

平成14年度 研究開発成果報告書

「大容量グローバルネットワーク利用超高精細コンテンツ分散流通技術の研究開発」

目 次

1	研究開発の背景.....	4
2	研究開発分野の現状.....	5
3	研究開発の全体計画.....	9
3-1	研究開発課題の概要.....	9
3-1-1	全体概要	
3-1-2	個別課題毎の実施内容	
3-2	研究開発目標.....	17
3-2-1	最終目標	
3-2-2	中間目標	
3-3	研究開発の年度別計画.....	20
3-4	研究開発体制.....	21
3-4-1	研究開発管理体制	
3-4-2	研究開発実施体制	
4	研究開発の概要.....	23
4-1	研究開発実施計画.....	23
4-1-1	研究開発の計画内容	
4-1-2	研究開発課題実施計画	
4-2	研究開発の実施内容.....	28
5	研究開発実施状況（平成14年度）.....	31
5-A	超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発.....	31
5-A-1	位置補正・画像合成処理・ひずみ補正処理	
5-A-1-1	序論	
5-A-1-2	平成14年度研究開発目標	
5-A-1-3	システム構成	
5-A-1-4	特徴点指定による画像変換係数の算出	

- 5-ア-1-5 画像の座標変換
- 5-ア-1-6 合成画像の作成
- 5-ア-1-7 実装
- 5-ア-1-8 評価とまとめ

- 5-ア-2 色補正処理（カラーマネージメント）
- 5-ア-2-1 序論
- 5-ア-2-2 研究開発の実施状況
- 5-ア-2-3 撮影および海外調査
- 5-ア-2-4 平成14年度の研究内容により得られた成果
- 5-ア-2-5 平成15年度以降の研究課題

- 5-ア-3 質感表現三次元データ生成処理
- 5-ア-3-1 序論
- 5-ア-3-2 BRDFによる質感モデルとデータ解析
- 5-ア-3-3 BRDFデータ入力システムの構築
- 5-ア-3-4 多重解像度表現に基づく質感表現手法の検討
- 5-ア-3-5 3次元表面形状表現の検討
- 5-ア-3-6 まとめ

- 5-ア-4 検証用コンテンツデジタル化
- 5-ア-4-1 検証用超高精細画像データの作成
- 5-ア-4-2 デジタル画像作成の対象（被写体）
- 5-ア-4-3 撮影装置
- 5-ア-4-4 照明装置
- 5-ア-4-5 撮影方法
- 5-ア-4-6 画像データの記録

5-イ ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術..... 67

- 5-イ-1 コンテンツの階層的な蓄積方式
- 5-イ-1-1 研究開発課題の背景
- 5-イ-1-2 研究開発分野の現状
- 5-イ-1-3 研究開発実施状況
- 5-イ-1-4 処理説明
- 5-イ-1-5 解像度多重データ構成方法の評価

- 5-イ-2 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし
- 5-イ-2-1 序論
- 5-イ-2-2 提案する真正性証明電子透かし方式の原理、特徴
- 5-イ-2-3 実験1：提案アルゴリズムを用いた透かし埋込み／検出実験
- 5-イ-2-4 実験2：JPEGストリームデータ変化原因調査
- 5-イ-2-5 実験3：グレースケール画像による透かし埋め込み／検出
- 5-イ-2-6 実験4：JPEG復号時の逆DCT後クリッピング対策実験
- 5-イ-2-7 実験5：真正性証明透かしでの「同一性」確認実験
- 5-イ-2-8 まとめ、今後の課題等

5-イ-3	分散環境著作権管理方式	
5-イ-3-1	研究開発課題の背景	
5-イ-3-2	研究開発課題の現状	
5-イ-3-3	システム構成	
5-イ-3-4	ユーザオペレーション	
5-ウ	状況適応型コンテンツナビゲーション技術.....	105
5-ウ-1	序論	
5-ウ-2	平成14年度研究開発目標	
5-ウ-3	システム構成	
5-ウ-4	特徴量表現	
5-ウ-5	距離計算	
5-ウ-6	類似画像検索	
5-ウ-7	実装	
5-ウ-8	実験、評価	
5-ウ-9	まとめ	
5-エ	総括.....	122

(添付資料)

研究発表、講演、文献等一覧

1 研究開発の背景

近年、ギガビットネットワーク等の基幹ネットワーク、xDSL等の一般ユーザ向けブロードバンドの整備により、大容量マルチメディアコンテンツに対するアクセス環境が整ってきた。また、デジタルカメラ、液晶パネル、プロジェクタ等の入出力機器に目を向けると、高精細なデジタルコンテンツを扱える機器が出現してきている。

これらのコンテンツ流通を取り巻く環境の変化は、単にマルチメディアコンテンツの閲覧（ブラウジング）が可能であるというレベルから、映画、フィルム、美術品、放送素材等、高精細かつ良質な真に価値のあるコンテンツがデジタル化され、流通、加工等可能な経済リソースとして、利用可能なレベルへと移行しつつある。

このような背景の下、有形・無形の文化遺産、非デジタル媒体上の映画・フィルム・美術品・放送素材等を、経年変化なく後世に残すこと、一般ユーザが手軽にアクセスできるようにすること、さらには、二次・三次利用を視野にコンテンツを提供すること等を目的として、博物館や美術館等のコンテンツホルダーにおけるデジタルアーカイブへの動きが活発になっている。加えて、コンテンツ流通の障害となっている著作権問題を解決するため、電子透かしやセキュリティ管理の開発がさまざまな研究機関においてなされるようになってきている。また、デジタル化の対象は文化財以外にも広がりを見せ、地域特有の情報や報道・広告・エンターテインメント業界が保有する蓄積情報資産を対象にした二次利用ビジネスモデルの立ち上げのためにデジタルアーカイブを構築する動きも出てきた。

官公庁における取り組みも活発になっており、デジタルアーカイブの計画・整備・運用を推進している。政府・IT戦略本部策定のe-Japan計画は、日本の重要IT戦略の一環としてデジタルアーカイブを取り上げている。

2 研究開発の現状

(1) デジタルアーカイブの現状

① 政府の取り組み

政府は、e-Japan 計画の中で全国的な教育・産業・文化の振興を目的に、デジタルアーカイブ構築の推進を掲げている。

- ・総務省では、デジタルミュージアム構想を推進し、地域の美術館や博物館等の文化財のデジタル化、蓄積管理・配信閲覧技術の開発支援、及びインフラ整備を行っている。
- ・文部科学省では、教育情報ナショナルセンターへの教育事例コンテンツの登録、児童・生徒向け教育用コンテンツ作成など、教育目的のデジタルアーカイブ整備を推進している。
- ・文化庁では、政府関連施設の文化財情報をインターネットで検索可能とするための「文化財情報システム・美術情報システム」、全国の公私立博物館・美術館を「分散型仮想ミュージアム」化させる「共通索引システム」の整備を推進している。
- ・経済産業省では、「先導的デジタルアーカイブ映像制作支援事業」、「コンテンツ制作基盤技術開発等支援事業」により、高品質コンテンツの制作・配信・流通技術、セキュリティ技術、高画質動画の表現技術などの開発支援を行っている。

② 美術館・博物館等の取り組み

- ・国立西洋美術館では、4,000 点を超える館蔵作品のうち、主要絵画作品 154 点を含む 204 点の館蔵作品を対象に、超高精細画像検索表示システム「デジタルギャラリー」を館内で利用し情報検索が可能である。
- ・東京国立近代美術館では、約 1 万点の収蔵作品のうち約 70%の画像データ化作業が終了している。また、館内での情報検索が可能で、約 5,000 点に関して画像とテキスト情報の閲覧ができる。
- ・2002 年 9 月開館のポーラ美術館では、デジタル画像ファイルのフォーマットとして VZF ファイル形式(Vector Format for Zooming、セラーテムテクノロジー社)を採用し、画像ファイル管理業務の一元化や、カタログなど公開用の各種媒体作成に活用している。
- ・ルーブル美術館内に設置され、EU のデジタルアーカイブ化事業を主導するフランス美術館修復研究センター(C2RMF)では、フランス国内の約 1,200 のミュージアムのみならず、ヨーロッパ各国のデジタルアーカイブ化プロジェクトも手掛けている。

- ・ウフィツィ美術館・先進技術部では、館蔵作品のデジタルアーカイブ構築プロジェクト（DADDI：Digital Archive through Direct Digital Imaging）を3年間に渡り実施し、ウフィツィ美術館の約2,000点の館蔵作品（全絵画・彫刻）のデジタルアーカイブ化を行った。
- ・大英博物館では、高解像の画像やアニメーション、動画や音声やガイドツールを用いて収蔵品に関する綿密な情報をインターネットユーザや来館者に提供するデジタルギャラリー「コンパス」を運用している。
- ・コービス社は、約2,000万点の画像イメージと100万点以上の高精細デジタル画像をデータベース化し、厳格な著作権管理の下、オンラインで画像ファイルや印刷物の流通を行っている。
- ・ポール・ゲッテイ・ミュージアムでは、画像検索システム「アーサー」や、収蔵作品のデジタル化画像と説明情報を提供するコレクション情報システムが継続して開発されている。また、アート・インフォメーション・ルームでは、素材や修復材料の体験や、マルチメディアを用いたアートの歴史体験が可能な環境などが整備されている。

(2) 関連技術動向と問題点

① デジタル化

- ・VASARI プロジェクトでは、絵画を直接デジタルデータとして取り込む高精度（色再現）、高精細なスキャンシステムを開発した。本システムでは専用の雲台を用いて CCD を動かして絵画をモザイク状に取り込み、後にそれらを合わせてより高精細な画像データを作成する。1mm 辺り 20 ピクセルのデータを、可視スペクトル全域を覆う 7 つのカラーバンドを用いてデジタル化する。しかし、撮影の際に必要なシステム全体の設置、照明、一昼夜におよぶ取り込み時間に多大なコストがかかるため実用化に至らなかった。
- ・MARC プロジェクトでは、デジタルカメラを用いてダイレクトにデジタルデータを取得し、撮影時間を 30 分まで短縮した。しかし、首振り方式で分割して画像取得する方式のため、十分な画質が得られなかった。
- ・西洋美術館では、8 x 10 インチ版の大型カメラとカラーポジフィルムを使用して撮影を行い、スキャナを用いて最大 8,000 x 10,000pixel で画像をデジタル化している。
- ・問題点は、図 2-1 に示すように、全国の美術館、博物館の収蔵品のデジタル化率がきわめて低いことである。これは、デジタル化に要する手間やコストが大きいためである。このように、デジタル化に要する時間、費用のコストを削減することが課題である。

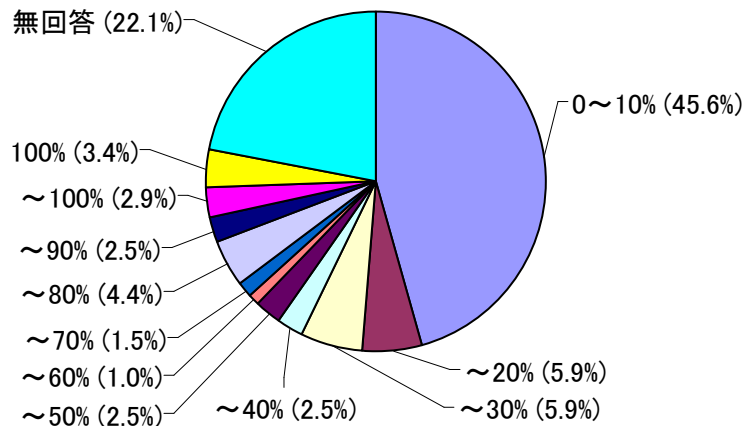


図 2-1 収蔵品のデジタル化率 (母数=204施設)
 (「デジタルアーカイブ白書2003」(デジタルアーカイブ推進協議会刊))

②カラーマネジメント

超高精細画像を再現するにあたっての重要なポイントはカラーマネジメントである。現在、撮影においてフィルムカメラがデジタルカメラへ移行し、データ入力においてスキャナが急速な進歩を果たしつつある。

また、データの流通においては、ブロードバンドの急速な普及により、ポジフィルムでの流通が、データ送信に変わりつつある。出力においては、オフセットやグラビアを中心とした印刷に、プリンターによる出力が大きな位置を占めつつある。

カラーマネジメントの問題は、プリンタ、CRT、フィルム、印刷物などデバイスによって色再現域が異なる点や、照明・背景などの環境によって色の見え方が変わるといった問題があり解決には至っていない。

③コンテンツの階層的蓄積方法

コンテンツの多様な閲覧、利用には階層的蓄積技術が利用される。階層化は解像度多重化により実現されている。代表的な画像フォーマット例として、Gigaview、Flashpix、Mr. SID 等がある。

④電子透かし

商用デジタル著作権管理方式の標準規格は確立しておらず、各社から方式が提案されている。

- ・日本 IBM では、「DataHiding」を開発した。
- ・digimarc Co. では、直接埋め込み方式を用いた「Imagemarc」を開発した。
- ・Blue Spike, Inc. では、フーリエ変換を利用した「Giovanni」を開発した。
- ・エム研では、周波数成分に埋め込みを利用した「LUSENT MARK」を開発した。
- ・MediaSec では、RSPPMC 法を用いた「SysCop」を開発した。
- ・NEC ソフトウェアでは、直接埋め込み方式による「電子透かしシステム」を開

