A Proposal of General-Purpose Input Interface by Application of Horizon View Camera

Ayami Iwata Non-member (Gifu University, aya@yam.info.gifu-u.ac.jp)

Kunihito Kato Non-member (Gifu University, kkato@info.gifu-u.ac.jp)

Kazuhiko Yamamoto Member (Gifu University, yamamoto@info.gifu-u.ac.jp)

Keywords: Horizon View Camera, General-Purpose Input Interface, Portable Piano, Touch Sensor, Position Measurement

Now a day, many kinds of input interfaces have been proposed by physical sensors. With the developments of them, input interfaces by using a camera are researched actively. In the case of using the camera, there are a lot of advantages. It is possible to have various effective functions because the camera is a general-purpose sensor. Therefore, input interfaces with the camera have been proposed by various methods in a lot of fields. However, most of these methods measure only the position because the camera is usually set on the upper side. When we try to make the input interface as substitutes for a keyboard and a mouse, it is necessary to measure the position and detect the touch to the surface at the same time. In order to solve these problems, it is necessary to use some cameras generally.

We have proposed Horizon View Camera, we call it HVC. This is a unique camera system by using a camera and a mirror shown in fig. 1. It is possible to direct the optical axis of the camera to the horizon by reflection the mirror. Therefore, HVC can obtain two kinds of images shown in fig. 2. One is the image including only the object on the ground. Therefore, it is possible to detect objects easily. We have shown its effectiveness by measuring distances to

objects using the obtained images from HVC with straight motions. Moreover, we proposed HVC-90 that is more effective system than the original HVC for object detection. HVC-90 can detect objects in various motions.

In these camera systems, we used characteristics obtained from moving HVC mainly. In this paper, we had second thoughts about these characteristics, consequently we obtained new characteristics. In the case of the input interface by using a camera, it is important to solve two considerations, the position measurement and the touch detection to the surface. By using new characteristics of HVC, however, these considerations can be solved.

Therefore, we propose a unique input interface by using characteristics of HVC. We have used images obtained by moving HVC to detect object. By focusing attention on images obtained by standing HVC, however, it is possible to realize a unique input interface with the position measurement and the touch detection. Moreover, we made Portable Piano as one example of this shown in fig. 3, and we show the effectiveness of this proposal system by the experiment.

Fig. 1. HVC system

Fig. 2. Image from the HVC

Fig. 3. Portable piano.

Horizon View Camera の応用による汎用入力インターフェースの提案

非会員 岩田 彩見* 非会員 加藤 邦人*
正 員 山本 和彦*

A Proposal of General-Purpose Input Interface by Application of Horizon View Camera

Ayami Iwata*, Non-member, Kunihito Kato*, Non-member, Kazuhiko Yamamoto*, Member

We have proposed Horizon View Camera (HVC), which is a unique system of the object detection by a single camera and has some unique characteristics. HVC is to put a single camera on the ground, and the optical axis of the camera is directed toward the horizon by using a mirror. HVC can obtain two kinds of images. One is the image including only the object on the ground. Therefore, it is possible to detect objects easily. We have shown its effectiveness by measuring distances to objects using the obtained images from HVC with straight motions. Moreover, we proposed HVC-90 that is more effective system than the original HVC for object detection. HVC-90 can detect objects in various motions. In these camera systems, we used characteristics obtained from moving HVC mainly. In this paper, moreover, we develop a unique input interface by using characteristics from standing HVC. We made a portable piano as an example of this interface, and show its effectiveness.

キーワード : Horizon View Camera, 汎用入力インターフェース, どこでもピアノ, タッチセンサー, 位置計測

Keywords : Horizon View Camera, General-Purpose Input Interface, Portable Piano, Touch Sensor, Position Measurement

1. はじめに

現在, 入力インターフェースとして各種センサーを用いたシステムが多く開発されているが⁽¹⁾⁽²⁾, それに伴いカメラを用いた入力インターフェースの研究も盛んに進められている^{(3)~(5)}。カメラを用いることで, カメラの汎用的センサーとしての利点を生かし, さらに多様な機能を持たせることが可能であり, これまでにも幅広い分野において様々な入力インターフェースが提案されている。しかし, これらカメラを用いた入力インターフェースの多くが, 上方にカメラを設置するなどの方法による位置計測にとどまっている。キーボードやマウスのようなインターフェースの代替になるものを考えた場合, 位置計測と平面への接触を同時に検出する必要がある。これを実現するためには, 一般的にカメラを複数台用意する必要がある。

