

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-500042  
(P2009-500042A)

(43) 公表日 平成21年1月8日(2009.1.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>AO1K 67/00 (2006.01)</b>	AO1K 67/00 D	5B047
<b>GO6T 1/00 (2006.01)</b>	GO6T 1/00 420C	5B057
<b>HO4N 7/18 (2006.01)</b>	GO6T 1/00 280	5C054
	HO4N 7/18 C	
	HO4N 7/18 K	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願2008-520421 (P2008-520421)  
 (86) (22) 出願日 平成18年7月7日 (2006.7.7)  
 (85) 翻訳文提出日 平成20年3月7日 (2008.3.7)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/026602  
 (87) 国際公開番号 W02007/008715  
 (87) 国際公開日 平成19年1月18日 (2007.1.18)  
 (31) 優先権主張番号 60/697, 135  
 (32) 優先日 平成17年7月7日 (2005.7.7)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 508006300  
 インジニアス・ターゲティング・ラボラ  
 トリー・インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国ニューヨーク州11790  
 -3350, ストニー・ブルック, ヘル  
 ス・サイエンス・ドライブ, リーティ  
 ・ビルディング, 스위트 106  
 (74) 代理人 100089705  
 弁理士 社本 一夫  
 (74) 代理人 100140109  
 弁理士 小野 新次郎  
 (74) 代理人 100075270  
 弁理士 小林 泰  
 (74) 代理人 100080137  
 弁理士 千葉 昭男

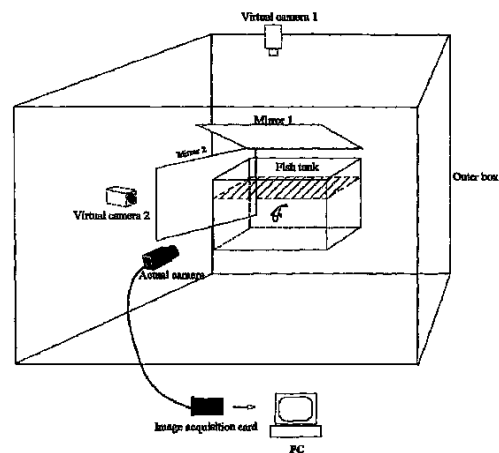
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ターゲットの運動行動の3Dのモニタリング及び分析のためのシステム

(57) 【要約】

本発明は、実験動物のような試験対象物の運動関連の行動の3-Dのモニタリング及び分析のためのシステムに関する。そのシステムは、1台の実際のカメラと、少なくとも1台のバーチャル・カメラと、実際のカメラに接続されるコンピュータとを備える。そのコンピュータは、好ましくはソフトウェアをインストールされ、当該ソフトウェアは、試験対象物の3-D運動関連の行動に関連付けられるステレオ画像を収集し、且つ対象物の3-D運動パラメータによって、これらの収集された画像フレームを処理することができる。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

少なくとも 1 台の実際のカメラと、少なくとも 1 台のバーチャル・カメラと、前記実際のカメラにリンクされるコンピュータとを備える 3 次元モニタリング・システムであって、少なくとも 1 つの対象物の運動関連の行動をモニタし、分析する、3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 2】**

少なくとも 1 台の実際のカメラと、少なくとも 1 台のバーチャル・カメラと、前記実際のカメラにリンクされるコンピュータとを備える 3 次元モニタリング・システムであって、拡張較正コンポーネントを含む、3 次元モニタリング・システム。

10

**【請求項 3】**

少なくとも 1 台の実際のカメラと、少なくとも 1 台のバーチャル・カメラと、前記実際のカメラにリンクされるコンピュータとを備える 3 次元モニタリング・システムであって、2 つ以上の対象物の運動関連の行動をモニタし、分析する、3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 4】**

前記コンピュータはソフトウェアをインストールされる、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 5】**

3 つの並進及び 3 つの回転を含む 6 つの自由度において対象物の運動関連の行動をモニタし、分析する、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

20

**【請求項 6】**

1 つ又は複数の対象物の 3 次元の運動関連の行動をモニタすることができる、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 7】**

1 つ又は複数の対象物上の 1 つ又は複数の特徴点の 3 次元の運動関連の行動をモニタすることができる、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 8】**

オンライン・モード又はオフライン・モードにおいて行動モニタリングを実行することができる、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

30

**【請求項 9】**

前記実際のカメラは、デジタル・ビデオカメラと、フレーム・グラバを有するアナログビデオカメラとから成るグループから選択される、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 10】**

前記バーチャル・カメラは、反射表面と、前記実際のカメラと同期しているカメラとから成るグループから選択される、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 11】**

前記バーチャル・カメラは、前記実際のカメラを反射表面に反射することによって得られる、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

40

**【請求項 12】**

反射屈折ステレオシステムである、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 13】**

前記実際のカメラは、前記ターゲットの画像と、前記反射表面における該ターゲットの鏡像とをキャプチャする、請求項 10 又は 11 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

**【請求項 14】**

2 台以上の実際のカメラをさらに備える、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

50

## 【請求項 15】

2台以上のバーチャル・カメラをさらに備える、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 16】

前記実際のカメラは、フレーム毎に画像を収集することができる、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 17】

前記カメラは2つ以上の線形独立の視野を形成する、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 18】

閉ざされた空間内に前記カメラ及び動物コンテナを閉じ込める外枠をさらに備える、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 19】

発光ダイオード(LED)又は着色端から成るグループから選択される可視インジケータデバイスをさらに備える、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 20】

前記可視インジケータデバイスは、電子パネル及びプログラブル・コンピュータ・ポートをさらに備え、それによって、前記可視インジケータは自動的にオン及びオフされる、請求項19に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 21】

動物コンテナをさらに備える、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 22】

前記動物コンテナは、第1のモニタリング窓及び第2のモニタリング窓を画定する少なくとも2つの垂直な面を有する、請求項21に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 23】

自身の上に反射画像が形成されるのを防ぐために不透明な面をさらに備える、請求項22に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 24】

前記対象物は、齧歯類、魚、昆虫、蠕虫、両生類、爬虫類及び哺乳類から成るグループから選択される、請求項1に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 25】

前記実際のカメラの軸は、前記第1のモニタリング窓の平面上にあり、前記バーチャル・カメラの軸は前記第2のモニタリング窓の平面上にある、請求項22に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 26】

前記コンピュータは、較正コンポーネント、ステレオ画像処理コンポーネント、ターゲットの追跡及び識別のコンポーネント、及び3-D再構成コンポーネントを含む、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 27】

前記コンピュータはノイズ除去コンポーネントを含む、請求項1～3のいずれか一項に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 28】

前記ノイズ除去コンポーネントは、照明条件の変化によって、且つ/又は誤ってセグメント化された画像によって引き起こされるノイズを検出する、請求項27に記載の3次元モニタリング・システム。

## 【請求項 29】

前記ノイズ除去コンポーネントは、ノイズによって引き起こされる前記誤差を自動的に除去する、請求項27に記載の3次元モニタリング・システム。

10

20

30

40

50

## 【請求項 30】

前記コンピュータは運動関連の行動分析コンポーネントを含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 31】

前記運動関連の行動分析コンポーネントは、前記ターゲットの再構成された 3 次元運動軌跡から、運動学的分析及び統計分析を実行する、請求項 30 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 32】

前記較正コンポーネントは、基本較正コンポーネント及び拡張較正コンポーネントをさらに含む、請求項 26 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

10

## 【請求項 33】

前記基本較正コンポーネントは、反射表面及びバーチャル・カメラを較正する、請求項 32 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 34】

前記拡張較正コンポーネントは、屈折界面を較正する、請求項 32 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 35】

前記拡張較正コンポーネントは、前方屈折及び後方屈折を含むレイトレーシング法を用いる、請求項 32 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 36】

前記ステレオ画像処理コンポーネントはさらに、エピポーラ構造導出 (epipolar structure derivation) コンポーネント、画像セグメンテーション・コンポーネント及び画像対応検出コンポーネントをさらに含む、請求項 26 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

20

## 【請求項 37】

前記エピポーラ構造導出コンポーネントは、単一の媒質において直線エピポーラ構造を導出する、請求項 36 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 38】

前記エピポーラ構造導出コンポーネントは、光が 2 つ以上の媒質を通過するときに、非直線エピポーラ構造を導出する、請求項 36 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

30

## 【請求項 39】

前記直線エピポーラ構造は、前記カメラの較正されたパラメータから導出される、請求項 37 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 40】

前記非直線エピポーラ構造は、前記カメラの較正されたパラメータ及び屈折界面から導出される、請求項 38 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 41】

前記画像セグメンテーション・コンポーネントは、背景減算法若しくは色空間セグメンテーション法、又はそれらの組み合わせを用いる、請求項 36 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

40

## 【請求項 42】

前記背景減算法は、背景画像を自動的に且つ適応的に更新する、請求項 41 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 43】

前記画像対応検出コンポーネントは、全ての視野内の前記ターゲットの画像間の対応を検出する、請求項 36 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 44】

前記画像対応検出コンポーネントは、エピポーラ幾何学的構造 (geometry) 制約を用いることによって、対応検出を実行する、請求項 36 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

50

## 【請求項 4 5】

前記ターゲットの追跡及び識別のコンポーネントは、3-D運動追跡及びターゲット識別の能力を有する、請求項 2 6 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 4 6】

前記 3-D運動追跡は、全ての視野内及び 2 つの連続した画像フレーム内のターゲットの前記関連する画像を検出する、請求項 4 5 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 4 7】

前記 3-D運動追跡は、画像対応検出から得られる対応する画像セットを抽出する、請求項 4 5 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 4 8】

前記 3-D運動追跡は、3-Dカルマン予測子・修正子法をさらに用いて、2 つの連続したフレームにわたって前記ターゲット画像を追跡する、請求項 4 7 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 4 9】

前記ターゲットの追跡及び識別のコンポーネントは、収集されたフレーム上で前記ターゲット画像を識別し、該ターゲット画像に自動的にタグを割り当てる、請求項 4 5 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 0】

前記ターゲットの追跡及び識別のコンポーネントは、空間整合性若しくは時間整合性、及び/又はそれらの組み合わせにエネルギー原理の最小値を適用することによって、前記ターゲット画像を識別する、請求項 4 5 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 1】

前記空間整合性は、対応するターゲット画像がエピポラ制約を満たす傾向である、請求項 5 0 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 2】

前記時間整合性は、ターゲットに関連付けられる画像が、短時間、同じターゲットの先行する画像の近くにある傾向である、請求項 5 0 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 3】

前記ターゲットの追跡及び識別のコンポーネントは、多数の対象物に物理的なタグを取り付けることなく、該対象物を識別することができる、請求項 4 5 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 4】

前記ターゲットの追跡及び識別のコンポーネントは、対象物上の多数の特徴点に物理的なタグを取り付けることなく、該特徴点を識別することができる、請求項 4 5 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 5】

前記 3-D再構成コンポーネントは、ターゲット画像から、前記ターゲットの 3 次元位置を再構成する、請求項 2 6 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 6】

前記 3-D再構成コンポーネントは、2 つ以上の独立した視野から、前記ターゲットの 3 次元位置を再構成する、請求項 2 6 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【請求項 5 7】

前記 3-D再構成コンポーネントは、三角測量法を用いることによって、3次元再構成を実行する、請求項 2 6 に記載の 3 次元モニタリング・システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

[著作権表示]

本特許明細書の一部は、著作権保護を受ける資料を含む。著作権所有者は、特許商標局

10

20

30

40

50

の特許ファイル又は記録において見られるように、特許明細書若しくは特許開示を誰が複製しても異存はないが、それ以外の場合には、いかなる場合も全ての著作権を保有する。

【0002】

包括的には、本発明は、脊椎動物（たとえば、ゼブラフィッシュ、すなわち*Danio rerio*、キンギョ、すなわち*Carassius auratus*）、齧歯類動物（たとえば、マウス及びラット）及び昆虫（たとえば、ショウジョウバエ）のようなターゲットの行動表現型のモニタリング及び分析に関する。より具体的には、本発明の一態様は、リアルタイムかつオンライン・モード、又はオフライン・モードのいずれかにおいて、個々の動物、又は動物のグループ（群れ）の場合に、特定の行動パラダイム実験下で、移動活動、運動活動、ホーム・ケージ行動、攻撃性、対捕食行動（antipredatory）、集団選好、光選好パラダイム（light preference paradigms）等の実験動物の3Dの運動関連行動の自動のモニタリング及び分析を対象とする。実験動物として、ノックイン、ノックアウト若しくは形質転換操作後の遺伝子組換え動物、又は薬物、化学物質又は特定の環境に晒された後の実験動物を用いることができる。

10

【背景技術】

【0003】

野生型動物、遺伝子組換え（形質転換、ノックイン、又はノックアウト）動物、薬物処置動物、及び化学的な変異誘発操作後の動物のような実験動物（Experimental laboratory animal）が、数例を挙げると、ゲノム研究、遺伝的機能障害の研究、表現型薬物スクリーニング、毒性学、バイオセンシング、及び生体防御を含む、種々の生物学的、臨床的、生物医学的、環境的及び軍事的な研究分野におけるヒトモデルとして広く用いられてきた。これは、ヒトと動物とが広い遺伝的及び神経解剖学的相同性を共有し、それらの相同性が様々な種の間で広く保存されることに起因する。動物モデルの行動研究は、既知の遺伝子型を特定すること、種々の神経障害によって引き起こされる行動反応を定量化すること、並びに薬物候補の毒性及び有効性を解明することを目指しているポストゲノム研究の分野において特に有用である。

20

【0004】

運動機能の欠乏は、遺伝子突然変異によって、又は化合物の影響によって引き起こされることがある。運動関連の動物行動の研究は、種々の遺伝子型が、ハンチントン病及びパーキンソン病のような種々の運動関連の機能障害の発生に及ぼす影響と、薬物又は任意の化合物がヒトに及ぼす影響とを理解する上で有用である。これらの目的を果たすために用いられる典型的な動物モデルは、マウス及びラットのような齧歯類動物、ゼブラフィッシュ及びキンギョのような脊椎動物、並びにショウジョウバエのような昆虫を含む。これらのモデルを用いて、種々の標準化された動物行動試験が設計されている。たとえば、齧歯類動物の場合の行動試験は、オープン・フィールド、ホーム・ケージ、水迷路、及び社会的行動パラダイムから構成され、一方、脊椎動物の場合の行動試験は、水泳移動活動、対捕食行動及び集団選好パラダイムから構成される。これらの試験について、表現型行動を記述する重要なパラメータが規定されている。たとえば、ゼブラフィッシュの水泳移動行動は、移動距離、水泳速力（speed）、旋回角、平均方向転換率（RCDI）、正味変位対全変位比（net to gross displacement ratio）（NGDR）、実体波形状（body wave shape）、尾のうなり振幅及びうなり周波数（tail beat amplitude and frequency）等によって分類および分析することができる。

30

40

【0005】

様々な種の実験動物のための全ての標準化された行動試験の中でも、運動情報及び自発活動情報は、表現型スクリーニングにとって非常に重要である。そのような情報は、オープン・フィールド（移動活動試験の場合）及びホーム・ケージ・パラダイムから入手することができる。

【0006】

実験動物の運動パターンのモニタリングは、従来、人が観察することによって、及び/又は予め録画されたビデオテープを用いてオフラインにおいて手作業で数えることによ

50

て果たされてきたが、結果として、データ及び観察結果が不正確で、不十分で、且つ主観的になることが避けられなかった。さらに、人が観察する方法は、定量的なデータが不足すること、観察結果が人によって大きくことなること、大きな労力を要すること、コストがかかること、及び人の目の奥行方向に沿った情報が失われること等の大きな欠点を抱える。最近になって、研究者たちは、ほんの数例を挙げると、フォトビーム・ケージ、フォース・アクトプレート (force actoplate)、及び 2 - D ビデオ録画とオフライン・ビデオシーケンス分析との組み合わせを含む、動物の移動/運動行動を自動的にモニタするための種々のコンピュータ化された装置及び方法を開発している。たとえば、S. Kato 他著「A computer image processing system for quantification of zebrafish behavior」(Journal of Neuroscience Methods, 134(2004), 1-7) 及び J. Chraskova 他著「An automatic 3-D tracking system with a PC and single TV camera」(Journal of Neuroscience Methods, 88(1999), 195-200) を参照されたい。これらの方法の中でも、ビデオ録画方法が、非接触で構成できること、サンプリング周波数が高いこと、空間解像度が高いこと、モニタリング時間を長くできること、体の特定の部分の運動を追跡できること、及び様々な種の運動を追跡する際の多用途性等、他の方法よりも優れた特有の利点を有する。それゆえ、動物行動のモニタリング及び分析の分野では、2 - D のビデオ録画及び分析の方法が、他の方法よりも広く用いられている。

