

カスタム CMOS イメージセンサを用いた 情報家電用ビジュアルマルチリモコン「オプトナビ」

“Opto-Navi,” a Multi-Purpose Visual Remote Controller of Home Information Appliances
Using a Custom CMOS Image Sensor

香川 景一郎† 山本 幸司† 前田 勇希‡ 三宅 康也* 田邊 英樹* 政木 康生*
Keiichiro Kagawa Koji Yamamoto Yuki Maeda Yasunari Miyake Hideki Tanabe Yasuo Masaki
布下 正宏† 太田 淳†
Masahiro Nunoshita Jun Ohta

1. まえがき

近年の様々な製品の情報化の進展により、情報家電の市場が立ち上がりつつあり、様々な情報家電がネットワークで接続されようとしている[1-4]。これにより、近い将来、ホームネットワークを介して、テレビ、HDD レコーダ等の情報家電やパソコンが相互接続され、データの共有、機器間制御が可能になる。このような環境において、我々は、情報家電を簡単に操作できる分かりやすいユーザインタフェースが重要になると考えている。一方で、携帯電話は広く普及し、その多くがデジタルカメラ機能をもつようになっている。我々は、携帯電話のデジタルカメラ機能を利用して、情報家電を、携帯電話のディスプレイ上で視覚的に確認しながら操作できるユーザインタフェースとして「オプトナビ」システムを提案している[5-7]。最近の携帯電話は、IrDA, Bluetooth 等の無線通信機能も搭載しており、機器間通信を円滑に行う能力を有する。特に、複数の情報家電が存在するリビング環境において、操作対象を画像情報で確認しながら直感的に操作できるユーザインタフェースは有用であると考えている。情報家電機器の制御のために、専用コントローラを導入するのではなく、既に広く普及している機器に、機能を追加することで対処できることが望ましい。コントローラの候補として、他に PC やゲーム機があるが、広く普及しており、画像情報から直感的に操作

できるインタフェースを提供できる可能性があることから、携帯電話が最適であると考えている。また、家庭でもメールの着信を確認したり、すぐに電話に出たりするために、手の届く範囲に携帯電話を置くことが多い。機器を操作したい時に、すぐに手にできるということから、携帯電話をコントローラとして利用することは受け入れられやすいと思われる。一方、イメージセンサは、し烈な高画素化競争の結果、画素サイズが光学限界に達しようとしており、画素数以外の差別化が必要となりつつある。オプトナビ用イメージセンサは、通常の CMOS イメージセンサの構造に極めて近いオーバヘッドが少なく、機能的な差別化技術となる可能性がある。

2. 「オプトナビ」システム

Fig. 1 に「オプトナビ」システムの概念図を示す。情報家電は LED から数 100 Hz でそれぞれの ID を送信する。携帯電話に搭載されたカスタムイメージセンサを用い、通常画像をリアルタイムに撮像しながら ID を高速フレームレート読み出しで受信する。受信した ID を撮像した背景画像上に重ねてディスプレイ上に表示することにより、ユーザはディスプレイ上で対象機器を視認しながら操作することができる。実際のデータ通信は携帯電話、情報端末に搭載された有線・無線 LAN, IrDA, Bluetooth, ZigBee, Wireless USB 等の高速通信媒体を用いて行う。このとき、機器の識別のためにイメージセンサにより取得した ID を利用する。

3. ID 受信方式

3.1 従来の ID 受信センサ

通常のイメージセンサは 15~30 fps 程度のビデオフレーム

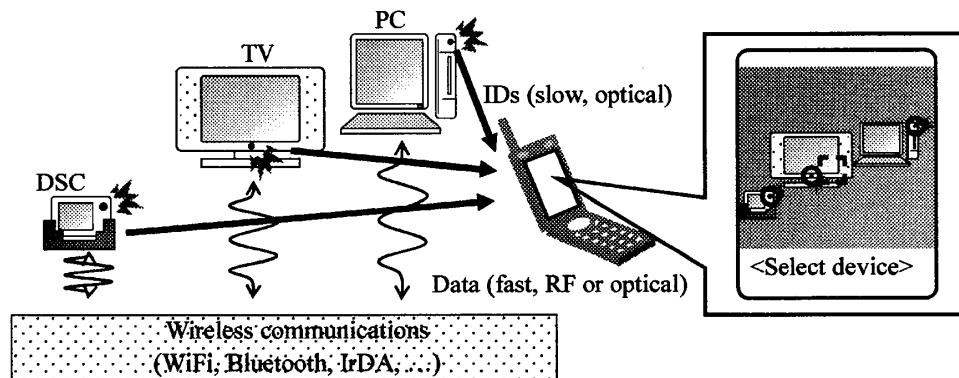


Fig. 1. Configuration of the “OPT-NAVI” system.

