

## ユビキタス環境における光無線移動端末の通信方式

林新 伊藤日出男  
産業技術研究所 情報技術研究部門  
E-mail: x.lin@aist.go.jp

**概要** ユビキタス情報環境に、ある特定の位置に基づいて、セキュリティの高い長時間連続の光無線通信を行うためには、携帯情報処理端末の知能化と低消費電力化を実現することに取り組むとともに、ユーザに伴って移動している端末の位置を正確に取得すると端末に載せられているユーザ情報を認知する必要がある。そこで、我々は再帰光反射率変調技術を利用することにより、低消費電力の光無線移動端末を開発し、ビデオ動画信号処理方法及び画像時系列変化の解析技術を生かすことにより、多端末の物理位置を同時的に認識する方法と端末から発信したユーザメッセージを載せた時系列ビデオ信号を解析する手法を提案する。

### Optical wireless communication technique of mobile information terminal for ubiquitous environment

Xin LIN and Hideo ITOH  
Information Technology Research Institute, AIST  
E-mail: x.lin@aist.go.jp

**Abstract:** In order to implement location-based optical wireless communications with high security for long time running in the ubiquitous information environment, we are developing a personal mobile terminal with low power consumption based on the reflectivity modulation technique, and a 1-to-n type video-based communications system using a infrared video camera based on the optical image processing and the video signals analysis technique. By this method, the physical locations of more than one terminal within noises and user's messages that are carried by one of terminals can be detected simultaneously. Therefore, data communications can be implemented without the private ID of users.

#### 1. はじめに

人間が人工的な情報資源を自由自在に駆使することを可能とすることは、今後の高度情報化マルチメディア社会の課題である。そのために、人間個人を柔軟に支援するユビキタス情報処理端末とその端末を支える通信環境に関する研究が注目されている。情報端末の研究では、自ら光や電波の信号を発生し続けるにより情報伝送を行うのが一般的であるが、長時間の連続動作を考えると、データ伝送に伴う電力の消費という問題があった。表 1.1 に放射型と反射型端末の通信電力の使用と消費を示す。一方、閉空間通信環境を実現するためには、ユーザに伴って移動している多端末の位置を同時的に取得する及び端末から発信したユーザメッセージを載せた時系列信号を正確に認知する必要がある。

そこで、我々は、多信号同時対応の空間光反射率変調通信技術と物理空間位置に基づく通信技術を導入することにより[1-3]、端末からの反射

光を利用して端末の位置を把握するとともに、ユーザに情報サービスを提供できる低消費電力で長時間動作可能な反射型移動端末とその情報環境となるビデオに基づくウェアラブルコンピューティングシステムについての研究を進めている[4-6]。

表 1.1 放射方式と反射方式による端末通信電力の比較

端末	電力使用	電力消費
放射型	信号伝送素子と伝送出力増幅回路の電力	高消費電力
反射型	反射率変調素子とその駆動回路電力	反射率変調素子に依存

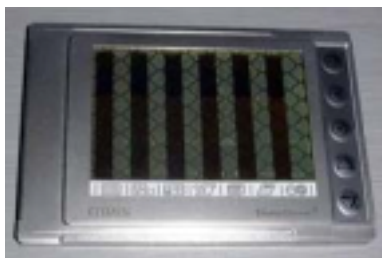
本報告では、ハードウェアとソフトウェアの両方から開発された反射型液晶ディスプレイを有する小型 PDA (Personal Data Assistant) を知能型の低消費電力移動端末装置としての光無線

通信方式及びそのユビキタス通信環境の構築方法について述べる。

## 2. 低消費電力光無線通信端末

液晶 PDA を低消費電力端末として情報通信を行う理由は3つがある。すなわち、反射率変調素子として、消費電力が低い、ハードウェアとソフトウェアを柔軟に開発することが可能である、小型低価格により便利性及び普及性がある。

