

画像解析・認識を用いたユビキタス情報インタフェース

山田 敬嗣[†]

†NEC メディア情報研究所 〒211-8666 川崎市中原区下沼部 1753

E-mail: †kg-yamada@cp.jp.nec.com

あらまし ユビキタス情報化に向けて、端末、ネットワーク、情報コンテンツは、それぞれ多様化が進む。この3つの多様化は利便性を提供するプラットフォームとなるが、逆にシステムを複雑化し非常に使いにくいものにする可能性がある。ユビキタス情報インタフェースは、この問題を解決して、実世界の情報とデジタル情報をつなぎ、誰もが自然に情報を活用できるようにする。本稿では、画像解析と認識技術を用いて実現するユビキタス情報インタフェースについて述べる。具体例として机の上の動作解析と紙文書や本を媒介とした情報インタフェースの実現例と携帯カメラを用いた実現例について述べる。

Ubiquitous Information Interface based on Image Analysis and Recognition

Keiji YAMADA[†]

†Media and Information Research Laboratories, NEC Corporation

1753, Shimonumabe, Nakahara-ku, Kawasaki, 211-8666, Japan

E-mail: †kg-yamada@cp.jp.nec.com

Abstract This paper describes Ubiquitous Information Interface, that solves the problems which will occur in the ubiquitous information society. There, varieties of terminal devices, access networks, and contents may make the information system difficult to use. In order to address this problem, we have to develop the ubiquitous information interface seamlessly to connect information in the real world and digital information. This paper introduces the two examples with image analysis and recognition technology. One is an interface for desk work. The other is an interface with a handheld camera. These realize the user interfaces that make everybody naturally use the optimal information.

1. はじめに

1980年代末に、Mark Weiser が提案したユビキタスコンピュータや D. Norman らが提案したインジブルコンピュータのコンセプトは、コンピュータが小型化されて、様々なものに埋め込まれていくことで変化する、コンピュータの新しい使い方を提案したものである[1-3]。

従来、コンピュータは単体の箱として存在して、キーボード、マウス、ディスプレイという入出力装置を経由して利用される。つまり、コンピュータの前に人間が移動して、はじめてコンピュータを利用できる。これに対して、ユビキタスコンピュータのコンセプトは、いつでも、どこでも、ユーザが欲するときに、必要な情報サービスを利用できることである。単に、「いつでも、どこでも」というのではなく、ユーザが特別な意識をすることなく、自然に情報システムを利用できることが重要である[4]。

これは、コンピュータの形を変えるのみならず、

情報の利用方法を変える。特に、ヒューマンインタフェースの観点からは、従来のGUI(Graphic User Interface)とは異なり、いつでも、どこでも情報を自然に活用するためのヒューマンインタフェースを要請する。本稿では、これをユビキタス情報インタフェースと呼び、実現するための画像解析・認識技術について述べる。特に、机の上での知的作業を支援するため、文書や書籍を自然なインタフェースで、電子的に活用するための技術と、モバイル環境において印刷文字をトリガーとして情報を利活用するための技術を具体例として述べる。

2. ユビキタス情報システムとユビキタス情報インタフェース

2.1. ユビキタス情報システム

ユビキタス情報システムでは、ユビキタスネットワークを基盤に、あらゆる端末がネットワークに

常時接続されて、オンラインで様々な情報を活用する。そこでの重要な機能を提供するネットワーク、端末、情報コンテンツは、それぞれ多様化が進む(図 1 参照)。

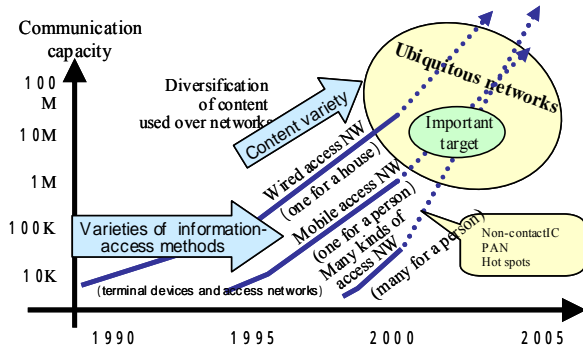


図 1 ユビキタス情報化への動向

ネットワークの多様化では、ユーザから直接見える部分であるアクセス網の多様化が問題になる。既存の有線や無線アクセス網に加えて、無線 LAN や UWB などの PAN(Personal Area network) という様々な近距離無線ネットワークを組み合わせるサービスユーザに提供する。また、デジタル放送も重要な下り方向ネットワークとして働く。

