

理科系教材のスキャナを用いた自動点訳システムの開発研究

(11558015)

平成11年度～平成13年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(1)）研究成果報告書

平成14年 3 月

研究代表者 大 武 信 之

(筑波技術短期大学 教育方法開発センター 助教授)

1 はじめに

本書は、平成 11, 12, 13 年度に下記課題で行われた研究成果報告書である。

研究課題： 理科系教材のスキヤナを用いた自動点訳システムの開発研究 (11558015)

研究組織：

研究代表者	大武信之	筑波技術短期大学 教育方法開発センター 助教授	
研究分担者	鈴木昌和	九州大学大学院 数理学研究院 教授	
〃	藤芳 衛	大学入試センター 研究開発部 教授	
〃	田辺吉久	株式会社東芝デジタルメディアエンジニアリング 部長	(研究職)
〃	菅野雅之	株式会社東芝青梅工場 コンピュータマルチメディア設計部 部長	(研究職)
〃	清野和司	株式会社東芝青梅工場 コンピュータマルチメディア設計部 課長	(研究職)
〃	横田和章	株式会社東芝青梅工場 コンピュータマルチメディア設計部	(研究員)

研究経費：	平成 11 年度	6,900 千円
	平成 12 年度	4,000 千円
	平成 13 年度	3,200 千円
	合 計	14,100 千円

2 背景

近年、視覚に障害を持つ人達の教育も、盲学校のような特別な教育環境ではなく、普通の学校で学ぶ、いわゆる統合教育のケースが、初等・中等教育の場で増えている。また視覚障害者が大学以上の高等教育を希望する場合、これらの学校現場は盲学校のような受入体制と教育環境を整えている訳ではない。視覚障害者の社会進出には、健常者同様の高等教育が必要とされるが、十分なサポート体制が整備されていない。これまで文科系大学への進学は、ボランティアの努力と協力によりサポートがなされてきたが、理科系大学への進学には、受入側の体制、ボランティアの援助が十分ではなかった。特に理工系図書の点訳を行う場合、用いられる複雑な数式や化学式が存在が、ボランティア自身の参加意欲をそぐ面もあった。もし点訳や読み上げが自動化されると、敬遠していたボランティアの協力も容易になる。さらに理工系図書の自動点訳システムが、視覚障害者自身がボランティアの助け無しに利用できるものであれば、科学技術分野への視覚障害者の社会進出の助けにもなる。

点訳作業はボランティアの協力によるところが多いが、入試問題や公務員試験など、点訳依頼が難しいものもある。大学入試センターをはじめ、全国の大学入学試験の点訳作業は、限られた時間内に大量の問題を処理しなければならない。その為にも自動処理による前処理が必要となり、システムによる自動化が望まれる。これまで自動点訳システムがいくつか提案されているが、これらは平易な文書を点訳するものであった。複雑な数式等を認識し、英語・日本語・数式記号の混在した文書を、自動点訳するシステムがないため、小・中・高の算数・数学教材も含めた理数系図書を自動点訳するシステムの実現が望まれる。

3 目的

理数系教材の自動点訳を行うには、スキャナを用いてデータを入力する必要がある。入力後はデータのレイアウトを解析し、日本語・数式分離と日本語・数式認識を自動的に行い、標準の出力形式に変換する。出力形式が一意に定められた記述形式であれば、それを読み上げたり自動点訳すれば、視覚障害者が利用できるものとなる。そのために、これら一連のプロセスを通して実験できるシステムを構築し、自動点訳システムのための問題点を探り、実用化システムを構築するための課題を調べるのが、本研究の目的である。

大学入試センターには過去の全ての大学入学試験問題のデータベースがあり、九州大学では現在実験用の大量の数学書の正解付き画像データベースを作成中であるため、これらを入力データとして、科学技術の書籍や理系の学校教材を中心に用い、初等・中等教育の教材も念頭に置き、以下の項目に関し開発研究を行った。

1. 科学技術文書や学校の理数系教材には、数式や図・表が多く含まれているため、文書のレイアウトを解析し、文章、数式、グラフなどの線図の内容などを認識して、点字に出力する為の基本技術の研究を行う。
2. 画像のノイズ処理、レイアウト解析、文字や数式の認識、図の認識、 \LaTeX や点字での出力という一連の流れを実験できるシステムを構築する。
3. 光学的文字読取装置 (OCR) を使用した際に付き物の誤認識に対する使いやすい修正機構を含め、視覚障害者自身が使えるようなユーザーインターフェースの研究を行う。

4 特色

これまで平易な文章を点訳するソフトウェアは存在したが、数式記号を認識し自動点訳するシステムはなかった。高度な数式を含む理数系教科書等の自動点訳システムを実用化すれば、大学入試センターをはじめ、教育現場、及び点訳ボランティア等が、数学や点字の専門的知識がなくても利用できるシステムとなる。さらに、視覚障害者自身が独力で利用できるシステムであれば、障害者の社会自立の道具にもなりうる。さらに本システムを用いて、理数系の教科書、科学技術の書籍、入試問題等の点字図書ライブラリ作成も可能となる。

5 経緯

一般に理数系図書および科学技術系文書は、日本語と数式が混在した形で印刷されている。これまで、このような文書の点訳を行う場合、光学的文字読取装置 (OCR) で文書を入力した後に、平易な日本語部分は、点訳ソフトウェアを用いて点訳を行えたが、数式部分の点訳は容易には行えず、自動化がなされなかった。

筑波技術短期大学・大武は、数式を含む文書の自動点訳を行うシステムとして、アメリカ数学学会公認

の数式記述用言語 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ のマクロである $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ で数式の記述を行い、数式点字規則を知らない人でも、簡単な $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ コマンドを覚えるだけで自動点訳できるソフトを開発した。このシステムは、数式を $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ で入力する部分を人手に頼るもので、他は自動化されている。これに対し、数式認識の研究を行っている九州大学・鈴木は、スキャナによる数式部分の切出しと認識において、既に実用化段階のレベルに達している。この技術を組み合わせ、科学技術文書・理数系図書の自動点訳システムの構築が可能であると判断したのが、本研究着想の経緯である。

6 分担

6.1 鈴木 (九州大学), 横田 (東芝), 菅野 (東芝)

数学・理科を中心に教科書や典型的な参考書、試験問題などのレイアウト解析のための文書モデル記述法的设计、および各レイアウト要素 (図、表、文章、数式の領域識別、文書論理構造認識) などの判別基準に関する基礎的実験研究を行った。認識が難しいとされた表やグラフ、線で描かれた図の認識に関しても、どこまで認識が可能かの検討を加えた。これと並行して、教材文書のレイアウト情報の点字出力形式の検討を行った。抽象化された数式や図表を含む文書のクラス設計と C 言語による実装、そのモデルを用いた内部表現からの出力形式 ($\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, MathML, 各種の点字コード体系等) によらない変換方式の設計と実装を行った。

6.2 大武 (筑波技術短期大学), 田辺 (東芝), 清野 (東芝)

ユーザーインターフェースを含めたシステム全体の基本設計を行い、研究開発してきた数式自動点訳システムに対し、オブジェクト指向プログラミングを用い抽象化されたデータの扱いを検討した結果、点字データファイルの扱いは、今後の文書処理に対応させるため XML を用いて設計した。

6.3 藤芳 (大学入試センター), 大武 (筑波技術短期大学)

英語圏で検討されている Unified Braille Code (UBC) における数式・化学式の調査を行い、今後 UBC が現行日本点字規則に与える影響を検討した。UBC を日本へ導入するための UJBC を提案し、点訳形式を現行日本点字規則と UJBC の2つの形式で行う設計で、それぞれの変換形式に対する問題点を調査しシステム開発に盛り込んだ。

7 研究成果

7.1 研究集会

本研究費によって開催した研究集会

A. 数式認識と数式を含む文書処理に関する研究集会

日 時： 1999年12月11日(土) 10:00~17:00

場 所： 九州大学理学部4号館4201号室(2階)

