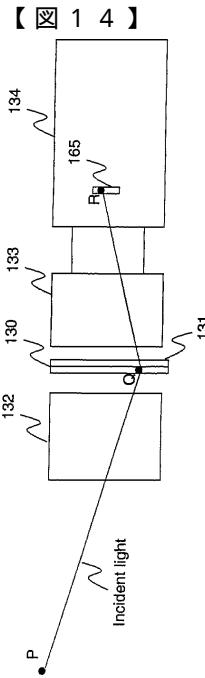


FIG. 14

【図 1 5】

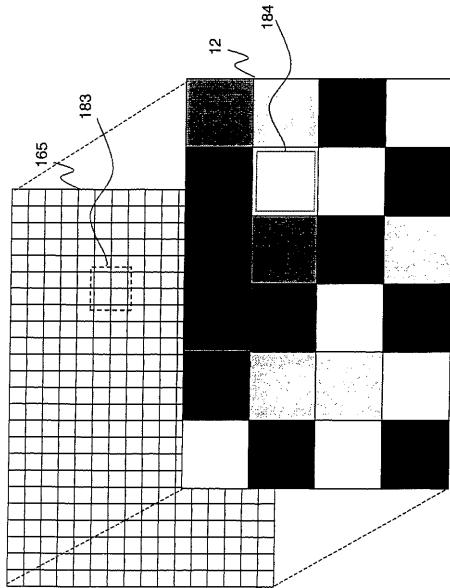


FIG. 15

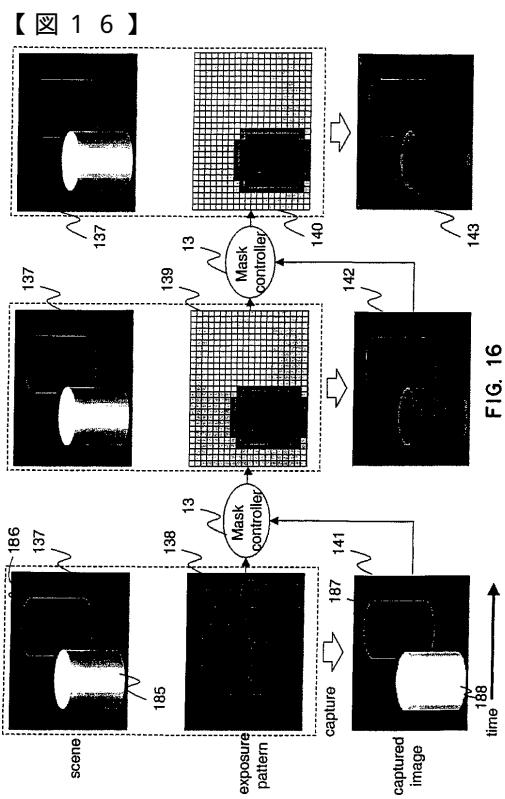


FIG. 16

【図 1 7】

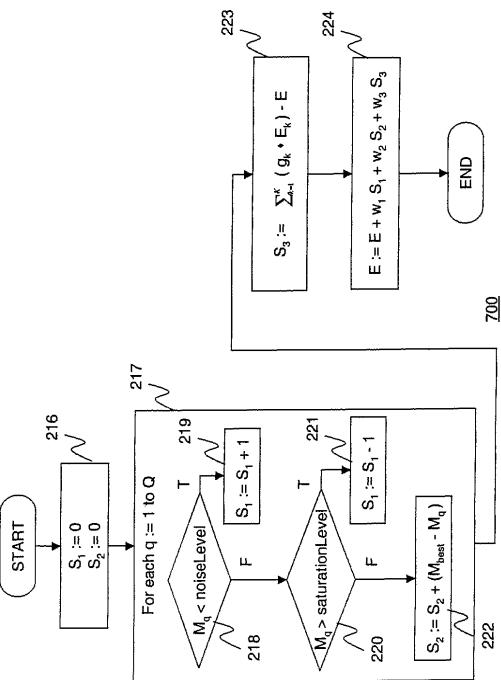
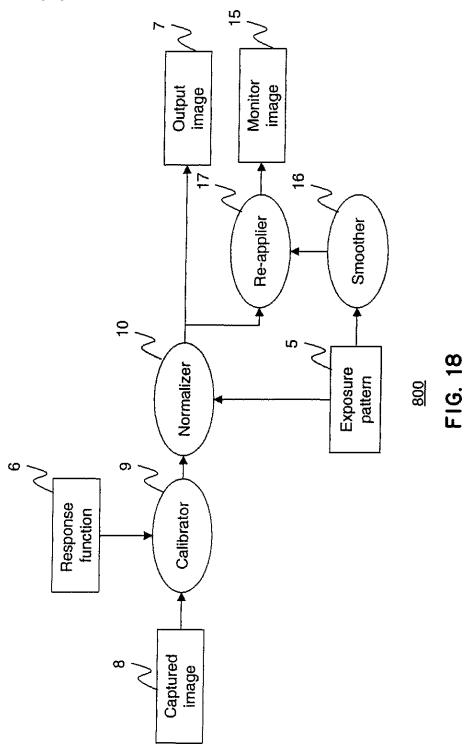


FIG. 17

【図18】