図 2.1 に我々に開発された低消費電力情報端末の実装の例を示す。図 2.1 (a) には、PDA の液晶反射画面を直接に利用することにより、ユーザ情報をその画面に表示するとともに、データの光無線通信を行うことができますが、液晶ディスプレイの固有性能の制限により、データ伝送速度が遅いという課題があった。これに対して、図 2.1 (b) には、高速応答、高い明暗コントラストなどの特徴を有する強誘電性液晶変調器を PDA の周辺機器ポートに装着することによって、高速データ伝送機能を実現することが可能になる。



(a) 再帰光反射シートを装着した反射型液晶 PDA



(b) 赤外線高速通信モジュールを装着した PDA

図 2.1 光反射率変調型低消費電力端末

### 2.1 低消費電力端末の実現方法

PDA を反射率変調型情報端末として光無線通信を行うために、再帰光反射機能と反射率変調機能を実現する必要がある。

図 2.2 は端末の再帰光反射機能の実現方法である。端末の受入れ光エネルギーを多くに利用するために、PDA の液晶ディスプレイの光散乱反射板を取り外して、コーナーキューブアレイからな

る再帰光反射シートを液晶パネルの後に装着した。再帰光反射シートは、図 2.2 に示すように、コーナーキューブプリズムアレイからなり、入射光がいかなる角度で入射しても、ほぼ全てのエネルギーを入射角度と平行に光源の方向へ反射する素子である。これにより、送信側のエネルギーが受信端末に利用されることができるので、消費電力を減らすことが可能になる。

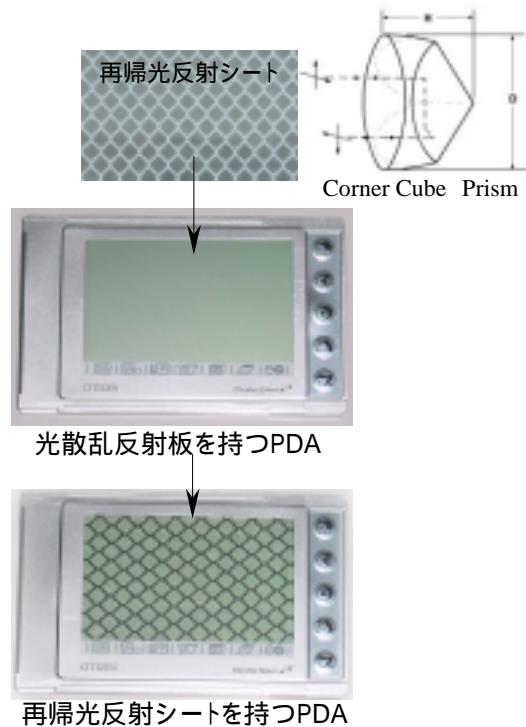


図 2.2 再帰光反射機能の実現方法

図 2.3 は端末の反射率変調機能の実現方法である。使用された PDA はソフト開発機能付きであるので、専用のアドインアプリケーションソフトウェアを開発することにより、所望のプログラムを実行できる。この場合、端末パネルにある各ボタンをそれぞれユーザ想定メッセージと対応させて、その中の一つのボタンが押されると、制御プログラムにより、端末受光画面の反射率がユーザ情報と対応している二値コード列に変調されることができる。

図 2.3 の左の画面は、端末反射率変調のある瞬間であり、右の波形は、それぞれ各選択ボタンと対応する出力変調信号である。例えば、あるユーザは、「Where are you?」を伝えたい時、真中のボタンを押すことにより、端末画面は「01010111」のように点滅するとともに、データ通信を行う。また、同じ手法で、各ボタンと対応するコンテンツを異なる国の言語と設定させれば、多言語対応情報サービスも実現することができる。