発した。

- ・山梨県立美術館の「美術館システム」では、画像の配信サーバには電子透かしを入れる機能があり著作権や著作権保護を配慮した運用を行っている。

- ・コービス社では、インターネット公開している約 210 万点の画像に電子透かしを埋め込み、ホームページへ転載された場合、自動監視により発見される。マーケティングの観点から、無料画像の透かし情報はダウンロード画像の流通ルート追跡にも使われている。

電子透かし埋め込み画像は、そのまま表示・印刷可能であるが、画像編集による幾何学的な変形処理や改ざん処理、JPEG 圧縮処理により電子透かし情報が消去されない「耐性」を具備する必要がある。特に、高精細画像データに対する電子透かし技術の確立は、インターネット公開や商用流通の実現に不可欠である。しかし、透かし情報の不可視化と耐性はトレードオフの関係にあり、両立は難しいという問題がある。

⑤散環境著作権管理方式

分散環境で著作権管理を行っている例はほとんど見られず、現在はコービス社、ゲッティイメージ社等の一元管理方式によるコンテンツ流通が一般的である。しかしながら、一元管理方式には管理情報へのアクセス性の問題がある。また、現状ではコンテンツホルダーが、コンテンツプロバイダーに自身の持つコンテンツを安心して提供する環境が整っていないという問題がある。

⑥検索技術

画像検索は大別して、キーワード検索方式と、キー画像検索方式がある。キーワード検索には、通常の文字ベースのメタ情報データベース検索と、文字・画像の主観的な類似情報空間を扱う感性検索方式がある。また、キー画像検索方式は、ユーザが描いたスケッチで検索するスケッチ検索と、ユーザが指定した画像に近い類似画を検索する類似画検索に分かれる。

- ・横浜美術館では、インターネット上で類似画検索が可能で、指定作品の平均色・ヒストグラム色・定位置色・テクスチャに近い類似作品を検索できる。

- ・ゲッティ情報研究所では画像検索システム「アーサー」を開発した。画像を 64 ブロックに分割し各ブロックの形状や色の比較を行う。

画像検索は、キーワードによるメタ情報検索方式が実現されている。しかし、作品に対して適切なキーワードを入力するのは困難な場合が多い。これは、デジタルアーカイブへのユーザアクセスが限られる原因のひとつとなり問題である。候補画像から目的とする画像をデータベースの中から検索したり、インタラクティブなスケッチ検索など、ユーザの嗜好に基づいた画像検索方式の確立が課題である。

3 研究開発の全体計画

3-1 研究開発課題の概要

3-1-1 全体概要

本研究課題においては、高品位デジタルコンテンツに対して、コンテンツホルダーの権利を保護しつつ、ネットワークを介しての流通を活発化させることを目的とする。そのための研究開発課題として、超高精細デジタルコンテンツの生成から一般ユーザへの流通までを網羅する以下の研究開発課題を設定する。

【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

- (1) 位置補正・画像合成処理
- (2) ひずみ補正
- (3) 色補正処理（カラーマネージメント）
- (4) 質感表現三次元データ生成処理
- (5) コンテンツデータ・メタデータ一元管理方式

【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

- (1) コンテンツの階層的な蓄積方式
- (2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし
- (3) 分散環境著作権管理方式

【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

- (1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化
- (2) キーワードと画像特徴のマッピング
- (3) コンテンツ主導型ナビゲーション

【課題 エ】 実証実験

最終的な実証実験システムの概要および、各研究課題の位置付けを図3-1に示す。

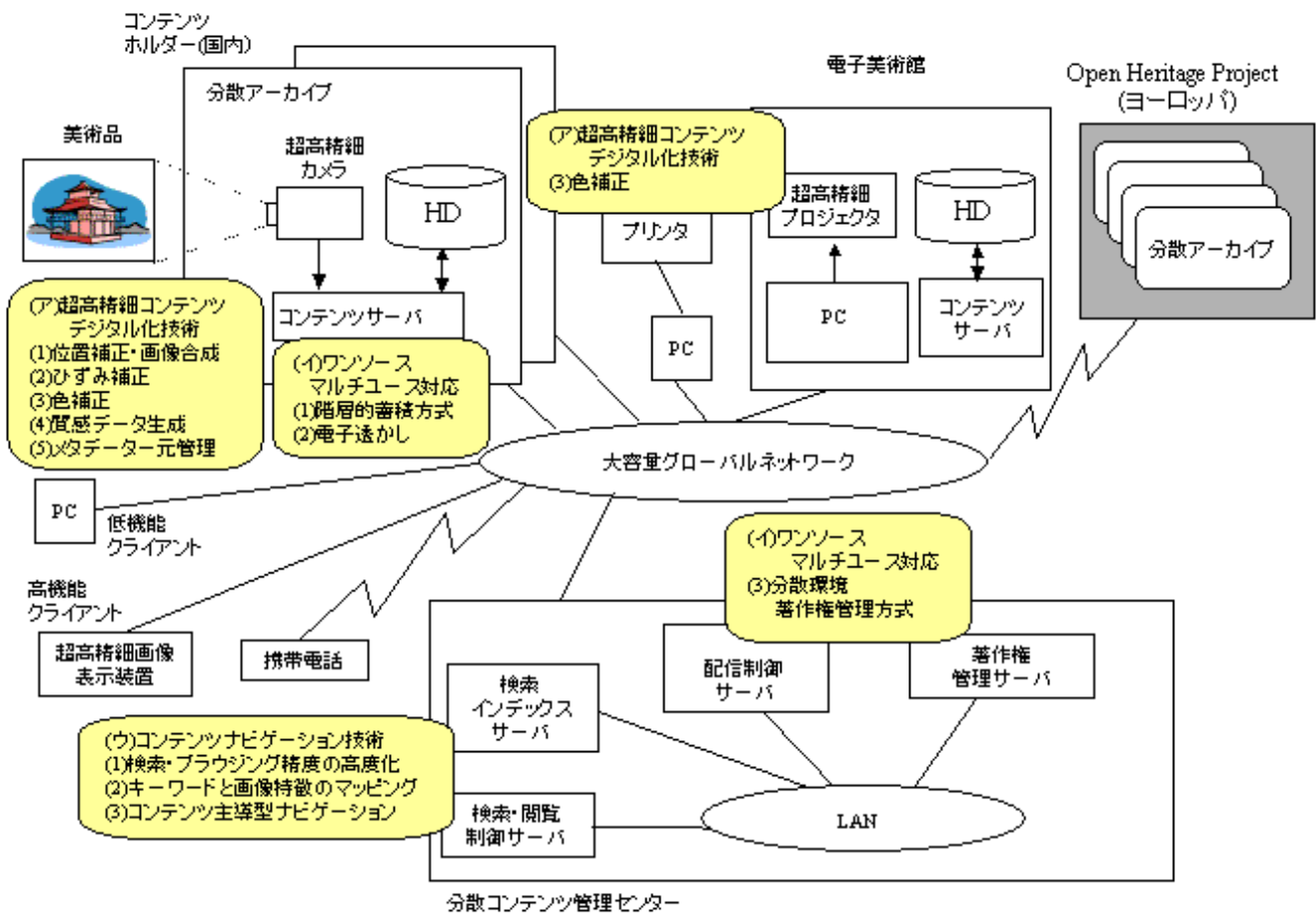


図 3-1 大容量グローバルネットワーク利用超高精細コンテンツ分散流通技術の研究開発概略図

以下、個別課題毎に課題の設定理由、実施内容について説明する。

3-1-2 個別課題毎の実施内容

【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

高品位デジタルコンテンツの流通のためには、コンテンツホルダーが所有する価値の高いコンテンツを、高品位でデジタル化する環境を整えることが課題となる。デジタル化したコンテンツは、オリジナルコンテンツに対する調査や研究目的、二次・三次利用のためのマスターデータとして位置付けられるものでなければならない。そのため、可能な限り高精細かつ高精度でのデジタル化が必須である。

近年の技術開発によって、超高精細画像コンテンツのハンドリングを可能とする基本的な入出力機器が揃いつつある。しかし、これらの機器によるデジタル化は、例えば、以下の問題点を有している。

① フィルムスキャナ

非常に高精細な画像の取り込みが可能であるものの処理に時間がかか

る。

② デジタルカメラ

フィルムスキャナと比較して解像度的に劣る。高解像度化を図るためには、精密な位置合わせによる撮影が必要になる等、大規模なシステムが必要となる。

そこで、本研究開発では、より簡単かつ高速な高品位デジタルデータ生成のための技術開発を行なう。超高解像度、忠実な色再現性を達成するため、超高精細デジタルカメラを用いて撮影した画像に対する以下の処理についての研究を行なう。

- (1)位置補正・画像合成処理
- (2)ひずみ補正処理
- (3)色補正処理（カラーマネージメント）

研究にあたっては、複数枚撮影した画像の合成や、グリッドパターン、色パターンを撮影し、それらのパターンからの補正值をコンテンツの撮影画像に対して随時フィードバックをかけることによる補正方式等について検討し、最終的にはこのプロセスの自動化を目指す。また、SN比等の数値比較による客観的評価や、超高精細デジタルコンテンツの表示が可能な表示機器を用いての専門家による主観的評価を実施しながら進める。

さらに、より高度なデジタル化のため、下記についても研究を行なう。

(4) 質感表現三次元データ生成処理

コンテンツを単なる平面として捉えるだけでなく、例えば、絵画であれば、キャンパス上の絵具の“のり”といった表面の質的な情報の再現を行なうために、三次元データを生成する処理についての研究を行なう。これにより、従来の二次元データでは実現できなかった、例えば光源の方向の違いによる見え方の差異等、も表現できるようになり、よりリアルな表示が可能となる。

(5) コンテンツデータ・メタデータ一元管理方式

デジタルカメラによって撮影したコンテンツ自体のデータとメタデータ（例えば、撮影条件）とを関連付けて管理する手法について研究する。これによって、コンテンツデータ管理の負担軽減、及び、コンテンツデータに対して各種処理を施す際の参照データとして、メタデータを簡単に利用できるようにする。

【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

超高精細デジタルコンテンツは、流通コンテンツに対するマスターデータとして位置付けられるものである。これらのコンテンツの流通にあたっては、以下の点を考慮する必要がある。

- ① 用途に応じて、コンテンツの品質（解像度、色深度等）を変える必要があること。閲覧目的で多くの画像を一度に見たい場合は、解像度を落とし縮小したサムネイル画像で充分であるし、本格的な印刷用途に供する場合には、高品質・高解像度のコンテンツが必要となる。
- ② 部分的な切り出し／オブジェクト抜き取り等に対応できる必要があること。超高精細デジタルコンテンツは、その空間的な一部分であっても十分に再利用可能となる品質を有しているため、コンテンツ内に含まれるオブジェクト等の部分的な領域の切り出しや、有意なオブジェクト単位についても考慮する必要がある。
- ③ 著作権の管理が行なえること。二次・三次利用者が編集、変換等を行なった後であっても、オリジナルのコンテンツが特定できることが必要である。
- ④ 分散アーカイブ環境に対応した著作権保護環境を提供する必要があること。コンテンツホルダーが、それぞれのデジタルアーカイブを構築する分散環境においては、処理の効率化、メンテナンスのし易さ、著作権管理のし易さ等を考慮した上で、どの部分を分散管理し、どの部分を集中管理するかを考慮する必要がある。

そこで、以下の3点について研究を行なう。

(1) コンテンツの階層的な蓄積方式

- ・ 画質／解像度による階層化
- ・ ネットワーク上のDBの階層化

本研究で扱うコンテンツの階層的な蓄積には2つの視点があり、1つはコンテンツのファイル内部構造としての解像度別の階層的蓄積（図3-2）、もうひとつはコンテンツの情報を管理するDBの階層的蓄積（図3-3）を考える。

