

(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2004-535616
(P2004-535616A)

(43) 公表日 平成16年11月25日(2004.11.25)

(51) Int.C1.⁷

G08B 25/00

G06T 7/20

H04N 7/18

F 1

G08B 25/00

G06T 7/20

H04N 7/18

510M

A

D

テーマコード(参考)

5C054

5C087

5L096

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 98 頁)

(21) 出願番号 特願2002-572310 (P2002-572310)
 (86) (22) 出願日 平成14年3月13日 (2002.3.13)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年9月16日 (2003.9.16)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2002/007493
 (87) 國際公開番号 WO2002/073086
 (87) 國際公開日 平成14年9月19日 (2002.9.19)
 (31) 優先権主張番号 60/275,879
 (32) 優先日 平成13年3月14日 (2001.3.14)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 09/981,928
 (32) 優先日 平成13年10月16日 (2001.10.16)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 500575824
 ハネウェル・インターナショナル・インコ
 一ポレーテッド
 アメリカ合衆国ニュージャージー州O79
 62, モーリスタウン, コロンビア・ロー
 ド 101
 (74) 代理人 100089705
 弁理士 杜本 一夫
 (74) 代理人 100076691
 弁理士 増井 忠式
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男

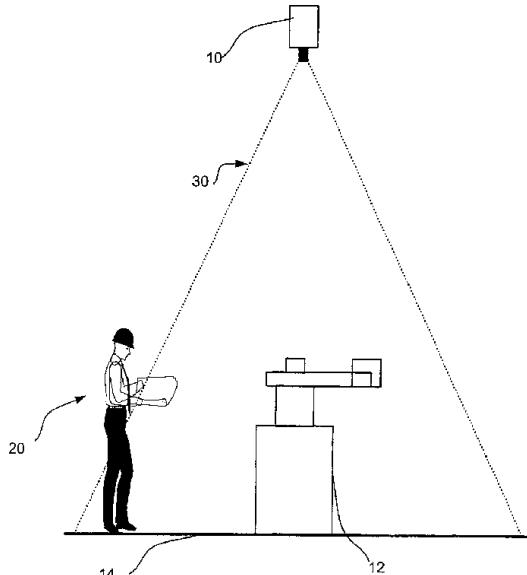
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】対象物の検出

(57) 【要約】

関心の範囲のアクセス及び/又は存在監視を行うための視覚対象物検出システムである。定常動作において、即ち、対象物が関心の範囲に入りつつある状態でない又はその中に無いとき、関心の範囲の境界に対応する、到来する像のそれらの部分のみが分析される。一度境界が対象物により侵入されると、本発明は、関心の範囲の境界の内側の全範囲又は選択された領域を分析し始める。これは、関心の範囲の或るレベルの存在監視を与える。分析の両方のモードが応用に応じて同時に又は順次に行われることができることを意図している。一度対象物が関心の範囲を離れると、本発明は、元の定常状態に戻り、そして到来する像の境界領域のみを監視することが好ましい。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

境界及び内部領域を有する関心の範囲を監視する方法であって、前記関心の範囲の境界領域の少なくとも一部分への対象物による侵入を監視するステップと、前記対象物が前記境界に侵入した後に、前記関心の範囲の内部領域の少なくとも一部分で前記対象物を監視するステップとを備える方法。

【請求項 2】

前記対象物が前記関心の範囲を離れた後に、前記関心の範囲の内部領域を監視するのを止めるステップと、

前記対象物が前記関心の範囲を離れた後に、前記関心の範囲の境界領域の少なくとも一部分を監視することを継続するステップとを更に備える請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記対象物がもはや前記関心の範囲の境界領域に侵入しなくなると初めて、前記関心の範囲の内部領域が監視されなくなる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

前記内部領域が監視されている間に、前記関心の範囲の境界領域の少なくとも一部分を監視することを継続するステップを更に備える、請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

前記境界領域が前記対象物により侵入されたとき、安全出力を与えるステップを更に備える、請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記安全出力が、前記関心の範囲に位置された 1 個の装置を使用不能にする請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記安全出力は警報を鳴らす、請求項 5 記載の方法。

【請求項 8】

前記境界領域は連続領域を有する、請求項 1 記載の方法。

【請求項 9】

前記境界領域は中断された領域を有する、請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】

前記関心の範囲はその内部から定義された領域を除外する、請求項 1 記載の方法。

【請求項 11】

境界及び内部を有する関心の範囲を監視する方法であって、前記関心の範囲の捕捉像を捕捉するステップと、前記関心の範囲の境界に対応する、前記の捕捉された像における 1 つ又はそれより多い境界領域を識別するステップと、

捕捉された像の前記 1 つ又はそれより多い境界領域を分析し、且つ対象物が関心の範囲の前記 1 つ又はそれより多い境界領域に入ったか否かを決定するステップと、

対象物が関心の範囲の前記 1 つ又はそれより多い境界領域に入ったときを指示する信号を出力するステップとを備える方法。

【請求項 12】

前記 1 つ又はそれより多い境界領域が基準マーキングを含む、請求項 11 記載の方法。

【請求項 13】

前記基準マーキングは所定のパターンである、請求項 11 記載の方法。

【請求項 14】

前記の捕捉された像の 1 つ又はそれより多い境界領域を分析する前記ステップは、捕捉像

10

20

30

40

50

の前記 1 つ又はそれより多い境界領域を基準像の 1 つ又はそれより多い対応領域と比較するステップを備える、請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 5】

前記関心の範囲の境界が基準マーキングを含み、

前記基準像における前記 1 つ又はそれより多い境界領域は、前記基準像における基準マーキングを識別することにより識別される

請求項 1 4 記載の方法。

【請求項 1 6】

前記基準マーキングは所定のパターンである、請求項 1 5 記載の方法。

【請求項 1 7】

前記所定のパターンは、検出されるべき対象物の最小サイズを決定する、請求項 1 6 記載の方法。

【請求項 1 8】

対象物が前記関心の範囲に入ったときの前記捕捉像を格納するステップを更に備える、請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 9】

前記の格納された捕捉像を後の時間に見るステップを更に備える、請求項 1 8 記載の方法。

【請求項 2 0】

前記基準像は、前記関心の範囲における 1 つ又はそれより多い条件の変化に応答して取り込まれる、請求項 1 4 記載の方法。

【請求項 2 1】

前記基準像は、設定された時間間隔で取り込まれる、請求項 1 4 記載の方法。

【請求項 2 2】

前記の捕捉された像の 1 つ又はそれより多い境界領域を分析するステップは、前記捕捉像の 1 つ又はそれより多い境界領域を 2 つ又はそれより多い基準像の対応領域と比較するステップを備える、請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 2 3】

少なくとも 1 つの比較は比較的即座の変化を検出し、且つ少なくとも 1 つの比較が累積された変化を検出する、請求項 2 2 記載の方法。

【請求項 2 4】

境界及び内部領域を有する関心の範囲を監視する方法であって、

2 つの別個の像捕捉装置を用いて、前記関心の範囲の少なくとも 2 つの像を捕捉するステップと、

前記関心の範囲の境界に対応する、前記の捕捉された像における 1 つ又はそれより多い境界領域を識別するステップと、

捕捉された像の前記 1 つ又はそれより多い境界領域を分析して、対象物が前記関心の範囲に入ったときを決定するステップと、

対象物が前記関心の範囲に入ったか否かを指示する信号を出力するステップとを備える方法。

【請求項 2 5】

前記像捕捉装置はビデオ・カメラである、請求項 2 4 記載の方法。

【請求項 2 6】

前記像捕捉装置はディジタル・カメラである、請求項 2 4 記載の方法。

【請求項 2 7】

境界及び内部領域を有する関心の範囲を監視するシステムであって、

前記関心の範囲の捕捉像を捕捉する捕捉手段と、

前記関心の範囲の境界領域の少なくとも一部分への対象物による侵入を監視し、且つ前記対象物が境界に侵入した後に、前記関心の範囲の内部領域の少なくとも一部分で前記対象物の存在を監視する監視手段と

10

20

30

40

50

を備えるシステム。

【請求項 28】

関心の範囲を監視するシステムであって、

前記関心の範囲の少なくとも1つの像を捕捉する像捕捉手段と、

捕捉像のうちの少なくとも1つを処理して、対象物が前記関心の範囲に入ったか否かを決定する第1の処理手段と、

前記捕捉像のうちの少なくとも1つを処理して、対象物が前記関心の範囲に入ったか否かを決定する第2の処理手段と、

前記第1の処理手段及び第2の処理手段の両方が対象物が前記関心の範囲に入ったことを指示するとき、対象物が前記関心の範囲に入ったことを指示する信号を出力する出力手段と

を備えるシステム。

【請求項 29】

前記像捕捉手段が单一の像捕捉デバイスを含む請求項28記載のシステム。

【請求項 30】

前記像捕捉手段は2つの像捕捉デバイスを含み、

各像捕捉デバイスは前記関心の範囲の別個の像を与え、

前記像捕捉デバイスのうちの第1のものは、前記関心の範囲の第1の像を前記第1の処理手段に与え、

前記像捕捉デバイスのうちの第2のものは、前記関心の範囲の第2の像を前記第2の処理手段に与える

請求項28記載のシステム。

【請求項 31】

境界領域及び内部領域を有する関心の範囲を監視する方法であって、

前記関心の範囲の境界領域の少なくとも一部分への、第1の最小サイズを有する対象物による侵入を監視するステップと、

第2の最小サイズを有する対象物が前記関心の範囲の境界領域に侵入した後に、前記関心の範囲の内部領域の少なくとも一部分への、前記第2の最小サイズを有する対象物による侵入を監視するステップと

を備える方法。

【請求項 32】

前記第1の最小サイズは前記第2の最小サイズより小さい、請求項31記載の方法。

【請求項 33】

前記第1の最小サイズは前記第2の最小サイズより大きい、請求項31記載の方法。

【請求項 34】

前記内部領域は前記境界領域を含むよう定義される、請求項31記載の方法。

【請求項 35】

前記内部領域は前記境界領域を除外するよう定義される、請求項31記載の方法。

【請求項 36】

各領域は境界及び内部領域を有する2つ又はそれより多い領域を有する関心の範囲を監視する方法であって、

前記関心の範囲の捕捉像を捕捉するステップと、

前記関心の範囲の第1の領域の境界及び/又は内部領域への対象物による侵入を監視するステップと、

前記関心の範囲の第2の領域の境界及び/又は内部領域への対象物による侵入を監視するステップと

を備える方法。

【請求項 37】

前記第1の領域の境界及び/又は内部領域は、前記第2の領域の境界及び/又は内部領域とは独立に監視される、請求項36記載の方法。

10

30

40

50

【請求項 3 8】

前記第1及び第2の領域の境界及び／又は内部領域が選択的に監視される請求項36記載の方法。

【請求項 3 9】

前記第1の領域の境界及び／又は内部領域が監視され、前記第2の領域の境界及び／又は内部領域が監視されない、請求項38記載の方法。

【請求項 4 0】

前記第1の領域の境界及び／又は内部領域が監視され、前記第2の領域の境界及び／又は内部領域も監視される、請求項38記載の方法。

【請求項 4 1】

前記第1の領域の境界及び／又は内部領域が監視されず、前記第2の領域の境界及び／又は内部領域も監視されない、請求項38記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【背景技術】****【0001】**

この出願は、2000年11月17日に出願され、発明の名称が「対象物の検出(OBJECTION DETECTION)」である同時係属米国特許出願シリアルNo. 09/716,002の一部継続出願であり、それは本明細書に援用されている。この出願はまた、2001年3月14日に出願され、発明の名称が「安全カメラ(SAFETY CAMERA)」である同時係属米国仮特許出願シリアルNo. 60/275,879に対して米国特許法(35U.S.C.)第119条(e)(1)の下での優先権を主張するものである。

【0002】**[発明の分野]**

本発明は、対象物の検出に関し、より詳細には、予め規定された範囲又は領域内への対象物の侵入及び／又はその中の存在の検出に関する。

【0003】**[発明の背景]**

電子感応保安装置(ESPE)は、周知であり、そして産業環境において、危険な装置のオペレータを傷害から保護するため広く用いられている。ESPE装置は通常、感知機能、制御又は監視機能及び出力信号切り換え機能を有する。感知機能は通常、データを、例えば、危険な設備を取り囲む規定された安全ゾーンから収集する。安全ゾーンは、用いられる感知技術に応じて、線、範囲、又は体積であり得る。制御機能は感知機能を監視する。制御機能は、感知機能により与えられたセンサ・データが安全ゾーンへの侵入に対応することを決定したとき、出力信号が生成されて、警報を鳴らし、危険な設備を作動しないようにし、又は幾つかの他の予防的措置を実行する。

【0004】

様々なESPE装置が、現在市販されており、それには、単一のビーム光検出器、光カーテン、レーザ・スキヤナ、安全マット及びその他が含まれる。単一のビーム光検出器は通常、単一の光源及び光検出器を用いて、或るレベルのアクセス監視を行う。対象物が光源と光検出器との間で移動するとき、それらの間に延在している光ビームが遮断され、それが安全侵害を起動する。単一のビーム光検出器システムの限界は、限定されたアクセス制御のみが行われ、そして通常存在の検知が行われないことである。別の限界は、安全ゾーンの位置、形状又はサイズを変えるため、光源及び／又は光検出器を通常物理的に移動しなければならないことである。

【0005】

光カーテン・システムは、リニア・アレイの発光器／光検出器対を設けることを除いて単一のビーム光検出器システムに似ている。発光器／光検出器対が、1対の離間したエンクロージャに取り付けられている。発光器のアレイは、対応する光検出器へ延在する「光カーテン」を生成する。光カーテンが対象物により遮断されるとき、安全侵害が起動される

10

20

30

40

50

。解像度（検出される対象物のサイズ）は通常、光ビーム同士間の間隔に依存する。光カーテン・システムは、垂直に取り付けられたとき或るレベルのアクセス制御を行い、そして水平に取り付けられたとき或るレベルの存在監視を行うことができる。しかしながら、一部の光カーテン・システムの限界は、それらが比較的高価且つ複雑であることである。別の限界は、安全範囲のサイズ及び形状での侵入が制限される場合があり、そして離間したエンクロージャが通常、監視されるべき安全ゾーンの構成を変えるため物理的に移動されねばならないことである。

【0006】

レーザ・スキャナ・システムは通常回転するレーザ発光器／検出器を含み、それは平面を走査し、そしてビームの反射を監視することにより任意の方向での最も近い対象物までの距離を測定する。この種の装置は、水平平面に沿った或るレベルの存在監視を行うことができる。それはまた、垂直に取り付けられて、前述の光カーテン・システムに類似した或るレベルのアクセス監視を行い得る。レーザ・スキャナ・システムの限界は、それらが回転ヘッドのような複雑な機械的構成要素を用い、それらが周期的且つ正確な整列を要求する場合があることである。監視されるべき領域が構成ソフトウェアを用いて再定義され得る一方、その形状は、多くの場合レーザの見通し線により制限される。また、応答時間は、レーザ・ビームを回転させるための必要性により制限され、そして感度は、産業的環境における大気汚染により制限される。

【0007】

最後に、安全マット・システムは、床マット／センサとの物理的接触を検出することにより存在監視を与えるため用いられてきた。その強固さは、検出のための床マットとの物理的接触のための必要性により制限され、それは、工場の床のしばしば過酷な環境で問題がある場合がある。安全マット・システムは通常、多数のマットが一緒に接続されないならば、大きな範囲を監視することができない。最後に、そして前述の単一のビーム光検出器システム及び光カーテン・システムと同様に、安全マットは通常、監視されるべき安全ゾーンの構成を変えるため物理的に移動されねばならない。

【0008】

〔発明の概要〕
本発明は、ビデオ・カメラ、ディジタル・カメラ等からの1つ又はそれより多い像を用いて、関心の範囲へのアクセス及び／又はその範囲の存在監視を行う視覚的対象物検出システムを提供する。定常状態動作においては、即ち、対象物が関心の範囲に入りつつある状態でない又はその中に無いときは、関心の範囲の境界に対応する、到来する像のそれらの部分のみが分析される。境界範囲を監視することのみにより、本発明は、境界が対象物により侵入されたときを迅速に検出し得る。境界が侵入された後に、本発明は、警報を鳴らし、関心の範囲内の危険な装置を動作しないようにし、又はある他の予防的措置を実行することが好ましいが、しかしこれは必要なことではない。

【0009】

一度境界が対象物により侵入されると、本発明は、関心の範囲の境界内部の全範囲又は選択された領域を分析し始め得る。これは、関心の範囲の或るレベルの存在監視を与え得る。ある実施形態においては、存在監視が、特に1つ又はそれより多い予防的措置が既に境界侵入により開始されたとき、境界分析より遅い速度で実行されることができる。分析の両方のモードが、応用に応じて、同時に又は順次に行われることを意図している。一度対象物が関心の範囲を離れると、本発明は、元の定常状態に戻り、そして到来する像の境界領域のみを監視するのが好ましい。

【0010】

本発明の他の目的、及び本発明の付随的利点の多くは、それらが添付図面と関係して考えられるとき以下の詳細な説明を参照することにより一層良く理解されるようになるので容易に認められるであろう。なお、類似の参照番号は図面全体にわたり類似の構成要素を示す。

【0011】

10

20

30

40

50

[発明の実施形態の説明]

図1は、カメラ10を備える作業場範囲14の側面図である。例証的実施形態においては、カメラ10が装置12の上方に配置され、その装置12は安全範囲14により囲まれている。装置12は、1個の危険な装置、例えば、可動パーツを有する機械、薬品貯蔵装置、原材料処理装置、焼却炉、又は危険を人に与える可能性がある任意の他の機械であり得る。同様に、装置12は、非常に敏感な活動を実行している1つ又はそれより多い装置であり得、そこでは、安全システムを用いて対象物又は人が非常に敏感な活動に支障を及ぼすのを防止する場合がある。また、装置12は、高価な品目であり得、そして安全システムは、その品目が取られる又は損傷されるのを防止するため実行され得ることがあり得る。作業者20が、安全範囲14の中に立っているように示されている。代替実施形態においては、カメラ10は、フレームを、ピラミッド30形状の視野に沿って、好ましくは2次元像として収集する。

10

【0012】

図2は、視野19を持つカメラ10の概略図である。関心の範囲14は、ハッチングで示されている。用語「範囲」は、2次元の範囲に制限されず、そして更に以下で説明されるように3次元の体積(volume)を含み得ることに注目されるべきである。本発明は、デジタル・カメラ10又は類似のものを用いて、像をカメラ10の視野19に沿って収集するのが好ましい。像をカメラ10の視野19に沿って収集した後に、データ処理技術を用いて、境界16内に入るそれらのピクセルを選択するのが好ましい。本発明はまた、境界16に沿って落ちるそれらのピクセルと、境界16内に落ちるそれらのピクセルとを区別することが好ましい。

20

【0013】

一例証的実施形態においては、対象物が関心の範囲14に入りつつある状態にない、又は関心の範囲14内に無いとき、関心の範囲14の境界16に対応する到来する像のそれらのピクセルのみが分析される。それらのピクセルを境界16に沿って監視することにより、本発明は、境界16が対象物により侵入されたときを迅速に検出し得る。境界16が侵入された後に、警報を鳴らすこと、関心の範囲17内の危険な装置が作動しないように行うこと、又はある他の予防的措置を実行することのような予防的措置を取り得るが、これは必要なことではない。

30

【0014】

一度境界16が対象物により侵入されると、例証的実施形態は、関心の範囲14の内部15内のそれらのピクセルを分析し始め得る。これは、関心の範囲14の内部15の或るレベルの存在監視を与え得る。ある実施形態においては、存在監視を境界分析より遅い速度で、特に1つ又はそれより多い予防的措置が既に境界侵入により開始されてしまっているとき、実行することができる。分析の両方のモードが、応用に応じて同時に又は順次に行われることができる。一度対象物が関心の範囲15を離れると、本発明は、元の定常状態に戻り、そして到来する像の境界領域16におけるそれらのピクセルのみを監視し得る。

【0015】

図3は、適所に安全システムを備えた作業場を示す概略図である。例証的実施形態においては、安全カメラ10は、作業場範囲の上方に配設されている。作業場範囲は、予め規定した関心の領域14を持つのが好ましく、その予め規定した関心の領域14は、1個の装置12の周りの安全ゾーンに対応し得る。関心の範囲14の内側範囲15は、例証的実施形態において、辺40、42、44、46を有する境界16により規定される。

40

【0016】

処理システム70が、安全カメラ10にインターフェース72を介して接続されているように示されている。処理システム70は、安全カメラ10から受け取られた像を処理して、前述したように、対象物が予め規定した境界領域16に侵入したか否か、及び/又は対象物が関心の範囲15内に留まっているか否かを決定するのが好ましい。処理システム70はまた、装置12にインターフェース74を介して接続され得る。処理システム70は境界領域16が侵入されてしまったことを決定するとき、処理システム70は、使用可能

50

化又はターンオフ信号を装置 12 にインターフェース 74 を介して送り得る。この使用可能化又はターンオフ信号により、装置 12 がオフになる、ブレーキを起動する、又はさもなければ装置 12 の動作を停止するようにすることが好ましい。代替として、又はそれに加えて、処理システム 70 が、希望される場合、警報すること、エラー、又は動作不良信号のような情報を装置 12 から受け取り得る。

【 0 0 1 7 】

例証的実施形態においては、処理システム 70 はまた、他の入力又は出力装置 28 にインターフェース 76 を介して接続される。入力又は出力装置 28 は、例えば、可聴アラーム、可視アラーム、警報信号を遠隔場所に送るための送信器、警報信号の記録を取つておく記憶装置等を含み得る。

10

【 0 0 1 8 】

図 4 A は、規定された境界領域 16 を備える関心の範囲 14 の像の図である。1 個の装置 12 が内部範囲 15 内に示されている。例証的実施形態においては、像は、境界領域 16 と内部領域 15 とに分割されている。境界 16 は、応用に応じて、より狭く又はより広く規定し得る。好適な実施形態においては、境界 16 のみが、定常状態動作中に分析され、そして内部領域 15 の分析のみが、境界領域 16 の侵入のようなトリガリング事象（誘因事象）の後に、行われる。代替として、又はそれに加えて、内部領域 15 の分析が、内部領域分析の手動要求等のような外部刺激に応答して、調時された間隔でのような他の機構により開始され得る。

【 0 0 1 9 】

或る実施形態においては、パターンは、床の上に与えられ得て、好適には、所望の境界領域 16 に対応する。一例では、対照をなす暗い範囲と明るい範囲を備えるパターン化されたテープ又は描かれたストリップが、所望の境界領域 16 に沿って配置され得る。対照をなす色付き領域のそれぞれにより規定された範囲は、検出されるべき対象物の最小サイズに対応するよう選定され得る。しかしながら、例えば、単一の色付き線、市松模様のパターン、十字模様のストリップ等を含む任意の数のパターンを用い得ることを意図している。その上、パターンは、より一般的範囲をカバーし得て、そして境界 16 に閉じこめる必要はない。

20

【 0 0 2 0 】

パターン化された範囲を用いて対象物を検出するためのアルゴリズム及び設計は、発明の名称が「対象物の検出（O B J E C T D E T E C T I O N ）」である同時係属米国特許出願シリアル No. H 16 - 26483 に見られることができ、それは本明細書に援用されている。対象物は、発明の名称が「対象物の検出（O B J E C T D E T E C T I O N ）」である同時係属米国特許出願シリアル No. H 16 - 26483 に記載されているアルゴリズムを用いて境界領域 16 において検出されることが好ましい。幾つかの実施形態は、個々の又はグループのピクセルが 1 つ又はそれより多い基準像と比較される分析を用いる。比較は、分析されつつあるピクセル又はピクセルのグループの輝度、色、色調、色相、スペクトル等のような幾つかの識別可能な又は定量可能な特性に基づいて行われるのが好ましい。

30

【 0 0 2 1 】

マーカーがまた関心の範囲 14 内に含まれて、関心の範囲に対するカメラの相対的位置が安全システムの動作中維持されることができない又はそうされないであろうシステムの機能化を可能にし得る。複雑な動作、追加の装置又は空間制約、又は関心の範囲 14 についてカメラを動かすための任意の他の必要性が存在する環境においては、マーカー又は類似のものを用いて、ある点又は基準を与え得る。ある産業的状況においては、振動がカメラの知覚し得る運動を起こし得る。適切なマーカーは、色を付された又はペンキで塗られたドット、ストリップ、音又は光信号発生器、識別可能な形状又は設計等のような、当該技術で既知である幾つかのもののいずれかであり得る。

40

【 0 0 2 2 】

図 4 B は、関心の範囲の床が或るパターンを境界領域に沿って持つ当該関心の範囲の像の

50

図である。関心の範囲 9 0 は、外側境界 9 2 及び内部領域 9 4 により規定される。前述のように、外側境界 9 2 は、市松模様パターンのようなパターンを含み得る。そのようなパターンは、本発明で必要ではないが、しかし境界分析の正確さ及び／又は速度を改善するため有効であり得る。そのようなパターンは、希望される場合、関心の範囲 9 0 全体にわたり設けられ得る。その上、及び一部の実施形態においては、異なるパターンを内部領域 9 4 内よりむしろ境界領域 9 2 に用いられ得る。