情報端末も多様化し、先に述べた多様なネットワークについで利用される。従来の PC や PDA だけでなく、携帯電話や情報家電も情報端末として重要である。これ以外にも、銀行端末、自動販売機や POS(ストア端末)も情報端末として利用される。さらに、組み込みコンピュータを内蔵した時計やペンダント、バッジなどウェアラブル端末も利用される。

最後の情報コンテンツの多様化は、ネットワークの広帯域化による大容量コンテンツのリアルタイム利用と常時接続サービスの提供が可能になってきたことにより促進される。情報コンテンツの提示に関しては、映像や音楽などのリアルタイム配信のみならず、より大容量の雑誌や新聞紙面などの静止画のリアルタイム配信も可能となる。

以上述べた3つの多様化は、ユーザが欲したときにいつでもどこでも、その場に合わせた最適な情報サービスを活用できるようにするためのシステム基盤に関わる。これをユビキタス情報システムと呼ぶ。このように多様なネットワーク、端末、コンテンツを組み合わせる実現される情報サー

ビスは、理想的なサービスであるとの期待が大きい。多様な要素の組み合わせはシステムを複雑にする。多様なものから最適なものを選択することをユーザに押し付けてはならない。単に操作を複雑にし、使いにくくする。それだけでなく、複雑なシステムは運用管理をも複雑にし、トラブルに弱い脆弱なシステムとなる。このような問題を解決した上で、ユーザも運用者も多様性のメリットを享受できるユビキタス情報システムを作り上げる必要がある。

2.2. 情報インタフェース

情報インタフェースとは、図 2 に示すように、ユーザを取り巻く実世界と情報空間とのインタフェースと定義する。

実世界には、既に印刷された文書としての情報のみならず、モノや環境状態としての情報もある。行動や話し言葉も重要な情報である。一方、情報空間は、実世界の情報を取り込んでデジタル情報として記録したデータの集合とする。また、記録したデータをコンピュータにより加工、生成したデータも要素となる。

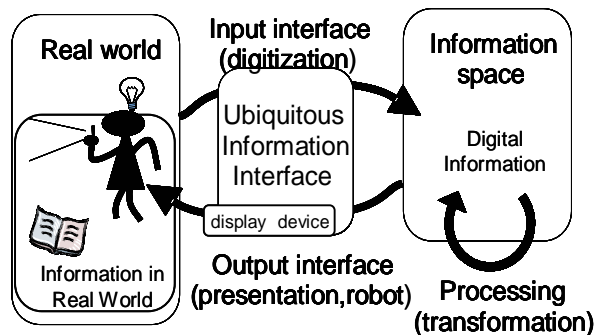


図 2 ユビキタス情報インタフェース

情報インタフェースは、実世界情報とデジタル情報との双方向のインタフェースであり、情報空間から見たときの入出力機能をもつ。入力機能は、実世界から情報空間に情報を取り込む。また、情報空間から特定の情報を選択するためのトリガーとして利用できる。例えば、人の動作を操作コマンドとして利用するジェスチャー認識がある[5]。出力機能は、選択した情報をディスプレイやスピーカなどの表示デバイスを経由して実世界に提示する。アクチュエータやロボットを通して、実世界の状態を変えることも含む。拡張現実感技術(Augmented Reality)では、情報を実世界のものや環境に重ね合わせて表示す

ることにより自然な出力を実現する[6,7]。

ユビキタス情報インタフェースは、前節で述べた3つの多様性を勘案して実現した情報インタフェースである。そこでは、ユーザは特別な注意や意識をすることなく自然に情報を利用できなければならない。コンピュータグラフィックスのように、ユーザをコンピュータの世界に取り込むのではなく、ユーザが普段生活している実世界や利用しているものを自然に利用する形で情報インタフェースを実現する。

