

眼球反射を用いた光通信システムの提案

光藤 雄一^{†‡} 茂木 健一郎[‡]

[†] 電気通信大学 情報システム学研究科
東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

[‡](株) ソニーコンピュータサイエンス研究所
東京都品川区東五反田 3-14-13 高輪ミュージビル 3F

Real Eye Communicator は、ユーザの眼球反射を介して光空間通信を行う通信機である。このような型式を用いる事により、R.E.C. は計算機資源を使用することなくユーザから見えている送信器を自動的に判別して通信を行うことが出来る。さらに、光空間通信技術をそのまま応用できるため、従来の CCD を用いた実世界認識技術を用いるよりもはるかに大量のデータ通信を行う事が出来る。本稿では、提案したシステムが動作可能かどうか、またどのような特性を持つのか調査するために実験システムを作成して検証した。

Real Eye Communicator: A Communication Device For Real World Computing

Yuichi Mitsudo^{†‡} Ken Mogi[‡]

[†]University of Electro-Communications Dept. of Information systems.
1-5-1 Chofugaoka Chofu-si Tokyo Japan.

[‡]Sony Computer Science Laboratories, Inc
3-14-13 Higasigotanda Sinagawa-ku Tokyo Japan

In this paper, we report the Real Eye Communicator (R.E.C.) system. In the R.E.C. system, we use the infrared light reflected from the human eye as a means of determining which real world object the subject is seeing. It is not necessary to implement an additional video-frame based image processing, since the system just looks at the ID encoded in the reflected infrared light. It is also possible to implement the system in a low-weight and inexpensive eyewear system.

1 はじめに

通信技術の著しい発達により、ネットワークの形態が著しく変化しようとしている。従来我々はケーブルを介してネットワークを形成していたが、携帯電話や Bluetooth[1] 等の無線通信技術により、ユーザがケーブルから解放され、気ままに歩きまわりながらネットワークにアクセスできる環境が現実のものとなりつつある。また、ネットワークデバイスそのものも小型化が進み、実世界に様々なネットワークデバイスを配置し、ユーザと関係しながらタスクをこなす環境になる。このような環境下では、ユーザと計算機のインタラクションスタイルが変化することが容易に予測される。ネットワーク越しに様々な情報を得られる事は便利ではあるが、そのために複雑なネットワーク操作を行わなければならないのでは不便である。発達した通信技術を十分に使いこなすためには、直感的に理解でき、簡単な操作でネットワーク操作を行うデバイスが必要である。

本研究では、ユーザの携帯している計算機に、ユーザの視界の中にあるネットワークデバイスと自動的に通信リンクを作成する機能を持たせることでこの問題を解決できると考えた。携帯型計算機がこのような機能を持てば、ユーザは全く意識すること無くプライベートネットワークを形成できる。逆に、携帯型計算機はユーザが何を見ているかを把握することが可能である。そのため、ユーザがどのようなネットワーク環境にいるのかを検知してユーザに適宜報告するなど、補助的な役割を果たすことも出来る。

このような機能を実装するためには、ユーザが見たものを識別し、十分な通信速度で通信できるシステムを作成する必要がある。しかし実際にはこのふたつを両立させることは困難である。

実世界に存在するデバイスを認識するシステムは、CCD を利用して画像処理で対象を認識するものが一般的である [2]。しかし、CCD は

- サイズが大きく、嵩張る
- フレームレートの制限があり、高速通信は事実上不可能

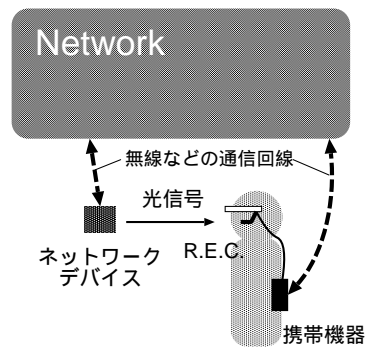


図 1: 通信システム

- 画角などの調整が難しい

等の欠点がある。また、CCD による実世界認識は、リアルタイムで画像処理を行わなければならないため計算機の負担が大きい。本稿では、以上の様な理由から CCD 等の映像を捉えるデバイスを用いることを避ける。その上で、