【図19】

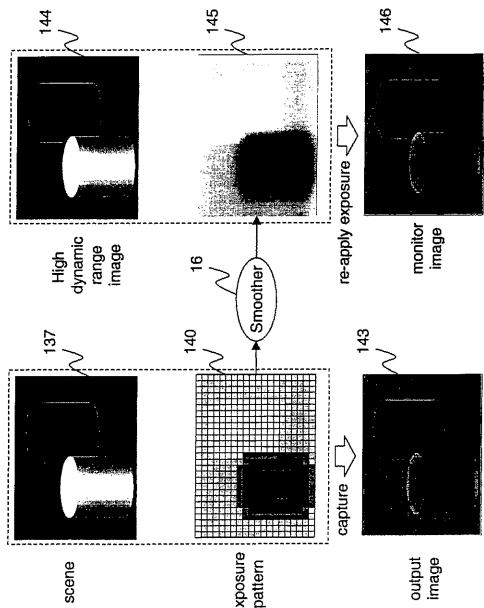
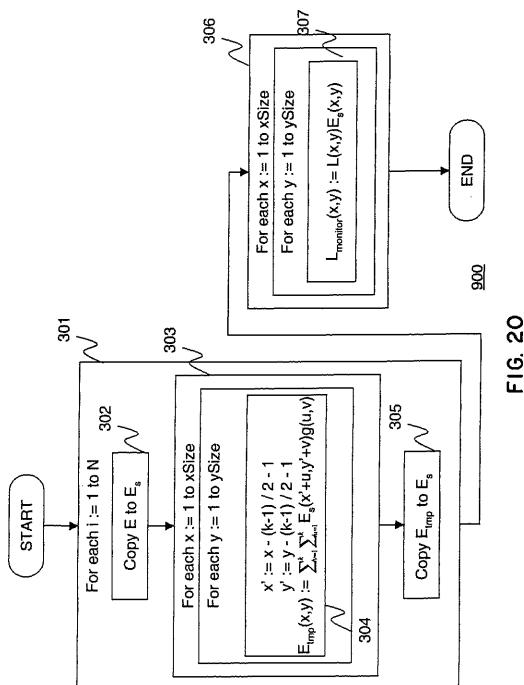


FIG.19

【図20】



【図21】

0.0025	0.0125	0.02	0.0125	0.0025
0.0125	0.0625	0.1	0.0625	0.0125
0.02	0.1	0.16	0.1	0.02
0.0125	0.0625	0.1	0.0625	0.0125
0.0025	0.0125	0.02	0.0125	0.0025

