レーザーポインタを用いたマウス機能実現の一手法

Method to Realize Mouse Functions Using Laser Pointer

和田 敏治^{†1,*}, 正会員 高橋 正信^{†1}, 正会員 香川 景一郎^{†2}, 正会員 太田 淳^{†3}
Toshiharu Wada^{†1,*}, Masanobu Takahashi^{†1}, Keiichiro Kagawa^{†2} and Jun Ohta^{†3}

Abstract We propose a method to realize mouse functions using a laser pointer. A function to automatically move the mouse cursor to laser spots on a screen was realized. Restrictions on illumination environment were overcome using a frequency-demodulation image sensor. Laser spots were successfully detected at a luminance as high as several thousands lx. Methods to detect spots and transmit information, such as a mouse click without using a synchronous signal, were proposed and then verified by experiments. Such asynchronous operations make a signal line to a laser pointer unnecessary. Identifying a laser pointer among a plural number of laser pointers is also possible. The proposed system realizes smoother operability in presentations as well as some human-computer interaction applications.

キーワード：ヒューマンインタフェース，レーザーポインタ，変調光検波，プレゼンテーション，PC入力装置，マウス

1. ま え が き

近年コンピュータとプロジェクタを用いたプレゼンテーションが一般化している。またグループインタラクションにおいても大画面を用いて多人数で行うものが登場してきている。これらの状況では従来のマウスとは違う、より適した入力装置が必要になる。

プレゼンテーションの場合、指示棒あるいはレーザーポインタを用いて位置の指示を行い、コンピュータの付近で従来のマウスを操作するか、あるいは、コンピュータ操作を話者とは別の人が行うようにする手法が一般的であった。しかし、話者がコンピュータの位置から離れられない場合や、状況に合わせてスライドをすぐに変更できないなどの問題がある。この問題を解決する入力装置として、レーザーポインタによる位置指示とともに無線通信によってスライ

ド操作が可能なものが存在する¹⁾。また、別の手法としては、スクリーンとは別の場所にスライド操作のコマンドを示したボードを用意し、そのボード上の操作コマンドをレーザーポインタで指示することで、スライド操作を可能としたものがある²⁾。これらの装置は、単純なプレゼンテーションにおいてはスライド操作のみで充分であるが、スライド以外の資料を用いる場合や説明のために線などを描画したい場合など、マウス操作を必要とする場面では利用できない。マウスの基本的な機能としては、2次元のカーソル移動と2個のクリック機能がある。まず、この機能を有し遠隔で使用できるものとしてワイヤレスマウスがある。しかし、ワイヤレスマウスは操作するために台が必要となる問題がある。この点を解決したものとしては、無線通信の機能にカーソル操作を加えたもの³⁾が存在するが、操作性が悪くファイルの位置にカーソルを移動するような操作や図形を描くには時間がかかってしまう。また、無線通信を用いるインタフェースの有効距離は、市販されているものでは最大10m程度であるが、広い会場では不十分な有効距離である。

グループインタラクションでは、プレゼンテーションとは違い入力者が複数となる場合があるため、プレゼンテーションの場合のようなボタン入力とカーソル位置操作に加え、入力装置を識別する機能が必要となる。

われわれは、マウスの機能をレーザーポインタに付加することで、距離の制約やカーソル移動の不便さの問題を解決できると考えている。具体的な目標としては、スクリーンを指し示したレーザーポインタのスポットの位置にマウスカ

2007年8月6日受付，2008年12月26日最終受付，2009年3月12日採録

^{†1} 芝浦工業大学 大学院 工学研究科

(〒135-8545 江東区豊洲3-7-5, TEL 03-5859-7000)

^{†2} 大阪大学 大学院 情報科学研究科

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1, TEL 06-6879-7869)

^{†3} 奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科

(〒630-0192 奈良県生駒市高山町8916-5, TEL 0743-72-6054)

^{†1} Graduate School of Engineering, Shibaura Institute of Technology

(3-7-5, Toyosu, Koto-Ku, Tokyo, 135-8545, Japan)

^{†2} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

(2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan)

