

無電源でユーザ属性と位置を発信する CHOBIT 端末の設計と実装

中村 嘉志[†] 西村 拓一^{†,††}
伊藤 日出男^{†,††,†††} 中島 秀之^{†,††,†††}

本論文では、赤外線タグを無電源で駆動する情報端末 CHOBIT (Card type Hyper Optical Battery-less Information Terminal) と、そのタグ検出器について述べる。我々は、位置に基づいてユーザを支援する CoBIT (Compact Battery-less Information Terminal) システムの研究開発を行っている。CoBIT は、環境やユーザが提供するエネルギーのみで情報の送受信を実現するインタラクティブな情報端末であり、CoBIT システムは、CoBIT を利用した情報支援システムである。これまでの CoBIT には数 m の到達距離を持つユーザ属性の発信器が装着されていなかったため、その属性に基づいた個人対応の情報支援を CoBIT システムで実現することが困難であった。そこで、本論文では、CoBIT の無電源性を損わずに赤外線タグを駆動する手法を提案する。さらに、プロトタイプの実装および評価からこの手法の有効性について述べる。

Design and Implementation of the CHOBIT Terminal Emitting User Attributes and Position with No Plug-in Power Source

YOSHIYUKI NAKAMURA,[†] TAKUICHI NISHIMURA,^{†,††} HIDEO ITOH^{†,††,†††}
and HIDEYUKI NAKASHIMA^{†,††,†††}

This paper presents the CHOBIT (Card type Hyper Optical Battery-less Information Terminal) terminal that can drive an infrared tag with no plug-in power source. It also describes a tag sensor system for the terminal. We have been developing CoBIT (Compact Battery-less Information Terminal) system that can provide information support to users based on their locations. CoBIT is an ultracompact, low cost interactive information terminal that can operate without battery because it utilizes the energy from the information carrier and the user. The conventional CoBIT, however, is hard to provide personal information support because of lack of the capability which transmits user's attributes from distance of several meters. In this paper, we propose a battery-less infrared tag driving method which extends CoBIT naturally. Experiment results of prototype system show the availability of CHOBIT.

1. はじめに

今後、移動中に情報支援を享受するユーザはますます増加するだろう。このとき、“ubiquitous”¹⁾ や “pervasive”²⁾，“context-aware”³⁾ コンピューティングの研究分野で最も重要となることは、個人を特定する ID ベースの情報支援だけでなく、ある特定の位置に存在

する事実に基づいて ID 非依存の情報提供を実現する仕組みである⁴⁾。我々は、この仕組みを位置に基づく通信と呼び、高い空間密度で提供したいコンテンツを有し、かつ、様々な人が出入りするオープンな空間における情報支援を目指している。位置に基づく通信により、ユーザは、特定の端末を用いていれば、個人を特定されることなく位置に応じたサービスを受けることが可能となる。この場合、ユーザが移動しながら実空間をブラウズし、興味ある情報を手軽に入手することが重要と考える。そこで、端末の位置だけでなくその向きに応じた情報をインタラクティブに入手できる端末を目指す。これにより、ユーザは注目している方向に存在するコンテンツの情報を容易な操作で入手できることになる。

位置に基づく通信の実現手段として、我々は、光に

[†] 産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
Cyber Assist Research Center, National Institute of
Advanced Industrial Science and Technology

^{††} 科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業 (CREST)
Core Research for Evolutional Science and Technology,
Japan Science and Technology Corporation

^{†††} 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advanced Insti-
tute of Science and Technology

着目している。光は、周辺に均一に伝わりやすい電波とは異なり、指向性を制御しやすい特長がある。この特長を用いれば、GPS や地磁気センサなどの位置・方向センサを内蔵しなくても、ユーザの位置と向きに基づいて情報伝達が可能となる。つまり、特定の範囲に信号を含む光を照射すれば、その範囲内に存在し、かつ、光源方向にアンテナを向けている端末のみが信号を受信することになる。

このように、基地局からの光を受信できる位置および向きの端末のみが情報入手できる特性を利用したシステムとして、トークングサイン^{5),6)}などがすでに開発されている。しかし、これらは、ユーザの合図などを環境システムが理解し、これに基づいて音声メッセージを返答するような、ユーザとのインタラクションは想定していない。ユーザの状況推定は容易でないため、インタラクティブに情報支援を実現することが好ましい。ID タグのように、ユーザの ID だけを読み取り、ユーザ情報はインターネットから取得するという手法も存在するが、ユーザのプライバシー保護の観点からあまり好ましいとはいえない。個人を特定する ID を用いずに、個人の嗜好や質問への応答などを読み出すインタラクションが実現できれば、情報の流れが双方向となるため、位置に基づく通信の一例となりえる。

このような背景から、我々は、無電源小型通信端末 CoBIT⁷⁾ (Compact Battery-less Information Terminal)、および、CoBIT を用いた位置に基づく情報支援システム⁸⁾を提案し、開発してきた。CoBIT は、環境やユーザが提供するエネルギーのみで動作し、ユーザの位置や向きに応じて音声情報を取得でき、環境側の装置とユーザとの間で位置に基づく通信を実現する情報端末である。これは、ユーザが環境内を移動しつつインタラクティブに情報支援を受ける場合を想定しており、直観的、位置・方向に応じた情報入手が容易、無電源小型という特長を持つ。これらの特長を活かし、実際に博物館などのイベント会場で情報支援を行ってきた。

CoBIT を用いた従来の情報支援の対象は、不特定の人へのインタラクティブな情報提供であった。さらに我々は、個人を特定しない範囲での個人属性(年齢やインタラクション履歴、入場番号など)に基づいた情報支援を実現したいと考えている。CardBIT⁹⁾では、既存の個人用 IC カードと CoBIT を融合することでインタラクティブ性を持った新たなカードの提案をしているが、情報支援を受けるためには、ユーザは、環境中に設置された情報読み取り器近く数 cm の距離