#### 【 0 0 0 7 】

しかしながら、既存の 2 - D のビデオ・モニタリング及び分析のシステムに関して、依然として大きな欠点がある。たとえば、既存のビデオモニタリング・システムは典型的には、ただ 1 台のビデオカメラを用いて動物の平面的な運動を、すなわちカメラが運動領域の上から視認する場合には水平面の運動を記述する運動学的パラメータを収集する。既存の 2 - D ビデオシステムのカメラは一般的には、動物コンテナを単一の方向から見て撮影するので、カメラの像平面によって画定される平面に対して垂直なカメラ軸のような、他の空間軸に沿った情報は失われる。結果として、既存の 2 - D ビデオシステム (たとえば、S. Kato 他、Journal of Neuroscience Methods, 134(2004), 1-7) によって記述されるシステム) は一般的には、試験される動物の上方又は下方への運動、たとえば、マウスの立ち上がり運動、及びゼブラフィッシュの上下の水泳運動を検出することはできない。なぜなら、そのカメラは通常、マウスケージ又は水槽の上から撮影するためである。さらに、既存のビデオ追跡システムでは、同じコンテナ内にいる多数の動き回る動物をモニタする能力が限られており、追跡されている動物が他の動物によって遮断される場合、又は対象となることがある動物の体の一部が動物の体そのものによって遮断される場合には、その動物に関連付けられる運動情報が失われる。たとえば、カメラがその活動領域の上から撮影する場合には、2 - D ビデオ追跡システムでは、マウス又はラットの歩行路に近づけないことがある。さらに、既存のビデオモニタリング・システムは一般的には、物理的な誤差又は環境のいくらかの変化を補正しない。たとえば、それらのシステムは、魚の水泳運動をモニタする際に補正されるべきである、水の屈折及び反射に関連付けられる測定誤差に対して何も対処しない。

#### 【 0 0 0 8 】

概して、過去数年の間に、実験動物の種々の行動試験において利用することができる、自動的な表現型行動モニタリング・システムに対する需要が高まっている。フォトビームケージ、フォースプレートアクトメータ及びアナログ/デジタル・ビデオモニタリング・システムを含む、自動システムのいくつかの例が、これらの要求に応じて開発されてきた。たとえば、先に引用された文献を参照されたい。これらの自動モニタリング・システムの適用は、精度が低いこと、労力がかかること、及び結果としてデータに誤差が生じること等の、人が観察する従来の方法に関連する主観の問題の大部分を解決することに成功している。これらのシステム及び方法の中でも、カメラの空間解像度が高く、様々な動物の種及び環境に合わせて構成できるという理由から、モーションセンサのようなビデオカメラを使用することによって、最も強力なモニタリング能力が提供されてきた。しかしながら、多くの既存のビデオシステムは実質的には 2 - D であり、2 つの並進軸及び 1 つの回

10

20

30

40

50

転軸、すなわち平面的な運動を規定する3つの自由度(DOF)に沿った運動情報しかモニタすることができない。結果として、これらの従来2-Dビデオ追跡システムを用いるとき、動物運動パラメータの収集された時刻歴は不完全である。それゆえ、実験動物の運動関連の行動を3-D空間において正確にモニタすることができる、より高度なビデオシステムが要求されている。

#### 【0009】

2台以上のカメラを用いて画像をキャプチャするリアルタイム3-Dシステムが記述されている。さらに、1台のカメラと、2つ以上の鏡面との組み合わせから成り、結果として従来にはないステレオ・ペアを形成する3-Dシステムが記述されている。Gluckman及びNayar著「A Real-Time Catadioptric Stereo System Using Planar Mirrors」(IUW, 1998)、Lin, J. Yeh, M, Ouhyoung著「Extracting 3-D facial animation parameters from multiview video clips」(IEEE CGA, 22(6), 2002, 72-80)及びJ. Chraskova他著「An automatic 3-D tracking system with a PC and a single TV camera」(Journal of Neuroscience Methods, 88(1999), 195-200)を参照されたい。Nayar、Lin及びChraskovaによって記述されるシステムは、単一のステレオ画像のキャプチャに関連する。しかしながら、それらのシステムでは、システムを較正すること、測定誤差と多数の媒質によって引き起こされるシステム・ノイズとに対処すること、エイリアシングを生じることなく一匹又は多数の動物の運動を確実に追跡すること、及び視覚的に区別することができるタグを取り付けることなく多数の動物を同時に追跡すること等の、動物の運動の3-Dビデオ追跡の体系的な実施態様は十分には取り扱われない。たとえば、Chraskovaによって記述される3-D動物追跡システムでは、反射鏡が用いられるが、その鏡は、おおよその向き及び位置に設定されるだけであり、その正確な幾何学的パラメータを得るためにさらに較正されることはない。魚の水泳行動を追跡するためのそれらのシステムの実施態様では、水の屈折によってステレオの幾何学的構造に引き起こされる歪みのようなモニタリング誤差は補正されない。さらに、Chraskovaによって記述されるシステムでは、追跡される全ての動物が発光ダイオード(LED)マーカを取り付けられなければならないが、多数の動物を同時にモニタする応用形態では、多数のLEDマーカが別々のフレームで作動されなければならない(時間分割方式)。これらの要件によって、行動実験を実施する上での技術的な課題が大きくなるだけでなく、行動をモニタした結果の不確実性が著しく大きくなる。

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0010】

したがって、一匹又は複数の試験動物の運動行動の3-Dでモニタ及び分析のための改善されたシステム及び方法が必要とされている。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

本発明は、試験対象物の運動関連の行動を3-Dでモニタ及び分析するためのシステムに関する。そのシステムは、1台の実際のカメラと、少なくとも1台のバーチャル・カメラと、コンピュータとを備える。コンピュータは好ましくは、実際のカメラに接続され、ソフトウェアパッケージをインストールされる。当該ソフトウェア・パッケージは、試験対象物の3-D運動関連の行動に関連付けられるステレオ画像をキャプチャすることができ、さらに、試験対象物の3-D運動パラメータを得るために、収集された画像フレームを処理することができる。本発明のシステムは、ハードウェア・コンポーネント及びソフトウェア・コンポーネントを含む。ハードウェア・コンポーネントは、ハードウェアのセットアップ・コンポーネント又は構成コンポーネントと、ハードウェア・ベース・ノイズ除去コンポーネントと、自動較正デバイス・コンポーネントと、実験動物コンテナ・コンポーネントとを含むことが好ましい。ソフトウェア・コンポーネントは、ソフトウェア・ベース・ノイズ除去コンポーネントと、基本較正コンポーネントと、拡張較正コンポーネントと、直線エピポラ構造導出コンポーネントと、非直線エピポラ構造導出コンポー



ネットと、画像セグメンテーション・コンポーネントと、画像対応検出コンポーネントと、3-D運動追跡コンポーネントと、ソフトウェア・ベース・ターゲット識別及びタギング・コンポーネントと、3-D再構成コンポーネントと、データ後処理コンポーネントとを含むことが好ましい。

【0012】

特に好ましい一実施の形態では、実際のカメラはデジタル・ビデオカメラであり、バーチャル・カメラは、平面的な反射鏡において実際のカメラを反射したものである。それゆえ、そのシステムは反射屈折ステレオ・コンピュータ・ビジョン・システムである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

本発明のシステム及び方法は、3-D空間内の対象となる1つ又は複数のターゲット（本明細書において「ターゲット」と呼ばれるものは、任意の試験対象物、たとえば、対象となる実験動物又は対象となる実験動物の体の上にある特徴点である）の運動を自動的にモニタし、6DOFにおいて重要な運動パラメータの対応する定量的な分析を提供することができる。本発明のステレオモニタリング・システムを用いることによって、従来の2-Dビデオ追跡システムの3つのDOFしかない2-D空間の代わりに、少なくとも6つのDOFを含む拡張された3-D空間において、ターゲットの運動が追跡され、分析される。好ましい一実施形態では、本発明のシステムは1台の実際のカメラと、少なくとも1台のバーチャル・カメラとを備える。カメラのうちの任意の2台の間にステレオ・ペアを形成することができ、そのシステムは、1つ又は複数のステレオ・ペアを含むことができる。実際のカメラは、限定はしないが、デジタル・ビデオカメラ、又はフレーム・グラバ・デジタイザを有するアナログビデオカメラを含む。バーチャル・カメラは、限定はしないが、反射平面鏡において実際のカメラを反射したものと、同期したカメラとを含み、同期したカメラは、ソフトウェア又はカスタマイズされたハードウェアによって実際のカメラと同期しているリアル・カメラである。好ましい一実施形態では、バーチャル・カメラは、実際のカメラを平面鏡の中に反射することによって形成される。平面鏡を使用することによって、同期させる必要がなくなり、システムコストが下がるという利点が提供される。さらに、バーチャル・カメラとして平面鏡を用いることによって、鏡の反射特性に起因して、空間を節約することができる。システムのバーチャル・カメラが、実際のカメラを平面鏡の中に反射することによって形成されるとき、そのシステムは、反射屈折ステレオシステムになる。

【0014】

バーチャル・カメラとしてリアル・カメラを用いる場合、実際のカメラ及びバーチャル・カメラを同期させるために、さらなる手法が必要とされる。そのように同期させることによって、ステレオ・ペアを形成する多数のカメラが確実に、同じターゲットの画像を同時に捕らえるようにする。それらのカメラは、フレーム毎に2つ以上の画像を出力することができる。この場合、より多くのピクセルがターゲットの画像に効果的に充てられることがあり、ターゲットをさらに鮮明に視認することができる。ターゲットの3-D位置を再構成するために、多数の画像が処理されなければならないので、計算時間が長くなり、メモリコストが増加することがある。

【0015】

一実施形態では、本発明のシステムは、多数のカメラ（多数のリアル・カメラ及び/又は多数のバーチャル・カメラを含む）を含むことがあり、それらのカメラは、モニタされるターゲットの2つ以上の線形独立の視野を形成することができる（すなわち、それらのカメラはそれぞれ、他の視野内には存在しないことがある情報を含む）。それらのカメラは、空間全体にわたって分布し、多数の動物の3-D活動を網羅することが好ましい。

【0016】

好ましい実施形態の実施態様では、バーチャル・カメラは、実際のカメラを鏡の中に反射することによって得られる。この実施形態では、実際のカメラの全ての外部パラメータが、対応するバーチャル・カメラの外部パラメータとして反映され、一方、対応するバー

10

20

30

40

50

チャル・カメラの内部パラメータは、実際のカメラと同じままである。反射屈折ステレオカメラを使用することは、基本的には、単一のリアル・カメラ又は多数のリアル・カメラによって同時にターゲットの画像及びその鏡像をキャプチャすることと同じである。しかしながら、前者の方法の方が、有効なステレオシステムとして実現されるほど体系立っており、モジュール構成で編成するために分解するのが容易である。

#### 【0017】

実際のカメラ及びバーチャル・カメラは閉ざされた空間内に置かれ、線形独立方向において、対象となるターゲットを凝視するように構成される。特別に構成されたハードウェア・コンポーネントを用いて、ノイズを最小限に抑えながら、モニタリング過程でのカメラによって一貫した画像フレームが確実に収集されるようにする。そのようなハードウェア・コンポーネントは、ハードウェア部品の幾何学的構成（これはどこかで定義されるか？）、ハードウェア・ベース・ノイズ除去コンポーネント、自動校正デバイス・コンポーネント、及び実験動物コンテナ・コンポーネントを含み、それらは後にさらに説明する。

10

#### 【0018】

実際のカメラは、内蔵の画像収集カードを通じて、コンピュータ（たとえば、パーソナルコンピュータ、「PC」）に接続されることが好ましい。コンピュータには、行動をモニタ及び分析する目的を果たすために、自社開発されたソフトウェアパッケージがインストールされる。そのソフトウェア・パッケージは、ソフトウェア・ベース・ノイズ除去コンポーネント、ソフトウェア・ベース校正コンポーネント、同期コンポーネント、エピソード導出コンポーネント、画像セグメンテーション・コンポーネント、画像対応検出コンポーネント、3-D運動追跡コンポーネント、ソフトウェア・ベースのターゲットの識別及びタギングのコンポーネント、3-D再構成コンポーネント、及びデータ後処理コンポーネントを含むことが好ましく、それらについては後にさらに説明する。これらのソフトウェア・コンポーネントは、適応的な背景生成、画像セグメンテーション、前景画像クラスタリング、前景画像対応検出、ターゲットの識別及びタギング、3-D運動追跡、3-D位置再構成、スマートターゲット再タギング、自動測定誤差補正、軌跡を基にする運動学的分析、及びターゲットの3-D運動を記述する運動学的パラメータの統計分析のような機能を果たすことができる。特に好ましい実施形態では、ソフトウェアは対応するアルゴリズムを含み、当該対応するアルゴリズムは、ビデオ画像を分析し、リアルタイムに及び/又は格納された画像シーケンスからオフライン・モードにおいて、ターゲットの3-D運動パラメータを計算することができる。

20

30

#### 【0019】

そのシステムは、3-D運動履歴に関して、ターゲットの行動をモニタ及び分析できるように構成することができ、それは、遺伝子組換え実験動物、疾病を患い、結果として運動機能が低下した実験動物、及び/又は高スループット薬物スクリーニングの実験動物の表現型行動を研究するのに有用である。さらに、そのシステムは、動物心理学研究、生理学研究、神経学研究、及び/又は動いている物体の3-D形状の3-D形状再構成又は3-D形状モーフィングのような、種々の応用形態に適合するように同じように構成することができる。

40

#### 【0020】

そのシステムの使用者は、後処理のために新たなモニタリング記録を作成することができ、当該モニタリング記録は、対象となるターゲットの3-D軌跡を含む。使用者は、ターゲットの記録された運動履歴を遡って3-D表示を生成することによってデータを分析することができるか、又はテキスト形式でデータを分析することができる。1つ又は複数の運動パラメータに関連付けられる具体的な特徴を、他の運動データとは独立して抽出し、分析することができる。データの分類及び統計的試験は、ANOVA（分散分析を表す）及びMANOVA（多変量分散分析を表す）のような、よく知られている技法で果たすことができる。

#### 【0021】

システムセットアップ

50

## 【 0 0 2 2 】

図 1 及び図 2 2 に示される好ましい一実施形態では、そのシステムは、オープン・ワールド又はホーム・ケージ/水槽のいずれかとしての役割を果たす、実験動物のようなターゲットを収容する動物コンテナ(水槽又はケージ)と;周辺光、UV光及び/又はバックライトを含む適当な照明源が固定される環境ノイズ・シールドとして振る舞う外枠と;実際のカメラとしての役割を果たす、水槽の1つの透明な面を撮影する1台のデジタル・ビデオカメラと;実験動物の画像を実際のカメラによって視認することができる、1つ又はいくつかの反射平面鏡とを備える。実際のカメラを各鏡の中に反射することによって、バーチャル・カメラが形成される。実際のカメラ及びバーチャル・カメラは、互いの軸とは異なる方向を凝視する。実際のカメラは、対象となる空間のビデオ画像をリアルタイムにキャプチャする。そのビデオ画像は記憶媒体に格納することができるか、又は対象となるターゲットの3-D運動軌跡を計算するために用いられ、その後、破棄することができる。運動軌跡をリアルタイムに計算することは、いくつかの利点を有する。第一に、画像シーケンスがコンピュータハードディスクに保存される必要がないので、サンプリング周波数を高めることができ、第二に、ディスク空間を節約することができ、それにより、長期にモニタリングできるようになる。

10

## 【 0 0 2 3 】

先に言及されたように、好ましい実施形態では、実際のカメラとしてデジタル・ビデオカメラが用いられるが、実際のカメラの他の例には、限定はしないが、フレーム・グラバー/デジタイザを有するアナログビデオカメラと、それらの組み合わせとが含まれる。好ましいシステムは、少なくとも1台の実際のカメラに加えて、少なくとも1台のバーチャル・カメラも備える。図 1 は、反射平面鏡及び実際のカメラによって形成される2台のバーチャル・カメラを有する好ましい一実施形態を示す。バーチャル・カメラの他の例は、同期したカメラ(それは、同期しており、且つ較正することもできるリアル・カメラである)、ネットワーク化されたカメラ、又は反射性の曲面を含む。ただし、この実施形態におけるハードウェア・ベース較正コンポーネント及びソフトウェア・ベース較正コンポーネントは、他のバーチャル・カメラオプションに合うように変更される必要がある。

