

# 車群形成を用いた路車間通信量の削減方法

成田 干城<sup>1</sup>, 朝倉 啓充<sup>1</sup>, 屋代 智之<sup>2</sup>, 重野 寛<sup>1</sup>, 岡田 謙一<sup>1</sup>

## 概要

自動車における技術進歩により安全性・利便性が向上しているが、交通事故や交通渋滞などの問題は増加しており ITS(Intelligent Transport Systems) の道路と一体になったシステムによる解決が求められている。交通情報提供や安全運転支援において詳細なサービスを実現するためには、各車両の情報をできるだけ多く把握することが求められる。しかしそのためには多量のデータが路側に送信されることになり通信路の負担が大きくなる。また ITS では路車間通信と車車間通信の双方を利用したシステムの研究が盛んに行われている。このような通信環境において、本稿では車群形成を用いた路車間通信量の削減方法を提案し、車群内で周辺の車両の情報をまとめて送信することによって路車間で扱われる通信量を削減する。

## The Reduce Method of Road-Vehicle Communication's Data by Use of Grouping Vehicle

Tateki Narita<sup>1</sup>, Hiromitsu Asakura<sup>1</sup>, Tomoyuki Yashiro<sup>2</sup>, Hiroshi Shigeno<sup>1</sup>,  
Kenichi Okada<sup>1</sup>

The safety and the convenience in traffic have been improved with the progress of the vehicle. But traffic accident and congestion is still serious problem, which expected to be solved by ITS. In the road traffic information system, the realization of high-precision information service requires a great number of vehicle data. Then, however, a lot of data are transmitted and the load of networks increases. The research of the system which uses both road-vehicle and inter-vehicle communication is active. We proposed the reduce method of road-vehicle communication's data in such environment. This system transmits the vehicle data collected in the vehicle group, with the result that road-vehicle communication's data is reduced.

## 1 はじめに

自動車交通社会はさまざまな問題を抱えており、ITS では安全性、交通管理、利便性などの向上を目的として最先端の情報通信技術を利用して人、道路、車両を結んだシステムを構築する。交通事故や交通渋滞などの問題はその代表である。事故防止のための安全支援を目的としたシステ

ムである AHS(Advanced cruise-assist Highway Systems) や、渋滞解消のための交通管理に関する研究が盛んに行われている。

道路交通情報センターや路側設備が道路交通情報や安全運転支援情報を提供するためには、道路上の各車両のさまざまな情報を把握している必要がある。現在道路に設置された車両感知器などによって車両の情報を収集し、情報センターで処理を行いドライバーに提供される。しかし詳細な情報提供や交通管理を実現するためには、各車両から情報を送信して収集するほうが、多くの情報を

<sup>1</sup> 慶應義塾大学理工学研究科  
Faculty of Science and Technology, Keio University  
<sup>2</sup> 千葉工業大学 Chiba Institute of Technology

より正確に把握することができると考えられる。

このような情報提供や安全支援のための通信体系として路車間通信と車車間通信が考えられている。路車間通信は車両が路側に設置されたインフラと通信をし、リアルタイム性の低い情報の提供や遠隔の車両への通信を行うことができる。これに対して車車間通信は走行中の車両同士が通信をし、路側のインフラを利用できない場合でも通信でき、リアルタイム性の高い走行制御情報を扱うことができる。

このように路車間通信と車車間通信にはそれぞれ特徴があり、どちらか一方の通信では十分なサービスが行えない場合もある。そのため現在、路車間と車車間の双方を利用する通信環境に関する研究が盛んに行われている。一つには路車間を車車間でサポートする場合であり、路側に設置されたインフラと通信することができない場合に、車車間を介して通信することが考えられている。もう一つは車車間を路車間でサポートする場合であり、道路の前方で発生した緊急情報などを後方の車両にも通知することなどの利用が考えられている。

