

# BLE モジュールを用いた 在・不在の判別システムの実装と評価

鳥海優介<sup>†1</sup> 松井加奈絵<sup>†1,2</sup>

**概要:** ユーザ評価の収集にはアンケートを用いることが一般的であるが、アンケート回答者の商品に対する理解度や利用方法によって、得られるデータにばらつきが生じる可能性がある。例えば、商品がユーザとのインタラクションを求める際に適切な場所にいるかどうかは評価データとして重要なものとなる。しかしながら、WEB ベースアンケートシステムでは、アンケート実施者が回答者と直接対面しないために利用状況の把握が困難である。以上の問題の解決を目指し本研究では、BLE モジュールを用いて商品側に親機、回答者に子機を付けてもらうことで、電波強度からユーザの在・不在の判断、また商品の利用時間を推定するシステムを提案する。このシステムを利用することによって、アンケートの実施者はアンケート実施時の状況を把握することができ、評価目的に沿うデータの選別が容易になると考えた。

**キーワード:** BLE, 屋内在不在測定, 無線電波強度, 実証実験

## Implementation and Evaluation of Presence and Absence Determination System Using BLE Modules

Yusuke TORIUMI<sup>†1</sup> Kanae MATSUI<sup>†1,2</sup>

**Abstract:** To evaluate systems with many participants, a web-based questionnaire has been used. However, people who want to collect the evaluation cannot determine the participants use the system accurately, because they cannot check each participant. Therefore, we propose a system to collect the participant's indoor positions toward objects and how long time the objects were used by them using modules of Bluetooth Low Energy. The modules has two roles, which are a base and extensions; the base is set statically and the extensions are worn by the participants. Each device measures radio field intensity (dB) and sends the data to a database. This study introduces the system description and shows results of experiment.

**Keywords:** Bluetooth Low Energy, Detection of presence and absence, Radio field intensity, Experiment

### 1. 概要

昨今のマーケティングは商品、システム、サービスの販売前には、対象となる顧客から事前にユーザ評価のデータを取得し、マーケティングに利用することが多い。大量のデータを収集するためには、ユーザに対してアンケートを用いることが一般的であるが、アンケート回答者の商品に対する理解度や利用方法によっては得られるデータにばらつきが生じる可能性がある。例えば、商品が提示する効果が出る時間を満たさずことなく利用を止めてしまったユーザから得られた評価データは、正しい評価を行うのに十分なものとは言えない。本研究では、評価のための手法としてユーザが適切な場所に滞在しているかどうかを判別するためのシステムの構築を目指す。提案のシステムでは、ユーザの位置と滞在時間を取得するため、ユーザに Bluetooth Low Energy(BLE)を装着してもらい、その電波強度(dB)を得

る。本研究でのデータ取得と評価のために、コンフォートスペースシステムの評価実験に参加した。コンフォートスペースシステムとは、照明、音、香りによって室内の快適性の向上を図るとともに、室内環境を測定し、システム利用者からの、アンケート結果をフィードバックして室内の快適性の変化の有無を測定するものである。本システムは秋田県由利本荘市大内にあるコミュニティケア大内に導入され、実証実験が行われているコンフォートスペースシステムで実施した。本研究ではコンフォートスペースシステムの一部である、BLE 測定をした利用者の室内位置データを用いて、システム利用の有無と滞在時間を取得した。

### 2. BLE における在室状況検定の現状

#### 2.1 屋内位置測定

屋内での位置測定では、GPS による位置測定を行うことは難しい。そこでセンサネットワークや無線通信といった

<sup>†1</sup> 東京電機大学

Tokyo Denki University.

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学 メディアデザイン研究センター

Keio University Media Design Research Center

手段を用いる動きが盛んとなっている。しかし、センサネットワークは多くのセンサの設置を前提とするシステムを構築する必要があり、導入の手間やコストが大きくなる。そのため、すでに広く普及している無線通信を利用して位置測定を行う取り組みが試みられている[1, 2]。無線通信技術として一般的であるのが、Wi-Fi と Bluetooth であるが、本研究が想定する屋内在室判定においては、電波到達範囲の広さを求めないため、より省電力でコンパクトな Bluetooth を利用する。

