

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4923101号
(P4923101)

(45) 発行日 平成24年4月25日(2012.4.25)

(24) 登録日 平成24年2月10日(2012.2.10)

(51) Int. Cl.		F I			
G06T	1/00	(2006.01)	G06T	1/00	315
G06T	7/00	(2006.01)	G06T	7/00	300Z
H04N	13/02	(2006.01)	H04N	13/02	
G01C	3/06	(2006.01)	G01C	3/06	

請求項の数 16 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2009-500720 (P2009-500720)	(73) 特許権者	501493037
(86) (22) 出願日	平成19年2月14日 (2007.2.14)		ビルツ ゲーエムベーハー アンド コー
(65) 公表番号	特表2009-530930 (P2009-530930A)		. カーゲー
(43) 公表日	平成21年8月27日 (2009.8.27)		ドイツ連邦共和国, D-73760 オス
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/001271		トフィルデルン, フェーリクス-ヴァンケ
(87) 国際公開番号	W02007/107214		ルーシュトラーセ 2番地
(87) 国際公開日	平成19年9月27日 (2007.9.27)	(74) 代理人	100087701
審査請求日	平成21年3月24日 (2009.3.24)		弁理士 稲岡 耕作
(31) 優先権主張番号	102006013598.9	(74) 代理人	100101328
(32) 優先日	平成18年3月22日 (2006.3.22)		弁理士 川崎 実夫
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100103517
			弁理士 岡本 寛之
		(74) 代理人	100110799
			弁理士 丸山 温道

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像間の空間対応を判別して三次元再構成をする方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

異なる観測地点から記録されるシーンの複数の画像シーケンス内の画像範囲間の空間対応を判別する三次元再構成のための方法において、

対応の判別に関連する画像領域を前記画像シーケンス内で決定し、

前記画像範囲を前記関連画像領域から形成し、

物体の境界の画像強度変化を表すパラメータ化関数 $h(u, v, t)$ を、空間画像座標 u および v 、画像値 g ならびに時間 t で定義される空間 $R(u, v, g, t)$ 内の前記画像範囲のそれぞれにマッチングさせ、前記パラメータ化関数のパラメータを使用して、前記複数の画像シーケンスの前記画像範囲の類似度をとることを特徴とする方法。

10

【請求項 2】

前記関連画像領域は前記画像値、具体的には画素の濃淡値に対応をとるのに十分な変動量をもつことを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記関連画像領域は、エッジフィルタおよび/または局所統計濃淡値解析として設計されているインタレストオペレータによって判別されることを特徴とする、請求項 1 または請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記関連画像領域は、時空間の特徴を評価することによって判別されることを特徴とする、前記請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記画像範囲は、非最大抑制および/またはスケルトン処理を前記関連画像領域に適用することによって、対象画素として形成されることを特徴とする、前記請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

前記類似度を、同じエピポーラに割り当てられる前記多数の画像シーケンスの画像範囲の間でとる、具体的には前記同じエピポーラおよび/またはエピポーラ線上にある対象画素の間でとることを特徴とする、前記請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記パラメータ化関数 $h(u, v, t)$ を、前記対象画素およびその局所環境にマッチングさせることを特徴する、請求項 5 または請求項 6 に記載の方法。

10

【請求項 8】

前記パラメータ化関数は、空間 $R(u, v, g, t)$ の超平面として構成されることを特徴とする、前記請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

前記関連画像領域が判別され、前記画像シーケンスの画像と参照画像の画像との差分画像を生成することを特徴とする、前記請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 10】

各対象画素の前記関数 $h(u, v, t)$ の前記パラメータを判別するために、物理的手法を用いて簡素化した仮定に基づく特別計算パスを使用して、線形最適化によって前記関数パラメータの判別を導くことを特徴とする、前記請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 11】

カメラシステム (10 a、10 b、10 c) と少なくとも 1 つの評価ユニット (12、14) とを有する三次元シーンを再構成する装置であって、第 1 評価ユニット (12) は請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項の方法を実行するためのプログラムをインストールしたコンピュータおよび/または回路であることを特徴とする装置。

【請求項 12】

前記カメラシステムはステレオカメラシステム (10 a、10 b) として構成されていることを特徴とする、請求項 11 に記載の装置。

30

【請求項 13】

前記カメラシステムは、校正済みマルチカメラシステム (10 a、10 b、10 c) として構成されていることを特徴とする、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 14】