ここで道路交通情報や安全支援情報の提供において、各車両の情報を収集するために路車間通信を利用すると考えると、次のような問題点があげられる。このような情報提供において、信頼性の高い詳細なサービスを実現するためには、情報センターはできるだけ多くの車両情報を把握している必要がある。そのために各車両は頻りに車両情報を路側システムに送信する必要があり、路車間の通信量は増大する。このような路車間で扱われる通信量を削減して、効率的な情報収集を行いたいということが要求される。収集した車両情報を利用するサービスについて、収集するデータ量自体を削減する方法が [1] や [2] のように研究されている。しかしより詳細なサービスを実現することを考えると、データ量を減らすことなく通信の負担を軽減することが要求される。本研究ではこのような問題点を路車間通信と車車間通信の双方を利用することで解決できると考え、車群形成を用いた路車間通信量の削減方法を提案する。また本提案の特性を計算機シミュレーションによって評価した。

2章で路車間と車車間の双方を利用した通信

環境について説明し、3章でシミュレーションモデルを示し、4章でその評価について述べる。

## 2 路車間通信・車車間通信双方の利用

路車間通信と車車間通信はそれぞれに特徴があるため、片方だけの通信では目的とするサービスを十分行えない場合もある。そこで現在 ITS では、路車間通信と車車間通信の双方を組み合わせて利用する通信環境に関する研究が盛んに行われている。これによりそれまでの通信の問題点を解決できると考えられている。一つには車車間によって路車間をサポートするシステム、もう一つには路車間によって車車間をサポートするシステムが研究されている。

### 2.1 車車間通信によるサポート

車車間によって路車間をサポートするシステムとして、路側に設置された基地局と通信することができない場合に、車車間を介して通信することが考えられている。[3] ではシャドウイングなどの影響によって路車間通信が遮断されてしまった場合、周囲の車両との車車間通信を介することによって、通信が途切れることを防いでいる。

また路側の基地局から得られる情報を周囲の車両にも伝達するために、車車間通信を用いることが考えられている。[5] では路側の基地局からある車両が取得した情報を、車車間通信によって前後の車両に伝達したり、また [4] ではアドホックネットワークによって、周囲の車両に散布していく方法などが研究されている。

### 2.2 路車間通信によるサポート

路車間によって車車間をサポートするシステムとして、道路の前方で発生した緊急情報などを後方の車両にも通知することなどの利用が考えられている。例えば見通しの悪いカーブなどで事故が発生した場合、近くの車両には車車間通信によって緊急情報を伝達するが、それは局所的なものとなる。後方を走行する車両にも直ちに伝達すべき

であるという場合、路側インフラを用いて通知することが考えられている [6]。また車車間通信が行えない遠隔にいる車両同士が、路側インフラを介して通信を行う形態なども検討されている [7]。

### 2.3 車両情報収集への双方利用の適用

道路交通情報や安全支援情報の提供において、信頼性の高い詳細なサービスを実現するためには、各車両は頻りに車両情報を路側システムに送信する必要があることを前章で述べた。このような路車間で扱われる通信量を削減して、効率的な情報収集を行うためには、路車間と車車間の双方を利用することが考えられる。そこではある車両は自分の周辺の車両との車車間通信によって、その車両情報を取得することができる。そこで本稿では周辺車両と車群を形成し、その中で車両情報をまとめて路側システムに送信するという方法を提案する。

## 3 車群形成を利用した車両情報収集

### 3.1 システムモデル

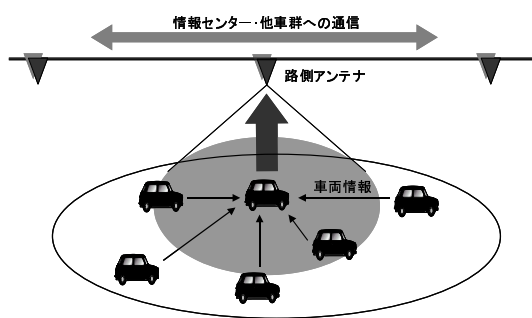


図 1: システムモデル

本提案では図 1 のように周辺車両との車車間通信によって車両情報が一台の車両に集められる。ここで通信を行う周辺車両というのは 1 ホップで通信が行える距離にいる車両である。このような周辺車両との集合を本提案では車群と定義しており車群の中で集められた情報を一台の車

両が路側へ送信する。この路側への情報送信のタイミングは一定時間間隔で行われ、GPS などを利用することによって各車両の間で同期が取れている。路側に送信された情報はそこから情報センターや他の車群に通信されて利用されると考えられる。また路側アンテナの設置は連続的に行われており、道路上のどの車両も路側アンテナの通信範囲内であり常に情報送信が可能であるとする。

