

通信とA I - 人工知能の視点から -

Communication and Artificial Intelligence

- A View Point of Artificial Intelligence -

河岡 司

Tsukasa KAWAOKA

土田 尚純

Hisazumi TSUCHIDA

N T T 情報通信網研究所

NTT Network Information Systems Laboratories

あらまし 通信に対するA I 技術の適用は、現状では、エキスパートシステムによるネットワークの故障診断や網設計支援など限られた範囲であるが、まもなく、知的番号案内やネットワークオペレーションなど、人間と直接係わりをもち、多様性や柔軟性、より人間的な豊かな表現への対応が求められているところにA I 技術が幅広く導入されていくであろう。本稿では、A I 技術のうち、通信への応用の可能性が特に高いと思われる演繹推論を基本とした知識処理技術、エキスパートシステムや大規模知識ベースの通信への応用を中心に、現状と今後の知的情報処理や知的通信を展望する。また、具体例として、ネットワークオペレーションシステムや知的プロトコルへの応用について述べる。

1. はじめに

電話、ファクシミリなど人間が直接インターフェースをもつ基本的な通信から大規模の分散情報処理ネットワークにおけるコンピュータ間の通信まで、通信と情報処理が一体となった高機能マルチメディア通信が広く普及し、企業活動、家庭生活の基盤となってきている。

通信技術の動向としては、B-I S D Nをベースとした高速・広帯域化、マルチメディア化が急速に進展する一方で、これらの高度、多様な利用を目指した通信のインテリジェント化が通信技術の新しい流れとして顕著になってくるものと予想される。

A I 技術は、ニューロ、ファジー、エキスパートシステムなどその特徴がうまく活かされた分野でそれなりに活用されているが、知識獲得など運用面での限界も見えはじめ、新しいシステムの開発は殆ど見られなくなっている。何にでもその応用が騒がれた一頃のA I ブームも去り、A I 技術そのものの一層の飛躍を求めて新たな研究段階に入ったように思える。

このような状況から、現時点で通信に対するA I の適用を体系的に展望することは極めて難しい。また、一口にA I と言っても、演繹推論

方式、ニューロ、ファジー、遺伝アルゴリズムや各種の高次推論方式など、A I 基礎技術から文字・音声・画像の認識、自然言語処理、それらの意図理解、機械翻訳、知能ロボットなどのA I 応用技術まで、分類が困難なほど多岐にわたっており、これらの技術はいずれも今後の情報処理や通信に大きなインパクトを与えるものと考えられる。本稿では、A I 技術のうち、通信への応用の可能性が特に高いと思われる演繹推論を基本とした知識処理技術、エキスパートシステムや大規模知識ベースの通信への応用を中心に今後の知的情報処理や知的通信を展望する。

2. 通信システムの展望

今後の通信システムを展望すると、材料、部品から方式に至る各分野での飛躍的な技術革新に支えられ、離れた地点間の情報伝達（伝送&交換）を役目とする従来型の通信から、大規模分散処理システムのネットワークングを支援する通信、更には、人間と人間、人間と知的な情報処理システムが意志疎通を行う手段として、より幅の広い意味での通信へと発展していくことが予想される。

この様な通信機能を提供する知的通信システムでは、多くの通信主体間で共通的に使用される設備やネットワーキング支援のための各種機能はもちろん、意志疎通の前提となる共通的なコンセンサス（常識、言語知識、各種の辞書、辞典知識など）をネットワークが通信機能の一部として具備していることが必要となる。コンピュータネットワークにおいては、ハードウェア技術の進展により多くの情報処理がパソコンや、ワークステーションで効率よく分散処理されるようになった。しかし、これらの分散処理システムにおいても、アプリケーションプログラムやデータベースはそれらの維持管理と利用効率を高める観点からサーバーと呼ばれる一種のホストで一括管理され、利用時にダウンロードされる利用形態が一般的となりつつある。このように、コンピュータネットワークにおけるホストの役割も従来の集中的情報処理サービスからネットワークの管理、ワークステーション間の通信の支援、共通情報の集中管理サービスへとその役割が変ってきている。

知的情報処理システム（人間も含め）が通信の主体となる環境では、それらの間での意志疎通のために、個々の業務とは独立な汎用的常識や知識が必須となり、これらの知識は社会活動の進展に合わせ絶えず維持更新されていかねばならない。そう言った観点から、これらの知識は個々の知的システムが個別に保有することは極めて難しく共通の知的資源としてネットワーク内で維持管理されることが基本となろう。

