

平成 19 年度 修士論文

電子コミック画像のコマ分割処理
Frame Decomposition of Digitized Comic Images

指導教授 渡辺 裕 教授

2008 年 2 月

早稲田大学大学院 国際情報通信研究科
国際情報通信学専攻

4206A102-7

石 井 大 祐

Daisuke ISHII

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	2
1.3	本論文の構成	3
第2章	電子コミックの現状	4
2.1	はじめに	4
2.2	電子コミック市場	4
2.3	閲覧端末と表示解像度	6
2.4	コミック画像符号化	7
2.5	おわりに	8
第3章	レイアウト解析	9
3.1	はじめに	9
3.2	レイアウト解析に関する要素技術	9
3.2.1	エッジ抽出	9
3.2.2	直線検出手法	13
3.3	文書画像のレイアウト解析	15
3.3.1	概要	15
3.3.2	領域解析	15
3.4	コミック画像のレイアウト解析	16
3.4.1	コミック画像の特徴	16
3.4.2	コミック画像に関する従来研究	17
3.4.3	コマ分割	19
3.5	おわりに	20
第4章	高速高精度コマ分割処理	21
4.1	はじめに	21
4.2	高精度コマ分割	21
4.2.1	検出帯による分割線候補の検出	21
4.2.2	分割線適合検査	23
4.3	コマ分割の高速化	26

4.3.1	高速化の概要	26
4.3.2	分割線候補検出順序の最適化	26
4.3.3	冗長な分割線検索の削減	26
4.3.4	画像解像度の変更	27
4.4	おわりに	27
第 5 章	提案手法の評価実験	28
5.1	はじめに	28
5.2	コマ分割実験	28
5.2.1	評価指標	28
5.3	処理精度に関する実験	28
5.3.1	実験パラメータに関する考察	28
5.3.2	従来手法との比較	30
5.4	処理時間に関する実験	30
5.5	おわりに	33
第 6 章	結論	36
6.1	総括	36
6.2	今後の課題	37
	謝辞	39
	参考文献	40
	図一覧	43
	表一覧	45
	研究業績	46

第1章

序論

1.1 研究の背景

近年、電子コミック市場の発展は顕著である。電子コミックを読むための表示端末は多岐にわたり、パーソナルコンピュータや電子ペーパー端末だけでなく、携帯電話などの端末におけるコミック閲覧が一般的になりつつある。携帯電話等の端末では、搭載される画面サイズおよび画面解像度の制限から、コミック上のセリフ等の文字の可読性を保ちつつ、画面上に1ページ分全ての画像を表示することは困難である。

コミック画像では、ページ内部における順序付けとしてコマが用いられている。つまり、視線遷移情報がこのコマの並びによって与えられる。そこで低解像度端末においては、このコマを利用し、分割した各コマを1つずつ順番に表示させる方法や、視線遷移情報に基づいて順に画面をスクロール表示する方法が取られている。こうすることで、上記の端末においてもコミックの閲覧を可能にしている。現在、紙面媒体のコミック総数は非常に多く、市場の発展に伴い、電子コミックのコンテンツ数も増加してゆくと考えられる。しかしながら、コマ領域認識や分割処理及び画面スクロールの設定は人手で行われており、これらの処理の自動化に関して社会的な要求があるといえる。

コミック画像では、コマと呼ばれる枠の中に、主に線画で描かれ、その上にトーンや塗りつぶし等の手法により陰影づけされた、キャラクターや風景などの絵の部分と、吹き出し、セリフや効果音などの文字要素が複雑に配置されている。コマは一般に矩形に限らない四角形で構成されている。ただし、作品により異なるが、コマからのキャラクターや文字要素、吹き出し等のはみ出しを許容するため、レイアウトは非常に自由度が高い。

文書画像では、多くのレイアウト解析、認識手法が提案されている。辻ら⁽¹⁹⁾に代表される投影法を用いた手法では、画像の縦方向および横方向に向かい、それぞれ黒である画素の画素数を投票し、その投票値を用いることでオブジェクト間の空白部分を判断し、各オブジェクトに分割することで領域認識を行う。一般的な文書画像は基本的に文字領域等が矩形で囲むことができる形状のため、この手法が有効である。しかしながらコミック画像では、コマの形状が矩形に限られず、コマ間の空白部分は斜線方向も含まれる。このため、垂直、水平方向への投票だけでは認識不可能な場合がある。さらに、斜め方向への投票も行う場合、角度と位置の組み合わせが非常に多く、計算量がかかる。また、コミック画像では絵や

セリフ等のコマからはみ出しが存在するため、投票値による判断が困難である。Kiseら⁽²¹⁾に代表される連結成分を用いた手法では、画像上で連結している成分を統合することにより、統合されたブロック単位でオブジェクトの認識を行う。しかしながら、コミック画像においては辻らによる手法での問題点同様コマからはみ出し等により、複数コマが1つのブロックとして認識されてしまうため、適用不可能である。米山ら⁽²²⁾のテンプレートマッチングを用いた手法では、あらかじめ指定したテンプレートとのマッチングを調べることによって、任意の形状を入力画像から抽出することができる。しかしながら、コミック画像のコマは矩形に限定されない様々な形状の四角形で構成されるため、マッチングを取るためのテンプレートを定義することが非常に困難である。コマの枠線を検出する手法として、一般化ハフ変換がある⁽¹⁶⁾。通常一般化ハフ変換では多くの計算量を必要とするが、これを高速に処理するための手法も提案されている⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。しかしコミック画像では、線画で描かれた絵や、それに付随する視覚効果等、コマの枠線と類似した輝度、濃度的特徴を持つ線が多数存在し、さらにコマの形状も多岐にわたるためテンプレートを用意することは難しい。よってコマの枠線検出として必要十分な精度を得ることは困難である。以上の理由から、コミック画像のコマ分割を行うためには、コミック画像に特化した処理を行う必要があるといえる。

1.2 研究の目的

コミックのコマ順序に関する研究として、山田らは各コマ間の分割線角度を利用しコマの順序を決定する手法を提案している⁽²⁴⁾。また、田中らは濃度こう配量を利用し決定された分割線を用いて画像の2分割処理を繰り返し行い、各コマへの分割を行う手法を提案している⁽²⁵⁾。しかしながら、山田らの手法では、コマの分割処理について検討がなされていない。また、田中らの手法では、コミック画像から各コマへの分割を行うことが可能であるが、分割を行う際の分割線を、濃度こう配量のみで決定するため、検出された分割線が間違えていても、そのまま分割を行ってしまうという問題点がある。この場合には、最終的に正しい視線遷移情報が得られない。

コミック画像のコマ分割を行う際に、コマの枠線を認識する必要がある。田中らのコミックのコマ分割手法では、幅1画素の直線を利用し、この直線の始点座標を画像のふちに沿って1画素ずつ移動させ、また各始点において角度1度ごとに直線の向きを変更してゆくことで、画像の全探索を行い、その際の直線上の濃度こう配量により分割線を決定している。しかし、この手法では、コマの枠線が直線の角度と若干ずれている場合や、枠線が歪んでいる場合などにうまく検出が行えないという問題点がある。直線検出のための一般的な手法としてHough変換⁽¹⁴⁾やRANSAC⁽¹⁵⁾などがある。コミック画像においては、Hough変換は画像のノイズ等による影響にロバストで、精度の高い直線検出を行うことが可能であるが、検出に際してパラメータ設定の与える影響が大きく、いくつかの分割線候補を得たい場合において、候補数の制御が困難である。また、RANSACは、トーンなど多数の黒画素や、コマ内部にある絵や視覚効果などの直線成分がコマの枠線と類似の輝度、濃度的特徴を持つため、適用に向かない。

そこで我々は、より高精度な処理を行うため、検査線に幅を持たせた帯により直線検出を行い、得られた分割線の候補に対して、分割線の適合検査を行う手法を実現する。しかしながら、高精度化のために適合検査等の処理が加わり、また、帯状の検査線を利用し、画像内の全探索を行うため、大きな処理コストがかかる。コミックのページ数は通常単行本でも数百ページあるため、処理量が多すぎると実用困難である。このため本研究では、コマ分割処理として、高精度なだけでなく、処理時間においても実用上現実的な範囲内に抑えた処理を実現することを目的とする。

1.3 本論文の構成

以下に本章以降の構成を示す。

第2章 近年の電子コミック市場の様子について述べる。また、視聴のための電子端末とその表示機能に関して説明を行う。

第3章 コミック画像のレイアウト解析に関連する技術として、特徴抽出手法、一般的な文書画像のレイアウト解析、コミック画像の特徴及びコミック画像のレイアウトに関連する研究について説明する。

第4章 コマ分割処理において、帯を用いた直線検出を行い、得られた分割線候補に対して、分割線適合検査を行うことで高精度にコマ分割を行う、高精度コマ分割処理を提案し、その内容を述べる。さらに、処理時間を削減のために、コミック画像における分割線の統計的偏りに基づいた分割線検出順序の効率化、検査帯の幅に基づいた冗長検査帯の削減、及び入力画像の低解像度化によるコマ分割処理の高速化手法を提案し、その内容を述べる。

第5章 第4章で提案した、高精度コマ分割処理について、実際にコマ分割実験を行い、従来手法との比較、分割パラメータの変更による処理精度への影響を調べ、その結果を示す。次に、高速化についても、実際にコマ分割実験により、高速化アルゴリズム及び低解像度化による分割精度、処理時間への影響を調査し、その結果について述べる。

第6章 本研究の総括と今後の課題について述べる。

第2章

電子コミックの現状

2.1 はじめに

本章では、近年の電子コミック市場の動向や、その閲覧端末について述べる。電子コミック市場は現在ユーザ数、およびコンテンツ数がどちらも右肩上がりに成長している一大市場であると言える。また、閲覧端末はPC(Personal Computer)に限らず、携帯電話やPDA(Personal Digital Assistance)、そして電子書籍端末等があり、各社から発売されている。

そこで、まず電子コミック市場の市場規模の変動やコンテンツ配信ビジネスの形態、コンテンツ配信事業者について述べ、次に実際に閲覧する各表示端末の表示能力に関して述べる。

2.2 電子コミック市場

電子書籍ビジネスの市場は2004年度以降の数年間において右肩上がりに成長を続けている。市場調査会社の資料(図2-1)によると電子書籍市場は、電子コミック市場を含め、2004年までは50億円程度であったが、その後2005年には100億円、2006年には200億円を大幅に上回るなど、この数年間の間に5倍近く拡大するという急成長を見せている。内訳をみると、2004年では10億円程度であった電子コミック市場は、2007年の見込みでは、総計およそ400億円の市場のうち7割を占める300億円近い規模になるなど、電子書籍市場の発展に伴い、電子コミック市場が急速に拡大している事がうかがえる⁽³⁾。

つぎに、電子書籍のPC向けと携帯電話向け市場の比較(図2-3)では、電子書籍市場全体のうち、携帯電話向け配信の占める割合が増加している事を示している。携帯電話向け市場は2006年度にPC向け配信を上回り、市場全体の6割を占めている。携帯電話向け市場では書籍配信と比較し、コミック配信の割合が多いという特徴がある。コミック配信に限った比較を示す図2-2によると、携帯電話向けの市場は、コミック配信全体の9割弱を占めている。

携帯電話向け電子コミック配信市場規模は1年間で3倍以上の急成長を遂げており、コミック配信全体の市場規模を押し上げる主な要因であるといわれている。また、電子コミック市場がここまで急成長を遂げた背景には、携帯電話会社各社のパケット通信定額制サービスの普及や、高性能端末の開発、さらに若年層の携帯電話によるWEB利用率の増加等が指摘されている。以上より、携帯電話向けコミック配信市場における重要性がわかる⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

