

複数カメラ切り替えに基づく

コミュニケーションロボットの遠隔操作インタフェース

坂本 大介^{†&‡} 神田 崇行[†] 小野 哲雄^{†&‡} 石黒 浩^{‡&¶} 萩田 紀博[†][†]ATR 知能ロボティクス研究所 〒619-0237 京都府けいはんな学研都市光台 2-2-2[‡]公立ほこだて未来大学 〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2[¶]大阪大学 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1E-mail: [†]{sakamoto, kanda, hagita}@atr.jp, [‡]tono@fun.ac.jp, [¶]ishiguro@ams.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし 本研究では遠隔地に存在するロボットを操作する際に必要となるカメラからの情報を適切に処理し、ロボットのオペレータに提示するシステムの開発を行った。本システムは6台のカメラからの情報をコミュニケーションのコンテキストに応じて適切に処理提示するインタフェースにより、オペレータの操作を支援する。本稿ではこのシステムを用いて公共の場所で実際にロボットを遠隔操作した様子を報告する。

キーワード 遠隔操作型ロボット, 遠隔操作インタフェース, 遠隔コミュニケーション支援

Tele-operation Interface of Communication Robots
based on Switching Between Different Camera ViewsDaisuke Sakamoto^{†&‡} Takayuki Kanda[†] Tetsuo Ono^{†&‡}Hiroshi Ishiguro^{†&¶} and Norihiro Hagita[†][†]ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories 2-2-2 Hikaridai Keihanna Science City Kyoto, 619-0288 Japan[‡]Future University-Hakodate 116-2 Kamedanakano-cho, Hakodate City, Hokkaido, 041- 8655 Japan[¶]Osaka University 2-1 Yamadaoka, Suita City, Osaka, 565-0871 JapanE-mail: [†]{sakamoto, kanda, hagita}@atr.jp, [‡]tono@fun.ac.jp, [¶]ishiguro@ams.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract We developed a remote vision system for robot teleoperators. The system processes the images from 6 cameras and combines them into one big image which is then displayed on a screen. This makes understanding the context of the communication easier. In this paper, we report the test trial of this system in which an operator controls a communication robot from a remote place by using our system in public.

Keyword Tele-operated Robot, Interface for Tele-operation, Tele-communication

1. はじめに

近年、人と豊かな対話を行うことを目的としたロボットの開発が盛んに行われてきている。NECは小型の対話型ロボット PaPeRo[1]を開発し、三菱重工は人に近い身体性を持った Wakamaru[2]を開発した。これらのロボットはその擬似的な身体要素をもとに人と自然な対話を行うことを目的としている。

これらのロボットは自律的に行動し、人と対話することを目的として開発されてきたが、依然として人と困難無く自然に対話を行うことのできるロボットは実現されていない。これは人と人の対話において重要で

ある言語に関して認識と発話の能力が人よりも非常に劣っているためであると考えられる。また、自然な対話に現れる予測不可能な言葉の多さや、知識の少なさが多くの場面で問題となる。具体的には人との対話においてロボットが知らない地名や人物が出現した際に、ロボットはそれに対して適切に答えることはできない。これはつまり、ロボットは未知の問題の解決能力がまだそれほど高くないことを示している。この問題に対して、小泉らは半自律制御のロボットシステムを使用し、人との対話時に自律的に行動するロボットでは解決することが難しい状況になった場合に遠隔操作者が

ロボットを操作し、問題を解決するような半自律制御ロボットシステムの提案を行った[3]. この際の遠隔操作者の操作履歴を解析することで、同様の問題が生じた場合にロボット自身で問題を解決することが可能となるかもしれない. このように、人とロボットの対話時の遠隔操作の必要性は高まっていくと考えられる. なぜなら、ロボットの知識や問題解決能力を人との対話から得ることができる可能性があるためである. このため、本研究ではロボットは遠隔操作により操作されるものとする.