20

## 【 0 0 2 4 】

実際のカメラの像平面上に投影される画像は、図 5 に示されるように、動物コンテナ(マウスケージ又は水槽等)を画定するエリア、及び鏡の中の動物コンテナの画像を画定するエリアを含む多数のエリアから構成することができる。これは、実際のカメラ及びバーチャル・カメラによってターゲットの画像を収集することと同じである。この構成のおかげで、動いているターゲットの多数の画像を、種々の3-Dの観察位置から同時に撮影することができ、それらの画像が、ターゲットの空間位置を再構成するために用いることができるステレオ対応セットを形成する。適当な視野(FOV)と、最良の画質とを達成するために、鏡に対して並進機構及び回転機構を用いて、それらの鏡が空間内を自由に並進及び/又は回転できるようにすることができる。本発明のバーチャル・カメラは、実際のカメラ、バーチャル・カメラ、及びそれらの組み合わせを含む任意のカメラペア間を同期させるのに特に有用である。ターゲットそのものの画像、及びバーチャル・カメラにおいて形成されるターゲットの画像は、単一の像平面上で実際のカメラによってキャプチャされ、それゆえ、多数の画像を収集するための多数の実際のカメラを不要にすることができる。単一の像平面及び単一の実際のカメラを使用することによって、メモリ要件を大幅に低減し、それにより画像処理がより効率的になる。そのシステムは、所望の視野及びデータを提供するために必要とされるだけの多くのバーチャル・カメラを備えることができる。本発明のシステムは、ターゲットの詳細な画像を提供することができ、それらの画像は容易に収集することができ、その際費用効率は高い。

30

40

## 【 0 0 2 5 】

実際のカメラはコンピュータに接続され、そのコンピュータは、ステレオ・コンピュータ・ビジョン能力を含む(すなわち、ステレオ画像処理及び3-D運動追跡のためのソフトウェア・パッケージを含む)ことが好ましい。実際のカメラからの画像は、リアルタイ

50

ムモードにおいて、或る一定の高いフレーム・レート（たとえば、好ましいシステムでは、毎秒15フレーム（fps））でコンピュータに供給することができる。それらの画像は、後に参照/分析するためにハードディスクに格納することができるか、又は、対象となるターゲットに関連付けられる運動軌跡及び運動学的パラメータを計算した直後に破棄することができる。たとえば、限定はしないが、Visual C++、C#.NET、ウィンドウズXPプラットフォーム上のOpenGL、及び他のソフトウェア開発プラットフォーム上における他のプログラミング言語で書かれる任意の既知の画像処理ソフトウェアを用いることができる。

【0026】

図2は、本発明のシステムの別の実施形態を示している。当該システムでは、鏡を所望の位置及び向きに配置して、モニタされる動物の足の画像が形成され、それらの画像は、遮断されることなく、実際のカメラ201によってキャプチャすることができる。したがって、モニタされる動物（複数可）の歩行路をリアルタイムに記録又は分析することができる。

【0027】

システム・ノイズの除去

【0028】

システム・ノイズ（周囲照明条件の変化によって引き起こされる一貫性のない又は時間と共に変化する背景、収集される画像内の前景と背景との間の不十分なコントラストによって、又は魚の水泳行動をモニタする際の水の擾乱によって、又は異なる媒質の界面において形成される動物の反射像によって引き起こされるセグメンテーション誤差等）が、モニタリング処理を極めて困難にする。なぜなら、無関係の領域が、ターゲットの前景画像と間違えられることがあるためである。したがって、誤った結果によって、画像対応が不正確になることがあり、ターゲットの識別及びタギングを間違えることがあり、追跡されるターゲットの再構成された3-D位置に誤差が生じることがある。それゆえ、開示される好ましいシステムはさらに、ハードウェア・ベース及びソフトウェア・ベースのノイズ除去コンポーネントを備えることができる。ハードウェア・ノイズ除去コンポーネントによって、そのシステムは、一貫性のない照明条件によって引き起こされる環境ノイズ、及び媒質界面上でのターゲットの反射像の形成によって引き起こされるモニタリング・ノイズを回避できるようになる。ソフトウェア・ノイズ除去コンポーネントは、画像背景を適応的に更新して、照明ノイズを除去し、輝度フィルタ、色空間フィルタ、及びピクセルサイズフィルタを含む種々のフィルタによって、誤ってセグメント化されたターゲット画像を除去することができる。ソフトウェア・ノイズ除去コンポーネントはさらに、エピソード幾何学的構造によって課せられる空間整合性の制約、及び3-Dカルマン・フィルタによって課せられる時間整合性の制約を含む。あり得るターゲットに対応するセグメント化された画像は、それらの画像が両方の制約を同時に満たさない場合には、測定ノイズとして除去される。

【0029】

ハードウェア・ノイズ除去のための1つのコンポーネントとして、閉ざされた空間（図1に示される外枠）内にカメラ及び動物コンテナが置かれ、外部の環境照明条件から保護される。一貫性のある光源が外枠の内部に収容され、試験動物の一貫した照明を提供する。このハードウェア構成を用いることによって、照明条件の変化によって引き起こされる環境ノイズを効果的に除去することができる。

【0030】

一実施形態では、ハードウェア・ノイズ除去コンポーネントは、画像コントラストを高める能力も含む。たとえば、ハードウェア・ベース・ノイズ除去コンポーネントは、多数の均一な白色光源を含むことがあり、それらの光源は、図5に示されるように、カメラ（実際のカメラ及びバーチャル・カメラの両方）の向かい側に配置されることが好ましい。それゆえ、照明条件の小さな擾乱は、画像フレームの整合性において重要ではなくなる。

【0031】

10

20

30

40

50

加えて、ハードウェア・ベース・ノイズ除去コンポーネントはさらに、媒質界面上でのターゲットの反射像の形成を回避するために、特有のシステム構成及び部品構成を含む。ビデオカメラ及び鏡2に面する動物コンテナの2つの壁(図1及び図5を参照)は、はっきりと見えて、且つ透明であることが好ましい。それらの壁はそれぞれ、実際のカメラ及びバーチャル・カメラ2のための観察窓としての役割を果たし、それらの垂線はこれら2台のカメラの軸と概ね一致する。一方、動物コンテナの他の3つの壁の内側表面(観察窓の向かい側にある2つの壁及び底面の壁)は、その上で反射像が形成されなくなるまで粗くなるように表面加工される。魚の水泳運動をモニタする一実施形態では、これらの曇り窓ガラスは、コントラストを高めるために、図5に示されるように光源によって照明される。この実施形態では、画像内の背景として、概ね飽和した白色を達成することができる。それゆえ、前景のターゲットは、暗い領域として強調される。

10

#### 【0032】

好ましい一実施形態では、媒質界面上でのターゲットの反射像を除去するために、実際のカメラの軸は、動物コンテナの一方のモニタリング窓の平面上にあり、1つの鏡が、対応するバーチャル・カメラの軸が別のモニタリング窓の平面上にあるように構成される。したがって、そのシステムは、観察窓(複数可)が、その関連するカメラの像平面に対して平行になるか、又は他のカメラに対して垂直になるように構成され、観察窓上にターゲットの反射像が形成されるのを防ぐ。これは、平面鏡を手動で又は自動的に調整することによって果たすことができる。バーチャル・カメラの構成が最適化されるように鏡を自動的に調整するために、アルゴリズムが、コンテナの2つのモニタリング窓の投影を入力としてとり、2つのモニタリング窓の投影が先に説明したような形をとるまで、バーチャル・カメラの位置を段階的に修正することによって調整を果たす。

20

#### 【0033】

ソフトウェア・ノイズ除去コンポーネントの一部として、ターゲットをセグメント化するために背景減算が実行されるときに、ターゲットがその中に存在する背景画像を適応的に更新することができる。ノイズ・レベルが、先行する背景画像において設定されたしきい値よりも大きくなるときには必ず、先行する背景画像が、更新された画像で置き換えられる。ソフトウェア・ノイズ除去コンポーネントの動的に更新する能力は、一般的な研究室照明環境において、又は改善された照明条件下で、又は自然環境において、モニタリングの確実性及び適応性を増大させる。

30

#### 【0034】

別の好ましい実施形態では、ターゲットをセグメント化するために色空間セグメンテーションが実行されるときに、収集されたフレーム内のピクセルの色空間属性(色相、彩度及び色値等)が色空間フィルタによってフィルタリングされる。色値の設定された領域によって制限される色空間の外側にある色空間属性を有するピクセルは除去される。色値の設定された範囲は、モニタされることになるターゲットの色属性に対応する。

#### 【0035】

ソフトウェア・ベース・ノイズ除去コンポーネントはさらに、ターゲットの誤ってセグメント化された前景画像を除去するために、ピクセル輝度フィルタ及びピクセルサイズフィルタを含む。ターゲットをセグメント化するために背景減算を適用する好ましい一実施形態では、ピクセル輝度フィルタは、ターゲット画像の輝度に対応する設定された輝度範囲から外れる輝度値を有する前景画像ピクセルを除去するように機能する。背景減算又は色セグメンテーションによるターゲット・セグメンテーション後に、あり得るターゲットのセグメント化された前景画像のピクセルがクラスタリングされ、マーカになる。その後、これらのマーカに、マーカピクセルサイズフィルタが適用される。ターゲット画像の所望のピクセル数の設定されたサイズ範囲から外れるピクセルサイズを有するマーカは、測定ノイズとして除去される。

40

#### 【0036】

ステレオ・ペアの較正

#### 【0037】

50

本発明のシステムは、ハードウェア・ベース較正コンポーネント及びソフトウェア・ベース較正コンポーネントを含むことが好ましい。図3は、1つの例示的な較正コンポーネントを示しており、補助較正装置302が全ての実際のカメラ及びバーチャル・カメラによって捕らえられる。鏡304及び305内の装置の像は実際のカメラ301によって視認され、さらに、その像は、実際のカメラそのものによって直にキャプチャされる。これらの像の間で、対応付けが自動的に確立され、それらの像から立体視較正過程によって、鏡の位置及び向き、バーチャル・カメラの外部パラメータ、及びさらにはステレオ・ペアのエピポーラ構造を得ることができる。

**【0038】**

システムを較正するためのデータ収集処理は以下のように行われる。較正装置を内部に有する動物コンテナの多数の視野を含む画像が、較正装置を内部に有しない動物コンテナの同じ視野を含む画像と比較される。これは、較正装置の色情報を強調し、その後、HSV（色相、彩度及び色値）をセグメント化して、結果として、輝度及び色が区別される異なる画像を生成することによって、又は、較正装置の輝度情報だけを強調することによって達成される。強調されたピクセルはいくつかのクラスタを形成し、これらのクラスタの幾何学的な質量中心が、既知の対応付けを有する像平面上で計算され、その後、その質量中心が、較正式を解いて鏡の位置及び向きを求めるために用いられる。

10

**【0039】**

較正装置を含むハードウェア・ベース較正コンポーネント、及びそこから得られるパターンに関して、種々の実施形態がある。たとえば、図3に示されるように、着色端のような可視インジケータを有する物体、又は図4に示されるように、或る一定のオン/オフシーケンス順序を有するいくつかの有色のLEDを用いることができる。ハードウェア・ベース較正コンポーネントはさらに、コンピュータ・ポートと、コンピュータ・ポートを可視インジケータに接続するケーブルとを備えることができ、それらを用いて、コンピュータから TTL パルスを送出することによって、可視インジケータが、好ましいシーケンスに従って自動的にオン及びオフされる。

20

**【0040】**

好ましいソフトウェア較正コンポーネントは、実際のカメラの内部パラメータ較正、鏡の較正、バーチャル・カメラの較正、及び媒質界面のための較正のためのソフトウェアを含む。好ましい一実施形態では、これらの較正ステップは、自動的に実行される。好ましい一実施形態では、較正用の特別なソフトウェア・パッケージ（以下に説明する処理）が開発されているが、実際のカメラの内部パラメータ較正のために、任意の汎用の較正ソフトウェアを用いることができる。実際のカメラの内部パラメータは、本発明のハードウェア・ベース較正コンポーネントを用いて、標準的なカメラ較正手順に従って較正することができる。鏡較正及びバーチャル・カメラ較正を含む基本的な較正手順と、水の屈折によるステレオ幾何学的構造の歪みのための媒質界面の較正を含む拡張較正手順とは、さらに以下に説明する段階的な較正方法を適用する種々のソフトウェア・ベース較正コンポーネントにより達成される。

30

**【0041】**

最初に、ソフトウェア・ベース較正コンポーネントが、2つ以上の画像（背景画像と、その上に可視インジケータがある任意の他の画像との間）の差を計算し、全てのカメラによって撮影される、インジケータの画像間の対応付けを求めることによって、較正装置上の可視インジケータ（LED又は着色端等）に対応するピクセルを抽出することができる。そのような対応は、たとえば、自動HSVセグメンテーションを通じて、又は自動輝度セグメンテーションを通じて、また手動で選択することを通じて、設定することができる。

40

**【0042】**

好ましい一実施形態では、鏡の幾何学的属性のためのソフトウェア・ベース較正コンポーネントは、以下の較正方法を用いて、鏡較正を達成する。

**【0043】**

50

平面鏡が4つのパラメータ  $[u, d]$  によってパラメータ化される。ただし、 $u$  は鏡面の向き（垂線）を指示する正規化された3-Dベクトルであり、 $d$  は、その鏡面から、実際のカメラに関連付けられるカメラ座標の原点、又は実際のカメラの投影中心  $COP(0, 0, 0)^T$  までの距離である。それゆえ、鏡面上の任意の点  $p$  は、以下の式を満たすことになる。

【数1】

$$\mathbf{p} \cdot \mathbf{u} = d \quad (1)$$

10

向きベクトル  $u$  は以下の式を満たす。

【数2】

$$T\mathbf{u} = \mathbf{0} \quad (2)$$

【0044】

ただし、以下の式が成り立つ。

20

【数3】

$$T = \begin{bmatrix} -f(C_1^1 - M_1^1) & -f(C_2^1 - M_2^1) & C_1^1 M_1^1 - C_2^1 M_2^1 \\ -f(C_1^2 - M_1^2) & -f(C_2^2 - M_2^2) & C_1^2 M_1^2 - C_2^2 M_2^2 \\ -f(C_1^{n-1} - M_1^{n-1}) & -f(C_2^{n-1} - M_2^{n-1}) & C_1^{n-1} M_1^{n-1} - C_2^{n-1} M_2^{n-1} \\ -f(C_1^n - M_1^n) & -f(C_2^n - M_2^n) & C_1^n M_1^n - C_2^n M_2^n \end{bmatrix}$$

【0045】

ここで、 $(C^i, M^i)$  は、それぞれ実際のカメラ  $(C^i)$  の領域内及び鏡  $(M^i)$  の領域内の可視インジケータの画像の対応するピクセル質量中心であり、下付き文字はピクセル質量中心の画像座標を表し、 $f$  は実際のカメラの焦点距離である。その後、特異値分解 (SVD) によって、垂線  $u$  を  $T^T T$  の最も小さな固有値に対応する固有ベクトルとして計算することができる (Lin, J. Yeh, M. Ouhyoung 著「Extracting 3-D facial animation parameters from multiview video clips」(IEEE CGA, 22(6), 2002)を参照されたい)。

30

【0046】

実際のカメラの  $COP$  から鏡面までの距離  $d$  を計算するために、校正パターン上にある2つの可視インジケータ ( $P^{C1}$  及び  $P^{C2}$ ) 間の既知の長さ  $L$  が必要とされる。実際のカメラに関連付けられる画像領域内のこれら2つのインジケータの投影は、 $C^1$  及び  $C^2$  であり、鏡領域内のその対応は、 $M^1$  及び  $M^2$  である。図6に示されるように、以下のパラメータ式が当てはまる。