### 3.2 車群形成方法

本提案では車両は走行中に周辺車両と車車間通信を行い車群の形成また維持をしなければならない。また車群の中で情報を集めるためには一台のリーダー車両が必要となる。このようにリーダーを決定し車群を形成するために使われる車車間通信は安全支援のためにすでに行われているという前提の下に、次のような車群形成方法を提案する。

まず各車両を以下のような 3 種類のグループ属性に分類する。

- State1: リーダー車両
- State2: メンバー車両
- State3: 孤立した車両

State1 は車群のリーダー車両と呼び各車群に一台ずつ構成される。車群の中で車両情報はこのリーダー車両に集められて路側に送信される。State2 はリーダー車両の通信範囲内におりその車群に属する車両でメンバー車両と呼ぶ。State3 はどのリーダー車両の車群にも属さずに孤立している車両である。道路上でのグループ属性の構成は図 2 のようになっており、各グループ属性の車両は定期的に次のようなことを行う。

State1 のリーダー車両は定期的に周辺車両にリーダー確認パケットというものを送信する。そしてこのリーダー確認パケットがその車群に属するメンバー車両に受信されることで車群が維持される。State2 のメンバー車両はこのリーダー確認パケットを自分の車群のリーダーから受信しているかどうかを定期的にチェックする。State3 の孤立した車両は定期的に周辺車両にリーダー要求パケットを送信する。これによって孤立して

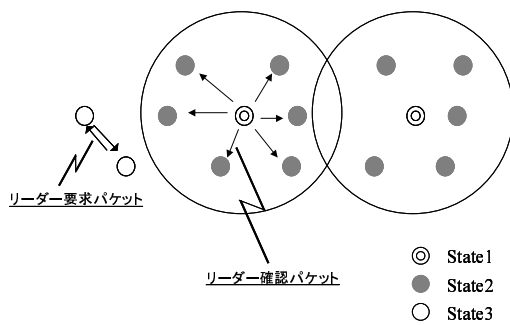


図 2: グループ属性の分類

いる車両は自分をリーダーとする新しい車群を形成することを周辺車両に対して要求する。このようなリーダー確認パケットやリーダー要求パケットを受信した車両が受信時の自分のグループ属性に基づいて処理を行うことで車群形成が行われていく。

### 3.3 車群形成のための制御パケット

車群形成のために車間通信で送信される制御パケットで基本となるものはすでに述べた定期的に送信されるリーダー要求パケットとリーダー確認パケットであるが、実際に車群形成を行うためにはこの2種類のパケットに対して行う返信の制御パケットも必要となる。リーダー要求パケットに対する返信となるメンバー参入パケット、またリーダー確認パケットに対する返信となる ACK パケットがそれである。

メンバー参入パケットと ACK パケットを含めて、制御パケットが送信される様子の流れ図の例を図 3 に示し説明する。

まず State3 の車両が送信したリーダー要求パケットが同じく孤立した State3 の車両に受信されることによって新しい車群が形成される場合を考える。リーダー要求パケットを受信した車両は新しく形成される車群のメンバー車両になることをメンバー参入パケットを返信することで伝える。このメンバー参入パケットを受信した車両は自分がリーダーとなりリーダー確認パケットを周辺に送信し、新しい車群が形成されたことになる。

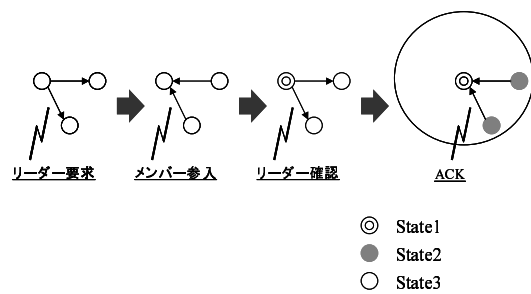


図 3: 各制御パケットの送信

次にそのリーダー確認パケットを受信した車両は自分がその車群に属していることを認識することができ ACK パケットを返信する。この後も ACK パケットによってリーダー車両は自分の車群のメンバー車両を定期的に把握することができる。

### 3.4 車群構成の変化

本提案において定義した車群は周辺車両との集合なので、車両が移動してその周辺車両との配置が変化した場合、各車両のグループ属性が変化しその車群のリーダー車両やメンバー車両の構成もその都度変化していく。そのような場合に起こる基本的な事象として車群への参入、車群からの離脱、リーダーの選択の3つについて説明する。