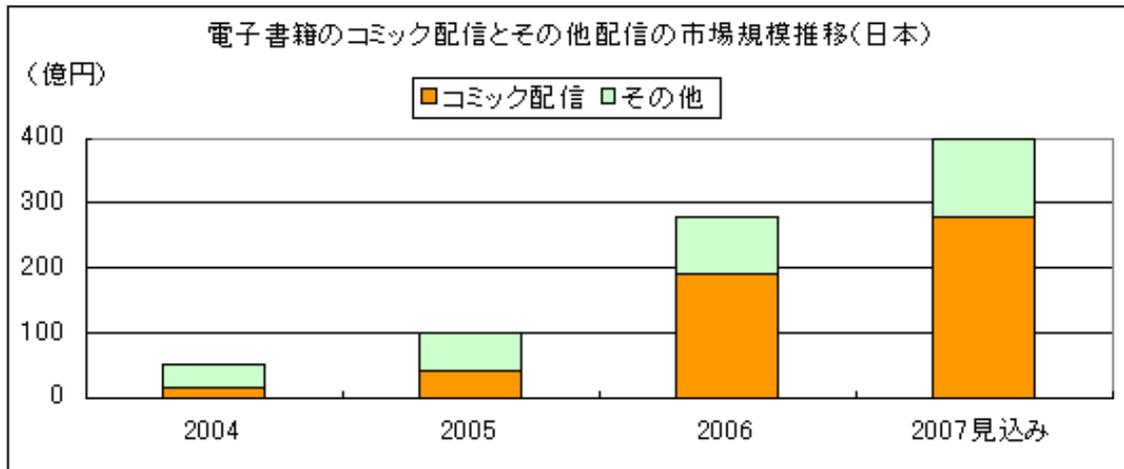


図 2-1: 電子書籍のコミック配信とその他配信の市場規模推移 (日本)
(文献⁽³⁾より引用)

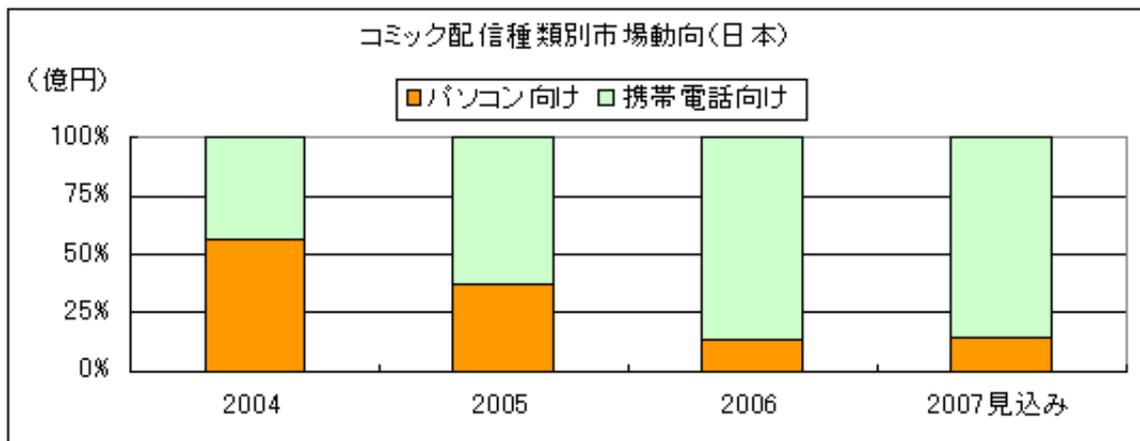
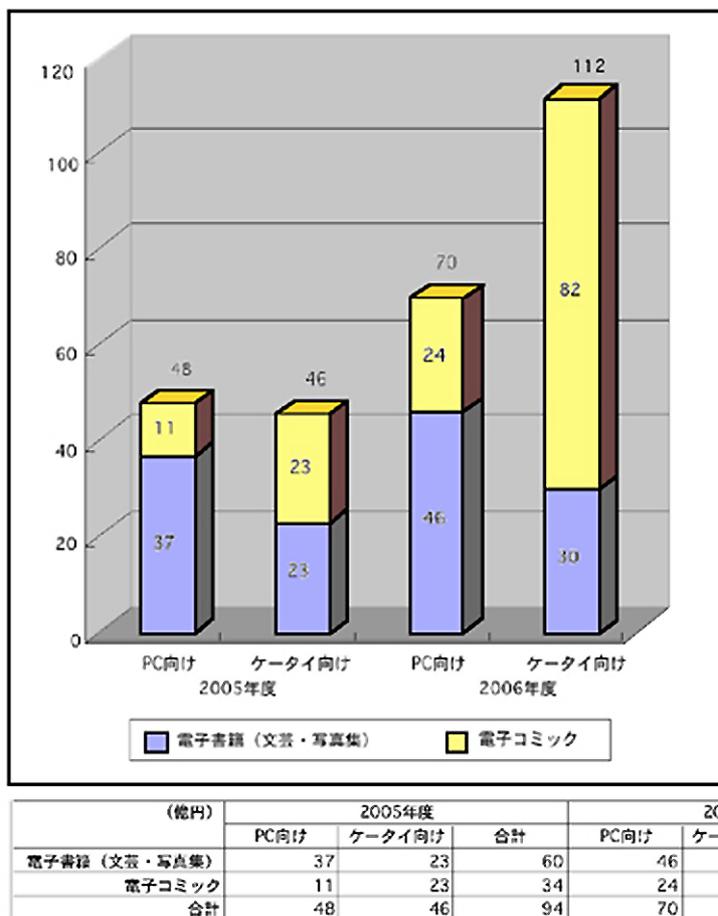


図 2-2: コミック配信種類別市場動向 (日本)
(文献⁽³⁾より引用)



電子書籍全体の市場規模と電子コミックの市場規模 (2005年度と2006年度の比較)

図 2-3: 電子書籍全体の市場規模と電子コミックの市場規模 (2005年度と2006年度の比較) (文献⁽¹⁾より引用)

また、今後新たな電子書籍配信端末のターゲットとして、携帯型ゲーム機への配信事業も計画されている。その例として、大日本印刷では任天堂のゲーム端末であるニンテンドーDS⁽⁵⁾向けにコンテンツ配信事業を開始する予定である⁽⁴⁾。この背景には携帯型ゲーム機の性能向上とネットワークへの対応が考えられる。ニンテンドーDSは2008年までに2000万台以上の出荷があり⁽⁶⁾、今後の電子書籍事業の発展に大きな影響を与えると推測される。

2.3 閲覧端末と表示解像度

電子書籍閲覧端末は多岐にわたり、また、画面サイズや画面解像度も大きく異なる。ここでは主要な閲覧端末について、それぞれの特徴について述べる。

PC(Personal Computer) PCの画面は主にブラウン管もしくは液晶であり、100dpiから150dpi程度の表示能力をもつものが主流である。画面の大きさは10inch程度から20inch以上まで、また画面解像度も800×600[pixel]から1920×1200[pixel]もしくは

それ以上の解像度をもつ物まで広範囲にわたる。いずれの場合においても、画面サイズは十分大きく、表示領域に1ページすべて、もしくは見開き2ページ分の表示が可能である。

電子書籍端末 近年電子書籍端末は多くの種類が発売されている。ソニーの電子書籍端末 LIBRIé⁽⁷⁾ は画面に E-Ink⁽⁸⁾ 方式の電子ペーパーを採用し、約 170dpi の表示が可能であり、6inch の液晶で 800 × 600[pixel] の解像度を持つ。

パナソニックの電子書籍端末 Words Gear⁽⁹⁾ は透過型低温ポリシリコン液晶を採用し、5.6inch の画面サイズで 1024 × 600[pixel] の解像度を持つ。それぞれの端末では外部の記憶装置もしくは USB 等を介して PC からコンテンツのデータを取り入れる。

Amazon の電子書籍端末 Kindle⁽¹⁰⁾ も画面に E-Ink 方式の電子ペーパーを採用し、同じく 800 × 600[pixel] の解像度を持つ。また、ワイヤレスネットワークにも対応し、単体でコンテンツデータのダウンロードが可能である。

現在電子書籍端末に利用される電子ペーパーに関しても開発が積極的に行われており、今後さらに解像度が向上していくと推測される。

携帯電話 携帯電話は近年急速に進化を遂げている。端末の種類も多く、また、機能も端末や電話会社により異なる。画面のサイズはおおよそ 2.0 から 3.2inch 程度であり、一般的に画面解像度は 176 × 220 から 240 × 400[pixel] 程度であるが、最も解像度の高い端末では 480 × 864[pixel] を持つものもある (2008 年 1 月現在)⁽¹¹⁾。形態電話網を利用したパケット通信によりコンテンツのデータを取り入れる。

携帯型ゲーム機 現在最も普及している携帯型ゲーム機であるニンテンドー DS⁽⁵⁾ では、一つの端末で 2 つの画面を持ち、画面サイズはどちらも 3inch、解像度は 192 × 256 である。無線 LAN 等への接続機能を持ち、ワイヤレスネットワーク経由でコンテンツをダウンロードすることが可能となる。

携帯電話において最新の端末では電子書籍と同等の画面解像度を持つものもあるが、画面サイズは他の端末と比較して総じて小さく、画面上に 1 ページ全てを表示させると、台詞部分の文字が非常に小さくなるため、判読困難になる。また、画面のサイズが大きくとも表示解像度が小さい端末では同様に文字部分を判別可能な精細度で表示することができない。このため、携帯電話程度の大きさの画面を持つ端末や携帯型ゲーム機のように画面解像度の小さい端末では、画面スクロール等の手法を用いて閲覧を行う必要があるといえる。

2.4 コミック画像符号化

コミック画像配信に際して、画像データの符号化が行われる。PC 向け配信など一般的には、JPEG を用いた情報量削減が行われている。JPEG では濃淡変化の大きな点で画質劣化が目立ちやすいなど、コミックの画像的特長に対する適応性に限界がある。

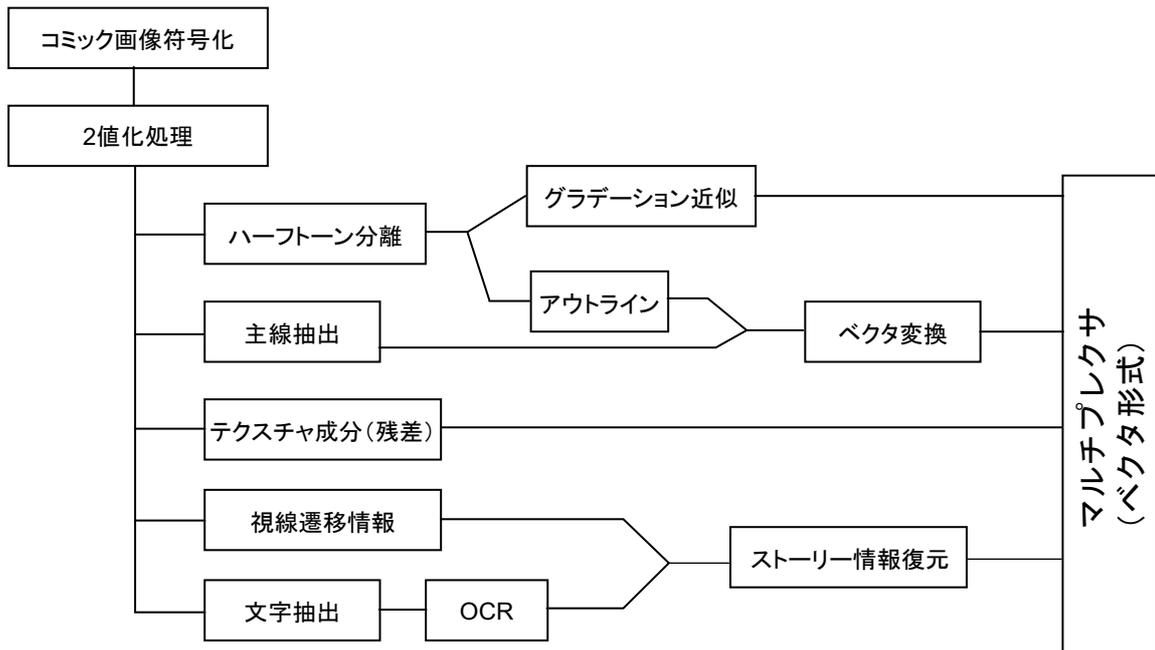


図 2-4: コミック画像符号化システムの概要

コミック画像配信のための符号化として、我々の研究室では画像表現にベクタを用いたシステムを提案している図 2-4。ベクタ表現は解像度変換に対してロバストであり、複数解像度におけるコミック閲覧に適した画像表現手法である。本研究の位置づけは、このシステムの視線遷移情報にあたる、コミックのページ内部における順序の取得である。視線遷移情報の抽出を行うことで、コミック画像における話の流れに関する情報を取得する。この情報は、アプリケーションにおいてユーザへの提示時に利用できる。