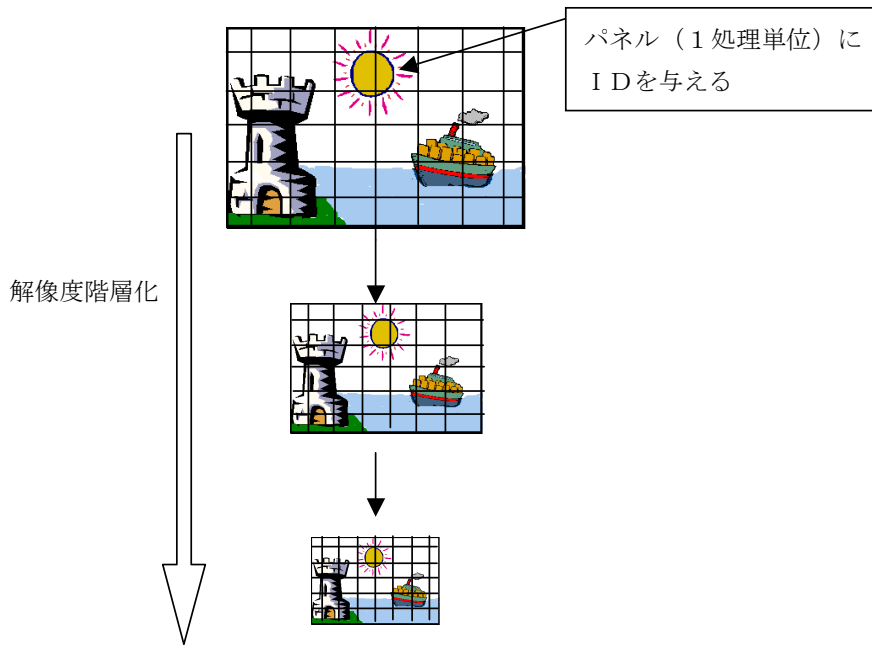


図 3 - 2 超高精細コンテンツ構造化

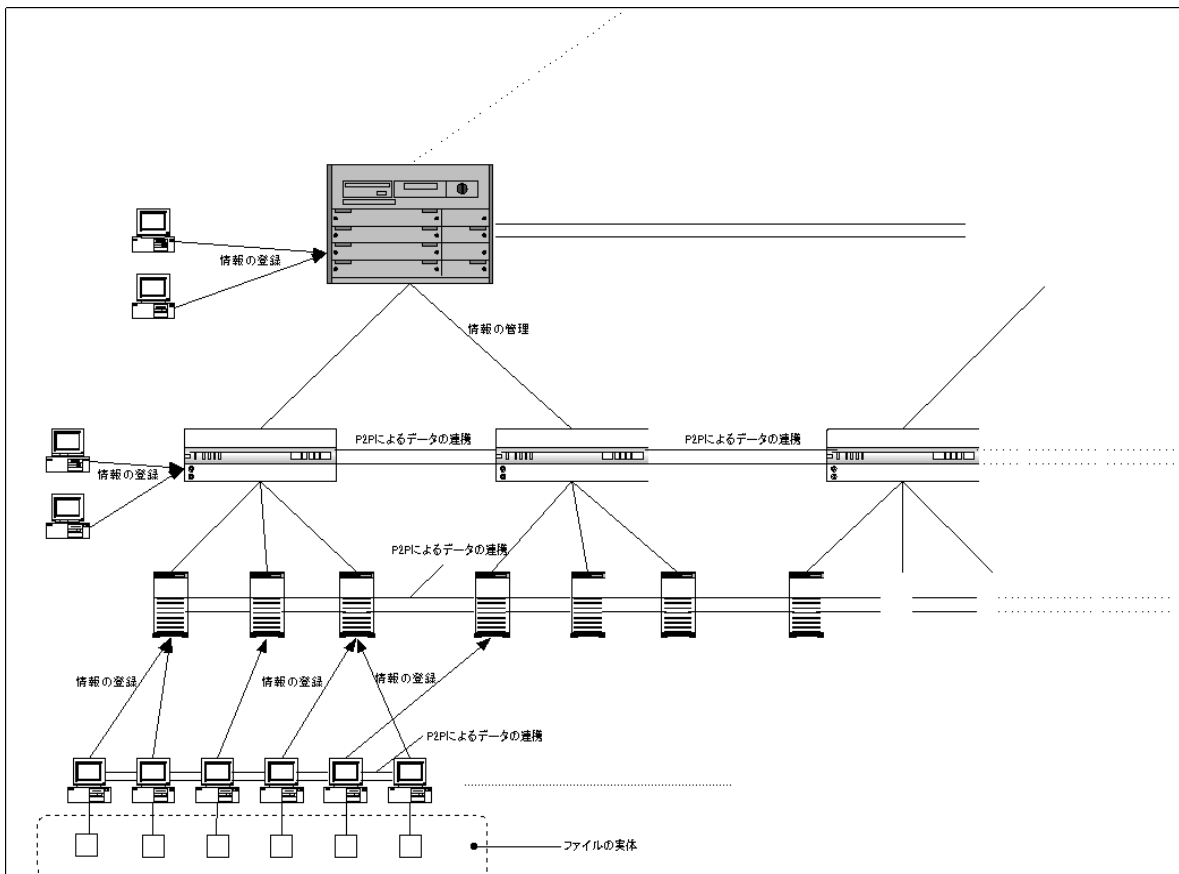


図 3 - 3 超高精細コンテンツ階層的蓄積

これにより、アーカイブされた画像を自身に一番近いサーバあるいはそのノードに属するクライアントマシンからデータを転送することを可能にし、またその上に解像度別の階層構造をもつデータフォーマットでデータを保持することによりさらに効率的な管理、配信を行うことを可能とする。

また、1つのデータベース/クライアントマシンに1つのカテゴリのデータを割り当てるなどすることで、その枝自身がDBの1要素として扱えるような構造であることも研究する。

(2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

デジタルコンテンツに対してなされる符号化、フォーマット変換、変形等の画像処理に対して耐性のある電子透かしについて研究を行なう。超高精細デジタルコンテンツが対象であることから、特に以下の2点について考慮する。

- ①画質と埋め込む情報量との関連を明確にすること。
- ②部分的な切り出し(トリミング)や縮小等の操作後でも、電子透かしの検出を可能にすること。

(3) 分散環境著作権管理方式

上記図3-3のような構造をもったネットワーク上の有意なデータベースの1つ1つがそれぞれ効率的なデータ管理、著作権管理等を実現する仕組みを保持しうることについて研究を行なう。これにより、巨大なDBを構築することなく、個々のコンテンツホルダーが自分自身のデータを管理し、そのDBを連携させることによって、著作権管理の負担の少ない透過的な枠組みを提供する。

【課題 ウ】 状況適応型コンテンツ検索・ブラウジング技術

数多くの高品位デジタルコンテンツが蓄積されると、各ユーザが必要としているコンテンツを的確に検索する、あるいは効率よくブラウジングすることが困難になってくる。インターネット上のサービスの中には、情報提供のために用いられるHTML中のテキスト情報を用い、検索やブラウジング機能の高度化を目指しているものが幾つか存在する。しかし、画像等のコンテンツの場合、ユーザの検索要求を明確に表現することが困難であること、付加されるべきキーワードを与える手間が負担であること等の問題点がある。

そこで、これらの問題点を解決するため、以下の3点について研究を行なう。

(1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化

コンテンツ自体から信号レベルで抽出される特徴量、付加情報から抽出されるキーワードを用いて、多次元の検索インデックスを構成する。これにより、キーワード、例示画像、スケッチ等、ユーザからのさまざまな検索キーに対応可能な検索機能を開発する。その上で、ユーザによる検索結果の評価等のインタラクションから、各種検索パラメータの重み付けを最適化することで高精度

な検索を実現する。

同様に多数のコンテンツを提示するブラウジング環境においても、ユーザのアクセス履歴に応じて、ブラウジングのための各種の軸（例：作者、年代、色分布、テキスト等）の重み付けを最適化し、ユーザの方向性に合致した情報整理・提示機能を実現する。

(2) キーワードと画像特徴のマッピング

コンテンツ検索の最初のきっかけとしてふさわしいのは、キーワードである。しかしながら、例えば絵画の場合、その作者、年代等はコンテンツの蓄積時にコンテンツの付加情報として与えられることが自然であるが、その内容についての記述がなされることが少ない。そこで、画像の特徴量とキーワードのマッピングを行なう方式について研究を行なう。具体的には、キーワードと画像からなる訓練セットを用意し、それらから対応モデルを構築し、このモデルを新規画像データに適用し、キーワードを付加することを目指す。

これにより、以下を可能とする。

- ①画像データに対してキーワード等の付加情報を与えることができる。これにより、キーワードによる画像検索が可能になる。
- ②キーワードが検索キーとして与えられた場合に、そのキーワードを画像特徴量にマッピングさせ、特徴量によって分散アーカイブの検索を行なう。これにより、キーワードが与えられていないコンテンツ、および、付加されているキーワードの言語（日本語、英語等）が異なるコンテンツに対する検索が可能になる。

上記二つの研究開発において共通するのは、コンテンツとそのラベル((1)においては、ユーザの評価や操作、(2)においては、キーワード)を対応させ、それらの関係を抽象化したモデルを構成するという機械学習的な手法を用いることであり、各機能を実現するための属性（特徴量）の選択方法、学習アルゴリズムの最適化が必要となる。これらのシステム概念図を図3-4に示す。

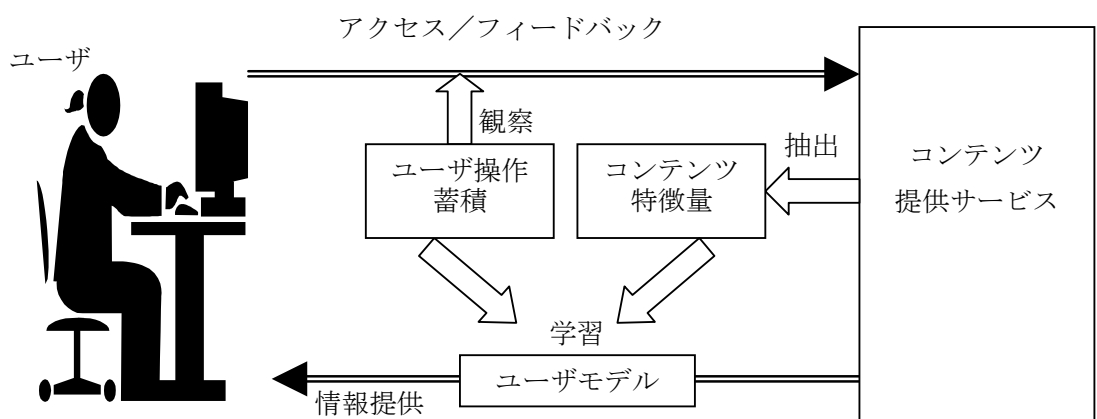


図3-4 状況適応型コンテンツ検索・ブラウジング

なお、使用する画像特徴量等については、マルチメディアコンテンツに対するメタデータの記述方式として標準化が進行中であるMPEG-7記述を参考にし、効率的に研究を進める。

(3) コンテンツ主導型ナビゲーション

従来のインターネットにおける情報提供はテキストが基本であり、静止画等の画像コンテンツは、HTMLで記述されたリンク情報によって初めてアクセスが可能であった。そのため、コンテンツそのものが単独で流通した状態では、そのコンテンツに関する情報へのアクセスが困難になる。そこで、本研究開発課題では、電子透かしを活用し、電子透かしをキーとしたメタインデックス作成により付加情報へのアクセスを実現する。本機構の概念を図3-5に示す。

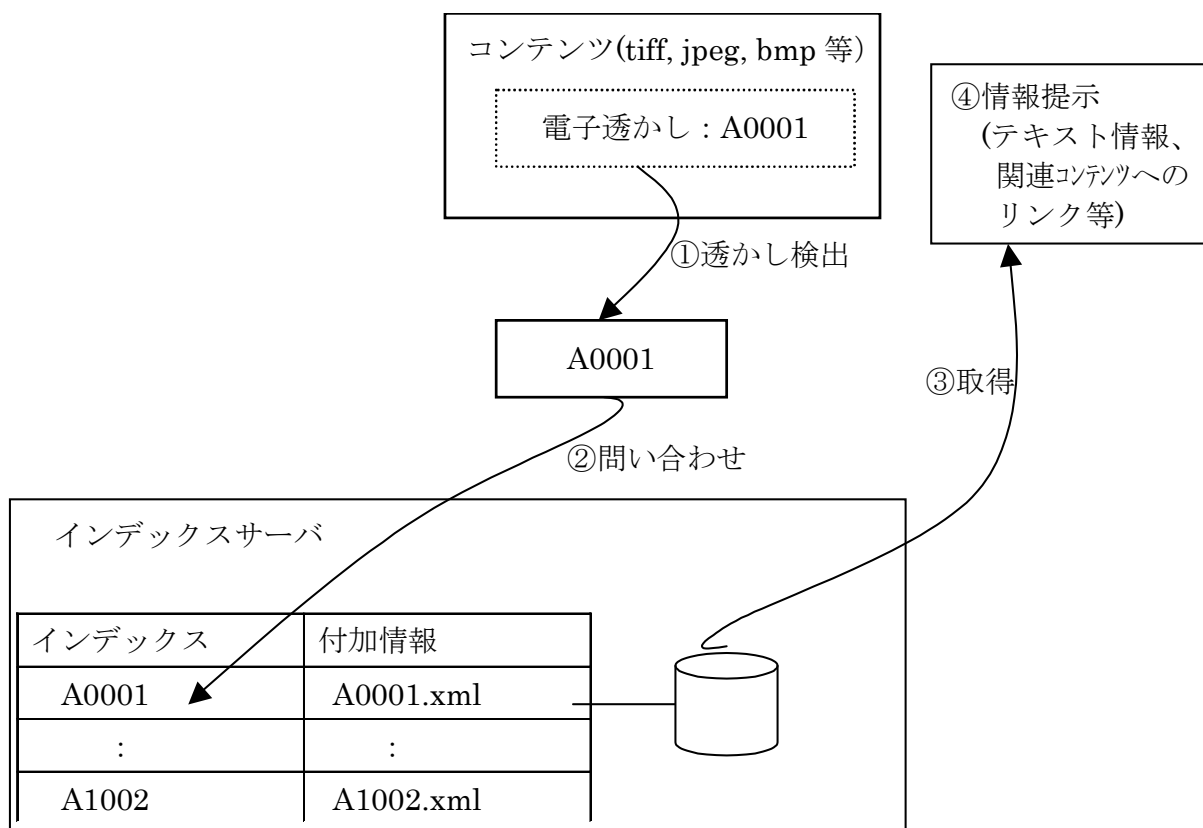


図3-5 コンテンツ主導型ナビゲーション

これによって、入手したコンテンツの所在場所、画像フォーマットによらず関連情報のブラウジングが可能になる。

【課題 エ】実証実験

技術的な面からの研究開発だけでなく、コンテンツホルダーと連携し、ビジネスモデル的な観点からも検討を行なう。

上記【課題 ア】から【課題 ウ】までの技術を組み込んだコンテンツ生成、データの蓄積・配信、検索・ブラウジング機能が、1つのフローとして分散ア

ーカイブ上で検証できるシステムを構築する。

本システムでは、実際にギガビットワークを介して、コンテンツホルダーとユーザを接続し、実運用に近い構成での実証実験を行なう。さらに、ヨーロッパで進行中であるOpen Heritage Projectとの大容量グローバルネットワークによる接続を目指す。本実証実験において、実運用上の問題点を明らかにし、個々の研究開発技術に対するフィードバックをかける。