三次元シーン再構成のために対応を判別するためのプログラムをインストールしたコンピュータおよび/または回路によって構成された第 2 評価ユニット (14) を備えることを特徴とする、請求項 11 から請求項 13 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 15】

前記第 2 評価ユニット (14) はさらなるカメラシステムが割り当てられることを特徴とする、請求項 14 に記載の装置。

40

【請求項 16】

前記第 1 および第 2 評価ユニット (12、14) は互いに独立して動作でき、および/または前記カメラシステムおよび前記さらなるカメラシステムは互いに独立していることを特徴とする、請求項 15 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多様な観測地点から記録されるシーンの多数の画像シーケンス内の画像範囲間の空間対応を判別する、好ましくはこのシーンの三次元再構成をする方法、および三次元シーンの再構成をする装置に関する。

50

【背景技術】

【0002】

画像データによる三次元シーンを再構成する受動的方法は、一般に様々な方向および距離から記録されるシーンの多数の画像間の空間対応の判別に基づく。この対応の判別は、画像内の画素位置または画素範囲を再構成するシーン中の点または対象物または対象区画で識別することに相当する。対応を判別した後、通常シーンの三次元構造を周知の方法によって点群の形で判別するが、点群の各点または各点密度は相互に割り当てられ、かつ対応するそれぞれ画素位置または画素範囲に対応している。

【0003】

これら空間対応を判別する手順は文献で正確には対応問題といわれており、この問題を解決する様々なアプローチが提案されている。

10

空間対応を判別するのによく用いられる方法が局所平面上の画像内容の相関であり、空間窓の内容を、例えば、相互相関係数、二乗誤差和、または差分絶対値和などの類似度の尺度として適した誤差尺度を適用することによって相互に比較する。この方法は、特に校正済みのステレオ画像の対、すなわち、共通のエピポーラ (epipolar) 線上にある画素しか対応関係をもたない画像の対には一時的に効果的である。

【0004】

下記非特許文献1では、相関解析に空間窓の内容だけを使用するのではなく、相関窓を時間の次元にまで広げることが提案されている。対応をとるための類似度として、時空間相関窓の二乗誤差和を使用する。

20

対応問題を解くための別のアプローチが、下記非特許文献2に記述されている。このアプローチでは、まず、画像の中の関連画像領域を判別する。画像内の二次元物体を関連画像領域から見出し、関連する物体の輪郭線を描く。次に、エピポーラ線との交点にある物体の輪郭線の輪郭特徴を比較することによって対応を判別する。

【非特許文献1】J. Davis, D. Nehab, R. Ramamoorthi, S. Rusinkiewiczの発表論文「Spacetime Stereo: A unifying framework for Depth from Triangulation (時空間ステレオ: 三角測量からの奥行き計算のための統一フレームワーク)」IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 27, No. 2, 2005,

【非特許文献2】C. Woehler, L. Kruegerの発表論文「A Contour based Stereo Vision Algorithm for Video Surveillance Applications (ビデオ監視向け輪郭に基づくステレオ視アルゴリズム)」SPIE Visual Communication and Image Processing, Lugano, 2003

30

【非特許文献3】Image and Vision Computing, Vo. 19, No. 9-10, pp.593-618, 2001に掲載されたC. Woehler, J.K. Anlaufの論文「Real Time Object Recognition on Image Sequences with the Adaptable Time Delay Neural Network Algorithm Applications for Autonomous Vehicles (適応型時間遅延ニューラルネットワークアルゴリズムによる画像シーケンスの物体のリアルタイム認識 自律走行車両向け)」

【非特許文献4】W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery著「Numerical Recipes (数値計算のレシピ)」, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1992

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明が取り組む問題は、対応問題の解決にあたり計算量を低くしながらも高い信頼性をもつ方法、および対応する装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

問題の解決策は請求項1に記載される方法、および請求項16に記載される装置によって与えられる。また、有利な実施形態を従属請求項によって記述する。

本発明により、シーンの多数の画像シーケンス内の画像範囲間の空間対応を判別する方法を提案する。

50

空間対応とは、多数の画像シーケンスからの画像範囲の割り当てであり、第1画像シーケンスからの画像範囲を第2画像シーケンスからの画像範囲に割り当て、適切なら、さらに別の画像シーケンスからのさらに別の画像範囲にも割り当てる。この場合の画像範囲という用語は、画像シーケンス内の拡張領域、すなわち、複数の画素および/または1つの画素を含む。