^{†3} Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology

(8916-5, Takayama, Ikoma, Nara, 630-0192, Japan)

* 現在，株式会社東芝

カーソルを移動する機能、および、レーザポインタの光を用いてクリックや入力装置識別の情報を伝送する機能を実現することである。これらの機能によって基本的なマウスが持つ、カーソル移動機能、クリック入力機能に劣らない操作性を実現できることに加え、伝送する情報の使い方でグループインタラクションのような入力者が多数存在し、複数のポインタのIDによる識別が必要な場合にも適用できるものと考えている。また本手法では、スクリーン上のレーザポインタのスポット位置とマウスカーソルの位置が一致するため、大きなマウスカーソルを表示することで、レーザポインタの問題である視認性の低さを解消することが可能である。さらに、レーザ光はほとんど拡がらずに遠距離まで到達するため、無線通信にあるような10m程度という距離の制限を緩和できる可能性がある。

関連研究としては、レーザポインタの位置を計測してカーソルの位置として利用するものがある⁴⁾。これはカーソルを移動するだけで情報の伝送を行うことは想定されていない。この他、画面操作やボタン入力の代わりとして、レーザ光の軌跡のパターンを用いる手法^{5) 6)}があるが、これらはカーソル位置操作と情報伝送を同時に行えない問題とレーザ光を個別に識別することができない問題がある。レーザ光を個別に識別する手法として、レーザ光を変調してIDを伝送する手法⁷⁾があるが、位相をランダムに変更して成功するパターンのみを使うため、伝送に多数のフレームが必要となり時間がかかる問題や、ID以外の情報を伝送するために無線装置が別途必要となる問題がある。同期信号を用いてこれらの問題を解決している手法⁸⁾があるが、同期信号伝送用の信号線をレーザポインタに接続する必要があるため、使用範囲が限定されるとともに利便性も悪くなる。また、上述のすべての手法では、レーザスポットの位置を画像中の輝点として検出しているため、背景光が輝点と同程度まで明るくなると検出に失敗する問題がある。

われわれはこれらの問題を解決するため、変調光検波方式イメージセンサ^{9) 10)}を用い、非同期での情報伝送を可能とする手法を提案する。まず、このセンサにより背景照度の高い環境においても安定的なレーザスポットの検出を可能にした。また、レーザ光の強度変調とイメージセンサ側の駆動信号を工夫することで非同期での情報伝送を実現し、同期のための信号線を不要とした。

本論文では、まず2章で変調光検波方式イメージセンサの原理と構造について説明し、3章では手法について説明する。4章で実験結果について述べ、本手法の有効性を示し、最後に5章で具体的な情報伝送の方法について述べる。

2. 変調光検波方式イメージセンサの原理と構造

変調光検波方式イメージセンサ^{9) 10)}とは、図1のようにカメラの撮影と同期した変調光によって照明された画像のみを得るための撮像素子である。

図2にこのセンサの画素回路の構造を示す。画素回路は

図1 変調光検波方式イメージセンサの機能
Function of the frequency-demodulation CMOS image sensor.

図2 画素回路図
Pixel circuit.

通常のPG (Photo Gate) 方式イメージセンサ2個を、PGを共有する形にして組合せた構造となっている。つまり、受光部であるPG1個に対して、信号電荷蓄積部であるFD (Floating Diffusion) を2個有する構造となっている。PGに蓄積された光電荷は、TX1またはTX2を駆動させることでFD1またはFD2に転送される。

変調光のみを検出するには、変調光のパルス変調のON/OFF周期に同期してTX1およびTX2を駆動し、FD1に変調光がONの場合の電荷を、FD2に変調光がOFFの場合の電荷をそれぞれ蓄積すればよい。これを1フレームの間に繰り返し行う。この繰り返し回数が多いほど背景光が変化した場合の影響を軽減することができる。そしてフレームの最後にOUT1とOUT2からその画素の電荷を取出すことで、図1に示すように、FD1から背景光と変調光を合わせた画像を、FD2から背景光のみの画像を得ることができる。この2枚の画像の差を取ることで変調光のみで照明された画像を得ることができる。

なお、画素サイズは $42\mu\text{m} \times 42\mu\text{m}$ 、開口率は13.6%、チップサイズは $4.2\text{mm} \times 4.8\text{mm}$ で、有効画素数は64画素 $\times$ 64画素である。

3. 手 法

3.1 システムの概要

システムを構成する主な装置はレーザポインタ、イメージセンサ、プロジェクタ、PCである。図3は各装置の配置のイメージを示している。まず、プロジェクタが映し出す

図3 システムの概略図
Outline of the system.