まで端末を意識的に近づける必要があった。ユーザにとってより自然な形で情報支援を実現するためには、数 m の距離からでも認識できるタグが有用である。

そこで本論文では、CoBIT の無電源性を損なうことなく、赤外線タグと液晶シャッタを無電源で駆動し、数 m の距離までユーザ属性を発信することのできる情報端末 CHOBIT (Card type Hyper Optical Battery-less Information Terminal) を新たに提案する。さらに、要求位置精度に応じて機器構成を柔軟に変更できる CHOBIT 用のタグ検出器についても提案する。これら、CHOBIT 端末および検出器を用いれば、CoBIT システムで課題であった、個人対応の情報支援が自然な形で実現できるようになる。本論文では、そのための機能デバイスについて言及する。

以下、本論文では、2 章で CoBIT を用いた従来の情報支援システム (CoBIT システム) について簡単に紹介する。3 章では、CHOBIT の設計思想や機能、無電源化の仕組みについて説明し、4 章で実装について述べる。5 章では、特性について定性的、定量的評価を行う。6 章は情報タグの先行研究についてのまとめであり、それらの情報支援システムへの応用について考察する。最後に 7 章で本研究まとめと今後の方針を述べる。

2. 従来の CoBIT システムの概要

CoBIT システムは、博物館など、多くのコンテンツを有する空間での情報支援を目的としたシステムである。ユーザは CoBIT を持って空間内を動き回り、展示物の前など、位置に応じて ID 非依存の情報をインタラクティブに入手することができる。展示物にはそれが観賞される向きによって複数のコンテンツが存在する場合もあるが、ユーザは、CoBIT を通じて、位置だけでなく向きに応じて異なる情報を干渉することなく入手することができる。

図 1 は、従来の CoBIT システムの基本構成を表したものである。図のように CoBIT は、太陽電池パネルおよびイヤホン、反射シートにより構成されるため、小型かつ安価で、無電源で動作するという特長を持つ。CoBIT システムでは、環境からユーザへの情報の流れをダウンロード、反対に、ユーザから環境への情報の流れをアップロードと呼んでいる。図 1 に従い、ここではまず、音声のダウンロードについて説明する。

CoBIT への音声のダウンロードにはビーム光が用

本論文では、内蔵電池を装備せず、環境やユーザの提供するエネルギーのみで駆動されることを無電源と呼ぶ。

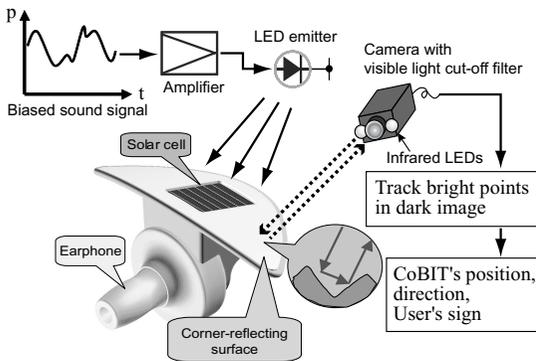


図 1 従来の CoBIT の基本システム構成

Fig. 1 Basic system structure of conventional CoBIT.



図 2 赤外線投光型カメラによる画像例．輝点が CoBIT を表す
Fig. 2 A sample image of the infrared projection camera.
The bright point is a CoBIT.

いられる．環境装置は，ユーザに送りたい音声波形にバイアスをかけて増幅し，強度変調を施した後，LED を用いてこれを空間中に照射する．CoBIT は，そのビーム光を太陽電池で受けて電力を取り出す．この電力は音の波形を基に変調されているため，そのままイヤホンを駆動することによって元の音をユーザに伝えることができる．これにより，バッテリーなどの電源は CoBIT には不要である．赤外線照射の方向によってある程度の端末選択性を有するため，位置だけでなく向きに応じて異なる情報を干渉することなく得ることができる．

次に，アップロードについて説明する．環境側には，赤外線 LED をカメラ光軸近くに取り付けたカメラ（赤外線投光型カメラ）を設置する．ただし，カメラには可視光をカットする光学フィルタを装着し，赤外光が入射しなければ真っ暗な画像を出力するようにする．CoBIT の反射シートは再帰光反射をするので，赤外線投光型カメラの画像は，CoBIT のみが輝点として表されたものとなる（図 2）．この状態で，光路上に透過率を変化させる物体を置いてその点滅回数を数

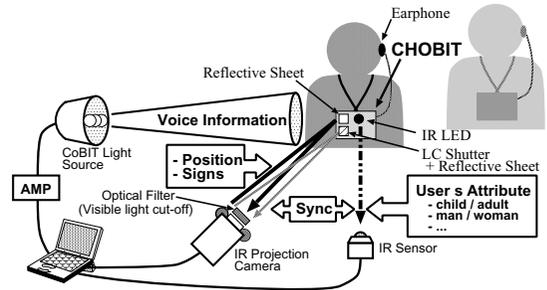


図 3 CHOBIT (Card type Hyper Optical Battery-less Information Terminal) とタグ検出器の構成

Fig. 3 System structure of CHOBIT (Card type Hyper Optical Battery-less Information Terminal) and tag sensor.

えるか，輝点の動きの特定パターンを認識することによってアップロードが実現される．CoBIT システムでは，前者は点滅回数認識，後者はジェスチャ認識としてアップロードを実現している．

また，輝点のみを処理すればよいため，システムは比較的容易に CoBIT の数やおよその位置を計測することができる．さらに，カメラを複数個用いることにより，CoBIT の 3 次元位置や向きも検出することができる¹¹⁾．

3. CHOBIT の提案

CHOBIT (Card type Hyper Optical Battery-less Information Terminal) は，数 m の距離からでも認識できるユーザ属性のタグ付けによって，個人対応の情報支援実現を目的とした無電源で動作する音声情報端末である．これは，我々がこれまでに提案してきた無電源小型情報端末 CoBIT⁷⁾ (図 1) に赤外線 LED と液晶シャッタを付加した形で構成される．赤外線 LED は，性別や年齢などのユーザの属性を点滅パターンにより表現し，それを空間中に送出する．この属性情報は環境中に設置されたタグ検出器（センサ）により受信される．液晶シャッタは，反射シートの見掛けの大きさを変更させること用いられ，属性の送信タイミングをタグ検出器（カメラ）に送信すると同時に，ユーザにもその動作を知らせる．図 3 は，CHOBIT を中心としたシステム構成図である．