40

## 【数 4】

$$\mathbf{P}^{C1} = t^{C1}(C_x^1, C_y^1, f)^T$$

$$\mathbf{P}^{C2} = t^{C2}(C_x^2, C_y^2, f)^T$$

$$\mathbf{P}^{M1} = t^{M1}(M_x^1, M_y^1, f)^T$$

$$\mathbf{P}^{M2} = t^{M2}(M_x^2, M_y^2, f)^T$$

## 【0047】

10

ここで  $t$  は  $COP(0, 0, 0)$  からの光線のパラメータ表現である。4つの照準光線を記述するこれらの4つのパラメータは相関があるので、以下のように、鏡の反射特性に基づいて、 $t^{C1}$  の空間において2分探索を行うことができる。最初に、 $t^{C1}$  の現在の反復値において、 $P^{C1} - P^{C2} = L$  によって、 $t^{C2}$  を計算する。その後、 $P^{C1}$  及び  $P^{C2}$  の両方が、鏡面の垂直な向き  $u$  に沿って、 $M^1$  及び  $M^2$  に関連付けられる照準光線上に投影され、結果として、図6に示される2つの投影  $P^{M1}$  及び  $P^{M2}$  が生成される。線の交点によって、 $t^{M1}$  及び  $t^{M2}$  を計算した後に、2つの投影  $P^{M1}$  と  $P^{M2}$  との間の距離が、 $d(P^{M1}, P^{M2}) = |P^{M2} - P^{M1}|$  として計算される。 $d(P^{M1}, P^{M2}) - L < \epsilon$  であるときに、再帰処理は終了し、その式は、ただ1つの許容しきい値によって制御される。 $COP(0, 0, 0)$  から鏡面までの距離  $d$  は、既知の  $P^{C1}$ 、 $P^{C2}$ 、 $P^{M1}$  及び  $P^{M2}$  によってただ1つに決定される。最後に、鏡較正のために多数の可視インジケータが用いられるので、計算された  $d$  値の中で最小二乗解が得られる。

20

## 【0048】

鏡較正が終了すると、ソフトウェア・ベース較正コンポーネントが、バーチャル・カメラの外部パラメータ（投影中心の場所及びカメラ軸等）を自動的に導出する。バーチャル・カメラの外部パラメータは、バーチャル・カメラに関連付けられる鏡に従って、実際のカメラの対応する外部パラメータを反映させることによって得られる。好ましい一実施形態では、反射による鏡像形成（mirroring）のような全ての幾何学的操作が、実際のカメラに関連付けられるデカルト座標において実行される。それゆえ、実際のカメラの外部パラメータは既知である。

30

## 【0049】

好ましい一実施形態では、ソフトウェア・ベース較正コンポーネントが、ステレオ・ペアの外部パラメータの較正のために適用される。ステレオ・ペアは、1台の実際のカメラと、1台又は2台のバーチャル・カメラとを含むことができる。先に説明したように、コンピュータ制御式の可視インジケータは、動物コンテナ内に配置され、コンピュータ・パラレル・ポートを介して TTLパルス信号を送出することによって、1つずつオンに切り替えることができる。これは、莫大な対応付けを取り入れる。それゆえ、実際のカメラ及びバーチャル・カメラによって生成されるエピポールが、関連する2つの視野内のインジケータの対応する画像を接続する線の交点として、ソフトウェア・ベース較正コンポーネントによって計算される。2台のバーチャル・カメラによって生成されるエピポールは、以下の誤差関数が最小になるような最適化処理を介して計算される。

40

## 【数 5】

$$E(\mathbf{e}_0, \mathbf{e}_1) = \sum_i \| ((M_0^i \times \mathbf{e}_0) \times \mathbf{m} - (M_1^i \times \mathbf{e}_1) \times \mathbf{m}) \|^2$$

## 【0050】

ここで  $(\mathbf{e}_0, \mathbf{e}_1)$  は、反復処理を通じて計算されることになるエピポールであり、

50



mは2台のバーチャル・カメラの像平面の交差する線を実際のカメラの像平面上に投影することによって形成される螺旋軸の投影であり、 $(M_0, M_1)$ は、同じ可視インジケータのバーチャル・カメラ0及び1の領域内の対応する画像であり、 $i$ は可視インジケータの添え字である。上記の誤差関数は物理的には、誤差関数が0に近づくときに、 $e_0$ 及び $M_0$ を結ぶエピポーラ線が、2台のバーチャル・カメラの螺旋軸の投影m上で、 $e_1$ 及び $M_1$ を結ぶエピポーラ線と交差するはずであることを意味する(たとえば、J. Gluckman他著「A real-time catadioptric stereo system using planar mirrors」(Proceedings of Image Understanding Workshop, (1998)を参照されたい)。図7は、図1に示されるステレオシステムのエピポーラ幾何学的構造の一例を示しており、それは、ステレオ・ペアの外部パラメータのためのソフトウェア・ベース較正コンポーネントによって較正される。

10

## 【0051】

先に説明した基本較正手順は、光が単一の媒質の中(齧歯類動物をモニタするときの空気中等)を進行するときだけに、エピポーラ幾何学的構造を導出するのに有効である。水中動物の運動関連の行動をモニタする場合、先に開示された基本較正方法によって得られるエピポーラ構造は、水と空気との間の界面における光の屈折に起因して十分でないことがある。この場合、エピポーラ線の一部が曲線になることがあり、直線のエピポーラ線間の投影関係がもはや保持されないことがある。立体視幾何学的構造を調整し、関連する画像対応を、種々の媒質を通して進行する照準光線として特定するために、拡張較正が、光の屈折に対応する必要がある。2つの異なる媒質の中を通る光を有する新たなエピポーラ構造は、本発明の拡張較正方法を含むソフトウェア・ベース較正コンポーネントを用いることによって較正される。この拡張較正方法は好ましくは以下のとおりである。

20

## 【0052】

水中動物の行動をモニタする場合、水槽が水で満たされ、それにより、カメラ照準光線の屈折が導入される。結果として、システムは2つの連続するステップにおいて較正されなければならない。(1)基本較正では、ステレオ・ペアの従来のエピポーラ構造が、先に説明した手順に従って較正され、導出される。(2)拡張較正では、照準光線が通過することがある媒質界面が、その位置及び向きに関して較正される。拡張較正の結果として、多数の媒質を通る屈折した照準光線に対応する歪んだエピポーラ曲線が検出される。その処理中に、或る領域内のターゲット・マーカが、動物コンテナ内の3-D線分の中に投影されることになる。そして、この線分が、エピポーラ曲線として別の領域上に投影して戻されることになる。その後、対応検出処理中に、その中をエピポーラ曲線が通過するターゲット・マーカは、エピポーラ制約を満たす対応するマーカであると見なされる。それゆえ、カメラの照準光線の経路内に多数の媒質が存在する場合には、そのエピポーラ構造はもはや直線ではない。

30

## 【0053】

拡張較正過程では、屈折が生じる媒質界面の厳密な場所及び向きが、較正される必要がある。拡張較正はレイトレーシング法に基づく。その手順は、前方屈折及び後方屈折のような2組の計算から構成される。

## 【0054】

システムの幾何学的構成と基本較正から導出されるエピポーラ構造とに従って、界面のパラメータのための初期推測を行うことができる。これらのパラメータは、2つの観察窓及び水槽内の水面の垂線 $u_i$ とビデオカメラのCOPからの距離 $d_i$ とを含む。ここで、 $i(1 \leq i \leq 3)$ は、これらの媒質界面の添え字を表す。

40

## 【0055】

図8に示されるように、ステレオ・ペアが、2つのカメラ $C_0$ 及び $C_1$ から構成されるものと仮定する。ただし、 $C_0$ は実際のカメラであり、 $C_1$ は、鏡1に対して実際のカメラ $C_0$ を反射することから得られるバーチャル・カメラである。前方屈折は、 $COP_0$ から、 $C_0$ の像平面上にある可視インジケータmの画像 $M_0$ (インジケータの3-D位置はわからない)に向かって、照準光線を発射することによって開始する。照準光線 $COP_0$

50

$M_0$  は、界面  $(u_0, d_0)$  上の点  $S$  において屈折する。相対的に寸法が小さい (約 2.5 mm 厚) ため、全ての水槽壁の厚みを無視することによって、空気及び水の屈折率がわかっているため、屈折した光線  $SP$  ( $P$  は、屈折した光線上にある任意の 3-D 点である) を、スネルの法則に従って計算することができる。その後、 $C_1$  の像平面上で、点  $P$  の屈折して投影された画像  $P_1$  を見つけるために後方屈折が実行され、その画像は、媒質界面のパラメータが正確であり、それゆえ、 $P$  がインジケータ  $m$  の実際の場所であれば、 $C_1$  内の  $M_0$  の対応する画像であると推定される。 $P_{i-1}$  が界面  $(u_1, d_1)$  上の  $P$  の屈折点を表すものであり、 $P_1$  が、 $C_1$  の像平面及び光線  $PP_{i-1}$  の屈折した光線が交差する点を表すものである。それゆえ、残りの作業は、 $(u_1, d_1)$  上の屈折点  $P_{i-1}$  を見つけることである。屈折点  $P_{i-1}$  は、界面  $(u_1, d_1)$  と  $P$  によって決定される平面との間の交線、 $(u_1, d_1)$  上の  $P$  の投影 ( $V$  によって表される)、及び  $COP_1$  において 2 分探索を実行することによって見つけられる。このステップでは、 $PP_{i-1}$  の屈折した光線が  $COP_1$  を厳密に通過するまで、その探索を導くために、 $COP_1$  と  $PP_{i-1}$  の屈折した光線との間の距離が用いられる。

10

## 【0056】

水中に較正パターンを配置することによって、1組の対応  $\langle M_0, M_1 \rangle_i$  を得ることができる。ただし、 $i$  は  $i$  番目のインジケータを表す。全ての  $M_{0,i}$  上での前方屈折及び後方屈折後に、先に説明した方法に従って、1組の  $P_1$  を計算することができる。その後、以下の誤差関数を最小にして、2つの界面のパラメータが同時に較正される。

20

## 【数6】

$$E(u_0, d_0, u_1, d_1) = \sum_{i=1}^5 \|M_{1,i} - P_{1,i}\|$$

## 【0057】

上記の誤差関数は、両方の界面の全てのパラメータに依存する。十分な収束が得られるまで、代替の態様において最適化処理が実行される。収束点を効率的に見つけるために、反復処理においてニュートン法が用いられる。

## 【0058】

拡張較正方法の実施態様において、図8に示されるように、鏡に対して実際のカメラを反射することによって、バーチャル・カメラが得られる。先に述べられたように、この実施態様は、実際のカメラだけを用いて、ターゲットそのものの画像と、ターゲットの鏡像とを同時に視認することと等しい。

30

背景減算及び色空間セグメンテーションによるターゲット・セグメンテーション

一実施形態では、基本較正手順が実行され、その後、オプションで上記の拡張較正手順が実行された後に、動物運動追跡を開始する前に、較正コンポーネントを通じてオフライン・システム較正が実行される。オフライン較正が終了した後に、システムをオンライン追跡モードに切り替えることができ、ビデオ画像が得られ、一定のフレーム・レートでコンピュータに供給される。

40

## 【0059】

本発明の好ましい実施形態では、ソフトウェア・ベース・ターゲット・セグメンテーション・コンポーネントによって、ターゲット・セグメンテーションが実行される。ターゲット・セグメンテーション・コンポーネントは、2つの方法、すなわち、背景減算及び色空間セグメンテーションを通じて、ターゲットに関連付けられる前景画像を背景画像から分離する。その好ましい実施形態では、前者は水中動物を追跡する際に用いられ、一方、後者は齧歯類動物上の特徴点を追跡する際に用いられる。しかしながら、これら2つの方法は、全てのタイプの動物を追跡する際に、別個に又は組み合わせて用いることができる。

## 【0060】

50

水中動物の3-D運動を追跡する際に、本発明のシステムは、追跡処理を開始する前に、背景画像を生成することが好ましい。背景生成は、内部にあるターゲットなしで、動物コンテナの背景を得ることによって(図5に示される)、又は多数のフレームの差分により動いている動物に関連付けられるピクセルを除去し、その後、これらのフレームの色値を平均して元の背景画像を得ることによって、果たすことができる。オンライン追跡モード中に、ソフトウェア・ベース動的背景生成コンポーネントが、更新された背景画像を動的に生成することもできる。これは、背景に変化が生じる場合に特に望ましい。この実施形態では、現在の背景画像内の望ましい許容変化量のためのしきい値を設定することができる。変化が予め設定されたしきい値を超えると、新たな背景画像を動的に規定することができる。背景画像を更新する判定基準は以下のとおりである。

10

【数7】

$$\|I_t - I_0\| \geq (1 + \tau) \|I_t - I_0\|$$

【0061】

ただし、 $I_t$  及び  $I_1$  はそれぞれ、時刻  $t$  において収集されるフレーム、及び追跡処理が開始されるとき最初のフレーム(又は、背景が再生成された後に収集される最初のフレーム)であり、 $I_0$  は、追跡処理過程前に生成されるか又は追跡過程の途中で再生成される、現在の背景画像であり、 $\tau$  は許容差である。一実施形態では、しきい値は、画像上のあらゆるピクセルに対し5%になるように予め設定される。したがって、新たな画像のための全変化が元の画像から5%より大きくなる場合には、それらの画像は、再計算されるほど十分に異なるものと見なされる。

20

【0062】

ターゲット・セグメンテーションは、背景減算若しくは色空間セグメンテーション、又はその組み合わせによって達成される。背景減算からのターゲット・セグメンテーションは、現在のフレームと現在の背景画像との差を計算することを通じて前景画像を得て、その後、前景画像内のピクセルをターゲットのマーカ画像としてクラスタリングするように機能する。色空間セグメンテーションでは、ターゲット画像のセグメンテーションは、前景画像のための望ましい色空間値の設定範囲内に入る色空間属性(HSV又はRGB)を有する画像ピクセルを選択することによって達成される。その後、これらの前景ピクセルがクラスタリングされ、マーカになる。

30

【0063】

単一の像平面上で実際のカメラ及びバーチャル・カメラから得られる全ての画像に対してターゲット・セグメンテーションが実行される。ソフトウェア・ベース・ターゲット・セグメンテーション・コンポーネントでは、以下のクラスタリング・アルゴリズムが、セグメント化された前景画像に適用される。最初にセグメント化された前景画像は、背景減算又は色セグメンテーションによって得られる散在するピクセルから構成される。最初に、或る前景画像が入力とされる。その後、その画像が、輝度フィルタ及び/又は色空間フィルタによって走査され、1組のしきい値を満たすピクセルが得られる。そのようなピクセルが見つめられるとき、同じ種類の任意の隣接するピクセルを見つけることができるか否かを確認するために、探索が実行される。隣接するピクセルが見つかる場合には、それらのピクセルがともに、マーカとしてグループ化される。見つからない場合には、探索を実行するために基にしたピクセルが破棄される。マーカが形成される場合には、このマーカ内のピクセルグループを平均することによって、このマーカの画像属性が計算され、その後、このマーカは、あり得るターゲット画像を表すマーカとしてセグメント化される。この手順は、前景画像上の全てのあり得るマーカが見つかるまで続けられる。

40

【0064】

好ましい実施形態では、その後、セグメンテーション及びクラスタリングによって得られた全てのマーカが、マーカサイズ・フィルタによって試験される。設定されたサイズ範

50

囲から外れるサイズを有するマーカは、そのため測定ノイズとして破棄される。

【0065】

エピポーラ制約による対応検出

【0066】

本発明の好ましい実施形態では、ソフトウェア・ベース較正コンポーネントによって較正される、導出されたエピポーラ構造からエピポーラ制約が得られる。好ましい一実施形態では、ステレオ幾何学的構造が歪んでいないシステム内には、少なくとも2つのエピポーラ構造が存在する。第一に、実際のカメラ及びバーチャル・カメラを含むステレオ・ペア間、又は実際のカメラの領域内にある1つのターゲット・マーカとバーチャル・カメラの領域内にある同じターゲットの別のマーカとの間にエピポーラ構造がある。第二に、2つのバーチャル・カメラ間、又は2つのバーチャル・カメラの領域内にあるターゲット・マーカ間にエピポーラ構造がある。第1のエピポーラ構造の場合、ソフトウェア・ベース・エピポーラ導出コンポーネントが、先に説明した基本較正過程を通じて、エピポール  $e$  を計算することができる。実際のカメラ領域内及びバーチャル・カメラ領域内に設定される対応するマーカは、以下のエピポーラ制約を満たすべきである。

10

【数8】

$$(C \times M) \cdot e = 0$$

20

【0067】

ここで、 $C$  及び  $M$  はそれぞれ、実際のカメラの領域内及びバーチャル・カメラの領域内にある2つのマーカを表す。上記のエピポーラ制約は、物理的には、対応するマーカ  $C$  及び  $M$  を結ぶ線が、エピポール  $e$  を通過しなければならないことを意味する。2台のバーチャル・カメラ間にある第2のエピポーラ構造の場合、先に説明した基本較正過程において、エピポーラ導出コンポーネントによって、2つのエピポール  $e_1$  及び  $e_2$  を較正することができる。バーチャル・カメラ1の領域内にある対応するマーカ・セット  $M_1$  及びバーチャル・カメラ2の領域内にある  $M_2$  は、以下のエピポーラ制約を満たす。このエピポーラ制約は、物理的には、 $M_1$  及び  $e_1$  を結ぶ線と、 $M_2$  及び  $e_2$  を結ぶ線との交点が、螺旋軸の投影  $m$  上に位置することを意味する。

