

Title	赤外IDタグを用いた自己記述的な環境の構築
Author(s)	伊藤, 禎宣; 市原, 貴雄; 坂本, 竜基; 間瀬, 健二; 國藤, 進
Citation	情報処理学会研究報告 : ヒューマンインタフェース研究会報告, 2004(115): 43-48
Issue Date	2004-11
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/3393">http://hdl.handle.net/10119/3393</a>
Rights	<p>社団法人 情報処理学会, 伊藤禎宣 / 市原貴雄 / 坂本竜基 / 間瀬健二 / 國藤進, 情報処理学会研究報告 : ヒューマンインタフェース研究会報告, 2004(115), 2004, 43-48. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.</p>
Description	

## 赤外 ID タグを用いた自己記述的な環境の構築

伊藤禎宣<sup>\*1\*2</sup>, 市原貴雄<sup>\*1\*3</sup>, 坂本竜基<sup>\*2</sup>, 間瀬健二<sup>\*1\*4</sup>, 國藤進<sup>\*3</sup>

日常的な生活空間において、実世界への理解度や利便性を高める目的で、実世界オブジェクトが自己の状態や属性、機能などを発信する自己記述的環境を提案する。本稿では、タグシステムによる同環境実現のために必要な機能やクリアすべき問題について検討し、システムの実装を行ったので報告する。

### Self-Describing Environment using Infrared ID Tag System

Sadanori Ito<sup>\*1\*2</sup>, Takao Itihara<sup>\*1\*3</sup>, Ryuki Sakamoto<sup>\*2</sup>, Kenji Mase<sup>\*1\*4</sup>, Susumu Kunifuji<sup>\*3</sup>

We propose the Self-Describing Environment that a real world object sends self-state, attribute and functions, in order to raise the degree of comprehension and convenience to the real world, in an everyday life space. In this paper, we examine functions required for this environmental realization by the tag system.

- \*1 ATR メディア情報科学研究所 ATR Media Information Science Laboratories
- \*2 ATR 知能ロボティクス研究所 ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories
- \*3 北陸先端科学技術大学院大学 Japan Advanced Institute of Science and Technology, Hokuriku
- \*4 名古屋大学情報連携基盤センター Information Technology Center, Nagoya University

#### 1. はじめに

電子機器の小型化低価格化が進み、我々の日常には、様々な多機能デバイスが溢れている。その多くには、利用者が内部状態や機能を知るための表示器、インジケータが備わっている。しかし、多くの製品にただ一つ付いた電源ランプのように、最低限度に削ぎ落とされ、一般化された情報しか発信されていない。これは、情報の混乱を避ける目的もあるが、個々の利用者にとって適切な情報提供があるとは言い難く、常に情報不足の状態であるとも言える。

これに対して、本研究では、デバイスの内部で発信情報を制限するのではなく、個々のオブジェクトは潤沢に情報を発信し、利用者側に情報を取捨選択する装置を持たせることで、より適切な情報の取得と理解を助ける環境を目指す。ユビキタスな装置として、実世界のオブジェクトに埋め込まれた、対象物の状態や属性を発信するタグと、ウェアラブルな装置として、タグからの情報を受けるトラック、および HMD (Head-Mounted Display) などの情報の再提示装置を用いることを想定する。このように利用者による実世界の理解度や利便性を高める目的で、実世界オブジェクトが自己の状態や属性、機能などを発信する環境を、自己記述的環境と呼ぶ。本研究では、このような環境を実現するための装置として、光学 ID タグシステム[伊藤 2003]を用いる。同システムは、既に、装着者の視野内対象物判別を目的とした開発と運用を行っている[角 2003]。再提示装置として HMD を用いた場合、視野内対象物の映像に、予め記録された対象物情報を重畳表示する、といった“拡張現

実”的な、本稿が提案する自己記述的環境の実現に近い使い方も可能である。しかし、これを汎用的なタグシステムとして運用可能な構成とするには、いくつかの問題が明らかになった。