PCの画面全体を捉えることが可能な位置にイメージセンサを設置し、画像を撮影する。レーザポインタの光を、一定の周波数でON/OFFを繰り返すように強度変調することにより、レーザポインタの光のみを検出することができる。次に、撮影した画像からレーザスポットの位置を検出し、その位置へマウスカーソルを移動させる。クリックなど情報伝送は強度変調の位相を変更することで実現される。これにより、無線や信号線を用いることなく、レーザポインタの操作のみでカーソルの移動とクリックという、基本的なマウスと同等の機能が実現される。

以下、画像撮影から情報伝送までの一連の処理について説明する。

3.2 画像撮影

2章で説明した変調光検波方式イメージセンサの通常の撮影方法では、検出対象である変調光が点灯する間のみFD1に電荷を蓄積する。このため、イメージセンサのFDの切替えと変調光の切替えを同期させるための信号が必要となる。すなわち、レーザポインタとイメージセンサの間に信号線が必要となる問題がある。そこでわれわれは、変調光の切替え周波数と、FDの切替え周波数のみを一致させれば、両者に任意の位相差が存在しても変調光成分を検出できる手法を考案した。

図4に同期信号を用いた場合にFD1, FD2へ蓄積される電荷の時間変化を示す。FD1への電荷蓄積と変調光は完全に同期しており、FD1とFD2の差から変調光の成分(黒色)のみを得ることができる。これが変調光検波方式イメージセンサの通常の撮影である。一方、図5は非同期の場合、すなわち変調光とFDの切替えに位相差 τ が存在する場合を示している。このとき変調光の成分は、FD1とFD2に τ に依存する比率で振り分けられる。したがって、FD1とFD2の差は、図6に示すように τ に依存して変化する。図6の縦軸は差成分(FD1から得られる電圧 - FD2から得られる電圧)を、その絶対値の最大値で割って正規化したものである。

図4 同期信号を用いた場合の蓄積電荷
Accumulation charge in synchronous capturing.

図5 非同期の場合の蓄積電荷
Accumulation charge in asynchronous capturing.

図6 位相差 τ と正規化した差成分の関係
Normalized difference signal as a function of phase difference.

り、理論値とともに実験値も示している。なお、FD1, FD2に蓄積される背景光の電荷は τ に依存せず同一となるため、差分をとることで同期の場合と同様にその影響を除くことができる。図6より、 τ が 90° および 270° のとき差成分は0となり、変調光が検出されなくなる。この問題を

図7 3フレームの絶対値の平均と最大
Average and maximum of absolute values of 3 frames.

解決するため、FDの切替えタイミングを1フレームごとに周期の1/3ずつずらして撮影する。これは、最初のフレームでの位相差を初期位相差 τ_0 とすると、 τ_0 、 τ_0+120° 、 τ_0+240° の位相差で順番に撮影することに相当する。これにより、連続する3フレームで差成分が0となるのは多くても1フレームのみとなり、3フレームの平均あるいは最大値を用いることで、変調光の検出が可能となる。

初期位相差 τ_0 における3フレームの絶対値の平均値および絶対値の最大値を図7に示す。検出される変調光の強度は、同期信号を用いた場合と比較して平均で0.44程度以上、3フレーム中の最大値では0.66程度以上を期待することができる。

以下ではこの撮影方法を非同期撮影モードと呼ぶ。また、後述する手法および実験の中でFD1とFD2の電荷の和から得られる画像を用いており、これは一般的な撮像素子で撮影できる画像とまったく同じものを意味している。これを一般撮影モードと呼ぶ。