【 0 0 2 3 】

装置 9 6 は、除外される範囲 9 8 内に示されており、その除外される範囲 9 8 は内側境界 9 9 により規定される。一例証的実施形態においては、外側境界 9 2 及び内側境界 9 9 を横切る移動が定常状態動作中に監視され得る。対象物がこれらの範囲のうちの 1 つの中に横切って入る場合、内部領域 9 4 (除外される範囲 9 8) が監視され得る。一実施形態においては、除外される範囲 9 8 を用いて、定常状態動作中に投げ込まれた又はさもなければ装置 9 6 から離れるよう移動しつつある対象物を検出し得る。そのような対象物が、1 個の装置 9 6 の故障又は機能不全を指示し得る。装置 9 6 は除外される範囲 9 8 内に無いことがあり得て、又は除外される範囲 9 8 内の一部に且つ内部領域 9 4 内の一部にあり得て、あるいは除外される範囲 9 8 の内側に全体的にあり得ることが意図されている。除外される範囲 9 8 の境界の選択は、装置 9 6 がもし無視されないならば安全システムを混乱させることができるであろう可動パーティを有するか否かを評価することを含み得る。

【 0 0 2 4 】

図 5 は、不規則な形状の境界を持つ関心の範囲を監視する安全カメラ・システムの斜視図である。カメラ 1 1 0 は、内部領域 1 1 5 及び境界領域 1 1 6 を備える関心の範囲 1 1 4 の上方に配設されている。装置 1 1 2 は、関心の範囲 1 1 4 の内側に配置されている。境界 1 1 6 は、不規則な形状であり、セグメント(線分) 1 4 0 、 1 4 2 、 1 4 4 、 1 4 6 及び 1 4 8 から構成され、セグメント 1 4 2 は湾曲している。カメラ 1 1 0 は、円錐形 1 3 2 の下で規定されたより大きい視野 1 3 0 を含む像を収集する。次いで、処理ユニット(図示せず)は、範囲 1 3 4 及び範囲 1 3 6 に対応するピクセルを分析から排除し得る。好適な実施形態においては、ユーザは、希望されるように、関心の範囲 1 1 4 の寸法及び形状を選択することができる。

【 0 0 2 5 】

また、カメラ 1 1 0 が所望の関心の範囲 1 1 4 の上方で中心付けされる必要が無いことが図 5 に示されている。カメラ 1 1 0 を片寄って位置させることは、空間の制約等を含む様々な理由のため望ましい場合がある。その上、そして装置 1 1 2 が特定の関心があるパーティ 1 1 2 A を含むと仮定すると、カメラ 1 1 0 は、そのパーティ 1 1 2 A のより良い視野を与えるため関心の範囲 1 1 4 に対して中心から外れたように配設され得る。

【 0 0 2 6 】

図 6 A は、境界に切れ目を持つ関心の範囲の斜視図である。カメラ 1 6 0 は、関心の範囲 1 6 4 の上方に配設されている。関心の範囲 1 6 4 は、2 つの内部領域 1 6 5 A 及び 1 6 5 B に分割されている。内部領域 1 6 5 A 及び 1 6 5 B は、コンベヤ・ベルト 1 8 0 及び機械 1 6 2 により分離されている。境界領域 1 6 6 は、ライン 1 9 4 、 1 9 6 、 1 9 8 及びライン 1 9 0 、 1 9 2 、 1 9 9 により規定されている。コンベヤ・ベルト 1 8 0 は、図示のように境界 1 6 6 を横切っている。好適な実施形態においては、コンベヤ・ベルト 1 8 0 に沿った動きは、安全システムを起動しないが、一方境界のライン 1 9 0 、 1 9 2 、 1 9 4 、 1 9 6 、 1 9 8 、 1 9 9 を横切る動きは安全システムを起動する。

【 0 0 2 7 】

図 6 B は、図 6 A の関心の範囲の上面図である。コンベヤ・ベルト 1 8 0 は、関心の範囲 1 6 4 を横切り、内部範囲を内部範囲 1 6 5 A 及び 1 6 5 B に分割し、それにより境界領域 1 6 6 を不連続にする。境界 1 6 6 は、前述のように、幾つかのセグメント 1 9 0 、 1 9 2 、 1 9 4 、 1 9 6 、 1 9 8 、 1 9 9 から構成される。装置 1 6 2 はコンベヤ・ベルト 1 8 0 に接続している。一実施形態においては、コンベヤ・ベルト 1 8 0 により覆われる範囲の中での動きは無視され、それにより定常状態分析が、コンベヤ・ベルト 1 8 0 によ

10

20

40

50

り覆われない境界セグメント 190、192、194、196、198、199 を監視するであろう。別の実施形態においては、内部分析が、コンベヤ・ベルト 180 により覆われる範囲を無視し、そして範囲 165A 及び 165B のみを分析するであろう。内部分析は、装置 162 の上の範囲を分析してもしなくてよい。

【0028】

図 6A 及び図 6B により示されるように、単一のカメラ 160 により監視される 2 つの内部ゾーン 165A 及び 165B が存在する。類似のアプローチが用いられ、2 つ又はそれより多い別々の及び / 又は無関係の安全ゾーンを単一のカメラを用いて監視し得ることが意図される。例えば、各内部ゾーン 165A 及び 165B は、各安全ゾーンがカメラの視野にあることを仮定すると、別々の及び / 又は無関係の装置を含み又は取り囲むことができるであろう。これは、安全カメラ・システムを提供するコストを低減し得る。その上、及び応用に応じて、各ゾーンは違ったように監視され得る。例えば、「機械負荷 (LOAD MACHINE)」モードでは、内部領域 165B のみが監視される一方、内部領域 165A は監視されなくてよい。「動作 (RUN)」モードでは、両方の内部領域 165A 及び 165B が監視され得る。これは単に一実例である。

【0029】

図 7A は、関心の範囲 202 を監視するための頭上カメラ 210 及び側面カメラ 220 を持つ安全カメラ・システムの斜視図である。頭上カメラ 210 は、例えば、前述のように、関心の範囲 202 における水平の動きを監視し得る。対照的に、側面カメラ 220 は、例えば、関心の範囲 202 内の垂直の動きを監視し得る。あるパターンが側面カメラ 220 の視野内の壁又は類似のものに適用されて、関心の範囲 202 内の対象物の動きを検出するのを助ける。

【0030】

図 7A の例証的実施形態のためのカメラの動作の更なる実例が、図 7B 及び図 7C に示される。図 7B は、頭上カメラ 210 についてのあり得る視野を示す図であり、そして関心の範囲 232 を示す。図 7C は、側面カメラ 220 についての例証的視野の図である。側面カメラ 220 は、例えば、予め規定された平面を横切る垂直の動きを監視し得る。この例証的実施形態においては、側面カメラ 220 の視野 235 は、所望の平面に対応する薄い選択された範囲 237 を持つ。

【0031】

図 8A は、関心の体積 270 を監視するための 2 つの安全カメラ 250 及び 260 を持つ別の安全カメラ・システムの斜視図である。例証的実施形態においては、第 1 のカメラ 250 が、水平面に沿った円 254 を規定する円錐 252 の下で像を捕捉するよう位置決めされている一方、第 2 のカメラ 260 は、垂直面における円 264 を規定する円錐 262 の下で像を捕捉するよう配設されている。

【0032】

図 8B は、図 8A の第 1 のカメラ 250 の視野 290 であって関心の第 1 の選択された範囲 292 を備える当該視野 290 を示す図である。図 8C は、図 8A の第 2 のカメラ 260 の視野 295 であって関心の第 2 の選択された範囲 297 を備える当該視野 295 を示す図である。例証的実施形態においては、体積 270 は、6 側面の体積であり、その形状は、選択された範囲 292、297、及び円錐 252、262 により規定される。関心の体積 270 の形状は、追加のカメラを用いることにより、又は対応する視野内の追加の情報を捕捉し得る改善されたカメラを用いることにより、改良され得る。追加の光学的装置がまた、関心の体積 270 の形状作りに用いられ得る。

【0033】

図 8Aにおいて、対象物 299 が関心の体積 270 内に示されている。対象物 299 は、カメラ 250 に対応する第 1 の線 256、及びカメラ 260 に対応する第 2 の線 266 に沿って置かれている。図 8B は、対象物 299 を選択された範囲 292 の中に見つけることができるることを示し、そして図 8C は、対象物 299 を選択された範囲 297 の中に見つけることができるることを示す。対象物 299 が両方の選択された範囲 292 及び 297

10

20

30

40

50

に現れるので、対象物 299 は関心の体積 270 内に位置している。対象物 299 が選択された範囲 292 又は 297 のいずれかの境界にあるとき、対象物 299 は関心の体積 270 の境界にある。

【0034】

一例証的実施形態においては、対象物が関心の体積 270 に入りつつある状態にない又はその内部にないとき、関心の体積 270 の境界に対応する到来する像のそれらの部分のみが分析され得る。境界範囲のみを監視することにより、本発明は、境界が対象物により侵入されてしまったときを迅速に検出し得る。境界が侵入された後に、本発明は、例えば、警報を鳴らし、関心の体積内の危険な装置を動作しないようにし、又はある他の予防的措置を実行し得るが、しかしこれは必要ではない。

10

【0035】

一度境界が対象物により侵入されると、本発明は、希望されるように、体積全体、又は関心の範囲の体積の内部の選択された領域を分析し始め得る。これは、関心の体積の或るレベルの存在監視を与える。一部の実施形態においては、存在監視は、境界分析より遅い速度で、特に 1 つ又はそれより多い予防的措置が既に境界侵入により開始されてしまったとき実行されることができる。両方の分析モードが、応用に応じて同時に又は順次に行われることができる。一度対象物が関心の体積を離れると、本発明は、元の定常状態に戻り、そして到来する像の境界領域のみを監視するのが好ましい。

20

【0036】

図 9 は、関心の範囲を監視するため 2 つの安全カメラを持つ更に別の安全カメラ・システムの斜視図である。この例証的実施形態においては、関心の範囲は、300 で示され、そして境界 302 により規定されている。隅 306 及び 308 がまた示され、カメラ 310 及び 320 がその隅 306 及び 308 の上方に配設されている。第 1 のカメラ 310 は、視野 314 により規定される円錐 312 の下での像を捕捉する。第 2 のカメラ 320 は、同様に、視野 324 により規定される円錐 322 の下での像を捕捉する。次いで、多角形 330 及び 2 つの三角形 332 及び 334 により規定される平面の境界が規定されることができる。多角形 330 の形状及び中心の高さは、関心の範囲 300 に対するカメラ 310 及び 320 の角度を調整することにより、又は異なるカメラ 310 及び 320 を利用することにより、あるいは異なるカメラを追加すること等により変えられ得る。そのように希望される場合は、境界は、多角形 330 内の範囲のみを含むように規定され得て、従つて、それは、両方のカメラ 310 及び 320 によってのみ捕捉された範囲を監視するであろう。一度境界が規定されると、本発明は、境界への対象物による侵入を監視するのが好ましい。一度侵入されると、本発明は、前述されたように、関心の範囲 300 の全範囲又は選択された領域を分析し始めることが好ましい。

30

【0037】

図 1 から図 9 に示されるように、境界侵入を検出し、及び / 又は関心の範囲を監視するため用いられ得る様々な構成がある。多くの他の構成がまた可能である。データ選択及び排除は、複数のカメラの配置、単一の又は複数のカメラの角度の操作と一緒に、及び他の実施形態は、希望されるように、境界、範囲、多くの形状の体積、サイズ、形態、及び数を監視するため用いられ得る。

40

【0038】

図 10A は、対象物 370 が丁度関心の範囲 350 の境界 352 に入る当該関心の範囲 350 の斜視図である。装置 356 は、関心の範囲 350 の中にあり、そして対象物 370 が丁度、カメラ 360 の視野内の選択された範囲の輪郭を描くピラミッド 362 の境界 352 にあるよう示されている。他の対象物は、関心の範囲 350 の内部 354 に観察されない。図 10B は、図 10A の関心の範囲 350 及び対象物 370 を頭上から見た図である。

【0039】

定常状態動作において、即ち、対象物 370 が関心の範囲 350 に入っている状態でない、又は関心の範囲 350 内に無いとき、関心の範囲 350 の境界 352 に対応する到来す

50

る像のそれらの部分のみが分析される。境界分析を実行するとき、境界 352 の最も新しい像が、少なくとも 1 つの基準像と比較され得る。基準像は一時点に取られた単一の像であり、又は基準像は周期的に更新され得る。一例証的実施形態においては、基準像は、設定された期間後に更新される。代替として、又はそれに加えて、基準像は、新しく更新された像が取られることを要求する外部信号、又は関心の範囲 350 の境界 352 の条件の変化に対する応答のような事象の発生の際に更新され得る。一部の実施形態においては、2 以上の基準像があり得て、そこでは第 1 の基準像は、設定された像、又は最近の像であり得て、そして第 2 の基準像は、取られた最後から 2 番目の像であり得て、それにより 1 つの像との第 1 の比較が関心の範囲 350 の境界 352 における即座の変化に注目し得る一方、第 2 の比較が累積された変化に注目し得る。いずれのケースにおいても、境界範囲 352 のみを監視することにより、本発明は、境界 352 が対象物 370 により侵入されてしまったときを迅速に検出し得る。境界 352 が侵入された後に、本発明は、警報を鳴らし、関心の範囲 350 の中の危険な装置 356 を動作しないようにし、及び / 又はある他の予防的措置を実行することが好ましいが、しかしこれは必要ではない。

10

20

30

40

50

【0040】

図 11A は、対象物 420 が既に関心の範囲 400 の境界 402 を横切る当該関心の範囲 400 の斜視図である。図 11B は、図 11A の関心の範囲 400 及び対象物 420 を頭上から見た図である。一度境界 352 が対象物 420 により侵入されると、本発明は、関心の範囲 400 の境界 402 内部の全体範囲 404 及び選択された領域を分析し始めるのが好ましい。これは、関心の範囲 400 の或るレベルの存在監視を与える。一部の実施形態においては、存在監視は、境界分析より遅い速度で、特に 1 つ又はそれより多い予防的措置が既に境界侵入により開始されてしまったとき実行されることができる。両方の分析モードが、応用に応じて同時に又は順次に行われることができる。一部の実施形態においては、内部領域は、同様に境界領域を含むように規定される。

【0041】

一部の実施形態においては、安全監視システムは、第 2 のトリガリング事象後に元の定常状態に戻り、そして到来する像の境界領域のみを監視し得る。第 2 のトリガリング事象は、例えば、手動リセット入力信号、対象物 420 が関心の範囲 400 の内部 404 又は境界 402 に対して移動しない時間の経過、対象物 420 が関心の範囲 400 から出ること、対象物 420 がある事前選択された最小サイズより小さいとの決定等であり得る。

【0042】

図 12A は、対象物 470 が全体的に関心の範囲 450 内にある当該関心の範囲 450 の斜視図である。図 12B は、図 12A の例証的図の頭上から見た図である。本発明の一部の実施形態においては、対象物 470 は、関心の範囲 450 の境界 452 の分析内で注目されないであろうが、しかしそれは、内部監視中に関心の範囲 450 の内部 454 の変化として見えるであろうし、それは、対象物 470 が境界 452 に侵入するとき開始し得る。上記で示したように、安全監視システムは、第 2 のトリガリング事象後に元の定常状態に戻り得る。第 2 のトリガリング事象は、例えば、手動のリセット入力信号、対象物 420 が関心の範囲 400 の内部 404 又は境界 402 に対して移動しない時間の経過、対象物 420 の関心の範囲 400 から出ること、対象物 420 がある事前選択された最小サイズより小さいとの決定等であり得る。元の定常状態に戻り、対象物 470 が依然関心の範囲 450 内にあるとき、安全システムは、基準像を更新して、関心の範囲 450 の内部 454 及び / 又は境界 452 の変化を反映し得る。

【0043】

図 13 は、本発明に従った例証的安全カメラ・システムを示すブロック図である。像分析ブロック 500 は、入力信号 502 を、例えば、ディジタル又はアナログ・ビデオ・カメラ、CCD 又は類似のものから受け取る。入力信号 502 は、同期化信号、又はデータ・ストリーム中に新しいフレームに関連するデータが始まるときを指示するための他の信号を含み得る。入力信号 502 を用いて、入力の像又はフレーム 504 を与え、その入力の像又はフレーム 504 は、メモリ又はファイルに格納され得る。

【 0 0 4 4 】

一度新しい入力像が入力像ブロック 504 により受け取られると、信号を制御ブロック 520 に送り得る。制御ブロック 520 は、像分析ブロック 500 の動作を制御し得る。例えば、新しい基準像を希望するとき、制御ブロック 520 は更新ブロック 506 に通知し、その更新ブロック 506 は、現在の像を基準像メモリ・ブロック 508 に転送する。

【 0 0 4 5 】

選択ブロック 510 は、ユーザが、例えば関心の範囲、境界、除外される範囲等を規定するのを可能にする。選択ブロック 510 及び / 又は制御ブロック 520 がいずれの範囲、内部、及び境界の定義的データを引き出すかはどうかは、特定のシステムの要望又は能力に依存する。一部の実施形態においては、マスクをカメラ上に用いて、カメラの視野を制限して、節約する及び / 又は処理する必要があるデータ量を低減し得る。

【 0 0 4 6 】

入力像 504 が選択ブロック 510 で受け取られるにつれ、選択ブロック 510 はまた、基準像メモリ 508 にアクセスする。次いで、これらの像のそれぞれの部分が、境界分析ブロック 512 に、制御ブロック 520 からの命令、又は選択ブロック 510 内に格納された命令に従って送られる。境界分析ブロック 512 は、像のデータを選択ブロック 510 から受け取り、そして対象物が境界として規定されている入力像 504 の範囲の中に侵入したか否かを決定する。境界分析ブロック 512 は、境界分析の結果を指示する出力を制御ブロック 520 に送る。

【 0 0 4 7 】

一部の実施形態においては、選択ブロック 510 は、境界分析ブロック 512 による対象物の検出のようなトリガリング事象が発生した後に、データを内部分析ブロック 514 に送り得る。制御ブロック 520 は、選択ブロック 510 にそのようなデータを送るよう指図し得て、又は制御ブロック 520 は、侵入が起こったことを指示する信号を選択ブロック 510 に通す。なお、その信号は、応答の仕方についての命令を含み得る。内部分析ブロック 514 は、関心の範囲の内部範囲に関連するデータを受け取り得て、そして選択ブロック 510 又は制御ブロック 520 から促すと直ぐに、関心の範囲の内部についての分析を実行し得る。関心の範囲の内部範囲は、一部の実施形態において、同様に境界領域を含み得る。そのような分析が完了すると直ぐに、内部分析ブロック 514 は、内部分析の結果を指示する信号を制御ブロック 520 に返送し得る。

【 0 0 4 8 】

また、制御ブロック 520 に接続された外部入力及び出力 530 があり得る。幾つかの入力は、例えば、手動アラーム、リセット・スイッチ、再始動スイッチ、関心の範囲、内部及び境界に関連する定義的データを更新するための通信リンク、装置状態モニタ、オン / オフ・スイッチ等を含み得る。幾つかの出力は、例えば、速度、動作、状態、又は他の特性（装置又は機械がオン又はオフか否かを含む）を制御する装置又は機械への接続、又は装置又は機械を停止するためのブレーキ、可聴又は可視アラーム・システム、緊急サービスへの通信リンク、監視設備、安全、維持管理、保護管理又は維持設備又は職員等への接続を含み得る。

【 0 0 4 9 】

好適な実施形態においては、制御ブロック 520 は、ある条件下で、例えば、境界の侵入が起きていないことが決定されたとき、内部分析 514 をターン・オフし得る。更に、一部の実施形態においては、境界分析及び内部分析は、例えば、図 19（プロセッサ 2、890）を参照して示され及び説明されるように、同じ処理ユニットにより異なる時間に実行され得る。

【 0 0 5 0 】

捕捉像及び / 又は基準像の一部又は全てが、希望される場合、後に、見るためセーブされ得ることが意図される。例えば、侵入が検出されたとき、捕捉像及び / 又は基準像は、ハード・ディスク、RAM、コンパクト・ディスク、磁気テープ、又は任意の他の記憶媒体のような記憶媒体にセーブされ得る。その後の時間に、それらの像を見て、起こった状況

10

20

30

40

50

を識別し得る。

【0051】

システムの全体の信頼性を増すのを助けるため、2つ又はそれより多い像分析ブロック500を設け得て、その各々が、信号502を、例えば、ディジタル又はアナログ・ビデオ・カメラ、CCD又は類似のものから受け取る。この実施形態においては、両方の像分析ブロック500は、捕捉像を分析し、そして信号を制御ブロック520に与え得る。次いで、制御ブロック520は、両方の像分析ブロック500が外部出力信号を正当であるとすることに同意したときのみその外部出力信号を与え得る。

【0052】

代替として、又はそれに加えて、ディジタル又はアナログ・ビデオ・カメラ、CCD又は類似のもののような2つ又はそれより多い撮像装置を設け得て、その各々が関心の範囲の像を対応する像分析ブロック500に与える。この実施形態においては、全ての像分析ブロック500は、対応する像を分析し、そして信号を制御ブロック520に与え得る。次いで、制御ブロック520は、全ての像分析ブロック500が外部出力信号を正当であるとすることに同意したときのみその外部出力信号を与え得る。

【0053】

図14は、本発明に従った例証的安全カメラ・システムを示す別のブロック図である。この例証的実施形態においては、制御ブロック550への入力560は、装置動作速度、流体レベル、内部温度、カバー又はシェル保全性信号、エラー信号、及び装置の状態、維持管理又は動作に関連する他の情報のような、装置で発生された情報562を含み得る。装置が例えば内燃機関である場合、装置で発生される情報は、油圧、燃料レベル、加熱レベル等を含むことができるであろう。他の入力560は、例えば、手動リセット564及び手動ターンオフ566を含み得る。

【0054】

また、例証的実施形態においては、制御ブロック550からの出力570は、装置572への出力、及び他の出力574を含み得る。装置572への出力は、オフ、アイドル、始動、停止のような信号を含み得て、又はブレーキに印加し、動作速度を調整し、緊急安全ガードを閉鎖する等を行うことができるであろう。他の出力574は、救急要員に警告するためのサイレン、ベル、ホイッスル、ライト及び緊急信号を含むことができるであろうし、又は安全監視システムにより発生された不安全条件メッセージのタイミング及び数の経過を追跡することができるであろう記憶装置を含み得る。

【0055】

図15は、本発明に従った境界分析機能と内部分析機能との間の例証的関係を示すフロー・チャートである。この例証的実施形態においては、安全出力646を用いて、装置を使用不能にする、アラームを開始する等を行う。安全出力646は、ブールAND関数644により発生され、そのブールAND関数644は、境界分析出力640を内部分析出力642とAND演算処理を行う。即ち、境界分析出力640は、対象物が境界に侵入していないことを指示するに違いなく、且つ内部分析出力642は、安全出力646がハイに設定される前に、対象物が現在関心の範囲の内部に無いことを指示するに違いない。一実施形態においては、安全ゾーン内の装置は、安全出力646がハイであるときのみ動作することができる。

【0056】

一部の実施形態においては、境界分析600は、アクセス侵入があったか否かを確定するため最小数のピクセルの迅速な検査を含み得る。多くのケースにおいて、境界領域は、内部領域より少ない数のピクセルを含むであろう。境界分析アルゴリズムは、最速の有り得る応答時間で制限された数のピクセルを分析するため最適化されるのが好ましい。

【0057】

境界領域に沿った速く、信頼性良く且つ強固な対象物検出を達成するための1つの方法は、テープ又はペンキを付されたような所望の境界に沿った床の上に基準マーキングを設ける方法である。そのようなアプローチの一例が、前記の図4Bに示されている。基準マ-

10

20

30

40

50

キングを用いて対象物検出を実行する好適な方法は、同時係属米国特許出願シリアル番号 H 1 6 - 2 6 4 8 3 に開示されており、それは本明細書に援用されている。しかしながら、そのような基準マーキングは、本発明にとって必要なわけではない。一例証的実施形態においては、境界分析 6 0 0 は、生の像の中の境界ピクセルを基準像の中のそれらのピクセルと比較する。計算された差が指定されたスレッショルドより大きい場合の領域が検出されたならば、より詳細な分析がその領域上で実行されて、上記差が侵入している対象物、影又はある他の原因に起因しているか否かを決定することができる。上記差が影であると決定された場合、境界分析が再開するのが好ましく、検出された差を他の領域について検査する。

【 0 0 5 8 】

一部の実施形態においては、境界分析は、以下の条件、即ち、対象物が境界上で検出されること、上記差の全てが影又は他の非対象物であると決定されたこと、及び境界分析を実行するため使用可能な時間が過ぎてしまったことのうちの 1 つに到達したとき終了し得る。対象物検出のため用いられた解像度は、手、足、又は境界を最初に貫通しそうである類似の（又はより小さい）サイズの他の対象物を検出するよう設定されるのが好ましい。一度対象物のサイズが設定されると、対象物検出は、指定されたサイズの対象物、又はより大きいサイズを持つ対象物のみを検出するよう制限され得る。一部の実施形態においては、検出されるべき対象物の最小サイズは、基準対象物、基準マーキング、又は基準像におけるある他の特徴から構成手順中に自動的に決定される。更に、検出されるべき対象物の最小サイズは、内部分析の場合とは境界分析の場合異なっていることができる。例えば、境界分析のため用いられる対象物（例えば、手）の最小サイズは、内部分析のため用いられる対象物（腕、胴体等）の最小サイズより小さくてよい。