2.3. ユビキタス情報インタフェース

ユビキタス情報インタフェースでは、実世界情報とデジタル情報の相互の活用が不可欠である。実世界情報とデジタル情報はそれぞれ利用する上での得失があり、それらを補完する技術が必要である。

実世界情報のメリット

実世界情報は、長い間なれたメディアとして利用されるため直感的に情報を取得できる。例えば、今日の新聞をぱらぱら眺めて昨日のできごとを大まかに知る。標識や看板などの明示的な情報から表情や動作・振る舞いなどの暗黙的な情報も利用できる。

実世界情報のデメリット

大量の実世界情報を利用するには手間が掛かる。例えば、大量の紙文書から欲しい情報を探すのは長時間を要する。欲しい文書を見つけて読むと、さらに関連する情報を知りたくなる。そうすると再び同じような手間をかけて情報を探さねばならない。

デジタル情報のメリット

デジタル情報を利用する場合には、キーボードやマウスから必要な情報を選択して閲覧する。電子化された情報は、欲しい情報のキーワードを適切に与えることで、テキスト検索やジャンル分類などにより、大量の情報の中から迅速に必要な情報を選択できる。

デジタル情報のデメリット

必ずしも全ての情報がデジタル情報として蓄積されていない。むしろ、電子化されたデジタル情報は、実世界情報のごく一部である。検索のキーワードもデジタル情報からのリンクだけでは用途に限られる。自由なキーワードで関連情報を検索するためには、人手によるキーワード定義と入力が必要とする。

実世界情報のデメリットである関連情報の検索の手間などを解決し、デジタル情報のデメリットである情報を利用する上での操作性の悪さ、不自然さを解決しなければならない。これらを解決する1つの手段として、画像認識による入力インタフェースがある。しかし、従来は高精細なスキャナを利用して、限られた利用環境で実用化できていた。これは、余計な操作をユーザに強要し、自然な情報の利用とは程遠い。実世界の情報を自然な操作で簡単に活用するためには、日常文書を閲覧したり利用したりする操作の中で自動的に入力操作を実現したい。

これが実現できれば、実世界情報を閲覧している際に、関連する情報をデジタル化された情報の中から検索表示することが可能になる。また、全てをデジタル化してから利用するのではなく、慣れ親しんだ操作性で実世界情報を利用し、デジタル情報のメリットを享受できる。

3. ユビキタス情報インタフェースを実現する画像解析・認識

本稿では、特に入力インタフェースを実現するための画像解析・認識技術について述べる。

前節で検討したように、自然な操作で実世界情報を入力することが必要である。これを実現する上で2つのアプローチがある。

1) 入力デバイスを環境側に設置し、ユーザは入力をまったく意識せずに実世界情報を操作する。例えば、本や資料を読むとか、辞書を引く動作がこれに相当する。

2) 入力操作そのものが自然な動作であること。例えば、虫眼鏡や双眼鏡で拡大して見る動作やカメラで写すなどの動作である。その際に、付加的なデジタル情報を合わせて提示する。

どちらにしても、単に実世界情報を入力してデジタル化するだけでなく、実世界情報をトリガーとして関連するデジタル情報を選択できれば、情報を有効に活用できる。日常生活、例えば店の中で商品を選択しているとき、商品に関する情報はタグやラベルに記載されている。より詳細な情報を入手したい場合には、そのラベル情報をトリガーとしたデジタル情報を選択閲覧できればよい。また、文献調査をしていて、文献を記

録するだけでなく、関連する情報を知りたいときにも入力インターフェースが必要である。

実世界からデジタル情報へのリンクの方法は表1に示すように多くのものがある、大半は機械可読であるが人間には判らない。予めバーコードなどの機械可読なトリガーを利用することで実世界の情報を簡単にデジタル化することができるが、バーコードは逆に人間可読な情報ではなく、自然な情報インターフェースとはいえない。

デジタル情報にアクセスする際には、何らかのデジタル情報機器を利用する必要があり、それに文字・文書という人間可読な情報を入力する技術を搭載することで、自然でどこでも利用できるコピキタス情報インターフェースを実現できる。このような自然なインターフェースの実現のために以下の3つの要請を満足する画像解析・認識技術が必要である。