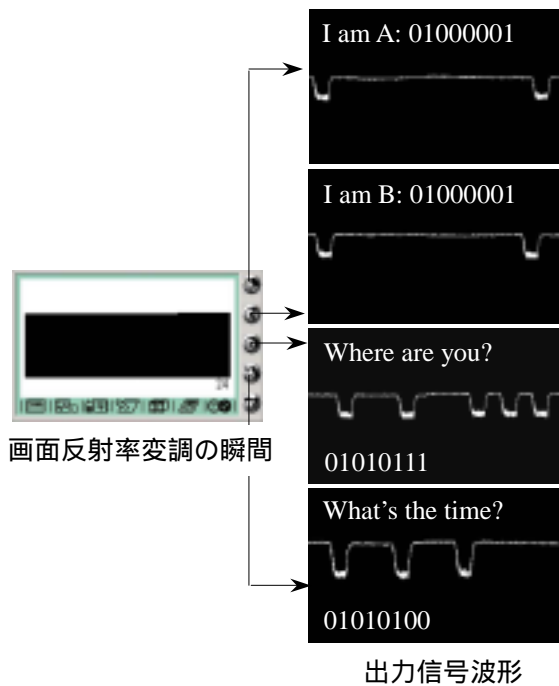


図 2.3 空間光反射率変調の実現方法の例

## 2.2 端末通信特性の評価方法

開発された端末による光無線反射通信を行う通信品質を調べるために、静態特性としての端末の通信範囲及び動態特性としての端末受信波形の周波数依存性と多文字伝送の誤り率についての測定と評価を行った。

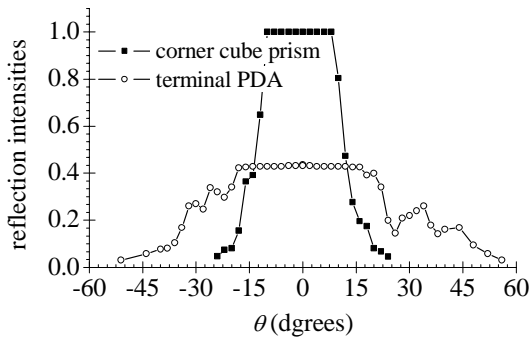


図 2.4 端末の空間光反射強度の角度範囲依存性

反射率変調通信を行う場合、通信可能の角度範囲は、端末通信画面の反射光強度と依存している。一般には、反射率は 40% になれば、室内で約 3m の距離まで通信を行うことが可能になる。図 2.4 は端末反射光強度の角度依存性の測定結果である。既知反射率 (92%) の単一のコーナーキューブプリズムと比べると、端末の反射率は約  $\pm 20^\circ$  の範囲内で 40% 以上になっていることがわかる。

また、データを伝送するとき、伝送空間にあるノイズによって、信号波形にビット幅のばらつきがあり、一つの波形がその隣接する波形にまで影響を与える。このような波形のひずみは、高周波数領域にだけでなく、低域における遮断特性によっても生ずる。このような通信の周波数特性は端末の液晶空間光変調部分の固有性能に制限される。図 2.5(a) と (b) は、それぞれ TN (Twisted Nematic) 液晶と強誘電性液晶を持つ端末の受信信号波形のアイダイアグラムである。TN 液晶の低伝送速度に対して、強誘電性液晶は kHz まで通信可能になることがわかる。