## 2.2 BLE による在室状況検定

BLE とは、無線接続技術のひとつである Bluetooth の仕様におけるバージョン 4.0 で、大幅な省電力化がなされ、ボタン電池一つで数年の動作が可能なものである[3]。近年、iOS 7 では BLE を利用した i Beacon と呼ばれる技術が標準搭載されるなど、スマートフォンをはじめとするモバイル端末の多くに BLE が普及している[4]。BLE 通信での子機となる端末を、常にユーザ側が携帯していることになる。これにより、BLE を用いたシステムの稼働にあたっては、特別に子機を用意することなくスムーズかつ安価な導入が可能となっている。本研究においては、上述のような BLE による通信機能を備えたモバイル端末による運用を想定したユーザの在、不在を判定するシステムを目的とする。

## 3. 在室状況を判定する BLE システム

提案のシステムでは、BLE 測定をした利用者の室内位置データを用いて在室の有無を判定することを目的とする。そのデータを収集するため BLE モジュールを搭載した親機、子機を利用し、親機に対して子機が近づいたか否かを電波強度の変化にて判定する。そのため、(1) BLE ビーコンを被験者に装着してもらい、子機から 5 秒間隔で発せられる通信の電波強度を親機が測定するための機能、また(2) 親機には無線モジュールを搭載し室内サーバへ送信する機能を有したシステムを構築した。サーバへ送信された電波強度の測定データの変動から、ユーザが実験スペースに存在するのか、もしくは不在であるかを判定する。

### 3.1 BLE ビーコン

本システムにて使用する BLE ビーコンには、所定の位置に固定された親機、また対象人物に装着してもらい可動する子機の 2 種類がある。今回親機は評価対象のシステムの近くの天井に設置、子機は評価者となる人物に装着するものとした。親機、子機にはともに Single モードの BLE を用い Bluetooth 4 系、Bluetooth Smart と通信を行う。子機との通信には本 Bluetooth 通信を用い、親機内部に用意した領域に子機とのアクセスがあった場合にタイムスタンプとともに dB の値をデータとして保存する。親機には 920MHz 帯で通信を行う通信モジュールを搭載しており、測定したデータを室内に設置した同じく 920MHz 帯に対応した dongle を有する Linux サーバに送信する。親機を図 2 に、子機

を図 3 に示す。また、対象者が子機を装着した様子を図 4 に示す。

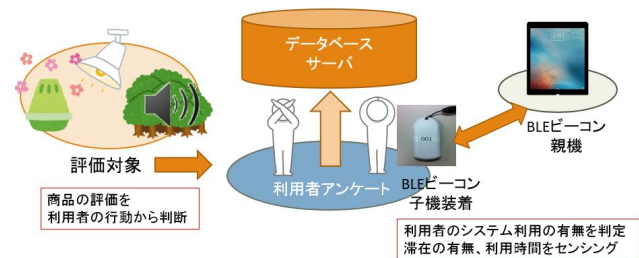


図 1.システム全体概要図



図 2. BLE モジュール親機



図 3. BLE モジュール子機



図 4. BLE モジュール子機の装着の様子



図 5. Linux サーバ

### 3.2 データ収集

データ収集には、親機と通信するための同一モジュールを搭載した室内に設置可能な Linux サーバを用いる(図 5)。今回子機モジュールは最大 20 個を使用するため、それぞれの子機に対応する ID を割り振り親機はその ID の対応表を有する。

### 3.3 在室状況の判定方法

BLE 通信の電波強度を測定し、その強度の増減によってユーザの在室状況を判別する。ユーザがビーコンの親機に近い場所に存在すれば電波強度の値は高くなり、親機から遠ざかれば電波強度の値は低くなる。ユーザが測定範囲内から遠ざかれば、ビーコンの電波を測定できなくなるため、不在であることが分かる。だが実際には、ユーザの入退室の際の移動によって、電波強度の値は緩やかに増減する。したがって単に室内に居る場合と、所定の位置にいる場合とを判別する必要がある。本研究では事前実験を実施し、距離による電波強度の変化の具合を測定しておくことで規定位置においての在・不在の判別のひとつの指標とする。

