

LK_014

レーザーポインタを用いたPC入力システム

PC-Input-Equipment Using Laser Pointer

和田 敏治† 高橋 正信† 朝日 勝雅† 山本 幸司‡ 香川 景一郎‡ 太田 淳‡
Toshiharu Wada Masanobu Takahashi Katsumasa Asahi Koji Yamamoto Keiichiro Kagawa Jun Ohta

1. まえがき

現在、一般的なプレゼンテーションはPC画面をプロジェクタによってスクリーンに投影し、その投影した画面を指示棒やレーザーポインタで指し示すことによって行われている。しかし、プレゼンテーション中に、パソコン画面をキーボード、マウスによって操作するのは非常に面倒で、プレゼンテーションのテンポも悪くなる。

プレゼンテーションの支援を目的としたものとしては、音声認識[1]や指示棒の認識[2]を利用したものなどが報告されているが、実用化されているものとしては、ワイヤレスリモコン[3]がある。これは、レーザーポインタとしての機能の他にマウスカーソル（以下ではカーソルとよぶ）の移動やクリック情報の伝達などを指先の操作で可能にしたもので、PCの操作を離れた位置から可能としている。しかし、カーソルは親指の操作で移動させるため素早く高精度で移動させることは難しく、操作性の点で通常のマウスより劣っている。

我々は、この操作性の問題はレーザーポインタの位置にカーソルを自動的に移動させる機能を実現することにより解決できると考え、そうした機能を持ち、PCの操作を可能とするプレゼンテーション支援システムの実現を目指している。

今回は、レーザーポインタの位置を検出しカーソルの位置を移動させる機能を実際に実現した。また、変調光検波方式イメージセンサ[4]を用いることで背景光の明るさに関する制約を軽減し、より明るい環境で利用できることが明らかとなった。さらに、同期信号を用いずに変調光検出とPC制御情報の伝送を実現する方法を考案し、計算機実験により有効性を確認したので報告する。

2. 処理の概要と特徴

処理の概要と特徴を以下にまとめる。(図1)

- (1)プロジェクタに近接して配置したカメラによりスクリーンを撮影し、レーザーポインタの位置を検出する。レーザーポインタの光強度を特定の周波数で変調させると共に、カメラとして変調光検波方式イメージセンサ(特定の周波数で強度変調された光のみを検出する機能を持つ)を用いることで、背景光の影響を軽減し、精度の向上を図る。
- (2)レーザーポインタが示す位置にカーソルを移動させる。大きな視認性の良いカーソルを用いることで遠距離からの視認性を向上することもできる。また、通常のマウス以上に直感的で素早い操作が可能になり、プレゼンテーションだけでなくゲームなどへの応用も期待できる。
- (3)クリックなどの情報伝達はレーザーポインタの光強度の変調の仕方を変えることで行う。これにより、無線用の機

器が不要になると共に、無線であることによる距離の制約(10m以内)がなくなり、レーザーポインタの光が届く限りどのような遠方からでも操作が可能となる。

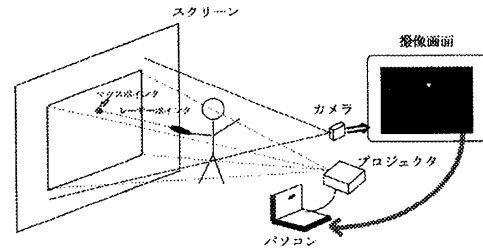


図1 動作イメージ

3. 変調光検波方式イメージセンサ

変調光検波方式イメージセンサとは、強度変調された光成分のみを撮像することを目的に作られた撮像素子である[4]。その画素回路構成を図2に示す。原理としては、受光部であるPG(Photo Gate)が1つなのに対し、信号電荷蓄積部であるFD(Floating Diffusion)を2つ有する構造になっている。PGに蓄積された光電荷は、FD1もしくはFD2に転送され、蓄積される。変調光のON/OFF周期に対応して繰り返し動作させることにより、FD1には(変調光+背景光)成分の電荷が、FD2には、背景光成分のみの電荷が振り分けて転送され、加算蓄積される(図3)。出力電圧OUT1,OUT2をI-V変換した後、差分出力回路で2つの出力の差をとることで、変調光成分のみの信号を得ることが出来る。