【0007】

本発明の方法を実施するために画像シーケンスが記録されるが、1つの画像シーケンスはシーンの個々の画像の連続からなり、個々の画像は1つの観測地点から記録され、好ましくは等間隔の時間間隔をもつ。様々な観測地点、好ましくは様々な観測方向および/または観測距離から、および/または各種光学撮像装置を使用して、画像シーケンスが記録される。好ましくは、各多数の画像シーケンス内の画像それぞれが同じ瞬間に記録される。

10

【0008】

関連画像領域、すなわち対応を判別するのに適した画像領域は、画像シーケンス内で判別される。これら画像領域から1つ以上の画像範囲が形成され、画像範囲は画像領域と同一であってもよく、および/または画像領域の一部であってもよく、および/または画像領域と一部重なる部分として構成されてもよい。

各パラメータ化関数 (parameterized function) $h(u, v, t)$ は、画素位置 u 、画素位置 v 、画像値 g および時間 t によって定義される空間の画像範囲にマッチングし、すなわち変数として画素位置 u 、画素位置 v と変数として時間 t をもち、任意の数のパラメータをもつ関数である。空間 $R(u, v, g, t)$ および関数 $h(u, v, t)$ の項はここでは、同じ技術内容を反映するすべての数学的表現を表す。具体的には、これらの項は数学的に等価な表現をカバーする。例えば、カラー画像を処理する場合、画像値 g は、RGBカラーモデルの場合、空間 R が空間 $R(u, v, r, g, b, t)$ として定義されるように修正または適応させなければならない。

20

【0009】

本発明により、パラメータ化関数のパラメータを、多数の画像シーケンスの画像範囲間の類似度とするために使用する。パラメータとは、具体的には、関数 $h(u, v, t)$ の選ばれた数学的表現で使用される関数パラメータ、および/またはそれから導かれるパラメータとして理解されるべきである。好ましくは、第1画像シーケンスの画像範囲のパラメータを、第2画像シーケンスの画像範囲のパラメータに関係付け、適切なら、さらに別の画像シーケンスの画像範囲のパラメータにも関係付ける。そのため、具体的には、パラメータ同士が比較される。

30

【0010】

本発明は、小さい画像領域の似た箇所を探すことに基づく対応付けアプローチが多数の誤対応を生じがちであり、それによって間違った空間位置をもつ3D点になるという問題が動機となっている。このような誤対応は、特にシーン中の動物体の場合、続いて起こる動きの解析、物体の分割または3D点群の分類がきわめて難しくなるか、または不可能になるため、大きな障害となる。一方、新規な方法の場合、関連画像範囲の空間位置とは別に、対応をとるのに時間の経過に伴う動きも利用する。このように、物体の似た動きをする部分だけを互いに対応として割り当てることが可能であり、そのため誤対応の数が大幅に減少する。

40

【0011】

本発明の方法の好適な実施形態では、関連画像領域は対応をとるのに十分な画像値の変動量をもつことを提供する。具体的には、画像値は画素の濃淡値として構成できる。これにより、画像値分布が一樣な画像領域は、対応をとるのに使用されない。

関連画像領域はインタレストオペレータによって判別されるのが好ましい。このためのデジタル画像処理による複数の方法が知られている。インタレストオペレータとして、エッジフィルタおよび/または局所統計による濃淡値解析を使用するのが好ましい。

【0012】

50

好適な実施形態では、関連画像領域を判別するために時空間特徴を適用する。時空間特徴の生成は、例としてあげると、上記非特許文献3に記述されている。ここで、画像シーケンス内の物体を分類するのに最適な時空間特徴は、ニューラルネットワークの時空間受容野の重みの訓練法によって生成される。時空間特徴は陽関数で規定することもできる。それによって、例えば、右上から左下まで動くコーナーの位置が示される画像範囲でのみ対応解析を行うことが可能である。