参加者： 31名余

—— 発 表 ——

1. 岡本正行(信州大工)「科学技術文献読み取りとXML化の試み」
2. 山口雄仁・川根深(日大)、森岡俊雄(茨城大理工)
「日本語による数式読み上げ用音声マクロの試作モデル」
3. 大武信之(筑波技短大)、宇田川明子・新村由紀子(お茶女大)
「XMLによる墨字・点字統合化」
4. 大武信之(筑波技短大)、楠佳奈子(お茶女大)「視覚障害者のための \LaTeX 作成システム」
5. 金堀利洋・岡村博文(九大数理)、安藤英里子(九大理)「数学文書のVisual Editorとその入出力フィルター(\LaTeX / MathML / Mathematica etc.)」
6. 叢偉(福教大)、田畑耕一(九大数理)「オンライン手書き数式認識」
7. 岡村博文(九大数理)
「文法記述リソースからの数式構文解釈オートマトンの自動生成とその応用」
8. 笹井真樹(九大数理)「数学記号画像データベースと数学記号認識実験」
9. 中山優幸(福教大)「Dvi Fileを読む」
10. 村上孝憲・江藤裕子(九大数理)、川手玲夏・山本香苗(九大理)
「正解付き数式画像データベース」
11. 村上孝憲(九大数理)「数式認識時に用いる基準値の画像からの推定とシミュレーションによるその推定手法の評価」
12. 江藤裕子(九大数理)
「英文数学書からの数式領域切りだしと、最小コスト全域木探索用いた数式認識」
13. 金堀利洋(九大数理)
「可変ブロックパターンによる矩形領域デザインの最適化を用いた行列認識手法の提案」

B. 数式認識及び関連する科学情報処理に関する研究集会

日 時： 2001年2月17日(土) 13:00～17:00

2月18日(日) 9:00～16:00

場 所： 九州大学理学部4号館4201号室(2階)

参加者： 37名余

—— 発 表 ——

1. 鈴木昌和(九大数理) 数学書認識システム(INFTY)と手書き数式入力システム(INFTY-Hand)のデモンストレーション
2. 横田和章(東芝) 英文数学書画像からの数式領域とテキスト領域分離
3. 今井裕樹(信州大学) 数式構造認識 — 添字式の処理と行列への拡張 —
4. 高木和彦(信州大学) 数式記号認識実験と接触文字の切り離し
5. 岡田稔(中部大学) 数式の構造認識と意味理解プロジェクト
6. 陳うん(名古屋大学) Recognition and Understanding for Mathematical Formula
7. 中山優幸(福岡教育大) 数学記号の特徴を用いた水平分割による数式構造解析
8. 江藤祐子(九大数理) 仮想リンクネットワークを用いた数式認識
9. Special program (Some demonstration of handwriting interface for Japanese characters)
10. 金堀利洋(九大数理) 可変ブロックパターンによる矩形領域分割を用いた行列の認識
11. 清野和司(東芝) 製品分野におけるOCR認識技術の動向と展望
12. 池田秀人(立命館大) 表情画像付き多地点遠隔音声会議システム
13. 宮地 力(国立スポーツ科学センター) Mathematica を利用したネット上での数式・図・文章の相互通信ツール
14. 叢 偉(福岡教育大) 手書き入力を用いた数学授業支援システム
15. 田畑耕一(九大数理) 2次元ワーブを併用したオンライン手書き英数字・数学記号認識
16. 笹井真樹(九大数理) 境界線方向線素分布特徴を用いた英数字・数学記号の認識
17. 兵藤安昭(岐阜大) 自動点訳システム IBUKI-TEN とその DLL 化
18. 大武信之(筑波技術短大) UBC に従った点字・墨字双方向変換
19. 山口雄仁, 川根 深(日大短大部) 日本語による数式読み上げ用音声マクロに関する諸検討
20. 井上浩一(リコー) GNU Emacs 音声化システム Bilingual Emacspeak Platform
21. 藤芳 衛(大学入試センター) 障害受験生のための大学入試センター試験用適応型コンピュータ・テスト開発
22. グループセッション
今後の研究計画等についてのディスカッション

7.2 研究発表

A. 欧文 (平成 11~13 年度, 発表順)

1. K.Kusunoki, H.Sato, K.Hotate, K.Yamano, K.Okada, N.Ohtake, S.Hara, *A check system of Japanese L^AT_EX document for the blind*, Proceedings of ICCE '99, 7th International Conference on Computers in Education, Chiba Japan (1999) pp.307-313.
2. H.Okamura, T.Kanahori, W.Cong, R.Fukuda, F.Tamari, M.Suzuki, *A Handwriting Interface for Computer Algebra Systems*, Proceedings of the Fourth Asian Technology Conference on Mathematics, Guangzhou (1999) pp.291-300.
3. R.Fukuda, N.Ohtake, M.Suzuki, *Optical Recognition and Braille Transcription of Mathematical Documents*, Proceedings of the 7th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP), Karlsruhe (2000) pp.711-718.
4. T. Kanahori, K. Tabata, W. Cong, F.Tamari, M. Suzuki, *On-Line Recognition of Mathematical Expressions Using Automatic Rewriting Method*, Advances in Multimodal Interfaces – International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI) 2000, Lecture Notes in Computer Science 1948, Springer (2000) pp.394-401.
5. Y.Eto, M.Suzuki, *Mathematical Formula Recognition Using Virtual Link Network*, Proceedings of the Sixth International Conference on Document Analysis and Recognition, Seattle, IEEE Computer Society Press (2001) pp.430-437.
6. T. Kanahori, M. Suzuki, *A Recognition Method of Matrices by Using Variable Block Pattern Elements Generating Rectangular Areas*, Proceedings of the Fourth IAPR International Workshop on Graphics Recognition (2001) pp.455-469.

B. 和文 (平成 11~13 年度, 発表順)

1. 楠佳奈子, 佐藤浩史, 原俊介, 大武信之: 音声を用いた視覚障害者用科学技術文書作成システム, 電子情報通信学会技術研究報告, ET99-76 (1999-12) pp.97-104.
2. 川満良子, 楠佳奈子, 渡部亜矢子, 佐藤浩史, 原俊介, 大武信之: 自由サイズ点字印刷システムの開発 電子情報通信学会技術研究報告, ET99-81 (1999-12) pp.135-142.
3. 宇田川明子, 新村由紀子, 川満良子, 楠佳奈子, 渡部亜矢子, 佐藤浩史, 原俊介, 大武信之: XML を用いた点字教材とその応用, 電子情報通信学会技術研究報告, ET99-82 (1999-12) pp.143-150.
4. 能隅進一, 福田亮治, 玉利文和, 鈴木昌和「絞り込み法による数式文字認識とその日本語/数式領域切りだしへの応用」 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.j83-DII, No.3 (2000) pp.895-906.
5. 江藤裕子, 福田亮治, 鈴木昌和「最小コスト全域木探索を用いたオフライン数式構文認識」 電子情報通

信学会技術研究報告, PRMU99-236 (2000) pp.37-43.

6. 岡村博文, 金堀利洋, 鈴木昌和「汎用入出力機能付き数式エディタ開発」報処理学会 第 60 回全国大会 (2000)
7. 岡村博文, 金堀利洋, 叢偉, 福田亮治, 玉利文和, 鈴木昌和「数式処理システムへの手書き数式入力インターフェイス」情報処理学会 第 60 回全国大会 (2000)
8. 林香里, 中村理恵, 渡部亜矢子, 佐藤浩史, 原俊介, 大武信之: UBC 検証システム, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2000-77 (2000-12) pp.9-16.
9. 金堀利洋, 鈴木昌和「可変ブロックパターンによる矩形領域分割を用いた行列の認識」電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2000-201 (2001-03) pp.1-6.
10. 江藤裕子, 鈴木昌和「仮想リンク・ネットワークを用いた数式認識」電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2000-202 (2001-03) pp.7-14.
11. 田畑耕一, 福田亮治, 鈴木昌和「2次元ワープを併用したオンライン英数字・数学記号認識」電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2000-204 (2001-03) pp.23-30.
12. 前田秋吐, 鈴木昌和「音声認識を用いた日本語による数式インタフェース」情報処理学会九州支部会, 火の国情報シンポジウム発表論文集, pp.297-304.
13. 藤好衛, 石田透, 澤崎陽彦, 大武信之: 統一日本語点字記号第 2 版の開発—Unicode に対する点字記号の割付, 電子情報通信学会技術研究報告, SP2001-73, WIT2001-27 (2001-10) pp.1-8.
14. 石山寿子, 高野文子, 佐藤浩史, 原俊介, 大武信之: XML における数式の表示形式から意味形式への変換, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2001-69 (2001-12) 23-30
15. 安藤英里子, 鈴木昌和「文字画像の実時間クラスタリングを用いた文書認識と修正作業の効率化—英文数学書—」電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2001- (2002-03) pp. - . (印刷予定)
16. 村上玄生, 鈴木昌和「CenterBand を用いた数式構造解析の安定化」電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2001- (2002-03) pp. - . (印刷予定)

ここに挿入されている論文

「 A check system of Japanese LATEX document for the blind 」

は、本学機関リポジトリに登録されている報告書の一部にありますので、こちらを
ご覧ください。

↓

<http://hdl.handle.net/10460/815>

ここに下記の論文がありますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「 Handwriting Interface for Computer Algebra Systems 」

The Fourth Asian Technology Conference on Mathematics, 1999

ここに下記の論文がありますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「 Optical Recognition and Braille Transcription of Mathematical Documents 」