【 0 0 5 9 】

境界分析 6 0 0 は、最小応答時間を達成するため捕捉された全ての像のため実行され得る。即ち、境界分析 6 0 0 は、カメラのような像入力装置からの新しい像フレームの到着によりトリガされ得る。他の実施形態は、受け取られたフレームの幾らかを用いて、受け取られた全ての像より少ない像について境界分析 6 0 0 を実行して、像検証プロセスを実行して、例えば、像捕捉装置（例えば、カメラ）が適正に機能していることを保証するのを支援し得る。例えば、そして図 2 2 を参照して示され且つ以下に説明されるように、フレームの 2 分の 1 を境界分析のため用い得る一方、その他方の半分をカメラ検証手順のため用い得る。

【 0 0 6 0 】

内部分析プロック 6 0 2 は、任意の新しい予期しない又は不所望の対象物が関心の範囲の内部に存在するか否かを決定し得る。内部分析 6 0 2 は、一部の実施形態においては、指定された最小サイズより大きい対象物を見つけることに限定され得る。床の上のより小さい対象物及び残骸を、一部の実施形態又は応用においては、無視することができる。内部分析 6 0 2 を、受け取られた全ての像フレームに対して実行する必要は無いかも知れないが、しかし代わりに、必要とされるとき、例えば、境界分析プロック 6 0 0 により検出された侵入のようなトリガリング事象の後に、要望に応じて内部分析 6 0 2 を行使し得る。

【 0 0 6 1 】

関心の範囲の内部の分析は、典型的には、より多くのピクセルを処理しなければならず、そして境界分析 6 0 0 より多くの計算時間を必要とする場合がある。内部分析 6 0 2 の速度及び強固さを増大するのを支援するため、基準マーキングを、関心の範囲の内部の床の上に設け得る。しかしながら、一部の応用においては、そうすることは望ましくない又は可能で無いかも知れない。より長い応答時間は、それが安全侵害の初期検出のため用いられないで、内部分析 6 0 2 にとって許容可能であるかも知れないが、しかしより長い応答時間は、代わりに、境界侵入が検出された後に、行われる内部分析のため用いられることができる。従って、より遅いアルゴリズム及び分析は、システムが既に安全侵害を「知っている」ので、許容可能であり、そして改良の活動、例えば、危険な機械を停止するこ

10

20

30

40

50

と、又はアラーム・システムを開始することが行われてしまい得る。

【0062】

境界分析600及び内部分析602の手順を一緒に用いて、システム全体の安全を維持することができる。これらの2つの分析の相互作用は、安全ゾーンを「閉鎖する」ゲートとみなすことができる。境界分析600が対象物が安全ゾーンに入る過程に無いことを決定するとき、安全ゾーンの境界が「閉鎖される」。次いで、内部分析602は、安全ゾーンの内部に存在する対象物があるか否かを決定するため動作することができる。一度内部が空であることが分かり、且つ更なる境界侵入が生じないと、システムは、安全又は元の定常状態モードになる。境界が「閉鎖された」ままである（アクセス侵害が無い）限り、システムは、安全又は元の定常状態モードのままであることが好ましい。

10

【0063】

時々、内部分析602が実行されつつある時間中に、境界侵入が生じる。この場合、内部分析602は、境界が再びきれいになった後に、得られた新しい像フレームを用いて反復され得る。それは、第1の内部分析中の境界侵入は、追加の対象物が第1の内部分析中に用いられたフレームに含まれていない安全ゾーンに入ったことを示唆し得る。

【0064】

図16は、本発明に従った内部分析及び境界分析を実行する一例証的方法を示すフロー・チャートである。図15の境界分析ブロック600及び内部分析ブロック602が、図16に輪郭が破線で描かれて示されている。例証的システムが電源オンされ、又はリセットされた後に、システムは、安全ゾーン（例えば、関心の範囲）が安全出力646を活性状態にする前に空であるか否かを決定するのが好ましい。そうするため、例証的制御システムは、ブロック622で示されるように、境界が侵入されていないことの指示を待つのが好ましい。境界分析ブロック600は、次の生の像を獲得し、604で示すように生の像の境界を分析し、且つ606で示されるように境界侵入があるか否かを決定することにより境界侵入が有るか否かを決定する。境界侵入が有る場合、610で示されるように、境界分析ブロック600の安全出力（safety output）がゼロに設定される。境界侵入が606で検出されない場合、次の生の像が受け取られ、そして上記プロセスが反復される。

20

【0065】

一度境界侵入が無いことが検出されると、内部分析ブロック602は、624で示されるように、関心の範囲の新しい生の像を受け取る。次いで、内部分析ブロック602は、626で示されるように、安全ゾーンの内部を分析する。内部分析626が完了された後に、システムは、628に示されるように、内部の侵入があったか否かを決定し得る。内部の侵入があった場合、システムは、ブロック622に戻り、そして境界がもはや侵入されていないことの指示を待ち得る。内部侵入が無い場合、システムは、630で示されるように、境界が内部分析中に侵入されたか否かを検査し得る。一部の実施形態においては、受け取られたフレームを、内部分析中にメモリの中にセーブし得る。内部分析が完了した後に、境界分析600は、比較的短い時間量で、セーブされたフレームについて実行され得て、そしてシステムは、境界侵入が内部分析中に起こらなかったと結論づけ得る。境界が侵入されてしまった場合、システムは、ブロック622に戻り、そして境界がもはや侵入されていないことの指示を待ち得る。

30

【0066】

境界侵入がブロック630で内部分析中に起こらず、且つ内部分析628が内部侵入が起こらなかったと決定した場合、システムは、632で示されるように、システムが安全であることを指示する出力を発生し得る。一度安全であると、システムは、634で示されるように実行（RUN）状態に入り得る。

40

【0067】

境界分析600及び内部分析602の両方が安全条件を指示するとき、安全出力信号646がハイに行き得て、安全動作条件を指示する。実行状態634は、境界侵入が検出されるまで、例証的システムが更なる内部分析を実行しない安全又は定常状態である。境界侵

50

入が検出されるとき、システムは、ブロック 622 に戻り、そして境界がもはや侵入されていないことの指示を待つ。

【0068】

図17は、本発明の例証的実施形態の状態機械図である。初期化状態750においては、システムは、現在の構成が有効であるか、又は新しい基準像及び安全ゾーンの構成が必要又は望ましいかを決定し得る。構成状態760においては、システムは、オペレータと通信して、新しい基準像を捕捉し、所望の安全ゾーンを規定し、及び／又は安全監視手順で使用のため必要な構成データを計算し得る。システムは、基準像の中の境界領域及び／又は内部領域を、関心の範囲の中に位置決めされた基準マーカーから自動的に識別し得る。基準マーカーは、例えば、床の上のパターン等であり得る。一度構成が完了する（及びオペレータにより受け入れられる）と、システムは、内部分析が実行されるクリアリング状態780へ切り換える。境界分析はまた、この時点に開始し、そして新しいフレームを受け取るとき常に、又は代替実施形態においては1つおきの新しいフレームを受け取るときに、継続的に実行される。安全ゾーン境界及び内部が安全侵害から自由であると決定されたとき、システムは、実行状態790へ切り換える。安全出力はまた、この時点で活性状態にされ得る一方、境界分析が継続する。境界アクセス侵害が検出されたとき、システムは、安全出力を不活性状態にし、そして停止状態799（手動リセットに対して）か又はクリア状態780（自動的再始動が希望される場合）かのいずれかへ切り換えることが好みしい。

【0069】

一部の応用においては、照明条件が、1日の全体を通して著しく変化し得る。これらの条件下では、変化する照明条件を説明するため基準像及び構成データを自動的に更新する手順を含むことが望ましい。安全侵害（実行状態790において）が無い間に、システムは、更新状態770へ周期的に切り換えて、新しい基準像を捕捉し、そしてその新しい基準像に対応する新しい構成データを計算し得る。有効な構成が達成され、そして新しい構成によって安全侵害が無い場合、システムは、実行状態790に戻り得る。一方、安全侵害が起きていて且つシステムが安全ゾーンの内部が（例えば、照明条件におけるある極端な変化に起因して）空であることを確認することができない場合、オペレータは、更新手順を手動で開始するよう選定し得る。システムは、関心の範囲内で一貫した照明を維持するため周囲の照明条件が変化するにつれて変わり得る光源へ指向された出力を含み得る。次いで、システムは、新しい基準像を現在の照明条件のため捕捉し、そして有効な構成が獲得され且つ安全ゾーンが空であると決定される場合実行状態790へ戻ることを試みる。

【0070】

図18は、本発明に従った例証的データ・フロー及び分析を示すブロック図である。例証的実施形態においては、像捕捉装置が、示され、そして30フレーム／秒で動作する標準白黒CCDビデオ・カメラ810であることが好みしい。カラー又はCMOSベースのカメラの使用も意図されている。他のフレーム速度もまた可能であり、そしてそれらは、システムの応答時間に影響を及ぼすであろう。例証的実施形態においては、カメラ810からのアナログ出力信号は、アナログ／デジタル変換器802により、輝度データ（ピクセル）の8ビット・デジタル・シークエンスへ変換される。ピクセル処理ブロック804は、カメラ810のデジタル化された出力についての初期分析を実行する。

【0071】

より早い応答時間に対して、ピクセル処理装置は、例えば、図24に示されるように、2つのパイプライン化された処理構成要素を用い得る。第1段プロセッサが選択されて、カメラ810から受け取られたピクセル・データの初期処理を実行するに十分な速度を保証し得る。ピクセル・データは、例えば、標準ビデオ入力信号に対して約12.5MHzの速度で受け取られ得る。第1段プロセッサは、例えば、カメラ810により生成される各像における安全ゾーンの境界上のピクセルに対して対象物検出アルゴリズムの初期ソート（分類）及び蓄積ステップを実行し得る。これらの一時的結果は、820で示されるように、メモリに格納されるのが好みしい。制御ブロック850により指令されたとき、第1

10

20

30

40

50

段プロセッサはまた、初期微分化及びスレッショルド化動作を内部分析手順の第1ステップとして実行し得る。

【0072】

第2段プロセッサは、例えば、840で示されるように、メモリ820に格納された初期分析結果を受け取り、そして残りの境界及び内部分析処理を実行して、安全出力の正しい状態を決定する標準マイクロコントローラであり得る。第2段プロセッサはまた、850で示されるように、制御機能を実行し得る。第2段プロセッサは、第1段プロセッサが分析のその一部を完了するとき割り込みを通して信号を送出され得る。次いで、第2段プロセッサは、対象物検出アルゴリズムの平均化及び比較動作を実行し、そして境界アクセス侵害が検出された場合安全出力を不活性状態にする。

10

【0073】

境界アクセス侵害が検出された場合、第2段プロセッサは、1つ又はそれより多い信号を第1段プロセッサに送って、生の像を捕捉し且つ初期内部分析動作を実行し得る。これが完了するとき、第2段プロセッサは、メモリ820に格納された結果を用いて、内部分析を完了し得る。制御器850は、ピクセル処理ブロック804に指図して、所望のように、新しい基準像を捕捉し得る。

【0074】

所望の安全ゾーンを規定するため、ソフトウェア・プログラム862又は類似のものは、PCのような別個のコンピュータ860上で実行され得る。そのソフトウェアは、オペレータが基準像を捕捉して見て、そして所望の安全ゾーンの境界が像の中に現れるときその所望の安全ゾーンの境界をグラフィック(図的)に識別するのを可能にする。境界及び内部分析手順により必要とされる構成データは、ピクセル処理ブロック804に返送され得る。構成手順のため用いられたコンピュータ860は、安全システムの正常動作中に必要とされない場合がある。

20

【0075】

図19は、図18の実施形態のための例証的タイミング関係を示すタイミング図である。最上部ライン870は、カメラ出力に対応し、個々のフレームにi、i+1、i+2等の番号付けをしてある。例証的事例において、個々のフレームは、カメラが1秒当たり30フレームを取り込むので、33ミリ秒毎に到着する。第2のライン880は第1のプロセッサに対応し、その第1のプロセッサは、受け取られた連続的フレームのそれぞれについてピクセル処理を実行する。ピクセルは、それらが受け入れられるにつれ処理され、それにより所与のフレームのデータが完了された直後の一時に、第1のプロセッサは、準備済みのフレームを第2のプロセッサに送ることができ、それは、ライン891に対応する。

30

【0076】

図19の例証的実施形態のための典型的なデータ・フローが、破線876により示されている。像が、捕捉され、そしてデータ・ストリームを通してピクセル処理に送られ、そのピクセル処理は、像全体を同時に処理しないで、むしろピクセル毎の処理を実行することが好ましい。ピクセル処理の出力は、メモリに格納されるのが好ましく、それが、次いで第2のプロセッサにより読み出される。第2のプロセッサは、一度像のピクセルの全てが第1のプロセッサにより処理されると、境界分析を実行するのが好ましい。

40

【0077】

他の実施形態においては、全体の処理が、例えば、受け取られた個々のピクセルのそれを対応する基準ピクセルと比較することにより、ピクセル毎に実行され得る。代替として、又はそれに加えて、ピクセル情報は、第1の状態でフィルタリングされ得て、それにより境界分析を実行する前にフレーム全体のピクセルを処理するよりむしろ、境界領域に対応するピクセルのみが処理される一方、他方のピクセルは、無視され、廃棄され、又は更にフィルタリングされて、関心の範囲の内部に対応するそれらのピクセルをセーブする。

【0078】

ライン891により示されるように、第2のプロセッサは、33ミリ秒を新しいフレーム

50

の到着同士間に用いて、2つの異なる機能を実行し得る。図示のように、境界分析は、第2のプロセッサのため比較的短い期間を取り得る。一度境界分析が完了すると、第2のプロセッサ890は、適切ならば、内部を処理し始め得る。892で示されるように、内部分析は、実行(RUN)状態893で始めるのが好ましいが、しかし安全出力が境界侵入の結果として開けられた(894)後のみに始めるのが好ましい。次いで、第2のプロセッサは、クリア状態895に入る。

【0079】

クリア状態895は、新しい生の像を第1のプロセッサから要求し、次いでその新しい生の像が準備済みになるまでクリア待ち(CLEAR WAITING)状態896に入る。次いで、第2のプロセッサは、クリア待ち状態896からクリア内部検査(CLEAR 10 CHECK INTERIOR)897に行き、そして内部分析を実行する。例証的実施形態においては、これは、安全ゾーンがクリアであることを示すフレーム897が第2のプロセッサにより処理されるまで、反復され、そこにおいて安全出力が898で示されるように閉じられる。

【0080】

図19の底部に示されるように、最大応答時間は、(新しいフレームがカメラにより捕捉されるに要する時間) + (新しいフレームのピクセル処理が完了されるに要する時間) + (境界分析が完了されるに要する時間)に等しい。例証的実施形態においては、最大応答時間が1秒の10分の1より少ない約76ミリ秒である。

【0081】

応答時間は多数の要因に依存して変わることができる。より高速のカメラは、1秒当たりより多くのフレームを取り込みことができ、最大遅延時間を著しく低減する。より高い解像度カメラは、より小さい対象物を検出するに有効であり得るが、しかし処理時間を増大させ得る。プロセッサ時間についてのより高速なカメラの効果を打ち消すための1つの方法は、より小さい範囲を含むよう境界を規定する方法があり得て、それは、次いで、小さい又は速く移動する対象物が検出されずに境界を完全に横切ることができる可能性を低減し得る。一方、より高速のプロセッサを利用し得るが、しかしこれは、システムのコストを増大させ得る。また、境界領域は、ピクセル処理の有効性を最大にし得る異なるパターンを用いて規定され得る。しかしながら、より鮮明に規定された境界は、次いで、システムの強度を低減し得る。そのような変数が、所与の応用及び/又は環境に対して最良のシステムを決定するに、考慮され、そして重み付けされるべきである。30

【0082】

図20は、本発明の例証的実施形態のための状態の推移を示す状態図である。INIT(初期化)ブロック900は、ハードウェアを初期化すること、及び自己検査又はカメラ検査を実行することのような機能を実行し、そして全ての内部プロセスを開始し得る。902で示されるように、悪い構成又は接続されたPCが存在する場合、例証的実施形態は、CONFIG(構成)ブロック910へ移動する。そうでなくて、904で示されるように、構成が良くて(OKで)、又はPCが接続されていない場合、例証的実施形態は、CLEAR(クリア)ブロック920に移動する。

【0083】

CONFIGブロック910において、例えば、新しい基準像を捕捉することを含む構成ルーチンが開始され得る。PCが接続されている場合、新しい基準像がそのPCにルート付けされ、そして安全ゾーンのための定義及び分析のための窓が、前述のように、PCにより戻され得る。PCが有る場合、そのPCのユーザは、ユーザ・インターフェースを介してCONFIGブロック910内のルーチンの一環として妥当性を確認し得る。規定された各分析窓に対して、CONFIGブロック910は、中間、明るい及び暗いピクセル・セットを決定し得る。また、基準コントラスト値が、計算されそしてその妥当性が検査され、そして接続されている場合PCに送られ得る。境界分析がまた、その間にCONFIGブロック910にある間に始まり得る。

【0084】

10

20

30

40

50

CONFIG ブロック 910 内で実行されるルーチンが首尾良く完了された場合、CONFIG ブロック 910 は、OK 912 を伴って戻り、そして CLEAR ブロック 920 に入る。そうでなくて、ルーチンの一部を完了することができなかった場合、CONFIG ブロック 910 は、代わりに失敗した構成 914 を伴って戻り、そして STOP (停止) ブロック 950 に入り得る。

【0085】

一度構成 OK 及び PC 無し 904 が INIT ブロック 900 により戻され、又は構成 OK 912 が CONFIG ブロック 910 により戻されると、例証的実施形態は CLEAR ブロック 920 に入る。CLEAR ブロック 920 の 1 つの目的は、関心の範囲の内部領域が境界領域がクリア (きれい) である十分な期間にわたりクリアであるか否かを決定することである。図 20 の例証的実施形態において、境界分析は、例えば、図 19 に示されるように、内部分析より一層迅速に実行され得る。従って、CLEAR ブロック 920 は、第 1 のサブブロック、即ち、「境界クリアを待つ (WAIT FOR BORDER CLEAR)」921 を含み得て、その「境界クリアを待つ」921 が、例証的実施形態において、最初に満足され得ることで、それが BDRCLEAR 922 信号を「内部を基準と比較 (COMPARE INTERIOR TO REFERENCE)」923 に送る。一度境界がクリアになると、「内部を基準と比較」923 が開始される。「境界クリアを待つ」921 により実行される分析は、生の像の範囲又は最も新しい像を基準像の範囲と比較することを含み得る。比較されている範囲は、発明の名称が「対象物の検出 (OBJECT DETECTION)」である同時係属米国特許出願シリアル No. H16-26473 に更に記載されているように、CONFIG ブロック 910 で定義された窓の一部に対応し得る。なお、その同時係属米国特許出願シリアル No. H16-26473 は、本明細書に援用されている。

10

20

30

40

【0086】

「内部を基準と比較」923 は、システムにとって動作又は実行状態 (RUN (実行) ブロック 930) を開始することが安全であり得るか否かを決定するのが好ましい。そのような分析は、関心の範囲の内部の生の像を基準像と比較することを含み得て、そしてこの分析は、CONFIG ブロック 910 で定義された窓の一部に対応する複数のサブブロックに分割され得る。内部がクリアでない、即ち「!INTCLEAR」924 により指示される場合、CLEAR ブロック 920 は、「境界クリアを待つ」921 に戻る。

【0087】

例証的事例においては、安全出力は、動作が関心の範囲において再開するのが安全であるとき閉じられるよう定義され、そして不安全な条件が存在するとき開けられるよう定義され得る。この特定の例証的実施形態にとって、安全出力は、INIT 900、CONFIG 910、CLEAR 920、UPDATE (更新) 940 及び STOP 950 の各ブロックにある間開いているとして定義される。CLEAR ブロック 920 は、境界がクリアで且つ内部がクリアであると決定した場合、CLEAR ブロック 920 は、BDRCLEAR & INTCLEAR 925 により示されるように、RUN ブロック 930 に行き得る。境界及び内部が両方クリアであると決定すると直ぐに、CLEAR ブロック 920 はまた、安全出力を閉じられた又は安全の状態へ移動させる。

【0088】

図 20 の例証的実施形態が RUN ブロック 930 に入るとき、境界走査することを継続することが好ましい。境界走査することは、生のフレームを基準フレームと比較することを含み得る。そのような比較は、CONFIG ブロック 910 で定義された窓に従って実行され得る。境界侵入が検出された場合、安全出力が開けられる。変数がまた、例証的実施形態において AUTORESTART (自動再始動) として定義され得る。AUTORESTART は、2 つの状態、即ち、1/0、ハイ/ロー、オン/オフ等を持ち得る。AUTORESTART が第 1 の状態にある場合、システムは、境界侵入に応答して、自動再始動し、RUN ブロック 930 での動作中に境界侵入が検出されたとき、CLEAR ブロック 920 に入り得る (!BORDERCLEAR & AUTORESTART 932 で示

50

される）。一方、AUTORESTARTが第2の状態にある場合、システムは、境界侵入を検出すると直ぐにSTOP状態950に入り得る（！BORDERCLEAR & !AUTORESTARTで示される）。

【0089】

また、例証的事例においては、UPDATEブロック940がある。UPDATEブロック940は、CLEARブロック920（基準更新（UPDATE REF）926）又はRUNブロック930（基準更新（UPDATE REF）936）からある事前定義された時間に入り得る。その事前定義された時間は、境界又は内部侵入に関連した時間、又は最後に更新された基準像からの事前設定された間隔、あるいは任意の他の時間であり得る。また、事前定義された時間は、手動入力又は他の時間の経過の結果として起き得る。以下の図23に示される例証的実施形態においては、安全出力は、UPDATEブロック940でのルーチンが実行される間開けられる。他の実施形態においては、安全出力は、UPDATEブロック940でのルーチンの実行中に、少なくともある環境において閉じられたままである。

10

【0090】

UPDATEブロック940での間に、カメラ検査が、実行され得て、そして新しい基準像が、システムのカメラにより捕捉され得る。複数のカメラが使用されている場合、UPDATEブロック940は、新しい基準像を各カメラから取り込み、又は新しい基準像を複数のカメラのうちの1つ又はそれより多いカメラからのみ捕捉し得る。UPDATEブロック940はまた、各窓に対して基準コントラスト値を計算するステップ、及びそのコントラストの十分性の妥当性を検査するステップを含み得る。UPDATEブロック940が有効な基準像を獲得するのに失敗した場合、UPDATEブロック940は、悪い構成（BAD CONFIG）944を戻し、そして停止ブロック950に入り得る。そうでなく、UPDATEブロック940が全てのルーチンを完了する場合、それは、OK942を戻し、そしてCLEARブロック920に行き得る。他の実施形態においては、UPDATEブロック940のルーチンの完了後にCLEARブロック920の代わりにRUNブロック930に戻ることが可能であり得る。また、UPDATEブロック940におけるOK942を戻すことの失敗は、システムをCONFIGブロック910又はINITブロック900に送り得る。

20

【0091】

STOP状態950にあるとき、例証的事例は、境界走査を停止し、そして、システムがリセットされる又はさもなければ検査ができるまで安全出力が開いている状態のままである。なお、当該検査ができる時点で、システムは、INITブロック900に再び入り得る。他の状態、及びそれらの状態間の関係がまた意図される。

30

【0092】

図21は、本発明に従った多重チャネルのデータ・フローを用いた例証的実施形態の概略図である。この例証的実施形態においては、安全カメラ1010は、像を1秒当たりある一定のフレーム速度で収集し、複合ビデオ・ストリーム1012を生成する。ビデオ・ストリームは、2つのチャネル、即ち、チャネルA 1020及びチャネルB 1030に分割される。チャネルA 1020は安全出力A 1022を生成し、チャネルB 1030は安全出力B 1032を生成する。第1のクロスチェック接続部1024が、安全出力B 1032をチャネルA 1020のための像分析ブロックに接続し、そして第2のクロスチェック接続部1034が、安全出力A 1022をチャネルB 1030のための像分析ブロックに接続する。

40

【0093】

例証的実施形態においては、像ストリームにおける交互のフレームが、カメラ・データの妥当性検査のため使用可能である。例えば、安全カメラ1010は、30フレーム/秒（fps）を与える場合、15fpsが、安全分析のためチャネルA 1020により用いられ得る。残りの又は介在する15fpsをチャネルB 1030において分析して、デッド・ピクセル、行障害、不十分な照明等を検出し得る。チャネルB 1030で実行さ

50

れる分析は、十分な又は信頼性良い基準信号を与える安全ゾーンのための境界マーキングをフレーム毎に検出することに依拠し得る。ピクセル障害、感度損失、バーン・アウト等のようなカメラ故障条件がまた、基準像と比較して不十分なコントラストをもたらし得るので、そのような分析は、追加の安全侵害を検出し得る。

【0094】

図22は、図21の実施形態の例証的タイミング関係を示すタイミング図である。例証的実施形態においては、カメラは、1秒当たり或る一定数のフレームを取り込む。そのフレームは、第1のライン1100で表され、フレームi、フレームi+1等と列挙されている。ハードウェア処理1110は、像分析1112の実行と信号妥当性検査1114との実行とを交互に行う。好適な実施形態においては、分析は、バッファされたグループ化を行うよりむしろピクセルを受け取るにつれ行われ、そのためハードウェア処理1110がデータを連続的に分析する。各フレームの完了に関連する間隔で、ソフトウェア処理1120は、データ・ストリームをハードウェア処理1110から受け取る。ハードウェア処理1110による像分析1112の終わりに、ソフトウェア処理1120は、評価を実行し、そして安全出力1122を発生する。一度評価及び安全出力1122が完了されると、ソフトウェア処理1120は、ピクセル・データが再びハードウェア処理1110により送られるため準備済みになるまで、自己検査及びバックグラウンド・タスク1122を実行する。