【0013】

本発明の方法の好適な実施形態では、画像範囲は画像領域から対象画素の形で抽出する。このような抽出は、例えば、非最大抑制および/またはスケルトン処理または同様な処理を関連画像領域に適用することによって行う。

10

前記方法は、関連画像領域内の1つ以上のエッジまたは中央線を勾配の変化に基づいて判別する。エッジまたは中央線の個々の画素を対象画素として使用する。

【0014】

同じエピソードに割り当てられる多数の画像シーケンスの画像範囲間でのみ類似度をとると、方法の特に有利な実施形態になる。これは、画像をエピソード幾何のフレームワーク内で記述できるカメラシステムがよく利用されていることを活用している。具体的には、この場合、対応問題は、1つの同じエピソードの画像範囲のみを互いに割り当てればすむ。対象画素を画像範囲として使用する好適な事例では、同じエピソード上にある対象画素についてのみ類似度をとればよい。

【0015】

20

パラメータ化関数 $h(u, v, t)$ と各対象画素およびその局所環境とのマッチングは、パラメータ化関数とその環境を考慮しながら各対象画素に合わせて適応されるように、空間 $R(u, v, g, t)$ で有利に行われる。局所環境は、画素がそれぞれの対象画素に直接隣り合う画素範囲をカバーするのが好ましい。この画素範囲は正方形であることが好ましく、特に境界のエッジで奇数の画素をもつ。代わりにまたは追加で、局所環境は空間 $R(u, v, g, t)$ の時間環境をカバーし、これは画像シーケンスのうち適切に選択した数の画像にまで及ぶ。この場合、画像の数は、例えば、検出される物体の種類と速度に依存する。

【0016】

単純な実施形態では、パラメータ化関数 $h(u, v, t)$ は、空間 $R(u, v, g, t)$ の超平面、すなわち $(n - 1)$ 次元の平面、空間 $R(u, v, g, t)$ の部分空間として設計される。

30

方法のこの設計はパラメータ化関数を適応するときの計算量が少なくすみ、それによって方法の全体的な計算量を最小化する。例として、画像範囲から判別される超平面の法線ベクトル間の角度を、この実施形態の類似度として使用する。この差角は、様々な画像シーケンスの画像範囲内の画像値および/または濃淡値における類似の変化量の尺度である。代わりに、または追加で、多数の画像シーケンスからの画像範囲の超平面の強度 (g) の次元における軸部パラメータの差を、類似度を使用する。この差は、それぞれの画像範囲における絶対平均画像値および/または濃淡値の尺度である。このように、関数 h のパラメータを、例えば光束の判別を使用できる。

【0017】

40

本発明の方法の有利な形態では、パラメータ化関数 $h(u, v, t)$ を、超平面より高次の関数および/または任意関数として設計し、具体的にはパラメータ化関数は空間 $R(u, v, g, t)$ 内の任意形状の面をなす。このような複素関数は確かにマッチングのための計算量を増大させるが、同時に画像範囲をより信頼性を高めて割り当てることができるようにマッチングの精度を向上させる。

【0018】

類似度として、画像範囲から判別される面同士の差分、および/または面の規定面積で囲まれた、観測する画素の局所環境の $R(u, v, g, t)$ 空間量を利用するのが好ましい。

あるいは、類似度として、画像範囲から判別されるパラメータ化関数のパラメータの直接的な比較を使用することもできる。このためにパラメータ空間内の距離を使用すること

50

が好ましい。この場合のパラメータ空間は n 次元の空間であり、 n はパラメータ化関数 $h(u, v, t)$ の独立パラメータの数を表す。ユークリッドパラメータ空間を使用するのが好ましい。

【0019】

計算量を最小化するために、関連画像領域を確定するための、具体的には画像シーケンスの画像とそのシーンの前に記録された参照画像の画像との、差分画像をとることを提供できる。こうして、現在の画像の代わりに、使用するのは、現在の画像とシーンの参照画像との差分絶対値となる。具体的には、画像シーケンスを固定カメラ、すなわち長時間動かないカメラによって記録する場合、この方法の変型が使用される。考えられるインタレストオペレータの基準は、この場合一定の閾値によって2値化した差分画像における0から1への上昇または1から0への下降である。このように、誤対応の数を大幅に減じることができる。計算量を軽減するために画像ピラミッドまたは時間ピラミッドを使用することも可能であり、現在の画像の代わりに、まず、例えば速い動きを検出できるようにするために、低解像度の画像から成る画像ピラミッドまたは時間ピラミッドを使用することも可能である。