The 7th International Conference on Computers Helping People with Special Needs
(ICCHP), 2000

ここに下記の論文がありますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「On-Line Recognition of Mathematical Expressions Using Automatic Rewriting Method」

The original publication is available at www.springerlink.com

<http://www.springerlink.com/content/anh6ttu6tc8wbvax>

Mathematical formula recognition using virtual link network

Copyright	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Source	IEEE Computer Society Press (2001)

A Recognition Method of Matrices by Using Variable Block Pattern

Elements Generating Rectangular Area

Publisher	Springer Verlag
Rights	The original publication is available at www.springerlink.com http://www.springerlink.com/content/ntwkj3lp3mh39e4c

A recognition method of matrices by using variable block pattern elements generating rectangular area

Toshihiro Kanahori and Masakazu Suzuki

Graduate School of Mathematics, Kyushu University 36, Fukuoka, 812-8581 Japan
kanahori@math.kyushu-u.ac.jp

Abstract. In this paper, we propose our new method to recognize matrices including *repeat symbols* and *area symbols*. The method consists of 4 parts; detection of matrices, segmentation of elements, construction of networks and analysis of the matrix structure. In the construction of networks, we regard a matrix as a network of elements connected each other by links representing their relative relations, and consider its horizontally projected network and vertically projected one. In the analysis, we obtain the areas of variable block pattern elements generating the minimum rectangular area of the matrix by solving the simultaneous system of equations given by the two projected networks. We also propose a format to represent the structure of matrices to output the result of the matrix recognition.

1 Introduction

The technology of OCR is very efficient to digitize printed documents. However, current OCR systems can not recognize mathematical formulae which are very important in scientific documents. Several algorithms for recognizing mathematical formulae have been reported in literature ([1]-[3]). Some of them can be applied to very simple matrices, such as gridironed matrices. However, no method to recognize matrices including abbreviation symbols, which are used in mathematics, is reported. Besides, there is no standard format to represent the structure of complicated matrices. So, we can not keep the result of matrix recognition.

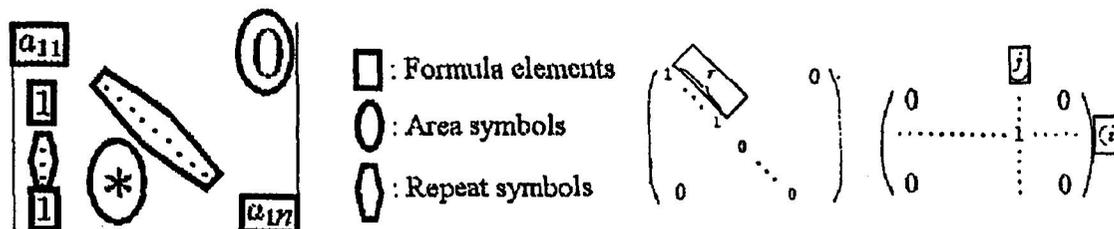


Fig. 1. Components of matrix

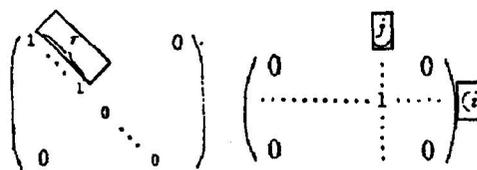


Fig. 2. Decorators

In this paper, we present a method to recognize matrices including *repeat symbols* or *area symbols*, which appear in scientific documents, and a format

to represent their structure to output the result of our recognition, and report the experimental results of this method. Matrices which we are going to recognize consist of *formula elements*, *area symbols* and *repeat symbols* (Fig. 1). The *decorators* are excluded at present (Fig. 2).

2 Representation of matrix

We classify the components of a matrix into the following 3 classes;

1. Formula element
 - It is a component of a matrix.
 - It has only one grid as its own area.
 - It can connect to other elements in the 8 directions.
2. Area symbol
 - It has several grids as its own area.
 - Its area has a free boundary.
 - Common area symbols are $O, 0, 1, *$, etc., and a space is also an area symbol.
3. Repeat symbol
 - It means that formula elements are continuously aligned on the straight line in its direction; $\downarrow, \rightarrow, \searrow$ or \swarrow .
 - It can connect to formula elements and other repeat symbols with different directions.
 - We assume that it consists of 3 points or more and they are put on straight line.

We represent an area of a matrix element by the set of couples of indices representing the row and column on the matrix. In Fig. 3, the formula element ' a_{11} ' has (1,1) as its area, ' a_{nn} ' has (4,4), and the area symbol '0' has (1,2), (1,3), (1,4), (2,3), (2,4) and (3,4) as its area, and '*' has (3,2), (4,2), (4,3).

The format to represent the structure of matrices is resumed in Table 1. The results of our matrix recognition are output in it. For example, the matrix in Fig. 3 is represented by Table 2, where we omitted the coordinates of the elements' bounding rectangles.

Symbol Names	Informations
MATRIX	Coordinate of its own bounding rectangle on the image Parentheses on right and left Numbers of the row and column List of ELEMENT List of CONNECTION
ELEMENT	Coordinate of its bounding rectangle Results of the recognition Set of its areas
CONNECTION	Couple of the positions of the repeat symbol's end points

Table 1. The rule of matrix representation

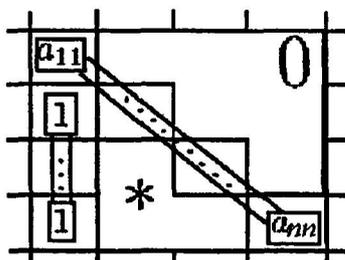


Fig. 3. Positions on matrix

MATRIX			
Parenttheses	,	Row, Column	4, 4
ELEMENT LIST			
Formula	Areas	Formula	Areas
a_{11}	(1,1)	1	(2,1)
1	(4,1)	a_{nn}	(4,4)
0	(1,2),(1,3),(1,4),(2,3),(2,4),(3,4)		
*	(3,2),(4,2),(4,3)		
CONNECTION LIST			
End Points	(2,1),(4,1)	End Points	(1,1),(4,4)

Table 2. Example of matrix representation

3 Matrix recognition

For our matrix recognition of a page image, we assume that its lines are distinguished, the characters are recognized, the coordinate of the bounding rectangle of each character is obtained.

The method consists of 4 parts;

1. Detection of matrices in a page image, and extraction of characters in each area of the matrices.
2. Segmentation of the characters into elements for each matrix.
3. Construction of the network where formula elements are connected by repeat symbols or adjacent relations.
4. Structure analysis of the matrix.

In the 4th step, we let the minimum length of repeat symbols in a matrix be 2 on the network. Then, we set up equations for the height and width of the matrix from its vertically projected network and horizontally one. By solving the equations, we obtain the areas of variable block pattern elements generating the minimum rectangular area of the matrix, and decide the minimum numbers of its rows and columns.

3.1 Detection of matrices

The algorithm of the detection of matrices is very simple at present. Its outline proceeds as follows;

1. Find big parentheses in the given character sequence. Considering errors of the character recognition, find long tall characters too.
2. Find couples of big parentheses among them.
3. For each couple, calculate the rectangular area between its two parentheses, and recognize characters in the area of the matrix.

In the followings, we assume that the results of the character recognition are always correct.

3.2 Segmentation of elements

By the detection of matrices, each detected matrix has the set of characters in its own area. It is necessary to group them into matrix elements. In this section, we explain the method of the segmentation.

We let $L = \{C_1, \dots, C_n\}$ be the set of the characters in the matrix. We define the distance $d(C, D)$ between C and $D \in L$ by

$$d(C, D) := \alpha_x d_x(C, D) + \alpha_y d_y(C, D),$$

where d_x (or d_y) is the distance between the intervals projected to x -axis (resp. y -axis), but we let d_x (resp. d_y) be 0 if the intersection of the intervals is not empty. The coefficients, α_x and α_y , also depend on C and D . We let the coefficient α_x for the horizontal distance be smaller than α_y for the vertical distance, so that the horizontal connections are tighter than the vertical ones. If C or D is a binary operator, we set α_x smaller value than ordinary. The operator, ‘-’ (minus), is also used as a sign at head of elements. Therefore, if the left space of a character ‘-’ (minus) is longer than the right, we consider it as a sign, and cut the connection to its left-hand side. Big symbols, \sum , \prod , etc., and fractional lines often have vertical connections. If they have formulae above themselves or below (upper limit formulae, lower one, numerators or denominators), the formulae are closer to them. So, we let α_y smaller to prevent them from connecting to the other elements which are above or below.

According to the way of the segmentation, it is not necessary to calculate the distance between a pair of characters where they are clearly unadjacent each other (In Fig. 4, ‘a’ is unadjacent to ‘c’ and ‘O’).