3-2 研究開発目標

3-2-1 最終目標

【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

- ・ 超高精細デジタルカメラで撮影した画像をベースにした超高精細・高忠実度デジタルコンテンツの生成を自動化すること。
- ・ フィルムとスキャナとを用いたデジタルコンテンツと比較し、同等以上の解像度を持つコンテンツのデジタル化を可能にすること。
- ・ フィルムとスキャナとを用いたデジタルコンテンツの生成時間と比較し、1/2以下の時間でコンテンツのデジタル化を可能にすること。
- ・ 撮影時から蓄積時までのカラーマネジメント手法を確立すること。
- ・ 出力時におけるマテリアルの相違に対応するカラーマネジメント手法を確立すること。
- ・ 分散環境下においても使用可能なカラーマネジメントシステムを確立すること。
- ・ 古文書や、塑像、レリーフなどの文化資産を対象に質感情報と、高精細デジタル映像（多視点）と、本プロジェクトの成果として生成した質感表現を持つ三次元データを1,000点アーカイブし、超高精細コンテンツデジタル化技術の実用化実証を行なうこと。
- ・ 画像合成や色補正を施しデジタル化された最終的な超高精細デジタルコンテンツから、撮影時に付加されたメタデータにアクセス可能にすること。

【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

- ・ コンテンツホルダーから支持される著作権のビジネスモデルを確立すること。
- ・ 分散環境下における著作権管理技術を確立すること。
- ・ コンテンツの構造化がなされ、矛盾のない統一的な管理を可能とすること。
- ・ SN比 45dB以上の品質で、256ビットのデータを電子透かしとして埋め込んだ時に、検出の誤り率を 10^{-5} 以下とすること。（解像度：4,000×4,000画素）
- ・ JPEG等の符号化・復号化に対して、電子透かしの検出の誤り率を 10^{-3} 以下とすること。
- ・ 切り出し、変形、解像度変換等がなされた後であっても、検出可能な電子透かし埋め込み技術を確立すること。

【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

- ・ 利用環境に応じ、質感情報を持つコンテンツの表現形態を変化させる状況適応型コンテンツナビゲーション技術を確立すること。
- ・ 動的解像度変換、色彩・階調変換によって複数の表示環境（超高精細表示装置、三次元表示LCD、任意解像度の通常PC環境、PDAなどの低品質表示装置）に対応できるコンテンツの表示技術を確立すること。
- ・ 課題アで得られるコンテンツ、1000点の検索表示を実現すること。
- ・ 定義したテストデータによるユーザフィードバック毎の正解率が、典型的なRelevance Feedbackを用いる画像検索手法（例えば、現時点ではMARS）と比較して優れていること。
- ・ システムの使い勝手に対するMOS値(主観的評価値)が、5段階評価中、4以上であること。

【課題 エ】 実証実験

- ・ システム全体の設計をIPベースの分散環境に対応する構成にし、プロジェクト参加機関以外の研究機関（国立京都博物館、東大学博物館、大英図書館）へ、プロジェクト成果の検証を依頼し、その評価とシステム有効性の実証実験を行なうこと。
- ・ グローバルネットワーク（インターネット）アクセスのオーバーヘッドが、ネットワーク構成をとらない集中型コンテンツアクセス方式（従来型のRDBMS管理）のそれと差が無いこと。

3-2-2 中間目標

個々の研究課題に対して、以下を達成していること。

【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

- ・ 開発したアルゴリズムによって、複数枚の超高精細デジタルカメラ撮影画像を合成し、超高解像度画像を生成できること。
- ・ 作品の傾向別のライティング、レンズの種別など最適撮影条件を決定すること。
- ・ デジタルカメラ、フィルムスキャナそれぞれから得られるデータの発色特性の比較実験を完了すること。
- ・ カラーマネジメントにおいて、メタデータにすべき項目を仮決定すること。
- ・ 顔料インク、染料捺染インク、レーザー露光熱現像転写方式、以上3方式のプリンターによる発色特性を把握すること。
- ・ キャリブレーションシステムにより生成される修正用カラープロファイル特性を決定すること。
- ・ 10種類程度の紙、3種類以上の布を研究材料とし、メディアによる発色特性の違いを把握し、それに対する修正用カラープロファイル特性の有効性を測定すること。

- ・ ルーブル美術館所蔵の油絵、京都の文化財である日本画それぞれ3点程度の作品を選択し、その描画手法の違いからカラーマッチング手法の変更の必要性を検証すること。
- ・ デジタルカメラで撮影した画像とメタデータの一元管理システムの設計を完了していること。
- ・ 立体構造が明示的な対象（レリーフや彫刻）100点の質感情報の解析および入力と、超高精細画像データの管理方式の設計を完了していること。

【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

- ・ 単一のコンテンツを自動的に構造化し、データベースに格納可能とすること。
- ・ ローカルネットワークによって、簡易分散環境を構築し、端末から分散して存在するコンテンツにアクセス可能とすること。
- ・ 電子透かし方式を3種類作成し、比較検証すること。
- ・ JPEG 符号化・復号化がなされた後であっても、検出の誤り率を10⁻²以下とすること。

【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

- ・ パイロット的な状況適応型コンテンツナビゲーションによる、課題アにより得るコンテンツ100点の検索および表現方式の実現を2D超高精細表示装置を用いて実現すること。
- ・ 上記コンテンツから、「色」、「形状」、「テクスチャ」のパラメータを抽出する特徴抽出エンジンの設計を完了していること。
- ・ パラメータによる類似画像の検索を可能とすること。
- ・ 電子透かしとしてコンテンツに埋め込まれているインデックスに対応する関連情報のプレゼンテーションを可能とすること。

なお、【課題 エ】は、平成16年度から実施する。

3-3 研究開発の年度別計画

(金額は非公表)

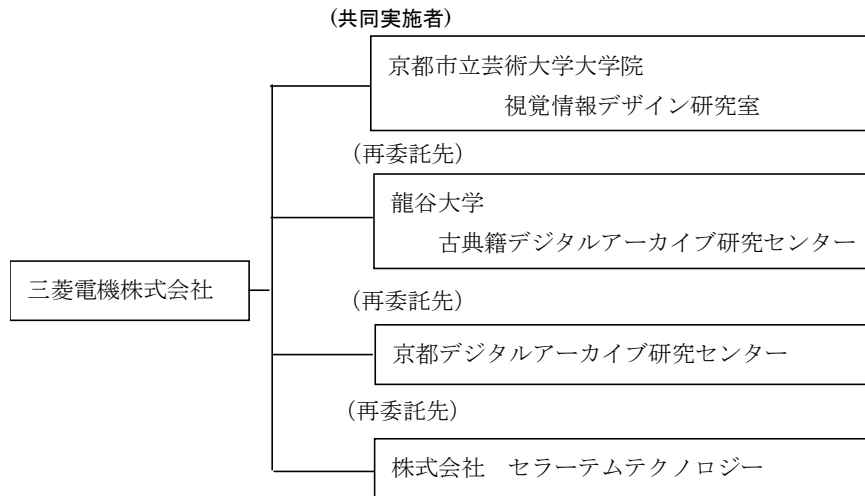
研究開発項目	14年度	15年度	16年度	17年度	計	備考
大容量グローバルネットワーク利用超高精細コンテンツ分散利用技術の研究開発						三菱電機(株)
【課題 ア】 超高精細デジタルコンテンツデジタル化技術	基	一	二	実証実験のフィードバックにより適宜改良		一部再委託： 京都市立芸術大学 龍谷大学 京都デジタルアーカイブ研究センター
【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術	本	次	次			
【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術	方	開	開			
【課題 エ】 実証実験	式	発	発			
	検	発	発			一部再委託： 京都市立芸術大学 セラータムテクノロジー
	討					一部再委託： 龍谷大学
	試					一部再委託： 京都市立芸術大学 龍谷大学 京都デジタルアーカイブ研究センター セラータムテクノロジー
	作	中間評価				
間接経費						
合計						

