

仮想住宅空間構築のための間取り図面認識システム

青木康浩 塩 昭夫

NTT ヒューマンインタフェース研究所

東京都武蔵野市緑町 3-9-11

aoki@nttarm.hil.ntt.jp

co@nttarm.hil.ntt.jp

あらまし 顧客に住宅の完成イメージを伝えることを目的とした、建築プレゼンテーションシステムが、建築業界で注目されている。これは、完成した住宅の仮想空間を、3DのCGを使って表現し、顧客にアピールする、仮想住宅空間構築システムである。しかし、システムへの入力コストが高いため、顧客の望む空間を構築するまでの手間と時間が障害となり、その利用形態は制限されているのが現状である。そこで、入力コスト削減を目的とし、手書き間取り図面（平面図）を、壁、ドア等の要素レベルに自動認識する技術を提案する。実験として認識システムの認識性能評価に加え、自動認識とマニュアル入力との入力コスト比較も示す。

キーワード 図面認識、手書き間取り図面、特徴抽出、パタン認識

A Floor Plan Interpretation System for Automatic Conversion to Virtual Image

Yasuhiro Aoki

Akio Shio

NTT Human Interface Laboratories
Nippon Telegraph and Telephone Corporation

3-9-11, Midori-cho, Musashino-chi, Tokyo 180 Japan

aoki@nttarm.hil.ntt.jp

co@nttarm.hil.ntt.jp

Abstract Recently, many architects are interested in a 3D-CG system for express the house detail. This system is used to show the customer the virtual house image of the plan. However, it isn't used usefully enough, because the data entry cost is very high. Therefore, to cut the much data entry cost, we propose the new algorithm that the hand-sketches floor plans are interpreted in the elements like a wall, a door, and so on. And we show two kind experimental results. One is the recognition rate in terms of the elements, the other is manual and automatic data entry time.

Key words drawing understanding, hand-sketches floor plan, feature extraction, pattern recognition

1. はじめに

コンピュータグラフィック(CG)等により仮想空間を構築するためには、多大なデータ入力が必要である。このため、こういったシステムを、一般ユーザが手軽に使うためには、優れたCG機能はちろんであるが、ユーザインタフェースや入力作業コストも重要な条件となる。建築業界に於いては、図面レベルの設計段階で、建築物の完成状態を、CG表示するシステムが注目されている。しかし、図面用紙上に作成したデータを、計算機上に、多大な時間をかけて、再度、初めから入力しなければならず、市場で広く使われるまでには至っていない。こういったシステムに対し、認識技術を使って、図面の自動入力を実現できれば、ユーザの負担は非常に少なくなると考えられる。

そこで本研究では、図面から仮想空間を構築するシステムの入力時間を、大幅に削減することを狙いとし、手書きの間取り図面から、壁や階段等の建築要素を自動認識するアルゴリズムを考案し、さらに、そのアルゴリズムを使った図面認識システムを試作した。図面認識技術は、従来より盛んに研究されているが[1]-[8]、特殊な書き方や、きれいに描くといった筆記者への負担が多く、ほとんど実用化されていない。この問題に対し、我々のシステムは、一般的な表記方法の採用や、手書きによる変動への対応など、実用に耐えうるシステム構築を目指した。

以下の各章では、まず2章で、本研究を始めた背景について、3章では、間取り図面の特徴、本システムの筆記ルールと認識アルゴリズムの特徴について記した。4章では、認識アルゴリズムの構成とその詳細について記し、さらに、5章では、考案した手法に基づいて試作した図面認識システムの認識率の評価実験と、マニュアル入力と比較した場合の入力時間の評価実験の結果を記した。最後に、6章で、本論のまとめを行っている。

2. 背景

住宅の建設では、顧客の要望を取り入れた図面が、設計士によって作成される。ここで作成される図面は、間取りを表す平面図や立面図であり、これを見れば、建築士や工事関係者などの専門家は、完成状態をイメージすることができる。しかし、顧客は専門家ではないため、図面から完成状態をイメージすることは困難である。このため、図面を作成する際に、建築士と顧客との間で、完成イメージを一致させることが難しく、完成後のトラブルの原因ともなっている。そこで最近、3DのCGを使って完成住宅の仮想空間を構築する、“建築プレゼンテーションシステム”が注目されている。このシステムは、設計された住宅を、従来の平面図に加え、立体的な画像で外観や内観を表現できるため、専門外の人が完成状態をイメージすることを手助けする有効なシステムである。図1に、平面図を仮想住宅空間で表現したイメージを示す。