表1 実世界からデジタル情報へのトリガー

人間可読性	機械可読性	トリガーの種類
		文字情報
		記号情報
×		バーコード
×		電子タグ、非接触 IC
×		センサ(位置情報、方位、相対位置、温度)

(要請 1) 高精度なスキャナがないと文書や文字を入力できないのでは、必要なときにその場で利用することができない。それゆえ携帯型、もしくは日常生活の様々な場所に組み込まれた入力デバイスを利用することが必要である。

(要請 2) 入力デバイスを利用する際に、特別な作業を要するのではなく、自然な行動の中で、入力操作が行えることが不可欠である。利用において特別な注意を必要とするのでは、誰もが利用できるインターフェースとはならない。認識を利用する際には誤認識は避けられないが、修正作業が自然な操作でできるれば使い難くはない。

(要請 3) 限定された環境でしか使えないのでは自然なインターフェースとはならない。光源やスキャナの調整などなしに利用することが必要である。

これらの要請を満足するように、2種類のコピキ

タス情報インターフェースを開発したので、次節以降でその概要を述べる。

4. RDocMan (Real world Document Management System)

要請1の観点から、実世界の文字や文書を入力して利用する入力インターフェースを実現するための研究は、デジタルデスクなどの机上や部屋にカメラを設置したの多い[8]。机の上にカメラとプロジェクタを設置して、作業を邪魔することなく利用中の実文書を入力するとともに、デジタル情報を実文書に重畳して投影することで、実文書とデジタル情報を同時に活用できる。しかし、従来の研究では机の環境光や文書を入力する位置など利用上の制約が強く、(要請3)の観点で自然なインターフェースとはいえない。

この問題を解決するため、机上での自然な作業の間に、閲覧中の文書を自動検出し、入力する方式を開発した(要請2を満足)[9-12]。図3に示したように、安価な固定カメラとパンチルトカメラを電気スタンドのように設置して、机上で文書を閲覧した操作と、閲覧された文書の自動入力を実行する。

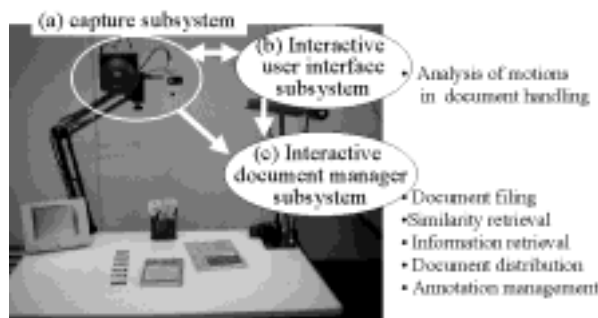


図3 RDocMan の構成

(1) 固定カメラは机の上全体を写すように設置し、入力した動画像での文書の動きと手の動きを解析し、その特徴量から文書の位置を自動検出する。まず、肌色領域の動きと差分画像から手の動きを検出する。手の動きと無矛盾に動く領域を差分画像から検出し、文書の動作として検出する(図4参照)。手の動き方向や差分領域の動き及び面積の変化などを特徴量として、文書の動きの種類を識別する。検出する文書の動きは、ページめくりと文書の移動である。



図4 手領域(左下)と移動領域(右上)、から文書の移動領域を検出(右下)。

ページめくり動作では、新たに現れたページの領域を新たに現れた文書として検出する。

文書移動動作では、(A) 机の外から持ち込まれた文書が机の上に置かれたことを検出すること、(B) 机の上におかれた文書が移動して、その下から新たな文書が現れたことを検出する。検出した文書はパンチルトカメラで高精細にスキャンして、モザイクング(貼り合わせ)により高精細な文書画像を生成する。