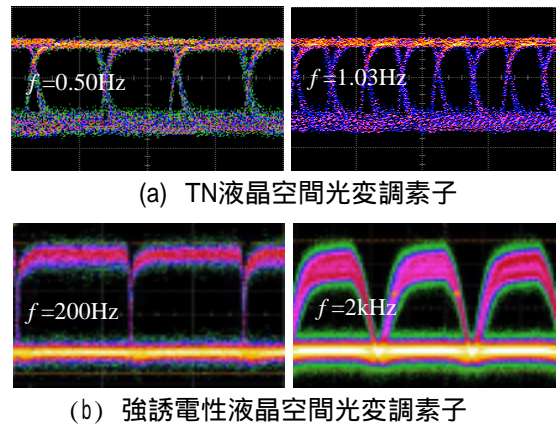


図 2.5 端末のアイダイアグラムの周波数依存性

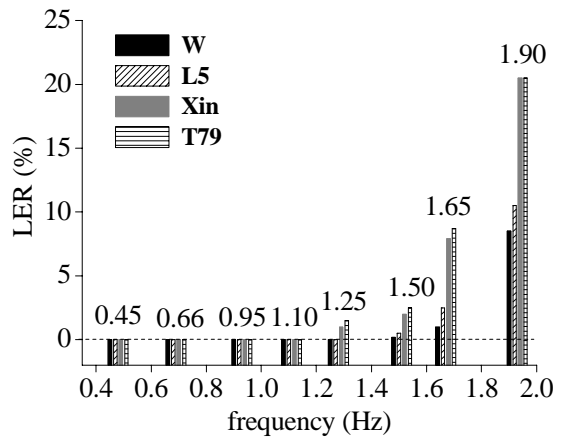


図 2.6 端末の受信文字誤り率の周波数依存性

一方、デジタル通信の場合には、一つ一つ文字が正確に伝送されることが求められるので、受信文字の誤り率は端末通信品質の優劣を判別する尺度となる。一般には、文字数が多くなるにつれて、伝送信号のビット間干渉を起こす確率が高くなり、伝送品質が劣化することが多くなる。図 2.6 は TN 液晶を持つ端末の多文字通信を行うとき、文字長による伝送品質の変化特性と文字誤り

率の周波数特性についての測定結果である。約 1.5Hz 以上になると、誤り発生が頻度が増え、特に 3 文字の場合、1.25Hz ときも誤り文字が発生されたことがわかる。

### 3. ユビキタス情報環境の通信方式

室内閉空間に高セキュリティのユビキタス情報環境を構築するために、ビデオに基づく光無線通信方法を提案した。この方法では、単数のカメラにより複数の端末位置を検出し、その中の 1 つの端末に注目して、ある特定の端末位置に存在する事実に基づいて ID 非依存の「1 対多」の光無線通信を行う仕組みについて考える。

#### 3.1 眼の安全性の評価方法

低コスト LED と LD の可利用性及びシリコン光電素子のピーク値との一致性の原因で、780nm - 950nm の波長範囲にある近赤外放射源は、光無線通信における理想の伝播媒体となる。しかしながら、人間の眼はこの波長範囲の光ビームに照射されると、図 3.1 に示すように、光線は眼の角膜を通ることができる(角膜の不透明域は約 1400nm 以上である)。透過された光は水晶体レンズを介して網膜に焦点像を結んでいる。このような集光したビームスポットのエネルギー或は存在時間は、網膜障害の閾値以上になると、眼の熱損傷を引き起す。特に、コヒーレントなレーザ光源を使うとき、網膜像は高パワー密度を持つ極小なスポットであるので、眼に対するインパクトが高くなる[7]。

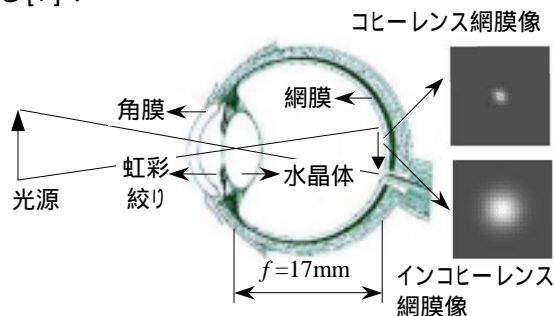


図 3.1 眼の断面構造と結像原理

提案されたビデオに基づく光無線通信システムの光源は、図 3.2(a)に示すようなビデオカメラに装着した LED リングである。リング中の各 LED の半値放射パワー幅は約 15° であり(図 3.2(b))、波長は 850nm を中心とした半値幅 60nm の近赤外区域に分布している(図 3.2(c))。

このようなインコヒーレントな LED 分散光源

を室内無線通信のキャリアとして使うときの眼の安全性を調べるために、我々は、コヒーレントなレーザ放射源における眼の安全基準としての日本工業基準 JIS[8]及び LED 安全対策に関する研究[9]に基づき、インコヒーレントな LED 分散光源に対する眼の危険度の緩和対策、放射パワーの測定方法、安全な通信距離についての研究を進めている[10]。