本稿では、現状のタグを使って自己記述的環境を実現する上で明らかになった問題と、その問題解決のために新たに構築したタグシステムについて報告する。

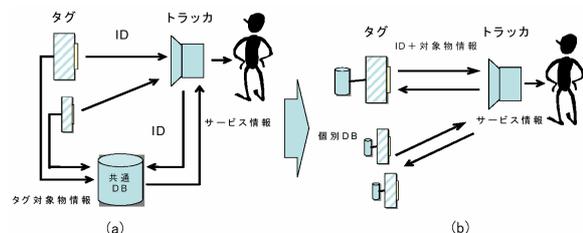


図1 タグシステムのネットワーク構成

#### 2. 関連研究と本研究の位置付け

タグを用いて実世界の対象物特定を行う研究には、無線 [Want1999] や超音波 [Harter 2002]、赤外 LED-PD(Photodetector)[Want1992]などの様々な方式によるものが提案されている。しかし、近～中距離(数m)で比較的空間解像度が要求(数cm)され、実世界環境での運用可能な装置の可搬性といった条件を満たす方式としては、LED-IS(Image Sensor)方式 [Moore1999][青木 2000][松下 2002][岸野 2003]が適切と考えられ、我々もこの方式での開発を行っている[伊藤 2002]。

多くの既存タグシステムは、タグに記録された数バイトの ID 番号をもとにデータベースを参照し、タグが貼付けられた対象物の情報を取得する(図 1a)。直接タグに情報を格納しないため、タグの小型化と低価格化が可能であり、対象物の情報をDBで統一的に変更できるため、一元管理が容易といった利点がある。一方で、DB参照用にバックボーンとなる通信環境が別途必要であり、個々のタグ対象物の状態変化等に応じて DB 内容を随時更新するのは困難といった欠点もある。本研究で提案する自己記述的環境では、タグシステムに対して、家電や電子機器のようなデバイスの内部状態や使用者履歴といった、個々の対象物に属し、随時変化する情報を発信させることで、利用者のよりリッチな情報取得を助ける装置としての役割を与える。このような個々の情報発信を想定する場合、情報の一元管理を目的とするクライアントサーバ型の構成よりも、タグから利用者に直接情報伝達するピアツーピア型の構成が、情報伝達の遅延やコストの面で優れていると考えられる(図 1b)。また、一般的なタグシステムでは、利用者による情報取得に、対象物を指し示す明示的なスキャン行為が必要であるが、日常的な環境での容易な情報取得を目的とする本研究では、対象物の視認と同時に、対象物情報を付加的に確認できる拡張現実的な構成 [Rekimoto2000]とする。システム利用のイメージを図 2 に示す。