30

【数9】

$$((M_1 \times e_1) \times (M_2 \times e_2)) \cdot m = 0$$

【0068】

水中動物の行動をモニタする場合、上記の従来のエピポーラ構造は、対応するマーカを見つける際に不十分になる。したがって、エピポーラ曲線を用いることによって対応するマーカを見つけるために、異なる方式が用いられる。そのようなエピポーラ曲線は、対応するステレオ・ペアの像平面上への屈折した照準光線の投影にすぎない。拡張較正過程において述べられたように、そのようなエピポーラ曲線を検出する際に、以下のようにレイトレーシング法が用いられる。或る領域内のマーカ  $M_0$  を考えると、最初に、そのマーカが、3-D空間内に照準光線として投影して戻される。その際、動物コンテナ内で、屈折した光線線分が得られる。この屈折した光線が、細かい線分に分割される。結果として、屈折した光線に沿って、いくつかの端点（これらの細かい線分の端部）が得られる。屈折によって、これらの点を別の領域に投影することによって、その領域内に、断片状の直線のエピポーラ曲線が得られる。そして、対応するマーカ  $M_1$  が、エピポーラ曲線によって通過されるであろう。

40

【0069】

再び、2種類の屈折、すなわち前方屈折及び後方屈折が、エピポーラ曲線の導出に関連

50

し、その結果、対応するマーカ・セットを、曲線のエピポーラ制約を通じて検出できるようになる。前方屈折ではターゲット・マーカから開始し、後方屈折では、このマーカに関連付けられる屈折した照準光線上にある 3 - D 点から開始する。媒質界面における屈折前後の光線間の関係は、スネルの法則に従って以下のように記述することができる。

【数 10】

$$\frac{\sin\theta_0}{\sin\theta_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}$$

10

【0070】

ただし、 $\theta_0$  及び  $\theta_1$  は、入射光線と界面垂線との間の角度及び屈折した光線と界面垂線との角度を表し、 $\lambda_0$  及び  $\lambda_1$  は、空気及び水のような 2 つの媒質の屈折率である。前方屈折及び後方屈折の手順は、拡張較正手順（ステレオ・ペアの較正）において記述されたのと同様である。

【0071】

わずかに変更するだけで、屈折したエピポーラ構造の対応する検出及び導出において用いられるレイトレーシング法は、ターゲットの 3 - D 位置を再構成するのに容易に適用することができる。

20

【0072】

ターゲットの追跡、識別、タギング

【0073】

本発明のシステムの一実施形態は、ソフトウェア・ベースのターゲット 3 - D 運動追跡コンポーネント及びターゲット識別 / タギング・コンポーネントを含む。

【0074】

好ましい一実施形態では、ソフトウェア・ベース 3 - D 運動追跡コンポーネントは、異なる視野間の空間整合性、及び画像シーケンスにわたる時間整合性を含む、2 つのタイプの整合制約を含む。これら 2 組の制約は、適応的な重みを動的に割り当てられ、モニタリング過程全体を通じて同時に課せられる。

30

【0075】

空間整合性のための制約は以下のように機能する。セグメンテーション及びクラスタリングを通じて、あり得るターゲットに対応するマーカが得られるとき、それらの間の対応付けが特定される。そのような対応付けの検出は、種々の視野内の対応するマーカを相互接続する幾何学的に適合する対応セット (Geometric Compliant Correspondence Sets) (GCCS) を生成することによって実現される。フレーム毎に、屈折が生じないときには従来のエピポーラ幾何学的構造によって、又は照準光線が 2 つ以上の媒質の中を通るときには非直線エピポーラ曲線制約によって、GCCS の導出が導かれる。フレーム毎にそのような GCCS を検出することによって、空間整合性が達成され、それは時間とは無関係である。

【0076】

時間整合性のための制約は以下のように機能する。先行するフレーム内のターゲットの再構成された場所及び速度から、それらのターゲットの現在の 3 - D 位置を予測するために、線形 3 - D カルマン・フィルタが設計される。3 - D カルマン予測子では、 $i$  番目のターゲットの 3 - D 位置  $p_i(t)$  及び速度  $v_i(t)$  を得るために、状態ベクトル  $x_i(t) = \{p_{x_i}(t), p_{y_i}(t), p_{z_i}(t), v_{x_i}(t), v_{y_i}(t), v_{z_i}(t)\}^T$  がフレームシーケンスにわたって更新され続ける。フレーム  $t + 1$  の場合、フレーム  $t$  の状態ベクトル  $x_i(t)$  に基づいて、システム状態

40

【数 1 1】

$$\hat{\mathbf{x}}_i(t+1)$$

【0077】

の予測が行われる。

【数 1 2】

$$\hat{\mathbf{x}}_i(t+1) = \Phi \mathbf{x}_i(t)$$

10

【0078】

ここで、 $\Phi$  は、或る一定の状態遷移行列である。本発明のシステムでは、以下の式において記述されるように、3D線形システムを用いて新たな状態が予測される。

【数 1 3】

$$\mathbf{p}_i(t+1) = \mathbf{p}_i(t) + \mathbf{v}_i(t)$$

$$\mathbf{v}_i(t+1) = \mathbf{v}_i(t)$$

20

【0079】

状態遷移行列は以下のとおりである。

【数 1 4】

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

30

【0080】

フレーム  $t+1$  におけるターゲットの3-D位置の推定と共に、カルマン予測子から、予測される状態共分散行列  $P_i(t+1|t)$  も得ることができる。それゆえ、推定される3-D位置の2-D投影は、後方屈折手順を通じて計算され、一方、行列  $P_i(t+1|t)$  の最大固有値も、ターゲットの全ての投影される2-Dマーカを包囲する探索領域の半径として計算され、投影される。

40

【0081】

特定の一実施形態では、ターゲット識別/タギング・コンポーネントはエネルギー関数であり、それは、最小エネルギーの原理に従って動作することが好ましい。そのエネルギー関数は、入力として、追跡されるターゲットのセグメント化された前景マーカをとる。特に好ましい一実施形態では、そのエネルギー関数は、ターゲットを識別するために、2つの主なパラメータを組み合わせる。種々のエビポラ制約によって検出されるGCCSを含む空間整合性と、ターゲット・タグが継承されている多数の3-D線形カルマン・フィルタ予測を含む時間整合性とを含む、これらの2つのパラメータは3-D運動追跡コンポーネントによって得られる。ターゲットを識別し、それらのターゲットに段階的に適当なタグを割り当てるために、全ての許容可能な順列を通じて反復が行われ、全てのマーカ

50

ペアのための全エネルギー値が見つけれられる。エネルギーの最小値を有するペアが、先行するフレームからターゲットタグを継承する正確な運動ペアであると見なされる。

【 0 0 8 2 】

エネルギーパラメータのうちの一つとして、空間整合性は、エピソード幾何学的構造導出コンポーネントによって得られるエピソード制約を用いる。これらの制約は、単一の媒質が存在する場合には、基本較正を通じて得られる従来の直線エピソード幾何学的構造に従うことができるか、又は光の屈折が生じるときには、拡張較正を通じて得られる調整された非直線エピソード構造に従うことができる。空間整合性値が、G C C Sを生成するために、あり得る対応するマーカ間で試験され、たとえば、マーカがエピソード線又は曲線上に存在しない場合には、その値は0であり、それは、それらのマーカによって空間制約が満たされないことを意味する。マーカがエピソード線上に完全に存在する場合には、その値は1であり、それは、それらのマーカによって空間制約が満たされることを意味する。そのような空間整合性値は、マーカ間の位置合わせに基づいて、0 ~ 1である。

10

【 0 0 8 3 】

別のエネルギーパラメータとして、時間整合性は、追跡されている全てのターゲットのための全ての3 - D線形カルマン予測子を用いる。ターゲットは、ターゲット識別コンポーネントによって識別され、それは、空間整合性及び時間整合性を組み合わせることによって、エネルギー関数を最小にすることを基にする。そのような全体の追跡整合性は主に、以下のように示されるエネルギー関数を最小にすることによって達成される。1組のカルマン・フィルタ予測(タグが継承されている)がNによって表され、検出されたG C C SがMによって表され、それぞれn個のタグ及びm組の対応があるものと仮定すると(あり得るノイズに起因してm > n)、エネルギー関数は以下のようなになる。

20

【 数 1 5 】

$$E(N, M) = \sum_{i,j=1}^{n,m} \sum_{v=1}^R (M_{ij} - N_{v})$$

【 0 0 8 4 】

ここで、i、j及びvはそれぞれ、i番目のタグ、G C C Sのj番目の対応、及びv番目の視野を表す。エネルギー関数の最小値を見つけるためには、高い計算コストをかけて、文字どおり、n x mの反復を行う必要がある。しかしながら、その反復を、予測される探索領域内のG C C Sに限定することによって、探索木を大量に枝刈りする(prun)ことができる。3 - Dカルマン・フィルタの状態ベクトル及び状態共分散行列は、G C C Sにタグが正確に割り当てられた後に、カルマン修正子を通じて更新される。

30

【 0 0 8 5 】

しかしながら、物理的なターゲット・タギングは不要であることに留意されたい。本発明のシステムは、空間整合性及び時間整合性に基づくアルゴリズムを用いて、多数のターゲットの3次元の動きをインテリジェントに識別することができる。本明細書において用いられるときに、「空間整合性」は、ターゲット・マーカがステレオシステムのエピソード制約を満たす傾向を意味する。本明細書において用いられるときに、「時間整合性」は、あるターゲットに関連付けられる画像が、短時間、同じターゲットの先行する画像の近くにある傾向を意味する。本発明のシステムでは、動物の体の小さな部分である、特別な点又は特徴点が対象となる限り、動物はタギングされるか又は追跡デバイスを導入される必要はない。

40

【 0 0 8 6 】

視覚的な衝突後の物体の再識別

【 0 0 8 7 】

本発明はさらに、ターゲット再識別のためのソフトウェア・ベース・再タギング・コンポーネントを含むことができる。2匹以上の動物又は2つ以上の特徴点が、或る特定の期

50

間にわたって十分に近いとき、それらの動物の投影される画像は、全ての視野において結合することがある。この場合、カルマン・フィルタの時間的な追跡手段としての確実性は劣化することになり、その期間後に、これらの動物又は特徴点の経路が分割されるので、結果として通常はタギングが曖昧になる。これは、分割される時点で各ターゲットが継承するために利用できるタグが2つ以上存在するためである。ゼブラフィッシュのような2つ以上の動いているターゲットが互いに近い又は物理的に接触し、それらのタグが重なり合う、すなわちそれらの現在の3-D位置が同じに見えるようになる場合に、再タギング・コンポーネントは有用である。本発明の再タギング・コンポーネントは、異常に接近するか、又は実際に衝突した後に、2つ以上のターゲットのタグを割り当て直すことができる。

10

## 【0088】

好ましい実施形態では、再タギング・コンポーネントは、時間整合性のための補助的な制約を適用するためのいくつかの方法を含む。最初に、モニタされている全てのターゲットのためのフレーム・シーケンスに沿って、動的なテンプレートが生成され、保持される。任意のフレームの場合に、そのようなテンプレートは、像平面上にあるタギングされたマーカの全ての対応するピクセルを含む。これらのテンプレートは、2Dカルマン・フィルタによっても管理され、ターゲットの画像が結合するときには必ず、異なるターゲットを区別するために用いられる。さらに、ターゲットの体輪郭の拡張した体積3-D経路が、時間軸に沿って常に検査され、結合及び分割された後に、それらの経路が互いに交差しがないことを確認する。図10及び図11は、収集される画像フレーム、処理された画像、及びオンラインで再構成された3-D軌跡を示しており、その軌跡では、空間及び時間の両方の制約を課した後に、キングヨ及びマウスのマーカが識別され、タギングされる。

20

## 【0089】

三角測量による3-D再構成

## 【0090】

そのシステムは、そのマーカからターゲットの3-D位置を再構成する、すなわち、全てのカメラから得られる画像からターゲットの実際の3-D位置を求めるためのソフトウェア・ベース3-D再構成コンポーネントを含むこともできる。その3-D再構成コンポーネントでは、三角測量法が用いられる。光の屈折を用いることなくターゲットの3-D位置を得るための三角測量処理は、以下に説明するように実行される。

30

## 【0091】

或るターゲットのマーカ画像間に正確な対応付けが確立された後に、三角測量コンポーネントは、以下の式を用いて、3-D位置を計算することができる。

## 【数16】

$$(\mathbf{P}^C + \mathbf{P}^M) \cdot \mathbf{u} = 2d$$

$$(\mathbf{P}^C - \mathbf{P}^M) \times \mathbf{u} = 0$$

40

## 【0092】

ここで、 $\mathbf{P}^C$  及び  $\mathbf{P}^M$  は、ターゲットの3-D位置及び同じターゲットの鏡面反射された位置であり（図6を参照）、 $\mathbf{u}$  は鏡の垂線であり、 $d$  は実際のカメラのCOPから鏡面までの距離である。 $\mathbf{P}^C$  及び  $\mathbf{P}^M$  はいずれも、基本較正において説明したように、パラメータの形式で表すことができ、実際のカメラの領域内及びバーチャル・カメラの領域内のマーカの対応はわかっている（図6を参照）。実際のカメラの領域内にあるターゲットの利用可能なマーカがなく、それがおそらく、衝突によって生じる場合には、以下の式を用いて、2つの鏡の中の  $\mathbf{P}^M$  s に関して解くために、 $\mathbf{P}^C$  を除去することができる。それは、鏡面反射された位置が得られるときに、ターゲットの実際の3-D位置を再生するために用いることもできる。

50



【数 17】

$$P^C = P^M - 2(P^M \cdot u - d)u$$

【0093】

水中動物の運動行動をモニタする場合、媒質界面の較正された場所及び向きに従って、照準光線の屈折に対応するために、三角測量法が正当であることが証明される。

【0094】

図 1 2 及び図 1 3 は、アルコール反応試験における 3 匹のキングヨの再構成された 3 - D 移動軌跡を示す。図 1 4 は、アルコール反応試験における 1 匹のゼブラフィッシュの再構成された 3 - D 移動軌跡を示す。図 1 5 は、アルコール中毒反応試験におけるマウスの頭部（特徴点は、2 つの耳の中間点として設定される）の再構成された 3 - D 運動軌跡を示す。図 1 6 は、カフェイン中毒反応試験におけるマウスの頭部の再構成された 3 - D 運動軌跡を示す。

10

【0095】

データ後処理

【0096】

本発明のシステムはさらに、データ後処理コンポーネントを含む。データ後処理コンポーネントは、ターゲットの 3 - D 軌跡の平滑化及びノイズ除去を行うことができ、さらに、ターゲットの再構成された 3 - D 軌跡から自動的に対象となる運動変数を抽出することができる。データ後処理コンポーネントはさらに、抽出された運動変数に関する記述的及び推論的な統計分析を実行することができる。図 1 7 ~ 図 1 9 は、キングヨのアルコール中毒試験におけるターゲットのサンプル 3 - D 移動軌跡から抽出された水泳速力及び水泳速度、旋回速力及び旋回速度、並びにその軌跡中心からの距離及び変位を示す。図 2 0 は、キングヨアルコール中毒試験におけるサンプル運動変数の統計分析の結果を示す。

20

【0097】

図 9 は、実験動物の 3 - D 運動を追跡するために特に好ましいシステム及び方法を示す。

オンライン及びオフラインのモニタリング過程

30

好ましい一実施形態では、システムは 3 つのモード、すなわち、オフライン較正モード、オンライン又はオフラインのモニタリング・モード、及びオンライン/オフライン後処理モードにおいて機能することができる。

【0098】

好ましい実施形態では、モニタリング過程は、オンライン・モードにおいて実行される。オンライン・モードでは、或る特定の瞬間において画像フレームが収集され、その後、ターゲットの現在の 3 - D 位置を求めるために処理される。これらの 3 - D 位置は、現在の軌跡に追加され、それらの軌跡は、対象となる運動変数を得るために動的に平滑化され、ノイズを除去され、処理される。オフライン・モニタリング・モードでは、モニタリング・ソフトウェアが、ビデオ・キャプチャ・モジュール、ビデオ処理モジュール及びデータ分析モジュールを含むいくつかのモジュールに分離される。ビデオ・キャプチャ・モジュールでは、モニタリング過程のビデオ・シーケンスが収集され、内部ハードディスク又は外部ハードディスク及びビデオテープのような特定の媒体に、圧縮画像形式で又は生データ形式で格納される。タイムスタンプシーケンスも格納され、それは、ビデオシーケンスに関連付けられる時間情報を含む。ビデオシーケンスは、観察するために又は画像処理のために、任意の後の時点で検索することができる。ビデオ処理モジュールは、入力として録画されたビデオ・シーケンスをとり、生の再構成された 3 - D 軌跡を得るために全ての画像処理タスクを実行する。データ分析モジュールは、入力として再構成された 3 - D 軌跡及び録画されたタイムスタンプ・シーケンスをとり、軌跡平滑化、軌跡ノイズ除去、運動学的分析、及び統計分析のようなデータ処理タスクを実行する。