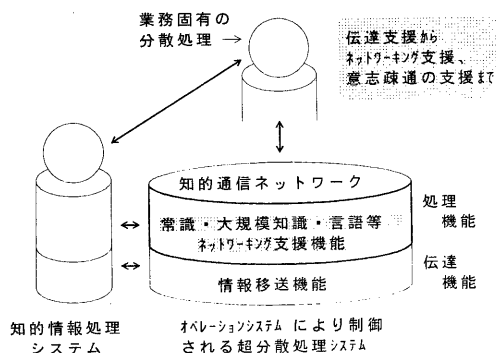


図1 知的通信システム

知的通信システムは情報を遠くに運ぶ回線と言う役割から、より広い観点で知的情報システム

間の高度な意志疎通を支援する通信と言う新しい役割に発展していくように思われる。また、構造的には、知的通信システムは常識を含めた種々の知識やそれを処理する処理ノード、回線などのネットワーク資源とそれらを最も効率よく運用するオペレーティングシステム（オペレーションシステム）で構成された一つの巨大な超分散処理システムの形態をとっていくであろう。このような形態のシステムでは、コンピュータシステムと同様にオペレーションシステムの役割が極めて重要なものとなってくる。オペレーションシステムは、ネットワーク資源の利用状況を常時観測しながら利用者の環境や要望に柔軟に対応していく知性をもった能力が要求されることになろう。

3. 知識処理

（1）プロダクション・システム

プロダクション・システムは、ルール集合、作業記憶、インタプリタで構成され、インタプリタがルールの条件部と作業記憶の内容の一致するルールを選択し実行する。ルールの実行により作業記憶が書き換えられ、同じ方法で次のルールの選択が行われる。このサイクルの繰り返しにより一連の処理（推論）が実行される。この様なプロダクション・システムの処理過程は処理アルゴリズムをプログラムとして事前に用意しておく従来の情報処理方式とは根本的に異なるプログラム・パラダイムであり、知的な情報処理や通信への展開の可能性を秘めている。

この種の知識処理システムとして他にフレーム型システムやスクリプト型システムなどがあり、いずれもより知的な情報処理を実現できる可能性を有している。

（2）知識処理と情報処理

知識処理と情報処理の特徴を比較すると、情報処理ではあらかじめ定められた手続き型の知識をプロセッサが逐次的に処理していく形態であり、問題が定型的で、処理過程に変化しない場合には効率である。一方、知識処理では、断片的な要素知識（ルール）の集合から条件に合致するルールをプロセッサが探索的に実行することにより一連の処理を実行する。処理過程で条件の変化する問題や環境に応じた多様な処

理形態の望まれる非定型の問題に適している。

エキスパートシステムは、プロダクション・システムの特徴を活かし専門家のもつ断片的知識をルールとしてもたせることにより専門家の代替をねらったものである。

これらの特徴から、総括的には情報処理は、高速、大容量、高信頼のデータ処理に、また、知識処理は、適応性、使い易さ、安定性などの重視される環境対応の処理に適している。

(3) 知的情報処理

シャンクは「知性とはプログラムされていない方法で新しいことに反応する能力である。」と言っている。シャンクの言うところのプログラムとは何かに若干の不明確さはあるが、言わんとするところは十分に感じとれる。

知的であるか否かは、発生した問題に質的、量的にどれ程の対応能力を持っているかにより判断されよう。しかし、その対応が、まる覚え（プログラムであろうと知識であろうと）で行われている時にはあまり知的であるとは言えない。知的であるには、単にもの知りであるだけでなく、その答を出すメカニズムに知識の応用能力が含まれ、未知の問題に対応できる可能性がなければならない。従って、知性が云々されるのは、従来のプログラム方式や、知識の丸覚え方式で対応することが困難な問題に限って意味があることになる。

この様な観点から、新しいプログラムパラダイムを用いたエキスパートシステムは知的であるか否かと考えると、一概に知的であるとは言えない。知的であるか否かは、むしろ、このエキスパートシステムの対象とする問題やシステムの保有する知識、発生した問題への対応の仕方に依存することになる。