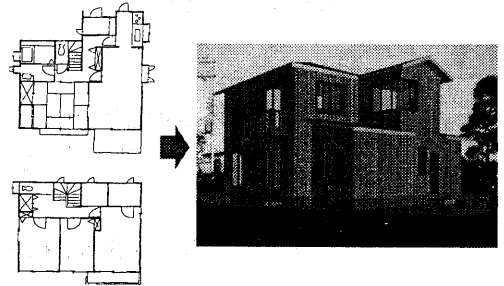


図1：仮想住宅空間への変換イメージ

しかし、このシステムを使う上で、その入力作業が大きな問題となっている。大部分の建築士は、顧客との打ち合わせの際、CADではなく紙に図面を描く。操作に手間のかかるCADは、思考を妨げるとともに、入力時間が大きく顧客を前にしては利用しづらいため、初期設計段階では使わないのが一般的なのである。従って、図面デー

タのCADへの投入作業は別途行わる。このため、できた図面をプレゼンテーションシステムを使ってCGに変換するために、非常に長い時間が必要となる。これでは、建築士にとっては、データ入力の手間が負担となり、顧客にとっては、CGを見るための待ち時間が負担となる。この問題点である、入力作業の短時間化を実現するために、図面をCADフォーマットへ自動変換する図面認識技術が有効であると考えた。

3. システム概要

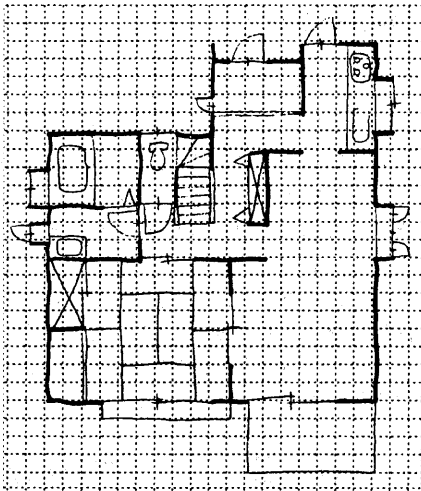


図2：手書き間取り図面

図2に手書き間取り図面の例を示す。この図面用紙には、水平垂直に等間隔のグリッド線が印刷されており、図面中の間取りを表現する建築要素のほとんどが、そのグリッド線上に書かれている。これは一般住宅においては、その間取りのサイズが一定間隔を基本単位としているためである。また、間取り図面に書かれた建築要素は、正式な筆記ルールを持たないが、ほとんどの人が理解できる一般的な表記方法を使っている。この一般的な表記方法で書かれた建築要素は、大きく2

つに分類ができる。1つは、壁や引き戸のような空間の間取りをする要素で、線分の特徴によって表現している。これを線分要素と呼ぶこととする。もう1つは、収納や階段といった要素で、線分で囲まれた閉領域で表現されている。これを領域要素と呼ぶこととする。

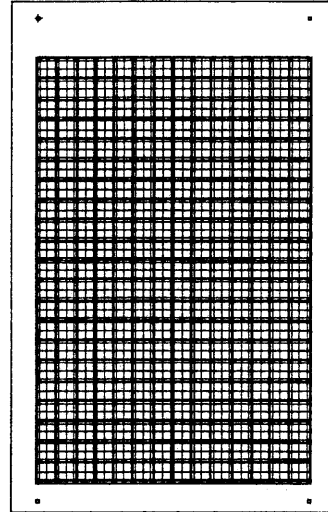


図3：図面用紙

本研究では、手書き間取り図面に書かれたこのような建築要素を、CADフォーマットに自動変換するために、線分要素と領域要素、それぞれの要素の特徴に適応した別々のアルゴリズムを提案する。線分要素に対しては、射影を使うことを特徴とする線分抽出処理を、領域要素に対しては、背景領域の抽出を特徴とする閉領域抽出処理を用いた。認識システム構築にあたって、入力する間取り図面の曖昧性を、ある程度なくすために、いくつかの制限を設けている。まず、建築要素は、一般的に使われている書き方をベースにして、1要素1パターンでの筆記ルールで表記した。使用する図面用紙は、グリッド線をドロップアウトカラーで印刷し、用紙の四隅にはドロップアウトされないマークを印刷した(図3)。四隅のマークは、イメージスキャナからの入力時の傾きの補正と、