40

50

【 0 0 9 9 】

グラフィカル・ユーザ・インターフェース

【 0 1 0 0 】

この実施形態では、図 1 0 及び図 1 1 に示されるように、リアルタイム行動モニタリングのためのグラフィカル・ユーザ・インターフェース ( G U I ) は 3 つのウィンドウ、すなわち、実際のカメラによってキャプチャされるリアルタイム・ビデオ、ソフトウェア・セグメンテーション及び識別コンポーネントによって得られる、タギング指標を付けられた前景マーカ、並びにターゲットの再生された 3 - D 水泳軌跡から構成される。本発明の 3 - D 運動再構成コンポーネントを用いて、このウィンドウ上で、対話形式で探索を実行することができる。好ましい一実施形態では、3 - D 運動再構成コンポーネントは、カメラ座標に従って、並進、回転及び拡大縮小を実行する。図 2 1 は、齧歯類の夜間行動のためのオンライン・モニタリング過程のための G U I の一例を示しており、周囲照明源としてバックライトが用いられ、一方、齧歯類の体の上の特徴点が蛍光染料を付けられている。

10

【 0 1 0 1 】

特に好ましい一実施形態では、本発明のソフトウェア・コンポーネントは、Open G L グラフィカル・サポートを有する windows X P プラットフォーム内でプログラミングされる V i s u a l C # . N E T 又はビジュアル C + + である。他のプラットフォームの例には、限定はしないが、M A C 、 U N I X 、 L I N U X 等が含まれる。

20

【 0 1 0 2 】

実施例

【 0 1 0 3 】

以下の例は、実験動物の移動及び運動関連の行動をモニタ及び分析するための本発明の 3 - D 行動モニタリング・システムの例示的な実施形態を説明する。それらの例は、例示のためだけに与えられており、その中のいずれも、本発明の全範囲を限定するものと解釈されるべきではない。

【 0 1 0 4 】

例 1 : 水にエタノールを加えることによって引き起こされるキングヨ ( *Carassius auratus* ) の 3 - D 水泳移動の変化をモニタする

【 0 1 0 5 】

種々の化合物への魚移動反応における変化が、本発明のシステム及び方法によってモニタ、定量化及び分析される。たとえば、そのような実験のうちの 1 つが、キングヨのアルコール中毒反応である。この例示的な行動モニタリング実験では、平均体長 3 5 m m ~ 4 0 m m であり、同一の生物学的条件を有するキングヨ ( *Carassius auratus* ) が、アルコール反応のために選別され、飼育された。その後、キングヨは、表 3 に示されるように、5 つのグループに分けられた。試験されることになる魚は、数日間にわたって、同じ自然環境内に保持された。モニタリング過程の前に、それらのキングヨは、取り出され、指定されたアルコール濃度値を有する水槽内で 1 時間慣らされた。各モニタリング過程は 1 5 分間続けられた。新たな環境によって引き起こされる任意の一時的な反応を除くために、行動の評価指標を得る目的で、最後の 5 分間の魚軌跡を分析した。本発明のモニタリング・システムが多数の魚を同時に追跡できることを実証するために、1 回のモニタリングを実行する場合に同じ処理を受けた 3 匹までの魚が試験水槽に移された。他のパラメータ ( たとえば、時間、温度等 ) は、実験過程全体を通じて変化しないように注意深く制御された。図 1 2 及び図 1 3 は、行われた実験から再構成された 3 - D 軌跡のいくつかの例であり、グループ毎に 1 つのランダムに選択されたモニタリングを実行した。

30

40

【 0 1 0 6 】

実験が終了すると、そのシステムによって運動学的分析が自動的に実行された。魚のモニタされた 3 - D 移動軌跡に基づいて、時間及び周波数の両方の領域においてさらに特徴を抽出するために、種々の多変量時系列 ( M T S ) にわたって、そのような分析が実行された。図 1 7 ~ 図 1 9 は、その実験からランダムに選択されたいくつかの事例の場合の、

50

これらの導出された時系列の例（水泳速力 / 速度、旋回速力 / 速度、及び軌跡中心からの距離 / 変位であり、魚の軌跡中心  $C_T$  は以下のように計算された。

【数 1 8】

$$C_T = \frac{1}{T} \int_0^T M(t) dt$$

【0107】

ただし、 $M(t)$  は時間の関数としての魚の 3 - D 位置であり、 $T$  はモニタリング過程の時間の長さである。図 20 は、エタノール / 水濃度に対する、それぞれ、軌跡中心からの 3 - D 距離 (DFC)、3 - D 直線速力、及び 3 - D 角速度の平均値の点推定及び 95% の信頼区画を示す。図 20 には、最小二乗当てはめ応答曲線も示されており、それは、行動評価指標とエタノール濃度値との間の関係を示す。表 4 は、表 3 内の 5 つのグループの評価指標に関する、一元 ANOVA 分析から計算された P 値を示す。さらに、図 3 4 及び図 3 5 は、それぞれ、平均 DFC 及び 3 D 直線速力に関するグループ毎の事後平均比較から計算された P 値を示す。

10

【0108】

図 1 9 (A) 及び図 1 9 (B) に示されるように、キンギョは、アルコール濃度が 0 から高められるときに、濃度が上がるほど広がった経路に沿って速く泳ぐ傾向があった。これらの傾向は、濃度が或る一定の値（この事例では、約 1.3%）まで高められたときに、より顕著になった。この点よりも濃度が高くなると、水泳経路が小さなエリアに限定されていくのに応じて、キンギョの移動も再び遅くなり、最終的には、アルコール濃度が高すぎて生き残れなくなり、魚は動かなくなった（2%アルコール濃度で全ての魚が死亡した）。一方、図 20 (C) は、アルコール濃度が 0 から高められたときに、それに応じて、キンギョの旋回率が低くなったことを示す。

20

【0109】

これらの観察された現象は、動物のアルコール反応に関する一般的な知識と一致する。図 3 3 に示されるように、キンギョグループの間で、平均 DFC 及び 3 D 直線速力に著しい差が見られたが、平均 3 - D 旋回率には著しい差は見られなかった。図 3 4 及び図 3 5 に示されるように、平均の事後試験からの結果は、平均 DFC 及び 3 - D 水泳速力の両方に関して；(i) 対照グループ、試験グループ 1（エタノール / 水濃度 0.25%）及び試験グループ 2（エタノール / 水濃度 0.5%）の間に著しい差はなかった；(ii) 試験グループ 3（エタノール / 水濃度 1.0%）と試験グループ 4（エタノール / 水濃度 1.5%）との間に著しい差はない；(iii) 対照グループと、試験グループ 1 及び 2 と、試験グループ 3 及び 4 との間には著しい差があったことを示す。これらの結果は、実験魚のアルコール反応に関して公表されている結果において確認されているのと同じような傾向を示す。

30

【0110】

例 2：マウス頭部の 3 - d 運動の変化をモニタすることによってエタノールによって引き起こされる中毒を評価する

40

【0111】

この例では、本発明の 3 - D 行動モニタリング・システムが、エタノール注射によって引き起こされる中毒によって生じるマウス移動の詳細な差を定量的に特定するために適用される。関連する実験の焦点は、人による観察又は 2 - D モニタリング・システムでは、まだ検出するのが難しい、完全に客観性がある行動変化の詳細を発見することであった。

【0112】

チャールズリバー研究所 (Charles River Laboratory) から雌の ICR マウス 21 ~ 25 グラムを入手した。これらのマウスは行動実験の前に、少なくとも 1 週間にわたって、実験動物施設内に収容された。全てのマウスが標準的なマウスケージ内に収容され、随意

50

に食物及び水を与えられた。それらのマウスは12 : 12時間の明暗サイクルを保持され、毎日午前9時に明かりをつけられた。

#### 【0113】

遺伝的に同種のマウス及び算術的な評価スケールを用いる予備実験によって、行動実験のためのアルコール投与量は、0、0.1、0.2、0.5、1.0及び2.0 g / k gに決定された。それに応じて、試験マウスは、6匹ずつの6つのグループに分けられた。実験の朝に、全てのマウスの左耳及び右耳に、それぞれ黄色及び青色の蛍光染料が塗られた。これらの蛍光染料は、モニタされることになる特徴点又はターゲットとしての役割を果たす。生理食塩水(0.9% NaCl)の中に濃度0.2 ~ 2 g / 10 mlを有するエタノール溶液が毎日新たに調合された。全てのマウスが体重を測定され、その後、選択された投与量に従ってエタノール溶液を注射された。その後、マウスは、行動モニタリング前に、10分間、モニタリング・システム内の動物コンテナに入れられた。モニタリング室の内部は、蛍光染料を刺激するために、暗光によって照明された。モニタリング毎に、10分間、ビデオ画像シーケンスが録画され、その後、コンピュータハードディスク上に格納された。録画されたビデオシーケンスは、特徴点の運動軌跡の3-D再構成及びデータ後処理のために後に検索された。各モニタリング過程が終了した後に、動物コンテナは清掃された。

10

#### 【0114】

運動パラメータは、マウス頭部の再構成された3-D軌跡から計算される。マウス頭部の位置は、マウスの2つの耳の中間点と見なされた。統計的に分析されるパラメータは、運動速度、角速度、加速度、及び軌跡中心からの距離(DFC)を含んだ。図21は、マウス頭部の上下運動速度のグループ平均及び標準偏差を示す。図22は、マウス頭部の軌跡中心からの3-D距離(DFC)のグループ平均及び標準偏差を示す。試験マウスの立ち上がり行動を分析するために、マウス頭部が異なる高さにあるときの時間の平均持続時間が、グループ毎に計算された。以下の4つの高さ区分、すなわち17 mm未満、17 mm ~ 25 mm、25 mm ~ 45 mm及び45 mmよりも上が指定され、最後の区分は、マウスの立ち上がり運動に対応する。各高さ区分の持続時間が、各投与量グループ間で比較される。図23は、各グループのマウス頭部の高さの分布を示す。図24は、種々のエタノール投与量がマウスの立ち上がり行動に及ぼす影響を示す。動物コンテナの後ろ半分において費やされる時間(隠れ傾向)も計算され、グループ間で比較される。探究傾向の指示として、動物コンテナの4つの角において費やされる時間も計算され、比較される。図25は、マウスが動物コンテナの後ろ半分にいる時間パーセンテージのグループ平均及び標準偏差を示す。図26は、マウスが動物コンテナの角にいる時間パーセンテージのグループ平均及び標準偏差を示す。

20

30

#### 【0115】

これらの行動評価指標をグループ毎に比較するために、対象物(Subject)のt検定(test)が用いられる。表7は、マウス頭部の上下速度に関するグループ毎の平均を比較した結果を示しており、「\*」は、比較される2つのグループ間の関連する運動パラメータの著しい差を表す。表8は、マウス頭部の軌跡中心からの3-D距離に関するグループ毎の平均を比較した結果を示す。表9は、モニタリング過程中的立ち上がりの時間パーセンテージに関するグループ毎の平均を比較した結果を示す。

40

#### 【0116】

図15は、マウス頭部の再構成された3-D運動軌跡の例を示しており、(A)及び(D)はエタノールを注射されていない対照マウスであり、(B)及び(E)は体重で正規化されたエタノール濃度0.2 g / k gでエタノールを注射された後の試験マウスであり、(C)及び(F)は体重で正規化されたエタノール濃度2.0 g / k gでエタノールを注射された後の試験マウスである。

#### 【0117】

マウス頭部の運動パラメータに関する統計分析から、対照グループ(生理食塩水のみ)と比較されるとき、そして時には実験グループと比較されるときに、8つの基本運動パラ

50

メータ（3-D速度、3-D角速度、3-D加速度、DFC、XY平面上の3-D速度の投影、XY平面上の3-D角速度の投影、Z軸に沿った速度、z軸に沿った角速度）が全て、著しい差（ $P < 0.05$ 又は $P < 0.001$ ）をもたらした（たとえば、表7及び表8を参照）。

【0118】

4つの高さ区分の高さ分布は、2.0g/kgグループの場合に特に著しい差を示した（表9を参照）。

【0119】

保持枠の後ろ半分において費やされる時間は、何ら差を示さなかった（図25を参照）。

10

【0120】

4つの角において費やされる時間は、グループのうちのいくつかの間で著しく異なった（図26を参照）。

【0121】

その3-D行動モニタリング・システムは、エタノールに引き起こされる毒性にさらされる運動関連の行動の小さな変化を区別するための効率的な手段であることが証明された。これらの差は目では検出できなかったが、それらは投与量に依存し、再現可能である。その研究では、試験グループ内に6匹の試験動物しか含まれないが、既に数多くのペア比較において、統計的有意性が検出されている。各グループ内にさらに多くの試験動物がいる場合でも、同じ処理を用いることによって、任意の化学薬品への反応に関して、全てのタイプのマウスを試験することができ、正確な結果をもたらすことができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0122】

【図1】一例として魚の水泳行動のモニタリングが用いられる、本発明の1つの例示的な3-D動物行動モニタリング・システムの概略図である。

【図2】マウス又はラットの移動活動、ホーム・ケージ活動及び歩行路をモニタするために適用することができる、本発明の3-D動物行動モニタリング・システムの1つの例示的な実施形態の概略図である。

【図3】可視インジケータとして多数の着色端を有する校正パターンを用いる、本発明のステレオシステムを校正するための、本発明の1つの例示的なハードウェア・ベース校正デバイス・コンポーネントを示す図である。

30

【図4】実際のカメラに関連付けられる視認エリア内にある、高輝度発光ダイオード（LED）の形をとる多数の可視インジケータを用いる自動校正パターンの画像を示す図である。

【図5】空の水槽の収集されたステレオ画像を示す図であり、3つの領域が実際のカメラ及びバーチャル・カメラの視認エリアに対応し、バウンディング・ボックス内に表示される。

【図6】対応する可視インジケータ・セットの画像と、鏡面の得られた垂線から計算される、鏡位置のための計算方法を示す図である。

【図7】 $e_{ij}$ がカメラ*i*及び*j*によって形成されるエピポールを表し、 $M_i$ が視野*i*内の可視インジケータの対応する画像を表す、図1に示されるような、実際のカメラ0並びに2台のバーチャル・カメラ1及び2によって形成される本発明のエピポーラ構造を例示する図である。

40

【図8】レイトレーシング法を用いることによる前方屈折及び後方屈折過程を示す図であり、この過程は、水中動物をモニタする際に、拡張システムの校正、対応検出及び3-D再構成において適用される。

【図9】水中動物の3-D水泳軌跡をモニタするためのリアルタイム且つオンラインの処理の流れ図である。

【図10】本発明の対応するソフトウェア・コンポーネントを適用することによって、試験魚が識別され、タグgingされ、そして追跡される画像フレームを示す図であり、左上が

50

元のフレームであり、右上が試験魚にタグが割り当てられている処理済のフレームであり、下が試験魚の再構成された3-D運動軌跡である。

【図11】本発明の対応するソフトウェア・コンポーネントによって、試験マウスの2つの特徴点が識別され、タギングされ、そして追跡される画像フレームを示す図であり、左上が元のフレームであり、右上が試験マウス上にある特徴点にタグが割り当てられている処理済のフレームであり、下が試験マウス上にある特徴点の再構成された3-D運動軌跡である。

【図12】アルコール中毒試験における3匹のキングヨの再構成された3-D水泳軌跡の例を示す図であり、モニタリング時間が5分であり、(A)がエタノールを加えられない対照グループであり、(B)がエタノール/水容積濃度0.25%を加えられた試験グループであり、(C)がエタノール/水容積濃度0.5%を加えられた試験グループであり、(D)がエタノール/水容積濃度1.0%を加えられた試験グループであり、(E)エタノール/水容積濃度1.5%を加えられた試験グループである。