注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。

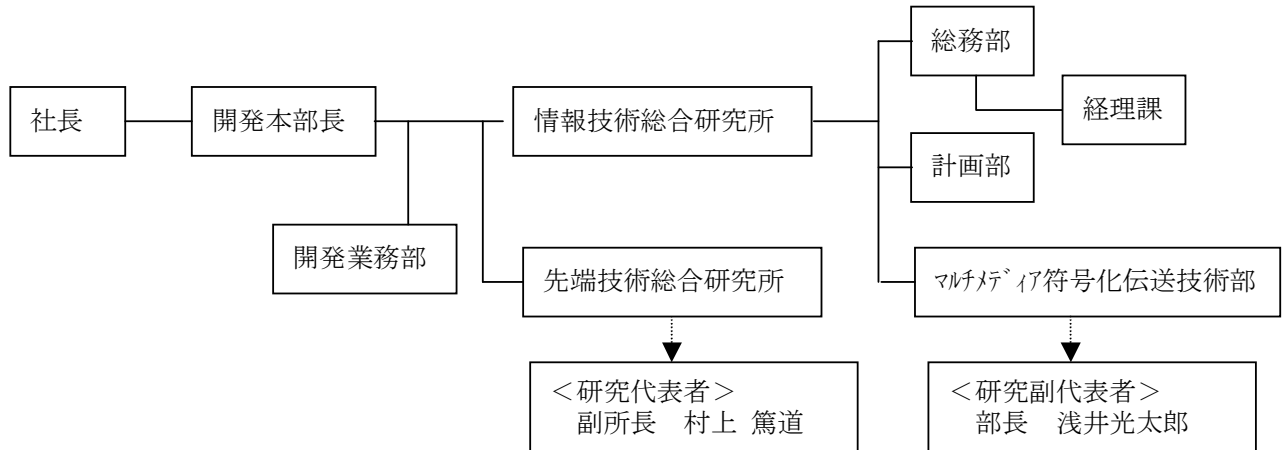
2 備考欄に再委託先機関名を記載

3-4 研究開発体制

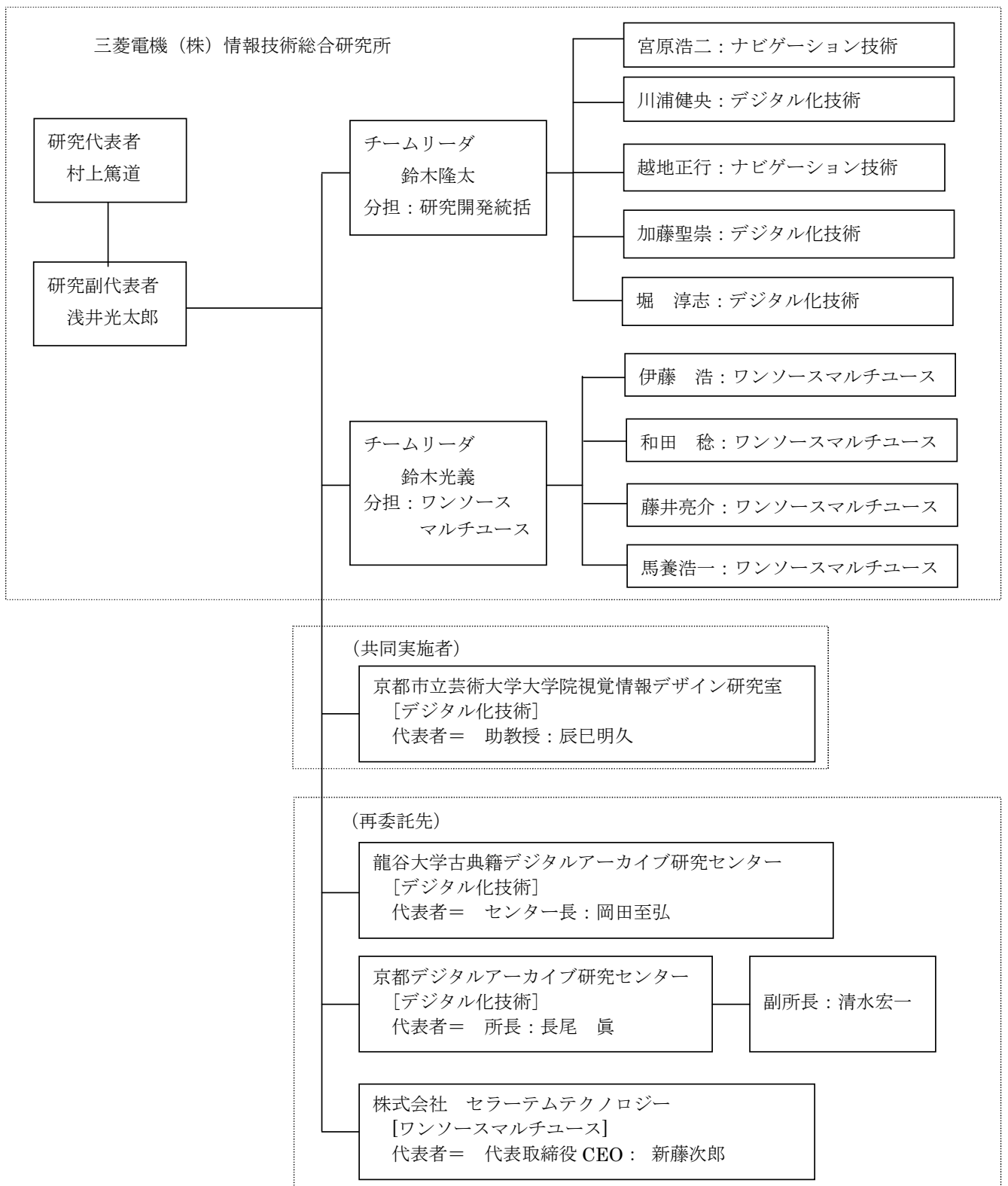
3-4-1 研究開発管理体制



三菱電機株式会社



3-4-2 研究開発実施体制



4 研究開発の概要

4-1 研究開発実施計画

4-1-1 研究開発の計画内容

平成14年度は、各研究開発項目の調査・方式検討を行なうと共に、基本的な機能を持ったプロトタイプシステムの開発を実施する。以下に研究開発項目毎の開発実施内容を示す。

【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

(1) 位置補正、画像合成処理

(2) ひずみ補正

下記の実験環境・手法を用いて、高精度な補正モデルを検討し、超高精細デジタルコンテンツ作成の基本方式の検証・確立を行なう。

- ①位置を固定した状態で、2台以上のデジタルカメラを設置する。
- ②投射型プロジェクターを用いてグリッドパターンを対象コンテンツに照射する。
- ③グリッドパターンをデジタルカメラで撮像する。
- ④撮像画像を基に補正方式を検討し、モデルを構築する。
- ⑤実際のコンテンツの画像を取得する。
- ⑥補正モデルに基づき画像を補正し合成する。

(3) 色補正処理（カラーマネージメント）

カラーマネージメントにおける主なチェックポイントは下記8項目である。最終目標は、コンテンツ流通において活用可能なカラーマネージメントの標準化であり、それは①～⑧をフローとしてつなげていくことから得られるものである。

下記各項目個別の特性と問題点の把握が最終目標に向けての本年度の基本的な研究内容となる。

- ①撮影時に生成されるデータの発色特性
- ②保存～配信時におけるカラーの劣化要因の有無
- ③メタデータすべき項目の抽出
- ④出力時における各出力デバイス固有の発色特性
- ⑤PSソフトリップによるカラーマネージメント特性
- ⑥キャリブレーションシステムにより生成される修正用カラープロファイル特性
- ⑦紙、その他出力メディアによる発色特性
- ⑧発色の主観的評価

本年度の研究の具体的内容は下記の通りである。

- ①に関しては、京都デジタルアーカイブ研究センターと京都の文化財の撮

影を高精細デジタルカメラで行ない、そのデータの検証からスタートする。この段階で生成される発色評価は、コンテンツ流通の起点となるので慎重に行われねばならない。よって初年度のコンテンツサンプル数は、ある程度絞って行う。また、撮影時のライティングの状況、レンズの種別、撮影距離、作品の原寸サイズ、描画手法等のデータも取り、高品位な撮影条件も検証を始める。それらの条件の中でメタデータとすべき項目を検証し、コンテンツ・メタデータ一元管理方式の研究との連携をはかる。アナログで撮影されたフィルムスキャナから生成されるデジタルデータとの対比は、次年度以降の研究項目とする。

④、⑤、⑦については、数点のコンテンツを選択し、いくつかのプリンターハードとその RIP、インクによる発色の差異を把握する。この段階では、紙（メディア）は固定して行う。その後、同じコンテンツでメディアを取り替え、出力実験を行う。この研究は、プロダクツ化の段階で必ず伴うマテリアルによる「色の振れ」を先に認識しておくためのものである。本研究の出力方式としては、インクジェットプリンターを主たる機材として使用するが、この実験を通し、他の出力方式におけるマテリアルの差異に対しても、汎用性のあるカラーマッチングの方策の方向性について掴めると考えている。使用するコンテンツは、新しく撮影される京都のコンテンツを主とするが、ルーブル美術館の収蔵品データの入手が早まれば、和と洋のコンテンツの差異についての検証もスタートさせる。

この実験で認識された振れ幅に関して、修正方法の実証が必要となる。現段階で考えられる一般的手法として、キャリブレーションシステムでの修正の評価を行うのが⑦である。時間の関係上、本格的実験は次年度になる可能性があるが、本年度は限られたコンテンツ数でも検証を進めておく。この研究により、キャリブレーションシステム以外でのプロダクツ化の段階におけるカラーマッチング手法についても検証が可能となる。②、③に関しては、随時他メンバーと情報交換を行ない、問題点を抽出、解決していく。

⑧は⑦までの各チェック項目における客観的視点であるデータをベースに、随時判断を下しコメントとして記録していく。

一方、Open Heritage Project へ連動する Crisatel プロジェクトがスタートしており、【課題 エ】の実証実験につなげるためにパリの C2RMF とプリントアウトフェーズにおけるカラーマッチングの第一回目の意見交換、調査も行なう。

(4) 質感表現三次元データ生成処理

下記 2 項目について検討・試作を行なう。

① 質感データ入力とその処理モデルの検討

可変角度による光源制御と反射光受光：ゴニオフォトメータによる入力および、双方向性反射特性 (BRDF : Bi-directional Reflectance Distribution Function) の解析により、光の入射および反射の方向と反射率の相互関係を表すモデル化を検討する。

② 質感表現手法の検討と具体的システム化の検討

二次元表示中心の超高精細コンテンツの疑似 3D 表現および 3D ナビゲ

ーション表示を検討し、さらに、質感表示実現のためのパイロット表示システムを検討する。

【課題 イ】ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

(1) コンテンツの階層的な蓄積方式

下記2項目について、検討・試作を行なう。

① コンテンツファイルの階層化

画像ファイルの解像度多重方式の基礎開発を行なう。

さらに、各種の検討・実験を通して、解像度分割の最適な値を求める

② コンテンツ情報の階層化

複数のコンテンツ管理サーバを構築した上で、それらコンテンツ管理サーバ同士の相互通信、連携の実験を行なう。

(2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

超高精細デジタルコンテンツに適した2～3種類の電子透かし方式について開発・実装を行ない、比較検討する。その際、既存方式との比較も合わせて実施する。なお、アルゴリズムの検討に際しては、画質・検出率の他、特に以下の2つの観点を考慮する。

① 部分埋め込み方式（切り取りに対し、耐性を有するもの）

② 全体埋め込み方式（拡大・縮小等のスケーラビリティに対し、耐性を有するもの）

(3) 分散環境著作権管理方式

コンテンツ管理サーバの動作環境のコンパクト化（効率的処理方式）について検討を行なう。さらに、クライアントアプリケーションレベルでのコントロールを実現する。

【課題 ウ】状況適応型コンテンツナビゲーション技術

(1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化

画像検索機能、画像表示機能を有するシステムをサーバ・クライアントモデルとして検討、構築する。

画像検索サーバは下記機能を有する。

① 画像から色ヒストグラム、形状等の画像特徴量を抽出するライブラリ群の整備

- ②画像と特徴量、さらには、撮影日時等付加的な情報の一元管理
- ③ユーザからのフィードバックの蓄積機能

検索クライアントは、下記機能を有する。

- ①検索キー入力（例示画像、キーワード等）のサポート
- ②一覧性の良いサムネイルを用いた結果表示
- ③ユーザのフィードバックの受付
- ④画像データベースの編集機能（付加的な情報の入力登録）

(2) キーワードと画像特徴のマッピング

(1)のシステムを用いて、ユーザのフィードバックや画像に対するキーワード等の付加的情報に関するデータを収集し、対象コンテンツのクラス分けを行なう。次に、それらクラス間の分類（クラスタリング）を行なう判別モデルについて検討する。

4-1-2 研究開発課題実施計画

(金額は非公表)

研究開発項目	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	計	備考
【課題 ア】超高精細コンテンツデジタル化技術 (1) 位置補正、画像合成処理 (2) ひずみ補正 (3) 色補正処理 (4) 質感表現三次元データ生成処理			基本方式 検討 →	試作 →		三菱電機 一部再委託： 京都市立芸術大学 京都デジタルアーカイブ研究センター 龍谷大学
【課題 イ】ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術 (1) コンテンツの階層的な蓄積方式 (2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし (3) 分散環境著作権管理方式			基本方式 検討 →	試作 →		三菱電機 一部再委託： (株)セラテムテクノロジー
【課題 ウ】状況適応型コンテンツナビゲーション技術 (1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化 (2) キーワードと画像特徴のマッピング			基本方式 検討 →	試作 →		三菱電機
間接経費						
合計						

- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。
 (合計の計は、「3-1の研究開発課題必要概算経費」の総額と一致)
- 2 備考欄に再委託先機関名を記載。

4-2 研究開発の実施内容

【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

(1)位置補正、画像合成処理

(2)ひずみ補正

- ①リファレンスパターン（印刷パターン、投射パターン併用）を用いたカメラ光学系ひずみ補正方式技術および大画面超高精細画像合成アルゴリズムを実装した画像合成・処理システムを試作した。
- ②上記システムを用いて、三井寺勸学院狩野派襖絵（重要文化財）の画像データを収集した。

(3)色補正処理（カラーマネージメント）

①三井寺重要文化財撮影を平成15年2月完了した。内容は以下のとおり。

- 撮影対象：園城寺（三井寺）観学院客殿上段の間（一の間）
 - ・襖12面
 - ・床間壁貼付『滝図』（杉木立と滝に雪山 狩野光信 筆）3面
- 撮影器材：
 - ・撮影用デジタルカメラ『フェーズワンFX』 ※最高解像度モードで使用
 - ・撮影用照明装置『FLライトシステム』4台
- 撮影カット数：22カット（分割撮影カット数10カット含む）
- 画像サイズ：
 - ・通常の襖：270～290MB
 - ・床壁貼付け襖：中央3分割画像 各540MB、左右脇画像 290MB
- 撮影画像のデータ処理：床壁貼付襖の分割撮影画像データの結合処理を実施。
 - ・元画像10点 → 結合処理後の画像5点。 ※「画像結合処理図」参照
- 画像記録フォーマット：8bit TIFF-RGB

②シェルブール美術館収蔵品1点出力実験（C2RMFからの使用許諾データ）を平成15年1月完了した。

③円山応挙、周文、狩野派作品出力実験を平成15年1月完了した。

④京都市美術館油絵収蔵品3点出力実験（京都デジタルアーカイブセンター経由）を平成15年3月完了した。

⑤京都デジタルアーカイブ研究センターより作品データ選定のアドバイスを受け伊藤快彦「大奥女中」（京都市美術館収蔵品）のデータでHPDesignJet5500PS/UVにて出力実験を実施。同一データで9種のメディアを使用。それぞれの色調の差異について実証研究を完了。

- ⑥ C2RMF 所蔵のシェルブール美術館収蔵品の作品データにて色調補正実験を実施。(ルーブル収蔵品の代替データとして)

(4) 質感表現三次元データ生成処理

- ①質感データ入力とその処理モデルの検討
ゴニオフォトメータを用いて、各種画材（顔料、染料、墨朱）及び各種素材（紙、布、石膏・粘土など）のマルチスペクトル光源に対応した基本反射特性基本データ収集を完了した。
- ②質感表現手法の検討と具体的システム化の検討
3D表示装置を用いた立体表示呈示システムによる立体表示を行った。

【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

(1) コンテンツの階層的な蓄積方式

- ①スタッフを渡米させ、元 Kodak の Flash Pix 開発責任者の 1 人へヒアリングを行った。
- ②既存フォーマットの問題点および特徴、利用アルゴリズムの抽出を行った。特に圧縮率と品質の関係については元画像との差分を数値化した。
- ③メタデータフォーマットの構造、データ格納方法の調査を行った。
- ④上記調査の成果と既存のノウハウを用い、さらに著作権の保持や検索を新たな条件として仕様の策定を行った。
- ⑤上記仕様策定の結果求められる機能を実現するために 2 つのアルゴリズムの検討、設計を行った。
- ⑥またその後プロトタイプクライアントアプリケーションに実装するべく Encoder/Decoder のプロトタイプ開発を行った。