ドロップアウトカラーで印刷されたグリッド線の位置検出に用いられている。筆記具は太さ 0.5mm のシャープペンと、太さ 1.0mm のペンとし、太さの違いを明確にした。これらの筆記ルールは、普段、間取り図面を書いている建築士から見れば、どれも通常の書き方スタイルと変わらないものであり、ユーザへ負担がかかることを極力避けた。

4. 図面認識処理

4.1. 処理概要

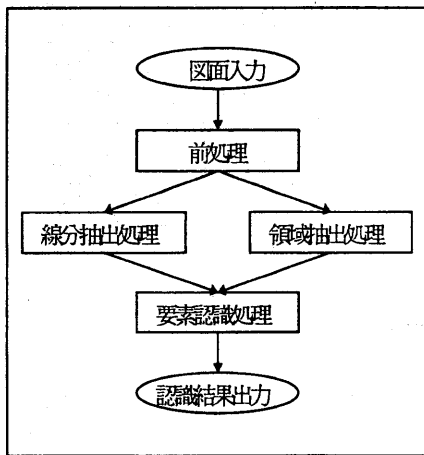


図4：処理の流れ

本研究で試作した図面認識システムの処理の流れを図4に示す。前処理では、イメージスキャナから得られた画像データに対し、用紙の傾き補正、線分の途切れ対策を行っている。傾き補正は、イメージスキャナから図面を読み込んだ際に、用紙の四隅に印刷してあるマークを検出し、その位置関係から用紙の傾きを求め、補正している。また、この四隅のマークの中の1つの形状を変えており、それを利用して上下逆さに用紙を置いた場合の補正や、裏表の置き間違いも検出している。

線分の途切れ対策は、線分の輪郭追跡から端点を検出し、一定値以内の途切れは繋ぐ処理をしている。線分抽出処理では、線分要素を認識するために、用紙のグリッド線を水平垂直方向に順次走査し、太さ情報を含んだ線分情報を抽出している。領域抽出処理では、領域要素を認識するために、図面中の背景領域の追跡により、形状情報を持った閉領域情報を抽出している。最後の建築要素認識処理は、先に求められた線分情報と閉領域情報を使い、筆記ルールを基にした知識により、要素認識を行っている。以下に、線分抽出処理、領域抽出処理、要素認識処理について更に詳細を記す。

4.2. 線分抽出処理

線分抽出処理では、図面のイメージデータから線分の位置と太さ方向の情報を獲得し、ベクトル化している。既存の代表的なベクトル化手法には、図面中の線分を、その太さが全て1画素になるように細めてベクトル化する細線化アルゴリズム[1][2][6]があるが、線分の交差点や分岐点付近にノイズが出たり、太さ情報が捨てられるなどの問題点を持っている。これに対し、本手法は細線化を使っておらず、安定でノイズの少ない出力を得られるものとなっている。

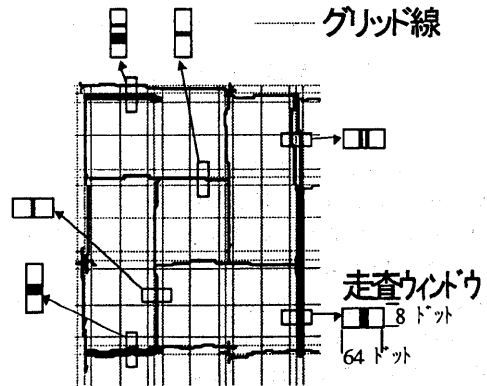


図5：線分抽出処理

本手法は、まず図5に示すように、一定サイズの走査ウィンドウを、水平垂直のグリッド線上に順次走らせ、画素情報を獲得する。その画素情報から図6に示すように、グリッド線の進行方向の射影を求め、得られた射影データを一定のしきい値でビット列に変換し、その情報から線分の太さと本数を求めている。得られた情報（線分の太さと本数）は、その組み合わせ毎にコード化（パタンコード）し、出力する。