【0095】

信号妥当性検査1114の終わりに、ハードウェア処理1110はまた、信号をソフトウェア処理1120に送る。図示のように、信号は、それが適正に受け取られていること、又はOK1116であることを指示し得る。図22の下側の部分1130に図示されるように、この実施形態の最大応答時間は、それが前の例証的実施形態に関するものより遅い。しかしながら、追加された応答時間と引き換えに、システムは、入力信号が絶えず妥当性検査をされているのでより信頼性が良い。そのようなシステムは、厳しい環境、又は高い信頼性を必要とする場合特に適している。

【0096】

図23は、本発明の例証的実施形態の処理、メモリ及び制御ブロックを示すブロック図である。この例証的実施形態においては、CCDビデオ・カメラ1200は、複合ビデオ信号を発生する。その複合ビデオ信号は、ビデオ・デコーダ1210により受け取られる。ビデオ・デコーダ1210は、アナログ/デジタル変換器及び同期化機能を含み得る。ビデオ・デコーダ1210は、ルミネセンス(発光)、ピクセル・クロック及び同期化信号をピクセル処理ブロック1215に指示し得る信号を発生する。ピクセル処理ブロック1215は、ピクセルを取り込み、そしてコントラスト比較アルゴリズムを、又は一部の実施形態においては、フレーム・マッチング・アルゴリズムを実行して、対象物が関心の範囲の部分に入ったか否かを決定し得る。ピクセル処理ブロック1215はまた、メモリ1220へのアクセスを有し、そしてデータを、メモリ1220へセーブし、そしてそれから検索することができるが好ましい。メモリ1220は、生の像1222、基準像1224、窓の定義1226、及び分析結果1228を含み得る。

【0097】

制御、安全及び構成ソフトウェア・ブロック1230は、ピクセル処理ブロック1215によりアクセスされ得る。制御、安全及び構成ソフトウェア・ブロック1230はまた、図示されるように、メモリ・ブロック1220にアクセスしてデータをそれにセーブし、入力を受け取り、そして出力1240を発生し得る。制御、安全及び構成ソフトウェア・ブロック1230は、前述したように、安全システムを制御するのが好ましい。

【0098】

図24は、本発明の別の例証的実施形態の機能ブロック図である。この例証的実施形態においては、ハードウェア1303は、CCDビデオ・カメラ1300、ビデオ・デコーダ1310、ピクセル分析1320、分析窓メモリ・ブロック1330、分析窓定義メモリ・ブロック1340、基準像メモリ・ブロック1350、及び生の像メモリ・ブロック1

10

20

30

40

50

360を含む。図示のように、分析窓定義メモリ・ブロック1340及び基準像メモリ・ブロック1350は、フラッシュ・メモリ構成要素を含み得る。ソフトウェア1306は、システム監視1370、安全分析1375、構成1380及びユーザ・インターフェース・ソフトウェア1390を含み得る。

【0099】

CCDビデオ・カメラ1300は、ビデオ・デコーダ1310により受け取られる複合ビデオ・データ信号を発生する。ビデオ・デコーダ1310は、アナログ/ディジタル変換能力を含み得て、そして同期化データを発生し得る。ビデオ・デコーダ1310は、システム監視1370により構成ステップ中に制御される。ビデオ・デコーダ1310は、ルミネンス・データ、クロック・データ、水平同期化データ及び垂直同期化データをピクセル分析ブロック1320に送り得る。

10

【0100】

例証的実施形態においては、ピクセル分析ブロック1320は、コントラスト比較アルゴリズム及び像妥当性検査を実行する。ピクセル分析ブロック1320は、ピクセルについてのデータを分析窓1330に与え、その分析窓1330は、状態及び結果を発生し、その状態及び結果は、次いで、システム監視1370及び安全分析1375へ送られる。ピクセル分析ブロック1320は、システム監視1370により制御されて、ピクセル分析のモードを決定し得る。ピクセル分析は、例えば、コントラスト比較アルゴリズム・モード、フレーム・マッチング・アルゴリズム・モード、像妥当性検査モード等を含む任意の数のピクセル処理方法を含むことができる。

20

【0101】

ピクセル分析ブロック1320はまた、生の像に対応するデータを生の像メモリ・ブロック1360に送り、そこにその生の像が格納され得る。構成1380は、生の像メモリ・ブロック1360を制御し得て、そしてその生の像メモリ・ブロック1360に、データを基準像メモリ・ブロック1350に送り、多分その基準像メモリ・ブロック1350を更新するよう要求し得る。ピクセル分析ブロック1320は、基準像を基準像メモリ・ブロック1350から、並びに分析窓に関連するデータを分析窓定義メモリ・ブロック1340から受け取る。分析窓定義は、ピクセル分析ブロック1320がピクセルと一緒にグループ化してビンを生成して、生の像を基準像と比較するコントラスト比較アルゴリズムを実行するのを可能にする。分析窓定義メモリ・ブロック1340は、データを構成ブロック1380から受け取る。

30

【0102】

システム監視1370は、データを基準像メモリ・ブロック1350及び分析窓定義メモリ・ブロック1340並びに分析窓メモリ・ブロック1330から受け取る。システム監視1370は、ビデオ・デコーダ1310の構成、及びピクセル分析1320のモードを制御することを安全分析1375及び構成1380を制御することと一緒にを行うことにより、初期化及び自己検査タスクを含むタスクを実行する。安全分析1375は、分析窓1330の出力を評価し、そして安全出力を発生する。安全分析はまた、エラー出力の発生を受け取り、そのエラー出力は、実際には、システム監視1370、安全分析1375及び構成1380のうちのいずれかにより発生されることができる。安全分析1375は、制御信号をシステム監視1370から受け取る。

40

【0103】

構成1380は、データを分析窓定義1340に送り、そして生の像メモリ・ブロック1360の捕捉を制御し得る。RS232又は任意の他のデータ接続のような結合を介して、構成1380は、データをユーザ・インターフェース・ソフトウェア1390に送受信する。構成1380はまた、エラー信号を発生することができる。

【0104】

初期化モード中に、ハードウェア1303が初期化され、内部プロセスが開始され、そして自己検査が実行される。初期化の多くは、カメラ1300及びユーザ・インターフェース1390から受け取られた情報が同様に組み込まれることができるけれども、システム

50

監視 1370 から制御されることがある。エラー信号は、システムを正しく初期化することに失敗した場合、発生されるであろう。

【0105】

構成モードにおいて、新しい基準像が、カメラ 1300 を用いて捕捉され、そしてユーザ・インターフェース・ソフトウェア 1390 を動作させている PC に送られる。安全ゾーン・パラメータは、再びユーザ・インターフェース・ソフトウェア 1390 を用いて、その PC から受け取られる。分析窓定義 1340 は、安全ゾーン・パラメータを用いて発生される。各分析窓 1330 に対して、中央ピクセル・レベル（例えば、ルミネセンスについて）及び規定された明るい及び暗いピクセルの組（複数）が決定される。基準コントラスト値が、計算され、妥当性検査され、そして最終的に PC に送られて、基準コントラスト値が受け入れ可能であることを確認する。PC ユーザは、基準コントラスト値の妥当性を確認することができる。エラーは、有効な安全ゾーンを規定するのに失敗した場合、発生されるであろう。

10

【0106】

較正モードにおいて、各分析窓 1330 に対する基準コントラスト値が計算される。次いで、各窓において十分なコントラストがあるか否かの妥当性検査が行われる。窓がコントラスト比較アルゴリズムによる処理に対して十分なコントラストが欠けていることは、フレーム微分分析のためマークされる。

20

【0107】

クリアリング・モード中に、生の像を基準像（又は複数の基準像）と比較することが始まり得る。一度生の像と基準像との比較の間に一致があると、境界走査が始まり、そして安全出力が閉じられる（「安全」に設定される）。システムが実行している間に、境界走査は継続される。安全出力は、検出された侵入がある場合開けられる。

【0108】

以上のように本発明の好適な実施形態を説明したが、当業者は、本明細書で見つけられる教示を更に他の実施形態に、添付の特許請求の範囲内で適用し得ることを容易に認めるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0109】

【図 1】図 1 は、頭上の安全カメラを適所に備える作業場範囲の部分側面図である。

30

【図 2】図 2 は、関心の範囲が安全カメラの視野内にあり、その視野を持つ安全カメラの斜視図である。

【図 3】図 3 は、安全カメラを適所に備える作業場を示す概略図である。

【図 4】図 4 A は、規定された境界領域を持つ関心の範囲の像の図である。図 4 B は、関心の範囲の床があるパターンを境界領域に沿って持つ、当該関心の範囲の像の図である。

【図 5】図 5 は、不規則な形状の境界を持つ関心の範囲を監視する安全カメラ・システムの斜視図である。

【図 6】図 6 A は、境界に途切れがある関心の範囲の斜視図である。図 6 B は、図 6 A の関心の範囲の上面図である。

【図 7 A】図 7 A は、関心の範囲を監視するための頭上カメラ及び側面カメラを持つ安全カメラ・システムの斜視図である。

40

【図 7 B】図 7 B は、図 7 A の頭上カメラの視野を示す図である。

【図 7 C】図 7 C は、図 7 A の側面カメラの視野を示す図である。

【図 8 A】図 8 A は、関心の体積を監視するための 2 つの安全カメラを持つ別の安全カメラ・システムの斜視図である。

【図 8 B】図 8 B は、図 8 A の頭上カメラの視野を示す図である。

【図 8 C】図 8 C は、図 8 A の側面カメラの視野を示す図である。

【図 9】図 9 は、関心の範囲を監視するための 2 つの安全カメラを持つ更に別の安全カメラ・システムの斜視図である。

【図 10 A】図 10 A は、対象物が丁度関心の範囲の境界に入るところの当該関心の範囲

50

の斜視図である。

【図 10 B】図 10 B は、図 10 A の関心の範囲及び対象物を頭上から見た図である。

【図 11】図 11 A は、対象物が既に関心の範囲の境界に跨っている状態である当該関心の範囲の斜視図である。図 11 B は、図 11 A の関心の範囲及び対象物を頭上から見た図である。

【図 12】図 12 A は、対象物が全体に関心の範囲内にある状態にある当該関心の範囲の斜視図である。図 12 B は、図 12 A の関心の範囲及び対象物を頭上から見た図である。

【図 13】図 13 は、本発明に従った例証的安全カメラ・システムを示すブロック図である。

【図 14】図 14 は、本発明に従った例証的安全カメラ・システムを示す別のブロック図である。 10

【図 15】図 15 は、本発明に従った、境界分析機能と内部分析機能との間の例証的関係を示すフロー・チャートである。

【図 16】図 16 は、本発明に従って内部及び境界分析を実行する例証的方法を示すフロー・チャートである。

【図 17】図 17 は、本発明の例証的実施形態の状態機械図である。

【図 18】図 18 は、本発明に従った例証的データ・フロー及び分析を示すブロック図である。

【図 19】図 19 は、図 18 の実施形態のための例証的タイミング関係を示すタイミング図である。 20

【図 20】図 20 は、本発明の例証的実施形態のための状態の推移を示す状態図である。

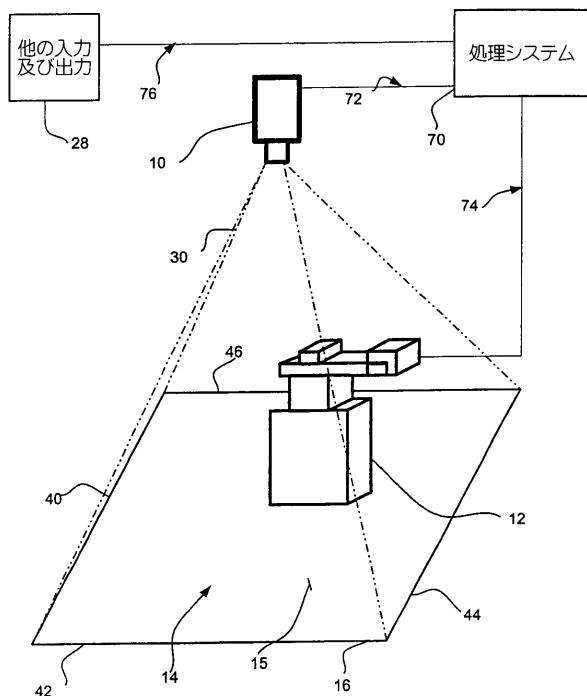
【図 21】図 21 は、本発明に従って複数のチャネルのデータ・フローを用いた例証的実施形態の概略図である。

【図 22】図 22 は、図 21 の実施形態の例証的タイミング関係を示すタイミング図である。

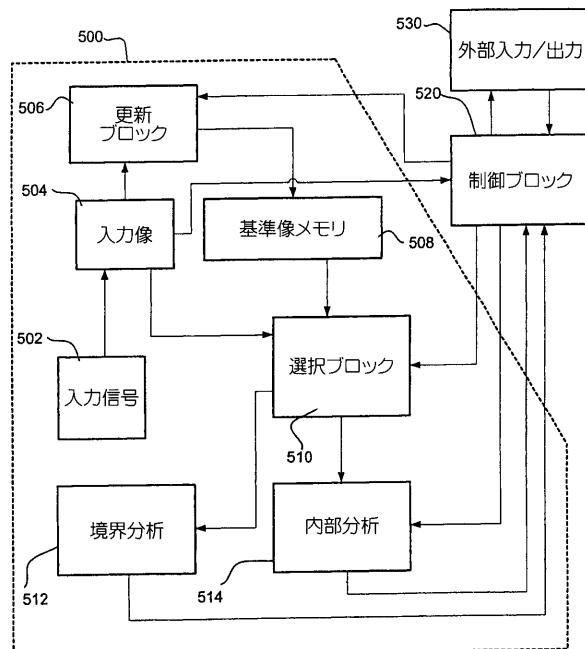
【図 23】図 23 は、本発明の例証的実施形態の処理、メモリ及び制御のブロックを示すブロック図である。

【図 24】図 24 は、本発明の別の例証的実施形態の機能ブロック図である。

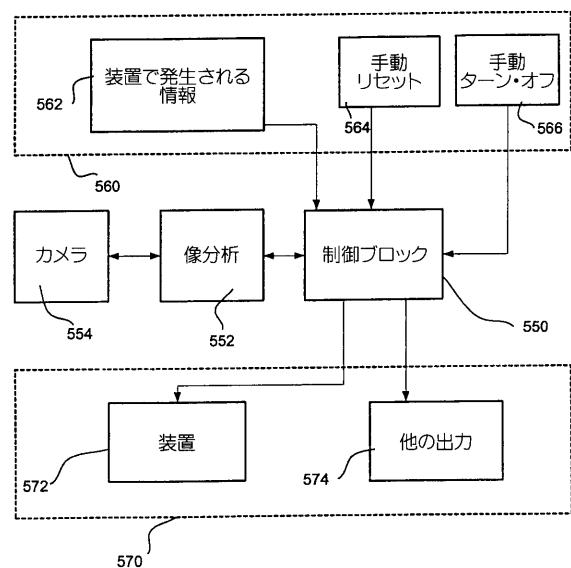
【図3】



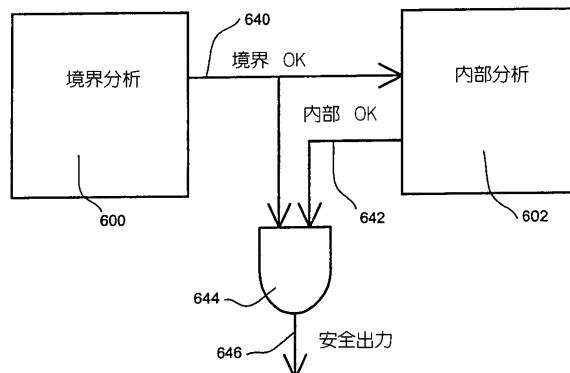
【図13】



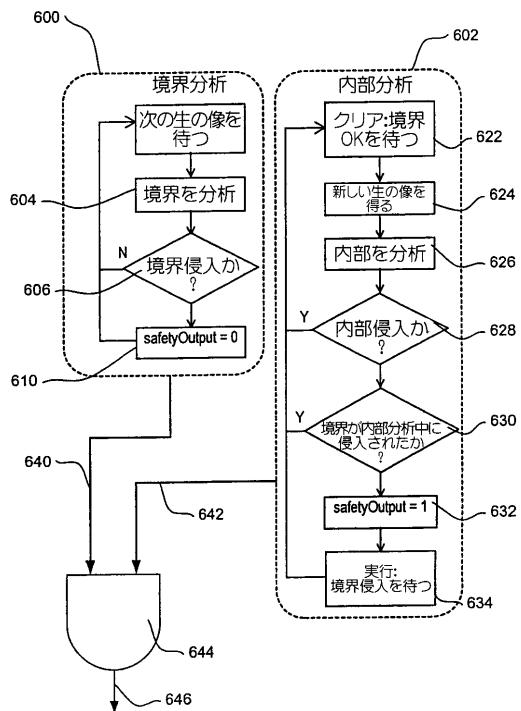
【図14】



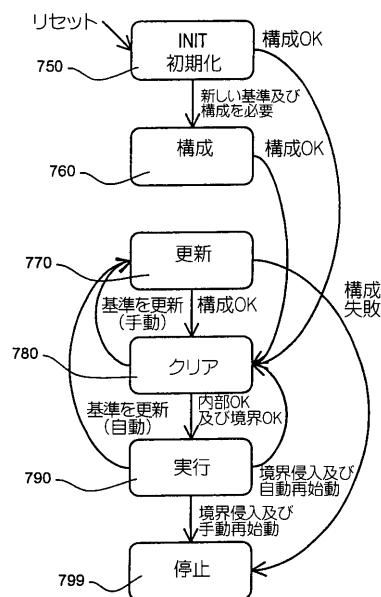
【図15】



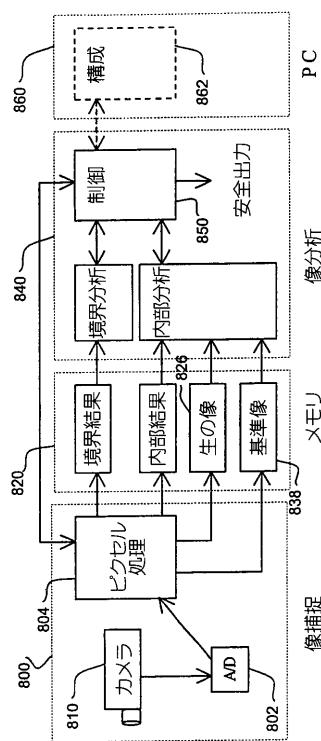
【図16】



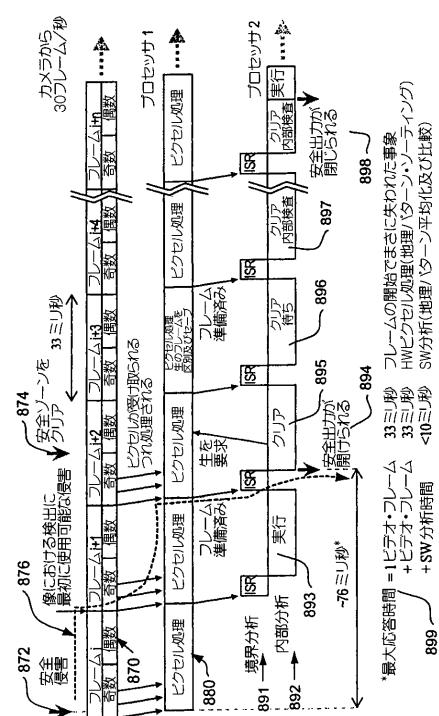
【図17】



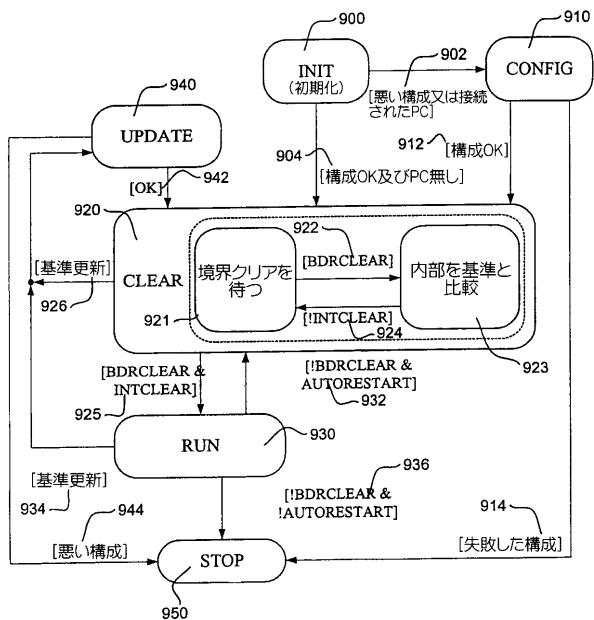
【図18】



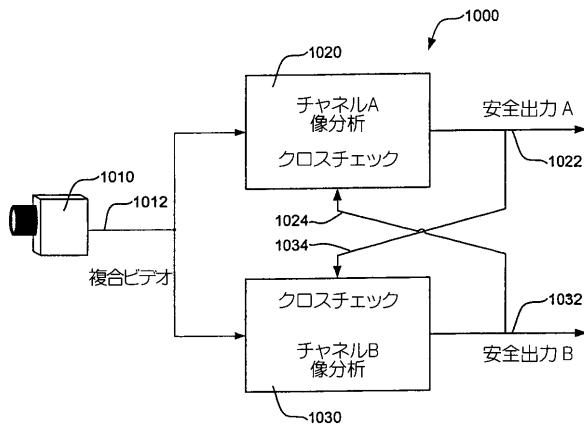
【図19】



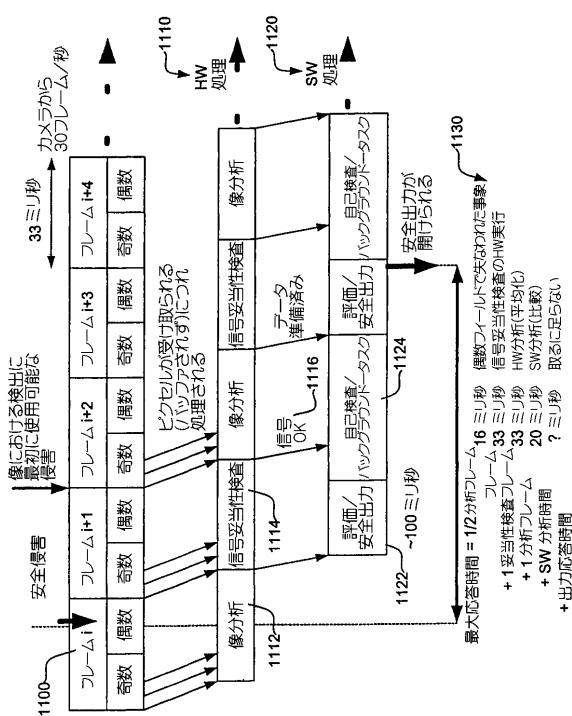
【図20】



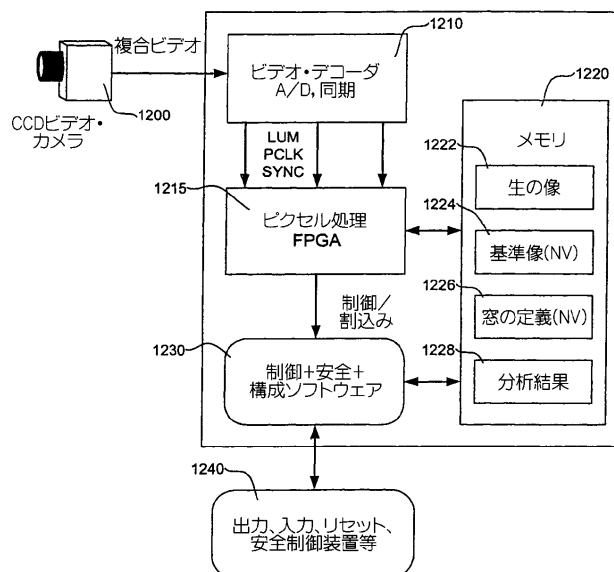
【図21】



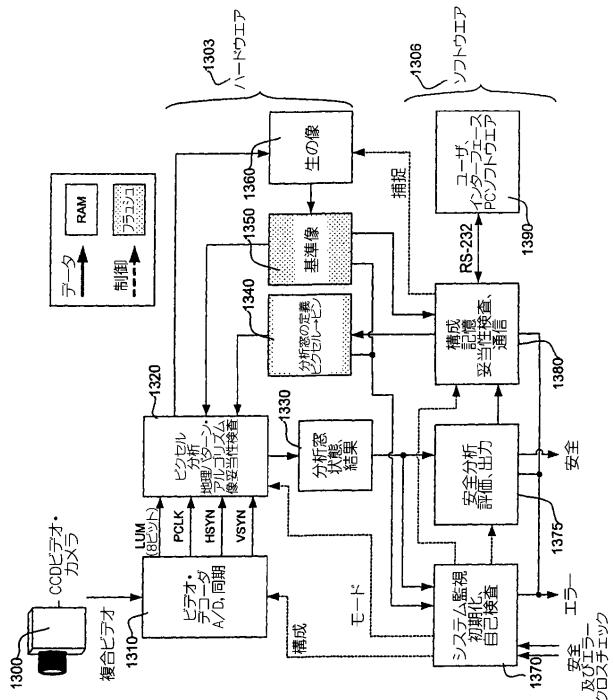
【図22】



【図23】



【 図 2 4 】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
19 September 2002 (19.09.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/073086 A1(51) International Patent Classification:
G08B 13/194

F16P 3/14.