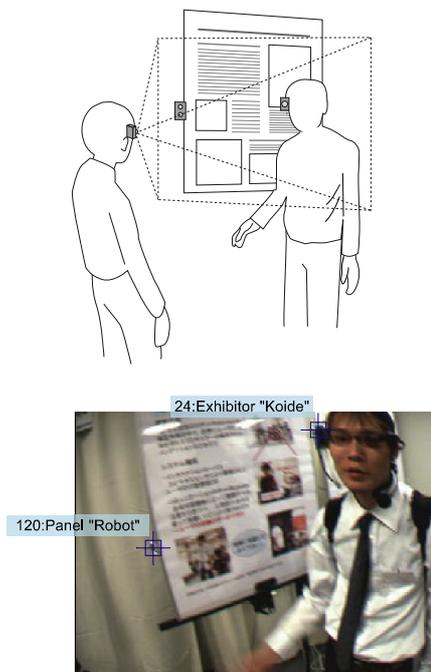


図 2 利用イメージ

### 3. 既存タグシステムの問題

#### 3.1. タグトラッカ間の通信速度

このようなタグシステムの実現には、光学的なタグ位置識別手段と、情報取得に現実的な速度を持つ通信手段が必要となる。既に我々が製作した IrID タグシステム [伊藤 2003] や、他の LED-IS 方式による装置 [Moore1999][青木 2000][松下 2002][岸野 2003]は、光学的なタグ識別手段を用いて、数バイト程度の ID 情報を取得することは可能である。しかし通信速度が、数十 bps 程度であるため、対象物に属する詳細な内部状態の記述や使用者履歴といった数 KByte に達する情報を現実的な速度で伝達することはできない。このため、これらのシステムでは、ID 番号のように限られた情報のみを発信し、大規模な情報伝達が要求されるアプリケーションでは、別途トラッカ側で無線 LAN などの通信手段を用いて DB を参照するという構成を採っている。しかし、この方式では、個々のタグに DB 情報をアップデートするための通信環境が必要となるため、自己記述的環境を実現するための現実的な選択肢とは言えない。このような近～中距離の P2P 型情報伝達に適したデバイスとしては、Bluetooth(TM)のような無線方式が用いられることが多い。1Mbps といった高速な通信が可能であり、性能的には十分である。しかし、タグとして運用するには、コストがつかあわないという問題がある。これらの LED-IS 方式タグによる情報伝達速度の限界は、端的にイメージセンサの撮影速度の限界と行うことができる。例えば、30fps のフレームレートでは 7bps 程度に伝達速度は制限される。本稿では、トラッカ側のイメージセンサに高速なフォトディテクタ(PD)を併置し、タグの LED から、低速なイメージセンサ用データ(タグ ID)と、高速な PD 用データ(タグ ID + 対象物情報)をそれぞれ発信することで、タグの位置識別と現実的な速度での情報取得を両立させる。この方式は、無線方式に対して、LED と PD の構成で済むため、容積やコスト面で有利である。また、光学式と無線式を併用する場合に比べて、二種類の光学式を用いる場合は、それぞれの通信範囲を同程度に制限できるため、セキュリティ面で有利と言える。

#### 3.2. タグの組み込みと消費電力

我々が以前提案した IrID タグシステムでは、位置識別用 ID を高速に取得するため、イメージセンサの積算時間を短縮し、400fps のフレームレートで撮影している。これにより、8bit の ID を約 1/10 秒で取得する。このような高速撮影に依存する LED-IS 方式のタグでは、短い積算時間で十分な受光量を確保するため、高輝度

LED が使われている。例えば、我々が前回提案したタグでは、5V で 50~80mA の電流を消費していた。しかし、日常的なデバイスに使用する上では、通常のインジケータランプと同程度の光量、消費電力とすることが望まれる。これによって、多くの電子機器が持つ、マイコンで制御される LED ランプを、ソフトウェアの改良でタグ相当品とすることが可能になるからである。

### 3.3. タグ位置の検出精度

LED-IS 方式によるトラックのイメージセンサ解像度は、QVGA 程度が標準的であり、我々が以前製作したトラックも 128x128 と、低解像度なものであった。これは撮像データに必要な処理能力が、フレームレートと解像度に依存するため、ウェアラブル環境の処理能力では限界があったことが大きな理由と言える。

しかし、例えば 128x128 解像度で画角 90 度のレンズを装着した場合、距離 2m での空間解像度は 31.25mm x 31.25mm と大分荒くなってしまい、近接した対象物間の識別も困難になってしまう。位置精度が要求されるアプリケーションに対応するため、高解像度なイメージセンサによる実装が必要である。



図3 タグシステムの構成

### 4. 新 IrID タグシステムの試作

我々が開発してきたタグシステムは、ID 番号を 1 個の LED の明滅により送信するタグと、明滅の倍のフレームレートでこれを受信するトラックをからなる。構成の概略を図 3 に示す。前章で明らかになった問題に対処するため、それぞれの要求された用途に向けたタグとトラックの改良を行った。