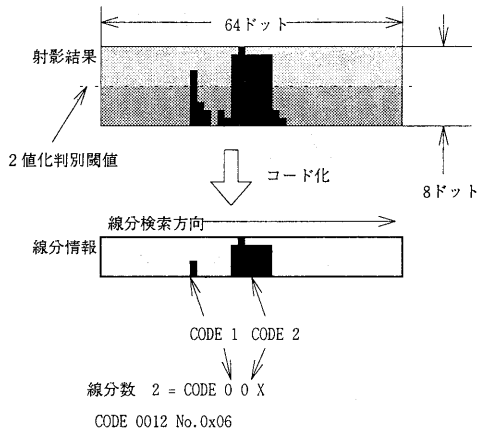


図6：線分属性の獲得

得られたパタンコードは、位置が連続し、パタンも同じとなる条件まとめ上げる。しかし、手書きから生じるノイズ等が原因となり、異常なパタンが数多く現れるため、一定距離以下の長さのパタン列はノイズと判断し、隣接するパタンへ変換し、平滑化する。

線分抽出処理で一般的に問題となる、線分の交差点、分岐点付近の処理は、上記の射影を獲得する処理とは別に行う。これは、グリッド線の交差点付近のデータについては、交差する線分情報によるノイズが考えられるためである。そこで、各グリッド交差点で、その交差点付近の上下左右4方向の線分情報から、グリッド交差点上の線分の状態を推定している。つまり、グリッド交差点

に向かう線分の存在の有無から、その場所を通過する線分の接続状態（交差、分岐、角、直進）を推定するのである（図7）。

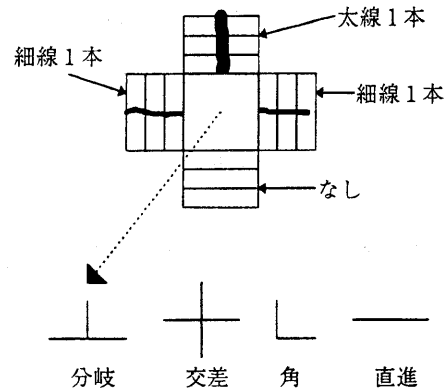


図7：交差点情報の獲得

4.3.領域抽出処理

領域抽出処理では、図面のイメージデータから、線分に囲まれ閉じている背景領域の位置と形状を獲得する。従来の多くの閉領域抽出手法では、線分を抽出し、その組み合わせによって形状を求めていた[1][3]。しかし、今回のような、手書きによる曖昧性の多い図面では、領域を構成する線分のセグメンテーションが困難である。これに対し、本手法は領域抽出に、背景領域（白画素領域）の輪郭情報を用いることにより、より安定な領域抽出を実現している。

領域抽出処理を図8に示す。まずはじめに、イメージデータから、黒画素に隣接する白画素を追跡開始点とし、その開始点に戻るまで一定方向の白画素追跡を行う。こうして抽出された背景領域を、塗りつぶし、一定サイズに正規化した後、テンプレートマッチングにより、適合する形状を求める。登録されているパタン形状は、図9に示す、三角形、四角形、円などで、さらに90度毎に回転した形状も登録することで、4方向の回転には対応させている。

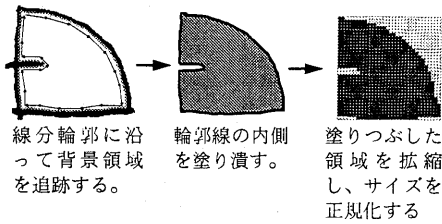


図8：領域抽出処理



図9：パターン形状

4.4.要素認識

要素認識処理は 3.2、3.3 で得られた、線分情報と領域情報を使い、建築要素毎の表記ルールを基本とした知識に従ってトップダウンな推定をする。壁などの線分要素は、抽出された線分の太さや本数といった線種をベースに認識し、収納などの領域要素は、領域の形状とその位置関係から認識する。さらに、認識された要素相互の位置関係から、矛盾の有無を検証をする。