† 奈良先端科学技術大学院大学

‡ 独立行政法人 科学技術振興機構 研究成果活用プラザ大阪

* 船井電機㈱

レートで撮像するため、数 100 Hz の ID を検出することができない。これまでに、拡張現実システムのための ID 受信機能を有するイメージセンサは幾つか報告されている[8, 9]。これらのイメージセンサは、高速フレームレート撮像や画素内の ID 受信回路により ID を受信する。前者の方式では、通常のイメージセンサと同様の画素構造を用いているため高画素化に適しているが、全画素を高速に読み出すため、消費電力が増加する問題がある。また、後者の方式では、画素内の ID 受信回路により、高速・高 S/N の ID 受信が可能となるが、画素内の回路により画素サイズや消費電力の大きさに問題がある。そこで、我々の提案する「オプトナビ」システムに向けたイメージセンサでは、高画素化に向けて簡単な画素回路構成を用いるとともに、低消費電力での ID 受信を目指している。

3.2 複数部分領域高速読み出し方式

我々は、低消費電力での ID 受信を実現する方法として、複数部分領域高速読み出し方式を提案している。この方式ではまず、ID を送信する LED に 5 Hz 程度のパイロット信号を重畳することにより ID を受信している画素領域 (ROI: Region-Of-Interest) 位置を検出する。この処理は、通常のビデオレート(30 fps)で行うため、消費電力は増加しない。

通常の場合では、ID 画像領域は、全画素数に比べると非常に少ない。しかし、LED がカメラの近くにあったり、周辺の物体に映りこんだりして、ID 像が大きい状況も考えられる。そのような場合でも、ID を取得するためには、輝度値の空間分布ではなく、ID 像全体での輝度値の時間変化のみを取得すれば十分である。したがって、画像の飛ばし読みすることにより、読み出す ID 画像を小さくすることができる。ID 画像の画素数が全画素数に対して十分少ない場合、通常画像信号を多数の小グループに分割し、ID 画像信号と交互に読み出すことで、読み出しフレームレートを 2 倍にするだけで、ID 画像を読み出す実効フレームレートを高速化できる。消費電力をビデオレート時の 2 倍程度に抑えたまま、ID 画像を高速に読み出すことが可能となる。

D個に分割した 1 行分の通常画像信号と ID 画像の 1 行分の信号を交互に読み出すとする。ID 画像中の画素数は全画素数に比べて少ないので、交互に読み出していくと、ID 画

1	2	3	6	7	8
	ID#1				
4, (11), 24, 44	5, (12), 25, 45	13	16	17	18
				ID#2	
9, (21), 29, 49	10, (22), 30, 50	23	26	14, (27), 34, 54	15, (28), 35, 55
31	32	33	36	19, (37), 39, 59	20, (38), 40, 60
41	42	43	46	47	48
51	52	53	56	57	58

Fig.2. Readout sequence.

像のフレームレートは通常画像のフレームレートに比べ早くなる。ID 画像のフレームレート F_{ID} は次式で表される。

$$F_{ID} = F_{image} \times \frac{N_Y}{N_{ID,max} \times N_{ID,Y}} \times D \quad (1)$$

ここで、 F_{image} は通常画像のフレームレート、 N_Y は垂直画素数、 $N_{ID,max}$ は同時に受信可能な最大 ID 数、 $N_{ID,Y}$ は 1 つの ID 中の垂直画素数、 D は通常画像の水平分割数を示している。