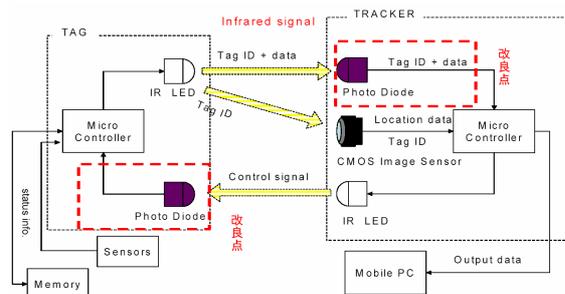


図4 PDを増設したシステムの概要

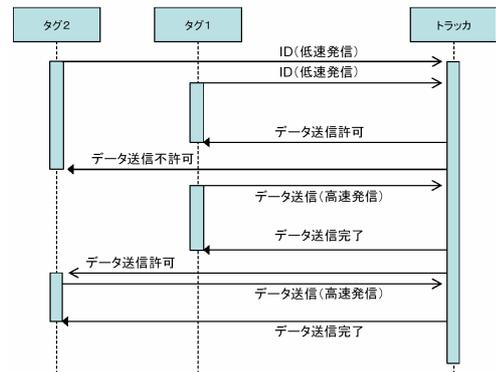


図5 タグトラック間通信プロトコル

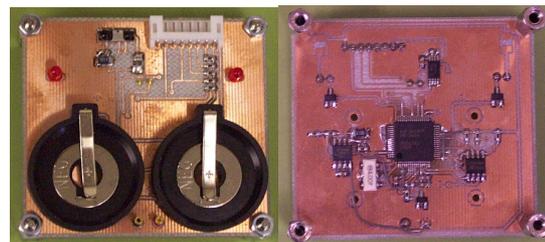


図6 試作タグ装置

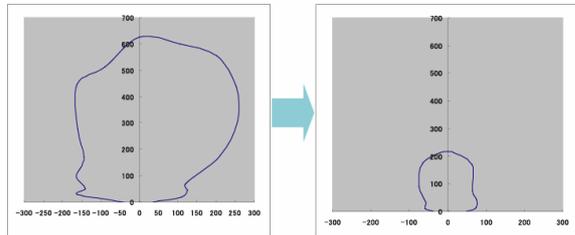
### 4.1. タグ 通信機能の追加

タグ-トラック間の通信速度は、イメージセンサの処理能力の他、タグ側 LED の輝度とイメージセンサの感度の関係に依存する。十分な明るさを持つ LED であれば、イメージセンサ側の積算時間を減らすことができるため、撮影フレームレートを上げることも可能である。しかし、現実的には、LED の輝度はタグの消費電力や発熱量に直結するため、あまりに高輝度のものを使うことはできない。そのため、多くの LED-IS 型タグシステムと同様に、我々のタグシステムもタグ-トラック間通信速度は、イメージセンサの感度によって制限されていた。

汎用のイメージセンサは、環境光下で数十 fps での撮影を目的とした感度設計となっており、高速撮影時に十分な感度を持ってはいない。また、多くのイメージセンサまわりの処理系で用いられる A/D も、低輝度 LED の明滅を高速撮影時に識別できるほどの分解能は持ってはいない。このため、多くの LED-IS 型タグシステムでは、数十 bps 程度の通信速度が限界となっている。

バックボーンネットワークを利用しない、自己記述的環境を実現するためのタグシステムとしては、対象物情報の伝達に十分な通信速度を持つデバイスの開発が必要である。ここでは、受光側に高感度な PD を併置することで、イメージセンサによるタグ位置識別と高速通信を両立させたタグシステムを試作した(図4)。タグは、イメージセンサがタグ位置を識別するための低速(200Hz)な明滅による ID 番号の送信と、PD が対象

物情報を受信するための高速(9600~38400bps)な送信を交互に行う。実際の通信では、ターゲットトラック間の混信を防ぐため、図5のような通信制御を行う。試作したタグ装置を図6に示す。



Limitation of IrID Tag radiation pattern

図7 タグ識別範囲の制御例

#### 4.2. タグ 識別範囲の制御

トラックによるタグの識別可能な範囲は、トラック側の画角と、タグ側の配光パターンによって決定される。

自己記述的環境のためのデバイスとして利用する場合には、無用な混信や電力消費を防ぐため、識別可能な範囲を適切に制御することが必要である。また、身体に装着したタグやトラックをセンサとして、人々のインタラクションを記録する用途の場合、記録対象となるインタラクションに適切な範囲を設定する必要がある [Ito2004]。