従って、知的情報処理とは、少なくとも次のような特徴を有する情報処理である。

- 対象とする問題の条件がプログラム設計時には完全には定まっていない
(未知の条件の多発する可能性)
- 常識知識と大規模知識ベースをもつ
(知識により、発生した未知条件に対応できる可能性)
- 知識の応用能力をもつ
(推論、知識の複合等により、発生した未知条件に対応できる可能性)

さらに、高度な知的要件としては、経験等を自分の知識体系に組み入れ知性を成長させていく学習能力を持つことが期待される。

高度化したコンピュータ技術と光通信技術により大容量の情報が高速に処理されるようになるにつれ人間と機械とのかかわりは一層複雑で多様なものへと進んできた。マルチメディア化をはじめヒューマンインタフェースの多様化は、情報処理システムや通信システムに知性を求めるようになってきている。

通信システムにおいても、従来の人間と人間の情報伝達を支援する通信から、今後は、人間と機械（知的情報処理システム）との意志疎通を支援する知的通信が主要なテーマとなってくる。

以下では、この様な考えを背景に通信への具体的なAI応用について述べる。

4. 通信へのAI応用の現状と今後の課題

これまでは、NWの安定的な品質を維持し効率的に運用するNW設備系オペレーションに力点がおかれ、AI技術も網故障診断等を支援するエキスパートシステムを中心に通信への適用が行われてきた。しかし、顧客の通信に対する意識の変化、例えば、高品質なサービスの要求とか、故障に対する納得のゆく説明要求等に対して十分な対応を図るため、顧客系オペレーションと通信サービスそのものの高度化に力点を移す必要性が高まってきている。本章では、通信へのAI応用の現状として、エキスパートシステムを、今後のAIの通信への適用として、人間と直接係わりあうところの顧客系オペレーションへの応用、知的メッセージ通信等の高度新サービスを可能とするプロトコルへの応用について述べる。

4.1 エキスパートシステム

通信分野においても、専門家の業務を代行・支援する多くのESが開発されている。これらのうち代表的なESについて述べる。

○ 網故障診断分野（クロス交換機保守支援ES等）

毎年新型設備の大量導入と同時に、設備の高度機能化が行われ、保守業務は複雑化する一方、旧型設備については、保守専門家の減少をまね

いている。これらの問題を解消するため、交換設備、伝送設備、電力設備の保守業務を対象としたESがある。クロスバ交換機保守支援ESでは、呼接続が異常終了したときに交換機より出力されるトラブルレコード（パンチカード）を分析し、故障箇所を推定し、推定理由、修正手順を記述した故障修理依頼票を出力する。

○網設計分野（プライベート網設計支援ES等）

通信設備の設計業務では、多くの代案を作成し、それを評価しながら適切な解を求めて業務を進める。多くの組合せの代案を人手作業で作成することは不可能であり、評価作業も多大な時間を要する。そこで、専門家の知識を取り込み、評価作業を自動化し、適切な解を生成するESが開発されている。これらのESでは、専用線、構内交換機(PBX)、回線多重化装置(TDM)等を組み合わせて、顧客のニーズに合致するカスタムメイドの通信網を設計する。

○網制御分野（呼量予測支援ES等）

設備効率とトラヒック疎通能力を高め、経済的かつロバストな通信網を実現するためには、その時々々のトラヒック交流及び網設備の状況に応じて弾力的に網を運用することが不可欠である。ところで、中継網のトラヒック交流は、「昼間は都市間が多く夜間は住宅地間が多い」等およその性質が決まっている。このようなシステムでは、過去の実測呼量データに基づいて、これらの性質を把握して各時間帯のトラヒック交流状態を予測する。また、イベント等による異常変動に対しても知識の変更により容易に対処可能である。そして、その予測したトラヒック交流状態に基づいて、各時間帯に対して、比較的空きの多い迂回ルートの集合を抽出する機能を持つ[3]。

4.2 オペレーションへの応用

顧客からの要望に適切かつ迅速に対応可能とする顧客系オペレーションの中でも、個々の顧客のサービス要望にきめ細かく対応したカスタマイズドサービスの構築と、サービスを利用するにあたっての知的接続にAI技術の適用が進められている。