3.3 レーザスポットの位置検出

レーザ光のスポット位置を検出する際には、3.2節で説明した非同期撮影モードを用いるため、3フレーム以上の平均画像を用いる。この平均画像には、理論的にはレーザ光のスポットのみ撮像されているため、画素値が最大となる位置をサブピクセル精度で検出する。具体的には、画像中で画素値が最大の画素を中心として、その周囲を含む9画素から重心位置を求めることでスポット位置の画像座標を求める。

3.4 座標変換とカーソル移動

検出されたレーザスポット位置(画像座標)にマウスカーソルを移動させるため、PCの画面上で対応する位置(PC画面座標)を求める。このため、画像座標とPC画面座標を対応付けるためにキャリブレーションを予め実施しておく。一度キャリブレーションを行えば、カメラ、プロジェクタ、スクリーンの位置関係が変わらない限り繰り返し行う必要はない。

キャリブレーションの手法としては、画面全体にわたって順番に輝点を表示して画像座標とPC画面座標との対応表を作る。具体的には、PC画面に黒を背景として白色の正方形を表示し、一般撮影モードを用いて得られた画像から画

素値が最大となる画像座標をサブピクセル精度で求める。求めた画像座標と正方形中心のPC画面座標との組を、座標対応表に記録する。このキャリブレーションは画面全体にわたって行うため実験環境では3分程度を要した。

検出したレーザ光の画像座標から対応するPC画面座標を求める際は、座標対応表から画像座標上で近傍の3点を求め、それらの線形補間でPC画面座標を求める。

そして、求めたPC画面座標の位置にマウスカーソルを移動させる。カーソルの移動にはWindows APIを用いる。

3.5 情報伝送

クリック、スクロール、レーザポインタのIDといった情報の伝送は、レーザポインタ光の強度変調の位相を変化させ、その変化を非同期撮影モードで得られる画像から検出することで行う。

3.2で説明したように、非同期撮影モードでは1フレームごとにFDの切替えタイミングを1/3周期分(位相 120°)ずつずらして撮影する。このため、通常は3フレームおきに位相差 τ が同じ値となり、変調光成分も同じ値になる。このとき、レーザ光の強度変調の位相が $+120^\circ$ または -120° 変更されると、 τ が同じ値になるフレームはレーザ光の位相変更を境として1フレーム前、または後にずれることになる。すなわち、同じ強さの変調光成分が得られるフレームが1フレーム前後することになる。この変化を検出することで、 $+120^\circ$ の位相変化、 -120° の位相変化、過去4フレーム以内に位相変化なしという3種類の状態のいずれであるかを知ることができる。この4フレームというのは、位相変化があった場合に位相変化があったフレームから4フレーム以内に位相変化の有無が検出できることに由来する。

具体的な手法について説明する。検出にはレーザ光の位相変化の有無を調べるフレームを n として、 $n-3$ から $n+3$ までの7フレームのスポット位置の画素値を用い、それらの差分を利用する。表1の太い枠線の内側は、 $n-3$ から $n+3$ までのフレームを用いて可能な差分の組合せを示している。表1において、 $S(x)$ はフレーム x におけるスポット位置の画素値を意味し、 $S(x)-S(x-1)$ は1フレーム前と

表1 位相変化を検出する際に0になる値
(位相変化がフレーム n で発生するとき)

Difference of difference signals which becomes 0.
(in case of phase shift at frame n).