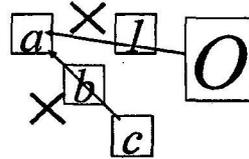


Fig. 4. Unadjacent

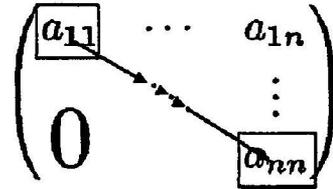


Fig. 5. Extraction of repeat symbols

However, the distance between clearly unadjacent characters is useful for evaluation of the thresholds. For a character C , we define the set of clearly unadjacent distance, $T(C)$, by

$$T(C) := \{d_0(C, D) \mid D : \text{clearly unadjacent to } C\} \\ (d_0 := d_x(C, D) + d_y(C, D)).$$

We put the threshold with respect to C by

$$t(C) = \frac{d(C, D_1) + d(C, D_2)}{2},$$

where D_1 (or D_2) is the character whose clearly unadjacent distance to C , $d_0(C, D_1)$ (resp. $d_0(C, D_2)$), is the first (resp. second) minimum value in $T(C)$.

We let $G(L)$ be the directed graph derived from the adjacency matrix $A(L) := (a_{ij})_{i,j=1,\dots,n}$. Then, we can obtain the elements of the matrix as the connected

components of the graph $G(L)$, and recognize each element again, where the elements a_{ij} of $A(L)$ are defined by

$$a_{ij} := \begin{cases} 1 & (d(C_i, C_j) < t(C_i)) \\ 0 & (d(C_i, C_j) \geq t(C_i)) \end{cases} \quad (C_i, C_j \in L).$$

The special process for the class of dots is done after the above segmentation. First, we take a dot which have very close elements on its both sides for a comma, and combine them into one element. Next, we extract repeat symbols from the dots. We classify repeat symbols into 4 types ($\downarrow, \rightarrow, \searrow, \swarrow$) according to their directions. The extraction of repeat symbols proceeds by tracing the dots (Fig. 5).

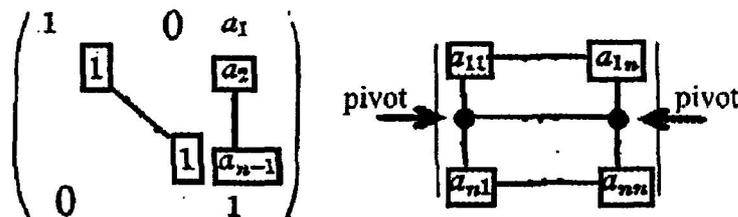
3.3 Construction of networks and equations

This section describes the algorithm to construct *the horizontally projected network* and *the vertically projected network* using the following simple examples.

$$\begin{pmatrix} 1 & & 0 & a_1 \\ & 1 & & a_2 \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & 1 & a_{n-1} \\ 0 & & & & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

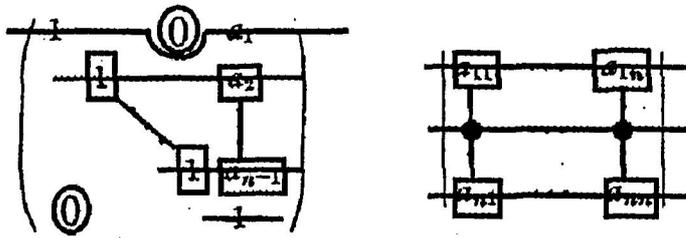
1. Connection by repeat symbols

For each repeat symbol, we connect its origin to its terminal. If the origin and the terminal are other repeat symbols, we put pivots on them. We consider the lengths of these connections as variable. If a repeat symbol is divided by a pivot, let the minimum value of the variable corresponding to the symbol be 1. Otherwise, let the minimum values of repeat symbols be 2.



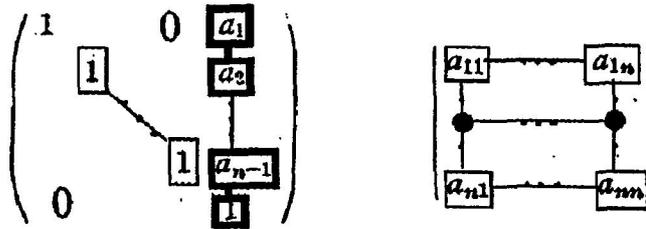
2. Segmentation into lines

First, we set each pair of the horizontally connected elements on the same line. Second, we segment the elements into lines by using the lengths of overlapping of their bounding rectangles on their horizontal projection, their sizes and baselines. If there are bigger $O, 0, 1, *$ than their normal sizes, or elements laying on several lines, we let them be area symbols.



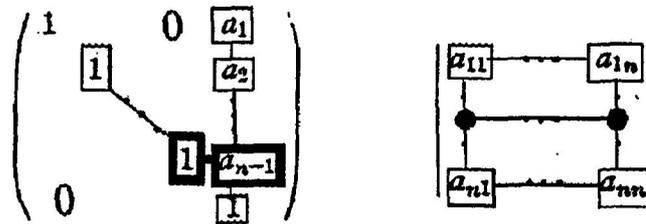
3. Vertical connection of elements

We connect each pair of vertically adjacent elements by a vertical 1-length path, its vertical length is 1, and its horizontal length is 0.



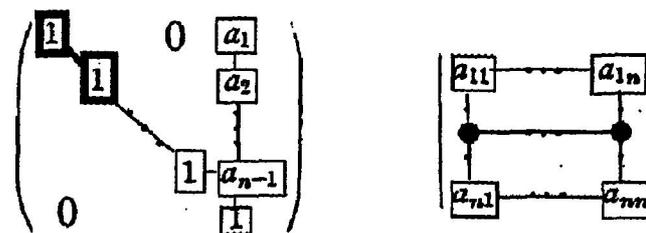
4. Horizontally connection of elements

We connect each pair of horizontally adjacent elements by a horizontal 1-length path, its vertical length is 0, and its horizontal length is 1.



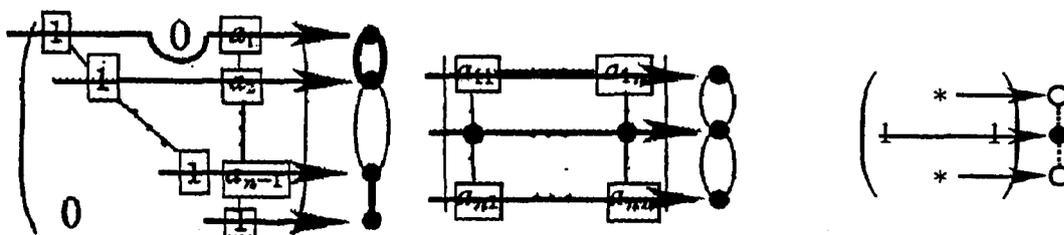
5. Diagonal connection of elements

For each element which is not connected to others by 1-length paths, we connect it to its diagonally adjacent element by a diagonal 1-length path, its vertical length is 1, and its horizontal length is 1.



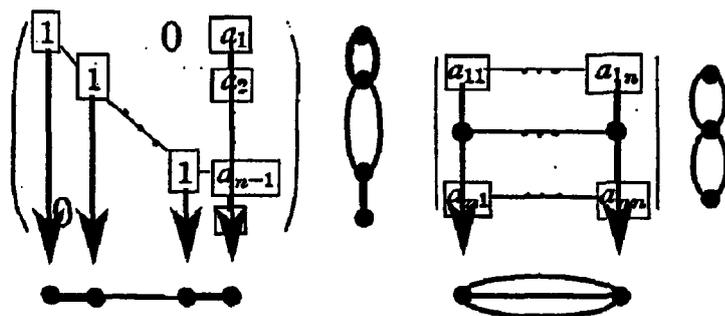
6. Horizontal projection of the network

By identifying elements on each line, we horizontally project the network constructed on the matrix by the above connections. We also identify elements on the upper end (or the lower end) of the matrix. If the projected area covers some area symbols, we do not project them. For area symbols uncovered by the projected area, we project them and connect to other close nodes to them (see the following right figure).



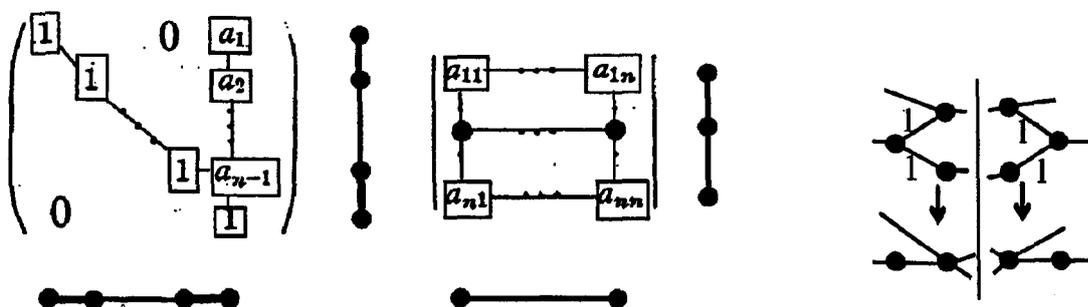
7. Vertical projection of the network

Similarly, we vertically project the network by identifying elements which are vertically connected each other. We also identify elements on the left end (or the right end) of the matrix.