カスタマイズドサービスの構築にあたっての技術課題としては、顧客の要望や環境（顧客のプロフィール、顧客のおかれた状況等）に柔軟

に適応可能とする環境適応技術の開発がある。また、サービス網の構築は、網設計、NW資源管理部門等多くの業務部門にまたがり、地域的にも全国ワイドの複数の支社／支店が関与し、更に、複数・異種キャリア網上へと展開されていくため、分散協調技術も必要となってくる。

知的接続では、ある通信目的に応じて所望の店に電話をかけたい時、通信目的をそのまま自然語で入力すれば、通信目的から職業分類名を推論し、電話帳DBをアクセスして電話番号を検索可能とする知的番号案内サービスの検討が進められている。

今後のAI応用として期待されるこれらの課題について以下に詳述する。

4.2.1 環境適応

顧客の要望や環境の変化に伴う多様性への対応を実現していく上での現状の問題は以下の通りである。

- ・ニーズ面：従来型の情報処理システムでは、環境の変化に伴う多様性に追従が不可能である。
- ・シーズ面：あらゆるケースに対応する知識の獲得ボトルネックのため、上記問題に対して、従来のエキスパートシステム技術では不十分である。

この問題を克服するため、環境対応にオペレーションの処理部品（サブシステム）を組合わせて処理を行う、環境適応オペレーションシステム（OpS）の実現が必要となる。ここでポイントなのは、多種多様な環境に対応して処理部品を柔軟に組合わせるところであり、それには知識処理技術が必須となる。

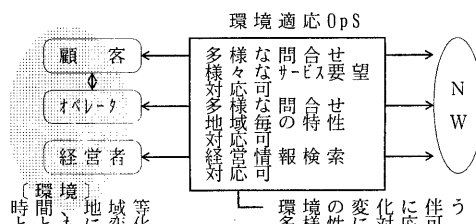


図2 環境適応OpSの概念

主要な技術課題は以下の通りである。

○環境適応問題解決技術

- ・顧客からのサービス要望の把握／目標設定法
- ・目標達成のための処理部品の組合せ生成法
- ・処理部品の作成

○オペレーション知識の体系化技術

環境に関する知識、処理部品に関する知識からなるオペレーション知識の表現法及び体系の整備

○オペレーション知識の獲得／流通／再利用法

なお、環境適応 O p S の適用先としては、以下に示すような業務が考えられよう。

- ・窓口オペレータ支援：地域特性、時間特性等の環境に応じて種々のオペレーション機能を容易にカスタマイズ可能としてオペレータを支援
- ・サービス設計：顧客の多様なサービス要求に合致した通信リソース（交換機、回線等）の組合せを設計して、通信サービスとして提供

4.2.2 分散協調

ネットワークワイドな高度サービス機能を迅速に NW に導入していくためには、基本サービスを実現する伝達レイヤから、サービス制御やオペレーション機能を集中配備した高機能レイヤを分離する。この高機能レイヤにおいて、エージェント（独立に判断し、行動する処理実体。例えば、NW 制御ノード等）群が協調動作して NW を管理・制御するところに分散協調技術の適用が検討されている。

具体的には、限られた NW 資源を複数の経路設定要求に割り当てる NW 資源割当問題である。例えば、ATM 網に複数のバーチャルパス（VP）を設定するような問題[4]である。

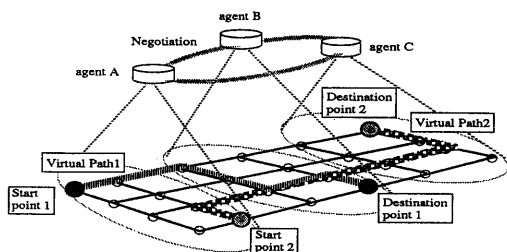


図3 ATM 網における複数のバーチャルパス 設定

この NW 資源割当問題に対しては、従来からカーマーカー法[5]等の解析的な手法が試みられている。しかし、NW 規模が大きく、更に、要求が動的に変更されるような状況では、実用的な時間で最適解を導出することは困難である。従って、問題をいくつかに分割してそれぞれの部分問題をエージェントに受け持たせ、エージェント群の協調動作により許容解を求める分散協調手法が有効となってくる。

主な技術課題としては、

- ・問題の分割法及び各エージェント割当法
 - ・ヒューリスティクスを利用して、後の調整を減少させる初期の資源割当手法
 - ・動的に要求が変化する場合のエージェント間での調整方法
- がある。