Fig. 2 に、提案する読み出し方法の例を示す。 $N_Y = 6 \times N_{ID,Y} = 6$ 画素、水平分割数 $D = 2$ とする。太枠内の画素が ID を受信しているとする。枠内の数字は、画素の読み出し順を示している。通常画素 3 画素分と、ID 1 行分 (=2 画素) を交互に読み出す。この結果、1 画面を読む間に、それぞれの ID は 3 回読み出されており、通常画像読み出しに比べて、ID 読み出しが高速になっていることがわかる。なお、括弧付の数字は、通常画像モードでは、ID 画素は読み飛ばしていることを示している。

イメージセンサの設計例として、 $F_{image} = 30$ fps、 $N_Y = 280$ (QVGAで、垂直ブランキング期間を考慮した場合)、 $N_{ID,max} = 7$ 、 $N_{ID,Y} = 5$ 、 $D = 5$ とすると、 $F_{ID} = 1.2$ kfps となる。つまり、30 fps で通常撮像を行いながら、同時に 7 つの ID を 1.2 kfps で検出可能である。

4. 「オプトナビ」に向けたイメージセンサ

Fig. 3 に画素回路図を示す。画素回路は通常の 3-Tr タイ

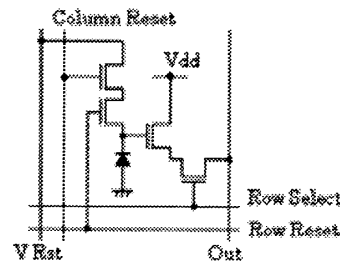


Fig. 3. Pixel circuit.

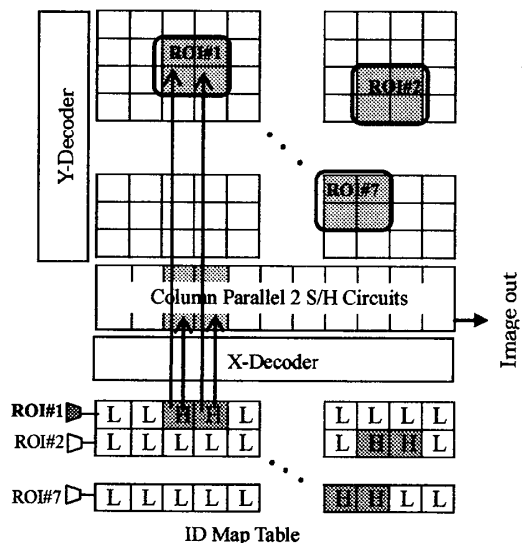


Fig. 4. Block diagram of "OPT-NAVI" image sensor.

プ APS (Active Pixel Sensor)に1つのトランジスタ (Column Reset) を追加した単純な構成であり、高画素化に適している。追加した Column Reset トランジスタは任意座標の画素のみを読み出すために、XY アドレス方式リセットを可能にするために必要である。ID 画素を読み出す際、読み出し直後にリセットする必要がある。通常の行リセットでは ID と同じ行にある通常画像の画素がリセットされてしまうが、Fig. 3 の画素構成により、この問題を回避できる。

Fig. 4 に「オプトナビ」用イメージセンサのブロック図を示す。通常画像信号と ID 画像信号を交互に読み出すために、1 列に 2 つのサンプル・ホールド(S/H)回路を有する。ID マップテーブルは、[水平画素数] × [同時受信可能な最大 ID 個数] 分の 1-bit メモリアレイである。ID マップテーブルのデータには、パイロット信号により外部で検出された、ID を受信する画素領域の位置情報を書き込む。ID 信号読み出し時には、ID マップテーブルのデータを参照して、ID を受信している ID 画素のみをリセットする。また、ID 画素のある列並列回路のみへ電力供給することにより、消費電力を抑制する。オプトナビセンサは、通常の CMOS イメージセンサの構造に極めて近い。オーバーヘッドとして、ID マップテーブル、S/H 回路がもう 1 組必要、画素を構成するトランジスタ数が 1 つ増加する。

5. 試作および実験結果

0.35- μ m CMOS 2P-3M プロセスを用い、オプトナビシステムに向けたイメージセンサを試作した。Fig. 5 および Table 1 に外観、諸元および特性を示す。制御には FPGA を用い、デジタル I/O ボードを用いて、PC に画像を取り込み、