(2) パンチルトカメラは、400dpi 相当のスキャンを実現するために、ズームで文書を撮影する。この場合、低価格のカメラでは狭い領域の画像しか入力できない。例えば、VGA サイズの映像入力の場合、1フレームの画像が対応する領域は、実文書上で4cm×3cmと小さい。そこで、パンチルト動作によって、検出された文書の領域全体をスキャンし、入力された少領域の映像のモザイクングにより A4 サイズなど大画面の画像を生成する。パンチルトカメラで撮影した机上の位置を高精度にキャリブレーションしておけば、モザイクングは簡単にできるが、広角カメラとパンチルトカメラの2つを高精度にキャリブレーションすることは困難で実用的でない。特に、机の端のほうになると撮影画像の歪や制御誤差も大きくなり、機械的なキャリブレーションは不可能になる。そこで、簡易にカメラを設置しても、高速かつ高精度にモザイクングを実行するために、小撮影領域での文書認識を実行しながら原画像をモザイクングする方式を開発した。

図5に示すように、小領域で行と文字を抽出した上で、文字認識も実行し、そこで得られたレイアウト構造(階層的な文書の木構造)の部分木のマッチングにより重なり領域を検出する。こ

の際に、位置ずれ量を検出する。

重なり領域を検出した後に、元の小領域画像に戻って、小領域を重ねるためのアフィン変換量を求めて画像のモザイクングを実行する。

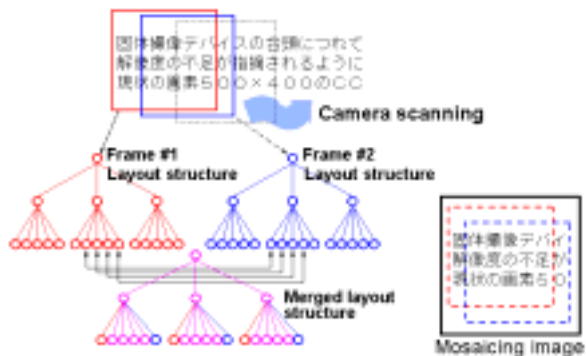


図5 小領域の認識を用いた領域モザイクング

さらに、(要請3)を満足するために、光源に制約を加えないように、図6に示したように動的な濃度の補正を実装した。本補正を用いないと、画像背景の1部は文字の濃度よりも濃いことがある。単純二値化すると、図6の例のようにつぶれた画像が生成され、文字を読み取れない。画素ごとに、その周辺の局所領域から当該画素の閾値を決定することで読み取りやすい二値画像を生成できる。

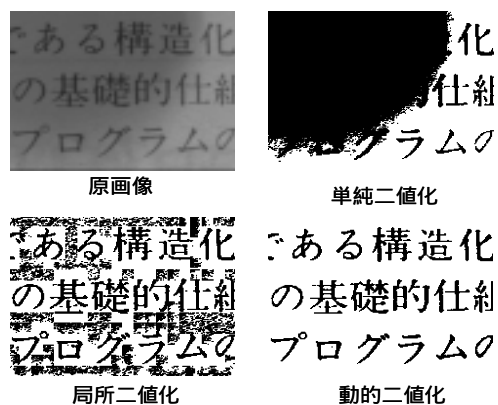


図6 領域ごとの動的二値化

(3) 小領域を重ねてモザイクングを実行する上で、重なり領域を有効に活用するために、複数枚の重なり画像を用いて超解像処理を実行する。つまり、サブピクセル単位で位置ずれがある複数枚の画像から画素間の値の内挿を実行し、

仮想的に解像度を上げる。その結果を図7に示す。1枚の画像からの内挿では細い横線が消えたり、狭い白領域がつぶれたりしているが、それに比べて超解像処理によりより精度の高い画像が再現されている。



図7 超解像処理結果
超解像画像(下)、補間画像(中)、原画像(上)

これにより生成される文書全体に対して再度認識を実行すれば、原画像で81.7%であったものを94.7%に向上でき、誤り率を3分の1にできた(図8参照)。

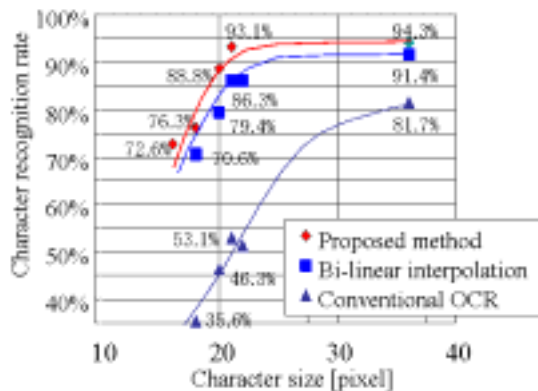


図8 超解像画像に対する文字認識

(4)第(1)ステップで述べた手領域の動きを検出することで、机上での自然なユーザインタラクションを実現できる。例えば、文書の一部を指差すことで、その部分だけをパンチルトカメラで撮影し、文字認識を実行して、指差した単語を検出できる。検出された単語を元に、辞書引きやWeb検索、蓄積文書の検索、登録文書のインデクス生成などのアプリケーションソフトへの