フレーム No. x	$S(x)-S(x-1)$	$S(x)-S(x-2)$	$S(x)-S(x-3)$	$S(x)-S(x-4)$	$S(x)-S(x-5)$	$S(x)-S(x-6)$
$n-3$						
$n-2$						
$n-1$						
n			(a)			
$n+1$		(b)	(a)	(c)		
$n+2$			(a)	(c)	(b)	
$n+3$			(a)	(c)	(b)	

(a) 位相変化0度の時に0になる
(b) 位相変化120度の時に0になる
(c) 位相変化-120度の時に0になる

の差を意味している。検出には表に (a), (b), (c) で示した部分の値のみを用いており、その他の値についてはどのような値を取っていても検出に影響しない。

まず、位相変化がない場合について考える。この時あるフレーム x とフレーム $x-3$ は同じ画素値になるため、表1の(a)で示した箇所が0になる。同様に、フレーム n においてレーザ光の位相が -120° 変化すると、 n フレームより前のフレームと n フレームより後のフレームで同じ画素値が現れるのは4フレーム差の場合となり、表1に(b)で示した箇所となる。同様に、位相が $+120^\circ$ 変化した場合には2フレーム差か5フレーム差の位置に同じ値が現れ、表1の(c)が0となる。

実際の検出の際には、(a) 領域、(b) 領域、(c) 領域の各領域内での値の絶対値の平均をそれぞれ E_0 、 E_{120} 、 E_{-120} とし、評価値として判定に用いる。ある一つの評価値が高い値から0近くへ変化し、かつ、他の二つの値が高い値であれば、0近くへ変化した評価値の状態が発生したと判断する。

4. 実 験

4.1 方 法

実験では、レーザ光の強度変調とイメージセンサのFD1/FD2の電荷蓄積切替えとの位相がコントロールできる環境が必要なため、同一のコンピュータにレーザポインタとイメージセンサを接続して計測を行った。制御信号の発生にはPEX-291144 (インタフェース社製) を用いた。各機材の設定は下記の通りである。

- ・使用画素数: 32×32 画素
- ・電荷蓄積周波数 (1/T): 約500Hz
- ・フレームレート: 30fps
- ・PC画面解像度: 800画素 $\times$ 600画素
- ・スクリーン上の投影領域: 70cm $\times$ 53cm
- ・カメラとスクリーンの距離: 約150cm
- ・レーザポインタとスクリーンの距離: 最大約200cm
- ・レーザ光とスクリーンの角度: 鉛直方向 $\pm 60^\circ$ 程度
- ・レーザポインタ: 赤色 (波長670nm), 出力3.0mW
- ・検出用PCのCPU: AMD Athlon XP 2100+

座標変換用のキャリブレーションは、画面に50画素 $\times$ 50画素の正方形を表示して行い、全部で192 (16 $\times$ 12) 点の対応を計測した。なお、3.3節で述べたようにレーザスポットの位置検出には3画素 $\times$ 3画素を用いる。スポットが画素をまたがることを考慮すると、レーザポインタのスポットはイメージセンサの2画素 $\times$ 2画素に対応する領域 (スクリーン上で44mm角) 程度以内であることが望ましい。使用したレーザポインタのレーザ光の拡がり角は0.3mradのため、そのスポット径が44mmとなる距離はスクリーン正面方向で73mとなる。実験では、設置場所の制約からレーザポインタをスクリーンの近くに設置したが、正面方向で70m程度以内であればほぼ同様な結果が得られると考える。

4.2 レーザスポット検出

レーザ光のスポット位置検出の誤差について、非同期撮

図8 一樣な背景の場合の位置検出誤差
Position error as a function of illuminance of background.

影モードと一般撮影モードの比較実験を行った。

まずPC座標上にランダムに8点を定め、評価に用いる基準点とした。次にレーザポインタでいずれかの基準点を照射し、検出した画像座標からそのPC画面座標を算出して基準点とのユークリッド距離を誤差とした。各モードについて8点すべての誤差の平均値を求めた。