(2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

- ①真正性を証明する電子透かしの開発
符号化された画像が改ざんされていないことを画像データから証明する電子透かしの方式について、高精細画像を用いた実用性の検証を行った。明暗が激しい画像や彩度の高い画像では、復号後に電子透かしが消滅する可能性があるが、データの整数化などによる丸め誤差であることがわかった。
- ②メタデータを埋め込む電子透かしの開発
鍵による着脱が可能な基本アルゴリズムを開発し、簡単な動作検証を行った。

(3) 分散環境著作権管理方式

- ①分散環境の著作権管理情報の連動が可能であり、また 1 サーバーにて複数の異なる種類や内容のコンテンツ検索が可能となるデータベースの仕様策定、クライアントとの連動や検索、情報共有の負荷を考慮した設計、プロトタイプ開発を行った。
- ②実際のビジネスシーンでの利用シーンからの問題抽出を中心に行った。
- ③上記の調査の成果と当社で保有していたデータを合わせ、分散環境下での著作権管理 DB を階層構造フォーマットとの連動を念頭に、仕様策定をおこな

- った。
- ④仕様策定および設計をもとにプロトタイプ分散環境型の著作権管理 DB の開発を行った。
 - ⑤渡仏して、Open Heritage Project 推進のメインの企業である CHOL との打ち合わせをおこない、分散環境著作権管理 DB のプロトタイプが完成した時点で、先方のプロジェクトの進捗状況及び先方にある DB の調査およびデータ共有方式の検討した。

【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

(1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化

- ①画像特徴量として色 (Color Layout)、ヒストグラム (HSV Color Histogram)、形状 (Texture) を用い、画像検索を行うシステムを開発した。
また、サムネイルによる結果の提示に加えて、ユーザに対して提示画像の評価を行うボタンを配し、その結果を Query Movement の手法を用いてフィードバックする仕組みを実装した。

(2) 上記システムの評価を行い、ユーザフィードバック等のデータの収集、検討に関する方式の検討を実施した。

5-ア 超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発

5-ア-1 位置補正・画像合成処理・ひずみ補正処理

5-ア-1-1 序論

文化財などのデジタル化に現在使用されている超高解像度スキャナは、装置の据付の制限、高輝度の照明が必要、データ取得に長時間を要すといった問題がある。この問題を解決するために、ワンショットデジタルカメラを用いて画像合成により超高精細画像コンテンツを生成する方式を検討した。ハードコピー（印刷）への利用を考慮すると、最低 4000×4000 pixels 以上が目標となる。

デジタルカメラで撮影した画像を活用して超高精細コンテンツを構成するために以下の研究開発テーマを設定した。

(1) 画像の位置補正およびひずみ補正処理

デジタルカメラを適当な位置に設置して撮影して得られた画像から、実際の画像のもつジオメトリを正確に計算することにより、ひずみのない画像を得る補正処理方式の研究を実施する。この研究により画像に平行なジオメトリ上、すなわち正面から見た画像を得ることができる。

(2) 画像合成処理

超高精細コンテンツを生成するために、絵画を複数の領域に分割し、デジタルカメラで撮影した各領域の画像データ群を合成する研究を実施する。(1)と合成することで、ひずみのない超高精細な画像を得ることができる。

本処理の実現するためにはカメラと絵画との間の何らかのキャリブレーションが必要になる。本研究では図 5-ア-1-1 に示すとおり、データプロジェクタにより参照を照射することでひずみ情報を得、その情報から超高精細画像を構成する方式に基づく方式を採用することとした。

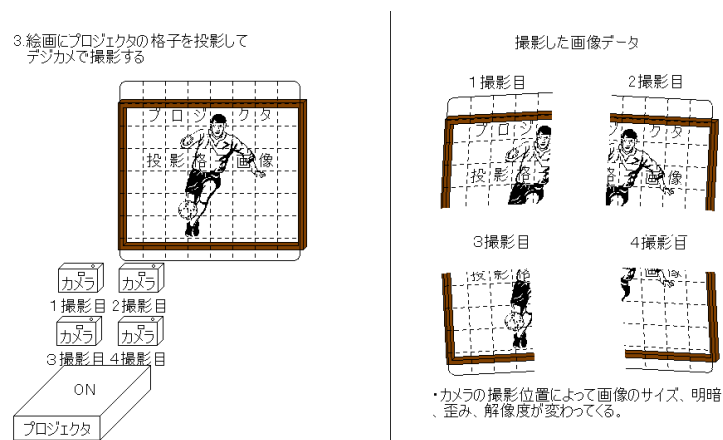


図 5-ア-1-1 超高精細画像の合成

5-ア-1-2 平成14年度研究開発目標

上述のキャリブレーションモデルおよび画像合成方式の実現には様々なアルゴリズムを適用することができる。アルゴリズムの改良・精度向上のためにもまず基本となるシステムの構築が必要である。そこで本年度は、まず本キャリブレーションモデルと構成方式により高精細な画像が得られることを実証することを目標とし、プロトタイプを検討・構築する。

プロトタイプの要件は次のとおり。

- ・ 処理全体の自動化は目標のひとつであるが、方式の実証の意味で手動処理を許容する。
- ・ 基本部分を構成するのが目標であるため、まず各処理1つのアルゴリズムを選定し、実現する。
- ・ 各処理において複数アルゴリズムが存在することから、アルゴリズムを差し替えることが容易であることとする。つまり各処理を部品化したツールを実現し、それを接続することにより全体処理を実現する。

以下、研究開発内容について詳述する。

5-ア-1-3 システム構成

システム構成をデータ取得手順と処理手順に分けて説明する。
初期データを得るために以下のリソースを使用する。

- ・ グリッドパターンの描かれたアクリル板
- ・ キャリブレーション用カメラ
- ・ キャリブレーション用プロジェクタ
- ・ 撮像カメラ

次の手順で初期データを採取する。

- ・ アクリル板を被写体位置に設置し、さらにプロジェクタで特徴点採取用の画像を照射することにより、特徴点処理用の画像を取得
- ・ 撮像カメラとプロジェクタにより同様に各部分の特徴点処理用画像と部分画像を取得

これらのデータに対して次の手順で超高精細画像を合成する。

- ・ プロジェクタとアクリル板間の画像変換係数を算出
- ・ プロジェクタと各部分の画像の画像変換係数を算出
- ・ 2つの変換係数に基づき撮像カメラで得られた各部分画像からジオメトリを修正した部分画像を計算
- ・ 各部分画像を合成して全体を含む超高精細画像を計算

以上の処理をデータフローにより表現した全体概略フローを図5-ア-1-2に示す。

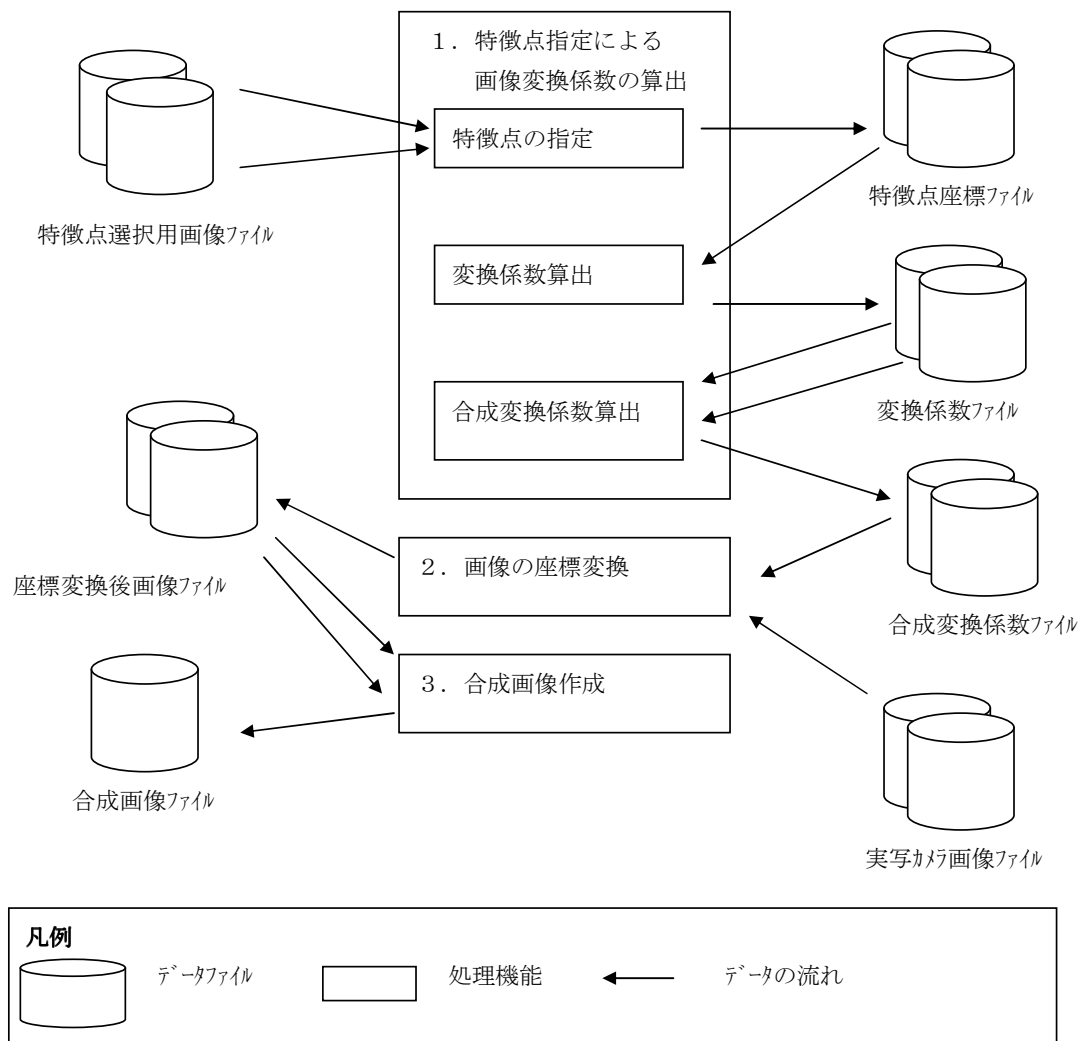


図5-ア-1-2 全体概略フロー

各概略機能は以下のとおり。

- (1) 特徴点指定による画像変換係数の算出
- (2) 画像の座標変換
- (3) 合成画像作成

次項以降詳細について説明する。

5-ア-1-4 特徴点指定による画像変換係数の算出

実写カメラで撮影した画像データから合成画像を作成するために以下の2次元座標系を導入する。

- ・ アクリル座標系(絵画)
- ・ プロジェクタ座標系
- ・ キャリブレーションカメラ座標系
- ・ 実写カメラ座標系

上記座標系間の射影変換を以下の射影変換式とする。

$$x' = (q_1x + q_2y + q_3) / (q_7x + q_8y + 1)$$

$$y' = (q_4x + q_5y + q_6) / (q_7x + q_8y + 1)$$

ここで、 $q_1 \sim q_8$ を変換係数とし、

$$Q = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8)$$

と表現する。ここでは、各座標系を定義してそれら座標系間の変換式の変換係数(Q)を算出する手順について説明する。

- (1) アクリル座標系(絵画の座標系)とキャリブレーションカメラ座標系の変換

① 画像データの撮影

図5-ア-1-3のように被写体位置にアクリル板を設置してキャリブレーションカメラで撮影する。

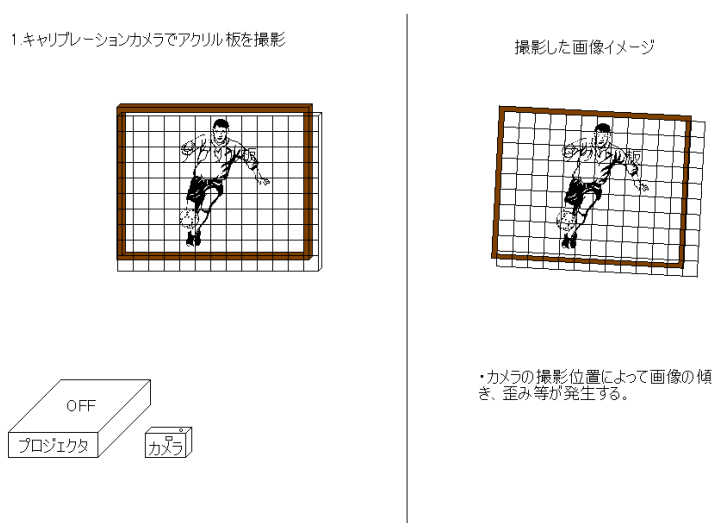


図5-ア-1-3 キャリブレーションカメラによるアクリル板撮影

② 写像の定義

アクリル座標系上の点の集合をA、キャリブレーションカメラ上の座標系上の点の集合をCとしてCからAへの写像Fを定義する。ただしFは、射影変換で表現できるものとする（図5-ア-1-4）。