2.5 おわりに

本章では、近年の電子書籍市場の変化と、電子書籍の閲覧端末、さらにコミック画像符号化に関して述べた。電子書籍市場では、携帯電話によるサービスの急速な成長と、電子書籍市場全体に占める割合から、その重要性を示した。また、閲覧端末について、主に利用されている端末の画面サイズおよび表示解像度についてまとめ、現在多く利用されている端末である携帯電話や、今後利用者の増加が見込まれる携帯型ゲーム機では、コミック画像閲覧に際し、画面サイズが小さいことを示した。また、コミック画像符号化システムと視線遷移情報抽出の位置づけについて述べた。

第3章

レイアウト解析

3.1 はじめに

本章では、まず一般的な文書画像のレイアウト解析手法とその要素技術について述べ、次にコミック画像の特徴及びコミック画像のレイアウト解析に関する従来研究について述べる。

3.2 レイアウト解析に関する要素技術

3.2.1 エッジ抽出

画像処理において用いられる一般的なエッジ抽出フィルタおよびエッジ抽出処理に関して述べる。

Sobel フィルタ

Sobel フィルタは、エッジ検出に用いられる差分型のエッジ抽出オペレータであり、2次元の画像に対して適用する場合以下の図 3-1 および図 3-2 に示される値がよく用いられる。

この係数をオペレータとして画像に適用することで、エッジを強調した画像が得られる。入力画像を図 3-3 に、フィルタ適用後の画像を図 3-4 にそれぞれ示す。フィルタにより前画素との差分が強調される事がわかる⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

図 3-1: Sobel オペレータ (x 方向)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

図 3-2: Sobel オペレータ (y 方向)



図 3-3: 入力画像 (Barbara)



図 3-4: Sobel フィルタ適用結果 (Barbara)

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

図 3-5: 4近傍ラプラシアンオペレータ

ラプラシアンフィルタ

ラプラシアンフィルタは2階微分を行うことで、緩やかな濃度こう配でもエッジ部分を強調することができるためエッジ検出フィルタとして用いられる。ラプラシアンは以下の式で定義される。

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (3.1)$$

3×3サイズの4近傍ラプラシアンオペレータを図3-5に示す。

また、Barbaraにラプラシアンフィルタを適用した結果を図3-6に示す。ラプラシアンにより、高い周波数成分を強調することができる⁽¹³⁾。

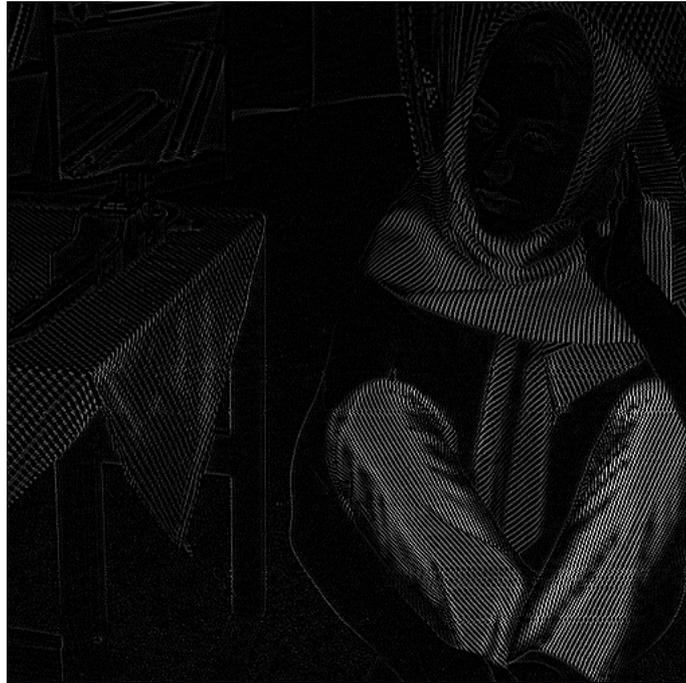


図 3-6: ラプラシアンフィルタ適用結果 (Barbara)

Canny フィルタ

Canny フィルタでは、エッジモデルを考察し、以下の評価基準の観点からエッジ検出を行う。

- 実際のエッジを検出しそこねる可能性が低く、かつエッジでない点や線を間違えてエッジとする確率も低い。
- エッジとして検出した線や点が真のエッジの中心の近くにある。
- 単独のエッジに対して唯一のエッジ検出結果を与える。

以上の評価基準を以下に示すガウス関数の一次微分で近似することで実現する。

$$f(x) = -\frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-2\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.2)$$

Canny フィルタの実際のアプローチを以下に示す。

- (1) 入力画像に対してガウシアンフィルタを適用する。
- (2) 各画素ごとにエッジの方向 n を式 3.3 を用いて求める。

$$n = \nabla \frac{(G^*g)}{|\nabla(G^*g)|} \quad (3.3)$$



図 3-7: Canny フィルタ適用結果 (Barbara)

(3) 式 3-4 で示される点をエッジの位置とする .

$$\frac{\partial^2}{\partial n^2} G^* g = 0 \quad (3.4)$$

(4) エッジの位置におけるエッジ強度を式 3-5 により決定する .

$$|G_n^* g| = |\nabla(G^* g)| \quad (3.5)$$

(5) しきい値処理により強いエッジだけでなく隣接する弱いエッジについても抽出する .

以上のアルゴリズムを用いてエッジ検出を行う . Barbara に Canny フィルタを適用した結果を図 3-7 に示す . Canny フィルタではこれまでに述べたフィルタと異なり , 細線化されたエッジを出力する ⁽¹²⁾ .

3.2.2 直線検出手法

Hough 変換

Hough 変換は , 直線を ρ 及び θ からなる極座標表現として式 3-6 によって表す .

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3.6)$$

ただし , ρ は画像上に定められた原点から直線に対して垂直におろした直線の長さ , 水平方向と直線に対する垂線の角度とする . ρ と θ の例を図 3-8 に示す .

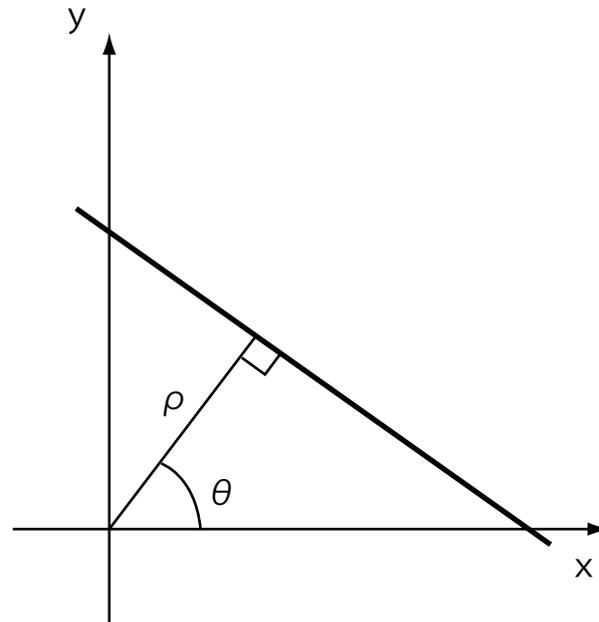


図 3-8: ρ - θ パラメータによる直線表現
(文献⁽¹³⁾より引用)

x - y 空間における画像のエッジ点の ρ - θ パラメータから離散化した ρ - θ 空間の曲線上に投票を行う。最終的に投票値の多い ρ - θ のパラメータを直線として認識する。

Hough 変換では、離散化された ρ - θ 空間の解像度により検出精度が変化する。離散化された空間の解像度が小さすぎる場合には、パラメータが細かく求まらないため大まかな直線検出ししか行うことができない。逆に解像度が高すぎる場合には、投票値が大きくなり、上手く検出を行えない場合がある。

Hough 変換では、上記のようにパラメータ空間上の投票値を用いて検出を行うため、画像上の直線が途切れている場合においても直線検出を行うことができる。また、円などのパラメータ表現できる図形であれば直線以外でも検出することができる⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

一般化 Hough 変換

一般化 Hough 変換では、抽出を行う図形のテンプレートを用意することで、これまでの Hough 変換で不可能であった任意形状を抽出することが可能となる。また、回転や拡大縮小および平行移動を許容して検出を行うことができる。

具体的なアルゴリズムを以下に示す。

- (1) 検出を行う図形のテンプレートを用意し、代表点 O を決める。
- (2) 平行移動 (u, v) 、回転角 θ 、拡大率 s の 4 次元空間をパラメータ空間とする。
- (3) 検出対象図形の境界線上の各点において、代表点に向かうベクトル \vec{x}_i と画像の濃度こう配の方向 ω_i を求める。

- (4) 各 ω ごとに極座標表示での \vec{x} の座標値 (r, α) を記録した R テーブルを作成する。
- (5) 画像上の特徴点 (X_j, Y_j) およびその点における濃度こう配の方向 ω_j を求める, 次にパラメータ空間上のすべての (θ, s) の組み合わせに対して $\omega_j - \theta$ に対応する R テーブル中のエントリ $(r(\omega_j - \theta), \alpha(\omega_j - \theta))$ を求め, θ 及び s に対応するベクトル (u, v) をそれぞれ式 3-7 及び式 3-8 により求め, 点 (u, v, θ, s) に投票を行う。

$$u = X_j + r(\omega_j - \theta) \cdot s \cdot \cos(\alpha(\omega_j - \theta) + \theta) \quad (3-7)$$

$$v = Y_j + r(\omega_j - \theta) \cdot s \cdot \sin(\alpha(\omega_j - \theta) + \theta) \quad (3-8)$$

- (6) 投票値の高い座標変換パラメータを抽出し, このパラメータを用いてテンプレートを画像空間に射影することで図形の検出を行う。

以上のアルゴリズムにより, テンプレートで与えた任意図形の抽出処理を行う⁽¹²⁾。

3.3 文書画像のレイアウト解析

3.3.1 概要

文書画像とは一般に, 文字, 図, 表等を含む画像を指す。文書画像のレイアウト解析では, これら文字等の各要素の, 画像上における空間的な配置や構造を解析することである。具体的にを行う処理では, 上記の各要素領域に分割を行うことで, その要素同士の空間的な配置や構造を同定する。

各要素は領域解析をすることで, それぞれ要素ごとのブロックとして分割することができる。ブロックの形状は一般的に矩形であるが, 文書により矩形以外の, 自由な形状を持つ場合もあり, 複雑なブロック形状を持つ文書画像では, それに適した手法を選択する必要がある。分割されたブロックでは, 画像特徴を利用した領域分類手法に基づき, テキストブロック, タイトル, 図表, 写真, 罫線等に分類される⁽¹²⁾⁽²³⁾。