また背景は、一樣な背景で背景照度を変化させた場合と、一般的な背景としてWindowsのデスクトップを用いた場合の2種類で実験を行った。

4.2.1 一樣背景の場合

一樣な背景として無彩色 (黒～白) の背景を用い、その明るさを変化させて位置検出誤差を測定した。結果を図8に示す。最も低い背景照度 (約260lx) のときには二つのモードの誤差はほぼ同じであったが、背景照度が上がるにつれ一般撮影モードの誤差が増大し、約1,000lx以上では100画素程度の誤差となった。本実験では、画面座標で約25画素がイメージセンサ上の1画素に相当するため、この誤差はイメージセンサ上で4画素程度に相当する。これは、背景に存在する照度のむらの影響により、レーザポインタのスポット位置とはまったく異なる位置を検出したことにより生じたものである。すなわち、背景照度が明るすぎてスポット位置を検出できなくなったことを意味する。これに対し、非同期撮影モードでは、計測に用いた背景照度の限界である約3,600lxまでのどの背景照度でも位置検出誤差は15画素から25画素程度であり、背景光の影響を大幅に軽減できることが解る。また、イメージセンサ上に換算してほぼ1画素以内の誤差が実現できた。

4.2.2 一般的な背景の場合

一般的な背景として図9のWindowsのデスクトップ画面を用い、位置検出誤差を測定した。このデスクトップ画面の背景は明るいところで約1,500lx、暗いところで約450lxであった。測定した誤差は非同期撮影モードでは20画素と、一樣背景の場合とほぼ同等の結果が得られた。一方、一般撮影モードでは、誤差が200画素を超えまったく異なる場所が検出された。それぞれのモードで撮影された画像を図10に示す。この2枚の画像はイメージセンサから同時に得られ

図9 デスクトップの画像
Desktop Image.

(a) 非同期撮影モード

(b) 一般撮影モード

図10 デスクトップ画像の撮影結果
(画像 (b) 中央の黒点は画素欠陥で、常に画素値0としている)

Captured images for desktop image.

(Black dots in the image (b) are breakdown, and are always set to 0).

図11 評価値の変化と位相変化検出結果
Phase change detection results.

た画像である。非同期撮影モードの画像(図10 (a))では、若干のノイズが含まれているものの、レーザ光のスポットのみが明るく撮影され位置の検出が可能であることがわかる。一方、一般撮影モードの画像(図10 (b))では、非同期撮影モードと同じ場所にあるはずのレーザ光のスポットは、背景の輝度変化に紛れてしまい検出が困難であることがわかる。このときスポット位置として検出されたのは画像下のメニューバーの近辺であった。

4.3 情報の伝送

照度約500lxの様な背景を用い、情報伝送実験を行った。具体的には、位相変化なし、120°の位相変化、-120°の位相変化のいずれかを4フレームに一度行い、その検出結果を評価した。非同期での情報伝送が可能であることを確認するため、初期位相差を0度から350°まで10°間隔で36通り変化させて実験を行った。

図11は、初期位相差30度の場合の評価値 E_0 、 E_{120} 、 E_{-120} の測定結果であり、位相変化の検出結果を示している。縦軸は、表1の差成分 $S(x)$ の最大が1となるように正規化した場合(図6と同様に正規化した場合)の評価値である。この実験では、フレーム15から16で-120°の位相変化、フレーム27から28で+120°の位相変化を発生させており、位相変化が検出された位置を矢印で示している。まずフレーム18で-120°の位相変化が検出されているが、これはフレーム15から16の位相変化に対応するものである。評価値 E_{-120} が0近くまで減少し、他の評価値が高い値を示しており、-120°の位相変化が評価値によって容易に検出できることが確認できる。その後位相変化がないことからフレーム21で位相変化0°が検出される。この場合も、-120°の時と同様に評価値 E_0 の減少とその他の値が高く維持されることが確認できる。さらに、フレーム30で検出される120°の位相変化も同様であり、3種類すべての位相変化が正しく検出された。

また、初期位相差を変えた他の実験でも3種類の位相変化が正しく検出されることが確認され、非同期の情報伝送が可能であることが確認された。

1符号を送るのに位相変化が行われたフレームを含めて4フレームの経過が必要であり、本実験の条件(30fps)

においては画像撮影に約133ms、各フレームの検出処理に約15msかかるため、検出までに最大150ms程度を要する。また、本実験の範囲では検出の失敗は起こらなかった。