- ユーザの視界にあるインターネットデバイスを検出
- 検出したデバイスと高速光通信

の機能を持つシステムを提案する (図 1)。本稿では、提案したシステムを実際に製作し、基礎的な実験の結果を行い、その結果を報告した。

2 Real Eye Communicator

概略 本稿では、ユーザの携帯機器と、ユーザの視界内にあるネットワーク端末が自動的にリンクを生成する通信システムを提案する。このシステムを Real Eye Communicator と呼ぶ。この通信システムは、ユーザの眼球運動に対応して自動的に受信範囲を変化させる機能がある。

特徴 R.E.C. は、ユーザの眼球運動に応じて実世界のインターネットデバイスと、ユーザの携帯用デバイス間の通信を取り持つ通信システムである。

R.E.C. の特徴的な点は、ユーザの眼球反射を利用して光信号を受信する事である。図 2 にその



図 2: 通信経路

概略を示す。実世界に設置された赤外線送信器から発信された光信号が、ユーザの眼球に映り込む。ユーザ側の受信器はユーザの眼球を観察しており、眼球に映り込んだ光信号を受信する。ユーザの眼球に入射していない光信号が反射することはあり得ないので、受信器が受信できるのはユーザの眼球に入射した光信号だけである。光信号がユーザの眼球に入射していると言うことは、送信器がユーザの視野の中にあると考えて良い。そのため、受信した光信号は、ユーザの視野の中にある送信器から発信されたものと容易に推定できる。

以上の様な仕組みを採用すると、眼球から反射した光信号を受信するだけで「ユーザの視界の中にあるインターネットデバイス」を選別し、通信している事になる。R.E.C. では、画像処理や座標計算、あるいは隠面消去などの負担が大きい処理は一切行わないため、非常に簡潔にシステムを構成することが可能である。また、信号の受信には光通信用の受光素子を使用することが出来るので、高速通信を行うことが可能である。これらの受光素子は

- サイズ
- 動作速度
- コスト

等の面で CCD より優れている。R.E.C. ではこれらの利点を生かし、CCD を用いるよりも小型、高速、安価なシステムを構成している。

安全性に付いての配慮 本研究では、角膜や強膜での赤外線反射を観測するため、安全性についての配慮が必要である。しかし、現在の照明器具や太陽も赤外線を放射しており、これらの

赤外線は日常的に我々の眼球に入射していることは明白である。さらに、赤外線 LED を使用した光空間通信では、人体への危険性は指摘されていない。よって、常識的な範囲で使用する限り、特に赤外線による人体への影響は考えなくても良いと考えられる。

3 実装

本稿では実際に R.E.C. システムを作成した。以下にその概要を示す。

送信器 光信号の送信に波長 870nm の赤外線を使用する。光信号は、赤外線 LED をパルス発光することにより発信する。信号はプログラム可能なマイクロプロセッサを利用して生成する。光信号のパルス放射強度は LED のスペックシートからの計算で、約 $1600mW/sr \times 2$ である。

受信器

受光回路 光信号の受信には、フォトダイオードを使用する。フォトダイオードの半値幅は 15° である。フォトダイオードは入射した光信号の放射照度に比例した電流を生成する光電素子である。この電流を電流-電圧変換回路で電圧信号に変換し、10,000 倍に増幅する。この受光回路は、光信号の放射照度に比例した電圧を出力する機能を持つ。増幅した電圧信号から光信号の変調成分のみを検出するためにハイパスフィルタを掛け、さらに高周波ノイズを減衰させるためにローパスフィルタを掛ける (図 3)。

受光部 受光部は眼球の下側から瞳孔を見上げる位置に配置し、余分な光を拾わないために覆いを掛ける。市販されている安全眼鏡の下部

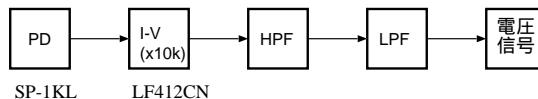


図 3: 信号処理の過程



図 4: 受信器

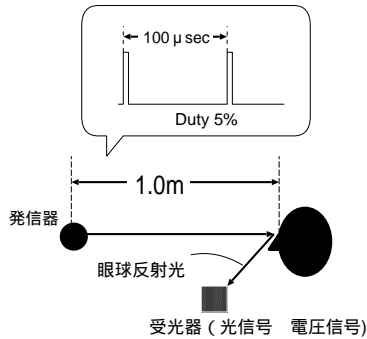


図 5: 実験 1 の実験環境

を切り取り、この受光部をはめ込んで固定したものを受信器としている (図 4)。

4 実験

実験の目的 眼球からの反射光を観察し、通信が可能かどうかを確認するために実験を行う。実験 1 において、ユーザの正面に送信器を設置し、ユーザがこれを直視したときにどのような信号を受信できるか観察する。実験 2 においては、ユーザの眼球の旋回が通信状態にどのような影響を及ぼすかを観察する。送信器の位置を上下に動かし、ユーザがこれを直視したときの出力信号を観察する。