ところで, 我々は現在までに 1 台のカメラと鏡を用い, カメラの光軸を地平線上に走らせることで特殊性質を持たせた Horizon View Camera (以下, HVC) を提案してきた⁽⁶⁾。HVC から得られる画像のうちの半分は, 鏡の反射画像で, 地面を含まない地面上の物体のみを含むため, 物体の発見が容易となる性質を持っている。また残り半分は HVC の前

方を映した直接画像で, 地面と物体の両方を含み, 2 つの画像の境界線が地平線となる。そのため一般的な物体検出では地面と物体の区別を必要とするが, HVC を用いることでその処理は不要となり, 正確に物体を発見できる利点を持っている。

ここで HVC の性質を詳しく表現すると, 物体の接地点から上のみを映した画像が獲得可能となる。つまり物体の接地点となる地平線付近のみを観察することで, 物体の地面への接触, 非接触を検出可能であるという新たな性質が得られる。また同時に得られる直接画像からは, 地面に接触している物体の位置が計測できる。これにより, 先に述べたカメラを用いた入力インターフェースを実現する際に重要な, 位置計測と平面への接触検出という 2 つが, HVC を用いれば同時に可能となる。

そこで本稿では, この HVC の性質を用いた新しい入力インターフェースを提案する。これまで我々は, 物体検出のために HVC の動画的性質を用いてきたが, HVC の静止画的性質に着目することで, 反射画像にて平面に対する物体の接触, 非接触を調べるタッチセンサーと同様の機能と, 直接画像にて物体の接触位置の計測機能を持った新しい入力インターフェースの実現を可能にした。

本稿では, まず HVC の概要について述べ, HVC が持つ性質の新しい利用方法について提案する。そして, 入力インターフェースの一例として「どこでもピアノ」を作成し,

* 岐阜大学工学部
〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1
Faculty of Engineering, Gifu University
1-1 Yanagido Gifu, Gifu 501-1193

実験により本提案システムにおけるタッチセンサーとしての精度を調べることで、新しい汎用入力インターフェースが構築できることを示す。

2. Horizon View Camera と物体検出

〈2・1〉 Horizon View Camera まず、HVC の概要を説明する。一般的に、壁面を含む地面上に存在する全ての物体を検出対象としたとき、検出対象外は地面や床に相当する。そのため物体検出を行うには、この場合の背景にあたる地面領域から物体を高い精度で分離する必要があるが、最も問題となるのは、抽出した物体の地面からの識別、切り出しである⁽⁷⁾。これらの問題を簡単にするために、カメラ位置を工夫したり、距離情報などを用いる場合も多い。さらに単眼カメラでの位置計測では、一般的に物体は地面に垂直に立っているものと考えて、得られた物体領域の接地点の座標値とカメラ情報を用いて、物体の位置を計測する。しかしこの物体の位置計測法は、物体領域の抽出を正確に行えない場合は、精度の高い位置計測は不可能である。つまり精度の高い物体検出を行うには、地面領域と物体領域を高い精度で分離が可能な方法が必要となる。

そこで、我々は従来の物体検出法とまったく逆の考え方をういたカメラシステムを作成した。一般的な単眼カメラによる物体検出では、精度を上げるために、カメラをより上方に置き、地面とカメラ光軸の成す角度を大きくする傾

向がある。しかし本システムはそれとは逆に下の方に設置し、地面とカメラ光軸の成す角度を 0 度にする、つまり地面につけるように設置する。そうすることで、カメラ位置が非常に低いため地面が見えない、すなわち地面領域を含まず、周囲にある地面上の物体のみの画像が得られると考えた。これを実現するために、カメラを地面近くに設置し、カメラの光軸が地平線を通るようにシステムを作成した。これを Horizon View Camera (以下、HVC) と名付けた。