なお，CHOBIT は，単に赤外線 LED と液晶シャッタを CoBIT の外部に加えて無電源駆動を実現しただけではなく，次章で示すように，回路として連動しているためにそれらが 1 つの音声情報端末を形成している点に注目されたい．

3.1 CHOBIT の基本設計

CHOBIT は，CoBIT が扱ってきた不特定のユーザ

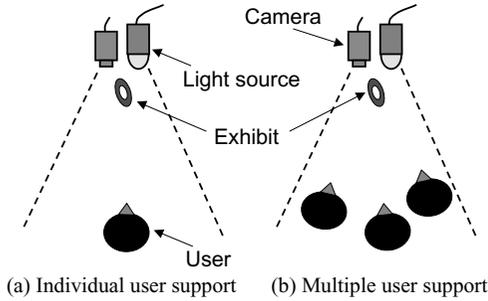


図 4 CoBIT システムでの情報支援の基本形態

Fig. 4 Basic forms of information support by CoBIT system.

への情報支援を拡張し、個人対応の情報支援を実現することを目的としている。個人対応は、ユーザの属性のタグ付けを端末に対して行うことにより可能となる。属性は、個人を特定しない程度の情報であり、たとえば、年齢や性別、また館内でのみ有効な入場者番号である。個人を特定しない理由は、プライバシー問題を回避する目的もあるが、位置に基づく通信ではその場所にいること自体が ID であり、携帯電話番号や MAC アドレスなどの一意な ID は CoBIT システムの通信において必要ないからである。

図 4 (a) は、CoBIT システムでの基本的な情報支援の形態である。会場内にこのような形態のシステムを多数設置することで位置に基づく情報支援を実現できる。図 4 (b) は、複数のユーザの合図や位置に応じた支援をしている様子である。さらに、CoBIT にユーザ属性を付加すれば、次のような個人対応の情報支援が可能となる。

図 4 (a) ユーザ属性を用いることにより、展示物の目の前にいるユーザに合った情報を提供することができる。たとえば、年齢に応じてコンテンツを子供向けや大人向けに切り替えたり、一般向けや専門家向けといった具合である。

図 4 (b) ユーザ属性を用いることにより、カメラ画像内での複数ユーザの位置関係から特定のユーザを指定することができる。たとえば、「左側の男性の方」や「真中のお子さん」というようにである。また、このような状況から、目の前にいる複数ユーザが親子連れであるかもしれないことが推測できるようになる。システムがこの知識を用いれば、ユーザは、親子向けのコンテンツを得ることもできるようになる。

前者の例はこれまでに提案してきたカード型の CardBIT⁹⁾でも実現可能であるが、後者の複数ユーザへの対応は困難であった。ユーザは、環境中に設置

されたタグ読み取り器近く数 cm の距離まで端末を意識的に近づける必要があったため、それを画像中の輝点と結び付けることが困難であったためである。自然な形で個人対応の情報支援を行うためには、ユーザ属性を数 m の距離からでも安定して認識でき、画像の中での位置関係に対応付けられるタグおよびタグ検出器が必要である。

加えて、ここで、設置や運用について考えてみる。実際の博物館やイベント会場を想定すると、コンテンツの密度は一律ではない。したがって、密度に応じた環境システムのコスト（設置コスト、装置コスト）を最適化できるように、タグ検出器は柔軟に機器構成を変えられることが望ましい。図 4 のようにインタラク션을想定した高密度の情報支援もあるが、インタラク션을必要しない放送型の、すなわち赤外線投光型カメラを使わない形態も考えられる。また、ダウンロードさえも行わず、ある領域内にどんなユーザがいるかといった Active Badge¹²⁾ のような、情報支援のための統計情報取得の形態も考えられる。これらのどの形態においてもユーザ属性を取得できるという要件を満足し、最適な装置コストや設置コストを選択できるタグ検出器が、CoBIT システムには望ましい。

3.2 CHOBIT の機能

以下に、CHOBIT がユーザに提供する 5 つの機能を示す。

- (1) ユーザの位置と方向に応じて音声情報を取得できる。
- (2) 上下左右に動かすことによりユーザの意志を環境装置に送信できる。
- (3) ユーザの属性（性別や年齢など）をつねに環境装置に伝えることができる。
- (4) 動作していることをユーザが視認できる。
- (5) 上記の機能がすべて環境やユーザが提供するエネルギーのみで、すなわち無電源で動作するため、メンテナンスフリー性を提供できる。

(1) および (2) の機能は、これまで、CoBIT や CardBIT で実現してきた。今回 CHOBIT で実現したのは、(3) および (4) の機能である。ただし (5) の無電源性は損なっていない。

(3) の機能は、CoBIT 光源（音声情報源）の有効範囲内はもとより、CoBIT 光源がない場所でも機能する。CHOBIT は、環境光のエネルギーを利用してユーザの属性情報を周期的に発信することができる。その周期は、現在の実装では、平均して 3 秒に 1 回である。

- (4) の機能は、液晶シャッターが赤外線だけでなく可

視光も散乱することによる．赤外線は人間には不可視であるため，赤外線タグそれだけでは，ユーザは CHOBIT の動作を容易に知ることができない．これに対し，液晶シャッタは，属性情報発信時に後述する「またたき」を行うため，タグ検出器（カメラ）に同期信号を与えるのみならず，ユーザにもそれが動作していることを伝えることができる．

3.3 タグ検出器の特徴

CHOBIT 用のタグ検出器は，単受光素子赤外線センサに赤外線投光型カメラを併用した形により構成される．センサがタグの属性検出を，カメラがユーザの位置検出を分担して行う．分離型であるので，アプリケーションの要求位置精度や環境システムにかけられるコストに応じて，以下の 3 種類の柔軟な装置構成が可能である．

- (1) センサ単体
- (2) センサとカメラ
- (3) 複数センサと複数カメラ

(1) は Active Badge のような利用法であり，センサをコピキタスに配置してユーザの大まかな存在を部屋単位で特定することができる．センサのみであるので，装置コスト，設置コストがともに低い．これは，Locust¹³⁾ や SmartKom¹⁴⁾ で行われているように，光ビーコンを受信することにより端末が自ら位置を知る方法とは逆のアプローチである．