実験 1

実験環境 実験 1 では、被検者と送信器の距離を 1.0m に設定した。蛍光灯による赤外線ノ

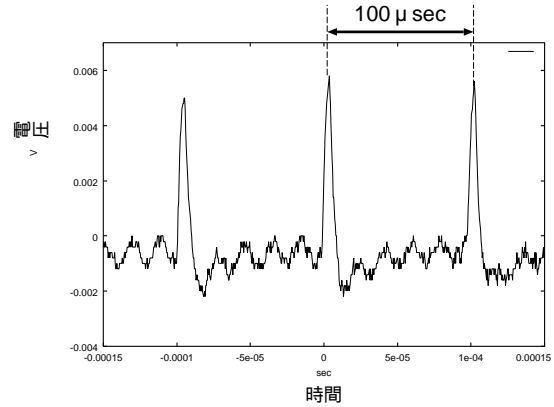


図 6: 実験結果

イズを避けるために暗室内で実験を行った。送信器からは $5 \mu \text{ sec}$ のパルスをも duty 比 5% で送信した。被検者は着座し、正面の送信器を注視している状態でデータを採取した (図 5)。

実験結果と考察 発信器は光信号は $5 \mu \text{ sec}$ のパルス信号を $\text{duty}5\%$ で送信した。これは、 $100 \mu \text{ sec}$ に 1 つパルス信号が送信されている。受信器は光信号を電流に変換し、さらに電圧信号に変換している。出力された電圧信号を図 6 に示す。実験結果では、パルス信号自体はなまってしまうが、パルスが $100 \mu \text{ sec}$ 毎に繰り返かえされているのが分かる。よって、眼球からの反射光によって通信が可能なが実証された。

実験 2

実験環境 実験 2 の環境は、実験 1 と同じである。ユーザの眼球の旋回状態に応じて、受信する光信号の強度がどのように変化しているかを観察するため、送信器と被検者の相対的な位置を変化させる。送信器は、被検者の上側、正面、下側に位置している。実験 1 と同様に被検者にこれらの送信器を注視するように指示し、データを採取した (図 7)。

実験結果と考察 実験 2 の結果 (図 8) を観察すると、受信信号の強度が著しく異なる事が観

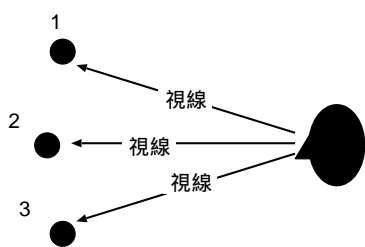


図 7: 実験 2 の実験環境

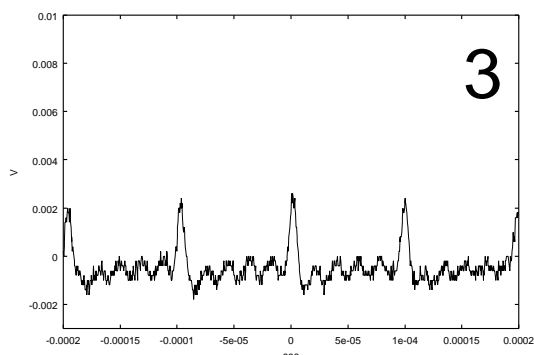
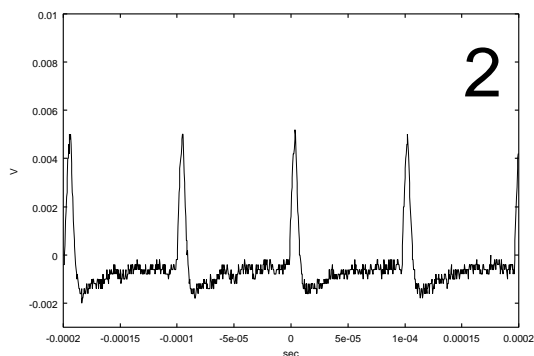
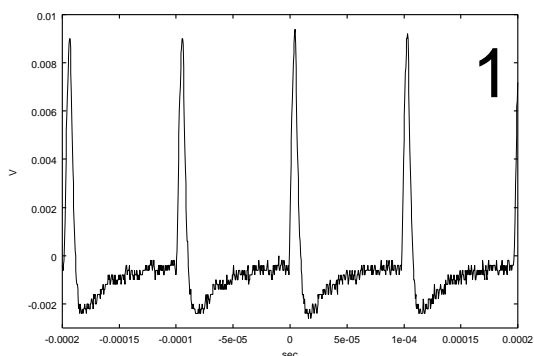