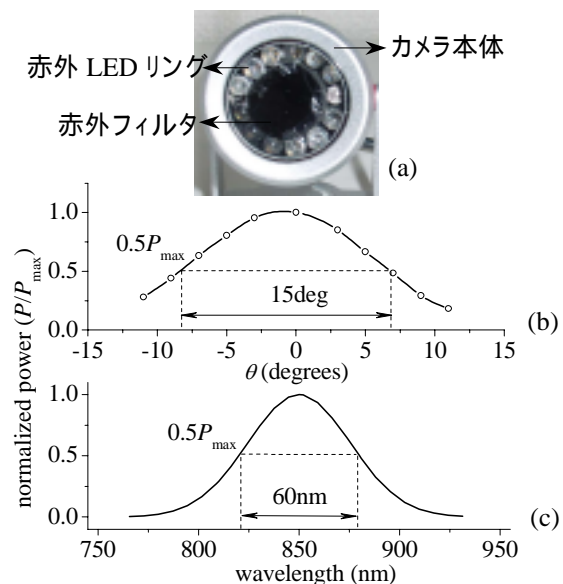


図 3.2 LED 光源とその放射特性

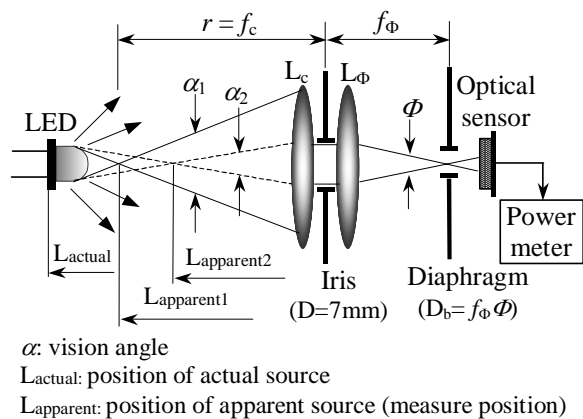


図 3.3 アパーレント光源 LED の放射パワーの測定方法

図 3.3 はアパーレント分散光源 LED の放射パワーの測定方法である。光出力の基準測定位置は光源の実際位置ではなく、アパーレント位置を用いることになる。すなわち、LED の視角により測定位置が異なる。測定するとき、光源からの出射ビームはコリメートレンズ  $L_c$  に介して平行光になる。光源から虹彩絞りまでの距離  $r (=100\text{mm})$  は網膜障害の最悪露光距離である。また、限界開口

となる虹彩絞り ( $D_a=7\text{mm}$ ) 面の各点に入射する受入れ角  $\phi$  以内の光は、レンズ  $L_\phi$  により光センサ側の焦点位置に  $D_b=f_\phi$  の大きさの像を結ぶ。パワーメータは光センサに受けされた光エネルギーにより LED の放射パワーを検出する。

### 3.2 端末位置の検知方法

端末位置に基づく情報サービスを提供するためには、移動端末の位置を正確に検知する必要がある。そこで、複数の端末に対して、形状と輝度の二次元情報を利用し、幾何形状不変とノイズ吸収可能な端末位置認識を行った。

まず、2.2mまでの近距離通信の場合に、カメラ視野内での移動端末に対して、パターンマッチングアルゴリズムを使って、参考端末パターンとの照合と学習により、幾何形状不変な位置検知を行った。

一方、2.2m以上の形状の識別が困難な場合に、プログラムにより、カメラの視野内での目標ごとに輝度値を測定する。端末装置には、再帰光反射シートを装着しているので、LED 光源から赤外光ビームが照射されると、信号光が光源の方向へ高輝度で反射して戻る。したがって、容易に雑音から端末を分けて取り出し、位置を検知する。また、カメラには、光源 LED の波長帯に適合したバンドパスフィルタを装着しているので、環境の照度の変化による雑音の影響はほぼ除くことができる。