10

【0020】

請求項16の発明による装置は、三次元シーンの再構成に適する、および/または再構成のために設計されている。これはカメラシステムと、前記カメラシステムに接続されている少なくとも1つの評価ユニットとを備える。本発明により、第1評価ユニットはプログラミングにより、および/または前述の方法を実施する回路により設計されることを提供する。

20

【0021】

好ましくは、カメラシステムは、2台のカメラを備えるステレオカメラシステムとして実現されることを提供する。具体的には、2台のカメラを平行な観測方向に配置する、および/または同一の設計とする。この実施形態はエピポーラ線を非常に簡単に判別することが可能である。

あるいは、カメラシステムを校正済みマルチカメラシステムとして、すなわち2台以上のカメラをもつように設計する。具体的には、カメラは重複観測エリアをもつ。カメラシステムを校正するのが好ましいが、あるいは自動校正を設けることも可能である。

【0022】

装置の改良形態では、第2評価ユニットを設け、これが別のアルゴリズムに基づいて、具体的には相関解析に基づいて、三次元シーンの再構成のための対応の判別を行う。第2評価ユニットに任意でさらなるカメラシステムを設ける。この実施形態は、安全関連の応用の場合には確実に検出の信頼性を高めるために、相互に独立した2つの装置・アセンブリで同じシーンを観測し、それを再構成するという考えに基づく。

30

【0023】

本発明に基づくさらに他の詳細、特徴、特徴の組合せ、利点、および効果は、本発明の好適な例示的实施形態の以下の説明と、図面から明らかになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

図1は発明による方法の例示的な実施形態のフローチャートを示している。ステップ1で、画像シーケンスが少なくとも2台のカメラで記録され、画像シーケンスは時間的に等間隔な個々の画像からなる。画像が等間隔の瞬間に各カメラで同時に記録されるように、カメラは互いに同期させている。bが少なくとも2台のカメラの数を表す場合、各時間的に等間隔の瞬間に、このように個々の画像のb個組が生成される。

40

【0025】

ステップ2で、画像シーケンスの個々の画像の画像値から、具体的には濃淡値から、それぞれ参照画像を減算することによって、差分画像を生成する。

前記少なくとも2台のカメラがエピポーラ(epipolar)条件を満たすように互いに配置されていない場合、ステップ3でb個組の個々の画像を互いに関係付けて調整する。これ

50

は周知の方法で、回転行列および平行移動行列を適用して行う。ステップ3の後、b個組の個々の画像を、対応する画像範囲が共通のエピポーラ線に割り当てられるように修正する。このステップ3はステップ2の前、または後で行うこともできる。

【0026】

ステップ4で、インタレストオペレータによって関連画像領域を判別する。このために、差分画像を2値化し、定義した閾値を下回る画像値をもつ画像領域の画素に値0を与え、閾値を上回る画像領域に値1を与える。画素値1の画像領域を、以下、関連画像領域と呼ぶ。

ステップ5で、差分画像(2値化画像ではなく)の関連画像領域に、勾配が特に強い環境をもつ画素を抽出する画像処理方法を適用する。このような画素は空間対応を判別するのに特に適する。例えば、関連画像領域にスケルトン処理を適用し、関連画像領域にスケルトン状の中央線を生成する。抽出される画素、すなわちこの例では中央線の画素を、以下、対象画素と呼ぶ。

【0027】

ステップ6で、好ましくはオリジナル画像および/または差分画像に基づいて、パラメータ化関数 $h(u, v, t)$ を各個々の対象画素およびその局所環境に適應させる。対象画素はこの場合、画素位置 u 、画素位置 v 、画像値または濃淡値 g 、および時間 t で定義する四次元空間 $R(u, v, g, t)$ で表される。パラメータ化関数 $h(u, v, t)$ は、もっとも単純な場合では超平面として設計される。このパラメータ化関数 $h(u, v, t)$ は、画像値または濃淡値分布に関する情報と、その時間的挙動を使用することによって、対象画素およびその環境にマッチングする。対象画素の局所環境は、画素位置 u 、画素位置 v を参照した環境と、時間 t を参照した環境とをカバーする。