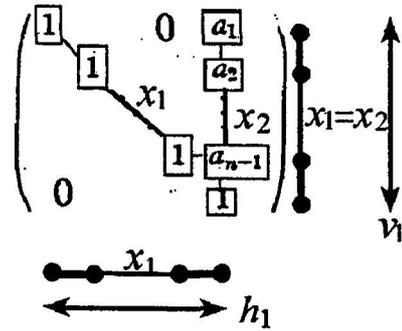


8. Identification of nodes and paths

On each projected network, we identify nodes having a common node at 1-distance from both of them including the directions. Moreover, we identify paths whose origin and terminal are same. We store the information of these identifications.



Thus, we obtain two projected networks. All the lengths of total paths from the upper end (or the left end) to the lower end (resp. the right end) must be equal to the number of rows (resp. columns) of the matrix. We let v be the number of rows and h be the number of columns, and assign an variable to each arc of the path. Then, we can set up the simultaneous system of equations by the lengths from end to end and the information of the paths' identification.



The length of the paths:

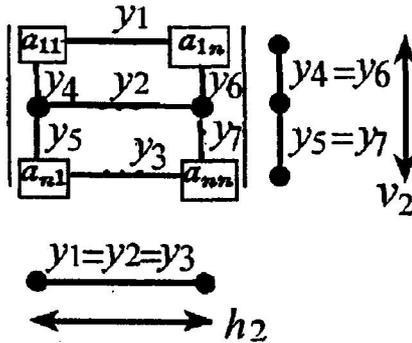
$$\begin{cases} v_1 = x_1 + 2 \\ h_1 = x_1 + 2 \end{cases}$$

The identification information:

$$x_1 = x_2$$

The conditions:

$$x_1, x_2 \geq 2, v_1, h_1 \geq 0, v_1, h_1, x_1, x_2 \in \mathbb{Z}$$



The length of the paths:

$$\begin{cases} v_2 = y_4 + y_5 \\ h_2 = y_1 \end{cases}$$

The identification information:

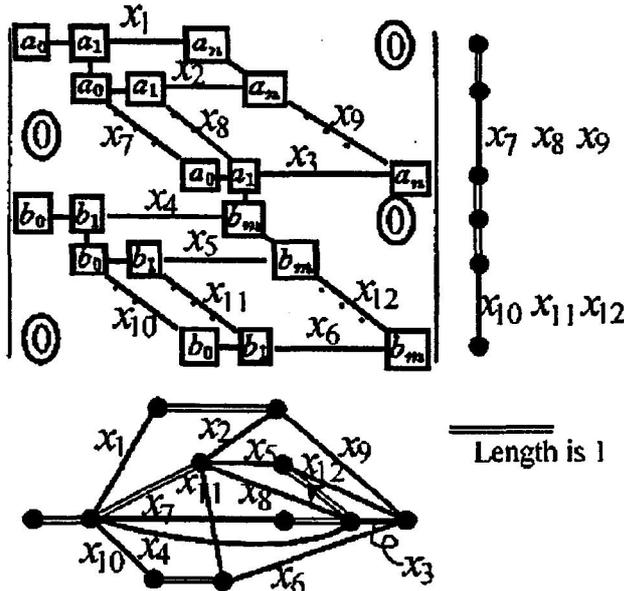
$$y_1 = y_2 = y_3, y_4 = y_6, y_5 = y_7$$

The conditions:

$$y_1, y_2, y_3 \geq 2, y_4, y_5, y_6, y_7 \geq 1, v_2, h_2 \geq 0, v_2, h_2, y_i \in \mathbb{Z}$$

3.4 Structure analysis

By solving the simultaneous system introduced from each projected network so that v and h are minimum, we can obtain the minimum numbers of rows and columns and the relative positions between the connected elements. We gridiron the matrix and put the elements on the grids by obtained values. The area symbols have the connected components separated by paths as their own areas.



The lengths of the paths :

$$\begin{cases} v = x_7 + x_{10} + 3 & (V-1) \\ h = x_1 + x_9 + 2 & (H-1) \\ h = x_2 + x_9 + 2 & (H-2) \\ h = x_3 + x_8 + 2 & (H-3) \\ h = x_8 + x_{12} + 3 & (H-4) \\ h = x_5 + x_{12} + 2 & (H-5) \\ h = x_3 + x_7 + 2 & (H-6) \\ h = x_3 + x_4 + 1 & (H-7) \\ h = x_4 + x_{12} + 2 & (H-8) \\ h = x_6 + x_{11} + 2 & (H-9) \\ h = x_6 + x_{10} + 2 & (H-10) \end{cases}$$

The identification information:

$$x_7 = x_8 = x_9, x_{10} = x_{11} = x_{12}.$$

The conditions:

$$x_i \geq 2 \quad h, v \geq 0, v, h, x_i \in \mathbb{Z}.$$

Fig. 6. Example for the structure analysis

We show the algorithm to solve the simultaneous system of equations so that v and h are minimum through Fig. 6

	v	h	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_{10}
(V-1)		×	×	×	×	×	×	×		
(H-1)	×			×	×	×	×	×		×
(H-2)	×		×		×	×	×	×		×
(H-3)	×		×	×		×	×	×		×
(H-4)	×		×	×	×	×	×	×		
(H-5)	×		×	×	×	×		×	×	
(H-6)	×		×	×		×	×	×	×	
(H-7)	×		×	×			×	×	×	×
(H-8)	×		×	×	×		×	×	×	
(H-9)	×		×	×	×	×	×		×	

Table 3. Example of the solution table

In the example, we can delete the equation (H-10) because it becomes (H-9) by using the identification information, $x_{10} = x_{11}$.

In order to solve the system of equations, we use *the solution table* for v and h , whose columns correspond to the equations of v or h , and rows correspond to the variables. For each variable which is not included in a equation, we put a '×' mark in the cell corresponding to the variables and the equation.

1. Evaluate the temporary values by substituting minimum values

We substitute minimum values of the variable. Then, we let the maximum value for v (or h) be a temporary value of v (resp. h), and let the minimum values of the variables included in the equations attaining the maximum value of v or h be their own temporary values. We put each of these temporary values on the equation's row of the solution table, which introduces it.

In the example, the equation (V-1) attains the maximum value of v , 7, and (H-4) attains the maximum value of h , 7. For the variables, x_7 and x_{10} , included in (V-1), and x_8 and x_{12} included in (H-4), we let their temporary values be their own minimum values, 2.

$$v = x_7 + x_{10} + 3 \geq 7 \quad (\text{V-1})$$

$$h = x_8 + x_{12} + 3 \geq 7 \quad (\text{H-4})$$

	v	h	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_{10}
(V-1)	7	×	×	×	×	×	×	×	2	2
(H-4)	×	7	×	×	×	×	×	×	2	2

2. Substitution of the temporary values

We substitute the temporary values of v , h and variables obtained in the step

1. We solve the monomial equations changed by this substitution, and let the solutions be the temporary values.

In the example, using the temporary values, $v = h = 7$, $x_7 = x_8 = x_9 = 2$ and $x_{10} = x_{11} = x_{12} = 2$, we solve other equations except for (H-7).

	v	h	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_{10}
(H-1)	×		3	×	×	×	×	×		×
(H-2)	×		×	3	×	×	×	×		×
(H-3)	×		×	×	3	×	×	×		×
(H-4)	×	7	×	×	×	×	×	×	2	2
(H-5)	×		×	×	×	×	3	×	×	
(H-6)	×		×	×	3	×	×	×	×	
(H-7)	×		×	×			×	×	×	×
(H-8)	×		×	×	×	3	×	×	×	
(H-9)	×		×	×	×	×	×	3	×	

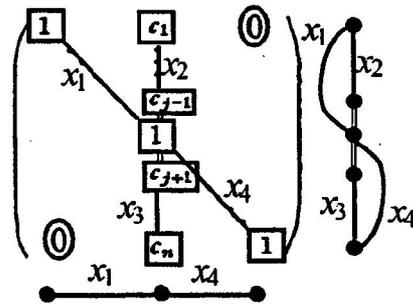
$$\left\{ \begin{array}{l} 7 = x_1 + 2 + 2 \Rightarrow x_1 = 3 \quad (\text{H-1}) \\ 7 = x_2 + 2 + 2 \Rightarrow x_2 = 3 \quad (\text{H-2}) \\ 7 = x_3 + 2 + 2 \Rightarrow x_3 = 3 \quad (\text{H-3}) \\ 7 = x_5 + 2 + 2 \Rightarrow x_5 = 3 \quad (\text{H-5}) \\ 7 = x_3 + 2 + 2 \Rightarrow x_3 = 3 \quad (\text{H-6}) \\ 7 = x_3 + x_4 + 1 \quad (\text{H-7}) \\ 7 = x_4 + 2 + 2 \Rightarrow x_4 = 3 \quad (\text{H-8}) \\ 7 = x_6 + 2 + 2 \Rightarrow x_6 = 3 \quad (\text{H-9}) \end{array} \right.$$

Using these temporary values, we repeat this step until new temporary values are not obtained. $7 = h = x_3 + x_4 + 1 = 3 + 3 + 1$ (H-7)

If there are different values of a variable among rows, we let the maximum value among them be the minimum value of the variable, and try from the first step again. The case where both sides of a equation are different constant values never occurs, because the equations are corresponding to paths of certainly existing networks. (In the example, all the values of the variables are determined in this step.)