5. 具体的な情報伝送の方法

0°, 120°, -120°の3種類の位相変化を用いて情報を伝送する方法としては、例えば、次の2通りの方法が考えられる。

5.1 固定長符号伝送

位相変化120°, 0°, -120°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。例として、操作者が1名の場合で、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を考える。この場合、伝送符号数は1と予め決めておき、右ボタンクリックに符号1(位相変化120°)、左ボタンクリックに符号-1(位相変化-120°)を割当てて。また、レーザーポインタに右ボタンと左ボタンに対応するボタンを設け、ボタンが押されるとレーザー光の強度変調の位相にそれぞれ120°と-120°の変化を与える。レーザー光をスクリーンに投射した状態で操作者が何れかのボタンを押すと、対応する位相変化がレーザー光の強度変調に与えられ、その変化が3.5節に記述した方法により、PC側で検出されて押されたボタンに対応するクリック情報がPCに伝送される。伝送符号数1の場合に情報伝送に要する時間は、今回の実験の条件(30fps)では4.3節に記述したとおり150ms程度である。

一つの符号の伝送には4フレーム必要であるため、ボタンが押され、加えられた位相変化は4フレームの間は一定に保つ必要がある。ボタンが押され続けた場合には、4フレームごとに対応する位相変化を与えることにより、ボタンを押し続けた状態を伝送できる。その状態でレーザースポットの位置を移動させることにより、ドラッグ操作も可能となる。また、5フレーム以上間隔をあけてクリック情報を2回送信することによりダブルクリックも可能となる。

5.2 可変長符号伝送

位相変化120°, -120°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。可変長符号では、ストップビットを検出するまでに伝送されたビット数自体も情報として用い、伝送された各ビットの解釈をビット数に応じて変えることができる。例として、最大3ビットの情報を伝送する場合を考えると、ビット数は1ビット、2ビット、3ビットの3通りとなる。操作者が2名の場合で、各操作者が独立にクリック情報の伝送と水平または垂直方向のスクロール情報を伝送する機能を実現する場合の符号割当て例を表2に示す。

伝送された符号長が1ビットだった場合、その情報はレーザーポインタのIDとして解釈される。例えば、グループディスカッションなどのために複数のカーソルを別々のマウスで操作する状況¹¹⁾においては、検出されたIDは対応する

表2 符号割当ての例
Example of sign assignment.

	情報	120度	-120度
1ビット目	ID	0番	1番

(a) 1ビットの場合

	情報	120度	-120度
1ビット目	ID	0番	1番
2ビット目	クリック	右ボタン	左ボタン

(b) 2ビットの場合

	情報	120度	-120度
1ビット目	ID	0番	1番
2ビット目	スクロール方向	水平	垂直
3ビット目	方向の正負	正方向	負方向

(c) 3ビットの場合

カーソルを識別するために利用することができる。したがって、二つのレーザースポットがスクリーンに投射されていても、各スポット位置にそれぞれに対応するカーソルを移動させることができる。符号長が2ビットだった場合は、クリック情報として解釈される。1ビット目はIDとして解釈されるが、2ビット目は何れのボタンをクリックしたかの情報として解釈され、2名のうち何れの操作者がどのボタンをクリックしたかの情報が伝送される。3ビットの場合はスクロール情報として解釈される。1ビット目のIDに加え、2ビット目、3ビット目でスクロールする方向が伝送される。

情報伝送に要するフレーム数は(伝送ビット数+1)×4フレームであり、伝送を開始してから検出に要する時間は今回の実験の条件(30fps)で、IDのみの伝送(1ビット)に約280ms、IDとクリックの伝送(2ビット)に約420ms、IDとスクロールの伝送(3ビット)に約550msである。

6. む す び

本論文では、変調光検波方式イメージセンサとレーザーポインタを用いてマウス機能を実現する手法を提案した。

レーザーポインタの強度変調は、通常は変調光検波方式イメージセンサと同期させる必要があるが、本手法では同期を不要としたことにより、レーザーポインタに接続する同期用信号線を不要とした。また、レーザー光の強度変調の位相を変化させることで、非同期の状態でもクリックなどの情報を伝送する手法を実現した。実験により、数千lxの背景照度の高い環境下でも安定してレーザー光のスポットを検出できることを示すとともに、クリックなどの情報伝送も可能であることを示した。