#### ● 車群への参入

State3 の車両は上記のように定期的にリーダー要求パケットを送信し新しい車群の形成を要求するが、自分の通信範囲内に同様にどの車群にも属していない State3 の車両がいなければ新しい車群は形成されずにグループ属性は State3 のままである。それに対して通信範囲内に State1 のリーダー車両がいる場合やその後移動した結果 State1 の車両との通信範囲に入った場合、その State1 の車両が送信するリーダー確認パケットを受信することによりその車群へ参入し State2 のメンバー車両となる。

#### ● 車群からの離脱

State2 の車両は車群のリーダーが送信する

リーダー確認パケットを受信できているかを定期的にチェックしているが、移動することによってリーダーとの通信範囲外に出てしまつて場合リーダー確認パケットの受信が行えなくなる。このことによって State2 の車両はその車群からの離脱を認識しグループ属性を State3 に変化する。このとき自車両の位置が他の車群の範囲内であればその車群に参入することになる。

- リーダーの選択

車群同士が接近してその範囲が重なつてしまう場合は車群をひとつにまとめなければならない。つまり State1 の車両同士が接近してお互いの通信範囲内に入ってしまった場合である。このような時はどちらか一方にリーダー車両を選択して、もう一方はそのメンバー車両となる。ここでリーダー車両を選択する基準として元の車群においてメンバー車両の数が多いほうを選択する。メンバー車両の数と同じであった場合は同じ確率でランダムに選択するとした。リーダーがいなくなり解体された車群は、残されたメンバー車両の間でその後新しい車群が形成される。

## 4 評価・考察

### 4.1 シミュレーション

シミュレーションモデルを図 4 のように構成した。

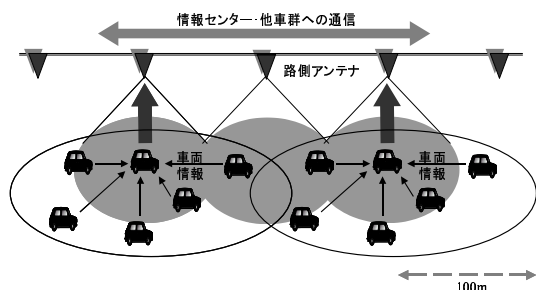


図 4: シミュレーションモデル

車車間通信を用いて周辺車両の情報を一台の車

両に集める。ここで行う車車間通信は 1 ホップで行う通信である。また車車間通信には無線 LAN を用いるとし、その通信距離は 100m を基本とする。したがって周辺車両との集合で定義される車群の規模は車群のリーダー車両から 100m 程度の範囲になる。

また路側に設置するアンテナとの通信にも無線 LAN を用いるとし、シミュレーションの道路上をすべてカバーするように連続的に路側アンテナが設置されている。これによって車両情報を路側に送信した場合確実に通信が行われるとする。

また [8] のプローブ情報システムの実証実験において走行軌跡を把握するために 2 秒ごとの平均速度から算出している。そこで路側への車両情報の送信間隔として 2 秒とした。この送信は各車両が同時刻に行うものであり、そのタイミングは GPS などによって各車両の間で同期がとれている。

### 4.2 条件と評価項目

表 1 にそのシミュレーション条件を示す。

表 1: シミュレーション条件

道路	片側 3 車線 直線道路
道路長	5000m
初期速度	90km/h (lane1)
	100km/h (lane2)
	110km/h (lane3)
路側への情報送信間隔	2sec
車車間通信距離	50m, 100m, 200m

路側への車両情報の送信間隔は 2 秒とし、車車間の通信距離は 100m を基本とするが評価項目によってはそれ以外の数値も用いている。

以下の 3 つの項目において評価および考察を行った。

- 平均車間距離と路車間通信台数の関係

平均車間距離の変化に応じて路車間通信をする車両数がどのように変化するかを示したのが図 5 である。ここでいう路車間通信

台数とはシミュレーションの道路区間内で路側への車両情報の送信を行った車両数である。本提案を用いずに各車両が個別に車両情報を送信する場合と本提案によって車群形成を利用した場合の比較を行う。