3. Comparison between two results of v -part and h -part

If there are different values of a variable between v -part and h -part, we let the maximum value between them be the minimum value of the variable, and try from the first step again. For example, the following matrix is this case. In the followings, we use the temporary values on v -part and h -part as common temporary values on them.



$$\begin{cases} v = x_1 + x_4 & (V-1) \\ v = x_1 + x_3 + 1 & (V-2) \\ v = x_2 + x_3 + 2 & (V-3) \\ v = x_2 + x_4 + 1 & (V-4) \end{cases}$$

$$h = x_1 + x_4 \quad (H-1)$$

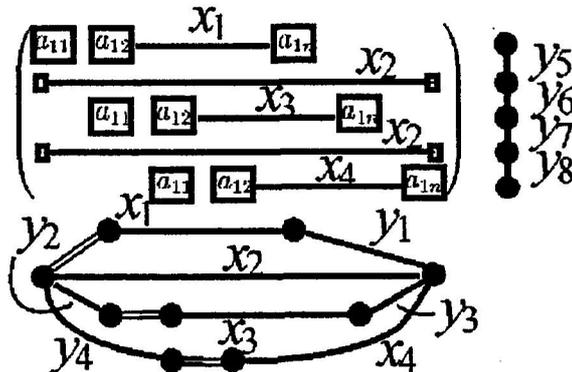
	v	h	x_1	x_2	x_3	x_4
(V-1)		×		×	×	
(V-2)		×	3	×		×
(V-3)	6	×	×	2	2	×
(V-4)		×	×		×	3
(H-1)	×	4	2	×	×	2

4. Substitution of the common temporary values

In a manner similar to the step 2, we substitute the common temporary values for remaining equations, solve monomial equations. If there are different solutions of a variable, we change its minimum value and try from the first step again. We repeat this step until new temporary values are not obtained.

5. Solving remaining equations

After those steps, if some equations are remaining, we obtain the values of the remaining variables by using the elementary transformation of a matrix. The following matrix is this case.



$$\begin{aligned}
 &v = y_5 + y_6 + y_7 + y_8 \\
 &\begin{cases} h = x_1 + y_1 + 1 \\ h = x_2 \\ h = x_3 + y_2 + y_3 + 1 \\ h = x_4 + y_4 + 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v = 4 \\ h = x_2 = 5 \\ x_3 = 2 \\ y_2 = y_3 = y_5 = y_6 = y_7 = y_8 = 1 \end{cases} \\
 &(x_i \geq 2, y_i \geq 1) \qquad \qquad \qquad \begin{cases} 5 = x_1 + y_1 + 1 \\ 5 = x_4 + y_4 + 1 \end{cases}
 \end{aligned}$$

From the following simultaneous system (in this case, $m < n$), its *coefficient matrix* is introduced, and then we can deform it into 4-parted matrix by the elementary transformation, where we let r be the rank of the matrix, I_{rr} be a $r \times r$ identify matrix, and O_{pq} be a $p \times q$ zero matrix.

$$\begin{aligned}
 &\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = a_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = a_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = a_m \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \Rightarrow \left(\begin{array}{c|c} I_{rr} & O_{r,n-r} \\ \hline O_{m-r,r} & O_{m-r,n-r} \end{array} \right)
 \end{aligned}$$

When the values of the variables corresponding to columns whose elements are zero are given, the others are determined (remarking the reshuffle of the columns), because it means that x_1, \dots, x_r are represented by linear combinations of x_{r+1}, \dots, x_n . Then, we give the minimum values of x_{r+1}, \dots, x_n , and solve the remaining equations in a manner the similar to the step 2.

The following figure represents the result of the structure analysis of Fig. 6 on the grids.

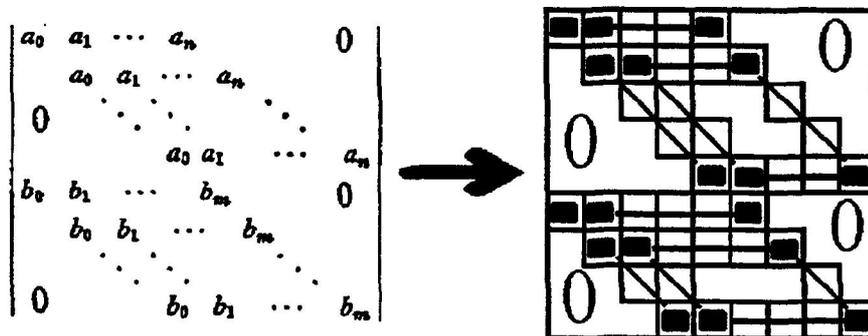


Fig. 7. The result of the structure analysis

4 Experimental results

In order to evaluate our methods, we implemented them into our original OCR System ([3]), named Infty (Fig. 8). Using this system, we evaluated 3 parts of them, the detection of matrices, the segmentation of elements and the construction of networks, because if the 3 parts are exactly completed, the last part, the structure analysis, is also exactly done.

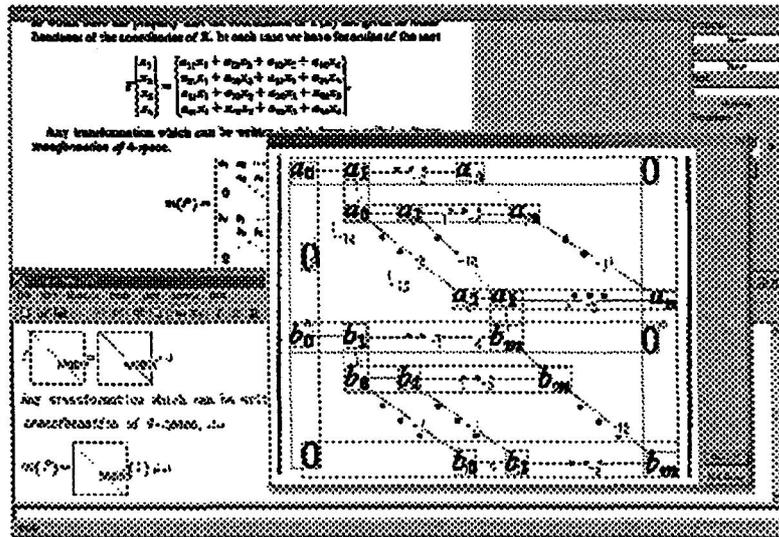


Fig. 8. Image of Infty

We used two English textbooks and two Japanese ones of mathematics including many matrices. For 50 page images of each text (total 200 pages), we counted the numbers of matrices where errors were made with respect to the 3 parts. The 50 page images included about 10 pages where matrices did not appear but big parentheses did in order to evaluate the detection. We show the experimental results below.