図 8: 実験 2 の実験結果

察される。これは眼球の角度の変化につれて受信器に入射する光が変化していることを示している。この実験結果から、ユーザが上目使いをしたとき受信信号が一番大きくなり、見おろす様になるにつれて弱まってゆくことが分かる。受信信号の強度の変化は、眼球の下側から反射信号を捉えた為に生じたものと考えられる。上下左右などの複数の角度から眼球を観察し、信号の強度を比較する事で眼球運動による受信範囲のコントロールが可能であると考えられる。

評価と検討 実験 1 と 2 により、光信号を眼球に反射させても信号の成分が保存される事が判明した。よって、眼球反射を利用して通信を行うというアイデアが可能であることが実証された。さらに、実験 2 の結果から、光信号の強度が眼球の回転状態に依存して変化することが判明した。この特性を利用すれば、ユーザは眼球運動によって受信範囲をある程度コントロールする機能を持たせることが可能と考えている。

5 今後の研究

受信距離の改善 現在の受信距離ではまだ実用には不十分である。受信距離を伸ばす為には、送信器の出力を上げることと受信器の精度を上げることが必要である。しかしキロメートルオーダの受信距離を実現しても実用的であるとは言い難い。最終的には 50 メートル程の通信距離で十分と考えている。

本研究では安全性の確保のため、送信器側の出力を上げることは回避し、受信器の精度を上げることで受信距離を伸ばす。そのための手段として、

- 減衰率の少ない波長による通信
- 受光素子の高精度化
- 信号の変調方式による S/N 比の向上

が考えられる。これらは、既存の光空間通信技術 [3][4] を用いる事によって効果を上げることが出来ると考えている。

現在、受光素子をアバランシェフォトダイオードに交換する作業を進めている。アバランシェフォトダイオードは、増幅機能を持つ受光素子で、使用することによってS/N比が改善される効果がある。光空間通信の通信機では一般的に使用されている。

受光部の小型化 本稿で実装したシステムでは、受光素子を直接眼球の近傍におき、反射光を受光していた。そのため視野の一部が受光素子や回路でふさがれてしまい、大変煩わしい思いをした。さらに、視野が塞がれているということは、入射しているはずの赤外線をも遮っていることになる。このため、受光部は可能な限り小型化することが必要である。この問題を解決するために、受光部と受光回路を光ファイバで接続する事を考えている。光ファイバを用いることにより、眼球の近傍に存在するのは光ファイバの先端部と受光用レンズだけとなり、ユーザへの負担が大幅に減少するものと思われる。

通信速度の増大 本稿で発表した通信速度は、送信器側の動作の限界であり、機構的な限界ではない。通信速度に関する機構的な限界は存在しないものと思われる。そのため、高速な受光素子と発信器を使用することにより高速化の余地は充分にあると考える。受光素子の中にはGHz帯での使用が可能なものも販売され始めているので、こうした素子を使用する事ができれば大幅な高速化が可能である。

複数の送信器からの信号の分離 想定した環境では、視界内に複数の送信器が存在することが予想される。そのため、複数の送信器からの混合した信号を分離しなければならない。お互いに同期が取れておらず、送信器の数が分からない状態で重なりあった信号を分離し、同時に解読することが可能な符号化方式を設計する必要がある。

謝辞

この研究は、(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所の所長眞理雄所長のご支援により行われました。深く感謝致します。

参考文献

- [1] <http://www.bluetooth.com>
- [2] 暦本純一：2次元マトリックスコードを利用した拡張現実感の構成手法
インタラクティブシステムとソフトウェア IV
近代科学社 pp.199-208(1996)
- [3] 乙部 孝：光無線技術の歴史と課題
光空間通信ネットワーク技術資料集 オプトロニクス社 pp.6-9(2000)
- [4] 八嶋弘幸：光空間通信ネットワークにおける変復調技術
光空間通信ネットワーク技術資料集 オプトロニクス社 pp.50-53(2000)