〈2・2〉 HVC の構成と物体検出方法 カメラの光軸が地平線を通るようにするには、図 1 の①に示すように、カメラの下半分を地面に埋める必要があるが、これは実際には実現が難しい。そこで鏡を用いて、カメラの光軸が地面上を通るようにシステムを設計した⁽⁸⁾⁽⁹⁾。HVC システムを図 1 の②に示す。ここで、カメラの光軸を地面上に通すために、地面と鏡との角度と、鏡とカメラの光軸との角度を同じにする必要がある。得られた画像のうち、半分は鏡の反射により得られた画像 (以下、反射画像) で、残りの半分は鏡の前方の画像 (以下、直接画像) である。この 2 つの境界が地平線となる。HVC から得られた画像を図 2 に示す。図 2 において、本稿ではより分かりやすく表示するために、カメラを通常とは上下を逆に設置した。そのため、上半分が鏡の反射画像となり、また下半分がシステム前方の直接画像となっている。以下、画像はすべてカメラの上下を逆に設置して得られた画像である。

HVC が持つ性質には、HVC の前方にある物体のみの画像が得られることが挙げられる。また HVC が前進移動することにより発生するオプティカルフローは、画像中心から外へ向かって流れる。この 2 つの性質を用いることで、物体までの距離計測が可能である。HVC の前進移動量やカメラパラメータが既知であることより、オプティカルフローの各移動ベクトルを用いて三角測量により物体までの距離計測を行うことで物体検出を実現した⁽¹⁰⁾。

さらに、HVC が多様に動いた場合でも物体検出が可能となる、Horizon View Camera-90 (以下、HVC-90) を提案し、その有効性を示してきた⁽¹¹⁾。

3. 新しい汎用入力インターフェースの提案

HVC は大きく分けて 2 種類の性質を持っている。一方は静止している HVC から得られる画像が持つ静止画的性質であり、もう一方は HVC が地面上を移動している際に得られる画像が持つ動画的性質である⁽⁶⁾。どちらもこれまでのカメラシステムになかった新しい性質である。我々はこれまで、物体検出を目的として HVC や HVC-90 の開発を行ってきた。これら HVC や HVC-90 において、いずれも HVC を移動させて得られる画像が持つ動画的性質を用いた物体検出方法についての研究を行ってきたが、HVC のもう一つの重要な性質である静止画的性質の主な活用はしてこなかった。そこで HVC の静止画的性質について再考し、その性質を生かすことで、これまでになかった入力インターフェースを考案した。

図 1 HVC システム

Fig. 1. HVC system.

図 2 HVC から得られた画像

Fig. 2. Image from HVC.

図3 HVCの静止画的性質
Fig. 3. Static characteristics of HVC.

HVCの静止画的性質には、反射画像の独立的性質と反射画像と直接画像による連携的性質がある。反射画像の独立的性質とは、HVCがカメラ光軸を地平線に通した構造をとるため、画像に地面領域が含まれない、カメラ前方の地面上の物体のみを含んだ特異な画像が得られることである。よって、反射画像に映ったものは全て物体として検出できるため、壁面を含む地面上の物体を抽出することが容易となり、物体検出を簡単に行うことができる。また反射画像と直接画像による連携的性質とは、反射画像は地面上の物体のみの画像であるが、一方、直接画像は物体と地面の両方を含んだ従来の単眼カメラと同様な画像であり、これらの画像は同時に取得することが可能である。ここで、反射画像に映るものは物体のみであるという性質を述べたが、これは、画像中にもないものは地面のみと言い換えることができる。すなわち直接画像から反射画像に存在するものを消去すると、反射画像に存在しないもの、つまり図3に示すように地面領域だけが残ることになる。よって、先の物体検出が容易という性質と同時に、地面領域抽出も容易という新たな性質が得られる。

ここで、HVCの静止画的性質について再考した。反射画像の独立的性質は物体検出が容易という性質があるが、それは反射画像が物体の接地点から上のみを含むためである。つまり物体が地面に設置してある場合は、反射画像中では物体は地平線に接しており、物体が地面から離れている場合は、物体は地平線に接していない。これにより、図4に示すように反射画像において、物体の接地点である地平

図4 HVCによるタッチ検出
Fig. 4. Touch detection by HVC.