通常市販されるモールド型のLEDは、放射範囲に誤差が大きく、中心光量が極端に大きいなどの問題があった。そのため、ホログラム記録された配光パターンにそって光を拡散させる Light Shaping Diffuser などを用い、識別範囲の制御を試みた。制御結果の例を図7に示す。なお、識別可能な範囲内でのタグとトラックの相対位置の変化による、エラー率の変化はない。



図8 高感度版試作トラック

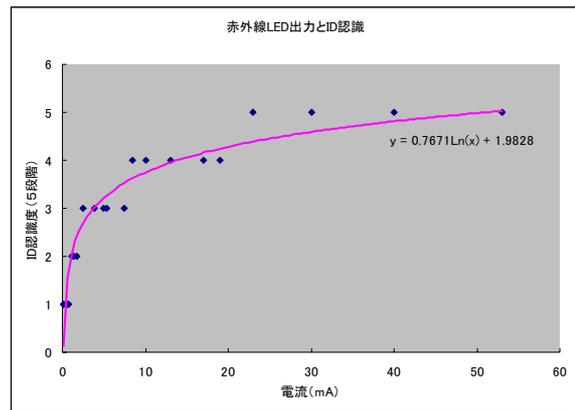


図9 LED出力と認識頻度の関係: LEDとトラックは正面位置で、距離4mの条件

#### 4.3. トラック 高感度版

アクティブ型タグシステムを日常環境で運用する場合、小型化と省電力化は、重要な課題である。特にタグ側の省電力化は、単体運用時の駆動時間延長や、組込み運用時には、ハードウェアの回路変更無しで既存のインジケータLEDをタグ相当に変更することも容易になるなど、システムの可用性を高める上で重要である。[伊藤2003]で試作したタグでは、5V 50mA~80mAを消費し、駆動時間や組込み対象が制限されるという問題があった。これは、受光側イメージセンサの感度が1Volt/Lux-sec と低かったため、発光側LEDの光量を高くしなければならなかったことが原因であった。ここでは、22Volt/Lux-sec と高感度なイメージセンサを用いて再開発した。試作したトラックを図8に示す。タグの消費電力量を下げ、識別可能な範囲を計測した結果を図9に示す。距離4m 正面位置の条件では、5mA程度でも十分に認識可能であった。なお、認識頻度に差が出たのは、光量が下がるにつれて、他の外乱光源による影響を受けやすくなるためと考えられる。このような低消費電力型タグにより、既存LEDのタグ化が容易に実現できるようになった。

また、前回の試作では、イメージセンサ内の特定ピクセルのみを撮像することで、データ転送時間を短縮し、400fpsのフレームレートを実現していたが、これは、撮像範囲を超えるタグの追従が困難という欠点があった。今回は、全体のピクセルクロックを上げることで、全画面での400fps撮影を可能な設計とした。ただし、通常のマイコンレベルで、100x100解像度を400枚/秒処理するのは困難なので、イメージセンサからの入力、CPLDを用いて閾値処理による圧縮を加えた後、いったんメモリに転送し、CPUから再度データを参照して、タグ情報のエンコードを行う構成とした。



図 9 高解像度版試作トラッカ

#### 4.4. トラッカ 高解像度版

これまで用いられてきた低解像度のイメージセンサによるトラッカでは、タグの位置精度が要求されるアプリケーションに対応できないという問題があった。例えば、タグに 3 個以上の LED を設けてトラッカからの相対 3 次元位置を求めるアプリケーションを作成しようとした場合、128x128 解像度で画角 90 度のレンズを用いるトラッカでは、2m の距離での空間解像度が約 3cm になるので、少なくともタグの LED 間距離を 3cm 以内にするのは出来ない。必要な位置精度にもよるが、実際上は 10cm 四方程度のサイズがタグに必要となり、あまり現実的とは言えなくなってしまう。

ここでは、SXGA(1280x1024)解像度のイメージセンサを用いたトラッカを開発した。単純に同画角のレンズを利用した場合、距離 2m での空間解像度は約 3mm となるため、3 次元位置取得用のタグも現実的なサイズで構築可能となる。試作した高解像度版のトラッカ装置を図 9 に示す。