(72) Inventors: COFER, Darren, Duane; 16017 Temple Lane, Minnetonka, MN 55345 (US); HAMZA, Rida, M.; 7432 Bardy Park, Inver Grove Heights, MN 55076 (US).

(21) International Application Number: PCT/US02/07493

(22) International Filing Date: 13 March 2002 (13.03.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
60/275,879 14 March 2001 (14.03.2001) US
09/981,928 16 October 2001 (16.10.2001) US(71) Applicant: HONEYWELL INTERNATIONAL INC.
[US/US]; 101 Columbia Road, P.O. Box 2245, Morristown, NJ 07960 (US).

(74) Agents: CRISS, Roger, H. et al.; Honeywell International Inc., 101 Columbia Road, P.O. Box 2245, Morristown, NJ 07960 (US).

(81) Designated States (national): AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CI, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EL, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, L, C, LK, I, R, LS, LT, LU, IV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

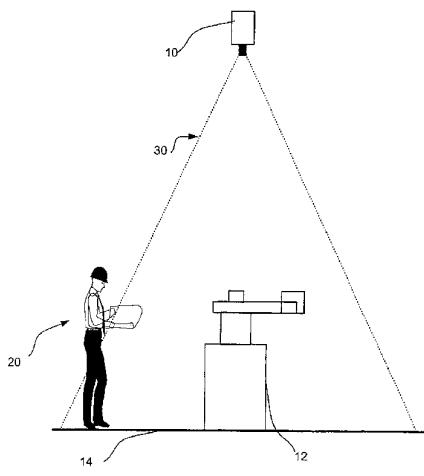
(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ, UG, ZM, ZW).

[Continued on next page]

(54) Title: OBJECT DETECTION



WO 02/073086 A1



(57) Abstract: A visual object detection system to provide access and/or presence monitoring of an area of interest. In steady operation, that is when no object is entering or within the area of interest, only those portions of the incoming images that correspond to the border of the area of interest are analyzed. Once the border is breached by an object, the present invention may begin analyzing the entire area or selected regions inside the border of the area of interest. This may provide some level of presence monitoring of the area of interest. It is contemplated that both modes of analysis can take place simultaneously or sequentially, depending on the application. Once the object leaves the area of interest, the present invention preferably returns to the original steady state, and monitors only the border regions of the incoming images.

WO 02/073086 A1

Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BL, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IT, LU, MC, NL, PT, SI, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
with international search report

WO 02/073086

PCT/US02/07493

OBJECT DETECTION

This application is a Continuation-in-Part of co-pending U.S. Patent Application Serial No. 09/716,002, filed November 17, 2000, entitled "OBJECT DETECTION", which is incorporated herein by reference. This application also 5 claims priority under 35 U.S.C. §119(e)(1) to co-pending U.S. Provisional Patent Application Serial No. 60/275,879, filed March 14, 2001, and entitled "SAFETY CAMERA".

Field of the Invention

The present invention relates to object detection, and more specifically, to 10 object intrusion and/or presence detection within a predefined area or region.

Background of the Invention

Electrosensitive Protective Equipment (ESPE) is well-known and widely used in industrial settings to protect operators of hazardous equipment from injury. ESPE devices typically have a sensing function, a control or monitoring function, and an 15 output signal switching function. The sensing function typically collects data from, for example, a defined safety zone surrounding dangerous equipment. The safety zone may be a line, an area, or a volume, depending on the sensing technology used. The control function monitors the sensing function. When the control function determines that the sensor data provided by the sensing function corresponds to an 20 intrusion into the safety zone, an output signal is produced to sound an alarm, deactivate the hazardous equipment, or perform some other precautionary measure.

A variety of ESPE devices are currently commercially available, including 25 single beam photodetectors, light curtains, laser scanners, safety mats and others. Single beam photodetectors typically use a single light source and light detector to provide some level of access monitoring. When an object moves between the light source and the light detector, the light beam extending therebetween is interrupted, which then triggers a safety violation. A limitation of single beam photodetector systems is that only limited access control and typically no presence sensing is provided. Another limitation is that to change the location, shape or size of the safety 30 zone, the light source and/or light detector must typically be physically moved.

Light curtain systems are similar to single beam photodetector systems, except a linear array of light emitter/light detector pairs are provided. The light emitter/light

WO 02/073086 PCT/US02/07493
detector pairs are mounted in a pair of spaced enclosures. The array of light emitters produce a "light curtain" that extends to the corresponding light detectors. When the light curtain is interrupted by an object, a safety violation is triggered. The resolution (size of object detected) typically depends on the spacing of the light beams. Light curtain systems can provide some level of access control when mounted vertically, and some level of presence monitoring when mounted horizontally. However, a limitation of some light curtain systems is that they are relatively expensive and complex. Another limitation is that variations in the size and shape of the safety area may be restricted, and the spaced enclosures must typically be physically moved to change the configuration of the safety zone to be monitored.

10 Laser scanner system typically include a rotating laser emitter/detector, which scans a plane and measures the distance to the nearest object in any direction by monitoring the reflection of the beam. This type of device can provide some level of presence monitoring along a horizontal plane. It may also be mounted vertically to provide some level of access monitoring, similar to the light curtain systems discussed above. A limitation of laser scanner systems is that they use complex mechanical components, such as rotating heads, which can require periodic and precise alignment. While the region to be monitored may be redefined using configuration software, its shape is often limited by the line-of-sight of the laser. Also, the response 15 time is limited by the need to rotate the laser beam, and the sensitivity may be limited by air pollution in an industrial environment.

Finally, safety mat systems have been used to provide presence monitoring by detecting physical contact with a floor mat/sensor. Its robustness is limited by the need for physical contact with the floor mat for detection, which can be problematic 20 in the often harsh environment of the factory floor. Safety mat systems typically cannot monitor large areas unless a number of mats are connected together. Finally, and like the single beam photodetector and light curtain systems described above, the safety mats must typically be physically moved to change the configuration of the safety zone to be monitored.

WO 02/073086

Summary of the Invention

PCT/US02/07493

The present invention provides a visual object detection system that uses one or more images from a video camera, digital camera, etc., to provide access and/or presence monitoring of an area of interest. In steady state operation, that is when no object is entering or within the area of interest, only those portions of the incoming images that correspond to the border of the area of interest are analyzed. By only monitoring the border area, the present invention may quickly detect when the border has been breached by an object. After the border is breached, the present invention preferably sounds an alarm, deactivates hazardous equipment in the area of interest, or 10 performs some other precautionary measure, but this is not required.

Once the border is breached by an object, the present invention may begin analyzing the entire area or selected regions inside the border of the area of interest. This may provide some level of presence monitoring of the area of interest. In some embodiments, the presence monitoring can be performed at a slower rate than the 15 border analysis, particularly when one or more precautionary measures have already been initiated by a border breach. It is contemplated that both modes of analysis can take place simultaneously or sequentially, depending on the application. Once the object leaves the area of interest, the present invention preferably returns to the original steady state, and monitors only the border regions of the incoming images.

20 Brief Description of the Drawings

Other objects of the present invention and many of the attendant advantages of the present invention will be readily appreciated as the same becomes better understood by reference to the following detailed description when considered in connection with the accompanying drawings, in which like reference numerals 25 designate like parts throughout the figures thereof and wherein:

Figure 1 is a partial side view of a workplace area with an overhead safety camera in place;

Figure 2 is a perspective view of a safety camera having a field of view, with an area of interest within the field of view of the safety camera;

30 Figure 3 is a schematic diagram showing a workplace with safety system in place;

WO 02/073086

PCT/US02/07493

Figures 4A is a diagram of an image of an area of interest with a border region defined;

Figure 4B is a diagram of an image of an area of interest, wherein the floor of the area of interest has a pattern along the border region;

5 Figure 5 is a perspective view of a safety camera system that monitors an area of interest having irregular shaped borders;

Figures 6A is a perspective view of an area of interest with breaks in the border;

Figures 6B is a top view of the area of interest of Figure 6A;

10 Figures 7A is perspective view of a safety camera system having an overhead camera and a side camera for monitoring the area of interest;

Figure 7B is a diagram showing the field of view of the overhead camera of Figure 7A;

15 Figure 7C is a diagram showing the field of view of the side camera of Figure 7A;

Figure 8A is a perspective view of another safety camera system having two safety cameras for monitoring a volume of interest;

Figure 8B is a diagram showing the field of view of the overhead camera of Figure 8A;

20 Figure 8C is a diagram showing the field of view of the side camera of Figure 8A;

Figure 9 is a perspective view of yet another safety camera system having two safety cameras for monitoring an area of interest;

25 Figure 10A is a perspective view of an area of interest with an object just entering the border of the area of interest;

Figure 10B is an overhead view of the area of interest and the object of Figure 10A;

Figure 11A is a perspective view of an area of interest with an object already across the border of the area of interest;

30 Figure 11B is an overhead view of the area of interest and the object of Figure 11A;

WO 02/073086

PCT/US02/07493

Figures 12A is a perspective view of an area of interest with an object entirely within the area of interest;

Figure 12B is an overhead view of the area of interest and the object of Figure 12A;

5 Figure 13 is a block diagram showing an illustrative safety camera system in accordance with the present invention;

Figure 14 is another block diagram showing an illustrative safety camera system in accordance with the present invention;

10 Figure 15 is a flow chart showing an illustrative relationship between border and interior analysis functions in accordance with the present invention;

Figure 16 is a flow chart showing an illustrative method for performing interior and border analysis in accordance with the present invention;

15 Figure 17 is a state machine diagram of an illustrative embodiment of the present invention;

Figure 18 is a block diagram showing an illustrative data flow and analysis in accordance of the present invention;

Figure 19 is a timing diagram showing illustrative timing relationships for the embodiment of Figure 18;

20 Figure 20 is a state diagram showing the progression of states for an illustrative embodiment of the present invention;

Figure 21 is a schematic diagram of an illustrative embodiment using multiple channels of data flow in accordance with the present invention;

Figure 22 is a timing diagram showing illustrative timing relationships of the embodiment of Figure 21;

25 Figure 23 is a block diagram showing processing, memory and control blocks of an illustrative embodiment of the present invention; and

Figure 24 is a functional block diagram of another illustrative embodiment of the present invention.

Detailed Description of the Drawings

30 Figure 1 is a side view of a workplace area 14 with a camera 10. In the illustrative embodiment, camera 10 is placed over equipment 12, which is surrounded by a safety area 14. The equipment 12 may be a piece of hazardous equipment, for

WO 02/073086 PCT/US02/07493
example a machine with moving parts, a chemical storage unit, a raw materials processor, an incinerator, or any other machine that could present a danger to a person. Likewise, the equipment 12 may be one or more pieces of equipment that are performing highly sensitive activities, where a safety system could be used to prevent an object or a person from interfering with the highly sensitive activity. Also, equipment 12 may be a valuable item, and a safety system could be implemented to prevent the item from being taken or damaged. A worker 20 is shown standing in the safety area 14. In the illustrative embodiment, the camera 10 gathers frames along a pyramid 30 shaped field of view, preferably as a two dimensional image.

10 Figure 2 is a schematic view of a camera 10 having a field of view 19. An area of interest 14 is shown in cross-hatch. It should be noted that the term "area" is not limited to a two-dimensional area, and may include three-dimensional volumes, as further described below. The present invention preferably uses a digital camera 10 or the like to gather images along the field of view 19 of the camera 10. After gathering 15 an image along of the field of view 19 of the camera 10, data processing techniques are preferably used to select those pixels that fall within the border 16. The present invention also preferably distinguishes between those pixels that fall along the border 16 and those pixels that fall within the border 16.

In one illustrative embodiment, when no object is entering or within the area 20 of interest 14, only those pixels of the incoming images that correspond to the border 16 of the area of interest are analyzed. By only monitoring those pixels along the border area 16, the present invention may quickly detect when the border 16 has been breached by an object. After the border is breached, a precautionary measure may be taken, such as sounding an alarm, deactivating hazardous equipment in the area of 25 interest 17, or performing some other precautionary measure, but this is not required.

Once the border is breached by an object, the illustrative embodiment may begin analyzing those pixels within the interior 15 of the area of interest 14. This may provide some level of presence monitoring of the interior 15 of the area of interest 14. In some embodiments, the presence monitoring can be performed at a slower rate than 30 the border analysis, particularly when one or more precautionary measures have already been initiated by a border breach. It is contemplated that both modes of analysis can take place simultaneously or sequentially, depending on the application.

WO 02/073086

PCT/US02/07493

Once the object leaves the area of interest 15, the present invention may return to the original steady state, and monitor only those pixels in the border region 16 of the incoming images.

Figure 3 is a schematic diagram showing a workplace with safety system in place. In the illustrative embodiment, a safety camera 10 is disposed above the workplace area. The workplace area preferably has a predefined region of interest 14, which may correspond to a safety zone around a piece of equipment 12. The interior area 15 of the area of interest 14 is defined by a border 16, which in the illustrative embodiment, has sides 40, 42, 44, 46.

10 A processing system 70 is shown connected to the safety camera 10 via interface 72. Processing system 70 preferably processes images received from safety camera 10 to determine if an object has breached a predefined border region 16 and/or if an object remains within the area of interest 15, as described above. The processing system 70 may also be connected to equipment 12, via interface 74. When the 15 processing system 70 determines that the border region 16 has been breached, the processing system may send an enable or turn-off signal to the equipment 12 via interface 74. This enable or turn-off signal preferably causes the equipment 12 to turn off, trigger a brake, or otherwise stop the operation of equipment 12. Alternatively, or in addition, processing system 70 may receive information from equipment 12, such 20 as a warning, an error or a malfunction signal, if desired.

In the illustrative embodiment, the processing system 70 is also connected to other input or output devices 28 via an interface 76. The input or output devices 28 may include, for example, an audible alarm, a visible alarm, a transmitter to send a warning signal to a remote location, a memory device to keep records of warning signals, etc.

Figures 4A is a diagram of an image of an area of interest 14 with a border region 16 defined. A piece of equipment 12 is shown within the interior area 15. In the illustrative embodiment, the image is divided into a border region 16 and an interior region 15. Border 16 may be more narrowly or more widely defined, 30 depending on the application. In a preferred embodiment, only the border 16 is analyzed during steady state operation, and analysis of the interior region 15 only takes place after a triggering event, such as the breach of the border region 16.

WO 02/073086 PCT/US02/07493
Alternatively, or in addition, analysis of the interior region 15 may be initiated by other mechanisms, such as at timed intervals, in response to an external stimulus, such as a manual request of interior region analysis, etc.

In some embodiments, a pattern may be provided on the floor, preferably 5 corresponding to the desired border region 16. In one example, a patterned tape or painted strip with contrasting dark and light areas may be placed along the desired border region 16. The area defined by each of the contrasting color regions may be chosen to correspond to the minimum size of the object to be detected. It is contemplated, however, that any number of patterns may be used including, for 10 example, a single color line, a checked pattern, crisscrossing stripes, etc. In addition, the pattern may cover a more general area, and need not be confined to the border 16.

Algorithms and designs for detecting objects using a patterned area can be found in co-pending U.S. Patent Application Serial No. H16-26483, entitled "OBJECT DETECTION", which is incorporated herein by reference. Preferably, 15 objects are detected in the border region 16 using the algorithms described in co-pending U.S. Patent Application Serial No. H16-26483, entitled "OBJECT DETECTION". Several embodiments use an analysis in which individual or groups of pixels are compared to one or more reference images. Comparison is preferably made on the basis of some identifiable or quantifiable property, such as luminance, 20 color, tint, hue, spectra, etc., of the pixel or group of pixels being analyzed.

Markers may also be included in the area of interest 14 to enable functioning of a system in which the relative position of the camera with respect to the area of interest cannot or will not be maintained during operation of the safety system. In environments where there are complicated operations, additional equipment or space 25 constraints, or any other need to move the camera in relation to the area of interest 14, a marker or the like may be used to provide a point or reference. In some industrial settings, vibrations may cause noticeable movement of the camera. A suitable marker may be any of several known in the art such as colored or painted dots, strips, sound or light signal generators, identifiable shapes or designs, etc.

30 Figure 4B is a diagram of an image of an area of interest, wherein the floor of the area of interest has a pattern along the border region. Area of interest 90 is defined by an outside border 92 and an interior region 94. As discussed above,

WO 02/073086 PCT/US02/07493
outside border 92 may include a pattern, such as a checker pattern. Such a pattern is not required in the present invention, but may be useful to improve the accuracy and/or speed of the border analysis. Such a pattern may be provided throughout the area of interest 90, if desired. In addition, and in some embodiments, a different 5 pattern may be used in the border region 92 than in the interior region 94.

Equipment 96 is shown within an excluded area 98, which is defined by internal border 99. In one illustrative embodiment, movement across outside border 92 and internal border 99 may be monitored during steady state operation. If an 10 object crosses into one of these areas, the interior region 94 (excluded area 98) may then be monitored. In one embodiment, the excluded area 98 may be used to detect objects that are thrown or otherwise are moving away from equipment 96 during steady state operation. Such objects may indicate failure or malfunction of the piece of equipment 96. It is contemplated that equipment 96 may not be within excluded area 98, or may be part in excluded area 98 and part in interior region 94, or may be 15 entirely inside excluded area 98. Selection of the border of excluded area 98 may include assessing whether the equipment 96 has moving parts that could disrupt the safety system if not ignored.

Figure 5 is a perspective view of a safety camera system that monitors an area of interest having irregular shaped borders. Camera 110 is disposed above an area of 20 interest 114 with an interior region 115 and a border region 116. Equipment 112 is located inside area of interest 114. Border 116 is irregular in shape, made up of segments 140, 142, 144, 146 and 148, with 142 being curved. Camera 110 gathers an image including a larger field of view 130 defined under cone 132. A processing unit 25 (not shown) may then exclude pixels that correspond to areas 134 and 136 from analysis. In a preferred embodiment, a user can select the dimensions and shape of the area interest 114, as desired.

Also shown in Figure 5 is that the camera 110 need not be centered over the desired area of interest 114. Offsetting the camera 110 may be desirable for a variety of reasons including space constraints, etc. In addition, and supposing equipment 112 30 includes a part 112A that is of particular interest, the camera 110 may be disposed in an off-center fashion relative to the area of interest 114 to provide a better view of the part 112A.

WO 02/073086

PCT/US02/07493

Figures 6A is a perspective view of an area of interest with breaks in the border. Camera 160 is disposed above the area of interest 164. The area of interest 164 is divided into two interior regions 165A and 165B. The interior regions 165A and 165B are separated by conveyer belt 180 and machine 162. The border region 166 is defined by lines 194, 196, 198, and lines 190, 192, 199. The conveyer belt 180 crosses the border 166 as shown. In a preferred embodiment, movement along the conveyer belt 180 does not trigger the safety system, while movement across border lines 190, 192, 194, 196, 198, 199 does.

Figures 6B is a top view of the area of interest of Figure 6A. Conveyer belt 180 crosses the area of interest 164, splitting the interior area into internal areas 165A and 165B, thereby making the border region 166 non-continuous. The border 166 is made up of several segments 190, 192, 194, 196, 198, 199, as described above. Equipment 162 connects to the conveyer belt 180. In one embodiment, movement in the area covered by the conveyer belt 180 is ignored, such that steady state analysis would monitor the border segments 190, 192, 194, 196, 198, 199 not covered by the conveyer belt 180. In another embodiment, interior analysis would ignore the area covered by the conveyer belt 180 and would only analyze areas 165A and 165B. The interior analysis may or may not analyze the area over the equipment 162.

As shown by Figures 6A and 6B, there are two interior zones 165A and 165B that are monitored by a single camera 160. It is contemplated that a similar approach may be used to monitor two or more separate and/or unrelated safety zones using a single camera. For example, each interior zone 165A and 165B could contain or surround separate and/or unrelated equipment, assuming each safety zone is in the field of view of the camera. This may reduce the cost of providing the safety camera system. In addition, and depending on the application, each zone may be monitored differently. For example, in a "LOAD MACHINE" mode, only interior region 165B may be monitored, while interior region 165A may not be monitored. In a "RUN" mode, both interior regions 165A and 165B may be monitored. This is just one illustration.

Figures 7A is perspective view of a safety camera system having an overhead camera 210 and a side camera 220 for monitoring an area of interest 202. The overhead camera may monitor, for example, horizontal movement in the area of

WO 02/073086 PCT/US02/07493
interest, as described above. In contrast, the side camera 220 may monitor, for example, vertical movement within the area of interest 202. It is contemplated that a pattern may be applied to a wall or the like in the field of view of the side camera to help detect movement of objects within the area of interest.

5 Further illustration of the camera operations for the illustrative embodiment of Figure 7A appears in Figures 7B and 7C. Figure 7B is a diagram showing a possible field of view for the overhead camera 210, and shows an area of interest 232. Figure 7C is a diagram of an illustrative field of view for the side camera 220. The side camera 220 may, for example, monitor vertical movement across a predefined plane.

10 In this illustrative embodiment, the field of view 235 of the side camera 220 has a thin selected area 237 that corresponds to the desired plane.

Figure 8A is a perspective view of another safety camera system having two safety cameras 250 and 260 for monitoring a volume of interest 270. In the illustrative embodiment, a first camera 250 is positioned to capture an image under a cone 252 defining a circle 254 along the horizontal plane, while a second camera 260 is disposed to capture an image under a cone 262 defining circle 264 in the vertical plane.

15 Figure 8B is a diagram showing the field of view 290 of the first camera 250 of Figure 8A, with a first selected area of interest 292. Figure 8C is a diagram showing the field of view 295 of the second camera of Figure 8A, with a second selected area of interest 297. In the illustrative example, volume 270 is a six-sided volume, whose shape is defined by the selected areas 292, 297, and the shape of cones 252, 262. The shape of the volume of interest 270 may be refined by using additional cameras, or by using improved cameras that may capture additional information 20 within the corresponding field of view. Additional optical devices may also be used for the shaping of the volume of interest 270.

20 In Figure 8A, an object 299 is shown within volume of interest 270. The object 299 lies along a first line 256 corresponding to camera 250, and a second line 266 corresponding to camera 260. Figure 8B shows that the object 299 can be found 25 in a selected area 292, and Figure 8C shows that the object can be found in selected area 297. Because the object 299 appears in both selected areas 292 and 297, the object lies within volume of interest 270. When the object is at a boundary of either

WO 02/073086 PCT/US02/07493
of the selected areas 292 or 297, the object is at the boundary of the volume of interest
270.

In one illustrative embodiment, when no object is entering or within the volume of interest 270, only those portions of the incoming images that correspond to 5 the border of the volume of interest 270 may be analyzed. By only monitoring the border area, the present invention may quickly detect when the border has been breached by an object. After the border is breached, the present invention may, for example, sound an alarm, deactivate hazardous equipment in the volume of interest, or perform some other precautionary measure, but this is not required.

10 Once the border is breached by an object, the present invention may begin analyzing the entire volume or selected regions inside the volume of the area of interest, as desired. This may provide some level of presence monitoring of the volume of interest. In some embodiments, the presence monitoring can be performed at a slower rate than the border analysis, particularly when one or more precautionary 15 measures have already been initiated by a border breach. It is contemplated that both modes of analysis can take place simultaneously or sequentially, depending on the application. Once the object leaves the volume of interest, the present invention preferably returns to the original steady state, and monitors only the border regions of the incoming images.

20 Figure 9 is a perspective view of yet another safety camera system having two safety cameras for monitoring an area of interest. In this illustrative embodiment, the area of interest is shown at 300, and is defined by border 302. Corners 306 and 308 are also shown, with cameras 310 and 320 disposed over the corners. A first camera 310 captures images under a cone 312, defined by field of view 314. A second camera 25 320 likewise captures images under a cone 322, defined by field of view 324. A planar border defined by a polygon 330 and two triangles 332 and 334 can then be defined. The shape and center height of the polygon 330 may be changed by adjusting the angles of cameras 310 and 320 with respect to the area of interest 300, by utilizing different cameras 310 and 320, by adding additional cameras, etc. If so 30 desired, the border may be defined as only including the area within the polygon 330, which would thus monitor an area captured only by both cameras 310 and 320. Once the border is defined, the present invention preferably monitors the border for breach

WO 02/073086 PCT/US02/07493
by an object. Once breached, the present invention preferably begins analyzing the entire area or selected regions of the area of interest 300, as described above.

As is shown in Figures 1-9, there are a variety of configurations that may be used to detect a border breach and/or monitor an area of interest. Many other configurations are also possible. Data selection and exclusion, along with placement of multiple cameras, manipulation of angles of a single or multiple cameras, and other embodiments may be used to monitor borders, areas, and volumes of many shapes, sizes, configurations, and numbers, as desired.

Figure 10A is a perspective view of an area of interest 350 with an object 370 just entering the border 352 of the area of interest 350. Equipment 356 is in the area of interest 350, and the object 370 is shown just at the border 352 of a pyramid 362 outlining a selected area within the field of view of a camera 360. No other object is observed in the interior 354 of the area of interest 350. Figure 10B is an overhead view of the area of interest 350 and the object 370 of Figure 10A.