501

FIG. 21

【図22】

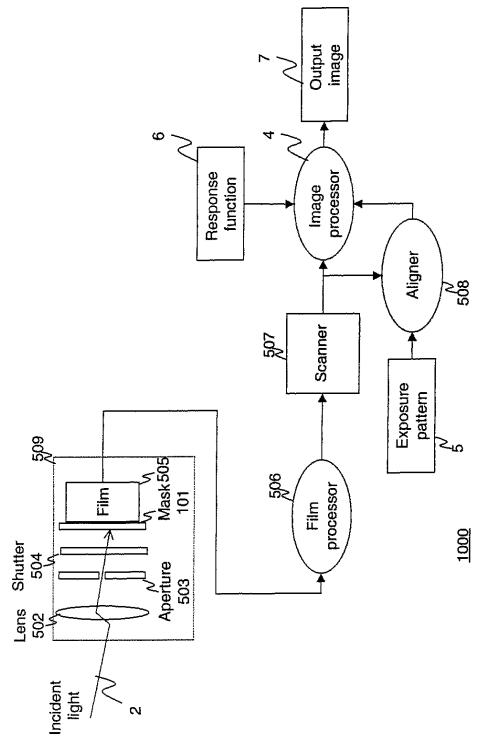


FIG. 22

【図23】

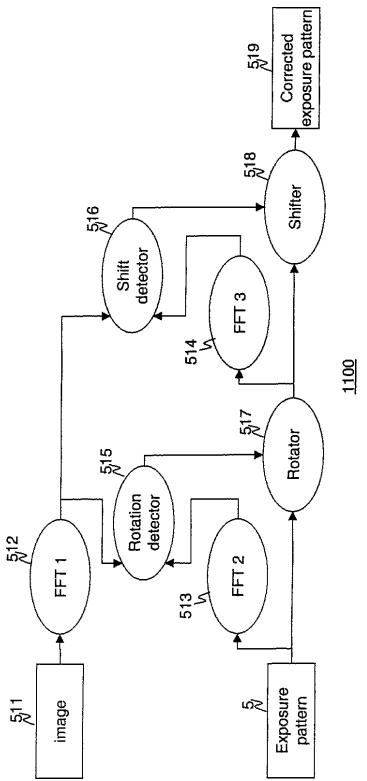


FIG. 23

【図24】

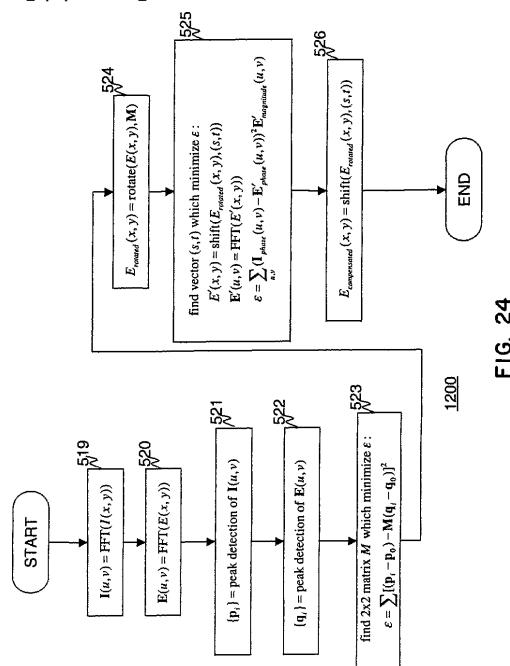


FIG. 24

フロントページの続き

(72)発明者 シュリー ナヤル

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10027 ニューヨーク リヴァーサイド ドライブ 56
0

(72)発明者 光永 知生

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10023 ニューヨーク ウエスト 第69 ストリート
140

審査官 仲間 晃

(56)参考文献 特開平06-153089(JP,A)

特開昭61-247176(JP,A)

特開平09-252107(JP,A)

特開平07-115643(JP,A)

特開平06-261246(JP,A)

特開平03-042959(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N 5/238

H01L 27/14

H04N 1/407

H04N 5/243