(2) は Phicons¹⁵⁾ や Balloon Tag¹⁶⁾ のような利用法であり，カメラの方を向いている複数のユーザの位置関係と属性を知ることができる．3 種類の構成のうちこれが最も標準的な構成である．

(3) では，ユーザの 3 次元位置に基づいた高度な情報支援が可能であり，たとえば，博物館のブース内でユーザごとに別々の音声情報を提供する応用が考えられる．複数カメラを用いたこのときの位置精度は，現在のところ 5.1 cm である¹¹⁾．なお，得られたユーザの 3 次元位置に CoBIT 光源を向け，複数のユーザに対して完全な個別情報支援を行うことは今後の課題である．

3.4 無電源化の基本アイデア

CHOBIT の無電源化の鍵は，環境から提供されるエネルギーを最大限に利用することにある．CHOBIT は人間の活動を支援する音声情報端末である．このような人間が活動する場においては，つねに「光」が存在する．CHOBIT は，照明などによって環境中に定

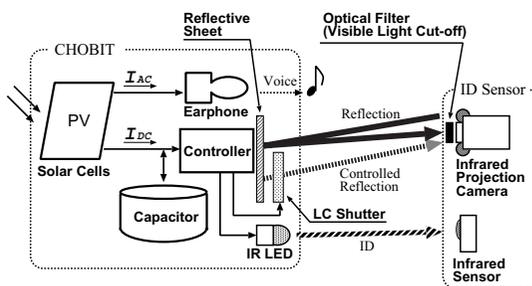


図 5 CHOBIT の構成とその出力図
Fig. 5 Block diagram and output of CHOBIT.

在するこれらの光エネルギーと CoBIT 光源からの光エネルギーを利用してユーザ属性の送信に必要な電力を得ている．また，光電変換による電力のみならず，光の反射も積極的に利用して属性送信を行っている．以下，これらの無電源化の仕組みが端末，検出器でどのように活かされているかについて述べる．

CHOBIT は，太陽電池起電成分のうち直流成分を利用することによりタグの無電源化を実現している．図 5 に，CHOBIT の構成図を示す．従来の CoBIT は，強度変調された赤外線を太陽電池で受け，そこで発電した電力のうちアナログ音声信号の載った交流成分 (I_{AC}) を取り出して直接イヤホンを駆動していた．いい換えれば，太陽電池が起電する直流成分はそのほとんどを利用せずに熱として捨ててしまっていた．CHOBIT は，この直流成分 (I_{DC}) の電力を積極的に利用して赤外線タグと液晶シャッタを駆動している．図のように，赤外線タグの信号は環境中に配置されたセンサがとらえ，液晶シャッタにより制御される反射シートの一部の反射率の変化は同じく環境中のカメラがとらえる．

ここで，もし直流成分 I_{DC} が十分にとれるなら，Phicons や Balloon Tag のように赤外線タグのみでもカメラを用いてユーザの属性と位置を検出可能である．しかし，現在の太陽電池技術では，情報端末として現実的な大きさを保ちつつ赤外線タグの LED を長時間発光 させるだけのエネルギーを環境光中から取り出すことは困難である．すなわち，無電源実装した赤外線タグをカメラで安定して撮像することは容易ではない．そこで，LED に比べてきわめて弱い電力で制御することができる液晶を用いて再帰光反射を制御し，カメラフレーム中に複数いるユーザの誰が属性を発信したかを関連付ける手法を用いることとした．

床面約 5 m×5 m，高さ約 2.5 m の室内の天井の周囲に 7 機の赤外線投光型カメラを設置して実験したときの値である．

カメラで安定して撮像するためには，2 フレームに相当する約 66 ミリ秒の LED 発光時間が必要である．

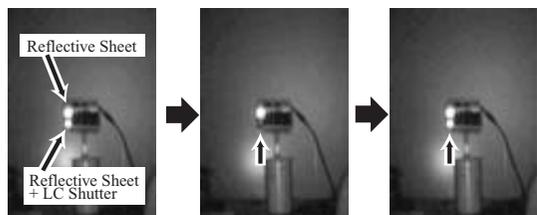


図 6 再帰光反射を液晶シャッタで制御して「またたき」をとらえた赤外線投光型カメラ画像：シャッタ開（左），シャッタ閉（中），シャッタ開（右）

Fig. 6 Camera images of a reflection “blinking” controlled by liquid crystal shutter: shutter open (left), shutter close (center), shutter open (right).

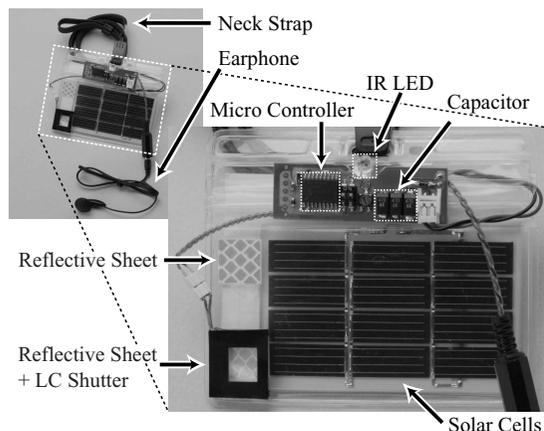


図 7 試作した CHOBIT

Fig. 7 An experimentally produced CHOBIT.