In steady state operation, that is when no object is entering or within the area of interest, only those portions of the incoming images that correspond to the border 352 of the area of interest 350 are analyzed. When performing the border analysis, a most recent image of the border 352 may be compared to at least one reference image. The reference image may be a single image taken at one point in time, or the reference image may be updated periodically. In one illustrative embodiment, the reference image is updated after a set period of time. Alternatively, or in addition, the reference image may be updated upon the occurrence of an event, such as an external signal requesting that a new updated image be taken, or a response to a change in condition of the border 352 of the area of interest 350. In some embodiments, there may be more than one reference image, where a first reference image may be a set image or a recent image and a second reference image may be the second-to-last image taken, such that a first comparison with one image may note immediate changes in the border 352 of the area of interest 350, while a second comparison may note accumulated changes. In any case, by only monitoring the border area 352, the present invention may quickly detect when the border 352 has been breached by object 370. After the border 352 is breached, the present invention preferably sounds

WO 02/073086 PCT/US02/07493
an alarm, deactivates hazardous equipment 356 in the area of interest 350, and/or performs some other precautionary measure, but this is not required.

Figure 11A is a perspective view of an area of interest 400 with an object 420 already across the border 402 of the area of interest 400. Figure 11B is an overhead view of the area of interest 400 and the object 420 of Figure 11A. Once the border 352 is breached by object 420, the present invention preferably begins analyzing the entire area 404 or selected regions inside the border 402 of the area of interest 400. This may provide some level of presence monitoring of the area of interest 400. In some embodiments, the presence monitoring can be performed at a slower rate than the border analysis, particularly when one or more precautionary measures have already been initiated by a border breach. It is contemplated that both modes of analysis can take place simultaneously or sequentially, depending on the application. In some embodiments, the interior region is defined to include the border region as well.

In some embodiments, the safety monitoring system may return to the original steady state after a second triggering event, and monitors only the border region of the incoming images. The second triggering event may be, for example, a manual reset input signal, the passage of time after which the object 420 does not move with respect to the interior 404 or the border 402 of the area of interest 400, the exit of the object 420 from the area of interest 400, a determination that the object 420 is smaller than some pre-selected minimum size, etc.

Figure 12A is a perspective view of an area of interest 450 with an object 470 entirely within the area of interest 450. Figure 12B is an overhead view of the illustrative drawing of Figure 12A. In some embodiments of the present invention, the object 470 would not be noted within the analysis of the border 452 of the area of interest 450, but it would appear as a change in the interior 454 of the area of interest 450 during interior monitoring, which may start when the object 470 breaches the border 452. As indicated above, the safety monitoring system may return to the original steady state after a second triggering event. The second triggering event may be, for example, a manual reset input signal, the passage of time after which the object 420 does not move with respect to the interior 404 or the border 402 of the area of interest 400, the exit of the object 420 from the area of interest 400, a determination

WO 02/073086 PCT/US02/07493
that the object 420 is smaller than some pre-selected minimum size, etc. When returning to the original steady state with the object still within the area of interest, the safety system may update the reference image to reflect the change in the interior 454 and/or border 42 of the area of interest 450.

5 Figure 13 is a block diagram showing an illustrative safety camera system in accordance with the present invention. An image analysis block 500 receives an input signal 502 from, for example, a digital or analog video camera, CCD or the like. Input signal 502 may include a synchronization signal or other signal for indicating when, during the data stream, data relating to a new frame begins. The input signal
10 502 is used to provide an input image or frame 504, which may be stored in a memory or file.

Once an input new image is received by input image block 504, a signal may be sent to the control block 520. The control block may control the operation of the image analysis block 500. For example, when a new reference image is desired, the
15 520 control block 520 may notify the updating block 506, which transfers the current image to the reference image memory block 508.

The selection block 510 may allow a user to define, for example, an area of interest, borders, excluded areas, etc. Whether the selection block 510 and/or control block 520 elicit any area, interior, and border definitional data is dependent upon the
20 particular system needs and capacities. In some embodiments, a mask may be used on the camera(s) to limit the field of view of the cameras to reduce the amount of data that needs to be saved and/or processed.

As the input image 504 is received at the selection block 510, the selection block 510 also accesses the reference image memory 508. Portions of each of these
25 images are then sent to the border analysis block 512, as per instructions from either the control block 520 or stored within the selection block 510. Border analysis block 512 receives image data from the selection block 510 and determines whether an object has intruded into the area of the input image 504 that is defined as the border. The border analysis block 512 sends an output to the control block 520 indicating the
30 results of the border analysis.

In some embodiments, the selection block 510 may send data to the interior analysis block 514 after a triggering event has occurred, such as detection of an object

WO 02/073086 PCT/US02/07493
by the border analysis block 512. The control block 520 may direct the selection block 510 to send such data, or the control block 520 may pass on a signal indicating a violation has taken place to the selection block 510, which may contain instructions as to how to respond. The interior analysis block 514 may receive data relating to the interior area of the area of interest and, upon prompting from the selection block 510 or control block 520, may perform analysis on the interior of the area of interest. The interior area of the area of interest may, in some embodiments, include the border region as well. Upon completion of such analysis, the interior analysis 514 may send a signal back to the control block 520 indicating the results of the interior analysis.

10 There may also be external inputs and outputs 530 connected to the control block 520. Some inputs may include, for example, a manual alarm, a reset switch, a restart switch, communication links for updating definitional data relating to the area of interest, interior, and borders, equipment status monitors, on/off switch, etc. Some outputs may include, for example, a connection to equipment or machines controlling the speed, operation, state, or other characteristics, including whether such equipment or machine is on or off, connection to a brake for stopping equipment or machines, audible or visible alarm systems, communication links to emergency services, monitoring facilities, security, upkeep, custodial or other maintenance facilities or personnel, etc.

15 20 In a preferred embodiment, the control block 520 may turn off the interior analysis 514 under some conditions, for example, when it is determined that no border violation has occurred. Further, in some embodiments, the border analysis and interior analysis may be performed by the same processing unit at different times, as shown and described with reference to, for example, in Figure 19 (processor 2, 890).

25 30 It is contemplated that some or all of the capture images and/or reference images may be saved for later viewing, if desired. For example, when a breach is detected, the capture and/or the reference images may be saved to a storage medium such as a hard disk, RAM, Compact Disk, magnetic tape or any other storage medium. At a subsequent time, the images may be viewed to identify the situation that occurred.

To help increase the overall reliability of the system, it is contemplated that two or more image analysis blocks 500 may be provided, each receiving an input

WO 02/073086 ^{PCT/US02/07493}
signal 502 from, for example, a digital or analog video camera, CCD or the like. In this embodiment, both image analysis blocks 500 may analyze the capture image, and provide signals to control block 520. Control block 520 may then only provide external output signals when both image analysis blocks 500 agree that an external output signal is warranted.

Alternatively, or in addition, two or more imaging devices such as digital or analog video cameras, CCDs or the like may be provided, each providing an image of the area of interest to a corresponding control block 500. In this embodiment, all image analysis blocks 500 may analyze the corresponding images, and provide signals to control block 520. Control block 520 may then only provide external output signals when all image analysis blocks 500 agree that an external output signal is warranted.

Figure 14 is another block diagram showing an illustrative safety camera system in accordance with the present invention. In this illustrative embodiment, inputs 560 to a control block 550 may include equipment-generated information 562, such as equipment operation speed, fluid levels, internal temperature, cover or shell integrity signals, error signals, and other information relating to the status, upkeep, or operation of equipment. If the equipment were, for example, an internal combustion engine, equipment generated information could include indications of oil pressure, fuel level, heat level, etc. Other inputs 560 may include manual reset 564 and manual turn-off 566, for example.

Also in the illustrative embodiment shown, outputs 570 from the control block 550 may include an output to the equipment 572, and other outputs 574. The output to the equipment 572 may include signals such as off, idle, startup, stop, or could apply a brake, regulate speed of operation, close emergency safety guards, etc. Other outputs 574 could include sirens, bells, whistles, lights and emergency signals to warn emergency crews, or may be include a memory device that could keep track of the timing and number of unsafe condition messages generated by the safety monitoring system.

Figure 15 is a flow chart showing an illustrative relationship between border and interior analysis functions in accordance with the present invention. In the illustrative embodiment, the safety output 646 is used to disable the equipment, set off

WO 02/073086 ^{PCT/US02/07493}
an alarm, etc. The safety output is generated by a Boolean AND function 644, which
ANDs the border analysis output 640 with the interior analysis output 642. That is,
the border analysis output 640 must indicate that no object has breached the border,
AND the interior analysis output 642 must indicate that no object is currently in the
5 interior of the area of interest before the safety output 646 is set high. In one
embodiment, the equipment in the safety zone can only be operated when the safety
output 646 is high.

In some embodiments, the border analysis 600 may include a quick
examination of a minimum number of pixels to establish whether there has been an
10 access violation. In many cases, the border region will include a fewer number of
pixels than the interior region. The border analysis algorithms are preferably
optimized to analyze the limited number of pixels with the fastest possible response
time.

One way to achieve fast, reliable, and robust object detection along a border
15 region is to provide a reference marking on the floor along the desired border, such as
with tape or paint. An example of such an approach is shown in Figure 4B above. A
preferred method for performing object detection using a reference marking is
disclosed in co-pending U.S. Patent Application Serial Number H16-26483, which
has been incorporated herein by reference. However, such a reference marking is not
20 required for the present invention. In one illustrative embodiment, border analysis
600 compares the border pixels in the live image with those in the reference image. If
a region is detected where the computed difference is greater than a specified
threshold, a more detailed analysis can be performed on the region to determine
whether the difference is due to an intruding object, a shadow or some other cause. If
25 the difference is determined to be a shadow, the border analysis preferably resumes,
examining other regions for detected differences.

In some embodiments, the border analysis may terminate when one of the
following conditions is reached: an object is detected on the border; all of the
30 differences have been determined to be shadows or other non-objects; or the time
available to perform the border analyze has expired. The resolution used for object
detection preferably is set to detect hands, feet, or other objects of similar (or smaller)
size that are likely to first penetrate the border. Once the object size is set, the object

WO 02/073086 PCT/US02/07493
detection may be limited to detect only objects of the specified size or objects with bigger size. In some embodiments, the minimum size of objects to be detected is automatically determined from a reference object, reference markings or some other feature in the reference image during a configuration procedure. Additionally, the 5 minimum size of the objects to be detected can be different for the border analysis than for the interior analysis. For example, the minimum size of objects used for the border analysis (e.g. hand) may be smaller than the minimum size used for the interior analysis (arm, body, etc.).

Border analysis 600 may be performed for every image captured to achieve 10 the minimum response time. That is, the border analysis 600 may be triggered by arrival of a new image frame from an image input device such as a camera. Other embodiments may perform border analysis 600 on less than all received images, using some of the received frames to perform image verification processes to, for example, help assure that the image capture devices (e.g. cameras) are functioning properly. 15 For example, and as shown and described below with reference to Figure 22, one half of the frames may be used for border analysis, while the other half may be used for camera verification procedures.

The interior analysis block 620 may determine whether there is any new, unexpected, or undesired object present inside the area of interest. The interior 20 analysis 602 may, in some embodiments, be limited to finding objects greater than a specified minimum size. Smaller objects and debris on the floor can, in some embodiments or applications, be ignored. The interior analysis 620 may not need to be performed for every image frame received, but instead may be invoked on demand when needed, for example, after a triggering event such as the breach detected by the 25 border analysis block 600.

Analysis of the interior of an area of interest typically must process more pixels and may require more computation time than the border analysis 600. To help increase the speed and robustness of the interior analysis 602, a reference marking may be provided on the floor of the interior of the area of interest. However, in some 30 applications it may not be desirable or possible to do so. A longer response time may be acceptable for interior analysis 602 since it is not used for the initial detection of a safety violation, but instead can be used for interior analysis that takes place after a

WO 02/073086 PCT/US02/07493
border violation is detected. The slower algorithms and analysis may thus be acceptable because the system is already "aware" of the safety violation, and ameliorative actions may have taken place, for example, shutting down a hazardous machine or setting off alarm systems.

5 The border analysis 600 and interior analysis 620 procedures can be used together to maintain safety for the overall system. The interaction of these two analyses can be thought of as a gate that "closes" the safety zone. When the border analysis 600 determines that no object is in the process of entering the safety zone, the border of the safety zone is "closed". The interior analysis can then work to
10 determine whether there is an object present in the interior of the safety zone. Once the interior is found to be empty and no further border violation occurs, the system is in the safe or original steady state mode. As long as the border remains "closed" (no access violation), the system preferably remains in the safe or original steady state mode.

15 Sometimes, during the time that the interior analysis 620 is being performed, a border violation occurs. In this case, the interior analysis 620 may be repeated with a new image frame obtained after the border is clear again, since a border violation during a first interior analysis may suggest an additional object has entered the safety zone which is not included in the frame used during the first interior analysis.

20 Figure 16 is a flow chart showing an illustrative method for performing interior and border analysis in accordance with the present invention. The border analysis block 600 and interior analysis block 602 of Figure 15 are shown in Figure 16, outlined in dashed lines. After the illustrative system is powered up or reset, the system preferably determines whether the safety zone (e.g. area of interest) is empty
25 before activating the safety output 646. To do so, the illustrative control system preferably waits for an indication that the border is not being violated, as shown at block 622. Border analysis block 600 determines if there is a border violation by obtaining a next live image, analyzing the border of the live image as shown at 604, and determining if there is a border violation as shown at 606. If there is a border
30 violation, the safety output of the border analysis block 600 is set to zero, as shown at 610. If no border violation is detected at 606, a next live image is received and the process is repeated.

WO 02/073086

PCT/US02/07493

Once no border violation is detected, the interior analysis block 602 receives a new live image, as shown at 624 of the area of interest. The interior analysis block 602 then analyzes the interior of the safety zone, as shown at 626. After completing the interior analysis 626, the system may determine whether there has been a violation 5 of the interior, as shown at 628. If there has been a violation of the interior, the system may return to block 622 and wait for an indication that the border is no longer being violated. If there is no interior violation, the system may check whether the border has been violated during the interior analysis, as shown at 630. In some embodiments, the received frames may be saved into memory during the interior 10 analysis. After the interior analysis is complete, border analysis 600 may be performed on the saved frames in a relatively short amount of time, and the system may conclude that no border violations have occurred during the interior analysis. If the border has been violated, the system may return to block 622 and wait for an indication that the border is no longer being violated.

15 If no border violation occurred during the interior analysis at block 630, and the interior analysis 628 determines no interior violation has occurred, the system may generate an output indicating the system is safe, as shown at 632. Once safe, the system may enter the RUN state as shown at 634.

20 When both border analysis 600 and interior analysis 602 indicate safe conditions, the safety output signal 646 may go high, indicating safe operating conditions. The RUN state 634 is a safe or steady state in which the illustrative system performs no further interior analysis until a border violation is detected. When a border violation is detected, the system returns to block 622 and waits for an indication that the border is no longer being violated.

25 Figure 17 is a state machine diagram of an illustrative embodiment of the present invention. In the initialization state 750, the system may determine whether a current configuration is valid or a new reference image and safety zone configuration is necessary or desirable. In the configuration state 760, the system may communicate with an operator to capture a new reference image, define a desired 30 safety zone, and/or compute the needed configuration data for use in the safety monitoring procedures. It is contemplated that the system may automatically identify the border region and/or interior region in the reference image from a reference

WO 02/073086 PCT/US02/07493
marker positioned in the area of interest. The reference marker may be, for example, a pattern on the floor, etc. Once the configuration is complete (and accepted by the operator) the system may switch to the clearing state 780 in which the interior analysis is performed. The border analysis may also start at this time and run 5 continually whenever a new frame is received, or, in an alternative illustrative embodiment, when every other new frame is received. When the safety zone border and interior are determined to be free of safety violations, the system switches to the running state 790. The safety output may also be activated at this time, while the border analysis continues. When a border access violation is detected, the system 10 preferably deactivates the safety output and switches to either the stop state 799 (for a manual restart) or the clear state 780 (if an automatic restart is desired).

In some applications, the lighting conditions may vary significantly throughout the day. Under these conditions, it may be desirable to include a procedure for automatically updating the reference image and the configuration data 15 to account for changing lighting conditions. While there is no safety violation (in the run state 790), the system may periodically switch to the update state 770 to capture a new reference image and compute new configuration data corresponding to the new reference image. If a valid configuration is achieved and there is no safety violation with the new configuration the system may return to the run state 790. Alternatively, 20 if there has been a safety violation and the system is unable to confirm that the interior of the safety zone is empty (due to, for example, some extreme change in lighting conditions) an operator may choose to manually initiate the update procedure. The system may include an output directed to a light source that may be varied as ambient light conditions change in order to maintain consistent lighting in the area of interest. 25 The system may then capture a new reference image for the current lighting conditions and attempt to return to the run state 790 if a valid configuration is obtained and the safety zone is determined to be empty.

Figure 18 is a block diagram showing an illustrative data flow and analysis in accordance of the present invention. In the illustrative embodiment, an image 30 capturing device is shown, and is preferably a standard black and white CCD video camera 810 operating at thirty frames per second. Use of a color or CMOS-based camera is also contemplated. Other frame rates are also possible, and they will impact

WO 02/073086 PCT/US02/07493
the response time of the system. In the illustrative embodiment, an analog output signal from the camera 810 is converted to an eight-bit digital sequence of luminance data (pixels) by an analog/digital converter 802. A pixel processing block 804 performs initial analysis on the digitized output of the camera 810.

5 For faster response times, the pixel processing device may use, for example, two pipelined processing elements, as shown in Figure 24. A first stage processor may be selected to assure sufficient speed to perform initial processing of the pixel data received from the camera 810. Pixel data may be received at, for example, a rate of about 12.5MHz for a standard video input signal. The first stage processor may, 10 for example, perform initial sorting and accumulation steps of the object detection algorithm for the pixels on the border of the safety zone in each image produced by the camera 810. These interim results are preferably stored in a memory, as shown at 820. When commanded by the control block 850, the first stage processor may also perform an initial differencing and thresholding operation as the first step of the 15 interior analysis procedure.

A second stage processor may be, for example, a standard microcontroller that receives the initial analysis results stored in memory 820 and performs the remaining border and interior analysis processing to determine the correct state of the safety output, as shown at 840. The second stage processor may also implement the control 20 function, as shown at 850. The second stage processor may be signaled via an interrupt when the first stage processor completes its portion of the analysis. The second stage processor may then perform averaging and comparison operations of the object detection algorithm, and deactivate the safety output if a border access violation has been detected.

25 If a border access violation has been detected, the second stage processor may send one or more signals to the first stage processor to capture a live image and perform the initial interior analysis operations. When this is complete, the second stage processor may use the results stored in memory 820 to complete the interior analysis. The controller 850 may direct the pixel processing block 804 to capture a 30 new reference image, as desired.

To define a desired safety zone, a software program 862 or the like may be executed on a separate computer 860, such as a PC. The software preferably enables

WO 02/073086 PCT/US02/07493
an operator to capture and view a reference image and graphically identify the border of the desired safety zone as it appears in the image. The configuration data needed by the border and interior analysis procedures may be sent back to the pixel processing block 804. The computer 860 used for the configuration procedure may 5 not be needed during normal operation of the safety system.

Figure 19 is a timing diagram showing illustrative timing relationships for the embodiment of Figure 18. A top line 870 corresponds to a camera output, numbering individual frames $i, i+1, i+2, \dots$. In the illustrative example, individual frames arrive every thirty-three milliseconds, as the camera takes thirty frames per second. A 10 second line 880 may correspond to a first processor, which performs pixel processing on each successive frame received. Preferably, the pixels are processed as they are received, so that at a time just after data for a given frame is completed, the first processor can send the ready frame to the second processor, which corresponds to line 891.

15 Typical data flow for the illustrative embodiment of Figure 19 is shown by dashed line 876. An image is captured and sent via a data stream to pixel processing, which preferably does not process the entire image simultaneously, but rather performs pixel-by-pixel processing. The output of pixel processing is preferably stored in a memory, which is then read by the second processor. The second 20 processor preferably performs a border analysis once all of the pixels of an image are processed by the first processor.

In other embodiments, the entire processing may be performed pixel by pixel, for example, by comparing each individual pixel received to a corresponding reference pixel. Alternatively, or in addition, the pixel information may be filtered in 25 a first state so that, rather than processing the pixels for an entire frame before performing border analysis, only pixels corresponding to the border region are processed, while the other pixels are ignored, discarded, or further filtered to save those pixels that correspond to the interior of an area of interest.

The second processor, as shown by line 891, may use the thirty-three 30 milliseconds between arrivals of new frames to perform two different functions. As shown, border analysis may take up a relatively short period of time for the second processor. Once the border analysis is complete, the second processor 890 may begin

WO 02/073086 PCT/US02/07493
processing the interior, if appropriate. The interior analysis, as shown at 892, preferably begins in the RUN state 893, but preferably only after the safety output is opened 894 as a result of a border violation. The second processor then enters the CLEAR state 895.

5 The CLEAR state 895 requests a new live image from the first processor, and then enters CLEAR WAITING state 896 until the new live frame is ready. Then, the second processor goes from CLEAR WAITING 896 into CLEAR CHECK INTERIOR 897, and performs an interior analysis. In the illustrative embodiment, this is repeated until the frame 874 that shows that the safety zone is clear is processed
10 by the second processor, wherein the safety output is closed as shown at 898.

As shown at the bottom 899 of Figure 19, the maximum response time is equal to the time it takes for a new frame to be captured by the camera, plus the time it takes for pixel processing of the new frame to be completed, plus the time it takes for the border analysis to be completed. In the illustrative embodiment, the maximum
15 response time is about seventy-six milliseconds, less than one-tenth of a second.

Response times can vary depending on a wide number of factors. A faster camera can take more frames per second, reducing the maximum delay times significantly. A higher resolution camera may be useful to detect smaller objects, but may increase the processing times. One way to counteract the effect of a faster
20 camera on processor time may be to define the border to include a smaller area, which in turn may decrease the likelihood that a small or fast moving object can completely cross the border without being detected. Alternatively, faster processors may be utilized, but this may increase the cost of the system. Also, the border region may be defined using different patterns that may maximize the effectiveness of the pixel
25 processing. More sharply defined borders, however, may in turn reduce the robustness of the system. Such variables should be considered and weighed in determining the best system for a given application and/or environment.

Figure 20 is a state diagram showing the progression of states for an illustrative embodiment of the present invention. An INIT block 900 may perform
30 such functions as initializing hardware, performing a self-check or a camera check, and starts all internal processes. If there is a bad configuration or pc connected, as shown at 902, the illustrative embodiment moves to a CONFIG block 910.

WO 02/073086 PCT/US02/07493
Otherwise, if the configuration is ok and no PC is connected, as shown at 904, the illustrative embodiment moves to the CLEAR block 920.

In the CONFIG block 910, configuration routines may be initiated, including, for example, capturing of a new reference image. If a pc is connected, a new reference image may be routed to the pc, and definitions for a safety zone and windows for analysis may be returned by the pc, as described above. If there is a pc, the user of the pc may confirm the validity, as part of the routines in the CONFIG block 910, via a user interface. For each defined analysis window, the CONFIG block 910 may determine median, light, and dark pixel sets. Also, reference contrast values may be computed and validated, and, if connected, sent to the pc. Border analysis may also begin while in the CONFIG block 910.

If the routines performed within the CONFIG block 910 are successfully completed, the CONFIG block 910 may return with OK 912 and enter the CLEAR block 920. Otherwise, if some of the routines cannot be completed, the CONFIG block 910 may instead return with FAILED CONFIG 914 and enter the STOP block 950.

Once CONFIG OK & NO PC 904 is returned by the INIT block 900 or CONFIG OK 912 is returned by the CONFIG block 910, the illustrative embodiment enters CLEAR block 920. One purpose of the CLEAR block 920 is to determine whether the interior region of the area of interest is clear for a sufficient period of time during which the border region is also clear. In the illustrative embodiment of Figure 20, a border analysis may be performed more quickly than the interior analysis, as, for example, shown in Figure 19. Thus, the CLEAR block 920 may include a first sub-block, WAIT FOR BORDER CLEAR 921, which in the illustrative embodiment, can be satisfied first, which sends a BDRCLEAR 922 signal to COMPARE INTERIOR TO REFERENCE 923. Once the border is clear, the COMPARE INTERIOR TO REFERENCE 923 is initiated. Analysis performed by WAIT FOR BORDER CLEAR 921 may include comparison of areas of a live image or most recent image to areas of a reference image. The areas being compared may correspond to some of the windows defined in the CONFIG block 910, as further described in co-pending U.S. Patent Application Serial No. [H16-26483](#), entitled "OBJECT DETECTION", which is incorporated herein by reference.

WO 02/073086

PCT/US02/07493

The COMPARE INTERIOR TO REFERENCE 923 preferably determines whether it may be safe to initiate operation or a run state (RUN block 930) for the system. Such analysis may include comparison of a live image of the interior of the area of interest to a reference image, and this analysis may be divided into sub-blocks 5 corresponding to some of the windows defined in the CONFIG block 910. If the interior is not clear, indicated by !INTCLEAR 924, the CLEAR block 920 returns to the WAIT FOR BORDER CLEAR 921.