10

【図13】アルコール中毒試験における3匹のキングヨの再構成された3-D水泳軌跡の別の例を示す図であり、モニタリング時間が5分であり、(A)がエタノールを加えられない対照グループであり、(B)がエタノール/水容積濃度0.25%を加えられた試験グループであり、(C)がエタノール/水容積濃度0.5%を加えられた試験グループであり、(D)がエタノール/水容積濃度1.0%を加えられた試験グループであり、(E)エタノール/水容積濃度1.5%を加えられた試験グループである。

【図14】アルコール中毒試験における1匹のゼブラフィッシュの再構成された3-D水泳軌跡の例を示す図であり、モニタリング時間が15分であり、(A)が水にエタノールを加えられない対照であり、(B)がエタノール/水容積濃度0.25%を加えられた試験ゼブラフィッシュであり、(C)がエタノール/水容積濃度0.5%を加えられた試験ゼブラフィッシュである。

20

【図15】腹部エタノール注射後のマウス頭部の再構成された3-D運動軌跡の例を示す図であり、モニタリング時間が10分であり、(A)及び(D)がエタノールを注射されていない対照マウスであり、(B)及び(E)が体重で正規化されたエタノール濃度0.2g/kgのエタノールを注射された後の試験マウスであり、(C)及び(F)が体重で正規化されたエタノール濃度2.0g/kgのエタノールを注射された後の試験マウスである。

30

【図16】腹部カフェイン注射後のマウス頭部の再構成された3-D軌跡の例を示す図であり、モニタリング時間が10分であり、(1.A)及び(2.A)がカフェインを注射されていない対照マウスであり、(1.B)及び(2.B)が体重で正規化されたカフェイン濃度6.25g/kgのカフェインを注射された後の試験マウスであり、(1.C)及び(2.C)が体重で正規化されたカフェイン濃度12.5g/kgのカフェインを注射された後の試験マウスであり、(1.D)及び(2.D)が体重で正規化されたカフェイン濃度25g/kgのカフェインを注射された後の試験マウスであり、(1.E)及び(2.E)が体重で正規化されたカフェイン濃度100g/kgのカフェインを注射された後の試験マウスである。

【図17】アルコール中毒試験におけるキングヨの水泳速度及び水泳速度のサンプル時系列を示す図であり、(A)が3-D空間内の水泳速度を示し、(B)がX方向における水泳速度を示し(X方向は図11に示される)、(C)がY方向における水泳速度を示し(Y方向は図11に示される)、(D)がZ方向における水泳速度を示し(Z方向は図11に示される)、(1)が対照魚であり、(2)がエタノール/水容積濃度0.25%を加えられた試験魚であり、(3)がエタノール/水容積濃度0.5%を加えられた試験魚であり、(4)がエタノール/水容積濃度1.0%を加えられた試験魚であり、(5)がエタノール/水容積濃度1.5%を加えられた試験魚である。

40

【図18】アルコール中毒試験におけるキングヨの旋回速度及び旋回速度のサンプル時系列を示す図であり、(A)が3-D空間内の旋回速度を示し、(B)がX軸を中心にした旋回速度を示し(X軸は図11に示される)、(C)がY軸を中心にした旋回速度を示し

50

( Y 軸は図 1 1 に示される )、( D ) が Z 軸を中心にした巡回速度を示し ( Z 軸は図 1 1 に示される )、( 1 ) が対照魚であり、( 2 ) がエタノール / 水容積濃度 0 . 2 5 % を加えられた試験魚であり、( 3 ) がエタノール / 水容積濃度 0 . 5 % を加えられた試験魚であり、( 4 ) がエタノール / 水容積濃度 1 . 0 % を加えられた試験魚であり、( 5 ) がエタノール / 水容積濃度 1 . 5 % を加えられた試験魚である。

【図 1 9】アルコール中毒試験におけるキングヨの軌跡中心からの距離及び変位のサンプル時系列を示す図であり、( A ) が 3 - D 空間内の軌跡中心からの距離を示し、( B ) が X 方向における軌跡中心からの変位を示し ( X 方向は図 1 1 に示される )、( C ) が Y 方向における軌跡中心からの変位を示し ( Y 方向は図 1 1 に示される )、( D ) が Z 方向における軌跡中心からの変位を示し ( Z 方向は図 1 1 に示される )、( 1 ) が対照魚であり、( 2 ) がエタノール / 水容積濃度 0 . 2 5 % を加えられた試験魚であり、( 3 ) がエタノール / 水容積濃度 0 . 5 % を加えられた試験魚であり、( 4 ) がエタノール / 水容積濃度 1 . 0 % を加えられた試験魚であり、( 5 ) がエタノール / 水容積濃度 1 . 5 % を加えられた試験魚である。

10

【図 2 0】アルコール中毒試験におけるキングヨの行動反応曲線のサンプルを示す図であり、( A ) が軌跡中心からの平均距離対エタノール濃度の推定値、信頼区間及び反応曲線を示し、( B ) が平均 3 - D 直線速度対エタノール濃度の推定値、信頼区間及び反応曲線を示し、( C ) が平均 3 - D 角速度対エタノール濃度の推定値、信頼区間及び反応曲線を示す。

【図 2 1】例 2 ( エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化 ) の実験から得られる、マウス頭部の上下運動速度のグループ平均及び標準偏差を示す図である。

20

【図 2 2】例 2 ( エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化 ) の実験から得られる、マウス頭部の軌跡中心からの 3 - D 距離 ( D F C ) のグループ平均及び標準偏差を示す図である。

【図 2 3】例 2 ( エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化 ) の実験から得られる、マウスが種々の投与量でエタノール溶液を注射されるときのマウス頭部の高さのグループ毎の分布を示す図である。

【図 2 4】例 2 ( エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化 ) の実験から得られる、エタノール注射がマウスの立ち上がり行動に及ぼす影響を示す図である。

【図 2 5】マウスが動物コンテナの後ろ半分にいる時間パーセンテージのグループ平均及び標準偏差を示す図であり、これは、例 2 ( エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化 ) の実験から得られる。

30

【図 2 6】マウスが動物コンテナの角にいる時間パーセンテージのグループ平均及び標準偏差を示す図であり、これは、例 2 ( エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化 ) の実験から得られる。

【図 2 7】齧歯類の夜間行動のためのオンライン及びリアルタイムのモニタリング過程のための本発明の 1 つの例示的なグラフィカル・ユーザ・インターフェース ( G U I ) を示す図であり、周囲照明源としてバックライトが使用され、一方、齧歯類の耳の上にある特徴点が蛍光染料を塗布される。

【図 2 8】内部ハードウェア部品の構成を示すために、フレームから外側カバーが外されている、本発明の 3 - D 行動モニタリング・システムの 1 つの例示的なハードウェア・アセンブリを示す図である。

40

【図 2 9】 $d$ 、 $v$ 、 $a$  がそれぞれ直線変位、直線速度及び直線加速度を表し、 $\theta$ 、 $\omega$ 、 $\alpha$  がそれぞれ角変位、角速度及び角加速度を表す、2 - D 及び 3 - D のビデオ・システムによってモニタされる運動軌跡から抽出することができる例示的な基本的な運動学的属性の表であり、2 - D システムでは、座標系を、設定されたカメラ軸 Z でカメラ像平面においてのみ自由に変換することができるが、3 - D システムでは座標変換に制限がない。

【図 3 0】行動評価指標を得るためにさらに統計的に分析するために用いられる、時間領域及び周波数領域の両方における例示的な運動パラメータの表であり、これらの系列は、データ後処理コンポーネントによって、再構成された 3 - D 運動軌跡から自動的に導出さ

50

れ、この表では、{ X , Y , Z } が、種々の要件に応じて張り付けられるか又は変形することができる 3 - D空間内の任意のデカルト座標を表す。

【図 3 1】水にエタノールを加えることによって引き起こされるキングヨの 3 - D水泳移動の変化がモニタ及び分析される、例 1（キングヨへのアルコール中毒試験）のグループ分けの表である。

【図 3 2】「 \* 」が比較されるグループ間の関連する運動パラメータの著しい差分を表す、例 1 のキングヨへのアルコール中毒試験における、中心からの平均距離、3 - D水泳速度、及び 3 - D 旋回速度の一元分散分析（ANOVA）の結果を示す表である。

【図 3 3】「 \* 」が比較されるグループ間の関連する運動パラメータの著しい差を表す、例 1 のキングヨへのアルコール中毒試験における、中心からの平均距離の事後平均比較からの結果を示す表である。

【図 3 4】「 \* 」が比較されるグループ間の関連する運動パラメータの著しい差を表す、例 1 のキングヨへのアルコール中毒試験における、平均 3 - Dの事後平均比較からの結果の表である。

【図 3 5】「 \* 」が比較される 2 つのグループ間の著しい差を表す、例 2（エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化）からのマウス頭部の上下速度のグループ毎の平均比較の結果の表である。

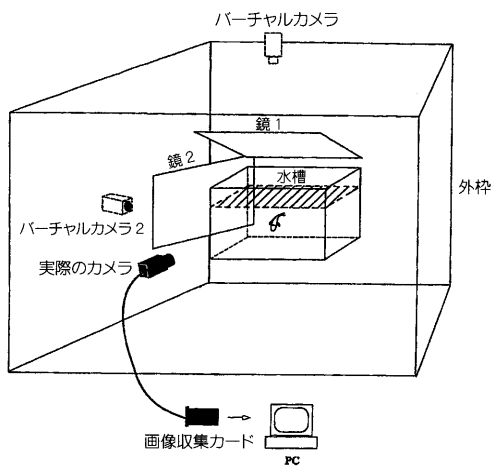
【図 3 6】「 \* 」が比較される 2 つのグループ間の著しい差を表す、例 2（エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化）からのマウス頭部の軌跡中心からの 3 - D 距離のグループ毎の平均比較の結果の表である。

【図 3 7】「 \* 」が比較される 2 つのグループ間の著しい差を表す、例 2（エタノールによって引き起こされるマウスの行動変化）からのモニタリング過程中的の立ち上がりの時間パーセンテージのグループ毎の平均比較の結果の表である。

10

20

【図 1】



【図 2】

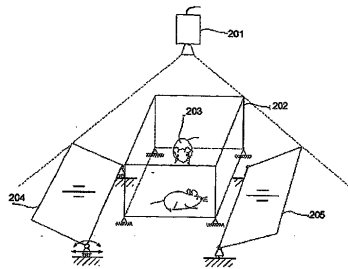


Figure 2



【 図 3 】

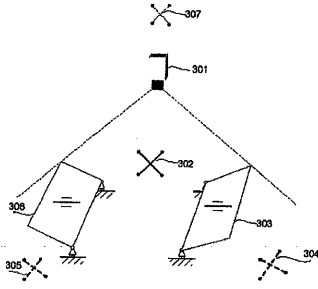


Figure 3

【 図 4 】

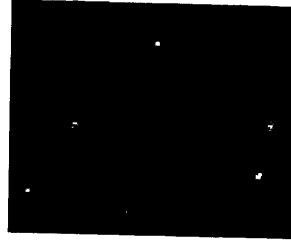


Figure 4

【 図 5 】

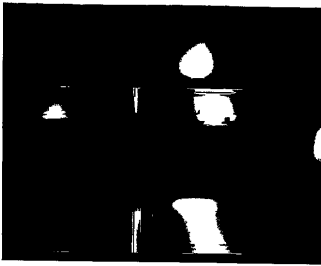
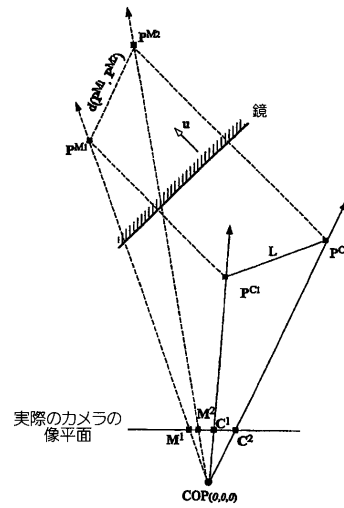
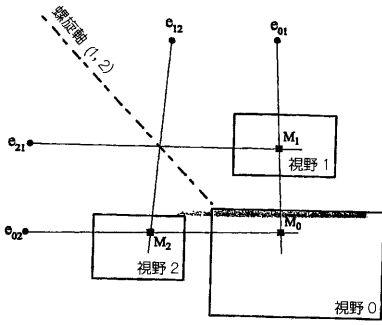


Figure 5

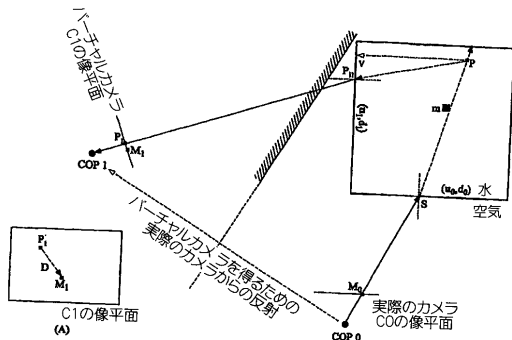
【 図 6 】



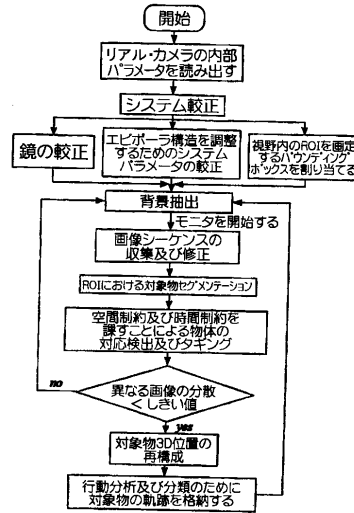
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



Figure 10

【 図 11 】

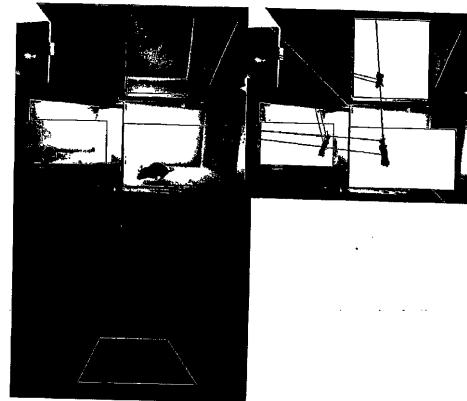


Figure 11

【 図 1 2 】

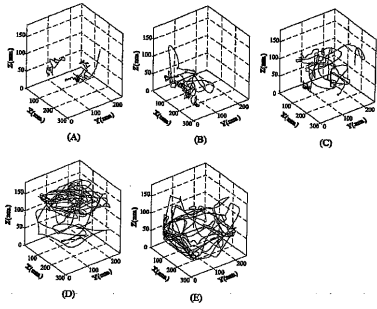


Figure 12

【 図 1 3 】

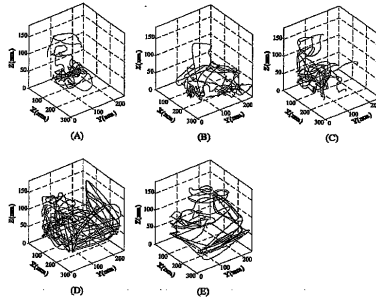


Figure 13

【 図 1 4 】

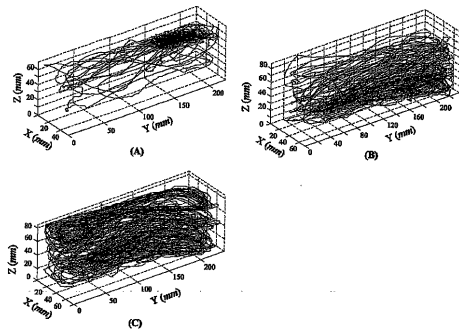


Figure 14

【 図 1 5 】

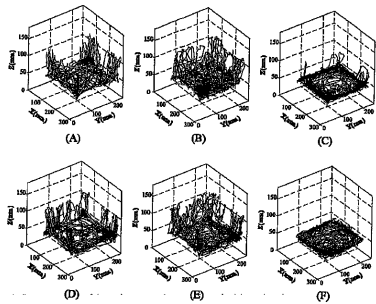


Figure 15

【 図 1 6 】

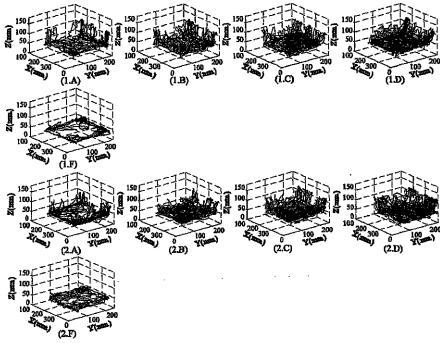
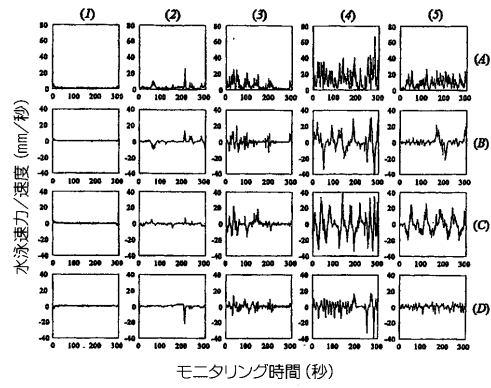
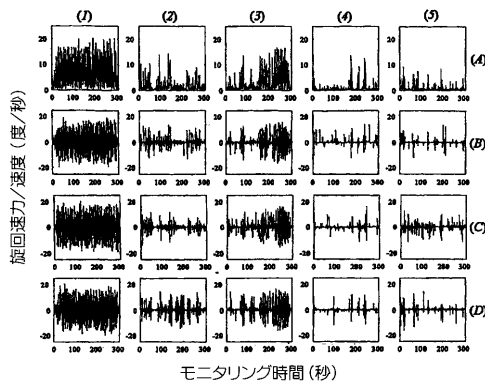