われわれの手法は、屋外のような照度の高い場所、ある

いは濃淡変化の激しい背景環境となるプレゼンテーションや、グループインタラクションにおいて有効な入力装置になると考えられる。また、レーザ光の光そのものを用いて信号を送送できるため、クリック情報の伝送だけでなく、複数台のレーザポインタを個別に識別するといった使い方も可能であり、グループディスカッション等でも有効な入力装置になると考えている。

スポット位置の検出精度は、20画素程度と細かな作業にはまだ不十分であるが、今回は原理実証として32×32画素を用いて実験を行ったためであり、今後画素数を増やすことで位置検出精度の大幅な改善が可能と考えている。今後は位置検出精度の改善を行い、本手法が実際のプレゼンテーションにおいて十分な操作性能を発揮可能か検証を行う予定である。

〔文 献〕

- 1) コクヨS&T “サシ-51”, <http://www.kokuyo.co.jp/>
- 2) A. Dekel, S. Kirkpatrick: "Room User Interface (RUI) Design for Laser Based Interaction", CHI 2005 (2005)
- 3) コクヨS&T “EAM-ULW1”, <http://www.kokuyo.co.jp/>
- 4) B.A. Myers et. al.: "Interacting at a Distance: Measuring the Performance of Laser Pointers and Other Devices", in Proceedings of CHI 2002 (2002)
- 5) K. Cheng and K. Pulo: "Direct Interaction with Large-Scale Display Systems using Infrared Laser Tracking Devices", INVIS 2003, CRPIT, 24, pp.67-74 (2003)
- 6) 久松孝臣, 岩淵志学, 三末和男, 田中二郎: “大画面向けインタフェースへのレーザポインタの応用”, 2005年度人工知能学会全国大会 (第19回), 3D1-01 (2005)
- 7) F. Vogt and J. Wong and S.S. Fels and D. Cavens: "Tracking Multiple Laser Pointers for Large Screen Interaction", Extended Abstracts of ACM UIST 2003, pp.95-96 (2003)
- 8) J.-Y. Oh, W. Stuerzlinger: "Laser Pointers as Collaborative Pointing Devices", Graphics Interface 2002, pp.141-149 (2002)

- 9) J. Ohta et al.: "An Image Sensor with an In-pixel Demodulation Function for Detecting the Intensity of a Modulated Light Signal", IEEE Trans. Electron Device, 50, pp.166-172 (2003)
- 10) 山本幸司, 大屋雄, 香川景一郎, 太田淳, 布下正宏, 渡辺國寛: “変調光検波方式イメージセンサにおける変調光撮像画質の改善”, 映像学誌, 57, 9, pp.1108-1114 (2003)
- 11) WunderWorks社 "TeamPlayer", <http://www.wunderworks.com/>

和田 敏治 (わだ としひろ) 2006年, 芝浦工業大学システム工学部電子情報システム学科卒業。2008年, 同大学大学院工学研究科修士課程修了。画像に関わる処理アルゴリズムとシステムに関する研究に従事。現在, (株)東芝に勤務。

高橋 正信 (たかはし まさのぶ) 1986年, 大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。2001年, 芝浦工業大学システム工学部電子情報システム学科助教授。現在, 同大学システム理工学部電子情報システム学科教授。画像処理, 画像認識および応用システムの研究に従事。博士(工学)。正会員。

香川景一郎 (かがわ けいいちろう) 2001年, 大阪大学大学院工学研究科博士後期過程修了。光コンピューティングの研究に従事。同年, 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科助手。ビジョンチップおよびその応用システムの研究に従事。2007年より, 大阪大学大学院情報科学研究科特任准教授。現在, CMOSイメージセンサ応用システム, 空間光通信の研究に従事。博士(工学)。正会員。

太田 淳 (おおた じゅん) 1983年, 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。1992年～1993年, コロラド大学客員研究員。1998年, 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科助教授。現在, 同教授。ビジョンチップおよびフォトニクスデバイスの研究に従事。博士(工学)。正会員。