このイメージセンサは、全画面での 400fps 撮影に対応できないため、フルフレーム撮影による LED 位置検出と、特定領域の高速撮影による ID 取得という、以前[伊藤 2003]と同じ方法を用いたタグ検出を行っている。CPLD による読み取り時のデータ圧縮や、CPU によるエンコードなどの処理の流れは、低解像度版と同じである。

また、今までのトラッカによるインタラクションの記録装置では、トラッカとビデオカメラの光軸を一致させることで、画像コンテンツにタグのアノテーションを重畳表示する、といったアプリケーションを構築してきた。しかし、この方法では光軸のズレが避けられなかった。今回は、赤外感度落ちないカラーのイメージセンサを用いて同時に画像を取得可能な構成とした。

#### 5. おわりに

自己記述的環境を実現する上で必要な仕様を確認し、タグシステム上に実装した。現在、実世界オブジェクトの 3 次元形状や機能などを記述するための言語を策定中である。

本システムを用いることで、例えば、大規模機械の機器整備を支援する HMD 型情報提示システムのような用途では、これまでのタグシステムで実現していた、作業手順の提示といった整備対象の情報取得だけでなく、作業結果のフィードバックをその場で受けるといったアプリケーション構築が容易になると考えられる。

また、人の作業支援だけではなく、日常生活へ入り込む小型ロボットのように、あまり処理能力を期待できない自律作業型機械が、実世界状況を識別するのを助けるといった用途も考えられる。今回実装したタグは、人の目による視認と、データ転送の両立を妨げないため、このような用途には有利である。

今後はこのようなアプリケーション構築を進めていく。

#### 謝辞

本研究は情報通信研究機構の研究委託により実施した。

#### 参考文献

- [Harter 2002] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, P. Webster, The anatomy of a context-aware application. *Wirel. Netw.*, 8, pp. 187-197, 2002.
- [Ito2004] Sadanori Ito, Shoichiro Iwasawa, Kiyoshi Kogure, Norihiro Hagita, Yasuyuki Sumi, Kenji Mase, InteractionScope: Non-fixed Wearable Positioning for Location-aware System, in *Adjunct Proceedings, The Sixth International Conference on Ubiquitous Computing*, September 7-10, Nottingham England.
- [Moore1999] Darnell J. Moore, Roy Want, Beverly Harrison, Anuj Gujar, Ken Fishkin, Implementing Phicons: Combining Computer Vision with InfraRed Technology for Interactive Physical Icons, In *Proceedings of ACM UIST'99*, pp. 67-68, Ashville, N.C., November 8th-10th, 1999.
- [Rekimoto2000] J. Rekimoto and Y. Ayatsuka, CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *ACM Designing Augmented Reality Environments(DARE 2000)*, pp.1-10, 2000.
- [Want1992] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao,

Jonathon Gibbons, The Active Badge Location System, ACM Transactions on Information Systems, Vol. 10, No. 1, January 1992, pp 91-102.

[Want1999] Roy Want, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar, Beverly L. Harrison, Bridging physical and virtual worlds with electronic tags, in Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99) Addison-Wesley, May 1999, pp. 370-377.

[青木 2000]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.

[伊藤 2003] 伊藤禎宣, 角康之, 間瀬健二. 赤外線 ID センサを用いた設置・着用型インタラクション記録装置, インタラクション 2003, 情報処理学会主催, 東京, 2003年2月.

[岸野 2003]岸野泰恵, 塚本昌彦, 坂根裕, 西尾章治郎: “ウェアラブル環境のためのLEDを用いたビジュアルマーカ,” 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 9, 2003.

[角 2003] 角康之, 伊藤禎宣, 松口哲也, Sidney Fels, 間瀬健二. 協調的なインタラクションの記録と解釈, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2628-2637, 2003年11月

[松下 2002] 松下伸行, 日原大輔, 後輝行, 吉村真一, 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, Dec.2002.