図 10 に線分要素の例を示す。このように壁として太線、腰壁として細線の二重線など、線の種類で要素が定義されている。このため、線分抽出処理で得られた線分データから、各線分要素を表す線種のデータを候補とする。さらに、その候補中から、各要素毎に定義されているサイズや隣接する要素との関係などを照合し、要素を決定している。

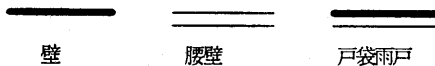


図10：線分要素例

図 11 に領域要素の例を示す。背景領域に着

目した場合、収納は 4 つの三角形、両開き建具は 2 つの扇形により構成されている。このため、領域抽出処理で得られた、形状データから、各要素を構成する形状を、その要素の候補とする。そして、候補形状の近傍に存在する他の形状データとの位置関係から要素認識をしている。

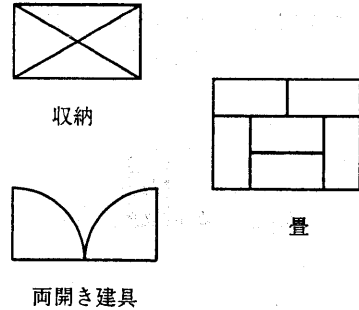


図11：領域要素例

5. 実験結果

試作した図面認識システムに関して、手書きで紙の上に書いた間取り図面を使った認識性能評価実験と、市販の CAD を使ったマニュアル入力作業時間と自動入力との比較実験を行った。

5.1. 認識性能評価

図面認識システムの認識性能評価実験では、実際の手書き図面として、20 種類の間取り図面を 3 人で 5 枚ずつ筆記した (300 枚)。これらの図面は、テンプレートや定規などの道具を使わずに、フリーハンドで作成した。このため、用意した図面は、手書きによる線の歪み等を含んでいる。また、図面用紙のサイズは、A4 (210mm × 297mm) とし、取り込むデータの解像度は 400dpi とした。

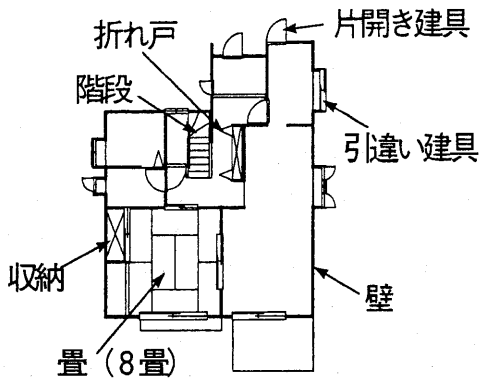


図12：認識結果例

20種類（300枚）の図面を半分に分け、10種類の図面（150枚）を学習用データとしてシステムチューニングに使い、残りの10種類の図面（150枚）をチューニングの済んだシステムへの認識評価用データとした。

認識結果の例を図12に示す。この認識処理時間が、図面1枚あたり平均約35秒であった（Pentium 133-MHz）。線分要素の認識結果は、要素数6284のうち6037が成功であった（96.1%）。また、領域要素の認識結果は、要素数2442のうち2282が成功であった（93.4%）。その結果、トータルの認識率は95.3%であった。表1には3人の筆記者毎の図面認識率を、表2には評価用データ10種類の図面毎の認識率を示した。

表1：筆記者別認識率

筆記者 (3名)	認識率 (図面150枚)
A	95.1%
B	95.6%
C	96.1%

表2：図面別認識率

図面	認識率	図面	認識率
No.1	93.3%	No.6	97.7%
No.2	98.0%	No.7	94.6%
No.3	93.1%	No.8	95.4%
No.4	97.6%	No.9	93.6%
No.5	96.3%	No.10	97.5%