図5 HVCのエピポーラ線
Fig. 5. Epipolar lines of HVC.

線付近を観察することで、物体が地平線に接触しているかを検出することが可能で、タッチセンサーと同様の機能を持つという新たな性質が得られる。図4において直接画像では物体の地面への接触検出はできないが、反射画像の地平線付近を調べることで、物体が地面へ接触しているかを容易に検出できる。

さらに、HVCはカメラ光軸を地面上に無限に走らせているため、タッチセンサー機能の範囲は画像に映し出された領域全てとなる。また上記の反射画像と直接画像による連携的性質により、画像の差分から地面領域の抽出が可能であるが、カメラパラメータが既知であることから、より容易に地面領域が抽出できる。まず反射画像における物体の接地点部分でテンプレートを作成し、図5のようにエピポーラ線に沿って直接画像を探索してマッチングする部分を検出する。マッチング位置は物体の接地点であるため、物体と地面の境界線とすることができ、地面領域を抽出したこととなる⁽⁶⁾。この直接画像における地面領域抽出は、物体の接地点が求められるため、その座標値から三角測量により物体の位置計測が可能となる。

すなわち、今回得られたHVCの新たな性質を用いることで、HVCをある平面に設置した際に、反射画像で平面に対するタッチセンサー機能を、そして直接画像も用いることで平面に接触した位置計測を可能とする、新しい入力インターフェースが実現できる。これまでHVCは物体検出を目的としたシステムであったが、HVCの性質を別の角度から見直すことで、同じカメラシステムのままであるが、入力

インターフェースという全く別の目的に対応したシステムとなった。

4. どこでもピアノ

〈4・1〉 **どこでもピアノの概要** HVC の性質である、タッチセンサー機能と位置計測を用いた入力インターフェースとして様々なものが考えられるが、本稿ではその一例として“どこでもピアノ”を作成した。どこでもピアノの概観を図 6 に示す。カメラの画角や鍵盤の大きさ ($5.2\text{cm} \times 7.0\text{cm}$) を考慮して、今回の鏡とカメラを構成する角度 θ を約 15 度にした。また HVC から得られた画像を図 7 に示す。図 6 に示すようにどこでもピアノでは、地面は鍵盤が描かれているボードに相当し、ボードに接触する物体はユーザーインターフェースとして人間の指とした。そして指が鍵盤に接触した際にその接触と接触位置を検出して、接触した鍵盤の音を出すことでピアノ演奏が可能なシステムを構築した。よってカメラ、鏡、紙 1 枚でピアノ機能が実現可能である。

〈4・2〉 **どこでもピアノ実現方法** HVC による入力インターフェースを実現するために、2 つの方法が挙げられ

る。

一方は反射画像の情報を直接画像で利用する方法である。図 8 に示すように、まず指のボードへの接触を調べるために反射画像の地平線付近を観察する。そして指が地平線に接触したと検出された後、反射画像と同じ指を直接画像にてエピポーラ線に沿って探索、発見し、その座標値により接触位置を計測する方法である。この方法の利点は、指の接触を観察するためには、常に反射画像の地平線付近のごく狭い範囲のみでの指検出処理となり、また接触した場合には、直接画像におけるその指の探索が必要な部分はエピポーラ線上として限定できるので、画像処理範囲が狭く、処理コストの軽減が可能である。しかし、反射画像は通常ユーザーとその背後を含んだ複雑背景画像である場合が想定されるため、地平線付近のみの観察ではあるが、指と複雑背景を分割するための処理が必要となり、常に高い精度で検出するのは難しい。

もう一つの手法は、図 9 に示すように直接画像から反射画像へ処理する方法である。ボードに対して HVC は固定であることから、指を含まない状態での直接画像は常に一定となる。そこで背景差分等を用いることにより直接画像中に現れた指領域とその座標値を求めることができる。次にエピポーラ線から、指がボードに接触した場合には反射画像中における指が存在しているであろう場所が、地平線のすぐ上に一点として求まるため、そこに同じ指があるかを調べることで、その指のボードへの接触が判定可能である。

図 6 どこでもピアノ

Fig. 6. Portable piano.