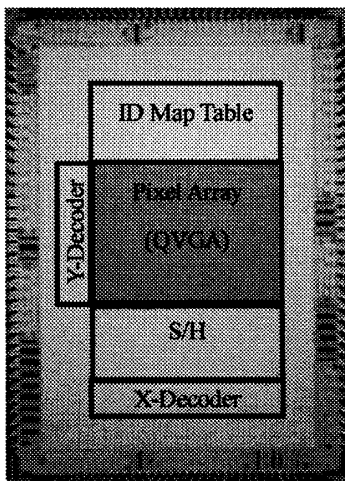


Fig. 5. Photography of the fabricated image sensor.

Technology	0.35- μ m CMOS 2P 3M
Pixel count	QVGA (effective area: 320×240)
Chip size	4.2 x 5.9 mm ²
Pixel size	7.5 μ m sq.
Frame rate (scene)	30 fps
Frame rate (ID)	1.2 kfps/ ID
Number of detectable IDs	7 (max)
Power dissipation	3.6 mW (measured)

処理・表示を行った。通常画像のフレームレートは約 30 fps とした。Fig. 6 に、30 fps で撮像した通常画像の例を示す。

Fig. 7 に ID 検出から受信までの経過を示す。最大 ID 受信数は、試作センサで対応している最大数である 7 とした。ID 画像の撮像フレームレートは、ID それぞれに対し、1.2 kfps とした。ID 信号は赤色 LED を用いた ID 送信モジュールから送信した。最終的には近赤外 LED を用いるが、今回は、扱いやすい可視波長を使用した。ID 送信モジュールからは、400 Hz で変調した 2 値信号を送信した。送信データとして、4 ビットの 2 値データの頭にプリアンプル 11111110 を付加し、マンチェスタ符号化したものを用いた。マンチェスタ符号化後の 1 ビットの送出時間は 2.5 ms であり、1 ビットを ID 画像 3 フレームで受信するように設定した。ID 送信を 100 ms ごとに ON/ OFF することで、ID に 5.0 Hz のパイロット信号を重畳した。今回は、1 秒間に 4 ビットのデータを繰り返し 5 回送信した。実験では、部屋の中に 3 つの ID 送信モジュールを配置し、異なる ID (2, 9, 10) を送信した (Fig. 7(a))。カメラと ID 送信モジュールの距離は、最近接で約 1 m、最も遠いもので約 4 m とした。

Fig. 7(b)は、通常撮像モード (30 fps) で取り込んだ連続する画像 16 フレームについて、各画素に対して高速フーリエ変換を施し、5.0 Hz 成分と DC を除くその他の周波数成分の合計のパワー比を計算し、それを閾値処理により 2 値化した結果である。3 つの ID 光源が検出されていることがわかる。この 2 値画像に対して、連結領域を検出し、孤立しているそれぞれの領域を ID とした。各々の ID 領域内において、2 値化前の値に対してピーク検出を行い、ピーク位置を ID 位置とした。

続いて、検出した ID 座標を、FPGA を介してイメージセンサの ID マップテーブルを設定した。各 ID の読み出し領域は 5×5 画素とした。これら 3 つの ID 信号について、ID 画像の各フレーム内で計算した画素値の総和の時間波形を Fig. 7(c)に示す。これらの波形に対して閾値処理を行って 2 値化し、復号処理を行って、ID を取得した。Fig. 7(d)に、通常画像に取得した ID を重ねて表示した結果を示す。これにより、4 ビットの ID 値が取得できていることがわかる。

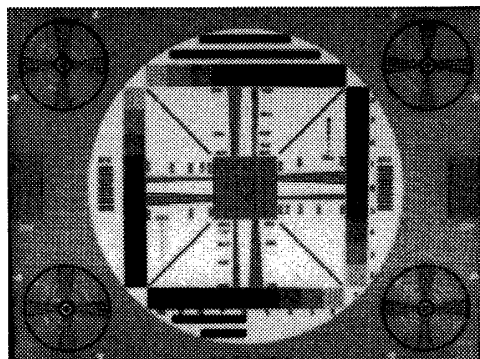


Fig. 6. An example of the captured picture.