3.3.2 領域解析

領域解析は投影法, 図形融合, 連結成分解析等に分類される。以下にそれぞれの手法の特徴を述べる

投影法 投影法は画像の横方向, 縦方向に投影を行い, しきい値を用いて分割を行う指標とする。まず, 画像の傾き補正を行い, テキストブロック等が正しく水平に配置されるようにする。次に, 画像の横方向, 縦方向それぞれに投影を行う。投影値の周辺分布の谷を調べ, その幅がしきい値を超える場合には領域を分割する。ここでしきい値は画像の解像度等に応じて最適な値を設定する必要がある⁽¹²⁾⁽¹⁹⁾。

図形融合 図形融合は画像処理として膨張・縮小処理やRLSA(Run Length Smearing Algorithm)と呼ばれる手法を用いて、各図形の融合を行い、縦方向、横方向の結果からブロックを抽出する。RLSAではまず画像の縦方向、横方向に向かい、白画素の短いランを黒画素に置き換えることにより図形融合を行う。このとき置き換えの条件として、白画素のランの長さに対してしきい値を設定する。このしきい値は画像の解像度等に応じて最適な値を設定する必要がある。それぞれの図形融合が行われた画像に対し、論理積を取ることで、画像の文字領域および図形領域等の抽出を行う⁽¹²⁾⁽²⁰⁾。

連結成分解析 連結成分解析では、画像から抽出した連結成分同士のユークリッド距離が短いものを統合することでブロック抽出を行う。連結成分とそのユークリッド距離だけを用いてブロック化を行う場合には、文字など、一つのブロックに統合されるべき連結成分間の距離が他の連結成分との間の距離よりも短いとは限らないため、上手く統合が行えない場合がある。このため、レイアウトによって統合方向の制限などを加える場合もある⁽¹²⁾⁽²¹⁾。

3.4 コミック画像のレイアウト解析

3.4.1 コミック画像の特徴

コミック画像は通常の文書画像とその構成要素が異なる。また、レイアウトに関して特徴的なルールが決められている。コミック画像では、コマと呼ばれる線で区切られた枠があり、主にキャラクター、背景等の絵、台詞、擬音や集中線などに代表される視覚効果が描かれている。また、台詞は吹きだしと呼ばれる風船状に囲まれた枠の中に書かれている。コミックは主に白黒で印刷されるため、絵部の濃淡表現には、多数の小さなドットからなるトーンや、ペンにより黒く塗りつぶすべた塗り等の手法がとられる。

コマの特徴

コミック画像におけるコマは、処理の観点から見て、通常の文書画像のブロックに相当するともいえる。

基本的にコマは一つで完結した内容を示すことは無く、読者は複数のコマを順序に沿って読み進めて行く必要がある。コミック画像におけるコマの重要な役割は、ページ内部の読む順序を与えることである。読者はコマの配置による暗黙のルールによりおおよそ次に読むべき場所がどこであるかの情報を得ることができる。

読むべき順序を与えるルールは、コミックの種類により大きく2つに分けられる。一般的に、話が複数ページからなる物語形式のコミックでは、1ページに複数のコマがある場合には、上から下方向に。また、同一段に複数のコマが存在する場合には右から左方向に読み進める。コマの形状は自由で、基本的には矩形もしくはそれに限らない4角形である。4コママンガは1ページに大抵8個のコマがあり、タイトルとその下に続く4つのコマで一つの話

を表現し、1 ページで2 話分の内容を持つ。コマ形状は基本的に矩形であり、作品によらず、ページ上のコマの配置にはほぼ同様のパターンである。

コミック全体としては、前者の物語形式のコミックが多数を占める。物語形式のコミックでは、さらに、視覚効果もしくは表現技法として、コマ内部の構成要素であるキャラクター、台詞、擬音等がコマの枠をはみ出し、また、時には複数のコマにまたがって描かれる場合もある。

3.4.2 コミック画像に関する従来研究

コミック画像では、これまでに述べたコマの特徴があり、また、コマ内部に関しても複雑な絵や、文字部などが複雑に配置されるため、一般的な文書画像のレイアウト解析は適さない。このため、コミック画像に特化した処理を行う必要がある。コミックのコマ順序に関する研究として、山田らは各コマ間の分割線角度を利用しコマの順序を決定する手法を提案している⁽²⁴⁾。また、田中らは濃度こう配量を利用し決定された分割線を用いて画像の2 分割処理を繰り返し行い、各コマへの分割を行う手法を提案している⁽²⁵⁾。以下ではこれらの研究について述べる。

コマ順序

コミック画像におけるコマの配置と読み順は暗黙のルールが存在する。山田らはこのルールをコマ間の基底線および分割線の角度から決定する手法を提案している。

まず、対象となるコマの仮定として以下の3 つの条件を規定する。

- コマの形状は凸多角形である
- コマは輪郭線を持つ
- コミックは右開き本形式である

3 番目の条件について、外国のコミックは左開き形式が多く、基本的に日本国内のコミックに当てはまる条件である。

コマの順序については隣接したコマの組み合わせごとに3 つ、及び T 型隣接の場合の1 つ、の計4 つのルールにより順序を決め、コマをノードと見立てた深さ優先探索によって、隣接コマの順序をすべてみたす列が見つければ、その順序を採用する。

図3-9 において、隣接する2 つのコマの間に分割線を仮定する。分割線の向きはベクトル (x, y) で表し、 y が正値または $(1, 0)$ の条件を満たすように与える。分割線の向きにしたがい、右側のコマを右フレームとよび rf と書く、左側のコマを左フレームと呼び lf と書く。

一番目のルール (R1) として、横軸と分割線のなす角度 α に基づき左右のフレーム順序を決定する。

(R1) $90 \text{ 度} \leq \alpha < 180 \text{ 度}$ ならば $rf < lf$

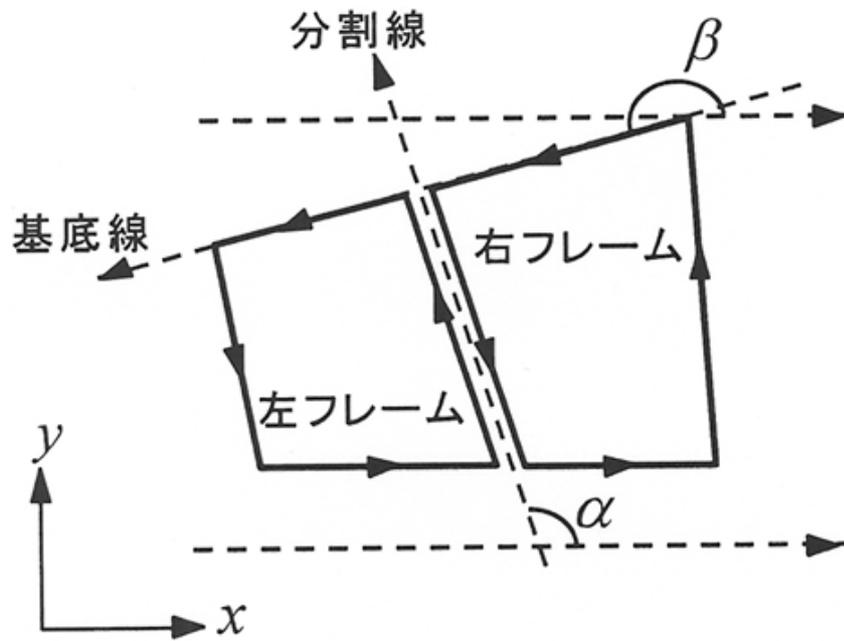


図 3-9: 分割線と既定線
(文献⁽²⁴⁾より引用)

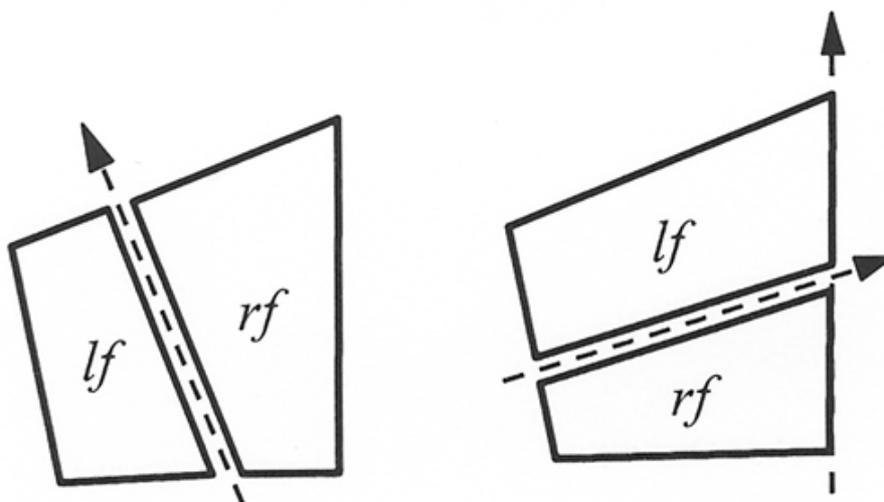


図 3-10: 隣接する2フレームの整列例
(文献⁽²⁴⁾より引用)

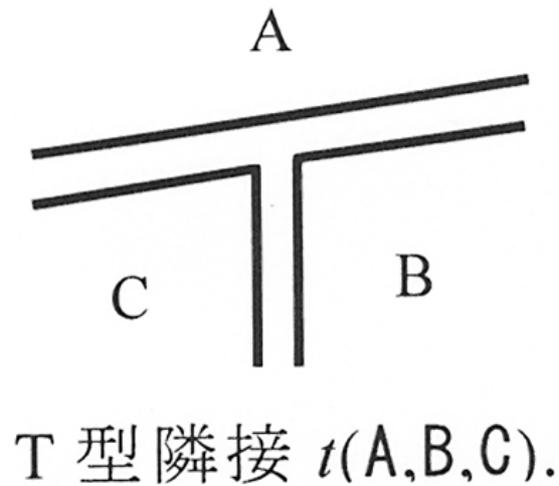


図 3-11: T 型隣接
(文献⁽²⁴⁾より引用)

次に, α の値が 0 度以上 90 度未満かつコマの輪郭線が共通直線上にある場合にルール (R2) 及び (R3) を適用する.

(R2) $0 \text{ 度} \leq \alpha < 90 \text{ 度}$ かつ $\alpha \leq \beta \leq 135 \text{ 度}$ ならば $lf < rf$

(R3) $0 \text{ 度} \leq \alpha < 90 \text{ 度}$ かつ $135 \text{ 度} < \beta < \alpha$ ならば $rf < lf$

R2 および R3 により, 図 3-10(a) では rf から lf の順に, 図 3-10(b) では lf から rf の順に決定される.

図 3-11 のように, 3 フレームが T 字型に隣接する場合この T 型隣接を $t(A, B, C)$ または $t(A, C, B)$ と表しこの順序にそって読む, この A, B, C の順序の決定にルール (R4) を適用する.

(R4) $t(f_1, f_2, f_3)$ は次の条件を満たす ($f_1 < f_2$ かつ $f_1 < f_3$) または ($f_1 < f_2$ かつ $f_1 > f_3$)

以上の 4 つのルールによりページ内の各コマの読み順を決定する⁽²⁴⁾.

3.4.3 コマ分割

コミックのコマを分割するためには, コマの枠線を検出することで適切な分割線を決定し, 分割処理を行う必要がある. 田中らは, コミック画像のコマ分割を行い, それぞれの配置から順序付けを行うことを目的として, 濃度こう配を用いたコマ割り検出を行う手法を提案している. 処理アルゴリズムを以下に示す.