入力ができる(図9参照)。

これにより、自然な机上での作業において、思考を妨げることなく、多様なアプリケーションサービスを自然なインタラクションで提供できる。

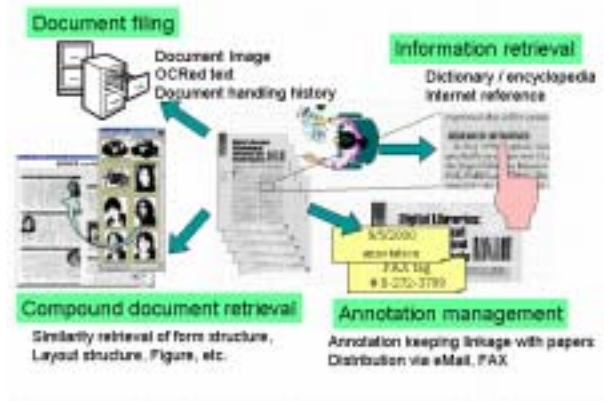


図9 インタラクティブ文書管理システム

5. アクセスリーダー

机上に固定せず、どこでも必要なときに文字や文書を入力・活用するため、手持ちの携帯カメラを入力デバイスとして利用する方式を開発している[13]。携帯カメラでは高精細に文書を入力するには画素数が不足するので、手持ちでカメラを移動させ、入力した動画像から大紙面を再現する。気軽に入力操作ができるためには、手ブレを自動補正しながらフレーム画像をモザイクする(要請2を満足)。動画像から手の動き、手ブレを推定した上で、手ブレを補正して画像を張り合わせる。要請3を満たすために、濃度補正や高解像度化を実現した[11,13]。

また、単なる画像入力だけではなく、文字をトリガーとしてデジタル情報を利用するために携帯カメラを利用する方式(アクセスリーダー)を開発した。図10の例では、カメラでURLアドレスを読み取ることで、当該ページをダウンロードして表示する。URLアドレスだけでなく、商品コードを読み取って商品の詳細説明やマニュアルも表示できるし、電話番号を読み取って電話をかけたり、単語を読み取って辞書引き結果を表示することもできる。

カメラで入力した文字を高精度に読み取るためには、画像を高解像度に入力することと、環

境光の影響を排除することが必要である。安価なカメラで高解像入力するには接写すればよいが、そうすると文字列がフレーム内に全て入らない場合がある。また、接写すると手やカメラ自体の影が映り込むこともある。これを解決して要請3を満足するために、フレーム内での動的な二値化とフレーム内に入らない場合の認識結果の結合方法を実現した。この方法では認識結果の信頼度を用いることで、認識結果の文字列の結合を実行する。結合時に信頼度の高い方の認識結果を選択することで、重なっている部分の精度を向上できる。さらに、認識誤りがある部分を再撮影することで、大半の場合で誤りを修正することができる。これにより直感的な修正作業を実現でき、要請2の自然なインタフェースを達成できた。

信頼できることを表す。認識距離値が小さいほど、画面の中心にある文字ほど、認識される回数が少ないほど、信頼できることを表す。

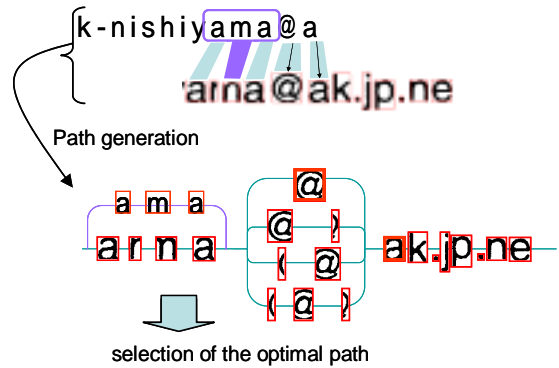


図 10 信頼度による文字列認識結果結

認識信頼度による文字列結合方式

手持ちカメラを用いて文字列を撮影する時に、文字列全体が 1 フレームに入るとは限らない。その場合に、カメラを移動させて、一度で入りきらない部分を撮影し、数回で文字列全体を撮影する方法を、次善策として受け入れる[14]。