## 4. 実証実験

本システムの実証実験を行うために、今回秋田県由利本荘市内のデイケア施設に提案のシステムを設置した。また、評価する対象システムはデイケア施設に設置したコンフォートスペースシステムとし、本システムの近くに人が存在するかないかを判定することを目的とした。コンフォートスペースシステムとは、照明、音、香りによって室内の快適性の向上をはかるとともに、室内環境を測定し、システム利用者からのアンケート結果をフィードバックして室内の快適性の変化の有無を測定するものである。また、提案のシステムが評価対象とするのは、コンフォートスペースシステムの構成要素におけるスマート照明とし、照明近くに人が居るのか、居ないのかを測るものである。スマート照明システムの概要図を図 6 に、実際のスマート照明を図 7 に示す。

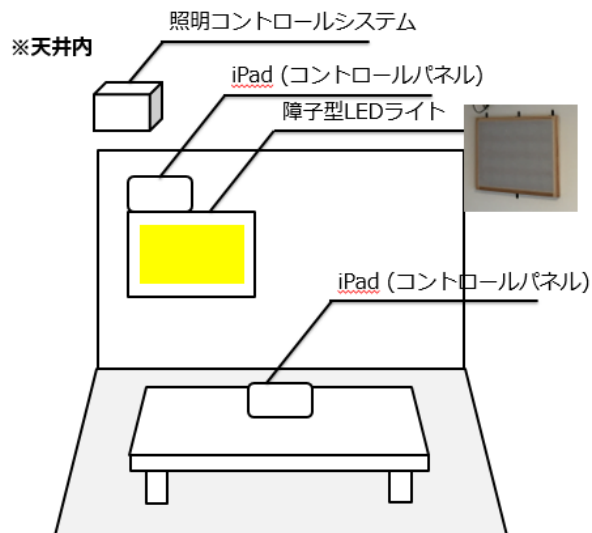


図 6.コンフォートシステム概要図



図 7. スマート照明

### 4.1 実験日程など

本研究では、2016年8月12日の予備実験と、10月21日の本実験の2回に分けて測定を行った。また、本実験の前に事前実験を行った。実験はいずれも秋田県由利本荘市大内にあるコミュニティケア大内で実施した。実験回数と実験参加者の人数を表 1, 2 に示した。また、事前実験測定箇所座標を表 3 に示す。測定箇所座標とは事前実験にて被験者の首から下げた BLE モジュールが基点の部屋の一角からどれだけ離れているかを X, Y 軸を示すものである。

表 1. 8月12日予備実験

実験時間	参加人数
9時00分～16時00分	47名

表 2. 10月21日事前実験

実験回数	実験時間	参加人数
第一回実験	9時50分～10時00分	2名
第二回実験	10時01分～10時11分	1名
第三回実験	10時13分～10時23分	2名



表 3. 事前実験測定箇所座標

測定箇所	X 座標[cm]	Y 座標[cm]
地点 1	240	170
地点 2	470	385
地点 3	133	420
地点 4	179	726
地点 5	740	725

表 4. 本実験参加者詳細

実験回数	実験時間	参加人数
第一回実験	10時49分～11時28分	5名
第二回実験	11時38分～12時13分	6名
第三回実験	13時02分～13時37分	5名
第四回実験	13時50分～14時43分	5名
第五回実験	14時50分～15時30分	2名

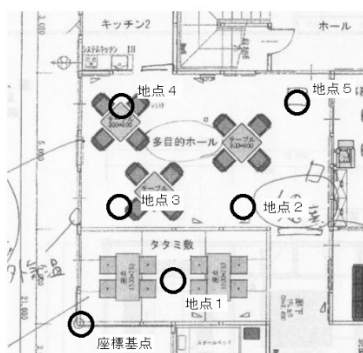


図 8. 事前実験測定箇所

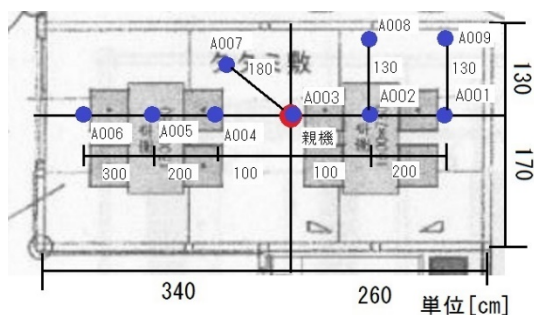


図 9. 本実験測定箇所

#### 4.2 実験方法

被験者には、首に BLE モジュールを装着してもらい、所定の位置にてスマート照明を体験、その後アンケートに回答してもらう。本実験では、スマート照明体験中の被験者が照明近くに存在するか否かを検知する。本実験では、所定の位置に9つの BLE モジュールを置いて置き、その内5つを被験者に装着してもらい、実験を行った。残る4つの BLE モジュールはその場に留めておき、位置による電波強度の変化を測定した。測定を行う親機は、スマート照明の