- (1) 画像の濃度こう配量を求める。
- (2) 得られた濃度こう配に対して、式 (3.9) に示すガウス関数を用いて画像中心に重みづけを行う。

$$f(x) = \exp\left(\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.9)$$

ただし μ は中心座標, σ^2 は広がりを示す。

- (3) 直線を用いて走査を行い、直線に対する垂直方向の濃度こう配を足し合わせることで、直線近傍のエッジ検出を行う。直線は画面の横軸から ± 45 度の範囲内で 1 度刻みで変化させる。
- (4) 入力画像に対して、上記 (1) ~ (3) までの処理を行い、2 分割処理を行う。2 分割されたそれぞれの画像に対して、分割が行えなくなるまで処理を繰り返し適用する。

以上の処理により、コミック画像を各コマへと分割する。分割されたコマは、各コマの配置から、右から左、次に下方に進むというルールに則り順序付けを行う⁽²⁵⁾。

3.5 おわりに

本章では、一般的に利用される文書画像のレイアウト解析手法とその関連技術についてを説明を行った。次に、コミック画像のレイアウトや画像的特徴を示した。そして、コミック画像のレイアウトに関する従来研究について述べた。

第4章

高速高精度コマ分割処理

4.1 はじめに

本章では、コミックにおけるコマを分割する手法として、高速高精度コマ分割処理を提案する。はじめに、分割線の検出に冗長性を持たせ、分割線上の濃度勾配方向を利用した適合検査を行い、精度の高い分割を実現する高精度コマ分割について述べる。次に、コマ分割に必要な処理時間を削減するために、分割線検出順序の最適化、分割線候補検出領域の制限及び画像解像度の変更からなるコマ分割の高速化手法について述べる。

4.2 高精度コマ分割

分割線とは、画像の2辺を結ぶ直線で、コマの枠線に沿い、かつ、その他のコマと重ならない線とする。コマの分割処理は、分割線を境に、画像を2分割する処理を繰り返し適用することで行う。分割線は、検出帯による分割線候補の検出を行い、次に、得られた分割線候補に対して、平均濃度勾配値の大きい順に、分割線適合検査を適用し求める。検出されたすべての分割線候補が適合しない場合は分割処理を行わない。

4.2.1 検出帯による分割線候補の検出

検出線の定義を以下に述べる。画像の2辺を結び、始点座標及び角度により指定される幅1画素の直線を検出線とする。また、検出線を構成する画素を検出線画素とする。

ここで、実際の処理時に検査対象となる直線の角度が、検出線と若干ずれている場合、上手く検出することができない場合がある。検出線と検出対象線の角度のずれを回避するために、検出線の角度の変化量を小さくすると、検出にかかる計算量が増えてしまう。また、検出対象の線がはずんでいる場合などに検出が不可能である。

そこで、よりロバストな分割線候補検出処理を実現するため、検出線に幅を持たせた検出帯を用いる。検出帯は以下のように定義する。各検出線画素に対し、それぞれ検出線の角度が画像の横軸に対して ± 45 度以内であれば画像の縦軸方向に、それ以外の場合には、画像の横軸方向に隣接している画素を、検査画素として付け足し、これを検査グループとする。そして、検査グループを並べたものを検出帯とする。検出線及び検出帯によるコマの枠線検

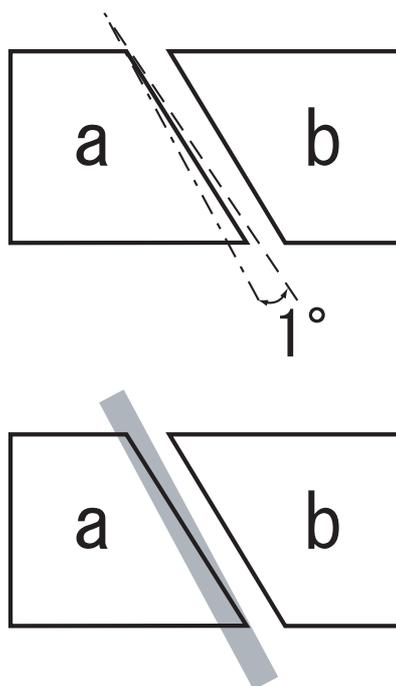


図 4-1: 検出線と検出帯によるコマ枠線検出
(文献⁽²⁶⁾参照)

出のイメージを図 4-1 に示す。

検出帯の一部を図 4-2 に示す。図において、一つのブロックが画像における一つの画素を表す。灰色に塗られた画素が検出線画素である。この灰色に塗られた画素の並びが検出線である。検出線画素の周囲にあるブロックが追加される検査画素である。そして、点線により囲まれた検出線画素と検査画素のグループが検査グループである。検査グループの横にある数字は、検査グループの順序を表す。検出線に対応する検査グループの並びを検出帯とする。

検出帯の幅 ω は、

$$\omega = L/250 \quad (4.1)$$

と定義する。ここで、 L は入力画像の長辺の画素数 [pixel] である。250 は予備実験により最適な値を決定した。

帯による分割線候補の検出は、検出帯の始点座標及び角度を変化させ、画像の全探索を行う。ここで始点座標は 1 画素ごと、角度は 1 度ごとに変化させる。そして、以下に述べる、平均濃度こう配値の大きい検出帯の始点座標及び角度からなる検出線を、分割線候補とする。

平均濃度こう配は次のように求める。はじめに、画像全体に対して Sobel フィルタを適用し、各画素ごとの濃度こう配を求める。次に、得られた濃度こう配値に対し、ガウスフィルタを適用し画像中心に重み付けする。そして、検出帯における各検査グループの中で、濃度こう配の絶対値がもっとも大きい画素を選び、この画素をその検査グループの代表画素とする。最後に、各代表画素の濃度こう配の検出帯に対する垂直成分の値を計算し、その平均値を検出帯の平均濃度こう配値とする。

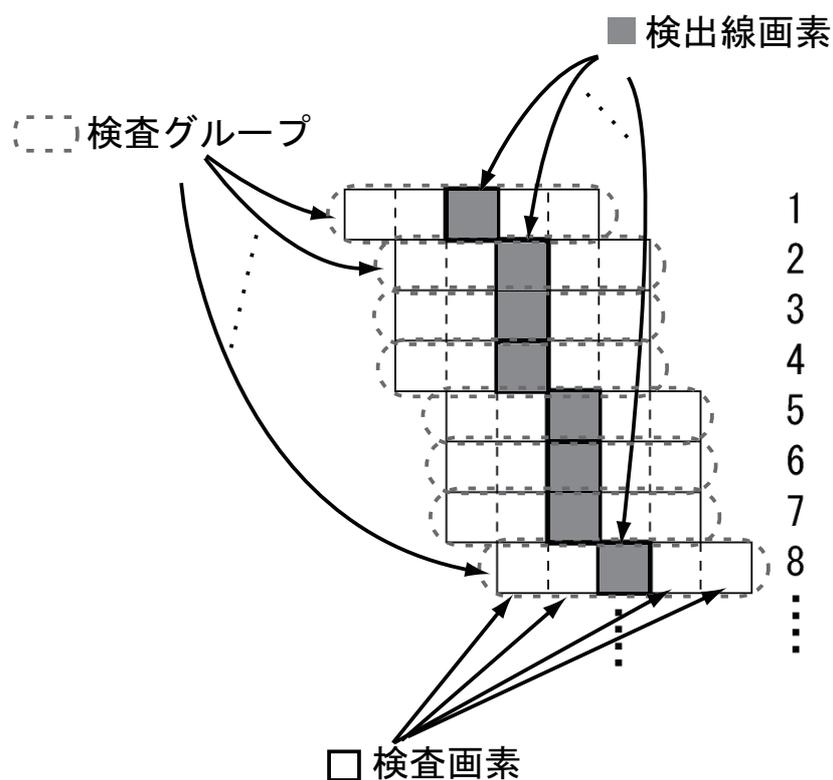


図 4-2: 検出帯の構成
(文献⁽²⁶⁾参照)

4.2.2 分割線適合検査

分割線適合検査の方法

分割線適合検査は、分割線候補に対して、平均濃度こう配値の大きな順に、以下の2種類の条件検査を行う。検査した分割線候補が、両方の条件を満たしている場合には、この分割線候補を分割線と決定し、画像の2分割処理を行う。

濃度こう配方向による検査

コミックのコマ内部には絵やトーン等による様々な模様が存在するため、濃度こう配方向が一致しない。図4-3に実際のコミック画像のコマの配置例を示す。得られた分割線候補中の最も大きい平均濃度こう配をもつ2候補を、その値の大きさ順に線a、線bとして、図に示した。ここで、それぞれの線の各ピクセル上の画素における、線に対する濃度こう配方向の分布を図4-4および図4-5にそれぞれ示す。線aでは、直線の初期部分においてコマ上を通過しているため、この部分の濃度こう配方向が垂直からおおきく外れた向きを向いている。これに対し線bでは、コマの上を通過しておらず、またコマの枠線に沿って線が通過しているため、すべての領域で濃度こう配方向が線に対して垂直である。このように、

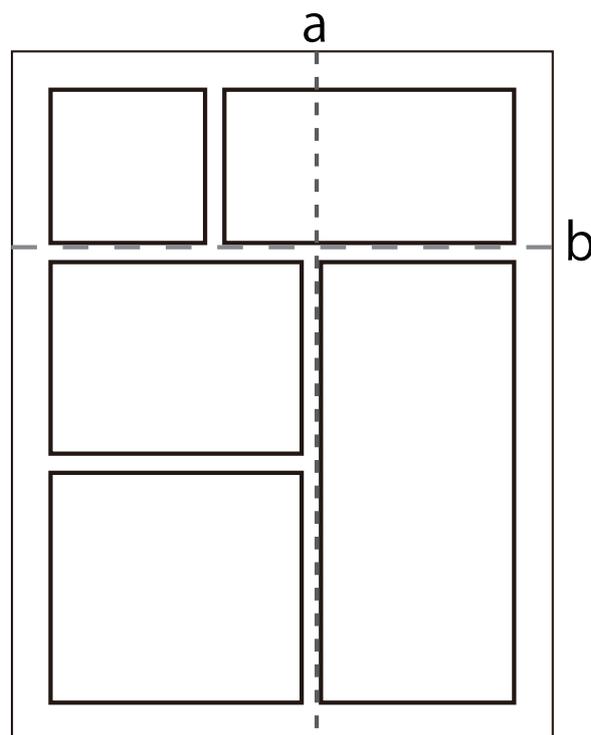


図 4-3: コマと分割線候補例
(文献⁽²⁶⁾参照)

分割線候補上における濃度こう配方向の分布を調べることにより、他のコマ上に重ならない分割線の選択に利用できる。

濃度こう配方向による検査は、帯を n 個の領域に等分し、それぞれの領域内で帯に対する各代表点の濃度こう配の角度を調べる。そして、 n 個の領域のうち、角度が $(90 \pm \delta)$ 度以外である点が $\rho\%$ 以上存在する領域数が m 個未満であれば、濃度こう配方向についての条件を満たすとする。

ただし、コミック画像の特徴として、コマの周囲に大きな余白が存在する場合がある。余白部分では濃度こう配がないため、濃度こう配方向が正しく検出できない。これに対応するため、 n 個に分けられた領域のうち、最初と最後の領域については、検出帯の端部から走査を開始し、濃度こう配値が 0 の代表点が続く場合には、これを評価から除外する。また、領域内のすべての代表点の評価から除外された場合には、余白が続くものとみなし、その端領域に隣接する領域においても同様に除外処理を行う。

コマ内外検査

コミックの各コマ間には空白部分があり、コマの外枠に沿って分割線が検出されている場合には、分割線の片側は空白である。これに対し、コマ内部の直線に沿った分割線を検出した場合には、この分割線はコマの枠線部分を通過する。