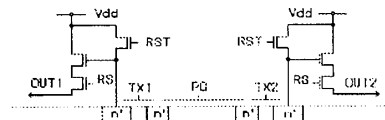
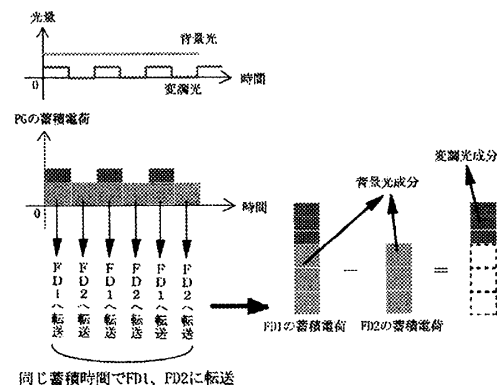


図2 変調光検波方式イメージセンサの画素回路



同じ蓄積時間でFD1, FD2に転送

図3 変調光検波時の蓄積電荷

†芝浦工業大学 大学院 工学研究科

‡奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科

4. レーザーポインタ位置の検出とカーソル移動

4.1 キャリブレーション

実際の使用時には PC のプレゼンテーション画面をプロジェクタを用いてスクリーン上に投影する。その画面を、変調光検波方式イメージセンサを用いて撮像し、撮像した画像上のレーザーポインタ座標(X,Y)を PC の画面座標(u,v)に変換する。このため、画像上の座標(X,Y)から PC の画面座標(u,v)への変換テーブルの作成(キャリブレーション)が必要になる。具体的手順としては、撮像素子の1画素に対応する小領域(PC画面中の32pixel×32pixelの領域)をスクリーン上で白く表示し、対応する画像座標(X,Y)を求めた。この処理を、投影するPC画面(1028 pixel×768 pixel)中の全小領域で行い、対応関係を求めた。この処理は将来的には自動化する予定である。

4.2 画像撮像

変調光検波方式イメージセンサを用いて、レーザーポインタを照射した画像を撮像する。撮像した画像は、イメージセンサの仕様により32×32pixelのグレースケール画像である。画素回路の駆動タイミング信号や、蓄積電荷の振分け信号の発生器にはTIME98-50(ASCOS製)を用いた。レーザーポインタとしては外部信号による光強度変調が可能なもの(MLXP,キコー技研)を用い、振分け信号に同期した信号を与えることにより蓄積電荷の振分けと光強度変調を同期させた。なお、後の6章で述べる手法により、将来的にはこの同期は不要とする予定である。

4.3 画像座標上におけるレーザーポインタの位置検出

撮像した画像から、画像上の座標におけるレーザーポインタ位置(X,Y)を検出する。同期信号の位相によってはレーザーポインタ位置の画素値が負になる場合もあるため、まず画素値の絶対値を求めて用いた。手法としては、以下の2つについて検討した。

(1)ピーク位置検出:画素値の絶対値が最大となる画像座標(X,Y)を求める。分解能は最大でもイメージセンサの画素数と同じ32×32しか得られないが、外乱光に対して頑強な検出が期待できる。

(2)サブピクセル位置推定:分解能をさらに上げるため、パラボラフィッティング[5]を用いたサブピクセル位置推定を行う。フィッティングに用いる類似度の算出は、ピーク位置の近傍でレーザーポインタのパターンをテンプレートとするテンプレートマッチング(相互相関係数利用)を行って求めた。なお、分解能向上のため、レーザーポインタを撮像したパターンが複数の画素に広がるように意図的にぼかして撮像した。

4.4 レーザーポインタ位置とPC画面座標位置の対応

画像座標上におけるレーザーポインタ位置(X,Y)を、キャリブレーション結果を元にPC画面座標に変換する。変換結果を検出PC画面座標(u',v')とよぶ。

4.5 マウスポインタ位置へ変換

検出PC画面座標(u',v')へマウスポインタを移動する。マウスポインタの移動は、Windows API(Application Programming Interface)を用いた。

5. 実験結果

スクリーン上の照度(背景照度と呼ぶ)と検出位置の誤差の関係を実験的に求めた。具体的には、スクリーンに解

像度1024×768のPC画面を表示し、その中で画面にほぼ一樣になるようなA~Jまでの10点を選び(図4)、その点の検出PC画面座標(u',v')と、正しいPC画面座標(u,v)との誤差 $D = \sqrt{(u'-u)^2 + (v'-v)^2}$ を求めた。