10 In the illustrative example, a safety output may be defined to be closed when it is safe for operations to resume in the area of interest, and open when unsafe conditions are present. For this particular illustrative embodiment, the safety output is defined as open while in the INIT 900, CONFIG 910, CLEAR 920, UPDATE 940, and STOP 950 blocks. If the CLEAR block 920 determines that the border is clear and the interior is clear, it may go to the RUN block 930, as shown by BDRCLEAR & INTCLEAR 925. Upon the determination that the border and interior are both 15 clear, the CLEAR block 920 also moves the safety output to a closed, or safe, state.

20 When the illustrative embodiment of Figure 20 enters the RUN block 930, border scanning preferably continues. Border scanning may include comparison of a live frame to a reference frame. Such comparison may be performed according to the windows defined in the CONFIG block 910. If a border violation is detected, the safety output is opened. A variable may also be defined in the illustrative embodiment as AUTORESTART. AUTORESTART may have two states, for example, 1/0, high/low, on/off, etc. If AUTORESTART is in a first state, the system may autorestart in response to a border violation, entering the CLEAR block 920 (shown at !BORDERCLEAR & AUTORESTART 932) when, during operation in the 25 RUN block 930, a border violation is detected. Alternatively, if AUTORESTART is in a second state, the system may enter the STOP state 950 (shown at !BORDERCLEAR & !AUTORESTART) upon detecting a border violation.

30 Also in the illustrative example is an UPDATE block 940. The UPDATE block 940 may be entered from the CLEAR 920 (UPDATE REF 926) or RUN 930 (UPDATE REF 934) blocks at some predefined time. The predefined time may be a time related to a border or interior violation, a preset interval from the last updated reference image, or any other time. Also, the predefined time may arise as a result of

WO 02/073086

PCT/US02/07493

a manual input or other passage of time. In the illustrative example shown in Figure 23 below, the safety output is opened while routines in the UPDATE block 940 are performed. In other embodiments, the safety output remains closed, at least in some circumstances, during performance of routines in the UPDATE block 940.

5 While in the UPDATE block 940, a camera check may be performed, and a new reference image may be captured by the camera(s) of the system. If there are multiple cameras in use, the UPDATE block 940 may take new reference images from each camera, or may only capture a new reference image from one or more of the cameras. The UPDATE block 940 may also include the steps of computing a 10 reference contrast value for each window and validating the sufficiency of the contrast. If the UPDATE block 940 fails to obtain a valid reference image, the UPDATE block 940 may return BAD CONFIG 944 and enter the STOP block 950. Otherwise, if the UPDATE block 940 completes all routines, it may return OK 942 and go into the CLEAR block 920. In other embodiments, it may be possible to 15 return to the RUN block 930 instead of the CLEAR block 920 after completion of the routines of the UPDATE block 940. Also, a failure in the UPDATE block 940 to return OK 942 may send the system into the CONFIG 910 or INIT 900 blocks.

When in the STOP state 950, the illustrative example stops border scanning and remains in a state wherein the safety output is open until the system can be reset 20 or otherwise checked, at which point the system may enter the INIT 900 block again. Other states and relationships between states are also contemplated.

Figure 21 is a schematic diagram of an illustrative embodiment using multiple 25 channels of data flow in accordance with the present invention. In this illustrative embodiment, safety camera 1010 gathers images at a certain rate of frames per second, creating a composite video stream 1012. The video stream is split into two channels, Channel A 1020 and Channel B 1030. Channel A 1020 generates Safety Output A 1022, and Channel B 1030 generates Safety Output B. A first cross-check connection 1024 connects Safety Output B 1032 to the image analysis block for Channel A 1020, and a second cross-check connection 1034 connects Safety Output 30 A 1022 to the image analysis block for Channel B 1030.

In the illustrative embodiment, alternating frames in the image stream are available for validation of the camera data. For example, if camera 1010 provides

WO 02/073086

PCT/US02/07493

thirty frames per second (fps), 15 fps may be used by Channel A 1020 for safety analysis. The remaining or intervening 15 fps may be analyzed in Channel B 1030 to detect dead pixels, row failures, insufficient lighting, etc. The analysis performed in Channel B 1030 may rely on detecting, in every frame, a boundary marking for the safety zone that provides a sufficient or reliable reference signal. Because camera fault conditions, such as pixel failures, loss of sensitivity, burn out, etc., may also result in insufficient contrast compared to the reference image, such analysis may detect additional safety violations.

Figure 22 is a timing diagram showing illustrative timing relationships of the embodiment of Figure 21. In the illustrative embodiment, the camera takes a certain number of frames per second; the frames are represented in a first line 1100, enumerated as frame i, frame i+1, etc. Hardware processing 1110 alternates between performing image analysis 1112 and signal validation 1114. In a preferred embodiment, analysis takes place as the pixels are received, rather than in a buffered grouping, so hardware processing 1110 continually analyzes data. At intervals relating to the completion of each frame, software processing 1120 receives data streams from hardware processing 1110. At the end of image analysis 1112 by hardware processing 1110, software processing 1120 performs an evaluation and generates a safety output 1122. Once evaluation and safety output 1122 are completed, software processing 1120 performs self-check and background tasks 1122 until pixel data is again ready to be sent by hardware processing 1110.

At the end of signal validation 1114, hardware processing 1110 also sends a signal to software processing 1120. As shown, the signal may indicate that the signal is properly received, or OK 1116. As shown at lower portion 1130 of Figure 22, the maximum response time of this embodiment is slower than it was for the earlier illustrative embodiment. However, in exchange for the added response time, the system may be more reliable as the input signal is constantly validated. Such a system may be particularly suitable for harsh environments or where high reliability is required.

Figure 23 is a block diagram showing processing, memory and control blocks of an illustrative embodiment of the present invention. In the illustrative embodiment, a CCD video camera 1200 generates a composite video signal. The composite video

WO 02/073086

PCT/US02/07493

signal is received by a video decoder 1210. Video decoder 1210 may include an analog/digital converter and a synchronization function. The video decoder generates signals that may indicate luminescence, a pixel clock, and a synchronization signal to a pixel processing block 1215. The pixel processing block 1215 may fetch pixels and 5 perform a contrast comparison algorithm or, in some embodiments, a frame matching algorithm, to determine whether an object has entered a portion of an area of interest. Pixel processing block 1215 also has access to memory 1220, and is preferably capable of saving and retrieving data from memory 1220. Memory 1220 may include a live image 1222, a reference image 1224, window definitions 1226, and analysis 10 results 1228.

Control, safety, and configuration software block 1230 may be accessed by pixel processing block 1215. Control, safety, and configuration software block 1230 may also access and save data to memory block 1220, and receive inputs and generate outputs 1240 as shown. The control, safety, and configuration software block 1230 15 preferably controls the safety system, as described above.

Figure 24 is a functional block diagram of another illustrative embodiment of the present invention. In the illustrative embodiment, hardware 1303 includes CCD video camera 1300, video decoder 1310, pixel analysis 1320, analysis windows memory block 1330, analysis window definitions memory block 1340, reference 20 image memory block 1350, and live image memory block 1360. As shown, analysis window definition block 1340 and reference image block 1350 may include flash memory elements. Software 1306 may include system supervision 1370, safety analysis 1375, configuration 1380, and user interface software 1390.

CCD video camera 1300 generates a composite video data signal that is 25 received by video decoder 1310. Video decoder 1310 may include analog/digital conversion capabilities and may generate synchronization data. Video decoder 1310 is controlled by system supervision 1370 during a configuration step. Video decoder 1310 may send luminescence data, clock data, horizontal synchronization data, and vertical synchronization data to pixel analysis block 1320.

In the illustrative embodiment, pixel analysis block 1320 performs a contrast 30 comparison algorithm and image validation. Pixel analysis 1320 provides data regarding pixels to analysis windows 1330, which generates status and results that are

WO 02/073086

PCT/US02/07493

then sent on to system supervision 1370 and safety analysis 1375. Pixel analysis block may be controlled by system supervision 1370 to determine the mode of pixel analysis. Pixel analysis can include any number of pixel processing methods including, for example, contrast comparison algorithm mode, frame matching algorithm mode, image validation mode, etc.

Pixel analysis block also send data corresponding to the live image to live image memory block 1360, where the live image may be stored. Configuration 1380 may control live image memory block 1360, and may request live image memory block 1360 to send data to reference image memory block 1350, possibly updating the reference image memory block 1350. Pixel analysis block 1320 receives a reference image from reference image memory block 1350 as well as data relating to the analysis windows from analysis window definitions block 1340. The analysis window definitions enable the pixel analysis 1320 to group pixels together into bins to perform contrast comparison algorithms comparing a live image to a reference image.

15 Analysis window definitions block 1340 receives data from configuration block 1380.

System supervision 1370 receives data from reference image memory block 1350 and analysis window definition block 1340 as well as analysis windows block 1330. System supervision performs tasks including initialization and self-check tasks by controlling the configuration of video decoder 1310 and the mode of pixel analysis 1320, along with controlling safety analysis 1375 and configuration 1380. Safety analysis 1375 evaluates analysis windows 1330 outputs and generates a safety output. Safety analysis also receives generates an error output, which can actually be generated by any of system supervision 1370, safety analysis 1375, or configuration 1380. Safety analysis receives control signals from system supervision 1370.

25 Configuration 1380 may send data to analysis window definitions 1340, and controls capture of the live image memory block 1360. Via a coupling such as an RS 232 or any other data connection, configuration 1380 sends and receives data to user interface software 1390. Configuration 1380 can also generate an error signal.

During an initialization mode, hardware 1303 is initialized, internal processes 30 are started, and a self-check is performed. Much of initialization can be controlled from system supervision 1370, though information received from camera 1300 and

WO 02/073086

PCT/US02/07493

user interface 1390 can be incorporated as well. An error signal will be generated if there is a failure to correctly initialize the system.

In the configuration mode, a new reference image is captured with camera 1300 and sent to the PC operating the user interface software 1390. Safety zone 5 parameters are received from the PC, again using user interface software 1390. Analysis windows definitions 1340 are generated using the safety zone parameters. For each analysis window 1330, the median pixel level (for example, with respect to luminescence) and defined light and dark pixel sets are determined. Reference contrast values are computed and validated, and ultimately sent to the PC to confirm 10 that the reference contrast values are acceptable. The PC user can confirm the validity of reference contrast values. An error will be generated if there is a failure to define a valid safety zone.

In a calibration mode, reference contrast values for each analysis window 1330 are computed. Whether there is sufficient contrast in each window is then 15 validated. Windows lacking sufficient contrast for processing via contrast comparison algorithms are marked for frame differencing analysis.

During a clearing mode, the comparison of live images to a reference image (or reference images) may begin. Once there is an agreement between the comparison of the live image and the reference image, boundary scanning begins, and the safety 20 output is closed (set to "safe"). While the system is running, boundary scans are continued. The safety output will be opened if there is a detected violation.

Having thus described the preferred embodiments of the present invention, those of skill in the art will readily appreciate that the teachings found herein may be applied to yet other embodiments within the scope of the claims hereto attached.

WO 02/073086

PCT/US02/07493

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A method for monitoring an area of interest having a border and an interior region, the method comprising the steps of:
 - monitoring at least a portion of the border region of the area of interest for breach by an object; and
 - monitoring at least a portion of the interior region of the area of interest for the object after the object breaches the border.
2. The method of claim 1 further comprising the step of:
 - ceasing to monitor the interior region of the area of interest after the object leaves the area of interest; and
 - continuing to monitor at least a portion of the border region of the area of interest after the object leaves the area of interest.
3. The method of claim 1 wherein the interior region of the area of interest is not monitored until the object no longer breaches the border region of the area of interest.
4. The method of claim 1 further comprising the step of:
 - continuing to monitor at least a portion of the border region of the area of interest while the interior region is being monitored.
5. The method of claim 1 further comprising the step of providing a safety output when the border region is breached by the object.
6. The method of claim 5 wherein the safety output disables a piece of equipment located in the area of interest.
7. The method of claim 5 wherein the safety output sounds an alarm.
8. The method of claim 1 wherein the border region comprises a continuous region.

WO 02/073086

PCT/US02/07493

9. The method of claim 1 wherein the border region comprises an interrupted region.
10. The method of claim 1 wherein the area of interest excludes a defined region from its interior.

11. A method for monitoring an area of interest having a border and an interior, the method comprising the steps of:
 - capturing an capture image of the area of interest;
 - identifying one or more border regions in the captured image that correspond to the border of the area of interest;
 - analyzing the one or more border regions of the captured image and determining if an object has entered the one or more border regions of the area of interest; and
 - outputting a signal indicating when an object has entered the one or more border regions of the area of interest.

12. The method of claim 11 wherein the one or more border regions include a reference marking.

13. The method of claim 11 wherein the reference marking is a predetermined pattern.

14. The method of claim 11 wherein the step of analyzing the one or more border regions of the captured image comprises the step of comparing the one or more border regions of the capture image to one or more corresponding regions of a reference image.

15. The method of claim 14 wherein the border of the area of interest includes a reference marking, and the one or more border regions in the reference image are identified by identifying the reference marking in the reference image.

WO 02/073086

PCT/US02/07493

16. The method of claim 15 wherein the reference marking is a predetermined pattern.
17. The method of claim 16 wherein the predetermined pattern determines a minimum size of the objects to be detected.
18. The method of claim 11 further comprising the step of storing the capture image when an object has entered the area of interest.
19. The method of claim 18 further comprising the step of viewing the stored capture images at a later time.
20. The method of claim 14 wherein the reference image is taken in response to a change in one or more conditions in the area of interest.
21. The method of claim 14 wherein the reference image is taken at a set time interval.
22. The method of claim 11 wherein the step of analyzing the one or more border regions of the captured image comprises the step of comparing the one or more border regions of the capture image to corresponding regions of two or more reference images.
23. The method of claim 22 wherein at least one comparison detects relatively immediate changes, and at least one comparison detects accumulated changes.
24. A method for monitoring an area of interest having a border and an interior region, the method comprising the steps of:
capturing at least two images of the area of interest using two separate image capturing devices;

WO 02/073086

PCT/US02/07493

identifying one or more border regions in the captured images that correspond to the border of the area of interest;
analyzing the one or more border regions of the captured images to determine when an object enters the area of interest; and
outputting a signal indicating whether or not an object has entered the area of interest.

25. The method of claim 24, wherein the image capturing devices are video cameras.

26. The method of claim 24, wherein the image capturing devices are digital cameras.

27. A system for monitoring an area of interest having a border and an interior region, comprising:
capturing means for capturing a capture image of the area of interest; and
monitoring means for monitoring at least a portion of the border region of the area of interest for breach by an object, and for monitoring at least a portion of the interior region of the area of interest for the presence of the object after the object breaches the border.

28. A system for monitoring an area of interest, comprising:
image capturing means for capturing at least one image of the area of interest;
first processing means for processing at least one of the capture images to determine if an object has entered the area of interest;
second processing means for processing at least one of the capture images to determine if an object has entered the area of interest; and
output means for outputting a signal indicating that an object has entered the area of interest when both the first processing means and second processing indicate that an object has entered the object of interest.

WO 02/073086 PCT/US02/07493
29. A system according to claim 28 wherein the image capturing means includes a single image capture device.

30. A system according to claim 28 wherein the image capturing means includes two image capture devices each providing a separate image of the area of interest, wherein a first one of the image capture devices provides a first image of the area of interest to the first processing means and a second one of the image capture devices provides a second image of the area of interest to the second processing means.

31. A method for monitoring an area of interest having a border region and an interior region, the method comprising the steps of:

monitoring at least a portion of the border region of the area of interest for breach by an object having a first minimum size; and
monitoring at least a portion of the interior region of the area of interest for an object having a second minimum size after the object breaches the border region of the area of interest.

32. The method of claim 31 wherein the first minimum size is smaller than the second minimum size.

33. The method of claim 31 wherein the first minimum size is bigger than the second minimum size.

34. The method of claim 31 wherein the interior region is defined to include the border region.

35. The method of claim 31 wherein the interior region is defined to exclude the border region.

WO 02/073086 PCT/US02/07493
36. A method for monitoring an area of interest having two or more regions, each region having a border and an interior region, the method comprising the steps of:

capturing a capture image of the area of interest;
monitoring the border and/or interior region of a first region of the area of interest for breach by an object; and
monitoring the border and/or interior region of a second region of the area of interest for breach by an object.

37. The method of claim 36 wherein the border and/or interior region of the first region are monitored independently of the border and/or interior region of the second region.

38. The method of claim 36 wherein the border and/or interior regions of the first and second region are selectively monitored.

39. The method of claim 38 wherein the border and/or interior region of the first region are monitored and the border and/or interior region of the second region are not monitored.

40. The method of claim 38 wherein the border and/or interior region of the first region are monitored and the border and/or interior region of the second region are also monitored.

41. The method of claim 38 wherein the border and/or interior region of the first region are not monitored and the border and/or interior region of the second region are not monitored.

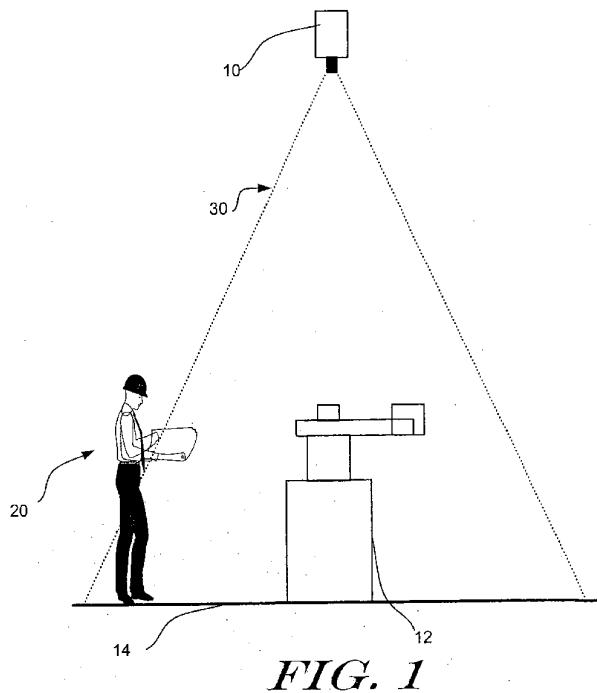


FIG. 1

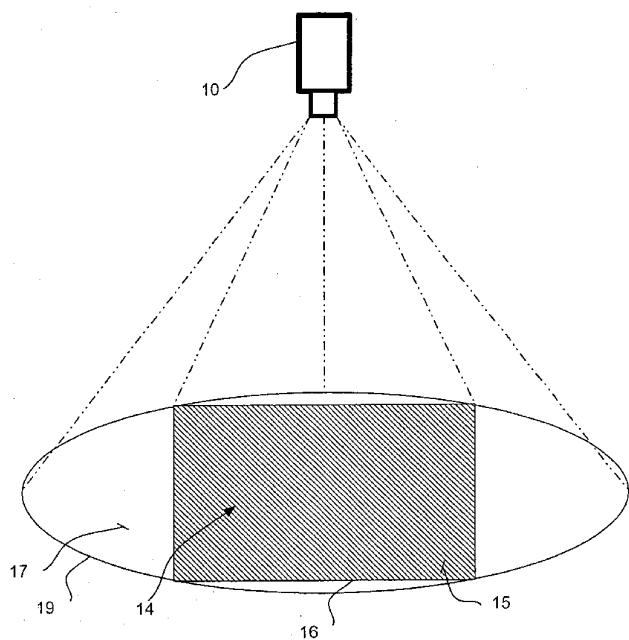


FIG. 2

WO 02/073086

3/26

PCT/US02/07493

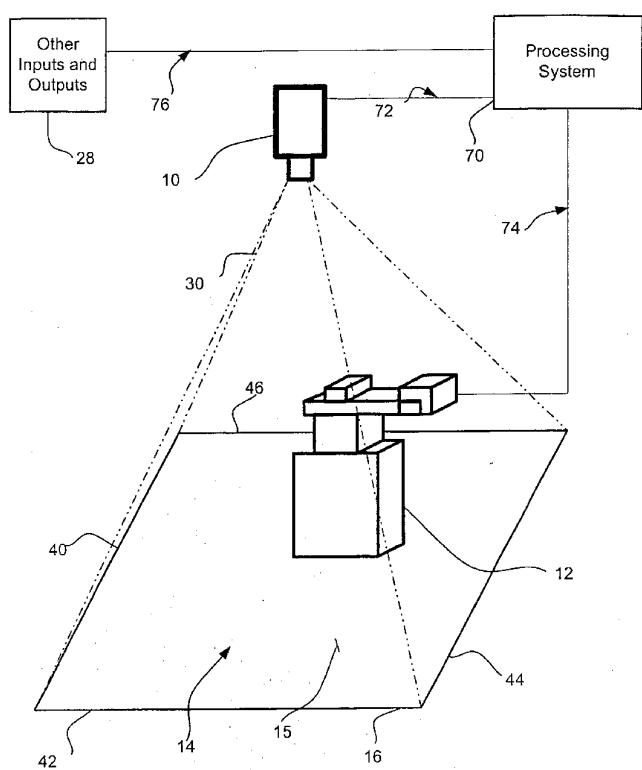


FIG. 3

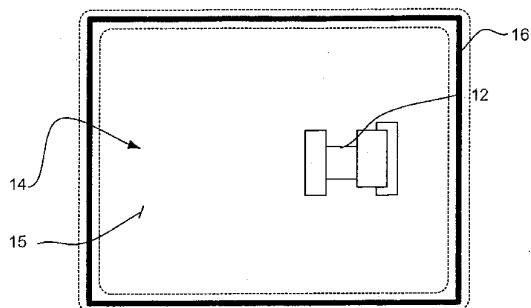


FIG. 4A

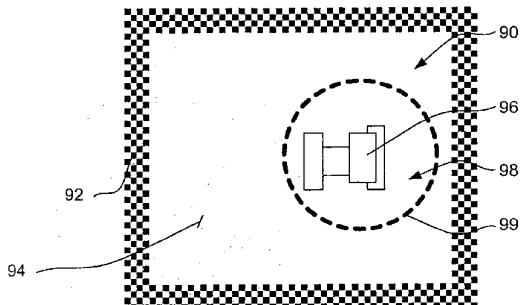


FIG. 4B

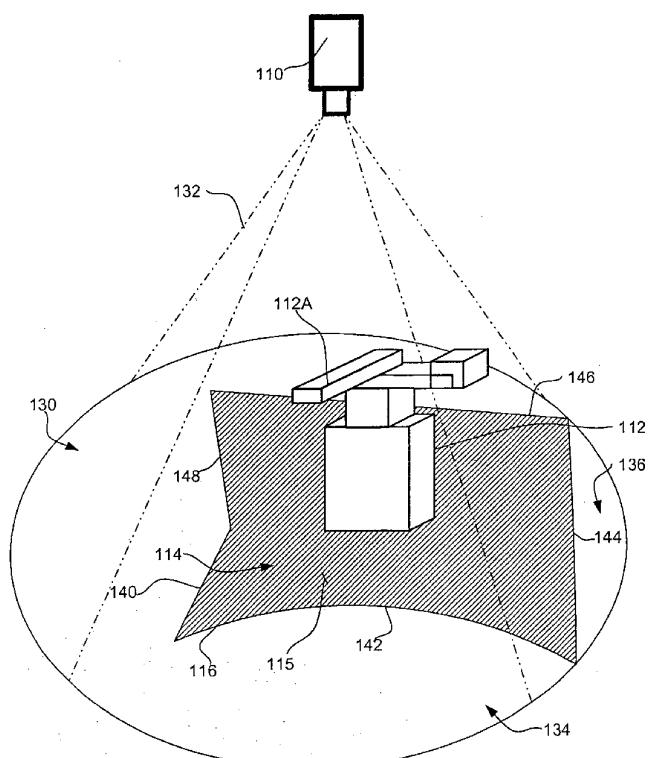


FIG. 5

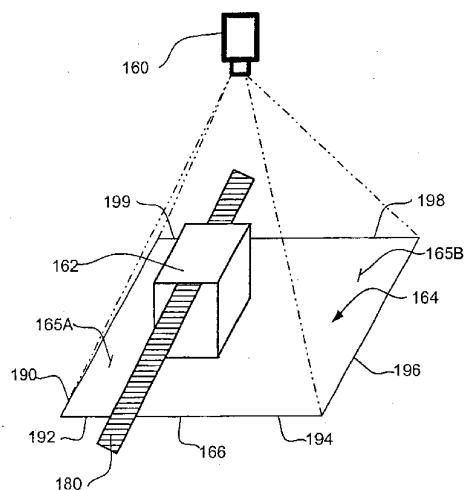


FIG. 6A

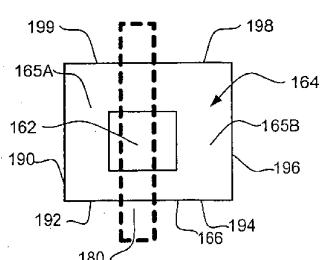


FIG. 6B

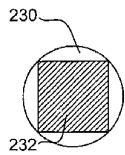


FIG. 7B

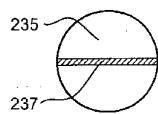


FIG. 7C

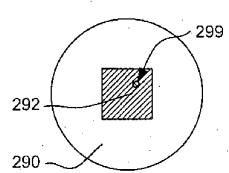


FIG. 8B

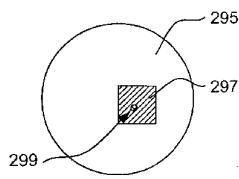


FIG. 8C

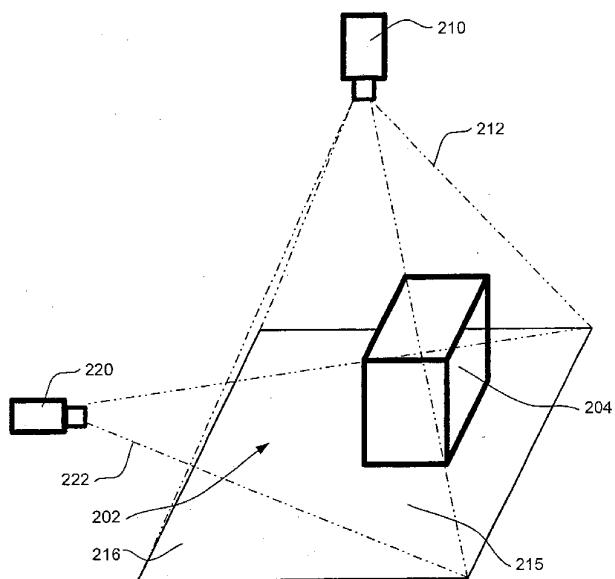


FIG. 7A

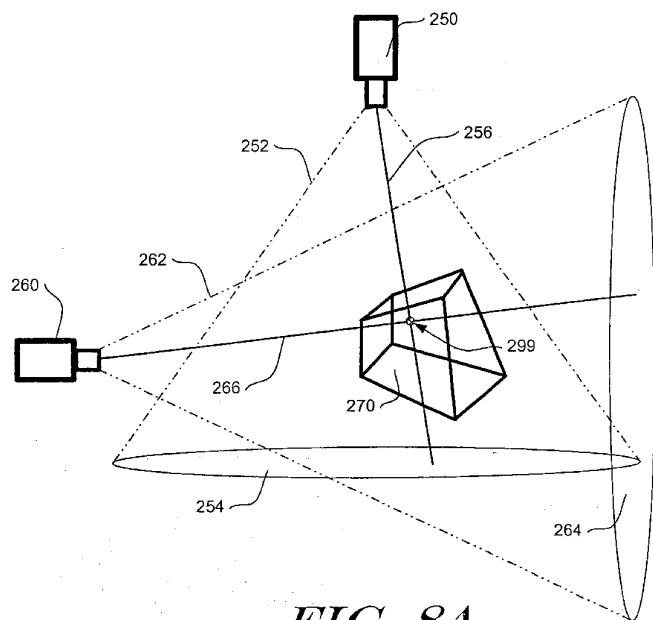
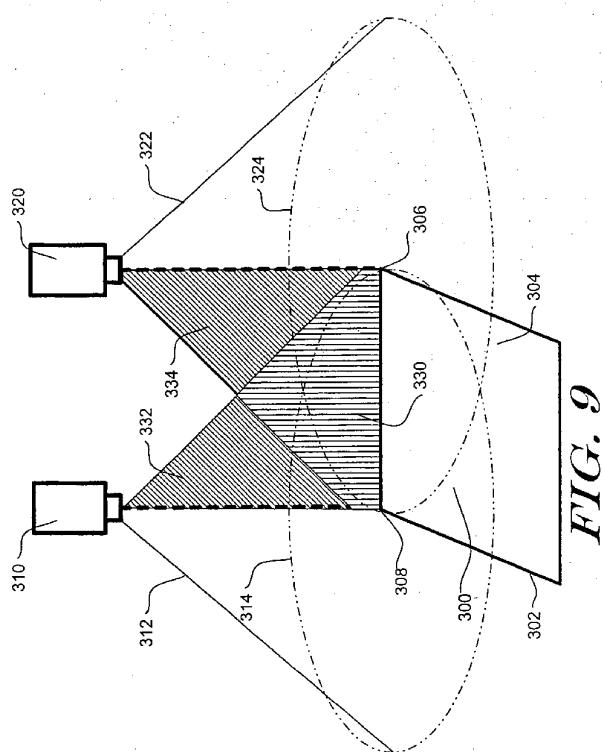