これまでにロボットの遠隔操作に関する研究は盛んに行われてきている[4]. これらは人が立ち入ることが難しい場面、特に災害現場や深海、宇宙などで活躍するようなロボットの遠隔操作に注目していた. しかし、本研究では人とコミュニケーションをするロボットの遠隔操作に注目している. 坂本らはアンドロイド・ロボットを遠隔操作することで、操作者の存在感の伝達に関する研究を行った[5]. この研究では遠隔操作における操作者に対する情報提示に関しては考慮されていなかった. また、葛岡らは遠隔操作によりロボットを操作するインターフェースを開発し、評価を行った[6]. この研究では遠隔操作者の視線とロボットの視線に関する研究であった. しかし、移動型ロボットの遠隔操作における情報提示は考慮されていなかった.

本研究では人との対話を目的とした遠隔操作型ロボットを操作する際に操作者に必要な視覚情報の提示インターフェースの開発を行う. 具体的にはロボットの移動時や人との対話時など状況に応じたカメラ画像の提示インターフェースを開発する. また、このインターフェースの有効性を確認するために公共施設での試験運用を実施した. これらについて報告する.

2. 遠隔操作支援インターフェース

コミュニケーションロボットの遠隔操作を行う際に遠隔操作者にとって有用な情報を提示するためのインターフェースの開発を行う. ここで開発するシステムは主に視覚情報の提示インターフェースである. 本稿で開発するインターフェースは遠隔操作者とロボットが完全に離れている状況での情報提示を行うことを目的としている. つまり、遠隔操作者からロボットは直接確認することができない. このような状況において遠隔操作者が求める視覚情報はどのようなものであるかをこれまでにロボットの遠隔操作を行ったことがある熟達者に聞き取り調査した上で、インターフェースの設計と開発を行う.

2.1. 遠隔操作者が求める機能

我々は遠隔操作支援インターフェースを設計、開発するにあたって、事前に公共施設でのロボットの遠隔操作実験を行った. この際に遠隔操作を行った2名の操



図 1: 予備実験のカメラ配置

作者に対して聞き取り調査を行った. 彼らはロボットの遠隔操作システムの開発も行った経験があり、これを用いて人と対話した経験がある遠隔操作の熟達者である. 聞き取り調査の結果、これまでに彼らが使用していた遠隔操作インターフェースは様々な問題を抱えていることが判明した.

問題点 1: カメラの数

事前に行った遠隔操作実験では、ロボットの遠隔操作を2台の固定されたカメラで行っていた(図1). これでは多少広い環境においてロボットを移動させることも困難である. このため、ロボットの遠隔操作時に設置するカメラの数を増やす必要があると考えられる.

しかし、カメラの台数を単に増やすことは遠隔操作者の負担の増大を招くことが考えられる. なぜなら、人は多くのカメラの画像を一度に認識することはできないと考えられる. 特に、ロボットの遠隔操作を行っている際には多くの状況を考慮する必要があるため、認知できる画面の状況は平常時よりも少なくなる可能性がある. これらについて以下二つの問題点に示す.

問題点 2: 状況に応じた情報提示

コミュニケーションロボットの遠隔操作のための情報提示インターフェースにはコミュニケーションの状況に応じた情報提示が必要であると考えられる. 例えば、ロボットを移動させる時には移動している状況を広く提示する必要があるであろうし、人と対話している状況では逆にその状況を細かく提示する必要があるであろう. もし、ロボットを移動させる際にロボットの周囲のみを提示したならば、遠隔操作者は不安感を覚えるだろうし、対話時に広い状況を提示したならば、ロボットと対話している人の状況が見えず、不満に感じるであろう. このため、ロボットと周囲の状況に応じて遠隔操作に必要な情報は変化することが考えられる. 今回の聞き取り調査の結果から、少なくともロボットがコミュニケーションしている状況としていない状況では少なくとも遠隔操作者が必要とする情報は変化することが確認された. これらをシステムが判断し、システムの振る舞いを変化させることでこの問題を解決できると考えられる.