- 平均車間距離と孤立車両率の関係

平均車間距離の変化に応じてどの車群にも属さず孤立した車両がどのくらい存在するかを示したのが図 6 である。孤立車両とはどの車群にも属していないような車両で、前章で述べたように分類したグループ属性が State3 の車両である。このような車両の道路上の全車両に対する割合を示す。またここでは車車間通信の通信距離を変化させた場合について比較を行った。

- パケット周期と車群把握のエラー率の関係

車群形成のためのパケット送信の周期を変化させたとき、リーダー車両の車群把握のエラー率がどのように変化するかを図 7 に示した。パケット周期とは車群形成のために定期的に送信するリーダー要求パケットやリーダー確認パケットの送信周期である。車群把握のエラー率とは、路側への情報送信時にそのときの実際の車群構成と各リーダー車両が把握している構成とでズレが生じる場合があり、そこで誤って把握されているメンバー車両の割合をエラー率として示した。

## 4.3 シミュレーション結果

### 4.3.1 通信台数の削減

図 5 は道路区間内で路側への車両情報の送信を行った車両数を示したものである。each は本提案を用いずに各車両が個別に情報送信を行った場合である。この場合も全車両の情報を路側に送るので車間距離が小さくなれば通信台数は増加する。これに対して group は本提案を用いた場合であり、平均車間距離の変化によらず一定値となっている。これは車群の中で車両情報は集められ路車間通信によって送信するのは一台であり、

また一定の道路区間に形成される車群の数は平均車間距離にはよらないからである。

state3 は路側への送信時にどの車群にも属していない車両の数を示している。これらの車両については個別に情報送信を行っているのと同じことになる。この値も平均車間距離によらず一定値となっている。これは平均車間距離が大きくなったとしても道路上には車群が隙間なく構成されていることには変わりなく、state3 の車両は車群形成の過渡的な状態で存在するものが多いからである。しかし車間距離が車車間通信の通信範囲より大きくなる状況になれば state3 の車両数は増加すると考えられる。

これらのことより本提案を用いることで平均車間距離の変化によらず路車間通信を行う台数を削減できたことが確認でき、削減できた通信台数は each と group の差から state3 の値を引いたものとなる。

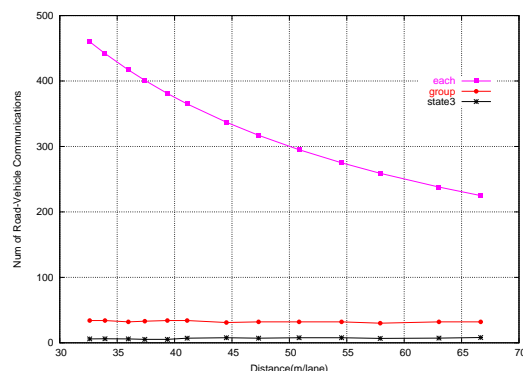


図 5: 通信台数の削減

### 4.3.2 孤立車両

図 6 はどの車群にも属さない孤立した車両の全車両に対する割合を示したものである。車車間通信に用いる無線 LAN の通信距離を 50m, 100m, 200m, とした場合について比較した。まずどれも平均車間距離が大きくなる程その割合が増えている。これは全車両数が減ったため、図 5 で示したように state3 の車両数は平均車間距離によらず一定であった。また通信距離 50m の場合さらに増加しているのは、平均車間距離が通信距離



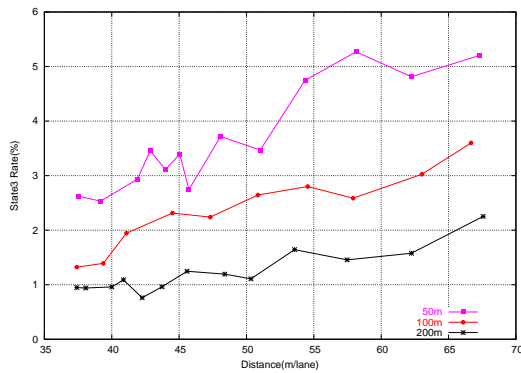


図 6: 孤立車両率

以上になったためである。

つぎにそれぞれの通信距離について比較すると通信距離が短いほど state3 の車両の割合が多くなっている。これはリーダー選択などが起こりやすく、選択後 State3 の車両が発生するためと考えられる。