FIG. 8A

WO 02/073086

PCT/US02/07493

10/26



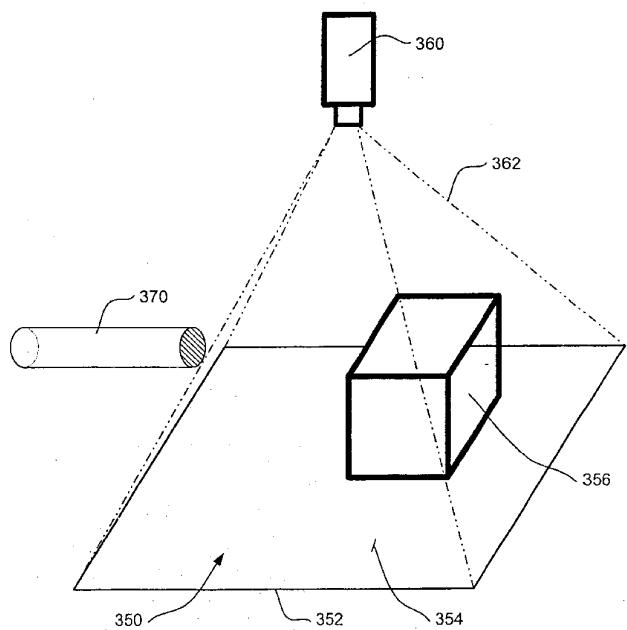


FIG. 10A

WO 02/073086

12/26

PCT/US02/07493

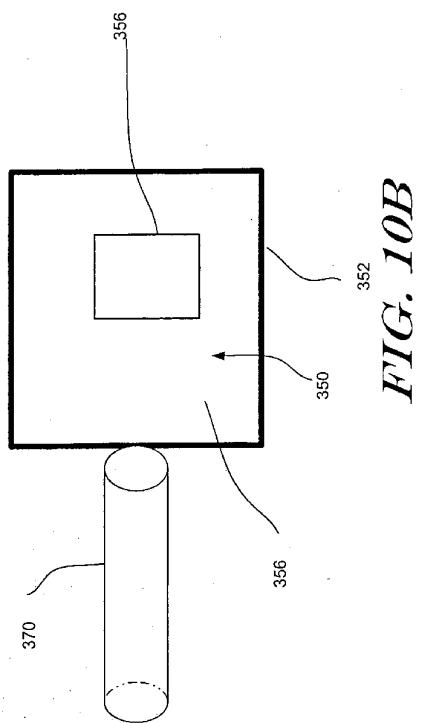


FIG. 10B

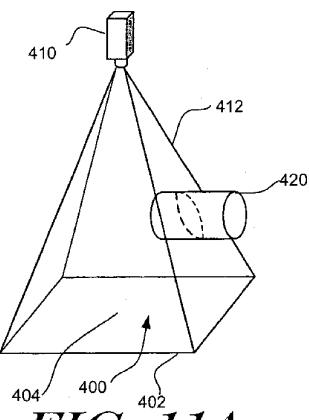


FIG. 11A

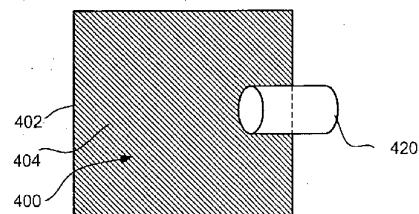


FIG. 11B

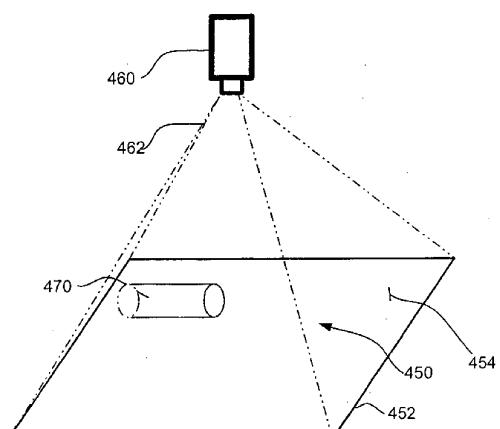


FIG. 12A

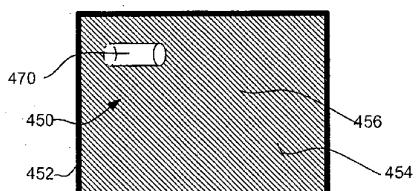


FIG. 12B

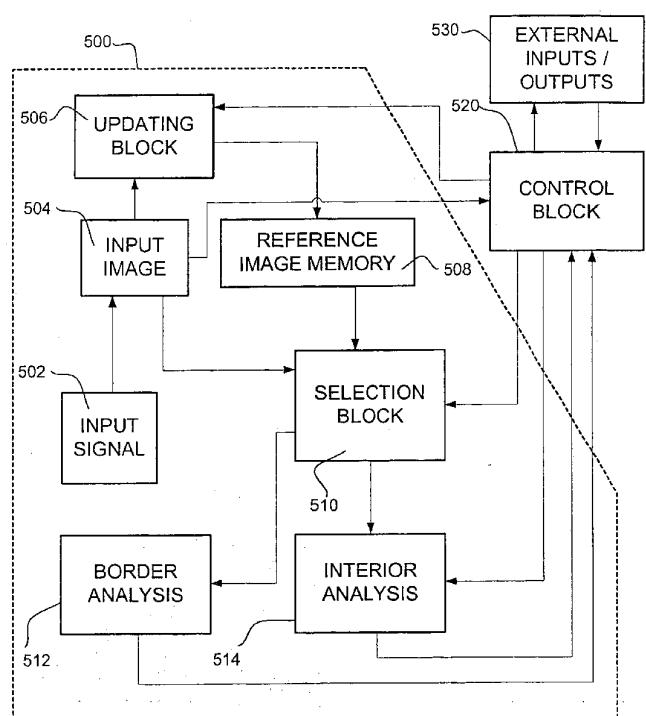


FIG. 13

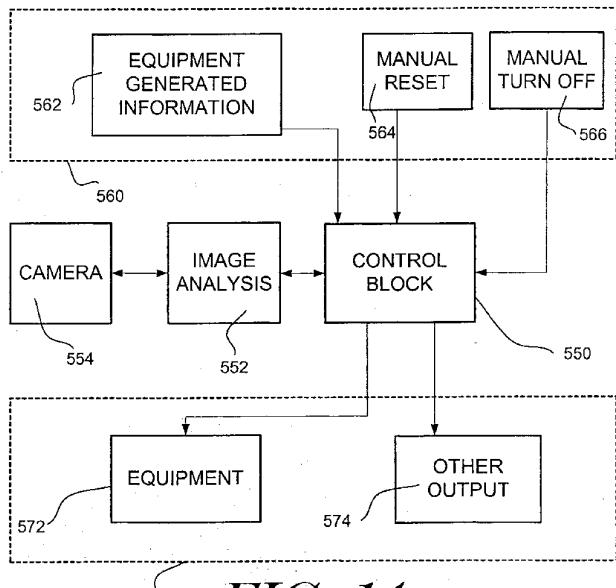


FIG. 14

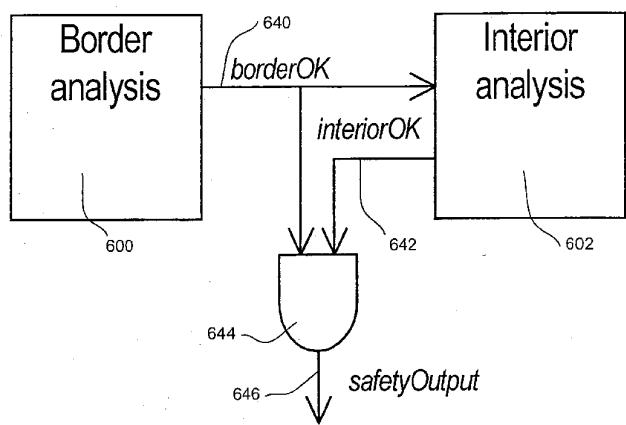


FIG. 15

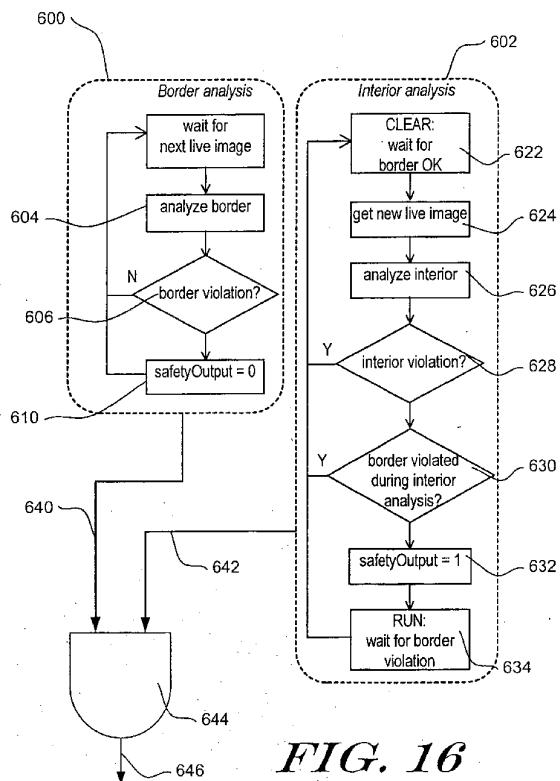


FIG. 16

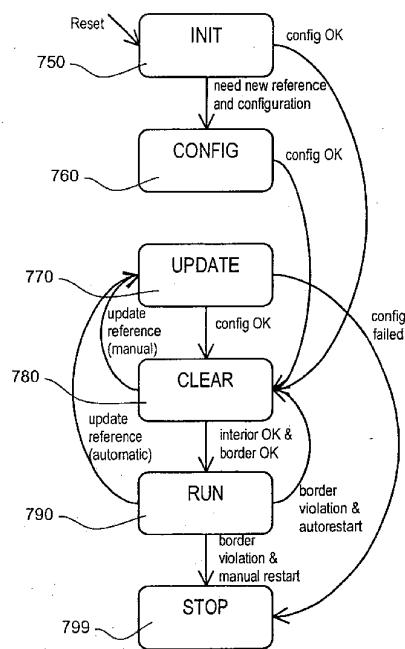


FIG. 17

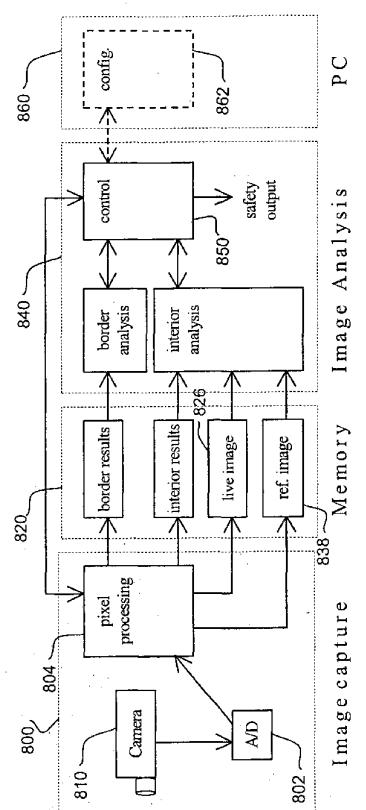


FIG. 18

WO 02/073086

PCT/US02/07493

21/26

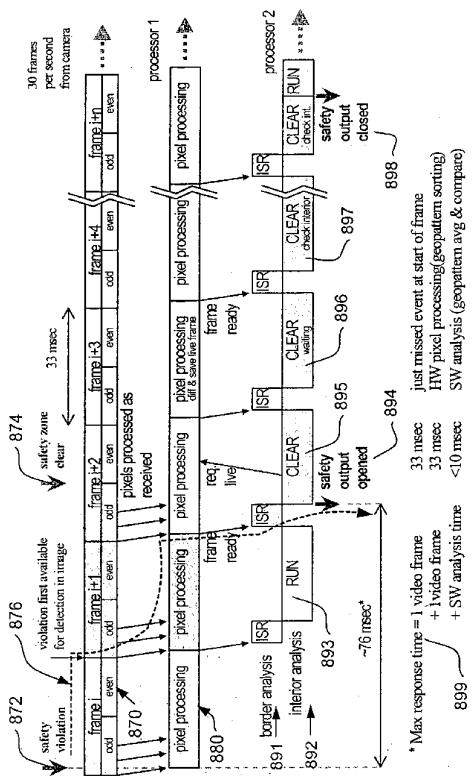


FIG. 19

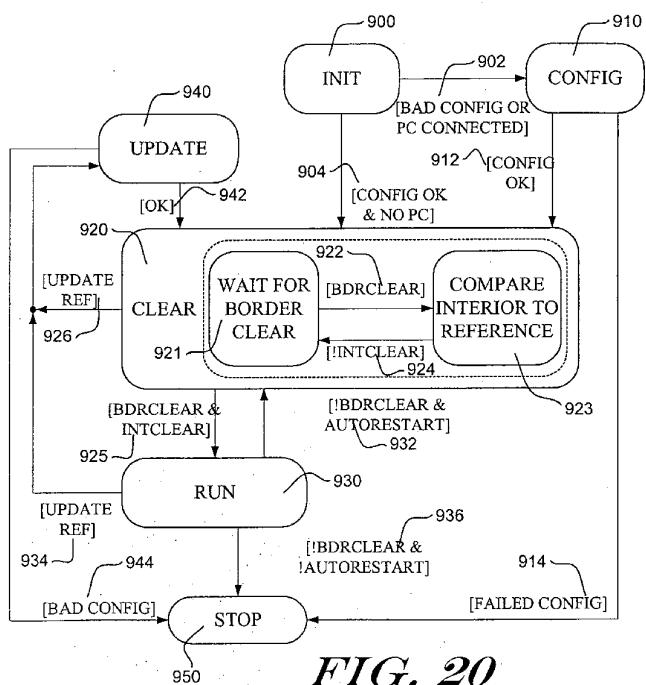


FIG. 20

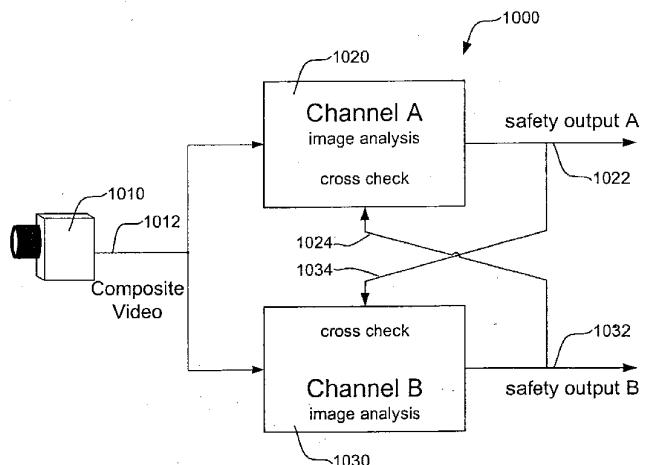


FIG. 21

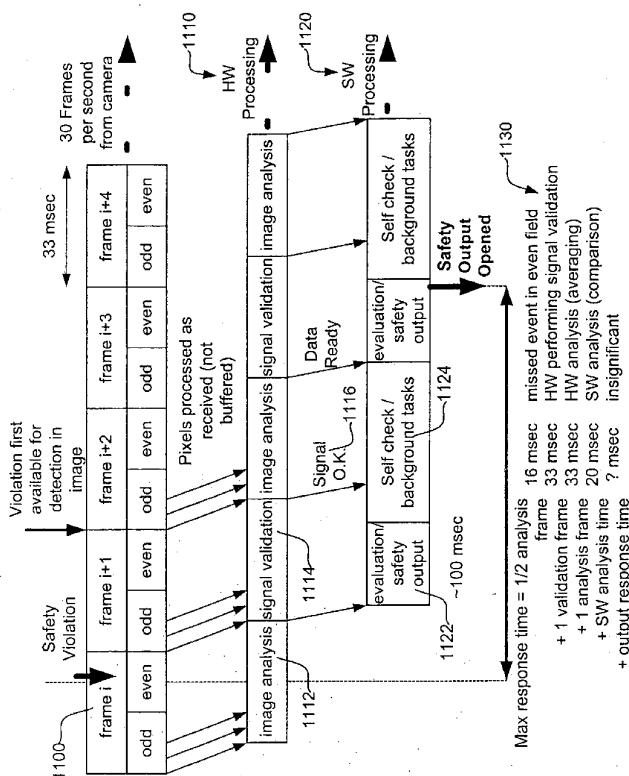


FIG. 22

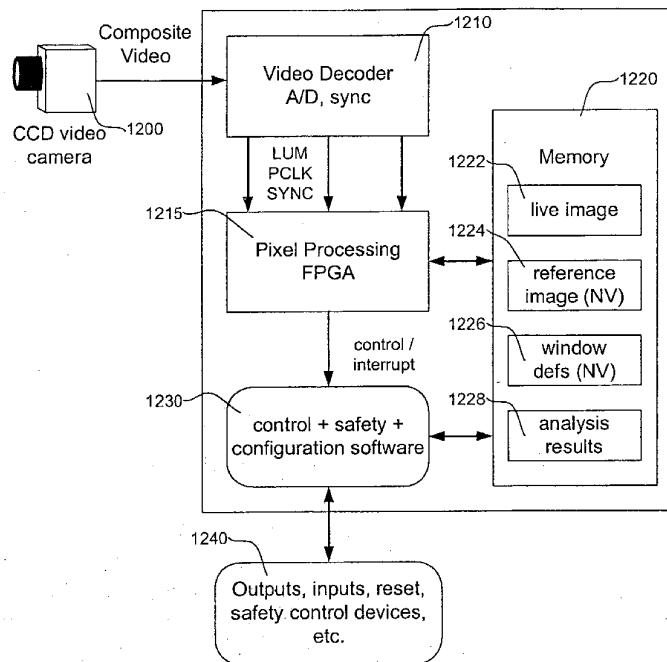


FIG. 23

WO 02/073086

26/26

PCT/US02/07493

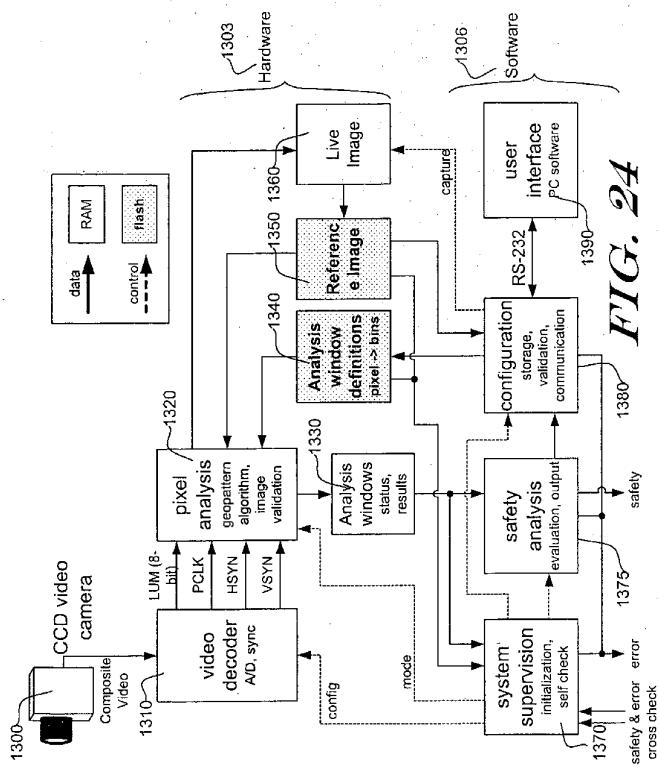


FIG. 24

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Inte rial Application No PCT/US 02/07493
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 F16P3/14 G08B13/194		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 F16P G08B G06T		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 037 181 A (DELPHI TECH INC) 20 September 2000 (2000-09-20) column 1, line 55 -column 4, line 3 ---	1-41
A	US 4 249 207 A (HARMAN R KEITH ET AL) 3 February 1981 (1981-02-03) abstract ---	1-41
A	DE 196 19 688 A (HERION WERKE KG) 20 November 1997 (1997-11-20) abstract; figure 1 ---	1-41
A, P	DE 100 26 710 A (SICK AG) 6 December 2001 (2001-12-06) abstract; figures 1,2 ---	1-41
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents :		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		
E earlier document but published on or after the International filing date		
L document which may throw doubts on priority claims or which may be 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		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
14 June 2002	20/06/2002	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlan 2 3000 Leuven, Belgium Tel: (+31-70) 340-2040, Tx: 31 651 esp nl Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Sgura, S	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT				Inte al Application No	
Information on patent family members				PCT/US 02/07493	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date		
EP 1037181	A 20-09-2000	EP 1037181 A2	20-09-2000		
US 4249207	A 03-02-1981	CA 1116286 A1	12-01-1982		
DE 19619688	A 20-11-1997	DE 19619688 A1	20-11-1997		
DE 10026710	A 06-12-2001	DE 10026710 A1	06-12-2001		
		EP 1168269 A2	02-01-2002		

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

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

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100107696

弁理士 西山 文俊

(72)発明者 コファー,ダーレン・デュアン

アメリカ合衆国ミネソタ州55345, ミンネントンカ, テンブル・レイン 16017

(72)発明者 ハムザ,リダ・エム

アメリカ合衆国ミネソタ州55076, インヴァー・グロウヴ・ハイツ, バーディ・パーク 74
32

F ターム(参考) 5C054 FC03 FC11 FF06 HA18

5C087 AA02 AA03 AA24 AA25 AA32 BB03 BB74 DD05 DD20 EE05

EE08 FF01 FF02 FF04 FF19 FF20 GG02 GG10 GG19 GG21

GG46 GG65 GG66

5L096 BA02 CA04 CA05 CA07 FA15 GA17 HA02