問題点 3: 操作の煩雑さ

カメラの数が増えれば増えるほど、同時に見ることが出来るカメラ画像の数は限られたものになる。しかし、これらを随時切り替えながらロボットの遠隔操作を行うことは非常に困難であると考えられる。ロボットをある地点からある地点へ移動させることだけを遠隔操作するのであれば、それほど多くの操作を必要としない。しかし、コミュニケーションをタスクとするような遠隔操作では操作者の負担は増大するであろう。本稿で対象とするロボットの遠隔操作は移動だけではなく、人との対話にまでおよぶためである。ロボットを移動させ、ロボットの身体を操作しながら、人と対話を行うことは非常に多くの状況を考慮する必要がある。さらに多くの操作が必要となる。これに加えて複数のカメラを切り替えながら人とロボットを対話させるような遠隔操作は非常に煩雑な操作が必要になることが考えられる。

2.2. 提案するインタフェース

聞き取り調査の結果得られた三つの問題点を考慮したインタフェースの設計を行う。

2.2.1. 複数台のカメラの設置

問題点 1 を解決するために今回開発するシステムではカメラを 6 台に増やして開発することとした。これまでは 2 台のカメラのみで遠隔操作を行っていたため、多少大きめのコンピュータ・ディスプレイを用いて同時に両画像を確認することが可能であったが、これが難しくなった。そのため、複数のカメラ画像を適切に構成して提示することが必要となる。ここで開発するインタフェースでは遠隔操作者が注目しているカメラ画像を最も大きく表示し、それ以外を付随するものとして小さく提示することを試みることにした。図 2 に提案するインタフェースの画面構成の例を示す。

2.2.2. 状況に応じた情報選択と提示

問題点 2 を解決するために、カメラだけではなく他のセンサを用いたロボットと周囲の状況認識機能の開発を行う。具体的にはロボットが移動する範囲の床にセンサを設置し、これを用いてロボットと人の場所の認識を行う。これにより実験環境中のどこに人がいるかについての判断を行うことができるようになる。問題点 2 では少なくとも 2 つの状態を判断する必要があるとしたが、本開発ではコミュニケーションの準備を行う状態の判断も行う。この判断はロボットと人の位置関係を考慮して三つの状態を設定し、このどれかであることを判断する。以下に設定した三つの状態を示す。

待機状態

この状態はロボットがおかれた環境に誰一人として人がおらず、人が来るのを待っている状態である。

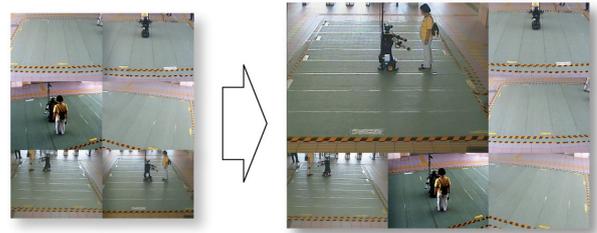


図 2: 複数のカメラ画像の構成の例

このため、カメラ画像は設置された 6 台のカメラを順番に巡回しながら選択を行う。

対話準備状態

この状態ではロボットの半径 1m から 4m の間に人が一人以上いる状態である。この状態では人がロボットに話しかける可能性がある範囲であるため、その準備を行うことができるカメラ画像を選択する。具体的には遠隔操作者がロボットの体の向きを人のほうに向けやすいようにロボットの背後のカメラ画像の選択を行う。

対話状態

この状態ではロボットの半径 1m 以内に人が一人以上いる状態である。この状態では既に対話が始まっている可能性がある。このため、遠隔操作者が人と対話する際に良く使用するカメラ画像の提示を行う。遠隔操作の熟達者の聞き取り調査において、人との対話を行う際にはロボットの側面からのカメラ画像が最も対話を行いやすいとの結果が得られていたため、この画像を提示することが可能なカメラの選択を行う。

2.2.3. 自動的なカメラ画像の切り替えと推薦システム

問題点 3 を解決するために二つの手法を用意した。問題点 3 ではコミュニケーション・タスクを実行するロボットの遠隔操作と複数のカメラ画像の選択を同時に行うことは非常に困難であることが問題であった。このため、

(1) 自動的なカメラ画像の切り替わり (自動モード)

複数のカメラ画像を状況に応じて自動的にシステムが切り替える

(2) システムによるカメラ画像の推薦 (推薦モード)

複数のカメラの画像を状況に応じてシステムが選択し、それを遠隔操作者に推薦する。推薦された画像へは簡単に切り替えることができる

という二つの手法を提案し実装することとした。これは提案手法(1)においては、カメラが自動的に切り替わることで、操作する必要がなくなる代わりに、カメラの画像が自動的に切り替わることによって、遠隔操作者が混乱してしまう可能性があることが考えられるた