図 6 は、その液晶シャッタによる再帰光反射制御を実際に赤外線投光型カメラでとらえた画像である。CHOBIT は赤外線タグによるユーザ属性の送信と同時に、図のような「またたき」を行っている。つまり、カメラには写らない程度の短い時間（約 7 ミリ秒）で発信された赤外線タグの属性情報はセンサが受信し、カメラフレーム中に複数のユーザがいる場合はその誰が発信したかを液晶シャッタが示すことにより、両者の同期を実現している。このようにして CHOBIT は、環境から提供されるエネルギーを最大限に利用してタグを無電源で駆動している。

4. 実装

赤外線タグと液晶シャッタを無電源で駆動する音声情報端末 CHOBIT（図 7）と、そのタグ検出器（図 8）を試作した。従来の CoBIT は耳掛け式であったが、CHOBIT は CardBIT⁹⁾ のようにインタラクションを重視してカード型の首下げ式とした。表 1 に、試作した CHOBIT の諸元を示す。

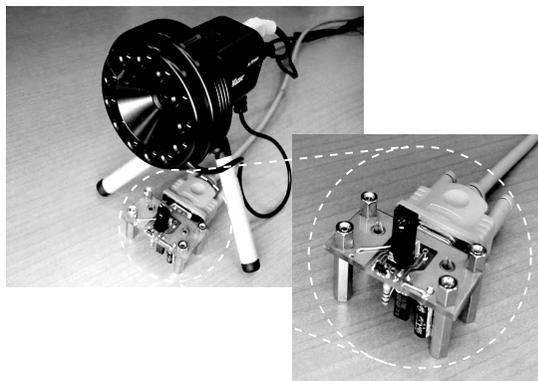


図 8 赤外線投光型カメラ（上）と試作した赤外線センサ（下）
Fig. 8 Infrared projection camera (upper) and infrared sensor (lower).

表 1 試作した CHOBIT 端末の諸元
Table 1 Specification of CHOBIT terminal.

外形寸法	110 × 90 × 7 mm (突起部含まず)
質量	46 g (ネックストラップ含まず)
消費電力	0.05 mW (CoBIT 回路中直流成分)
赤外線タグ部	
情報量	4 bit (+ パリティ 1 bit)
到達距離	屋内で 3 ~ 5 m
発信周期	平均 3 秒に 1 回
液晶シャッタ部	
寸法	10 × 10 mm
開閉タイミング	赤外線タグ発光に同期

4.1 CHOBIT 端末の実装

CHOBIT の赤外線タグは、マイコンで赤外線 LED の点滅が制御される。マイコンおよび LED は、3.4 節で述べたように、太陽電池起電成分のうちの直流成分によって駆動される。現在の実装では、タグの発信周期は約 3 秒であり、複数端末の衝突回避のため疑似乱数を用いて発信間隔を 2.5 ~ 3.5 秒の間で揺らがせている。発信できるタグ情報は、現在の実装では 4 bit である。4 bit のタグ情報は、誤り検出のための 1 bit のパリティとともに、38 kHz の搬送波の上にパルス位置変調 (PPM) を用いて変調され、信号の開始を示すリーダーコードと信号の終了を示すストップコードに挟まれて送信される。PPM のパルス長は 300 マイクロ秒で、コードシーケンス時間は 6 ~ 7.2 ミリ秒の可変である。図 9 にタグのコードシーケンスを示した。

液晶シャッタにはポリマーネットワーク型液晶パネル（シチズン時計製、液晶厚層 6 μm）を使用した。この液晶は、絶縁状態では入射光が散乱 (OFF 状態) され、一対の電極の両端に 2 V 50 Hz 以上の交流を加えると透明 (ON 状態) となる。片電源矩形波の疑似交流で

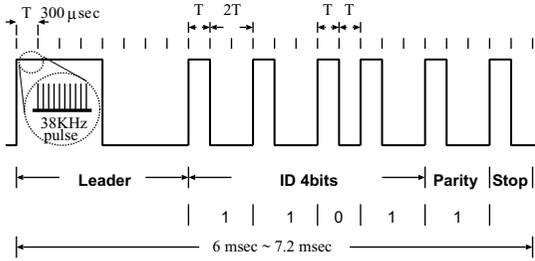


図 9 赤外線タグのコードシーケンス
Fig. 9 Code sequence of infrared tag.

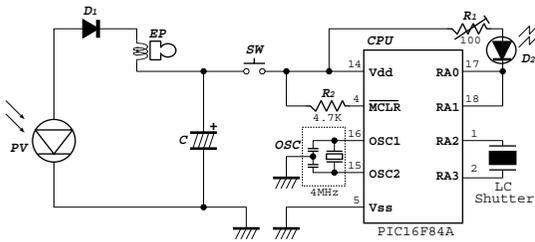


図 10 CHOBIT 回路図
Fig. 10 CHOBIT circuit.

も動作する ため、これもタグ制御用のマイコンを用いて直接制御している。マイコンは、待機時には液晶を ON 状態にしており（疑似交流を印加）、タグ発信時には液晶を OFF 状態にしている。また、30 fps のカメラでも安定して撮影できるように、マイコンはタグ発信後 50 ミリ秒間（約 2 フレームに相当）は液晶が OFF 状態のままになるように制御している。現在の実装では、液晶部が 10 × 10 mm（外形寸法 20 × 22 mm）、1 mm 厚のガラス製のものを使用し、これを 2 枚重ねることにより ON/OFF のコントラスト比を大きくしている。

図 10 に、CHOBIT の回路図を示す。太陽電池モジュール PV に並列接続されたキャパシタ C は蓄電用であり、PV の起電成分のうちの直流成分が蓄えられる。これは同時にマイコン CPU に対して電圧平滑化も行う。一方、PV とそれに直列接続された EP は CoBIT 本来の部分であり、PV の起電成分のうちの交流成分を利用して音声情報を再生する。整流ダイオード D₁ は逆流防止用である。すなわち、受光しなくなった際に抵抗作用が働く PV へ C からの電力流出を防ぐ役割を果たす。赤外線 LED D₂ の点滅を制御するためのマイコン CPU には、2V の低電圧駆動が可能なマイクロチップ社製 PIC16F84A を用いた。

厳密には 25 Hz の微小なフリッカリングが見られるが、30 fps のカメラで観察する目的では問題とならない。

表 2 CHOBIT の太陽電池諸元
Table 2 Specification of the solar cells for CHOBIT.