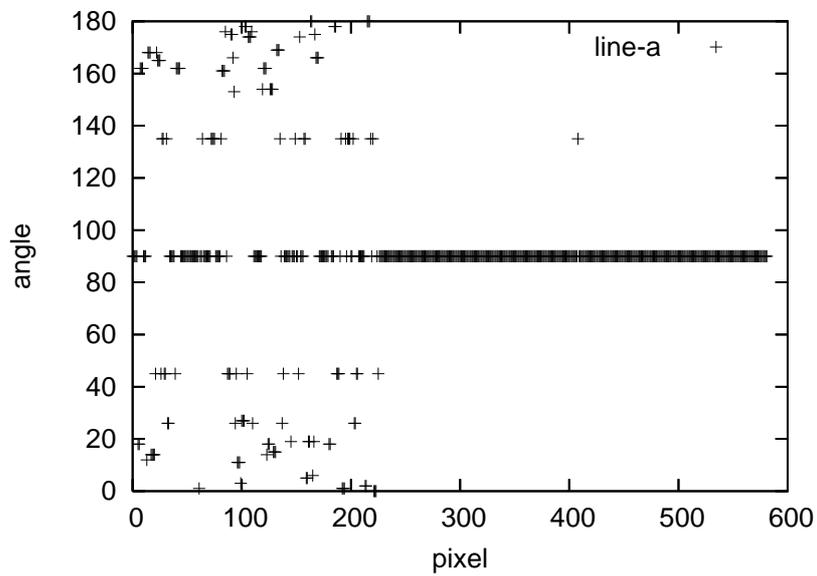


図 4-4: 分割線候補 a 上における濃度こう配方向の分布
(文献⁽²⁶⁾ 参照)

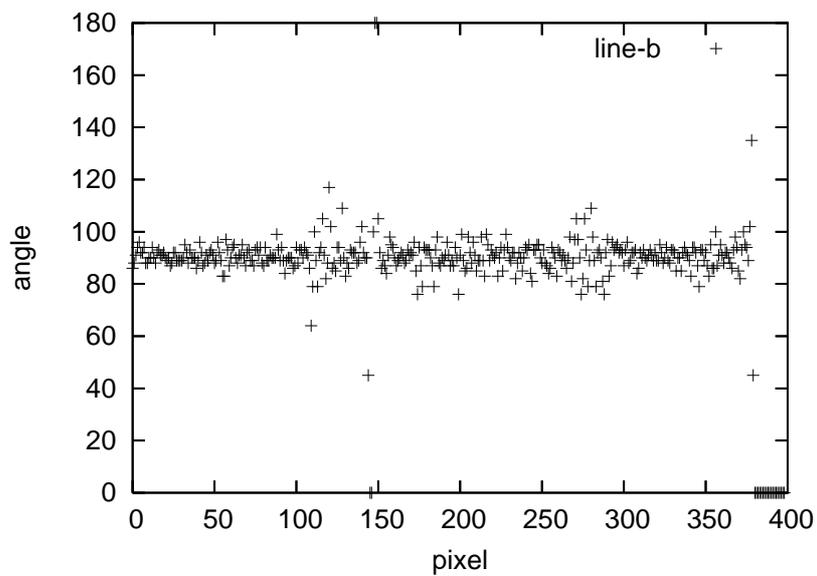


図 4-5: 分割線候補 b 上における濃度こう配方向の分布
(文献⁽²⁶⁾ 参照)

コマ内外検査は、選択された検出線の両側について、検出線と平行な直線を用いて、それぞれ直線上の画素を順に調べる。両方の直線を比較して、最初と最後の黒画素の位置について一致しない場合、この検出線はコマの外部であると判断し、コマ内外検査についての条件を満たすとする。

4.3 コマ分割の高速化

4.3.1 高速化の概要

これまで述べてきた高精度コマ分割手法は、検出精度が高い反面、分割線検出時に検出帯による画像の全探索を行うため、検出帯の本数が非常に多く、処理に時間がかかる。このため、コマ分割処理の高速化のために、分割線検査順序の最適化、分割線検出領域の制限及び、画像解像度の変更の3つのアプローチを取る。

4.3.2 分割線候補検出順序の最適化

一般的なコミックでは、コマの枠線は水平もしくは垂直方向であるものが多いという特徴を持つ。この特徴を利用することにより、冗長な分割線検出処理を削減する。

まず、検出帯による分割線候補の検出を、画像の垂直及び水平方向のみで行う。ここで得られた分割線候補に対して分割線適合検査を行い、候補中に適合する分割線候補があれば、画像の2分割処理を行う。

前の課程において、得られた分割線候補全てが適合しない場合には、水平、垂直以外の方向についての分割線候補の検索を行う。得られた分割線候補に対して、分割線適合検査を行い、適合する分割線候補があれば、2分割処理を行う。両方の課程において、適合する分割線候補が無い場合には分割を行わない。

4.3.3 冗長な分割線検索の削減

2分割処理を連続に適用することにより、コマ分割処理が進むと、各入力画像のサイズも小さくなる。このとき、検査帯の角度を1度ずつ変化させても、実際の検査対象画素はあまり変化しない。このため、画像のサイズに合わせて検出線角度の変化量を調節し、検出帯の本数を削減する。

検出線角度の変化量を ξ 度とすると、 ξ は以下のように求める

$$\xi = A \left\{ \frac{1}{\omega + 1} \right\} + B. \quad (4.2)$$

A および B は実験により最適な値である $A = 20$ 、 $B = -2$ とした。

さらに、コミック画像におけるコマの特徴として、各コマへの分割において、画像端部を通る分割線は存在しない。このため、検出線の始点座標が画像端部より $L/10$ [pixel] の範囲内であるものを検査対象から除外する。

4.3.4 画像解像度の変更

一般的に、コミック画像は台詞部分における文字の可読性を保つため、高い解像度を持つ。これに対し、コマの枠線は、この台詞部分の文字と比較して低い解像度でも認識することができるため、画像の解像度を下げることによって、実質的な検査量を削減することができる。そこで $k \times k$ の平均値フィルタを用いることで、画像の低解像度化を行う。

4.4 おわりに

本章では、提案する高速高精度コマ分割手法について述べた。はじめに、コマ分割処理の高精度化のために、帯を用いた分割線候補検出及び分割線適合検査からなる高精度コマ分割について述べた。次に、コマ分割処理の高速化のために、検出線の削減を行い、さらに、低解像度化するコマ分割処理の高速化手法について述べた。上記二つの手法を組み合わせることによって高速かつ高精度なコマ分割処理を実現する。

第5章

提案手法の評価実験

5.1 はじめに

本章では、前章で提案したコマ分割手法を用いて、コミック画像のコマ分割実験を行った結果を示し、考察を述べる。

5.2 コマ分割実験

5.2.1 評価指標

評価には以下の式を用いた。 P , R 及び F はそれぞれ適合率、再現率、 F 値を表し、 S はページ単位における平均成功率を表す。

$$P = \frac{\text{認識された正しい分割線数}}{\text{認識された全ての分割線数}} \quad (5.1)$$

$$R = \frac{\text{認識された正しい分割線数}}{\text{認識されるべき分割線数}} \quad (5.2)$$

$$F = 2 \times (P \times R) / (P + R) \quad (5.3)$$

5.3 処理精度に関する実験

5.3.1 実験パラメータに関する考察

コミック画像の分割において、各パラメータの値と検出の精度についての調査を行った。実験にはコミック画像4作品合計110枚を用いた。 ρ を10から35まで5刻みで変化させた場合、 δ を10から50まで10刻みで変化させた場合、また、 n と m の組み合わせについての結果を表5-1に示す。

ρ は分割線の適合検査における不適合画素の許容量である。 ρ の値を大きくしていくと、濃度こう配方向のチェックに関する制約が緩くなるため、分割線の適合率 P が減少し、誤

表 5-1: 分割パラメータによる P, R, F 及び S の変化
(文献⁽³⁰⁾ 参照)

ρ	P	R	F	S
35	0.852	0.887	0.869	0.745
30	0.895	0.922	0.908	0.782
25	0.930	0.944	0.937	0.810
20	0.958	0.936	0.947	0.836
15	0.980	0.915	0.945	0.818
10	0.974	0.882	0.924	0.782

δ	P	R	F	S
50	0.888	0.920	0.904	0.809
40	0.946	0.948	0.947	0.845
30	0.958	0.936	0.947	0.836
20	0.949	0.917	0.932	0.809
10	0.938	0.893	0.914	0.800

n, m	P	R	F	S
6,1	0.968	0.848	0.903	0.627
6,2	0.929	0.926	0.927	0.790
7,2	0.958	0.936	0.947	0.836
7,3	0.864	0.898	0.880	0.755
8,2	0.967	0.924	0.944	0.818
8,3	0.876	0.901	0.888	0.782

表 5-2: 従来手法との比較
(文献⁽³⁰⁾参照)

	P	R	F	S
Proposed method	0.948	0.943	0.945	0.835
Conventional method	0.785	0.764	0.769	0.509

分割が増加する．逆に， ρ の値が小さすぎる場合には，ノイズなどの影響を受けやすくなり，未分割が増加する．

δ は濃度こう配方向の許容角であるが，値の変化により結果に与える影響は少ない．これは，コマの内部と枠線上における濃度こう配方向に隔たりがあるためである．

n と m の組み合わせについては，コンテンツの特徴に依存する． F 値及び S による評価では m/n の値が0.25から0.30となる範囲が妥当であるが，コマからの絵などのはみ出しが多い場合には若干大きい値のほうが良い結果が得られる．

5.3.2 従来手法との比較

今回実験に用いた複数枚の画像のうち，従来手法にて過剰分割が生じる例を図5-1に示す．つぎに，提案手法と従来手法による分割線と得られたコマの順序を図5-2，図5-3にそれぞれ示す．分割処理時に採用された分割線を黒色の実線で表した．各実線の横に表示されているアラビア数字は，分割処理における分割線の決定順序である．また，各コマに表示されているローマ数字は，分割により得られたコマの順序を示す．従来手法では，3番目の分割線が採用された．しかし，この分割線は本来3番目に来るコマ上を通過している．このため，過剰分割が生じ，また，コマ順序も正しく得られていない．これに対し，提案手法では，3番目の分割線を決定する際に，一番目の候補として，従来手法と同様の分割線が得られたが，分割線適合検査により，この分割線が不適合であったため，次の候補であった分割線が採用された．このため右下のコマを切断することなく，コマの分割処理を行うことができ，コマ順序も正しく得ることが出来た．

次に，コミック画像8作品合計236枚に対してコマ分割実験を行い，それぞれ検出された分割線について P , R , F 及び S による評価を行った．実験に用いたパラメータは $n = 7$, $m = 2$, $\delta = 40$, $\rho = 20$ である．実験結果を表5-2に示す．

以上の実験から，提案手法は従来手法と比較して， P , R , F 及び S の全てにおいて良好な結果が得られた．特に，全体としての分割線の検出精度を示す F 値では17%程度の向上が得られた．

5.4 処理時間に関する実験

コミック画像4作品合計110枚を用いてコマ分割実験を行った．実験条件を表5-3及び5-4に示す．



図 5-1: 入力画像

(文献⁽²⁶⁾(30) 参照)

表 5-3: 実験条件 (実験装置)

(文献⁽²⁸⁾ 参照)

CPU	PentiumD CPU Speed 3.2GHz
Memory Size	2GB

実験には以下のパラメータを用いた $\delta = 40, \rho = 15, n = 7, m = 2$. また, 評価には上記の P, R, F 及び S 並びにページ単位における平均処理時間 t を用いた.

まず, 画像解像度以外の要因による処理速度の変化を調べるため実験を行った. 分割精度に関する実験結果を表 5-5 に, 各コミックの処理時間を図 5-6 に示す.

分割精度に関して, S の値については Comic A 及び Comic B で若干低下したが, Comic C 及び Comic D については高速化前の精度を維持した. このことから, 高速化が分割精度に与える影響は軽微であると考えられる.

処理時間に関しては, 高速処理では通常の処理と比較して, およそ 10 分の 1 倍程度に短縮された. しかし, 入力画像により大きな差が見られた. 特に高速化の効果が薄い Comic C について調べたところ, 処理時間あまり短縮されず, 通常の処理とほぼ同等である画像が見られた. これらの画像では, 水平もしくは垂直方向以外の分割線により分割されるコマが多い, という特徴がある. このため, 分割線検査順序の最適化による処理時間の改善が少ないことが原因であると考えられる.