近く、図 8 における地点 1 に設置した。また本実験の子機の測定箇所を図 9 に示した。

### 5. 結果

以下に、実証実験から得られた特徴的な測定データをいくつか抜き出して示す。

#### 5.1 8月12日実験

BLE 親機から得られた電波強度の記録を散布図として示す。赤の点は記録された5秒ごとの電波強度の値を、青の点は1分ごとの電波強度の平均値を、緑の点は5分ごとの電波強度の平均値を示している。電波強度測定と同時に実施したアンケートの回答時間から、大まかなスマート照明の体験時間を割り出すことができた。アンケート回答時間の前後にある、被験者がスマート照明を体験した時間と (表 5)、被験者の装着する BLE モジュールの電波強度が大きく上昇する時間帯に大まかに合致した (図 10)。しかしながら、次に示す図 11 のように、電波強度の高い時刻とアンケート回答時刻 (表 6) が必ずしも一致しないものがあったため、今後時刻の自動記録機能が必要である。

表 5. BLE モジュール A003 装着者のアンケート回答時刻

アンケート回答時刻
11:07:14
13:50:41
14:46:32

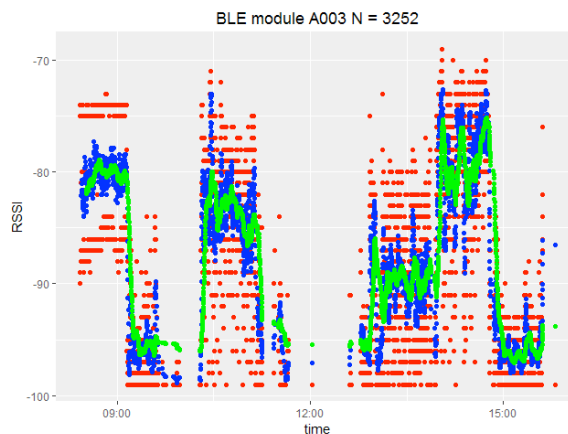


図 10. BLE モジュール A003 の電波強度測定

表 6. BLE モジュール A007 装着者のアンケート回答時刻

アンケート回答時刻
11:07:10
11:19:08
14:45:34
15:20:59

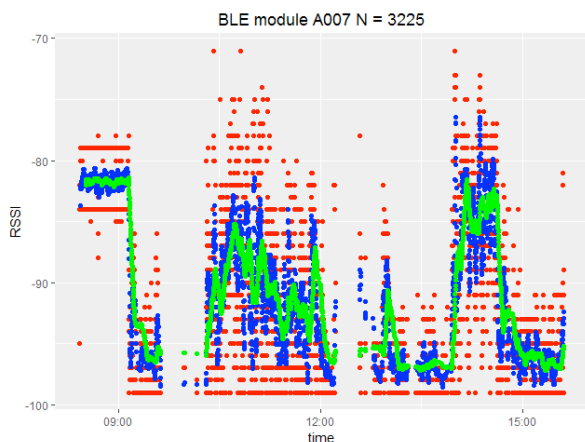


図 11. BLE モジュール A007 の電波強度測定

### 5.2 10月21日実験

今回の実験では、距離による電波強度の変化を測る事前実験と、スマート照明の使用に際して被験者の在・不在を判定する本実験の2回に分けて行った。表7に測定結果を示す。グラフ中の赤の点はスマート照明を体験している時間を、青の点は体験していない時間を示す。事前実験の測定結果から、BLE親機と距離のある地点4, 5, および子機と親機との直線状に壁を挟む地点2の平均電波強度は低くなることが分かった。スマート照明の使用を含む本実験は昼敷きのスペースで行われるため、所定スペースでの在・不在を判別するには約-88dBが判別の目安となる。本実験では、前実験の反省を受けて、使用するBLEモジュールを定められた9つに制限し、それぞれのモジュールが測定する位置と、測定する時間を記録した。モジュールのうち4つは被験者が装着せずに定点に留めて電波測定に用い、残る5つと、必要に応じて追加された1つを合わせた6つを被験者に装着してもらった。定点に留め置いたBLEモジュールの電波強度の推移は比較的安定していた(図12)が、被験者が装着していたBLEモジュールの電波強度は激しく変化した(図13)。