太陽電池種類	単結晶シリコン素子 (シエルソーラー社製)
セル数	12
外形寸法	85 × 54 × 2.5 mm
光電変換効率	14.3%
最大出力電圧	5.8 V
最大出力電流	77.5 mA

D₂ に直列接続された半固定抵抗 R₁ は D₂ への電流制限用であり、タグの到達距離を制御する。PV にはシリコン太陽電池を用い（表 2）、キャパシタには 1,410 μF の容量（470 μF を 3 並列）のコンデンサを用いた。

4.2 タグ検出器の実装

タグ検出器は、赤外線投光型カメラと赤外線センサにより構成される。赤外線投光型カメラの映像は、画像キャプチャボードを介して計算機に入力される。赤外線センサは、現在の実装では、RS-232C を介してカメラと同一の計算機に接続され、センサ側では 38 kHz の搬送波の検知を、計算機側では PPM の復調とパリティ検査を行っている。これは、赤外線リモコン受信器のような搬送派検知と PPM 復調を行うハードウェアモジュールによって、検知したタグ情報がセンサネットワークを通じて計算機に入力されるようにしてもかまわない。ただし、カメラと同期をとるために受信遅延がある程度一定である必要がある。

なお、赤外線センサには、市販の赤外線リモコン受光モジュール（SANYO 製）を用いた。赤外線投光型カメラには、モノクロ CCD カメラ（Watec 製）に赤外線照射モジュールをマウントし、レンズと CCD の間には光学フィルタを挿入して可視光をカットするようにしてある。

5. 特性評価

5.1 太陽電池発電量

CHOBIT に使用した太陽電池がどの程度の発電量があるかを測定した。ユーザが CoBIT 光源の前で情報支援を受けている場合（環境光+CoBIT 光）と情報支援を受けずに単に移動している場合（環境光のみ）について評価した。

図 11 は、白色蛍光灯下、すなわち環境光のみの場合の太陽電池の発電量である。図より、照度が 500 lx 以上あればおおむね 0.05 mW の電力を確保できることが分かる。500 lx は、蛍光灯照明の事務所の平均照度に相当する。したがって、事務所程度の明るさがあれば、CoBIT 光源からの電力供給がなくても 0.05 mW

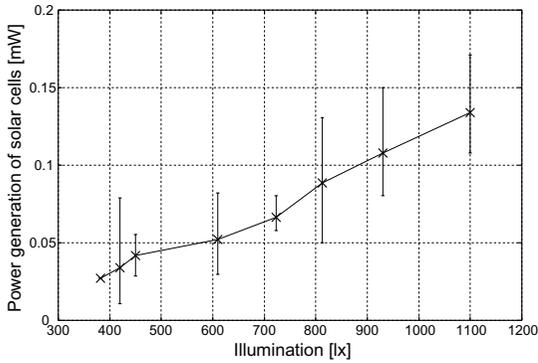


図 11 照度による太陽電池発電量 (白色蛍光灯下)

Fig. 11 Power generation of the solar cells for illumination (under fluorescent lights).

の電力を利用できる。一方, CoBIT 光源から得られる電力は, 光源より 2m の位置で 0.18 mW (CoBIT 光源出力 750 mW) である。したがって, ユーザが情報支援を受けている場合には 0.23 mW の電力が利用できる。

なお, 測定は, CHOBIT が実際に利用される状況を再現できるように, 太陽電池を首下げ式の名刺ホルダ (塩化ビニル製) に入れ, 太陽電池の受光面が鉛直に対して天井方向に約 10 度の傾きを保って行った。また, 太陽電池は一般に最大出力を示す負荷電圧が照度によって異なるが, 測定では負荷電圧は 2V 固定とした。

5.2 タグ発信周期と消費電力

CHOBIT が赤外線タグと液晶シャッタを駆動するのにどれくらいの電力が必要かを評価した。また, どの程度の周期でタグを発信することができるかを評価した。消費電力のうち全体の 90% 以上は, タグの発信, すなわち赤外線 LED の発光に費される。したがって, タグの発信周期が長くなればなるほど平均消費電力は小さくなる。

前節より, 0.05 mW が環境光のみから得られる電力である。すなわち, 平均消費電力が 0.05 mW 以下であれば CHOBIT は動作し続けることができる。図 12 は, タグ発信間隔に応じた CHOBIT の平均消費電力である。グラフより, 発信間隔が約 3 秒以上であれば, 平均消費電力が 0.05 mW 以下となるため環境光のみで CHOBIT は動作し続けられる。

なお, 平均消費電力の算出は次のように行った。まず, マイコンそれ自体の消費電力を実測した結果, 動作電圧 2.5V のときでタグを送出しない待機状態の消費電力が約 10 μ W (液晶シャッタ駆動用の 50 Hz の疑似交流生成処理も含む), タグを送出する動作状態の

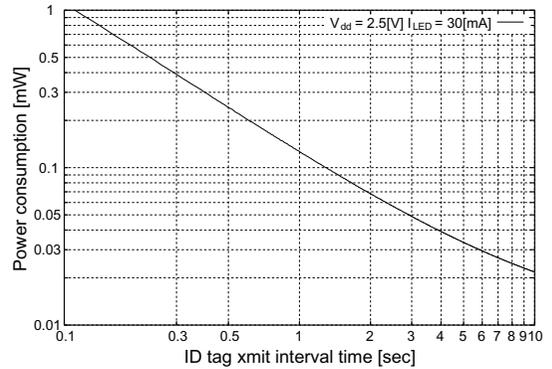


図 12 タグ発信間隔に対する平均消費電力

Fig. 12 Power consumption for tag transmit intervals.

それが約 650 μ W であった。これに赤外線 LED 発光のための電力と液晶シャッタ駆動のための電力を加え, タグ発信時間と待機時間の比率から平均化したものを消費電力とした。赤外線 LED の駆動電流は 30 mA としたが, 液晶シャッタの消費電力は 0 mW とした。これは, 液晶シャッタはインピーダンスがきわめて高く, 手持ちの測定器では測定限界以下であったため消費電力は無視できるほど小さいと判断したためである。試作機のタグシーケンス時間は ID 番号によって変化するが, 算出には最も長くなる 7.2 ミリ秒を用いた。

5.3 起動時間

CHOBIT がタグの発信を開始するまでにどの程度の起動時間を要するかを評価した。CHOBIT は, 制御用マイコンの制約からキャパシタの蓄電電圧が 2V 以上に達しないとタグの動作を開始できない。これは, 鞆や保管庫などの暗所から CHOBIT を取り出して実際に使用できるようになるまでの状態を模した評価である。事務所相当の照度 (500 lx) のときの起動時間は, 約 17 秒であった。