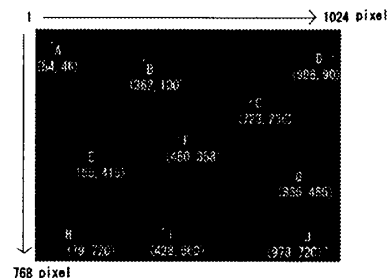


図4 レーザーポインタ照射位置

5.1 一樣背景の場合

背景照度が一樣な場合について、背景照度と検出誤差の関係を図5に示す。図においてグラフが切れているものは、それより大きな照度で検出不可であることを意味する。サブピクセル位置推定を用いた場合で背景照度約1000lx、用いない場合で約1600lxまで検出可能であった。750lx以下の背景照度ではサブピクセル位置推定を行った方が精度が良いが、それ以上の照度では精度が悪くなる。これは、サブピクセル位置推定時にピントをぼかして撮像しているためと考える。蛍光灯下での背景照度が600~700lx程度であることを考えると、一樣な背景の場合は両手法とも同等の精度で利用できると考える。

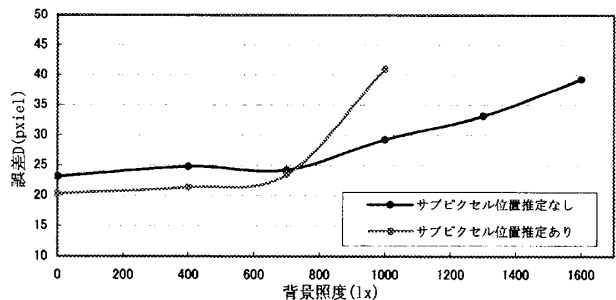


図5 一樣な背景における実験結果

5.2 一般的な背景の場合

変調光検波方式イメージセンサを用いることの効果を確認するため、変調光検波方式イメージセンサあり・なしの場合を比較する実験を行った。実際の利用時に想定される状況に合わせるため、PC画面には一般的なWindowsのデスクトップ画面を表示し(図6)、背景照度を一樣に変化させ、検出誤差を評価した。



図6 Windows デスクトップ画面

実験結果を図7に示す。検出限界の照度に関しては、変調光検波方式イメージセンサを用いることで約2倍まで改善されることが解った。検出誤差に関しては20~40pixel程度であったが、1024×768の解像度におけるアイコンサイズが約80×80pixelであることを考慮すると、アイコンのクリックなどには十分利用可能な精度と言える。今後、サブピクセル位置推定の精度をさらに改善すると共に、今回用いた画素数(32×32)よりも高精細なイメージセンサ[6]を利用することで検出誤差をさらに低減できると考える。

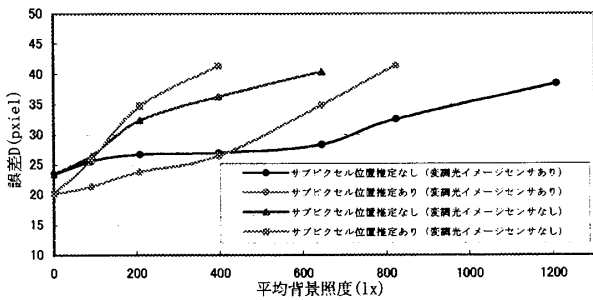


図7 一般的な背景においての実験結果

6. 同期信号を用いない変調光検出

6.1 位相差と出力信号の関係

図3に示すように、光強度の変調(点灯/消灯)のタイミングを蓄積電荷の振分け信号に同期させることにより、最大の出力信号(画素値)が得られる。この両信号の位相を同期状態からずらすと、出力される画素値は理論的には図8のように変化する。同期状態(位相差0)の画素値を1とすると、±90度では0となり、180度離れた場合には-1となる。この関係を実験により求めた結果を図9に示す。イメージセンサの特性によりsinカーブに近くなっているが、画素値が反転したり0になる位相自体は理論値とほとんど差が無い結果が得られた。