図 7 どこでもピアノの画像

Fig. 7. Image from portable piano.

図 8 入力インターフェース手法 1

Fig. 8. Method 1 of input interface.

図 9 入力インターフェース手法 2

Fig. 9. Method 2 of input interface.

図 10 画像処理の流れ
Fig. 10. Flow of image processing.

そして指が接触したとき、座標値から接触位置を計測する。先の方法に比べて画像処理範囲は直接画像全体と反射画像の一部と広がる。しかし、指領域検出に用いる直接画像の背景は予測可能であり、反射画像での接触検出の際もエビポーラ線を用いることで 1 つの指領域に対して一点だけの処理にとどまるため、あらゆる環境で精度の高い動作が期待できる。

そこで本稿では、システムの動作中に状態が変化した場合でも、信頼性の高い入力インターフェースが実現できる、後者の方法を用いてどこでもピアノを作成した。

〈4・3〉 処理の流れ どこでもピアノを実現するには、ユーザーの指の検出とその接触判定、そして接触した位置計測によって音の発生や音階を決定する必要がある。

まずは直接画像を用いて背景差分により指領域を検出する。しかし光源の位置や指や手の影などの影響により、検出対象の指領域以外の部分を指領域として検出する可能性

があり、単純な背景差分だけでは精度の高い指抽出は困難である。そこで検出対象である指領域以外の部分を消去するために、3 章で述べた地面領域抽出手法を適用した⁽⁶⁾。これは反射画像の地平線付近でテンプレートを作成し、直接画像でエビポーラ線に沿って探索することで、検出対象物体にはマッチングするが、検出対象物体以外の部分はテンプレートとは異なるためマッチングしない。つまり指領域は検出されるが、指の影などの検出を回避することができる。理論的にはこの手法だけで指検出は可能であるが、実際はテンプレートマッチングの失敗等で正確に地面領域を抽出できない場合がある。どこでもピアノを実現するためには、接地点座標値は指先の頂点と横幅の中点から求めるため、指先領域を正確に検出する必要がある。そこで背景差分と地面領域抽出の両方を用いることで、より正確な指領域検出を目指した。よって地面領域抽出手法と併用することで、背景差分で検出される指領域以外を除くことが可能となる。そして得られた指領域とボードとの境界部分で指テンプレートを作成し、反射画像にてエビポーラ線から求められた 1 点でマッチングすることで、その類似度から指がボードに接触しているかを判定する。接触と判定されれば、直接画像から得られた指領域の座標値により、三角測量にて接地点の位置計測を行う。この処理の流れを図 10 に示す。位置計測式を式(1)、(2)に示す。式(1)、(2)において、画像サイズ $W \times H$ とした場合、 (x, y) は直接画像中の指領域の座標値、 P はカメラパラメータ、 h はカメラの高さ、 θ は鏡の成す角度、 D_y 、 D_x はカメラからの位置である。なお、今回カメラパラメータの歪みは考慮していない。

$$D_y = \frac{h \left(f_{22} + \left(y - \frac{H}{2} - f_{23} \right) \tan 2\theta \right)}{f_{22} \tan 2\theta - \left(y - \frac{H}{2} - f_{23} \right)} \dots\dots\dots (1)$$

$$D_x = \frac{D_y \left(x - \frac{W}{2} - f_{13} \right) \sqrt{f_{22}^2 + \left(y - \frac{H}{2} - f_{23} \right)^2}}{f_{11} \left(f_{22} \cos 2\theta + \left(y - \frac{H}{2} - f_{23} \right) \sin 2\theta \right)} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ただし、} P = \begin{pmatrix} f_{11} & 0 & f_{13} & 0 \\ 0 & f_{22} & f_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

5. 実験

実際に HVC を用いたどこでもピアノを作成し、得られた画像から、本システムの有効性を確認するため、基礎実験として位置計測精度について調べた。

実験に用いた画像は 320×240 pixel である。また地面領域抽出のテンプレートサイズは 11×15 pixel、接触判定となる指のテンプレートサイズは 25×11 pixel とした。これらのテンプレートサイズは、ボードとの境界線や指を確実に獲得できるように最適に設定した。ただし、実用化を考慮した場合、これらの値の設定方法は考察が必要である。本実験では、まず前処理として背景画像、入力画像の両者にガウ

図 11 実験画像例

Fig. 11. Example of experimental image.