5.4 到達距離

赤外線タグがどの程度の距離まで到達するかを測定した。キャパシタ電圧 2.5V, 赤外線 LED 電流 30 mA の通常運用状態での有効距離は平均して 3m であった。なお, タグの到達距離は赤外線 LED の発光量に応じて変化し, 発光量は電源となるキャパシタの蓄電電圧に大きく依存する。現在の実装では, 電圧レギュレーションは小電力化のため特に行っていないが, 半固定抵抗を用いてその発光量 (流入電流量) を制御することができる。音響ボリュームのようにこれを操作し, 赤外線 LED 電流を 50 mA としたときの有効距離は

音声情報を受信して再生する従来の CoBIT 機能にはマイコンは使用されないため, 蓄電電圧が 2V に達しなくても動作する。

約 5m であった。

6. 関連研究

従来より、ID タグとセンサを用いてユーザやオブジェクトの位置や移動履歴を認識するシステムの研究が、コピキタスや拡張現実、ロボティクスなど様々な分野で行われてきている。なかでも、ID タグを光としてとらえるシステムは、光の指向性や空間解像度の良さを利用して比較的容易にオブジェクトの ID と位置検出が可能である。一般に、光を使った ID タグは、ビジュアルタグと赤外線タグに大別される。以下では、それぞれの方式ごとに従来のシステムの情報支援環境への応用について考察する。

6.1 ビジュアルタグ

ビジュアルタグを利用してオブジェクトの位置と ID を認識するシステムがいくつか存在する。例としては、Rekimoto ら¹⁷⁾ は 2 次元バーコードの一種である CyberCode と呼ばれるビジュアルタグをオブジェクトに貼付し、カメラを用いてそれをビジョン解析することにより実世界の貼付位置を基準とした 3 次元位置と ID を認識するシステムを実現している。また、羽田 ら¹⁸⁾ はマークとバーコードを組み合わせたマーコードと呼ばれる 10cm 四方程度のビジュアルタグをステレオカメラとバーコード読み取りカメラを組み合わせたビジョンシステムで解析することにより、オブジェクトの ID と 3 次元位置を認識するシステムを実現している。

ビジュアルタグの最大の利点は、タグにはいっさい電源を必要としないことである。すなわち、電源管理やワイヤリングなどのタグの保守を必要としない。また、印刷などで容易にタグを作成できることから安価でもある。したがって、場所を選ばず多数のタグをユーザ(オブジェクト)や環境中に配置することができる。これら充電不要かつ安価なビジュアルタグの特長は、我々が目指す情報端末のタグとして、相性が非常に良いといえる。

しかしながら、ビジュアルタグを認識するための検出器は、比較的高価なカメラと CPU の組合せのみの選択肢しかなくなるのは残念である。また、通常の動画カメラの空間分解能を考えると、上記のシステムのようにズームカメラを用いたり、照明を一様にしたりするなどの工夫を行う必要がある。

6.2 赤外線タグ

赤外線方式の ID タグシステムはすでにいくつかのシステムが存在する。例としては、Want ら¹²⁾ は Active Badge と呼ばれるバッジ型の赤外線 ID タグをユーザ

が携行し、その出力を建物中に配置された単受光センサが受信することでユーザの ID と位置を部屋単位で認識するシステムを実現している。このシステムは現在では商用もされている。Kirsch ら¹³⁾ は Locust と呼ばれる屋内用の位置認識システムを実現している。これは、Active Badge や本論文の CHOBIT とはタグとセンサの関係が逆であるが、特徴的な機能として太陽電池を用いたタグの無電源駆動があげられる。Moore ら¹⁵⁾ のシステムや青木¹⁶⁾ の Balloon Tag では、赤外線 ID タグを通常のカメラを使ってビジョン解析することで、ID 認識やカメラ相対のタグの位置認識を実現している。また、必ずしもタグに赤外線の利用が必須ではないが、松下ら¹⁹⁾ が実現した、高速 CMOS イメージセンサを用いた ID Cam と呼ばれるカメラシステムもある。これは、照明や家電製品などのパイロットランプの LED を人間に感知できないほどの速度で点滅させ、それを ID として認識すると同時に風景の撮影もできるカメラシステムである。

赤外線タグは、赤外線リモコンと同様にして、出力に応じて数 10m の距離からでも安定して ID を発信/検出できる点で有用である。また、従来のシステムが変遷してきたように、検出したい位置精度に応じてセンサの構成を柔軟に変えられる点も利点としてあげられる。たとえば、部屋単位の位置精度でよければ Active Badge のように単受光センサのみでも十分であるし、より高い位置精度が必要な場合は Balloon Tag や ID Cam のようにカメラを使用することもできる。

しかしながら、従来のシステムは赤外線タグの駆動に内蔵電池を使用しているため、運用時には電池の保守管理が必要である。Locust は CHOBIT と同様にタグの無電源駆動が可能であるが、情報端末として必要なインタラクションは想定されておらず、また、タグとセンサの関係が逆であるがゆえ、端末には電源が必要である。したがって、端末のユーザや管理者は、つねに電池の残量を気にしなければならなくなり、電池交換や充電などの繁雑な作業を強要される。また、いつ電池切れを起こすかわからないといったユーザの心理的なストレスも無視できない。これら電池残量のチェックや電池交換が不要となれば、ユーザや管理者にとって端末は使いやすいものとなるであろう。

7. おわりに

本論文では、赤外線タグを無電源で駆動し、無電源で音声情報を取得できる情報端末 CHOBIT を新たに提案し、実装および評価を行った。また、装置構成を柔軟に変更できる CHOBIT 用のタグ検出器の提案も

行った。これら CHOBIT およびタグ検出器を用いれば、ユーザは電池切れを心配することなく個人対応の音声情報を自然な形で得ることができる。また、これらは我々がこれまでに提案してきた CoBIT システムの素直な拡張であるため、ユーザの位置と方向に基づいて環境装置とのインタラクションが、同じく無電源で可能である。