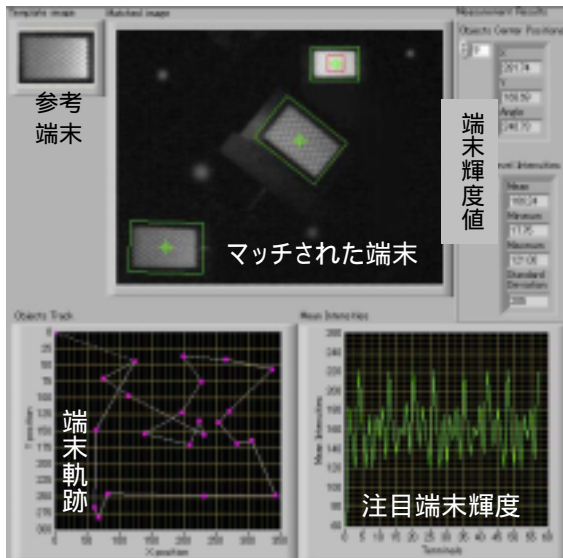


図 3.4 多端末位置検知プログラムの実行例

図 3.4 は形状と輝度の二次元情報を利用することにより多端末位置を同時的に検知プログラムの実行例である。この方法では、複数のパターンを同時に検索する際に、スコアの高い順、すな

わち参考パターンと一番近いものから順番に捜査してマッチングを行う。図 3.4 の上の左から右までには、それぞれ参考端末、マッチされた幾何不変な端末及び各瞬間に端末の輝度値であり、図 3.4 の下の部分には、注目された一つの端末の軌跡と輝度の時系列グラフを表す。

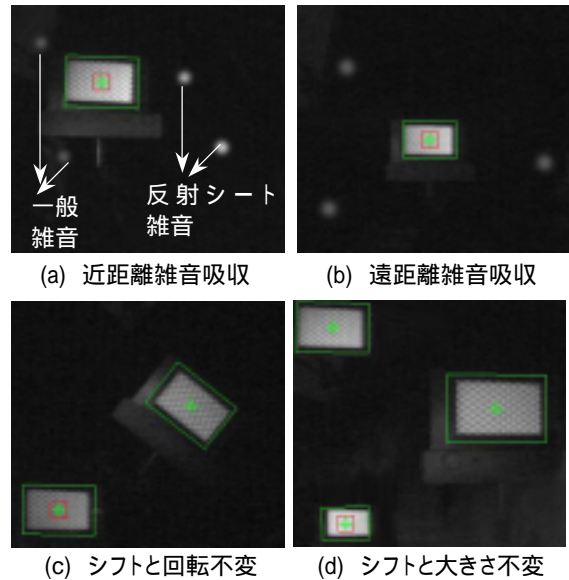


図 3.5 多端末位置の検知結果

図 3.5 は、通信距離約 1.2m - 2.2m の場合に、1つのカメラを使って、端末位置検出の結果である。図 3.5(a)と(b)は、それぞれ高輝度の反射シート雑音と一般的な雑音を有する近距離検知及び、一般的な雑音を持つ遠距離検知の場合であり、図 3.5(c)と(d)は、それぞれ無雑音の環境での幾何不変な認識の場合である。

### 3.3 ユーザ情報の認知方法

ユーザに対して、端末位置を検知することを“いまどこにいますか”とすれば、端末に載せられたユーザ情報を認識することは、“いま何をしたいのか”のことである。そこで、端末位置を検知するとともに、ユーザ情報の認知を行った。

端末 PDA はソフト開発機能付きであるので、アドインアプリケーションソフトウェアを開発することにより、所望のプログラムを実行できる。この場合、端末パネルにある各ボタンを押すと、制御プログラムにより、端末画面の空間光反射率がユーザ想定の情報コードに変調される。カメラはこのようなユーザ情報を載せている明滅変化の画面を連続的に撮影するとともに、時系列的な光強度変化の画像信号を画像取込ボードに書き込み、コンピュータ処理可能なデータ変換を行