5.2. 入力時間評価

CADを使ったマニュアル入力方式と図面認識システムを使った自動入力方式の入力時間の比較実験では、図面用紙に手書きした10種類の二階建て間取り図面を入力図面とした。なお、図面は階層毎に描いているため、ここで扱う図面は図面用紙2枚で1組の図面と考えている。マニュアル方式用のツールとしては、マウスによって全操作を行う、市販の建築用CADを利用した。このCADを使っただけの入力時間と、図面認識処理にその修正時間を加えた入力時間を図面毎に測定し、両方式を比較した。なお、本実験での入力要素は、壁、各種建具（開き建具、引き建具等）、各種階段、収納、畳とした。

表3は、マニュアル入力方式と自動入力方式に於ける図面毎と要素毎の平均入力時間である。マニュアル入力に比べ、自動入力は10分の1以下の入力時間であった。また、図13は自動入力で行われている各処理（スキャナ入力、図面認識処理、確認・修正処理）に必要な平均時間である。この処理の約80%（7分30秒）をマニュアル処理である、認識結果に対する確認・修正処理が占めている。

表3：平均入力時間

	入力時間 / 図面	入力時間 / 要素
方式1	5670 sec (1時間34分30秒)	45 sec
方式2	560 sec (9分20秒)	4 sec

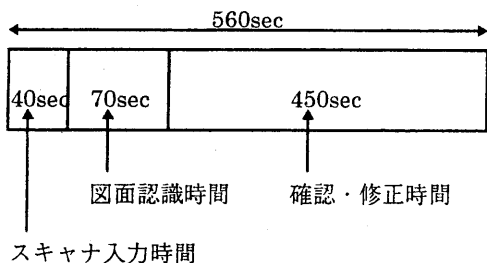


図13：自動入力方式の時間配分

6. まとめ

CGによる仮想住宅空間を、短時間で生成するための手段として、手書きの間取り図面から、そこに表記されている壁や階段等の建築要素を認識する手法を考案し、その手法を用いた図面認識システムを試作した。

図面認識システムの性能に関する評価結果は、処理速度、認識精度のどちらも十分実用に耐えうる数値を得ることができた。また、筆者毎や図面毎に認識率を求めた結果からは、大きな率の低下などはみられず安定した値を得られた。

この試作システムを使った入力時間の測定実験では、図面あたりの平均で9分20秒で、これはマニュアルでCADへ入力する場合の約10%で済むことが示された。これに、CG出力のための計算時間を考え合わせても、マニュアルに比べて十分短時間で済むことがわかった。

【謝辞】

本研究の推進にあたって、度重なる御指導を頂きました、NTTヒューマンインタフェース研究所の木暮賢司知能ロボット研究部長、ならびに、三ツ矢英司グループリーダーに、感謝致します。

References

- [1] A. J. Filipiski and R. Flandrena: "Automated conversion of engineering drawings to CAD form", Proc. IEEE, 80, 7, pp. 1195-1209(1992).
- [2] O. Hori, S. Shimotsuji, F. Hoshino and T. Ishii: "Line-drawing interpretation using probabilistic relaxation", Machine Vision Applications, 6, 2/3, pp. 100-109(1993).
- [3] S-W. Lee: "Recognizing hand-drawn electrical circuit symbols with attributed graph matching", Structured Document Image Analysis, pp. 340-358(1992).
- [4] L. Boatto, V. Consorti, et al.: "An interpretation system for land register maps", Computer, 25, 7, pp. 25-33(1992).
- [5] P. Vaxiviere and K. Tombre: "Celasstin: CAD conversion of mechanical drawings", Computer, 25, 7, pp. 46-54(1992).
- [6] Y. Yu, A. Samal and S. Seth: "Isolating symbols from connection lines in a class of engineering drawings", Pattern Recognition, 27, 3, pp. 391-404(1994).
- [7] L-S. Kung and J-C. Samin: "A procedure of reading mechanical engineering drawings for CAD applications", Signal Processing, 32, 1/2, pp. 191-200(1993).
- [8] D. Dori, Y. Liang, J. Dowell and I. Chai: "Sparse-pixel recognition of primitives in engineering drawings", Machine Vision Applications, 6, 2/3, pp. 69-82(1993).