【0028】

記録される個々の画像の局所的な画素環境および/または時間的環境は、特定用途に向けて選択するのが好ましい。しかし、画素環境および/または時間的環境を物体のサイズによって特定の物体向けに選択することも可能である。固定カメラシステムの場合、対象画素の抽出は、シーンの現在の画像と参照画像から差をとることによって計算する差分画像で行われるのが好ましい。一般性を制限することなく、カメラシステムは、エピポーラ線が画像の線に対応するような平行な光学軸をもつ同一の2台のカメラからなると仮定してもよい。

【0029】

実務上、画像の物体の境界には、参照画像と比較するとシーンに入ってきた、またはシーンから出ていった対象画素が多数ある。理想としては、このような物体の境界を画素強度のはっきりした不連続性によって記述することが可能である。しかし、実際の画像では、このような強度の不連続性は光学システムの点像必要分布関数によって「滑らか」にされるため、あまり観測されない。このため、物体の境界の強度変化を、例えば双曲線正接など、シグモイド(sigmoid)関数で記述するのが有利である。しかし、シグモイドの強度変化は画素強度のさらなる変動が重なると想定されるはずなので、対象画素の時空間環境の強度分布は、次の混合多項式シグモイド式としてモデル化するのが好ましい。

【0030】

【数1】

$$h(u, v, t) = p_1(v, t) \tanh[p_2(v, t)u + p_3(v, t)] + p_4(u, v, t). \quad (1)$$

【0031】

この式において項 $p_1(v, t)$ 、 $p_2(v, t)$ および $p_3(v, t)$ は v と t の多項式を記述し、 $p_4(u, v, t)$ は u 、 v および t の多項式である。ある時間ステップ t の場合、開口問題(aperture problem)のために水平方向のエッジプロファイルに基づく視差を判別できないため、方程式(1)は本質的に垂直に変化する物体の境界をモデル

10

20

30

40

50

化している。多項式 $p_1(v, t)$ は振幅を記述し、 $p_2(v, t)$ はシグモイド関数の傾きを記述し、どちらも画像の線 v に依存するが、 $p_3(v, t)$ はモデル化されている物体の境界の線依存位置を再現する。 $p_2(v, t)$ の値は、光学システムがエッジをどの程度強調して撮像するかを実質的に依存し、大きい値がくっきりしたエッジを記述し、小さい値がぼけたエッジを記述する。多項式 $p_4(u, v, t)$ は物体内部および外部の局所的な強度の変動をモデル化する空間可変なオフセット項であり、そのため、例えば、乱れた背景を考慮できる。記述される特性はすべて時空間ステレオ法において時間的に可変であるとみなされ、これは多項式の直接時間依存性に反映される。関数 $h(u, v, t)$ の画素強度 $g(u, v, t)$ へのフィット残差が規定の閾値より大きい対象画素が拒絶される。

10

【0032】

その一般形において、方程式(1)は非線形最適化法により各対象画素の関数 $h(u, v, t)$ のパラメータの判別を導く。このような最適化法はしばしば事前に解を知っておく必要がある。大域的最適解が実際に見つかるとは限らず、一般に長い計算時間を要するためである。特に、最後に挙げた問題点は、リアルタイム可能なシステムで非線形最適化に基づく方法を使用するのを難しくし、または不可能にする。

【0033】

このため、各対象画素の関数 $h(u, v, t)$ のパラメータを判別するために、物理的手法を用いて簡略化した仮定に基づき、線形最適化によって関数のパラメータの判別を導く特別な計算パスを利用すると、特に有利である。このような最適化の問題を以下詳細に記述するが、文献から知られている方法を使用することによって(例えば、上記非特許文献4)計算式で非常に効率的に解くことができる。

20

【0034】

有利な方法は以下の仮定に基づく。

1. オフセット $p_4(u, v, t)$ は空間的に一定であり、空間画像座標 u および v で平均化した、対象画素の局所環境の画素強度

【0035】

【数2】

$$\bar{I}_{uv}(t)$$

30

【0036】

に対応する。

2. シグモイドの振幅 $p_1(v, t)$ は空間的に一定であり、対象画素の空間局所環境の画素強度の標準偏差 $\sigma_1(t)$ に比例し、 $p_1(v, t) = k \sigma_1(t)$ で表され、 k はユーザが規定する定数を表す。 k の値は 0.8 から 3 の間にあるのが好ましい。ここで、空間平均値および標準偏差の代わりに、時空間の平均値および標準偏差を使用することも可能である。