6. まとめ

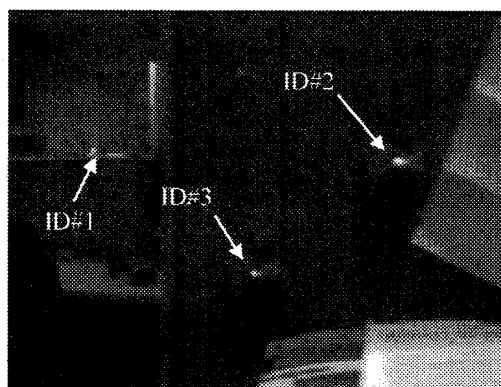
情報家電を操作するビジュアルユーザインターフェイスとして「オプトナビ」システムについて述べた。このシステムでは、ID受信機能をもつイメージセンサを組み込んだ携帯電話を、情報家電を操作するビジュアルマルチリモコンとして用いる。簡単な画素構造を用い、低消費電力でID受信可能な高画素イメージセンサを実現するため、複数部分領域高速読み出し可能な読み出し方式センサアーキテクチャを提案した。また、0.35- μm CMOS プロセスで QVGA イメージセンサを試作し、動作検証を行った。その結果、30 fps で通常撮像を行いながら、ID を 1.2 kfps/ID で読み出し可能であることを示した。その時の消費電力は 3.6 mW であり、低消費電力を実現できた。400 Hz の ID 信号に 5.0 Hz のパイロット信号を重畳して、4 ビットの ID を 1 秒間に 5 回送信した。パイロット信号・ID 信号の検出を行うことで、3 つの ID を同時に受信して通常画像にオーバーラップして表示することができた。今後、この ID を利用し、冒頭で述べたマルチリモコンシステムを構築して行く。また、本イメージセンサのリモコン以外への応用として、例えば、博物館などの展示品の解説をするビジュアルナビゲーション端末や、ターゲットトラッキングシステムなどへの応用も模索して行く予定である。

謝辞

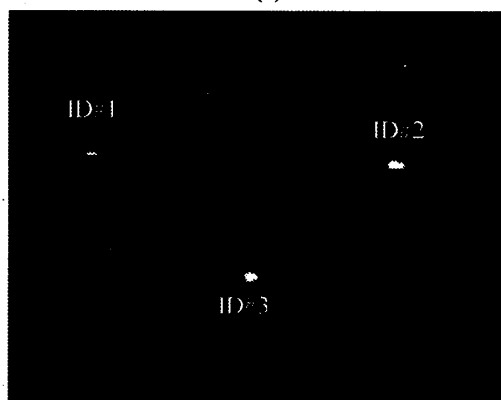
本研究は、(独) 科学技術振興機構 研究成果活用プラザ 大阪の助成により行った。

参考文献

- [1] ECHONET Web サイト <http://www.echonet.gr.jp/>
 [2] DLNA Web サイト <http://www.dlna.org/>
 [3] HAVi Web サイト <http://www.havi.org/>
 [4] UPnP Web サイト <http://www.upnp.org/>
 [5] 香川他, 「情報家電のビジュアルマルチリモコン: 光ナビゲーションの提案」, Proc. of Optics Japan 2004, pp.112-113, (Nov. 2004)
 [6] K. Yamamoto *et al.*, "A CMOS Image Sensor with High-Speed Readout of Multiple Region-of-Interests for an Opto-Navigation System," Electronic Imaging 2005, 5677-12 (Jan. 2005)
 [7] 山本他, 「「オプトナビ」システムに向けた 30 fps 通常画像・1 kfps ID 画像同時撮像可能な CMOS イメージセンサ」, 映情学技報 29, 24, pp.9-12 (Mar. 2005).
 [8] 松下他, 「ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ」, 情処学論, 43, 12, pp.3664-3674 (Dec. 2002).
 [9] Y. Oike *et al.*, "A Smart Image Sensor with High-Speed Feeble ID-Beacon Detection for Augmented Reality System," Proc. of IEEE European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC), pp.125-128 (Sep. 2003)



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7. (a) A scene image, (b) the image after detection of 5.0-Hz pilot signals, (c) waveforms of the ID signals, and (d) the scene image superimposed by the received ID data.