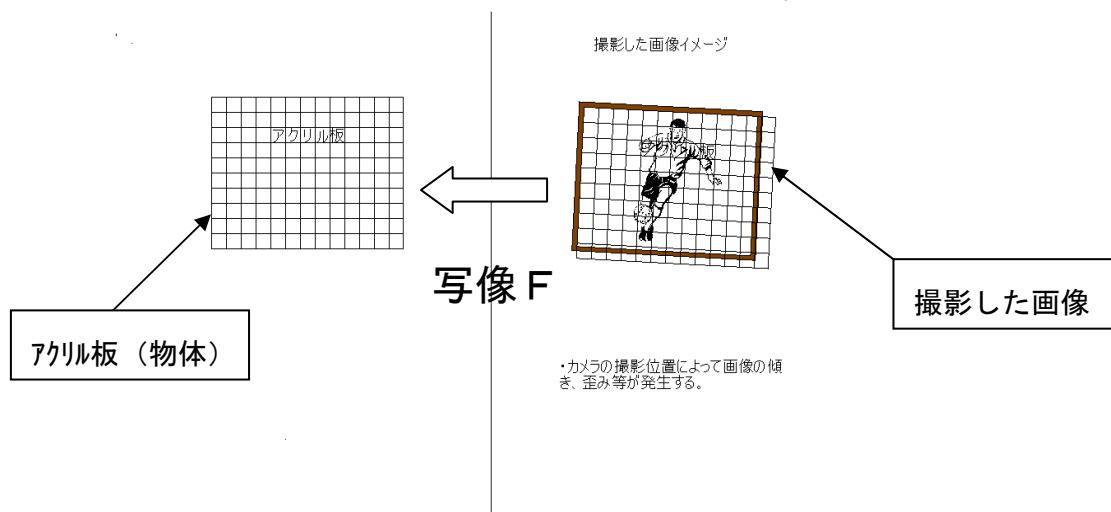


図5-ア-1-4 写像F

③ 座標系の定義

アクリル座標系とキャリブレーション座標系を図5-ア-1-5、図5-ア-1-6のように定義する。

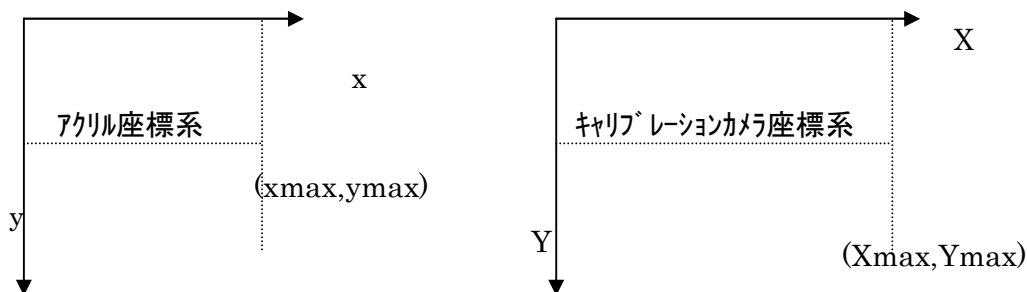


図5-ア-1-5 アクリル座標系とキャリブレーション座標系

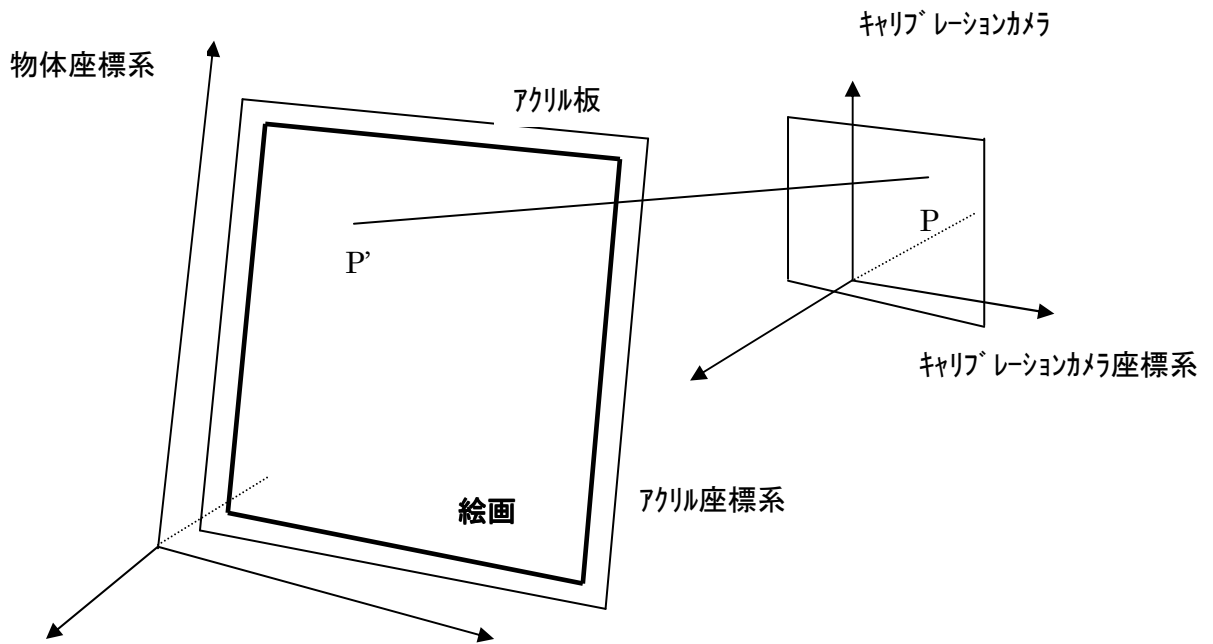


図5-ア-1-6 座標系の位置関係
(アクリル - キャリブレーションカメラ)

④ 変換係数の算出

(1) ここでは、写像 F の変換式の変換係数の算出手順を説明する。

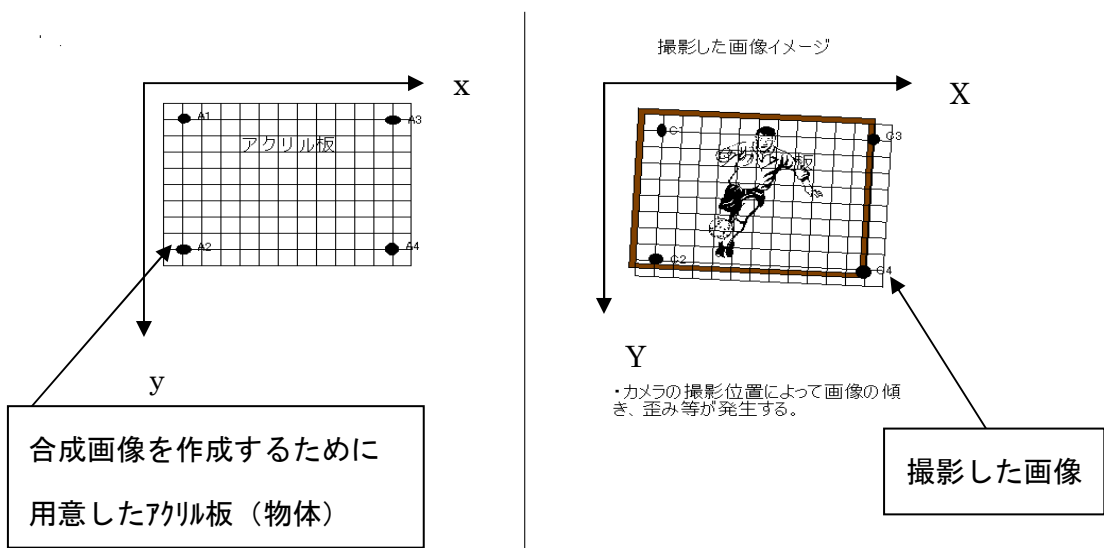


図5-ア-1-7 特徴点の選択

アクリル座標系上の点を n 点選び、それを

$$A_1(x_1, y_1), A_2(x_2, y_2), A_3(x_3, y_3), A_n(x_n, y_n)$$

とし、対応するキャリブレーションカメラ座標の点を

$$C_1(x_1', y_1'), C_2(x_2', y_2'), C_3(x_3', y_3'), C_n(x_n', y_n')$$

とする。

$$A \ni \{A_1, A_2, A_3 \dots A_n\}, C \ni \{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$$

として、選択した対応する座標点から以下の射影変換式のパラメータを最小2乗法で推定する。射影変換式から

$$\begin{aligned} x' &= (f q_1 x + f q_2 y + f q_3) / (f q_7 x + f q_8 y + 1) \\ y' &= (f q_4 x + f q_5 y + f q_6) / (f q_7 x + f q_8 y + 1) \end{aligned}$$

ここで、求めるパラメータをFQとする。

$$FQ = (f q_1, f q_2, f q_3, f q_4, f q_5, f q_6, f q_7, f q_8)$$

(2) プロジェクタ座標系とキャリブレーションカメラ座標系の変換

① 画像データの撮影

図5-ア-1-8のように絵画にプロジェクタで格子を投影し、キャリブレーションカメラで撮影する。

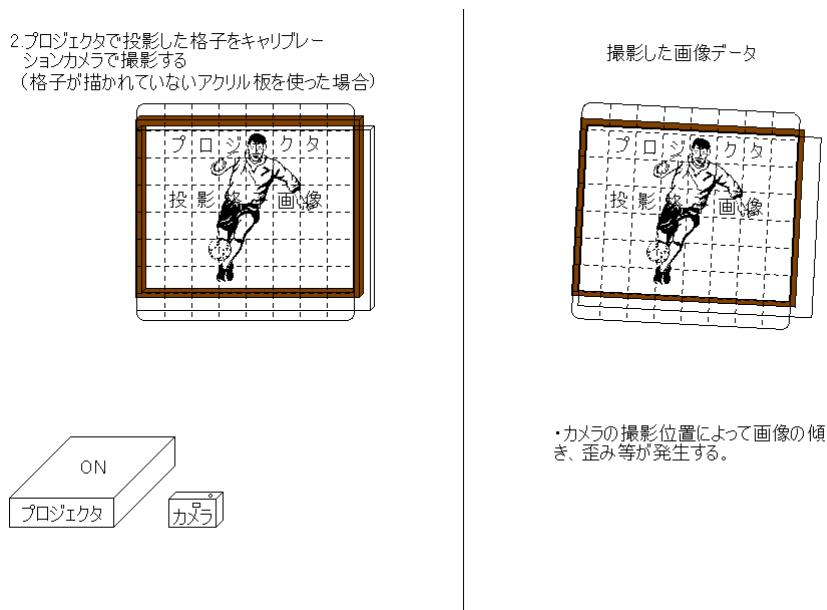


図5-ア-1-8 キャリブレーションカメラでプロジェクタ格子を撮影

② 写像の定義

プロジェクタ座標系上の点の集合をP、キャリブレーションカメラ上の座標系上の点の集合をCとして写像Gを図5-ア-1-9のとおり定義する。Gは、射影変換で表現できるものとする。