よって車間距離が車車間の通信距離以上に離れていない場合でも、車群構成の変化の影響で通信距離が短いほうが State3 の割合が増加することがわかった。

#### 4.3.3 車群把握エラー

図 7 は車群形成のための負担であるパケットの送信周期とリーダーのメンバー車両把握のエラーの関係を示している。車群形成を行うためのパケットの周期を大きくすると車群把握のエラー率は増加する。ここでパケットの周期が 2000msec のときに着目すると、エラーが急激に増加している。またシミュレーション条件において車両情報の路側への送信間隔は 2 秒であった。つまり路側への送信間隔以上の周期で制御パケットを送信すると、路側への送信間隔の間に制御パケットにより車群形成が行われない状況が起こりやすくなるからである。よってパケット周期が 2 秒を超えた後はまたエラーの増加の仕方は緩やかに戻っている。このような特徴はパケットの周期が 2000msec の倍の 4000msec のときも同様に起こっている。したがって車群把握のエラーを効率的に抑えるためには、車群形成の制御パケットの

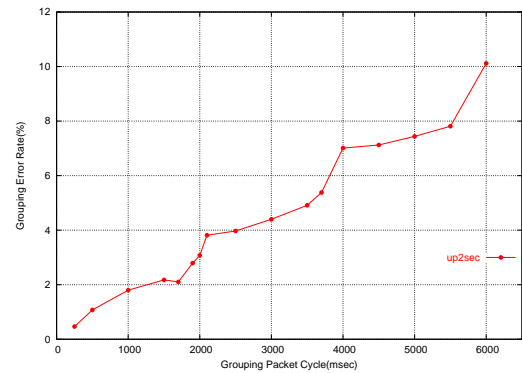


図 7: 車群把握のエラー率 (情報送信間隔 2 秒)

周期は路側への情報送信の間隔より小さくすべきであると言える。

## 5 おわりに

交通事故・渋滞を改善するための交通情報提供や安全運転支援システムにおいて、信頼性の高い詳細なサービスを実現するためには、多くの車両が頻繁に車両情報を路側システムに送信することが要求される。そこで路車間通信と車車間通信の双方を利用する通信環境を想定し、効率的に情報収集を行うことを考えた。周辺車両と車群を形成し、その中で一台の車両が車両情報をまとめて送信するという方法を提案した。

本提案の特性を計算機シミュレーションによって評価した。その結果、平均車間距離の変化によらず路側システムへの情報送信の通信量を一定値に削減できることを示した。また車群形成のための負担となる制御パケットの周期は路側システムへの情報送信の間隔より小さくすることにより、効率的に車群把握のエラー率を抑えられることがわかった。よって本研究により多くの車両から効率的に情報収集を行うことができ、車両情報を必要とするシステムにおいて路車間通信の負担を軽減し、詳細で多様なサービスを実現できると考えられる。

## 参考文献

- [1] 後藤若菜, 三宮肇. 旅行時間収集における車両位置データ量削減方法. 情報処理学会研究報告, ITS-8, pp15-20, 2002.
- [2] 若山公威, 田島隆行, 佐藤龍哉. インターネット ITS でのプローブ情報送信量削減評価環境. 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.12, pp2936-2945, 2003.
- [3] 屋代智之, 松下温. 路車間・車車間通信統合 MAC プロトコル:I-WarpII. 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.7, pp1781-1789, 2001.
- [4] 森野博章, 齊藤忠夫, 野原光夫. 大規模車々間アドホック網における基地局支援型リンク状態経路制御方式の性能評価. 情報処理学会, DICOMO 2003, June 2003.
- [5] H. Hartenstein, B. Bochow, A. Ebner, M. Lott, M. Radimirsch and D. Vollmer: "Position-Aware Ad-hoc Wireless Networks for Inter-Vehicle Communications: the Fleetnet Project", Proc. of 2001 ACM Int. Symp. on MobiHoc, pp259-262
- [6] <http://www.ahsra.or.jp/>
- [7] 水井潔, 長谷川孝明, 永長知孝. 車々間通信コンセプトモデル/リファレンスモデルに関する検討. 情報処理学会研究報告, ITS-14, pp79-84, 2003.
- [8] 和田光示. プローブ情報システム (IPCar) プロジェクト. 情報処理学会誌, Vol.43, No.4, pp363-368, 2002.