う。最後に、プログラムでコードを解釈することによって、ユーザ興味に合せた情報コンテンツがディスプレイに表示される。

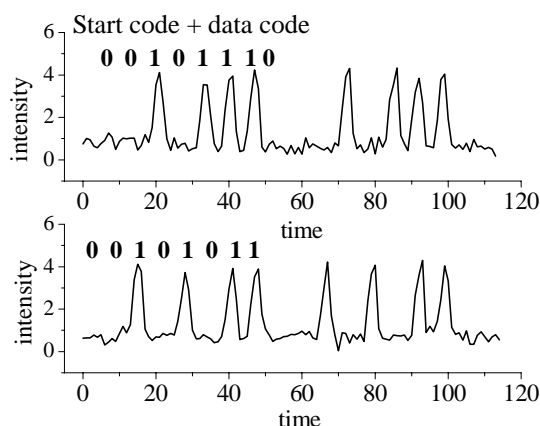
図 3.6 は多言語ユーザ情報の認知及び情報コード解釈の例である。実験では、各情報は上位 4 ビットのスタートコード「0010」と下位 4 ビットのデータコードからなる。図 3.6(a)は、ある時刻、カメラ視野内での反射率を変えて点滅するテスト端末である。図 3.6(b)は、端末ボタン 1 と

2 を押す場合、画面輝度がそれぞれ各自の情報コードによる明滅変調された時系列出力信号である。上の (button 1 を押す) データコードは「1110」、下の (button 2 を押す) は「1011」である。二つのコードと対応する情報コンテンツは図 3.6 (c) に表され、ある情報内容 (ここではニュートンの林檎の木の写真) に対して、ユーザの意図に合せて言語を切り替えた説明 (ここでは日本語と英語) が提供できるようになっている。



反射率を変えて点滅する端末

(a)



(b)

**ニュートンの林檎の木**  
この林檎の木は英国の物理学者...



**Newton's Apple Tree**  
The tree was presented to ETL by...

(c)

図 3.6 多言語ユーザ情報の認知結果

#### 4. おわりに

本研究では、ユビキタス情報処理の環境に匿名媒体及び高セキュリティ情報サービスシステムを作るために、個人 ID 非依存の物理空間の位置から、ユーザの意図を把握するとともに、ビデオ信号に基づく光無線通信を行うことができる低消費電力移動端末を提案した。また、約 2 m の室内環境での多端末の存在位置を同時に検知できることを実験によって確認した。そして、情報環境を柔軟に構成するための多言語対応端末の実現方法について述べた。

#### 参考文献

- [1] J. M. Kahn and J. R. Barry: Wireless infrared communications, Proc. of the IEEE, Vol.85, No.2, pp.265-298 (1997).
- [2] F. R. Gfeller and U. Bapst: Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation, Proc. of the IEEE, Vol.67, No.11, pp.1474-1486 (1997).
- [3] 宮本伸一, 森永規彦: 室内光無線通信システムの高速度大容量化・広域化に関する検討, 信学技報 MWP98-5, pp.370-377 (1998).
- [4] X. Lin and H. Itoh: Wireless personal information terminal for indoor spatial

optical communication system using a modified DataSlim2, Opt. Rev. vol.10, No.3, pp.155-160 (2003).

[5] 林新, 伊藤日出男: 小型空間光通信端末用 DataSlim2 の多文字伝送品質, 信学技報 OPE2003-22, pp.1-4 (2003).

[6] X. Lin and H. Itoh: Video-based spatial optical communications method for wearable information terminal, Opt. Eng. in press.

[7] 猿渡正俊: 光ワイヤレス通信における眼に対する安全基準, OITDA 「オプトニュース」No.1 2004 通巻 139 号 (2004).

[8] レーザ安全ガイドブック (第 3 版), ISBN4-915851-22-2, 新技術コミュニケーション (2003).

[9] 野村元宏, “LED の安全対策”, 0 plus E, Vol.23 No.7, pp.838-842 (2001).

[10] 林新, 伊藤日出男: 近赤外 LED 光源を用いた光ワイヤレス通信における眼に対する安全性の調査研究, Optics Japan 2005 講演予稿集, pp.650-651 (2005).