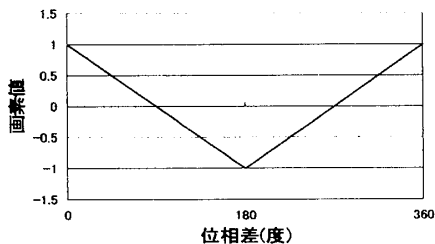


図8 位相差と画素値の理論値

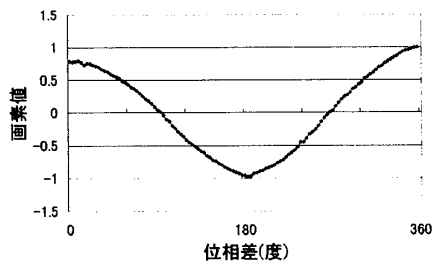


図9 位相差と画素値の実験値

6.2 変調光検出

画素値を大きな状態に保つには同期をとり、位相差を0度か180度近辺に保つ必要がある。そのためには同期信号を与える電気コードをレーザーポインタにつなげる必要があるが、あまり望ましくない。そこで、位相差をフレームごとに意図的に変化させることにより同期信号を不要とする変調光検出を実現した。具体的には、蓄積電荷振替を開始するタイミングをフレームごとに1/3周期(120度)ずつ遅らせる。そうすると、連続する3フレームでは図8において位相が120度ずつ離れた3点の画素値が観測されることになる。位相が120度離れた3点のうちどの3点になるかは不明であるが、どの3点であってもその絶対値の平均として0.5程度の画素値が得られ、さらに少なくとも1点では最悪でも0.7程度以上の値が得られる。従って、連続する3フレームを利用することで、完全に同期がとれている場合よりも背景光に対する耐性が少し劣化するものの、同期信号なしの検出が可能となる。

7. 同期信号を用いない情報伝達法

7.1 原理

クリックなどのPCを制御するための信号は、レーザーポインタの光強度変調の位相を変化させることにより伝送する。同期信号を用いない変調光検出を実現するため、前節で述べたようにフレームごとに位相を120度ずつ遅らせながら撮像することとしたため、それに適した情報伝達法を新たに考案した。具体的には、レーザーポインタを強度変調する信号の位相をある時間だけ+120度あるいは-120度変化させ、その位相変化を画素値の変化を元に検出する。この位相変化の検出には最低でも撮像の途中で位相が変化していない3フレーム分の画素値が必要である。そこでフレームの途中で位相が変化する場合を考慮して4フレーム分に相当する時間を1単位時間とし、その時間だけ一定の位相変化を与える。

位相変化の検出には数フレーム前の画素値との差分を用いる。その原理を表1を用いて説明する。表1はn-3フレームの途中で位相変化が生じた場合を想定した図であり、その場合n-6フレームからnフレームまでの7フレームの画素値を用いて位相変化を検出する。これら7フレームの画素値を用いると、フレーム間の画素値の差分として表1の太線で囲われた領域の値が算出できる。ここで、n-3フレームの途中で位相が-120度変化したとすると、n-2とn-4、n-1とn-6、nとn-5の各フレーム間の画素値が等しくなり、表1の斜線部分の値が必ず0となる。同様にレーザーポインタの位相が+120度変化した場合を考えると、n-2とn-6、n-1とn-5、nとn-4の画素値が等しくなり、表1

表1 画素値差0になる箇所
(n-3フレームの途中で位相変化が発生した場合)

フレーム番号	1フレーム前との差	2フレーム前との差	3フレーム前との差	4フレーム前との差	5フレーム前との差	6フレーム前との差
n-6						
n-5						
n-4						
n-3						
n-2						
n-1						
n						

■ 位相変化しない場合に0
 ▨ n-3で120度ずれた場合に0
 ▩ n-3で-120度ずれた場合に0

の網掛けの部分の値が必ず0となる。また、位相変化が発生しなかった場合、画素値は3フレーム前の値と等しくなり、表1の黒で示された領域の値が必ず0となる。従って、これらの条件（実際には差が閾値以下かどうかで判断）を判定することで、+120度あるいは-120度の位相変化が生じたのか、位相変化が生じなかったのかをnフレームにおいて判断できる。なお、位相変化が生じてからその変化を検出するのに必要な3フレームの画素値が得られるまでは基本的に何れの条件も満足しない。この場合、位相変化は不定（決められない）と判断される。ただし、位相変化が生じたと判定された直後のフレーム（位相変化が本来は不定であるべきフレーム）において、特定の位相条件の時に位相変化と判定する条件を満足する場合がある。その場合でも、その直前のフレームにおいて位相変化が生じたと判定されていることを用いて、誤判定を回避できる。

7.2 計算機実験

以上の手順により位相変化の検出（位相変化0の場合も含む）が可能かを計算機実験により確認した。なお、位相差と画素値の関係には理論値ではなく、図9の実験値を用い、より実際の状況に近づけた。また、位相変化が途中で発生したフレームの画素値は実験値からランダムな値を選択した。レーザーポインタと変調光検波方式イメージセンサの初期位相差が40度の場合の検出結果の一例を表2に示す。これは、位相変化-120度、120度、120度、0度を順番に与えた場合の結果であるが、位相変化は正しく検出されていることが解る。なお、初期位相差は実際には不明であるため、初期位相差を3度ずつずらした120通りについて実験を行い、その全てで正しく検出されることを確認した。