表 7. 事前実験の電波強度平均値

実験地点	測定時間	平均電波強度[dB]
地点 1	9:50~10:00	-87.81
地点 2	10:01~10:11	-91.97
地点 3	10:01~10:11	-88.02
地点 4	10:13~10:23	-97.43
地点 5	10:13~10:23	-97.13

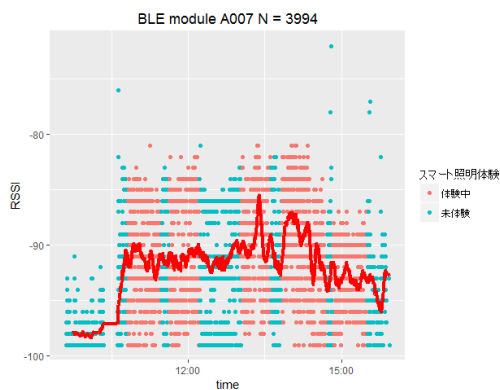


図 12. 固定された BLE モジュール A007 の電波強度測定

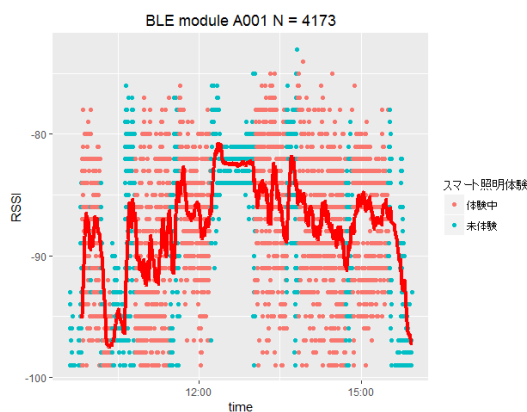


図 13. 装着された BLE モジュール A001 の電波強度測定

## 6. 考察

本実験にて、被験者に装着したBLEモジュールの電波強度の値は安定することではなく、大きく上下に変動していた。スマート照明体験時、BLEを装着することで-80dBを超える突出した電波強度が見られ、概ね人の検知ができていると言える。しかしながら、電波強度が低く、本来所定の位置に存在しているだろう被験者を検知できていない時刻も見受けられる。この現象の理由のひとつとして、位置関係が考えられる。今後の考察課題として特徴的な波形を示した図14, 15, 16, 17, 18を示す。