カメラを移動させて複数フレームで撮影した画像を統合して文字列全体の認識結果を得る際に、前節の RDocMan のように、複数フレームを画像レベルで結合した後に、文字列認識する方法があるが、画像レベルでの統合は計算量が多い。そこで、携帯電話の CPU で処理できるように、個別フレームを認識した後に、認識結果の文字列を統合する方法を採用した。

しかし、複数フレーム画像の認識結果を結合する場合、対応するはずの文字列の認識結果が一致しないことがある。文字の切り出しですら一致しない。一致しない文字列を統合する際に、いずれの認識結果を最終結果として採用するかの問題がある。これを解決するため、認識結果の信頼度 R を以下のような関数で定義して、より高い信頼度の結果を選択した。

$$R(c_{ji}) = d_{ji} * (1 + x_{ji}/w) * (\lambda)^N \quad (\lambda > 1)$$

ここで、 c_{ji} は第 j フレーム画像中の第 i 番目の文字を示す。 d_{ji} は c_{ji} の認識結果の辞書との距離値、 w は画面の横幅画素数、 x_{ji} は、画面の中心から c_{ji} までの画素数、 N は撮影回数、 λ はパラメータである。この信頼度は、値が小さいほど

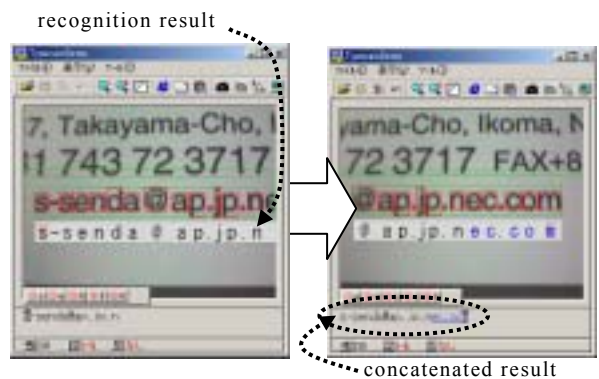


図 11 文字列認識結果の結合結果

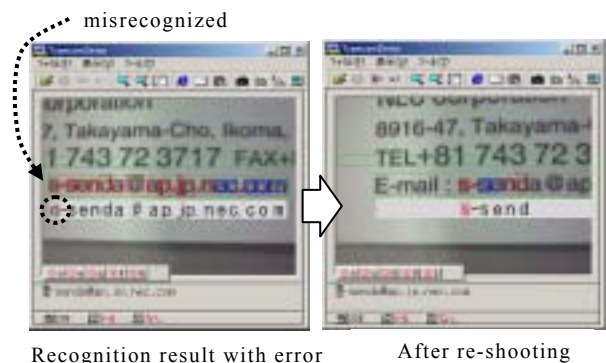


図 12 誤認識の再撮影による修正結果

認識結果の統合は、図 10 に示すように、上記信頼度の積算をパス探索問題として解くことで達成できた。結合結果の例を図 11 に示す。

本方式を認識誤りの修正方法のインタフェースとしても利用できる。つまり、認識結果に誤りがある場合に、誤りのある部分を中心に再度撮影して、認識結果の再統合を実行する。再撮影の際には高い信頼度が得られていることが多く、簡単に修正できる(図 12)。

ユーザは、誤りをキー入力など別のモーダルで修正するよりも、入力時と同じ操作で修正できることを好むので、より自然なインタフェースとして利用できる。これにより、修正なしの場合 97.1%の認識精度が、本修正操作で 99.7%と誤りを 10 分の 1 に改善できた。同一文書を 400dpi と 800dpi のスキャナで入力した場合の認識精度は 97.5%と 98.5%であったことから、簡単な修正操作を組み合わせた入力情報インタフェースの有効性が顕著であることが判る。