図 5-2: 提案手法による結果
(文献⁽²⁶⁾(30) 参照)

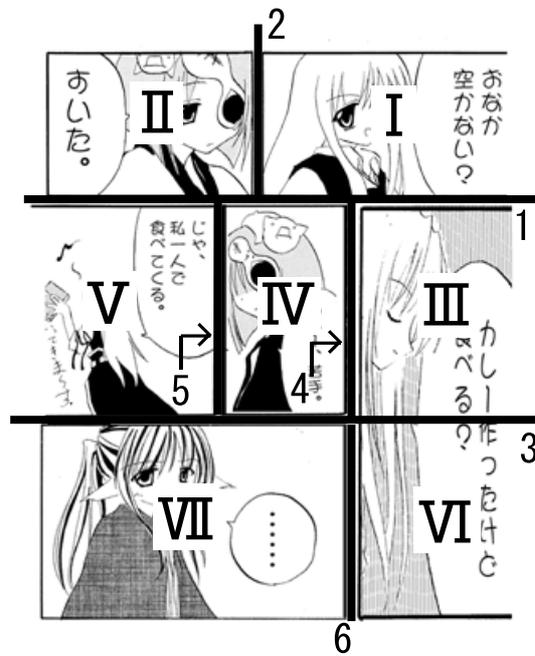


図 5-3: 従来手法による結果
(文献⁽²⁶⁾(30) 参照)

表 5-4: 実験条件 (画像サイズ及び画像数)
(文献⁽²⁸⁾ 参照)

画像名	画像サイズ [pixel×pixel]	画像枚数
Comic A	740×1200	20
Comic B	840×1200	30
Comic C	1024×1536	30
Comic D	760×1200	30

表 5-5: 高速コマ分割によるコマ分割の精度
(文献⁽²⁸⁾ 参照)

画像名	高速処理	P	R	F	S
Comic A	無効	0.987	1.000	0.994	0.95
	有効	0.987	0.987	0.987	0.90
Comic B	無効	0.962	0.957	0.959	0.93
	有効	0.956	0.956	0.956	0.90
Comic C	無効	1.000	0.831	0.908	0.733
	有効	0.923	0.809	0.862	0.733
Comic D	無効	0.974	0.902	0.937	0.70
	有効	0.957	0.887	0.921	0.70

次に縮小率 k による影響を評価するため、高速化なしの場合と比較して k を 2 および 3 とした場合の処理時間を表 5-7 に、処理精度を表 5-8 にそれぞれ示す。

実験には上記の画像合計 110 枚を使用し、処理時間の平均値を用いて評価を行った。4 作品の平均結果として $k = 2$ の場合で 60 倍、 $k = 3$ の場合でおよそ 160 倍程度の高速化が行えた。しかしながら分割精度に関しては若干の低下が見られる。

また、実験パラメータ ρ を変化させたところ、高速化なしの場合では $\rho = 20$ のとき最も結果が良好であるが、高速化ありの場合では $\rho = 15$ のときに最も良好な結果が得られた。これは高速処理の過程における解像度変更の際に、画像に対してローパスフィルターの効果がかかるため、これに伴い濃度勾配方向も平均化される。このため濃度勾配方向の検査条件を実質的に緩くする効果があるためだと考えられる。

5.5 おわりに

本章では前章で提案した高速高精度コマ分割処理に関して分割に用いるパラメータに関する実験及び従来手法との比較実験、また、高速処理における処理時間と処理精度について実験を行い、考察を行った。

従来手法との比較実験において、提案手法では、従来手法により処理を行った場合に、他

表 5-6: 処理時間

(文献⁽²⁸⁾ 参照)

画像名	高速処理	t [秒]	処理時間の短縮率
Comic A	無効	131.86	–
	有効	12.52	1/10.5 倍
Comic B	無効	167.81	–
	有効	10.34	1/16.2 倍
Comic C	無効	228.82	–
	有効	74.41	1/3.1 倍
Comic D	無効	130.04	–
	有効	14.99	1/8.7 倍

表 5-7: 処理時間

(文献⁽²⁹⁾ 参照)

高速化	k	平均処理時間 [秒]	処理時間の短縮率
無し	–	167.61	–
有り	2	2.76	1/60 倍
有り	3	1.02	1/164 倍

のコマ上を通る分割線により分割が行われて過剰分割が生じる画像においても正しく分割可能であることを示した。また、提案手法の分割パラメータを変更し実験を行うことで、パラメータの変化による処理精度への影響および分割に際して最適なパラメータを確認した。さらに、多数のコミック画像を用いてコマ分割実験を行うことで、従来手法と比較して、F 値で 17% 程度の分割線検出精度の向上が得られた。

処理時間に関する実験では、まず高速処理におけるアルゴリズム上の変更が与える分割精度への影響を確認し、また、処理時間の変化について調査を行った。その結果、画像により 3 倍から 16 倍の処理の高速化が行えることを確認した。さらに入力画像を低解像度化することで処理時間の更なる短縮を行い、また、その際の処理精度についても実験により確認を行った。最終的に、高速化前と比較して、同程度の処理精度保ちつつおよそ 60 倍、また若干の処理精度の低下を許容する場合には 160 倍程度の高速化が行えることを確認した。

表 5-8: 画像解像度変換を含めた高速コマ分割によるコマ分割の精度
(文献⁽²⁹⁾参照)

高速化	ρ	k	P	R	F	S
無し	20	—	0.958	0.936	0.947	0.836
無し	15	—	0.980	0.915	0.945	0.818
有り	20	2	0.938	0.906	0.921	0.791
有り	15	2	0.963	0.902	0.931	0.809
有り	20	3	0.939	0.858	0.896	0.718
有り	15	3	0.960	0.856	0.904	0.727

第6章

結論

本章では本論文を総括し、今後の検討課題を述べる。

6.1 総括

第1章では本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べた。

近年、電子コミック市場の発展が顕著であり、また電子コミックを読むための閲覧端末は多岐にわたる。携帯電話に代表される画面サイズの小さな端末では、コミック上のセリフ等の文字の可読性を保ちつつ、画面上に1ページ分全ての画像を表示することは困難である。コミック画像では、ページ内部における順序付けとしてコマが用いられており、コマの配置を解析することで視線遷移情報を得ることができる。そこで低解像度端末では、分割した各コマを1つずつ順番に表示させる方法や、視線遷移情報に基づいて順に画面をスクロール表示する方法が取られている。こうすることで、上記の端末においてもコミックの閲覧を可能にしている。現在、紙面媒体のコミック総数は非常に多く、市場の発展に伴い、電子コミックのコンテンツ数も増加してゆくためコマ分割処理の自動化に関して社会的な要求があることについて述べた。

第2章では電子コミックの現状として、近年の電子書籍市場全体及び電子コミック市場の状況と、視聴のための端末とその表示機能に関して説明を行った。

電子書籍市場は近年飛躍的に成長を遂げており、中でもコミック配信事業の伸びが非常に大きい。また、配信対象端末の比率変化を見ると、携帯電話向け配信の占める割合が飛躍的に上昇している。さらに、大量のユーザ数を持つ携帯型ゲーム機への配信も行われる予定である。市場において主要な閲覧端末である携帯電話及び今後の発展が見込まれる携帯型ゲーム機ではどちらも表示画面サイズが小さく、これらの端末に対応したコミック配信の重要性があることを示した。

第3章では文書画像のレイアウト解析手法と、レイアウト解析に利用される要素技術及びコミック画像の画像的特長とそのレイアウト解析に関連する手法について述べた。まず、文書画像のレイアウト解析に利用される要素技術であるエッジ検出処理及び直線検出手法及び、文書画像のレイアウト解析の概要と領域解析手法に関して述べた。次に通常のレイアウト解析が適用できない主な要因となる、以下に示すコミック画像の特徴について述べた。コ

ミック画像には、一般的な文書画像におけるブロックに相当する領域として、コマがある。コマ内部には、キャラクターや風景など、主に線画で描かれ、その上にトーンや塗りつぶし等の手法により陰影づけされた絵の部分と、吹き出し、セリフや効果音などの文字要素が複雑に配置されている。さらに絵などのコマからはみ出しや、コマの形状に関して自由度を持つ。最後に、コミック画像のレイアウト解析に関連する手法に関して述べた。

第4章では高精度かつ高速なコミック画像のコマ分割処理を実現するために、高速高精度コマ分割処理を提案した。

はじめに、分割線の検出に冗長性を持たせた帯による分割線候補の検出を行い、得られた分割線候補に対して、濃度勾配方向を利用した適合検査を行うことで、精度の高い分割を実現する高精度コマ分割処理を提案した。次に、高精度コマ分割手法は、検出精度が高い反面、分割線検出時に検出帯による画像の全探索を行うため、検出帯の本数が非常に多く、処理に時間がかかることから、コマ分割処理の高速化のために、分割線検査順序の最適化、分割線検出領域の制限及び、画像解像度の変更の3つのアプローチからなる高速コマ分割処理を提案した。

第5章では第4章で提案した高速高精度コマ分割処理に関して、分割に用いるパラメータに関する実験及び従来手法との比較実験、また、高速処理における処理時間と処理精度について実験を行い、考察を行った。

従来手法との比較実験において、提案手法では、従来手法により処理を行った場合に、他のコマ上を通る分割線により分割が行われて過剰分割が生じる画像においても正しく分割可能であることを示した。また、提案手法の分割パラメータを変更し実験を行うことで、パラメータの変化による処理精度への影響および分割に際して最適なパラメータを確認した。さらに、多数のコミック画像を用いてコマ分割実験を行うことで、従来手法と比較して、F値で17%程度の分割線検出精度の向上が得られた。

処理時間に関する実験では、まず高速処理におけるアルゴリズム上の変更が与える分割精度への影響を確認し、また、処理時間の変化について調査を行った。その結果、画像により3倍から16倍の処理の高速化が行えることを確認した。さらに入力画像を低解像度化することで処理時間の更なる短縮を行い、また、その際の処理精度についても実験により確認を行った。最終的に、高速化前と比較して、同程度の処理精度保ちつつおよそ60倍、また若干の処理精度の低下を許容する場合には160倍程度の高速化が行えることを確認した。

第6章は結論であり、本論文の総括および今後の課題について述べている。

6.2 今後の課題

今後検討すべき課題を以下に示す。

本論分において提案を行った高速高精度コマ分割処理では、従来手法と比較してより高い精度をもちつつ高速な処理を行うことができる。今回実験を行った画像ではページ単位における評価で7割から9割程度の成功率を出すことができた。

高速化に関して、コマの枠線が垂直・水平方向以外であるコマが多いコミックでは、高速

化アルゴリズムによる効果があまり無いため、処理に時間がかかるという問題点がある。次に、分割に失敗した画像の特徴を以下にまとめる。

- (1) コマからの絵や吹き出し、視覚効果などはみ出しが非常に大きい
- (2) コマとコマの間に空白部分がない
- (3) コマの配置が重なりをもつ

(1) では、コマの枠線部分の大半が、吹き出しや絵などで覆われているため、枠線の検出ができないことが原因として考えられる。(2) および(3) の特徴を持つコマは作品により出現頻度が大きく異なるが、特に女性向けコミック等でよく見られるコマの配置である。

女性向けコミックでは、コマとコマの間には線が引かれているが、途中で途切れている場合もあるなど、他のコミックと比較して、コマの形状や配置に関するルールの自由度が非常に高い。このような特徴をもつコミックでは今回提案した手法で分割を行うことができない。コマ同士の重なりを許容する場合には、2分割を繰り返し適用するだけでは完全に1コマまで分割を行うことは不可能である。