4.2.3 知的番号案内

自然語による電話帳データベース検索システムの大きな課題の一つにユーザの入力に対する表現とシステムの検索キーが大きく異なる点がある。更に、検索した結果、解がない場合の処理も課題である。

一方、番号案内では、名義からの検索と職業からの検索の2つの場合がある。

名義からの検索の場合、名義読みの曖昧さ、顧客の名義うろおぼえ等に起因する問い合わせ文中の名義の曖昧さが存在する。このやっかいな特質を逆に利用して、曖昧箇所を考慮して検索キーを変換したり、緩和する曖昧検索技術がポイントである。

職業からの検索の場合、問い合わせ中に「英会話学校」等の職業名は直接出てこず、「英語を習いたい」等の通信目的表現が多い。従って通信目的表現から職業を推論する技術が重要である。

(1) 主要技術課題1：曖昧検索技術

名義の中でも特に企業名では、一部欠落、語順逆転、語尾の不一致等の曖昧が多いため、オペレータのヒューリスティクス知識を適用して、検索キーの変更法や、検索キー緩和による再検索手法が検討されている[6]。

〔企業名の曖昧さ例〕

三浦市消防署／三浦消防署 (一部欠落)
海外青年協力隊／青年海外協力隊 (語順逆転)
佐藤商事／佐藤商会 (語尾の不一致)

〔検索キー緩和例〕

問い合わせ：

「鈴木音楽学校銀座教室の電話番号は？」

順序 1 上位名＝鈴木音楽学校％
 下位名＝銀座教室
順序 2 上位名＝鈴木音楽％
 下位名＝銀座教室
順序 3 上位名＝鈴木音楽％
 区 名＝中央
... (％：任意の文字列)

(2) 主要技術課題 2：職業推論技術

検索キーである職業分類が約 1,700種類と数が多く、また、顧客の問い合わせは、職業以外に取扱商品の場合も多い。そこで、問い合わせ文中の商品と動詞から職業を推論する方式が考案されている[7]。

〔職業推論の例〕

問い合わせ：

「ピアノを習いたいのですが。」

↓ 自然言語処理

商品：ピアノ、動詞：習いたい

↓ 知識処理 (職業推論)

職業分類：ピアノ教室

4. 3 プロトコルへの応用

AIをプロトコルに応用する知的プロトコルのねらいとしては、次の3点が考えられる。

(1) 知的エラー処理／障害処理プロトコル

従来プロトコルと異なり、ヘッダフォーマットや通信設備に関する知識をもつことにより、フォーマットエラーや回線障害等に柔軟に対処する。

(2) 知的情報圧縮プロトコル

転送情報のセマンティクス (意味内容) に関する知識をもつことにより、転送情報を圧縮す

る。

(3) 分散協調プロトコル

複数サイトの知的エージェント (推論能力や知識ベースを具備：プロダクションシステム等) 間に分散協調プロトコルを導入することにより、分散協調問題解決を可能とする。

4. 3. 1 知的エラー処理／障害処理プロトコル

従来プロトコルでは、ヘッダ／データが1ビット誤っている場合でも、誤りとしてコマンドを拒否し、また、回線障害時には、通信パスを解放し、通信サービスを終了している。知的エラー処理では、ヘッダ／データの情報項目の優先度やエラー許容範囲等を予め知識として共有することにより、きめ細かくコマンド受付処理を行う。また、知的障害処理では、各ノードが通信回線の構成や品質等を知識として保持することにより、障害時にも通信パスを解放せずにフォールバック通信サービスを提供する。

(1) 知的エラー処理プロトコルの例

バルクデータ転送でデータのシーケンス番号が1番飛んでいる場合、データ内容から、単なるシーケンス番号の設定誤りで実際のデータに飛びはない、またはデータが1番飛んでいても用途上問題はないと判断されるならば、データ正常受信処理を行う。また、文書転送で一部の文字にノイズが混入している場合も、残りの文書から内容が判読できる、または重要情報でないと思なされれば、正常文書受信処理を行う。

(2) 知的障害処理プロトコルの例

回線一時障害時には、パス情報を維持し回復後、通信を継続する。また、回線永久障害時には、パス情報を代替回線に動的に切り替え、通信を継続する。さらに、1日のトラヒックデータやイベント情報 (オリンピック等) を知識として具備し、適切な動的トラヒック制御を行い、ネットワーク輻輳を事前に防止する。