Text	M.-1	D.-1	D.-2	E.	M.-2	R.	A.	Conn.	Comp.	P.
E-1	99	1	2	15	83	28	21	4	60	19
E-2	101	1	0	6	94	1	8	1	85	9
E-Total	200	2	2	21	177	29	29	5	145	28
J-1	109	3	1	12	94	7	1	0	86	8
J-2	120	5	3	20	95	1	3	3	92	3
J-Total	229	8	4	32	189	8	4	3	178	11
Total	429	10	6	53	366	37	33	8	323	39

Table 4. Experimental Results 1

Column Names	Meanings
M.-1	The total numbers of matrices
D.-1	The numbers of matrices which could not be found
D.-2	The numbers of detecting formulae or something which are not matrices
E.	The numbers of matrices where the segmentation of elements was not proper
M.-2	The numbers of matrices whose elements were properly segmented, given by $(M.-1) - (D.-1) - (E.)$
R.	The numbers of matrices where the extraction of repeat symbols was not proper
A.	The numbers of matrices where the judgment of area symbols was not proper
Conn.	The numbers of matrices where connections between elements were not proper
Comp.	The numbers of matrices whose structures were completely analyzed
P.	The numbers of matrices whose connections were not completely extracted, but positions of elements could be completely analyzed

Table 5. Meanings of columns in Tables 4

Text	D.-R	E.-R	R.-R	A.-R	Conn.-R
E-1	99.0	84.7	66.3	74.7	95.2
E-2	99.0	94.0	98.9	91.5	98.9
E-Total	99.0	89.4	83.6	83.6	97.2
J-1	97.2	88.7	92.6	98.9	100.0
J-2	95.8	82.6	98.9	96.8	96.8
J-Total	96.5	85.5	95.8	97.9	98.4
Total	97.7	87.4	89.9	91.0	97.8

Table 6. Experimental Results 2

Column Names	Meanings
D.-R	The ratio of proper detection of matrices, given by $\{(M.-1) - (D.-1)\}/(M.-1)$
E.-R	The ratio of proper segmentation of elements, given by $\{(M.-1) - (D.-1) - (E.)\}/\{(M.-1) - (D.-1)\}$
R.-R	The ratio of proper extraction of repeat symbols, given by $\{(M.-2) - (R.)\}/(M.-2)$
A.-R	The ratio of proper judgment of area symbols, given by $\{(M.-2) - (A.)\}/(M.-2)$
Conn.-R	The ratio of proper connections between elements, given by $\{(M.-2) - (Conn.)\}/(M.-2)$

Table 7. Meanings of columns in Tables 6

Text	Comp.-R1	Comp.-R2	(Comp.+P.)-R1	(Comp.+P.)-R2
E-1	60.6	72.3	79.8	95.2
E-2	84.2	90.4	93.1	100.0
E-Total	72.5	81.9	86.5	97.7
J-1	78.9	91.5	86.2	100.0
J-2	76.7	96.8	79.2	100.0
J-Total	77.7	94.2	82.5	100.0
Total	75.3	88.3	84.4	98.9

Table 8. Experimental Results 3

Column Names	Meanings
Comp.-R1	The ratio of complete analysis of matrix structures to M.-1, given by $(\text{Comp.})/(\text{M.-1})$
Comp.-R2	The ratio of complete analysis of matrix structures to M.-2, given by $(\text{Comp.})/(\text{M.-2})$
(Comp.+P.)-R1	The ratio of proper analysis of element positions to M.-1, given by $\{(\text{Comp.}) + (\text{P.})\}/(\text{M.-1})$
(Comp.+P.)-R2	The ratio of proper analysis of element positions to M.-2, given by $\{(\text{Comp.}) + (\text{P.})\}/(\text{M.-2})$

Table 9. Meanings of columns in Tables 8

Table 4 shows that the numbers of matrices where errors were made or analysis was succeeded. Table 6 shows that the ratio of success of each part of our method. Table 8 shows that the ratio of the structure analysis. Table 5, 7 and 9 show meanings of the columns of the 3 tables.

Table 6 shows that the detection of matrices has some measure of high accuracy. The misdetection are mainly caused by errors of line segmentation and broken big parentheses by bad conditions of the prints. It was found that the segmentation of elements had a tendency to segment an element including long subscripts into several elements. Table 6 shows that the recognition rates depend on textbooks. One of the main reasons for the dependence is that all textbooks have their own distinctive notations of matrices. Interestingly, error frequency of the judgment of area symbols on simple matrices was higher than on complicated one, because the information of character sizes on simple matrices was less than on complicated one. Comparing (Comp.-R1) with (Comp.-R2) and ((Comp.+P.)-R1) with ((Comp.+P.)-R2) proves that if the segmentation of elements succeeds, the next analysis will be successful at a remarkable rate.

5 Conclusion

We proposed a practical method to recognize matrices containing abbreviation symbols and a format to represent their structure to output the recognition

result. We defined the domain, allowing matrices to contain formula elements, area symbols, and repeat symbols in the matrix coordinate.

The method consists of 4 independent parts; detection of matrices, segmentation of elements, construction of networks and analysis of the matrix structure. In the detection of matrices, we use very simple algorithm using correspondence of big parentheses, and the experimental results prove its high accuracy. To segment characters in a matrix into elements, we use distances between the characters and some characters' features in the mathematical structure. However, the features are not enough to segment, so there are many errors in the experiment. In the construction of networks, we project the connections on a matrix vertically or horizontally. The projected networks are robust against mis-connection between elements on a matrix, namely if there are some lost connections, we can obtain the element positions on a matrix. The construction of networks has some measure of accuracy in the experimental results, but there are some errors in irregular notations. In the analysis of the matrix structure, we let the length of repeat symbols in a matrix be variable. Then, we set up equations for the height and width of the matrix from its vertically projected network and horizontally one. Using the minimum values and ranges of solutions (all solutions are positive integers) instead of the linear programming, we solve the equations and obtain the width and height of a matrix and element positions.

For further improvement, we will try the following problems:

1. To use more mathematical information for improvement of the segmentation of elements.
2. To recognize the decorators of matrices which we excluded in this paper.

References

1. D. Blostein and A. Grbavic, *Recognition of Mathematical Notation*, Handbook of Character Recognition and Document Analysis, Eds. H. Buke, and P. Wang, Word Scientific, 1997.
2. M. Okamoto and H. Twaakyondo, *Structure analysis and recognition of mathematical expressions*, Proceedings of Third International Conference on Document Analysis and Recognition, Wontreal, 1995, pp. 430-437.
3. Y. Eto, M. Sasai and M. Suzuki, *Mathematical formula recognition using virtual link network*, ICDAR 2001.

この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されています。

Title<JP>	音声を用いた視覚障害者用科学技術文書作成システム
Title<EN>	A processing system of scientific documents for the blind using sound device
Author(s)	楠佳奈子 佐藤浩史 原俊介 大武信之
Citation	信学技報 ET Vol.99 No. 500 pp.97-104 1999年12月
Abstract<JP>	<p>情報処理機器の発達により、視覚障害者の情報収集は比較的容易になってきたが、情報発信、特に数式等を含む科学技術文書の作成にはまだ困難が伴い、晴眼者の助力が必要になることが多い。我々は視覚障害者自身で数式を含む科学技術文書の作成を可能とするため、Windows上で動作するLATEX文書作成支援システムを開発した。このシステムはWindows画面読み上げソフトウェアを用いて音声出力を行い、必要があれば点字ディスプレイへの出力も可能である。このシステムを用いることで視覚障害者はLATEX文書の修正および作成した文書の確認が容易に行える。</p>
Abstract<EN>	<p>With the advancement of computer technology, giving and receiving of various information are gradually becoming easy for the blind people. Nevertheless, there exist lots of difficulties for them to present a scientific document, especially when it includes mathematical expressions. LATEX is a system used commonly to produce scientific documents. Therefore we have developed "a processing system of scientific documents in LATEX format" which helps the blind to write the scientific text. This system is supported by sound device, and also gives Braille output through Braille display equipment. Using this system, the blind can correct LATEX errors and confirm the prepared document easily.</p>
Rights	©社団法人電子情報通信学会
License	10GB0040

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003226844>



この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されています。

Title<JP>	自由サイズ点字印刷システムの開発
Title<EN>	Development of variable size Braille printing system
Author(s)	川満良子 楠佳奈子 渡部亜矢子 佐藤浩史 大武信之 原俊介
Citation	信学技報 ET Vol.99 No. 500 pp.135-142 1999年12月
Abstract<JP>	<p>現在、中途失明者の多くが点字の書き方の学習には比較的容易に取り組むことができても、点字触読の学習には困難を感じていると言われている。点字触読の学習の初期の段階では、大きな点字、またはマス間や行間の広い点字を用いる方が効果的な場合もあると思われるが、現存のほとんどの点字印刷機器では、点字の大きさ、間隔等が標準サイズに固定されているため、標準と異なるサイズの点字のテキストを作成するには多くの困難を伴う。この問題を解決するため本研究では、点字における、点の直径、2点間の間隔、マス間、行間などをユーザーの必要に応じて自由に設定できる点字印刷システムの開発を行う。</p>
Abstract<EN>	<p>For those who become blind in the middle of life, to master reading Braille is very hard, while, many of them can easily learn writing it. It is believed that, in an early stage of practising Braille recognition by tactile sensation, to use large size Braille is more effective than to use that of standard size. Nevertheless, to prepare text with large size Braille is very difficult, since ordinary Braille printers can produce only Braille of standard size. To overcome this situation, we have developed, in this reserch, a variable size Braille printing system, which can produce Braille of any size according to the initial set up for radius of a Braille point and spaces between points.</p>
Rights	©社団法人電子情報通信学会 License 10GB0042