【0037】

以上の仮定を使用すると、方程式(1)は次のように書き換えることができる。

40

【0038】

【数3】

$$p_2(v, t)u + p_3(v, t) = \operatorname{artanh} \left[\frac{I(u, v, t) - \bar{I}_{uv}(t)}{k\sigma_1(t)} \right] \equiv \tilde{I}(u, v, t). \quad (2)$$

【0039】

方程式(2)の左側は v と t の多項式であり、このパラメータは線形方程式系を解くことによって変換画像データ

【0040】

50

【数 4】

$$\tilde{I}(u,v,t)$$

【0041】

から求めることができ、線形方程式を解くのに効率的な方法を利用できる。

ここでは例としてガウス消去法を挙げてよい。がユーザが規定するシステムパラメータである場合、

【0042】

【数 5】

$$|[I(u,v,t) - \bar{I}_{uv}(t)] / (k\sigma_i(t))| \geq \Theta$$

10

【0043】

で表される画素は、最適化手順には含まれていない。なぜなら変換画素値

【0044】

【数 6】

$$\tilde{I}(u,v,t)$$

20

【0045】

はシグモイド関数の逆関数を返しても求めることはできない、または逆正接関数の勾配が大きいためかなり不正確にしか求めることができないためである。 の値は好ましくは 0.75 より大きく、かつ必ず 1 未満でなければならない。発明による方法で基本原理として記述される式において、方程式(2)の左側の多項式のパラメータは、ステレオ画像の対および/またはステレオ画像シーケンスの対の対応の判別を可能にする。

【0046】

仮定をさらに単純にすると、方法の別の有利な改良形態が得られる。

3. シグモイドの傾き $p_2(v, t)$ は一定であり、 $p_2(v, t) = a$ で表される。

30

4. 物体の境界は、一定速度 c で動く勾配 b の直線の一部で表すことができる。これは以下の方程式に対応する。

【0047】

【数 7】

$$p_3(v,t) = bv + ct + d.$$

【0048】

以上の仮定から、4つのモデルパラメータ a 、 b 、 c および d の線形式が直接導かれる

40

【0049】

【数 8】

$$au + bv + ct + d = \tilde{I}(u,v,t) \quad (3)$$

【0050】

このモデルでは、エッジの動きの挙動は、速度パラメータ c で記述される。発明による方法において、モデルパラメータ a 、 b 、 c および d から、ステレオ画像の対および/ま

50

たはステレオ画像シーケンスの対の対応を判別できる。

方程式(1)は適合するモデルパラメータから、直接エッジ位置 u_e の副画素を正確に判別できる。この値は視差の計算にとって非常に重要であり、これは対応の判別後にする。ここでは、 u_e の値を水平方向の強度プロファイルの最大勾配の位置、すなわちシグモイド関数のゼロ点に対応するものとして定義するのが妥当である。この条件から以下の方程式を導く。

【0051】

【数9】

$$u_e(u_c, v_c, t_c) = -p_3(v_c, t_c) / p_2(v_c, t_c), \quad (4)$$

10

【0052】

u_c 、 v_c および t_c は、観測する対象画素の局所環境の中央に関係する。 v_c の値はさらに関連対象画素があるエピポーラ線を表す。

ステップ7で、 b 個組の様々な個々の画像に割り当てられ、共通のエピポーラ線上にある対象画素のパラメータ化関数 $h(u, v, t)$ のパラメータを相互比較する。例えば、類似度としてパラメータの最小差を使って比較を行う。

【0053】

ステップ8で、類似度が最も高い b 個組の様々な個々の画像の対象画素が互いに対応すると判別する。その後、これら対応する対象画素に基づいて、周知の方法で観測するシーンの三次元の再構成を行う。

20

請求項の用語には含まれていないが、非常に単純化した方法の実施形態では、画像シーケンスの代わりに、個々の画像、具体的には個々の画像の対または組だけを利用し、その場合空間 $R(u, v, g)$ に適応される関数 $l(u, v)$ のパラメータを比較することによって対応をとる。この単純化した実施形態は差分画像アプローチと組み合わせることもできる。一方、本発明の場合、パラメータ化関数 $h(u, v, t)$ は、少なくとも画像シーケンスの2つの連続する個々の画像の期間にわたって適応される。