Figure 16

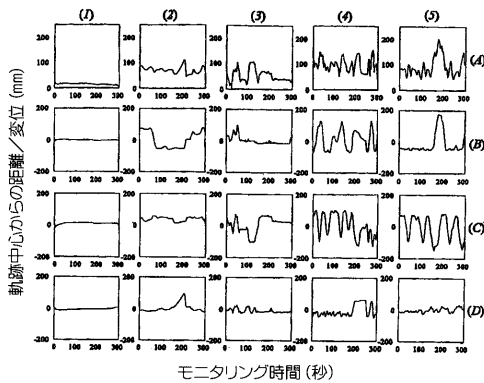
【 図 1 7 】



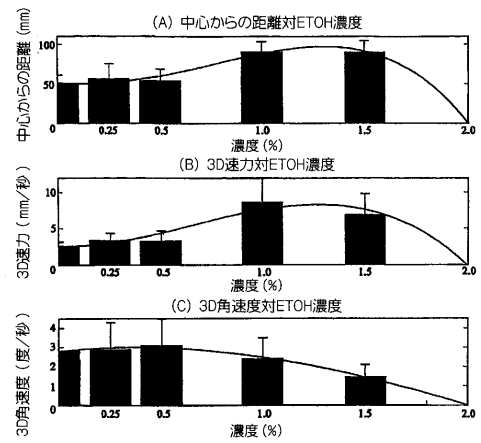
【 図 1 8 】



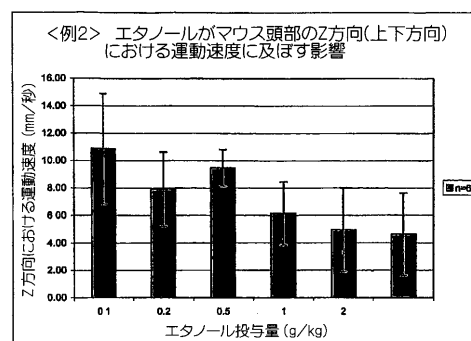
【 図 1 9 】



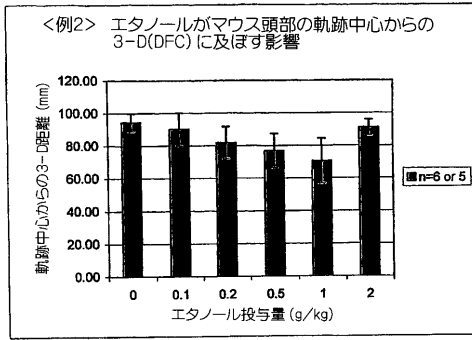
【 図 2 0 】



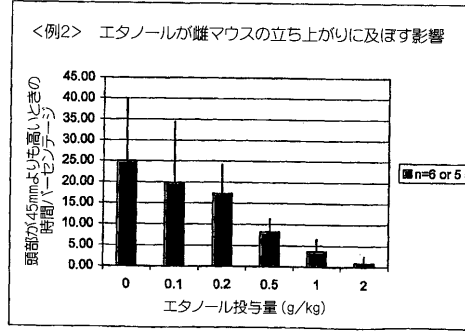
【 図 2 1 】



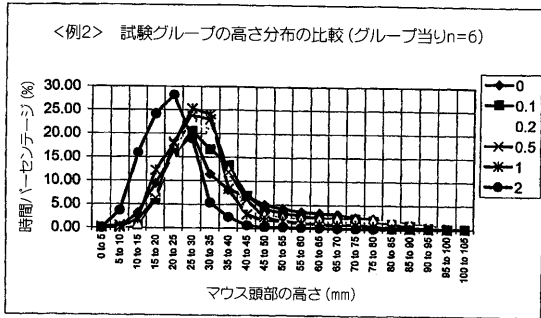
【 図 2 2 】



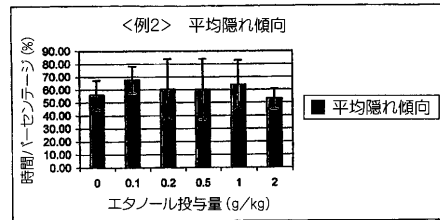
【 図 2 4 】



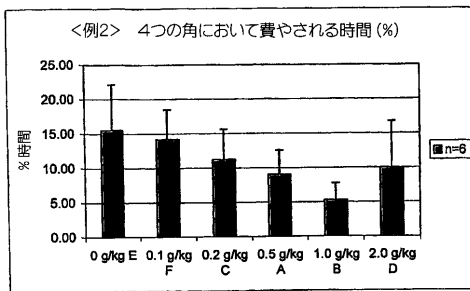
【 図 2 3 】



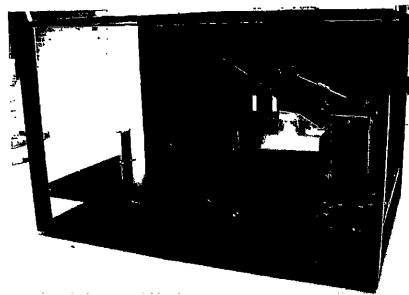
【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



【 図 2 8 】



【 図 2 7 】

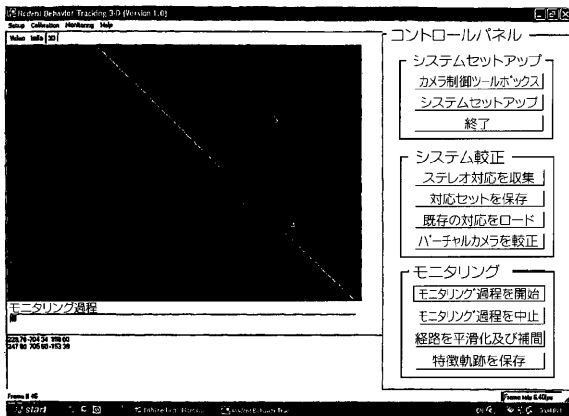


Figure 28

【 図 2 9 】

方法	座標系セットアップ	変位	速度	加速度
2D	特定の {XY} 平面上	$d_x, d_y, \Phi_z$	$v_x, v_y, \omega_z$	$a_x, a_y, a_z$
3D	3D空間内の任意の {XYZ}	$d_x, d_y, d_z, \Phi_x, \Phi_y, \Phi_z$	$v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$	$a_x, a_y, a_z, a_x, a_y, a_z$

【図 3 0】

時間領域 (Time-domain)	ベクトル上		スカラー上	
	直線	X、Y及びZ内の場所	X、Y、XZ、YZ平面上、及び3D空間内の水泳軌跡	X、Y、Z及び3D空間内の進行距離
角度	X、Y及びZ内の変位	X、Y、Z及び3D空間内の水泳速度	X、Y、Z及び3D空間内の水泳速度	X、Y、Z及び3D空間内の速力バースト・レート
	X、Y及びZ内の加速度	X、Y、Z及び3D空間内の速力バースト・レート	X、Y、Z及び3D空間内の速力バースト・レート	X、Y、Z及び3D空間内の速力バースト・レート
その他	X、Y及びZについての角変位	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回角	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度のバースト・レート
	X、Y及びZについての角速度	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度のバースト・レート
その他	X、Y及びZについての角加速度	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度のバースト・レート	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度のバースト・レート	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度のバースト・レート
	3D空間内の規定された点からの近接性	3D空間内の規定された点からの近接性	3D空間内の規定された点からの近接性	3D空間内の規定された点からの近接性
その他	運動中又は静止中に費やされる時間	運動中又は静止中に費やされる時間	運動中又は静止中に費やされる時間	運動中又は静止中に費やされる時間
	3D空間内の空間利用率及び空間選好	3D空間内の空間利用率及び空間選好	3D空間内の空間利用率及び空間選好	3D空間内の空間利用率及び空間選好
その他	3D水泳経路の曲率及び複雑度	3D水泳経路の曲率及び複雑度	3D水泳経路の曲率及び複雑度	3D水泳経路の曲率及び複雑度
	多数の動物の相対的な距離及び位置	多数の動物の相対的な距離及び位置	多数の動物の相対的な距離及び位置	多数の動物の相対的な距離及び位置
その他	他のユーザ定義の運動属性	他のユーザ定義の運動属性	他のユーザ定義の運動属性	他のユーザ定義の運動属性
	X、Y及びZ内の運動速度の電力スペクトル密度 (PSD)	X、Y、Z及び3D空間内の水泳速度の PSD	X、Y、Z及び3D空間内の水泳速度の PSD	X、Y、Z及び3D空間内の水泳速度の PSD
その他	X、Y及びZ内の加速度の PSD	X、Y、Z及び3D空間内の速力バースト・レートの PSD	X、Y、Z及び3D空間内の速力バースト・レートの PSD	X、Y、Z及び3D空間内の速力バースト・レートの PSD
	X、Y及びZについての角速度の PSD	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度の PSD	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度の PSD	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度の PSD
その他	X、Y及びZについての角加速度の PSD	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度の PSD	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度の PSD	X、Y、Zについての且つ3D空間内の旋回速度の PSD
	3D空間内の規定された点からの距離又は場所の PSD	3D空間内の規定された点からの距離又は場所の PSD	3D空間内の規定された点からの距離又は場所の PSD	3D空間内の規定された点からの距離又は場所の PSD
その他	指定された場所における動物の外観の PSD	指定された場所における動物の外観の PSD	指定された場所における動物の外観の PSD	指定された場所における動物の外観の PSD
	水泳経路の曲率の PSD	水泳経路の曲率の PSD	水泳経路の曲率の PSD	水泳経路の曲率の PSD
その他	多数の魚の相対的な距離及び位置の PSD	多数の魚の相対的な距離及び位置の PSD	多数の魚の相対的な距離及び位置の PSD	多数の魚の相対的な距離及び位置の PSD
	ユーザ定義の運動属性の他のスペクトル特徴	ユーザ定義の運動属性の他のスペクトル特徴	ユーザ定義の運動属性の他のスペクトル特徴	ユーザ定義の運動属性の他のスペクトル特徴

【図 3 1】

グループ名	エタノール/水濃度 (vol. %)	魚の番号 (#)
対照	0	1 4
試験 1	0. 2 5	9
試験 2	0. 5	9
試験 3	1	9
試験 4	1. 5	9

【図 3 6】

スチューデント t 試験からの P 値	対照	0.1g/kg	0.2g/kg	0.5g/kg	1.0g/kg	2.0g/kg
対照	—	2.1E-01	1.7E-02	4.0E-03*	3.0E-03*	1.7E-01
0.1g/kg		—	1.1E-01	2.2E-01	1.8E-02*	4.3E-01
0.2g/kg			—	2.2E-01	9.2E-02	4.6E-02*
0.5g/kg				—	2.3E-01	1.0E-02*
1.0g/kg					—	7.0E-03*
2.0g/kg						—

【図 3 7】

スチューデント t 試験からの P 値	対照	0.1g/kg	0.2g/kg	0.5g/kg	1.0g/kg	2.0g/kg
対照	—	3.00E-01	1.60E-01	1.7E-02*	1.0E-02*	2.0E-03*
0.1g/kg		—	3.60E-01	1.2E-02*	2.7E-02*	8.0E-03*
0.2g/kg			—	1.2E-02*	2.0E-03*	2.0E-04*
0.5g/kg				—	2.5E-02*	5.0E-04*
1.0g/kg					—	5.0E-02*
2.0g/kg						—

【図 3 2】

一元 (One-way) ANOVA 結果	中心からの距離	3 D 速度	3 D 角速度
P 値	5.9E-05*	1.0E-04*	41E-01

【図 3 3】

事後平均比較からの P 値	対照	試験 1	試験 2	試験 3	試験 4
対照	—	3.0E-01	3.1E-01	5.2E-05*	2.5E-04*
試験 1		—	4.4E-01	4.9E-03*	7.5E-03*
試験 2			—	6.8E-04*	1.6E-03*
試験 3				—	4.6E-01
試験 4					—

【図 3 4】

事後平均比較からの P 値	対照	試験 1	試験 2	試験 3	試験 4
対照	—	75E-02	1.7E-01	3.8E-03*	8.1E-03*
試験 1		—	4.6E-01	7.5E-03*	2.1E-02*
試験 2			—	7.0E-03*	2.3E-02*
試験 3				—	2.2E-01
試験 4					—

【図 3 5】

スチューデント t 試験からの P 値	対照	0.1g/kg	0.2g/kg	0.5g/kg	1.0g/kg	2.0g/kg
対照	—	1.0E-01	2.4E-01	2.3E-02*	1.9E-02*	1.0E-02*
0.1g/kg		—	1.4E-01	9.0E-03*	7.9E-02	4.9E-02*
0.2g/kg			—	9.0E-03*	8.0E-03*	4.0E-03*
0.5g/kg				—	2.6E-01	2.0E-01
1.0g/kg					—	4.4E-01
2.0g/kg						—

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 06/25602
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(8) - G06T 15/00 (2007.01) USPC - 345/419 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8) - G06T 15/00 (2007.01) USPC - 345/419 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC - 345/420, 595, 599, 618; 348/42, 51, 51; 382/103, 107, 276; 702/1, 152, 153 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Electronic data base: USPTO WEST (PGPB, USPT, EPAB, JPAB); DIALOG PRO; GOOGLE Search Terms Used: monitor, camera, motion, analysis, behavior, body motion, animal, image, epipolar		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X — Y	US 2005/0083333 A1 (GORDON) 21 April 2005 (21.04.2005), entire document	1-7, 9-12, 14-16, 19-20, 30-31 8, 17-18, 21-29, 32-57
Y	US 2004/0141636 A1 (LIANG et al.) 22 July 2004 (22.07.2004), entire document, especially Abstract, para [0009]-[0066]	8, 17-18, 21-25, 27-29, 49
Y	US 6,233,007 B1 (CARLBOM et al.) 15 May 2001 (15.05.2001), entire document, especially col 1, in 8 to col 6, in 3	28, 32-35, 45-57
Y	US 2005/0008220 A1 (MIYAZAKI) 13 January 2005 (13.01.2005), entire document, especially para [0016]-[0055]	36-44, 51
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "B" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 22 February 2007 (22.02.2007)		Date of mailing of the international search report <b>24 APR 2007</b>
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 06/28602

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3.  Claims Nos.: 13  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.



## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. ウィンドウズ
2. WINDOWS
3. UNIX
4. Linux

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100153028

弁理士 上田 忠

(72)発明者 チュー, リクン

アメリカ合衆国ニューヨーク州 1 1 7 2 7, コラム, オックスフォード・プレイス 1 5 0 7 ピー

(72)発明者 ワン, ジャニン

アメリカ合衆国ニューヨーク州 1 1 7 9 0, ストローニー・ブルック, ジェイ 1 1 4 3 エイエックス  
・チャピン, ヘルス・サイエンシズ・ドライブ 7 0 0

(72)発明者 ウェン, ウェイ

アメリカ合衆国ニューヨーク州 1 1 7 7 2, パッチョグ, サンディー・コート 9

(72)発明者 スー, ロン

アメリカ合衆国ニューヨーク州 1 1 7 2 7, コラム, オックスフォード・プレイス 1 5 0 7 ピー

Fターム(参考) 5B047 AA27 AB02 BB06 BC09 BC23

5B057 AA19 BA02 BA15 CA08 CA12 CA16 CB13 CB16 CE02 CH11

CH20 DA07 DB02 DB09 DC25 DC32

5C054 FC12 FC13 FC15 FD01 GB15 HA05