図 3: 完成したインタフェース

めである。具体的には、遠隔操作者が操作をしているロボットを見ている画像が切り替わることによって、見ている画像の注視点が変わり、操作に支障を来すことが考えられる。また、ロボットとの相対位置の変化が起き、ロボットに対する左右の感覚にずれが生じることも考えられる。これにより、人との対話において一定時間、適切な身体動作を行うことができなくなってしまうことが考えられる。

このため、提案手法(2)のように、状況に応じて選択されるカメラ画像を推薦し、その画像へ操作者が簡単に切り替えることができるインタフェースの実装も併せて行う。この手法では、システムが選択するカメラ画像が現在のカメラ画像の端に小さく表示され、これがシステムの提案する画像であることを提示する。これにより、操作者が他の複数のカメラ画像を見ることなく、適切なものに自分の意志で変更することが可能となる。これは自動的にカメラ画像が切り替わる際の混乱を避けることができると考えられるため、自動的に切り替わるものよりも遠隔操作者に対して操作しやすいインタフェースとなることが考えられる。

2.3. 完成したシステム

完成したシステムの動作時の様子を図3に示す。このインタフェースの上部で最も大きく表示されているカメラ画像が現在選択されたものである。上部の画像左下に示されているのは、現在ロボットおかれている環境のマップである。このマップ中には現在選択されているカメラの位置とその視野が扇形で示されている。また、人とロボットの位置も丸い点で示されている。画面右下には下記に示す推薦モードにおいての推薦画像が示されている。画面左上には現在のロボットが認識している状況を示している。また、画面下部に表示されている画像は6台すべてのカメラ画像である。画面に白い縁があるものが現在選択されている画像である。



図 4: 試験運用の環境

本システムでは 2.2.3 項において述べた二つのモードに加えて、すべて手動のモードの計三つのモードが存在する。これらのモードの実装内容について述べる。

手動モード

このモードでは操作者がすべてのカメラ選択操作を手動で行う。この際には上部の画面右上に示されるロボットが認識した環境の情報は示されない。

自動モード

このモードでは操作者がすべてのカメラ選択操作を行うことができない。このモードにおいてはロボットが認識した状況で選択されるべき画像が絶えず選択され続ける。

推薦モード

このモードにおいては操作者がカメラの選択操作を行うが、上部画面右下に推薦画像が提示されている場合には上部画像をクリックすることで画像を切り替えることができる。また、下部の6台のカメラすべてに切り替えることも可能である。これにより、自由度は手動モードに近いが操作数は少ないインタフェースを実現した。

3. 公共施設での試験運用

本稿で開発したシステムの有効性を確認するために公共施設での試験運用を実施する。

3.1. 運用環境

2 節で述べたシステムを動作させるために必要な機材の設置を行う。以下に運用を行う環境について詳述する。

使用した公共施設

試験運用は近畿日本鉄道けいはんな線の学研奈良登美ヶ丘駅で行った(図4左)。本駅は2006年3月に開業した比較的新しい駅である。また、本駅はけいはんな線の最終駅である。

設置した設備と詳細

運用を行うにあたってシステムに必要となるカメラの設置を行う(図5)。このカメラは実験環境を取り囲むように設置する。これにより、ロボットが6台のカメラすべてから見えなくなることは無い。本運用では日本ビクター製のネットワークカメラである