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003226849>



この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されています。

Title<JP>	XML を用いた点字教材とその応用
Title<EN>	The Braille texts in XML and their applications
Author(s)	宇田川明子 新村由紀子 川満良子 楠佳奈子 渡部亜矢子 佐藤浩史 原俊介 大武信之
Citation	信学技報 ET Vol.99 No. 500 pp.143-150 1999 年 12 月
Abstract<JP>	<p>これまでに、我々は統一日本語点字記号に基づいた点訳及び翻訳システムを開発してきた。しかし、墨字文書と点字文書が個々のファイルに納められていた。各文書が分離して存在していたことにより、視覚障害者が原文の墨字文書を参照することは困難である。そこで、我々は墨字ファイルと点字ファイルを統合した XML 文書を作成した。作成された統合点字文書は、墨字情報も納められているため、晴眼者にも利用できる。このことはこの文書の電子図書としての利用を考える上で大きな意味をなす。</p>
Abstract<EN>	<p>So far, We have developed several softwares which translate . Japanese, English and LATEX texts into Unified Japanese Braille Code. In these systems, the file for printed characters and that for North American Braille Computer Code have existed separately. Therefor, it has been difficult for the visually impaired to reffer to the original files in printed characters. In this research, we have made XML document integrated those two files. The Integrated documents have informations of printed characters, and the sighted people can also use them. This has an important meaning that the files can be used as the electronic liblary.</p>
Rights	©社団法人電子情報通信学会
License	10GB0041

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文
または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003226850>



この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されていますが、著作権者（著者、出版社、学会等）の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「絞り込み法による数式文字認識とその日本語/数式領域切出しへの応用」

なお、論文掲載誌発行元のホームページには論文情報が掲載されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j83-d2_3_895&category=D&lang=J&year=2000

CiNii(国立情報学研究所)のホームページでは論文情報が全部または一部公開されています。

詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003183741>



この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されていますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「最小コスト全域木探索を用いたオフライン数式構文認識」

なお、論文掲載誌発行元のホームページには論文情報が掲載されています。
詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://db.ieice.org/gakkai/show.php?id=116646>

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。



<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003275021>

ここに下記の論文がありますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「汎用入出力機能付き数式エディタ開発」

情報処理学会第60回全国大会, 2000

ここに下記の論文がありますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「数式処理システムへの手書き数式入力インターフェイス」

情報処理学会第60回全国大会, 2000

この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されています。

Title<JP>	UBC 検証システム
Title<EN>	System for the verification of UBC
Author(s)	林香里 中村理恵 渡部亜矢子 佐藤浩史 原俊介 大武信之
Citation	信学技報 ET Vol.2000 No. 516 pp. 9-16 2000年12月
Abstract<JP>	<p>国際英語点字協議会は、英語圏で使用される点字を統一するために、統一英語点字コード(UBC)の定義書を1995年に公表し、広く意見を求めてきた。現在の予定では2003年に、UBCの採否を決定する事になっているため、定義書を検証する必要がある。現行英点字とUBCを比較すると英語部分は大差ないが、数式と化学式は大幅な改定がなされている。これまでの点字体系は、墨字を点字に変換する点訳を中心に規則が定められていたが、UBCでは、点字から墨字にする翻訳も考慮した定義がなされている。本研究では、点字・墨字双方向の変換をUBCの定義に従い行うシステムを作成し、その検証を行うものである。</p>
Abstract<EN>	<p>In 1995, International Council on English Braille(ICEB)released Unified Braille Code(UBC)to unify the Braille in the English-speaking world.After examination of the effectiveness of the definitions of UBC, it will be decided in 2003, whether or not to approve UBC.UBC is defined so that Braille characters can be translated into printed characters without ambiguity.In this research, we have developed a system which translates printed characters into Braille and also Braille into printed characters obeying the definition of UBC.By using this system,we have verified the correctness of the definition of UBC.</p>
Rights	©社団法人電子情報通信学会
License	10GB0043

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003192865>



この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されていますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「可変ブロックパターンによる矩形領域分割を用いた行列の認識」

なお、論文掲載誌発行元のホームページには論文情報が掲載されています。
詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://db.ieice.org/gakkai/show.php?id=131427>

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。



<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003275262>

この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されていますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「仮想リンクネットワークを用いた数式構文認識」

なお、論文掲載誌発行元のホームページには論文情報が掲載されています。
詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://db.ieice.org/gakkai/show.php?id=131428>

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。



<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003275263>

この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されていますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「2次元ワープを併用したオンライン英数字・数学記号認識」

なお、論文掲載誌発行元のホームページには論文情報が掲載されています。
詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://db.ieice.org/gakkai/show.php?id=131430>

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。



<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003275265>

ここに下記の論文がありますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「音声認識を用いた日本語による数式インタフェース」

情報処理学会九州支部会, 火の国情報シンポジウム

この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されています。

Title<JP>	統一日本語点字記号第2版の開発 : Unicode に対する点字記号の割付		
Title<EN>	Development of the second edition of Unified Japanese Braille Code : Assignment braille characters to the Unicode		
Author(s)	藤芳衛 石田透 澤崎陽彦 大武信之		
Citation	信学技報 SP Vol.2001 No. 352 pp. 1-8 2001年10月		
Abstract<JP>	<p>最近コンピュータの世界共通コード体系としてWindows等で使用されているUnicodeの図形文字に点字記号を割り付け、日本語と英語の共通の点字記号体系として統一日本語点字記号の開発を進めている。1996年に情報交換用符号 JIS X-0201 及び JIS X-0208 に対応した「統一日本語点字記号」第1版を拡張してUnicodeに対応した第2版の開発を行った。本点字記号は日本と英語の一般文書から情報科学や数学等、専門分野の文書までを統一された一通りの点字記号で表記することができる。小学生から専門家までの視覚障害者が学校や職場で共通に使用することができる。</p>		
Abstract<EN>	<p>In order to develop the Unified Japanese Braille Code, braille symbols were assigned to English and Japanese graphic character codes except with kanji codes defined in the Unicode which were employed in the Windows as worldwide common computer code. This braille code is the second edition which was improved from the first edition assigned to the JIS X-0201 and JIS X-0208. It makes possible to write the general documents and technical documents such as computer science and mathematics in Japanese and English by braille. Not only pupils but the professional can use this braille code commonly in their school or workspace. Development of the second edition of Unified Japanese Braille Code</p>		
Rights	©社団法人電子情報通信学会	License	10GB0044

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003298105>



この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されています。

Title<JP>	XMLにおける数式の表示形式から意味形式への変換
Title<EN>	A conversion programme of mathematical expression from presentation style to content style in XML
Author(s)	石山寿子 高野文子 佐藤浩史 原俊介 大武信之
Citation	信学技報 ET Vol.2001 No. 506 pp. 23-30 2001年12月
Abstract<JP>	<p>次世代文書記述言語として、SGMLがISOにより仕様が定められた。Web用マークアップ言語としては、HTMLに代わりXMLが今後の主流となるであろう。現在使用されているHTMLでは、固定のタグしか使えずユーザ定義が行えない。またHTMLでは数式記述用タグがないため、数式は画像として表示している。XMLではユーザのタグ定義が可能となり、また、XMLの数式記述はMathMLで仕様が定められている。MathMLにおける数式記述方法には、表示形式と意味形式がある。本論では表示形式から意味形式への変換について述べる。</p>
Abstract<EN>	<p>The specification of SGML was defined by ISO in 2001. It is considered to be a document processing language in the next generation. XML is a subset of SGML and is regarded as the standard of markup language for the Web. HTML has only fixed tags and has no tags which describe mathematical expressions. Users can't define their original tags in HTML. On the other hand, users can define their original tags in XML. MathML is one of the XML's categories specified by ISO. It has two ways of describing mathematical expressions, one is the presentation style, and the other, the contents style. In this research, we mention a programme which convert the presentation style to the contents style in XML.</p>
Rights	©社団法人電子情報通信学会 License 10GB0045

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003202030>



この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されていますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開していません。

「文字画像の実時間クラスタリングを用いた文書認識と修正作業の効率化－英文数学書の場合－」

なお、論文掲載誌発行元のホームページには論文情報が掲載されています。
詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://db.ieice.org/gakkai/show.php?id=159770>

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。



<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003275884>

この部分は以下の雑誌掲載論文で構成されていますが、著作権者(著者、出版社、学会等)の許諾を得ていないため、筑波技術大学では電子化・公開しておりません。

「CenterBandを用いた数式構造解析の安定化」

なお、論文掲載誌発行元のホームページには論文情報が掲載されています。
詳しくは下記のリンク先をご覧ください。

<http://db.ieice.org/gakkai/show.php?id=159769>

CiNii(国立情報学研究所 論文データベース・サービス)では論文の全文または一部が公開されています。詳しくは下記のリンク先をご覧ください。



<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003275883>