【0054】

図2は三次元シーンを再構成する装置を示す。物体9は、固定カメラ10a、10bおよび任意の10cからなるカメラシステムによって光学的に取得する。物体9は、例えば、ロボット保護エリア監視装置として三次元シーン再構成装置を装備する処理セル内の未知の物体であってもよい。カメラは画像を濃淡値形式で記録できるデジタルカメラ、具体的にはCCDカメラとして設計される。他の応用の場合、カラーカメラまたは熱画像カメラまたはUVカメラを使用することも可能である。カメラ10a、10b、10cは互いに同期させて、3つの個々の画像をもつ3個組を同時に記録できるようにする。

30

【0055】

カメラ信号をケーブル11を介して第1評価ユニット12に渡す。図1に関連して説明する空間対応を判別する方法は、この評価ユニット12で行う。例として、このために適切なプログラムを算術論理演算器に格納する。カメラ10a、10b、10cの画像シーケンスの画像範囲で判別された対応を計算ユニット13に渡し、ここで取得した物体9を三次元で再構成する。

40

【0056】

図2の点線で示すように、第2評価ユニット14が任意で備えられ、これは同様に画像シーケンスの画像範囲間の対応を判別するが、別の設計のアルゴリズムに基づいている。評価ユニット14は、例えば相関解析によって動作する。このように判別した対応を第2計算ユニット15に渡して、ここで同様に取得した物体9を三次元で再構成する。第1計算ユニット13と第2計算ユニット15の結果は、再構成の精度をより高めるために互いに比較することができ、または安全関連の応用の場合には安全性を高めるために互いに独立して評価できる。

50

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】本発明による方法の例示的な実施形態のフローチャートを示している。

【図2】本発明による装置の例示的な実施形態をブロック図で示している。

【図1】

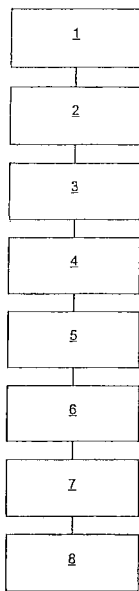


図1

【図2】

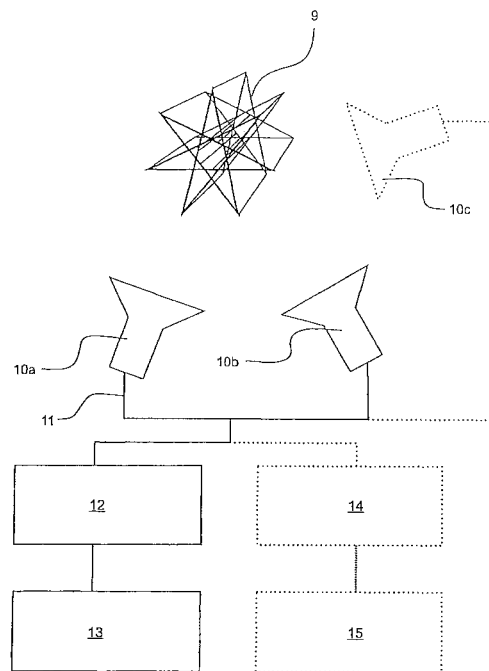


図2

フロントページの続き

- (72)発明者 ゲバート, トビアス
ドイツ連邦共和国, 3 9 6 0 9 ビーレフェルド, タイシュシャイデ 2 4 ツェー
- (72)発明者 クルーガー, ラース
ドイツ連邦共和国, 8 9 0 7 7 ウルム, マギルショフ 2 7 番地
- (72)発明者 ヴェーラー, クリステリアン
ドイツ連邦共和国, 7 2 5 3 5 ヘロルドシュタット, ライヒンガー シュトラーセ 9 / 1

審査官 伊東 和重

- (56)参考文献 特開平05 - 052933 (JP, A)
特開2004 - 234423 (JP, A)
特開2006 - 054681 (JP, A)
特開2002 - 056388 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 1/00
G01C 3/06
G06T 7/00
H04N 13/02