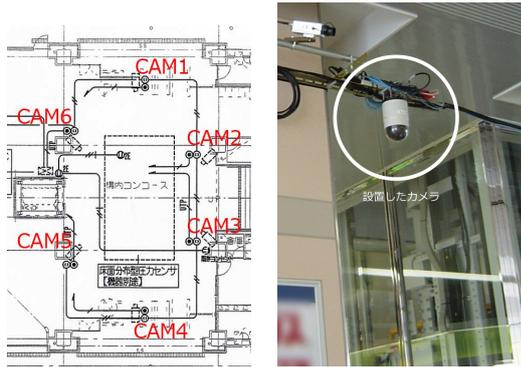


図 5: カメラの配置と設置した様子

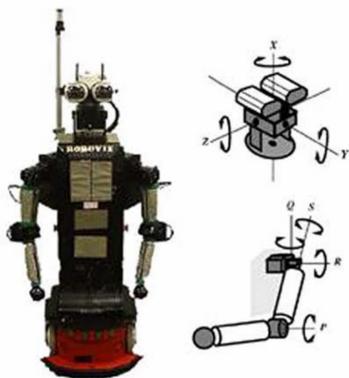


図 6: 使用するロボット

VN-C625 を 6 台使用する。本カメラは UDP において VGA で毎秒 30 フレームの画像送信が可能である。

また、開発したシステムには床センサが必要になるため、これの設置を行う。床センサは VStone 製のものを使用する。センサー一枚は 50x50[cm]であり、この中に 5x5[cm]の感圧センサが 25 箇所が存在する。このセンサを合計 144 枚使用して 4 x 9 [m]の広さを実現した。図 4 右に設置したセンサの様子を示す。この図の中央、縞模様のラインの内側がすべて床センサとなっている。

使用したロボットシステム

遠隔操作に用いるロボットシステムについて詳述する。今回の運用では ATR で開発された Robovie II を使用する(図 6)。本ロボットは人とコミュニケーションするために人に類似した上半身を持つヒューマノイドロボットである。3 自由度の首、片側 4 自由度の腕と、人が視覚・触覚・聴覚をもつようにカメラ、マイク、接触センサなどの様々なセンサを持つ。このような人に類似した身体とセンサを用いて本ロボットは人とのコミュニケーションに必要な様々な音声とゼスチャを交えた人と同様の対話的行動を生成することができる。本システムにおいて本ロボットは本体上部に搭載された無線 LAN を使用して遠隔操作される。この遠隔操作は専用のインターフェースを用いて行う。

3.2. 運用結果

本システムを用いた運用は二日間行った。本運用ではこれまでにロボットの遠隔操作を行ったことがある熟達者がロボットの操作を行った。運用時は遠隔操作者がロボットを操作し、駅の利用客に話しかけるなどして積極的に人とコミュニケーションを試みた。また、駅の利用客に話しかけられることも多く、これにより二日間で 50 人以上の人とコミュニケーションをとることができた。この際、遠隔操作者は本稿で開発したシステムを使用してロボットの遠隔操作を行った。

遠隔操作では本システムが有する三つのモードをそれぞれ同程度に使用して操作した。これらのモードの使用感の違いに関する聞き取り調査を遠隔操作者に対して行った。この結果、操作の必要がない自動モード以外の二つのモード間での操作の煩雑さは推薦モードのほうが小さいという回答が得られた。

設置した 6 台のカメラは実験環境を取り囲むように設置したため、ロボットが 6 台すべてのカメラから見えなくなることはなかった。しかし、システムが選択した画像にはロボットが映っていないものもまれに選択されることがあった。このため、推薦モードにおいて意味のないものが推薦されることもあった。また、手動モード、推薦モード共に一度選択した画像を選択し続け、切り替えないことも多くあった。

ある状況において選択されるカメラ画像はロボットと人の距離と位置関係から決定した。ここで選択された画像はこれまでの熟達者の経験からこれを決定したため、床センサによる状況の認識が正常であれば概ね操作に問題のないカメラ画像が選択されていたと考えられる。ただし、今回はコミュニケーションの状況を三つにしか分類しておらず、このため、適切ではないと感じられる画像が提示されることもあった。このため、今後、さらに細かな状況の切り分けと認識が必要であると考えている。

ネットワークカメラから送信されてくる画像は毎秒 15 枚に設定して運用した。しかし、システムの画面を提示するコンピュータ・ディスプレイ上では毎秒 3-5 回程度しか画面が更新されることがなかった。これは使用したコンピュータの性能によるものであると考えられるため、今後、さらに性能の良いコンピュータを用いるか、システムが行う処理を最適化するなどして改善する予定である。

4. 議論

本稿で開発したシステムの試験運用の結果得られた知見と問題点について「状況による選択された画像の妥当性」「カメラ画像の切り替え手法」の 2 点について議論したあと、議論をまとめる。