6. おわりに

本稿では、画像の解析・認識技術を用いたユビキタス情報インタフェースについて述べた。現在開発できているものは机の上や携帯端末で覗いた狭い世界のみでの文字や動作という明示的な情報を対象としている。今後は利用環境での条件を緩和して様々な場所で利用できること、より暗黙的な情報を扱えるような技術開発を通して、本質的な情報や知識の活用のための画像理解技術の研究に取り組みたい。

謝辞

本稿を作成する上で多大な支援を頂いた NEC インターネットシステム研究所中島氏、仙田氏に深く感謝します。

文 献

- [1] Mark Weiser, "Some Computer Science Problems in Ubiquitous Computing," Communications of the ACM, July 1993
- [2] Mark Weiser, "Hot Topics: Ubiquitous Computing" IEEE Computer, October 1993.
- [3] Donald.A.Norman, "Invisible Computer -Why good products can ail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution", The MIT Press, 1998、訳「パソコンを隠せ、アナログ発想でいこう!」新曜社
- [4] 暗黙知の次元 : 言語から非言語へ、マイケル・ボラーニー著、佐藤敬三訳、紀伊国屋書店、1980.
- [5] Y. Wu, T.S. Huang, Vision-based gesture recognition: a review, Lect. Notes Artif. Intell. 1739, pp.103-115.,1999
- [6] Starner, Thad, Steve Mann, Bradley Rhodes, Jeffery Levine, Jennifer Healey, Dana Kirsch, Rosalind Picard, and Alex Pentland, Augmented Reality through Wearable Computing. Presence, Vol. 6, No. 4, pp. 386-398, 1997
- [7] Wellner P, Mackay W, Gold R. Computer-Augmented Environments: Back to the Real World. Communi- cations of the ACM, vol.36, no.7, pp. 24-26, 1993.
- [8] P. Wellner. Interacting with paper on the DigitalDesk. Communications of the ACM, 36(7):86--96, July 1993.
- [9] K. Yamada, et al. ,A method of analyzing the hand- ling of paper documents in motion images, Proc. of 15th ICPR, Vol. 4, pp. 413-416, 2000.
- [10]N. Nakajima, K. Yamada, High Resolution Document Image Acquisition with Active Camera, Int Work- shop on Document Analysis Systems (DAS), pp. 65-76, 2000. pp. 413-416, 2000
- [11]T. Kamiya, et al., The Development of a Document Digitizing System: The "Information Factory,"Int Symp on Digital Media Information Base, pp. 272-279, 1997.
- [12]N. Nakajima, K. Yamada, Document Layout Analysis by Extended Split Detection Method, Int Workshop on Document Analysis Systems (DAS), pp. 406-415, 1998.
- [13]池谷、他、紙面を対象としたカメラパス推定によるビデオモザイクおよび超解像、信学技報パターン認識・メディア理解、2004年2月。
- [14]Senda, et al., Camera-typing Interface for Ubiquitous Information Services, to appear in proc. of PerCom2004
- [15]田枝、他、多様な携帯端末に適応可能なコンテンツ中間記述、情報学シンポジウム、pp.33-36、2003
- [16]笠井、他、低遅延 MPEG-2 ビデオトランスコーダ符号量制御方式、電子情報通信学会和文論文誌 B, Vol. J83-D-II, No.2, pp.509-524, 2000
- [17]S. Deshpande and W. Zeng, Scalable streaming of JPEG2000 images using Hypertext Transfer Protocol , ACM Multimedia, Oct.2001
- [18]Information Technology – JPEG2000 Image Coding Sytem, ISO/IEC FDIS15444-1:2000, Aug. 2000.
- [19]三津橋、他、JPEG2000を用いた紙面データ配信システムの構築、マルチメディア/分散/協調とモバイル(DICOMO2002:情報処理学会)シンポジウム論文集, pp.5-8,2002.
- [20]S. Wang, et al.:Adaptive Data Transmission on Browsing of Scanned Documents Using JPEG2000, Proceedings of IEEE International Workshop on Knowledge Media Networking (KMN'02),2002.