以上に示した特徴を持つコミック対応したコマ分割処理を実現することが今後の検討課題である。

謝辞

本研究の機会及び素晴らしい実験環境を与えて下さり、貴重な時間を割いて研究の方向性を御指導頂きました渡辺 裕教授に心から感謝致します。

学部時代にお世話になり、本研究科に入るきっかけだけでなく、多くの御助言を与えて下さり、また、資料も快く御貸し下さいました東京理科大学の荒木 修教授に心から感謝いたします。

本研究のきっかけを与えて下さり、研究の進め方から文章の書き方まで懇切丁寧かつ辛抱強く御指導下さった河村 圭 氏にはこの場を借りて心から深く感謝致します。

貴重な御意見、様々な御提案を頂いた AVS ゼミの皆様にご礼申し上げます。特に、数々の有意義な御意見、御助言を下された石川 孝明 氏に心から感謝致します。

渡辺研究室の皆様にご礼申し上げます。特に情報処理全般や画像符号化等に関して知識が未熟な私に、いろいろと教えてくれた高橋君、東君に感謝します。

最後に、私をここまで育てて下さった家族に深く感謝します。

平成 20 年 3 月 15 日

参考文献

- (1) “2006年度電子コミックビジネスの最新動向<市場規模は106億円> | リサーチ Forum ,”
<http://r.impressrd.jp/ecomnic2007>
- (2) “インプレス R&D 調査報告書オンラインライブラリ (電子コミックビジネス調査報告書 2007) ,”
<http://library.impressrd.jp/contents/>
- (3) “マーケットリサーチ・市場調査とコンサルティングのシード・プランニング-日本のコミック配信ビジネスと対応機器の市場動向を調査 ,”
<https://www.seedplanning.co.jp/press/2007/0615.html>
- (4) “DNP 大日本印刷ニュースリリース ,”
<http://www.dnp.co.jp/jis/news/2007/071129.html>
- (5) “ニンテンドー DS ,”
<http://www.nintendo.co.jp/ds/index.html>
- (6) “経営方針説明会・中間決算説明会 任天堂株式会社 社長 岩田聡 講演内容全文 ,”
<http://www.nintendo.co.jp/ir/library/events/071026/index.html>
- (7) “LIBRIe (リブリエ) —e-Book を快適に持ち運べる e-Book リーダー ,”
<http://www.sony.jp/products/Consumer/LIBRIE/>
- (8) “E Ink Corporation ,”
<http://www.eink.com/>
- (9) “新・読書端末「Words Gear」(ワーズギア)を開発 | ニュース | 松下電器産業株式会社 ,”
<http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn060926-1/jn060926-1.html>
- (10) “Amazon.com Kindle: Amazon’s New Wireless Reading Device: Kindle Store ,”
<http://amazon.com/kindle>
- (11) “NTT ドコモ ホーム ,” <http://www.nttdocomo.co.jp/>
- (12) 高木幹雄, 下田陽久, 新編画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 東京, 2004 .
- (13) 酒井幸市, デジタル画像処理入門, CQ 出版株式会社, 東京, 2002 .
- (14) 森本正志, 尺長健, 赤松茂, 末永康仁, “可変フィルタによるハフ変換の高精度化 ,”
電子情報通信学会論文誌 (D-II) , Vol.J75-D-II , No.9 , pp.1548-1556 , Sept. 1992.
- (15) M.A. Fischer and R.C. Bolles, “Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography,” Commun. ACM, Vol.24, no.6, pp.381-395, June 1981.

- (16) D. H. Ballard, "Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes," *Pattern Recognition*, vol.13, no.2, pp.111–122, 1981.
- (17) 渡辺孝志, 石戸橋真, "線分近似による一般化ハフ変換の高速化," *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol.J74–D2, No.8, pp.995–1003, Aug. 1991.
- (18) 木村彰男, 渡辺孝志, "高速一般化ハフ変換–相似変換不変な任意図形検出法," *電子情報通信学会論文誌 (D–II)*, Vol.J81–D–II, No.4, pp.726–734, April 1998.
- (19) 辻三郎, "スプリット検出法による文書画像構造解析," *電子情報通信学会論文誌 (D–II)*, Vol.J74–D–II, No.4, pp.491–499, April 1991.
- (20) K.Y. Wong, R.G. Casey, and F.M. Wahl, "Document Analysis Systems", *IBM J. Res. Develop.*, Vol.26, No.6, pp.647–656, Nov. 1982.
- (21) K. Kise, A. Sato, and M. Iwata, "Segmentation of page images using the area Voronoi diagram," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.70, No.3, pp.370–382, 1998.
- (22) 米山昇吾, 平野敬, 岡田康裕, "図面画像内シンボル抽出方式の検討," 2006年 電子情報通信学会総合大会, D–11–126, March 2006.
- (23) J. Wieser, and A. Pinz, "Layout and Analysis: Finding text, titles, and photos in digital images of newspaper pages," *Proc. 2nd International Conference, on Document Analysis and Recognition*, pp.774–777, Tsukuba Science City, Japan, Oct. 1993.
- (24) 山田雅之, 鈴木茂樹, ラフマツト ブディアルト, 遠藤守, 宮崎慎也, "携帯電話を利用したコミックの閲覧システムとその評価," *芸術科学会論文誌*, Vol.3, No.2, pp.149–158, June 2004.
- (25) 田中孝昌, 東海林健二, 外山史, "マンガ画像のコマ割り構造解析," 2006年 電子情報通信学会総合大会, D–12–89, March 2006.
- (26) 石井大祐, 河村圭, 渡辺裕, "分割線選択によるコミックのコマ分割に関する検討," *FIT2006*, J–33, Sept. 2006.
- (27) 石井大祐, 河村圭, 渡辺裕, "コミックのコマ分割処理に関する一検討," *PCSJ2006*, P–2.06, Nov. 2006.
- (28) 石井大祐, 河村圭, 渡辺裕, "コミック画像におけるコマ分割処理の高速化に関する検討," 2006年 情報処理学会全国大会, 1P–2, Mar. 2007.
- (29) 石井大祐, 河村圭, 渡辺裕, "コミック画像における高速コマ分割処理の改良に関する検討," 2006年 電子情報通信学会総合大会, D–12–158, Mar. 2007.

- (30) 石井大祐, 河村圭, 渡辺裕, “コミックのコマ分割処理に関する一検討,” 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J90-D, No.7, pp.1667-1670, July 2007.

図一覧

2-1	電子書籍のコミック配信とその他配信の市場規模推移（日本） （文献 ⁽³⁾ より引用）	5
2-2	コミック配信種類別市場動向（日本） （文献 ⁽³⁾ より引用）	5
2-3	電子書籍全体の市場規模と電子コミックの市場規模（2005年度と2006年度 の比較） （文献 ⁽¹⁾ より引用）	6
2-4	コミック画像符号化システムの概要	8
3-1	Sobel オペレータ（x 方向）	9
3-2	Sobel オペレータ（y 方向）	10
3-3	入力画像 (Barbara)	10
3-4	Sobel フィルタ適用結果 (Barbara)	11
3-5	4 近傍ラプラシアンオペレータ	11
3-6	ラプラシアンフィルタ適用結果 (Barbara)	12
3-7	Canny フィルタ適用結果 (Barbara)	13
3-8	ρ - θ パラメータによる直線表現 （文献 ⁽¹³⁾ より引用）	14
3-9	分割線と既定線 （文献 ⁽²⁴⁾ より引用）	18
3-10	隣接する 2 フレームの整列例 （文献 ⁽²⁴⁾ より引用）	18
3-11	T 型隣接 （文献 ⁽²⁴⁾ より引用）	19
4-1	検出線と検出帯によるコマ枠線検出 （文献 ⁽²⁶⁾ 参照）	22
4-2	検出帯の構成 （文献 ⁽²⁶⁾ 参照）	23
4-3	コマと分割線候補例 （文献 ⁽²⁶⁾ 参照）	24

4-4	分割線候補 a 上における濃度こう配方向の分布 (文献 ⁽²⁶⁾ 参照)	25
4-5	分割線候補 b 上における濃度こう配方向の分布 (文献 ⁽²⁶⁾ 参照)	25
5-1	入力画像 (文献 ⁽²⁶⁾⁽³⁰⁾ 参照)	31
5-2	提案手法による結果 (文献 ⁽²⁶⁾⁽³⁰⁾ 参照)	32
5-3	従来手法による結果 (文献 ⁽²⁶⁾⁽³⁰⁾ 参照)	32

表一覧

5-1	分割パラメータによる P, R, F 及び S の変化 (文献 ⁽³⁰⁾ 参照)	29
5-2	従来手法との比較 (文献 ⁽³⁰⁾ 参照)	30
5-3	実験条件 (実験装置) (文献 ⁽²⁸⁾ 参照)	31
5-4	実験条件 (画像サイズ及び画像数) (文献 ⁽²⁸⁾ 参照)	33
5-5	高速コマ分割によるコマ分割の精度 (文献 ⁽²⁸⁾ 参照)	33
5-6	処理時間 (文献 ⁽²⁸⁾ 参照)	34
5-7	処理時間 (文献 ⁽²⁹⁾ 参照)	34
5-8	画像解像度変換を含めた高速コマ分割によるコマ分割の精度 (文献 ⁽²⁹⁾ 参照)	35

研究業績

	題 名	発表年月	発表掲載誌	連名者
(1)	分割線選択によるコミックのコマ分割処理に関する検討	2006年9月	FIT2006 第5回情報科学技術フォーラム	石井 大祐 河村 圭 渡辺 裕
(2)	ベクター表現による文字や網点を含む画像符号化システム	2006年9月	情報処理学会AVM研究会	河村 圭 山本 勇樹 石井 大祐 渡辺 裕
(3)	コミックのコマ分割処理に関する一検討	2006年11月	画像符号化シンポジウム PCSJ2006	石井 大祐 河村 圭 渡辺 裕
(4)	ベクター表現によるマンガ符号化システム	2006年11月	画像符号化シンポジウム PCSJ2006	河村 圭 山本 勇樹 石井 大祐 渡辺 裕
(5)	ベクター表現に適した少数画素精度の改良境界線検出に関する検討	2007年3月	情報処理学会AVM研究会	河村 圭 石井 大祐 渡辺 裕
(6)	ベクター表現による文字や網点を含む画像符号化システム	2007年3月	情報処理学会全国大会	河村 圭 山本 勇樹 石井 大祐 渡辺 裕
(7)	コミック画像におけるコマ分割処理の高速化に関する検討	2007年3月	情報処理学会全国大会	石井 大祐 河村 圭 渡辺 裕

	題 名	発表年月	発表掲載誌	連名者
(8)	コミック画像における高速コマ分割処理の改良に関する検討	2007年3月	電子情報通信学会総合大会	石井 大祐 河村 圭 渡辺 裕
(9)	電子透かしを埋め込んだベクター画像の客観評価手法に関する検討	2007年3月	電子情報通信学会総合大会	河村 圭 山本 勇樹 石井 大祐 渡辺 裕
(10)	コミックのコマ分割処理に関する一検討	2007年7月	電子情報通信学会論文誌 D	石井 大祐 河村 圭 渡辺 裕
(11)	ベクター表現に適した少数画素精度の改良境界線検出に関する検討	2007年9月	FIT2007 第6回情報科学技術フォーラム	河村 圭 石井 大祐 渡辺 裕
(12)	人工的な多値画像のベクタ変換を考慮した領域分割に関する検討	2007年9月	情報処理学会AVM研究会	河村 圭 石井 大祐 渡辺 裕
(13)	人工的な多値画像のベクター変換	2007年11月	画像符号化シンポジウム PCSJ2007	河村 圭 石井 大祐 渡辺 裕
(14)	動画像の時空間ベクタ表現に関する一検討	2007年11月	画像符号化シンポジウム PCSJ2007	石井 大祐 河村 圭 渡辺 裕
(15)	ベクタ表現を用いた画像のエッジ再現手法に関する一検討	2008年3月	情報処理学会全国大会(発表予定)	石井 大祐 河村 圭 渡辺 裕