システムが選択したカメラ画像の妥当性

本稿で開発したシステムは床センサを用いてロボット周囲の状況を三つに切り分けて認識し、カメラ画像を選択した。この際、カメラの視野角と床センサの位置のキャリブレーションを行ったが、運用時にまれに間違った画像が選択されることがあった。これはカメラと床センサのキャリブレーションの問題か、または床センサのロボットと人の位置の捕捉の問題から生じたものであると考えられる。これらを分析し、今後さらに精度良くカメラ画像を選択するよう改善を行う予定である。

また、状況の切り分けと認識のバリエーションが少ないことも問題となった。現在のシステムでは床センサを使用してロボットとロボットに一番近い人の位置を取得し、状況の認識を行っている。このため、床センサの人の位置の特定を二人以上に拡張することで今回設定したものの以外のもを設定することが可能となる考えられる。今回の運用で使用した環境はそれほど広いものではなかったため、多くの場合で問題なく稼働できたが、これよりも大規模な環境になる際にはさらに多くの状況の切り分けと認識が必要になると考えられる。

カメラ画像の切り替え手法

本システムではロボットのコミュニケーション・タスクにおける遠隔操作場面での遠隔地の情報提示について注目していた。現段階でロボットを遠隔地で操作し、人と対話させることは操作が煩雑であり、非常に困難である。これに加えて複数のカメラを操作することは遠隔操作者に対して大きな負担を強いることとなる。このため、本システムでは自動的に画像を切り替える自動モードと、システムが推薦する画像に対して少ない操作で切り替えることができる推薦モードを設定した。これらの操作においては完全に手動で操作するよりも操作が少ない分、システムの負担が大きくなる。具体的にはシステムが選択する画像の妥当性が問われるが、これは先に議論したように今回の運用ではほぼ問題が無かった。ただ、操作者は手動モードや推薦モードにおいて、一度選択した画像をあまり切り替えることが無かった。自動モードではシステムが推薦する画像に常に切り替わり続けるため、これに対して不満を持つ場面もあった。これは切り替えるタイミングと、その切り替え回数が他のモードよりも多かったためであると考えられる。このため、自動モードにおける画像の切り替えに関しては今後さらに詳細に分析を行い実験する必要があると考えている。

議論のまとめ

本稿で行った運用ではロボット一台をそれほど広

く無い環境で遠隔操作したが、将来的にはロボットをさらに大規模な環境で、かつ複数台で動作させることが必要となると考えられる。この際には遠隔操作のカメラもさらに増え、操作者に対する負担も増えることが予想される。これを軽減されるために本稿で開発したような遠隔操作の画像提示システムは有効であると考えられる。このため、今回の運用で問題となった状況の切り分けと認識に関することと、カメラの切り替え手法についてさらに研究を進める必要があると考えられる。

5. 結論

本稿ではコミュニケーションロボットの遠隔操作における状況に応じた視覚情報提示インタフェースの開発を行った。このインタフェースを用いて実際に公共施設においてロボットの遠隔操作を行った。この結果、技術的な問題を解決することができれば状況に応じた情報提示は有効である可能性があることが示唆された。

6. 謝辞

本研究は総務省の研究委託により実施したものである。

文 献

- [1] 藤田善弘: "パーソナルロボット PaPeRo の概要", 第 19 回ロボット学会学術講演会 3J23, 2001.
- [2] 日浦亮太, "wakamaru の挑戦", 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 3, pp.8-11, 2006.
- [3] S. Koizumi, T. Kanda, S. Masahiro, H. Ishiguro, and N. Hagita, Preliminary Field Trial for Teleoperated Communication Robots, IEEE International Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN2006), 2006.
- [4] T. Sheridan, "Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control", MIT Press, 1992.
- [5] 坂本大介, 神田崇行, 小野哲雄, 石黒浩, 萩田紀博, "遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性", 環境知能研究会, pp.??-??, 2006.
- [6] H. Kuzuoka, J. Kosaka, K. Yamazaki, A. Yamazaki and Y. Suga, Dual Ecologies of Robot as Communication Media: thoughts on Coordinating Orientations and Projectability, in Proc. of CHI2004, pp.183-190, 2004.
- [7] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 前田武志, 中津良平, "研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット "Robovie" の開発", 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J85-D-I, No.4, pp.380-389, 2002.