今後の課題としては、4 bit のタグ情報を現実的な 16 bit 程度に増大させることがあげられる。今回の実装では、赤外線センサに市販の赤外線リモコン受光モジュールを用いたために、その仕様 (38 kHz 搬送波と 300 マイクロ秒最小パルス幅) と端末の消費電力の関係から情報量が 4 bit となった。マイコン自体は現在の消費電力の範囲内で 500 kHz の搬送波までを制御する能力を有するため、より高周波のセンサを用いて狭いパルス幅で送信すれば、16 bit の実現は十分に可能である。

謝辞 有意義なご意見をいただいた査読者の方々に感謝いたします。

参 考 文 献

- Weiser, M.: Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, *CACM*, Vol.36, No.7, pp.75–84 (1993).
- Satyanarayanan, M.: Pervasive Computing: Vision and Challenges, *IEEE Personal Communications*, pp.10–17 (2001).
- Schilit, B., Adams, N. and Want, R.: Context-Aware Computing Applications, *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.85–90 (1994).
- 中島秀之: マイボタンによる状況依存支援, *人工知能学会誌*, Vol.16, No.6, pp.792–796 (2001).
- Brabyn, J. and Brabyn, L.: Speech Intelligibility of the Talking Signs, *Journal of Visual Impairment & Blindness*, Vol.76, pp.77–78 (1982).
- 伊藤啓二: ユニバーサルな視覚サイン—音声情報案内システムトーキングサインについて, *人間生活工学*, Vol.2, No.4, pp.8–11 (2001).
- 西村拓一, 伊藤日出男, 山本吉伸, 中島秀之: 無電源小型通信端末を用いた位置に基づく状況支援システム, *情報処理学会研究会報告*, 2002-ICII-2, pp.1–6 (2002).
- 中村嘉志, 伊藤日出男, 西村拓一, 山本吉伸, 中島秀之: 無電源小型通信端末 CoBIT による近距離情報支援の実現, *情報処理学会研究会報告*, 2002-ICII-3, pp.1–7 (2002).
- Nakamura, Y., Nishimura, T., Itoh, H. and Nakashima, H.: A System of Card Type Battery-less Information Terminal: CardBIT for Situated Interaction, *Proc. PerCom 2003*, pp.369–377 (2003).
- 中村嘉志, 伊藤日出男, 西村拓一, 中島秀之: 無電源で ID と位置を発信するインタラクティブ情報端末 ID-CoBIT の実現, *情報処理学会 DI-COMO2003 シンポジウム論文集*, pp.481–484 (2003).
- 岡谷 (清水) 郁子, 西村拓一, 前川 仁: 複数カメラを用いた無電源小型通信端末の位置・方向推定, *情報処理学会研究会報告*, 2002-ICII-3, pp.9–14 (2002).
- Want, R., Hopper, A., Falcão, V. and Gibbons, J.: The Active Badge Location System, *ACM Trans. Info. Sys.*, Vol.10, No.1, pp.91–102 (1992).
- Kirsch, D. and Starner, T.: The Locust Swarm: An environmentally-powered, networkless location and messaging system, *Proc. 1st Intl. Symp. on Wearable Computers*, pp.169–170 (1997).
- Bohnenberger, T., Jameson, A., Krüger, A. and Butz, A.: Location-Aware Shopping Assistance: Evaluation of a Decision-Theoretic Approach, *Proc. Mobile HCI 2002*, pp.155–169 (2002).
- Moore, D., Want, R., Harrison, B., Gujar, A. and Fishkin, K.: Implementing Phicons: Combining Computer Vision with InfraRed Technology for Interactive Physical Icons, *Proc. UIST'99*, pp.67–68 (1999).
- 青木 恒: カメラで読み取る赤外線タグとその応用, *インタラクティブシステムとソフトウェア VIII*, pp.131–136 (2000).
- Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *Proc. DARE 2000*, pp.1–10 (2000).
- 羽田芳朗, 高瀬國克, 鮎沢 努: マークベースト 3 次元ビジョンシステムの開発, *電気学会論文誌*, Vol.120-C, No.5, pp.625–633 (2000).
- 松下伸行, 日原大輔, 後 輝行, 吉村真一, 暦本純一: ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ, *情報処理学会論文誌*, Vol.43, No.12, pp.3664–3674 (2002).

(平成 15 年 4 月 17 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



中村 嘉志(正会員)

1994年神奈川県立大学理学部情報科学科卒業。1996年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士前期課程修了。1997年同専攻博士後期課程退学。同年同研究科助手を経て、現在産業技術総合研究所特別研究員。分散システムの研究に従事し、現在情報支援システムに興味を持つ。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



西村 拓一(正会員)

1992年東京大学工学系大学院修士(計測工学)課程修了。同年NKK(株)入社。X線, 音響・振動制御関係の研究開発に従事。1995年技術研究組合新情報処理開発機構つくば研究センタに出向。1998年NKK(株)復帰。1999年技術研究組合新情報処理開発機構つくば研究センタに所属。2001年産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センターに所属し、現在に至る。博士(工学)。時系列データ検索・認識, 実世界情報支援に興味を持つ。電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。



伊藤日出男(正会員)

1982年東北大学工学部電子工学科卒業。1984年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。同年通産省工技院電子技術総合研究所入所。2001年独立行政法人産業技術総合研究所に改組。サイバーアシスト研究センターデバイス研究チーム長。ビーム偏向半導体レーザの開発とその応用研究に従事し、現在測位空間光通信システムに興味を持つ。IEEE, OSA, 電子情報通信学会, 応用物理学会, 日本光学会各会員。



中島 秀之(正会員)

1983年東京大学大学院情報工学専門課程修了。工学博士。産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター長。北陸先端科学技術大学院大学客員教授。人工知能, 特に知識表現, 推論等を状況依存性の観点から研究。最近はマルチエージェントならびに複雑系の情報処理とその応用に興味を持っている。認知科学学会会長, ソフトウェア科学会理事, 人工知能学会会員, マルチエージェントシステム国際財団理事。主要編著書:『知的エージェントのための集合と論理』(共立出版),『思考』(岩波講座認知科学8),『記号の世界』(岩波書店),『Prolog』(産業図書)。