表 1 実験結果

Table 1. Experimental result.

	Result of position measurement		Answer	
	D_x	D_y	D_x	D_y
1	-3.26 cm	9.27 cm	-3.3 cm	9.5 cm
2	-2.26 cm	9.41 cm	-2.3 cm	9.5 cm
3	-1.34 cm	9.41 cm	-1.3 cm	9.5 cm
4	-0.31 cm	9.48 cm	-0.3 cm	9.5 cm
5	0.74cm	9.48 cm	0.7 cm	9.5 cm
6	1.73 cm	9.48 cm	1.7 cm	9.5 cm
7	2.64 cm	9.41 cm	2.7 cm	9.5 cm
8	-2.71 cm	7.61 cm	-2.8 cm	7.5 cm
9	-1.69 cm	7.51 cm	-1.8 cm	7.5 cm
10	0.43 cm	7.66 cm	0.2 cm	7.5 cm
11	1.40 cm	7.56 cm	1.2 cm	7.5 cm
12	2.33 cm	7.66 cm	2.2 cm	7.5 cm

シャープフィルタをかけ、その後背景差分を行い、雑音除去のために膨張収縮処理を行った。そして地面領域を抽出するが、その際には背景差分結果において差分がなかった部分は必ず地面と考えられるため、その領域にフラグを立てた。そしてフラグのない部分で地面領域抽出を行うことで、

図 12 正解値と計測値

Fig. 12. Answer and measurement result.

計算コストの削減や抽出精度の向上を図った。ここで本稿では、ノイズによるマッチングミスを防ぐために地面領域抽出結果の座標値にメディアンフィルタを行った。

次に、得られた地面領域を指領域とし、その上端を指の先端、つまり地面との接地点とした。そしてその部分をテンプレートとしてマッチングを行い、接触判定を行った。そして指の座標値から、三角測量にて位置計測した。実験画像と、その画像に対する実際の画像処理結果を図 11 に示す。

実験データは、ピアノの 1 オクターブ分の鍵盤 12 箇所を指で押して得られた 12 枚の画像である。それぞれの画像から指検出、接触判別、接触位置計測を行った。ピアノ 1 オクターブ分の鍵盤 12 箇所における実際の位置と、画像により得られた計測結果を表 1 に示す。また正解値と比較した結果を図 12 に示す。なお正解値は、 D_x については画像中心を基準にして求め、 D_y はカメラから 7.5 cm、ならびに 9.5 cm とし、手動により各点を設定した。

D_x 軸の位置計測結果の誤差平均は 0.085 cm、 D_y 軸の位置

計測結果の誤差平均は 0.088 cm となった。これらの誤差は、どこでもピアノを実現するには十分な精度である。また今回求めたカメラパラメータにおいて、レンズ歪みについて考慮しなかった。このため、歪みパラメータを適用することでさらに精度の向上が可能と考えられる。

6. まとめ

本稿では、HVC を用いた新たな入力インターフェースを提案し、その優位性について示した。また入力インターフェースの一例としてあらゆる状態に対応可能などでもピアノを作成し、実験によりタッチセンサーとしての精度を確認することで、どこでもピアノが十分に実現可能であるとの知見が得られ、試作によって入力インターフェースとしての実現可能性を示した。よって、従来は物体検出を目的として HVC の開発を行っていたが、観点を変えることでこれまでとは異なる入力インターフェースを目的としたシステムへと、HVC を拡張することができた。

また本稿で提案した接触検出、物体検出方法は、HVC の性質を生かしたことで、容易かつ正確な入力インターフェースの実現を可能とした。さらに本手法では、背景差分と HVC 特有の地面領域抽出の両方を適用することで、環境の変化に強いシステムとなった。これにより、実験画像のように白と黒の両極端の環境を含んだ背景に対応した入力インターフェースが実現できた。