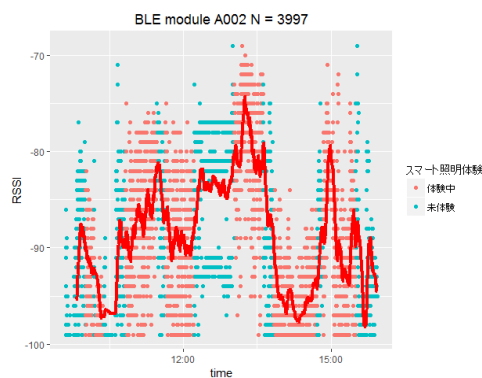


図 14. 装着された BLE モジュール A002 の電波強度測定

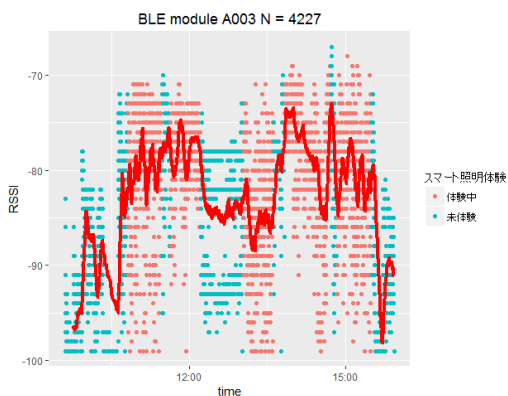


図 15. 装着された BLE モジュール A003 の電波強度測定

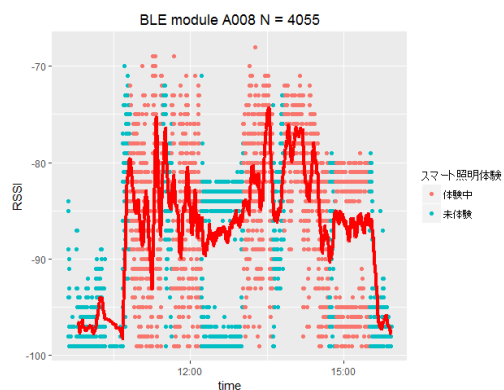


図 16. 装着された BLE モジュール A008 の電波強度測定

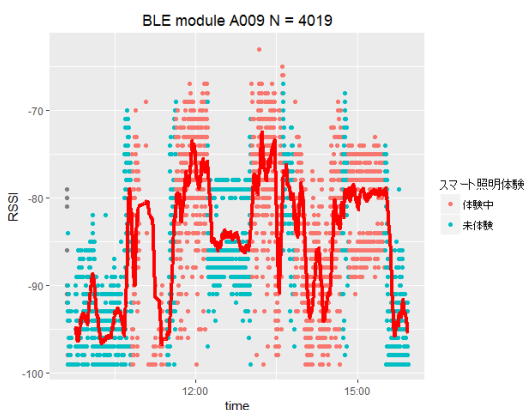


図 17. 装着された BLE モジュール A009 の電波強度測定

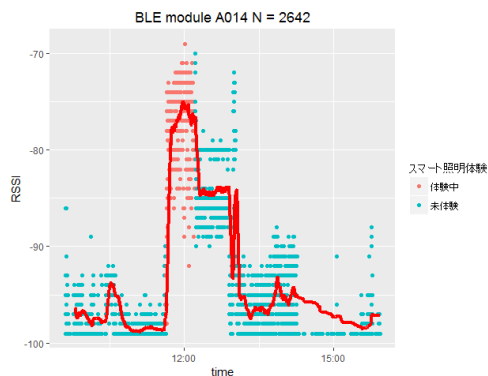


図 18. 装着された BLE モジュール A014 の電波強度測定

## 7. 結論

本研究では、システム評価データを大量に収集する際に必要となる自動的なシステムの利用状況の判別に必要となる、システムと利用者の屋内位置情報の取得を目的とした BLE モジュールを利用したシステムの提案を行った。提案のシステムの確からしさを検証するために、照明システムの利用者に対する在・不在判別測定実験を行った。従来 BLE 通信は振幅が大きいと言われている[5]が、実際に揺れ幅が大きく、人の位置の判定に対して精度の上昇をデータの収集方法、またデータの解析手法を確立することで、精度の高い在・不在測定を行うことが今後の課題である。

## 謝辞

本研究の一部は、平成 28 年度総務省委託研究開発「スマートコミュニティサービス向け情報通信プラットフォームの研究開発」の一環として実施した。また、実験協力をして下さったコミュニティケア大内に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1]. 川村諒, 久保田真一郎, 副島慶人, 古川誠一, 杉谷賢一 : 既設アクセスポイントを利用した屋内位置情報取得システムのための位置推定精度による分析, 情報処理学会論文誌, vol.52, pp.1357-1364 (2011).
- [2]. 趙大鵬, 高島正弘, 柳原健太郎, 武次潤平, 福井潔, 福永茂, 原晋佑, 北山研一 : センサネットワークにおける受信信号電力を用いた最尤位置推定法, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.104, pp.409-414 (2005).
- [3]. Bluetooth SIG. URL : <https://www.bluetooth.com/>. (参照 2016-12-15).
- [4]. 総務省情報通信白書 26 年度版第 1 部特集 ICT がもたらす世界規模でのパラダイムシフト. URL : [http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/n\\_c141110.html](http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/n_c141110.html). (参照 2016-12-15).
- [5]. Hannu Laine, Antti Lappetelainen, Arto Palin: ホットスポット環境における Bluetooth の性能について, 電子情報通信学会論文誌. B, vol.84, pp.680-687 (2001)