表2 位相変化検出結果（初期位相差40度の場合）

画素値	1フレーム前との差	2フレーム前との差	3フレーム前との差	4フレーム前との差	5フレーム前との差	6フレーム前との差	位相変化発生位置	検出結果
-0.44	-0.03	-1.23	0.00	-0.03	-1.23	0.00		
0.79	1.23	1.20	0.00	1.23	1.20	0.00		
0.63	-0.16	1.07	1.04	-0.16	1.07	1.04	-120	
-0.42	-1.04	-1.20	0.03	0.00	-1.20	0.03		
-0.44	-0.03	-1.07	-1.23	0.00	-0.03	-1.23		-120
0.79	1.23	1.20	0.16	0.00	1.23	1.20		
0.82	0.03	1.23	1.23	0.19	0.03	1.26	120	
0.79	-0.03	0.00	1.23	1.20	0.16	0.00		
-0.42	-1.20	-1.23	-1.20	0.03	0.00	-1.04		
-0.44	-0.03	-1.23	-1.26	-1.23	0.00	-0.03		120
-0.30	0.15	0.12	-1.08	-1.11	-1.08	0.15	120	
-0.44	-0.15	0.00	-0.03	-1.23	-1.26	-1.23		
0.79	1.23	1.08	1.23	1.20	0.00	-0.03		
-0.42	-1.20	0.03	-0.12	0.03	0.00	-1.20		120
-0.44	-0.03	-1.23	0.00	-0.15	0.00	-0.03	位相変化なし	
0.79	1.23	1.20	0.00	1.23	1.08	1.23		
-0.42	-1.20	0.03	0.00	-1.20	0.03	-0.12		0
-0.44	-0.03	-1.23	0.00	-0.03	-1.23	0.00		

7.3 符号伝送法

0度、120度、-120度の3種類の位相変化を用いて情報を伝達する方法として、次の2とおりが考えられる。

(a) 可変長符号伝送

位相変化120度、-120度を1、0とし、位相変化0を伝送のストップとして扱うことで可変長符号を伝送できる。このときの入力から検出までに要するフレーム数は(伝送ビット数+1)×4フレームである。例えば、3ビット情報を伝送する場合の伝送時間は60fpsの場合で約270mSとなる。

(b) 固定長符号伝送

位相変化120度、0度、-120度をそれぞれ1、0、-1とした3値符号を伝送できる。ただし、位相変化が生じた場合を最初の符号とするため、最初の符号は1か-1に限定され

る。入力から検出までに要するフレーム数は(伝送符号数)×4フレームである。例えば、マウスの右ボタンと左ボタンのクリック情報だけを送る場合、それぞれを1と-1に割り当てると4フレーム(60fpsで67mS)でクリック情報を伝送できる。

本手法の特長を以下にまとめる。(1)同期信号が不要。(2)レーザーポインタ内部に簡単な回路を組み込むことで実現可能。(3)数フレームという短時間の情報を用いるため何れかの周波数が多少(1%程度)変動しても問題ない。(4)判定処理は負荷の軽い処理(引き算, 比較)で実現できる。

8. まとめ

本稿では、変調光検波方式イメージセンサを用いて、レーザーポインタを利用したPC入力システムを提案し、実験を行った。まず、変調光検波方式イメージセンサと同期したレーザーポインタを用いることで、背景光に対してロバストな位置検出が可能であることを示した。また、レーザーポインタを同期しない場合でも、変調光検波方式イメージセンサの撮影周期をずらすことで位置検出が可能であることを示した。さらに、同期していない場合でも、レーザーポインタの強度変調信号の位相を変調することで、PCを制御するための多ビット情報の伝送が可能であることを示した。

今後は同期信号を用いないシステムを実際に構築し、実用的なPC入力システムを実現する予定である。

参考文献

- [1] 河原達也, 石塚健太郎, 堂下修司, "発話検証用モデルを用いた音声操作プロジェクト," 電子情報通信学会技術研究報告, SP98-5, 1998.
- [2] 佐藤周平, 柴山悦哉, 高橋伸, "指示棒の認識を用いたプレゼンテーションシステムの構築," コンピュータソフトウェア, Vol.17, No. 3, pp.269-272, 2000.
- [3] プレゼンテーション用ワイヤレスリモコン EAM-ULW1, コクヨ, <http://www.sapulife.com/cat01/acces/item/eamulw1.html>
- [4] J.Ohta et al, "An image sensor with an ir-pixel demodulation function for detecting the intensity of a modulated light signal," IEEE Trans Electron Device, Vol. 50, pp166-172, 2003.
- [5] 「デジタル画像処理」, CG-ARTS 協会, p. 205.
- [6] 山本幸司, 大屋雄, 香川景一郎, 太田淳 "128×128画素変調光検波 CMOS イメージセンサ," 第10回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp193-196, 2004.