今回は HVC を用いた入力インターフェースの一例としてどこでもピアノを作成したが、本手法は文字入力キーボードやマウス、タッチパネルなど、多様な汎用入力インターフェースに応用可能である。しかし汎用入力インターフェースの種類によっては、さらに高い精度が必要となると考えられる。そこで今後、精度向上のためにレンズ歪みの考慮をはじめ、HVC のカメラの高さや角度、画像処理における各パラメータの考察、テンプレートマッチングの改良を含む検出精度の向上が必要である。

(平成 16 年 10 月 26 日受付, 平成 17 年 4 月 21 日再受付)

文 献

- (1) Neil R. N. Enns, and I. Scott MacKenzie : "Touchpad-based Remote Control Devices", Proc. of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '98, pp.336-343 (1998)
- (2) <http://www.canesta.com/products.htm>
- (3) Y.Nakanishi, K.Oka, M.Kuramochi, S.Matsukawa, Y.Sato, and H.Koike : "Narrative Hand: applying a fast finger-tracking system for media art", Proc. of ISEA2002 (2002)
- (4) J. Crowley, F. Berard, and J. Coutaz : "Finger Tracking as an Input Device for Augmented Reality, Proc. of Automatic Face and Gesture Recognition (FG'95), pp.195-200 (1995)
- (5) M. E. Munich and P. Perona : "Visual Input for Pen-Based Computers", IEEE Trans. PAMI, Vol.24, No.3, pp.313-328 (2002)
- (6) A.Iwata, K.Kato, and K.Yamamoto : "Properties of Horizon View Camera with the Optical Axis of the Camera on the Ground and its Implementation", Journal of ITE, Vol.58, No.9 pp.1291-1298 (2004-9) (in Japanese)

岩田彩見・加藤邦人・山本和彦 : 「カメラの光軸と地面を一致させた Horizon View Camera の光学特性とその実現」, 映像情報メディア学誌, Vol.58, No.9, pp.1291-1298 (2004-9)

- (7) G.N.DeSouza and A.C.Kak : "Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey", IEEE, Trans. PAMI, Vol.24, No.2 pp.237-267 (2002)
- (8) S.Kaneko and T.Honda : "Calculation of Position of Polyhedral Objects Using Direct and Mirror image", Journal of JSPE, Vol.52, No.1 pp.149-155 (1986-1) (in Japanese)
金子俊一・本多康悟 : 「直接像及び鏡像を利用した多面体対象物の位置計算」, 精密工学誌, 52, 1, pp.149-155 (1986-1)
- (9) J.Gluckman and S.K.Nayar : "Rectified Catadioptric Stereo Sensors", IEEE, Trans. PAMI, Vol.24, No.2, pp.224-236 (2002)
- (10) B.K.P.Horn and B.G.Schunck : "Determining optical flow", Artificial Intelligence, Vol.17, pp.185-203 (1981)
- (11) A.Iwata, K.Kato, and K.Yamamoto : "A Proposal of the Horizon View Camera-90 Using the Cooperation of Image on Orthogonal Camera System", Journal of IEEJ Trans. EIS, Vol.23, No.12, pp.2085-2093 (2003-12) (in Japanese)
岩田彩見・加藤邦人・山本和彦 : 「直交カメラ系画像の協調を利用した Horizon View Camera-90 の提案」, 電学論 C, 123, 12, pp.2085-2093 (2003-12)

岩 田 彩 見

(非正員) 1978 年 4 月 2 日生。2003 年 3 月岐阜大学大学院工学研究科応用情報学博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科電子情報システム工学専攻博士後期課程在学中。コンピュータビジョンの研究に従事。

加 藤 邦 人

(非正員) 1971 年 2 月 18 日生。1998 年 3 月中京大学大学院情報科学研究科修士課程修了。同年、同大学院博士課程。現在、岐阜大学工学部助手。画像処理、特に Hough 変換による直線検出とその応用の研究に従事。情報科学博士。

山 本 和 彦

(正員) 1944 年 6 月 20 日生。1971 年 3 月東京電機大学大学院修士課程修了。同年、通産省電子技術総合研究所入所。1986 年同研究所情報情報部画像研究室室長。1995 年から現在、岐阜大学工学部応用情報学教授。主に画像解析、パターン認識の研究に従事。IAPR, 電子情報通信学会フェロー。工博。