4. 3. 2 知的情報圧縮プロトコル

従来の情報圧縮プロトコルでは、文字情報における空白文字の圧縮や、画像情報におけるバイナリ情報／走査線数の圧縮等のように、いわば情報のシンタクス (表現形式) を利用した圧縮が行われている。知的情報圧縮プロトコルでは、通信者間で文字情報／画像情報のセマ

ンティクスに関して予め分かっていることを知識として共有し、この知識を前提として、各情報転送時には、動的に必要な情報のみを転送するという圧縮を行う。

(1) 文字情報圧縮プロトコルの例

「1→2→3→…→10000」なる数字列を「 $1 \leq N \leq 10000$ 」の整数に、また、「A→B→C→…→Z」なる文字列を「アルファベット大文字」に圧縮する。さらに、演繹推論の前提「人間は死ぬ。ソクラテスは人間である。」を結論「ソクラテスは死ぬ。」に圧縮する。

(2) 画像情報圧縮プロトコルの例

同一景色を背景とした複数枚の静止画「修学旅行の記念撮影写真」を、最初の1枚は「人物+背景」、残りを「人物」のみに圧縮する。また、競馬中継の動画像の1コマの情報を、前1コマからの馬の動きの差分情報のみに圧縮する。

4. 3. 3 分散協調プロトコル

従来の分散ジョブ転送プロトコルでは、各エージェントにおけるジョブ処理の方法や内容はユーザに任されており、プロトコルとしては規定していない。分散協調プロトコルでは、知的エージェントが協調して知識処理問題（文書作成、LSI設計、プログラムデバッグ、旅行計画立案等）を解決するというジョブを対象として、ジョブ処理の方法や内容を規定する。従来のジョブでは、予め処理手順が定まっているのに比べ、知識処理問題ジョブでは、各知的エージェントにおける問題条件や処理手順が、相互に他のエージェントに依存して定まってゆく点に特徴がある。従って、知的エージェント間での問題条件の提示やネゴシエーション、及び部分解の提示や他エージェントにおける問題条件の充足性の確認のためのプロトコルが必要である。

5. おわりに

通信に対するAI技術の適用は、現状では、エキスパートシステムによるネットワークの故障診断や網設計支援など限られた範囲であるが、まもなく、知的番号案内やネットワークオペレーションなど人間と直接係わりをもち、多様性や柔軟性、より人間的な豊かな表現への対応が求められるところにAI技術が幅広く導入され

ていくであろう。AI技術の導入により、従来の遠隔地に情報を伝達することが主であった通信から、今後は知的情報処理システム間の意志疎通を支援するより高度で幅の広い役割をもった知的通信へと発展してゆく。

情報処理システムの高度化、知的化に伴い通信の役割も大きく変わり、それを実現する通信ネットワークは、知性をもった巨大な分散処理システムへと発展していくものと予想される。このような通信システムでは、ネットワークの効率的な運用や利用者に使い易いネットワークを提供するオペレーションシステムの役割が極めて重要なものとなってくる。通信にAI技術が導入され、通信システムの高度化・複雑化が進む時、従来の通信システムに比べ、技術面で最も大きな飛躍を求められるのは通信網オペレーションシステムであるように思える。

〔参考文献〕

- [1] 秋山 稔 他：「インテリジェントネットワークとネットワークオペレーション」，コロナ社，1991
- [2] 「AI白書」，日本情報処理開発協会発行，コンピュータ・エージ社，1992
- [3] 伊藤、井上：「電話網におけるう回候補群作成アルゴリズム」，信学論B-I，Vol. J75-B-I, No. 5, pp. 323-332, 1992
- [4] 岸本：「分散協調マルチエージェント型知的通信網モデル」，信学論B-I，Vol. J74-B-I, No. 11, pp. 919-930, 1991
- [5] Karmarker, N.: "A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming", Combinatorica, No. 4, 1984
- [6] Ohyama M., Iwase S. and Hashida Y.: "A Directory Assistance System Using a Natural Language", IEEE GLOBECOM'86 pp. 684-688, 1986
- [7] 岩瀬、大山：「自然言語処理技術を用いた職業別電話帳検索の高度化」，信学論D-II，Vol. J74-D-II, No. 9, pp. 1255-1263, 1991