写像G: $P \rightarrow C$

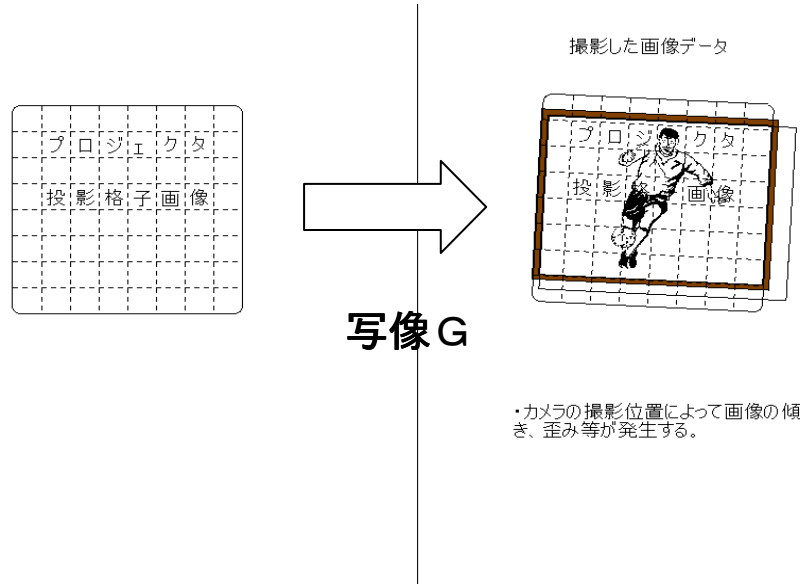


図5-ア-1-9 写像G

③ 座標系の定義

プロジェクタ座標系を図5-ア-1-10、図5-ア-1-11のように定義する。

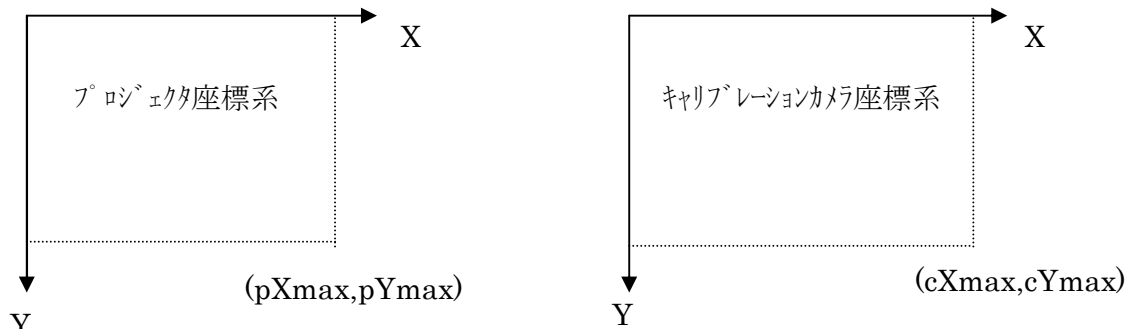


図5-ア-1-10 プロジェクタ座標系とキャリブレーション座標系

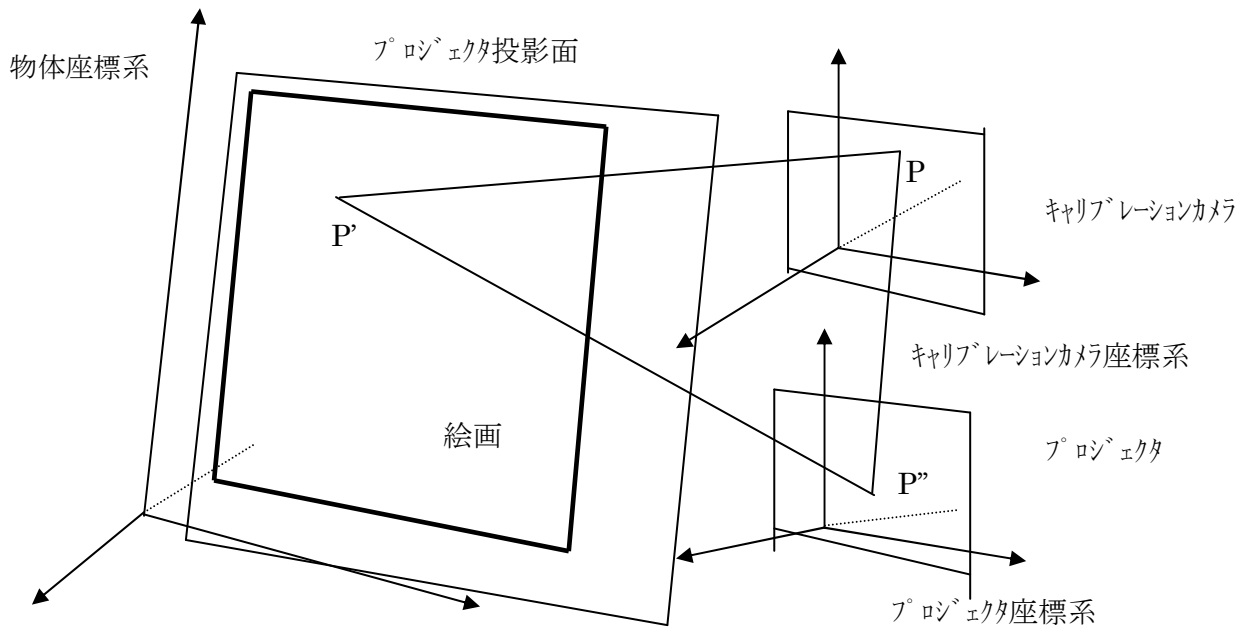


図5-ア-1-11 座標系の位置関係
(プロジェクタキャリブレーションカメラ)

④ 変換係数の算出

ここでは写像Gの変換式の変換係数の算出手順を説明する。

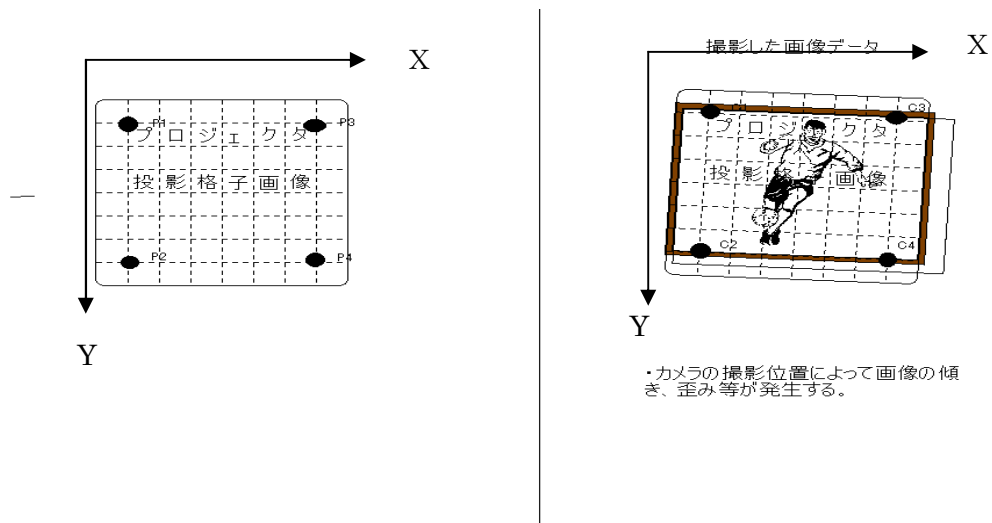


図5-ア-1-12 特徴点の選択

図5-ア-1-12のとおりプロジェクタ座標系上の点を n 点選び、それを

$$P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), P_3(x_3, y_3), P_n(x_n, y_n)$$

とし、対応するキャリブレーションカメラ座標の点を

$$C_1(x_1', y_1'), C_2(x_2', y_2'), C_3(x_3', y_3'), C_n(x_n', y_n')$$

とする。

$$P \ni \{P_1, P_2, P_3 \dots P_n\}, C \ni \{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$$

として選択した対応する座標点から、以下の射影変換式のパラメータを最小2乗法で推定する。

射影変換式から

$$\begin{aligned} x' &= (gq_1x + gq_2y + gq_3) / (gq_7x + gq_8y + 1) \\ y' &= (gq_4x + gq_5y + gq_6) / (gq_7x + gq_8y + 1) \end{aligned}$$

ここで求めるパラメータをGQとすると

$$GQ = (gq_1, gq_2, gq_3, gq_4, gq_5, gq_6, gq_7, gq_8)$$

となる。

(3) プロジェクタ座標系と実写カメラ座標系の変換

① 画像データの撮影

図5-ア-1-13のように絵画にプロジェクタで格子を投影して実写カメラで撮影する。

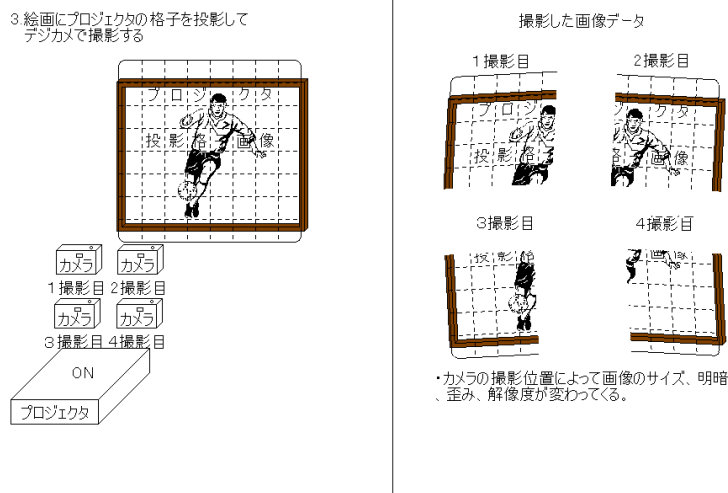


図5-ア-1-13 実写カメラで絵画を撮影

② 写像の定義

プロジェクタ座標系上の点の集合を P 、実写カメラ上の座標系上の点の集合を R_i として写像 H_i を図 5-ア-1-14 のように定義する。 H_i は、射影変換で表現できるものとする。

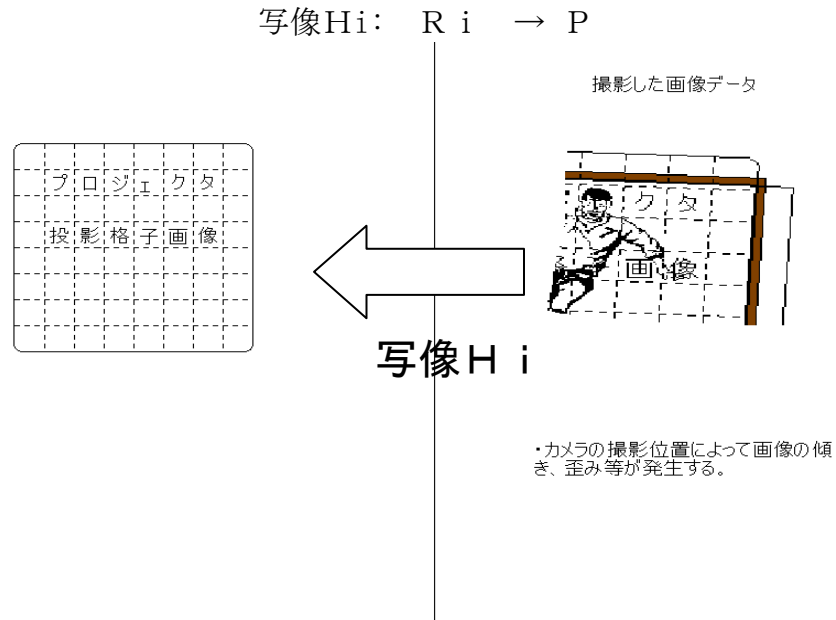


図 5-ア-1-14 写像 H_i

③ 座標系の定義

実写カメラ座標系を図 5-ア-1-15、図 5-ア-1-16 のように定義する。

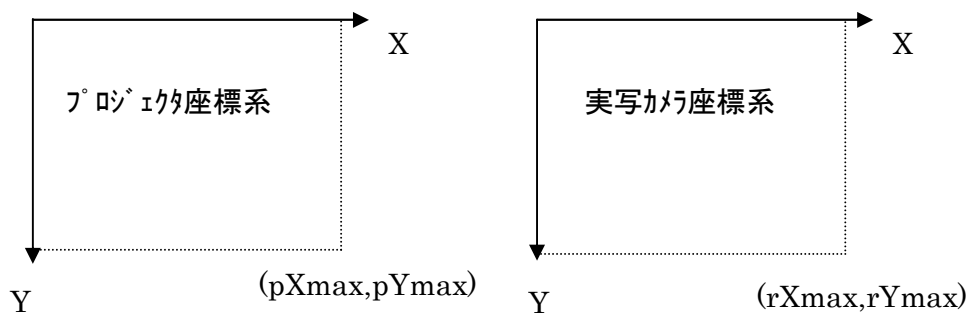


図 5-ア-1-15 プロジェクタ座標系と実写カメラ座標系

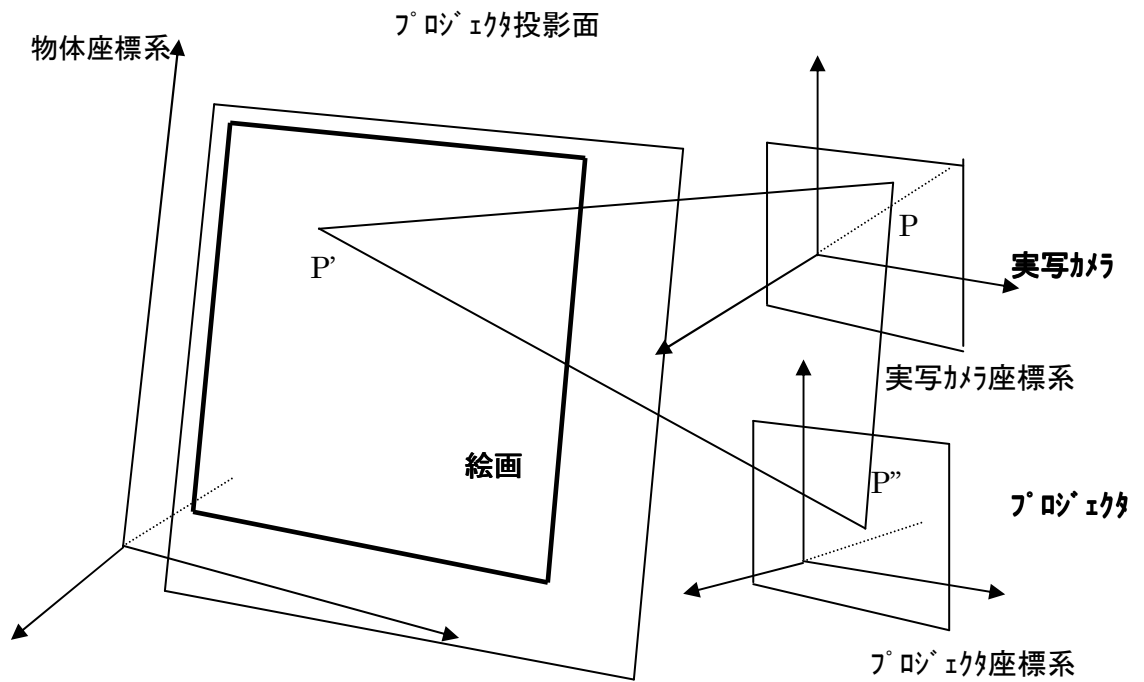


図5-ア-1-16 座標系の位置関係(プロジェクト実写カメラ)

④ 変換係数の算出

ここでは写像 H_i の変換式の変換係数の算出手順を説明する。

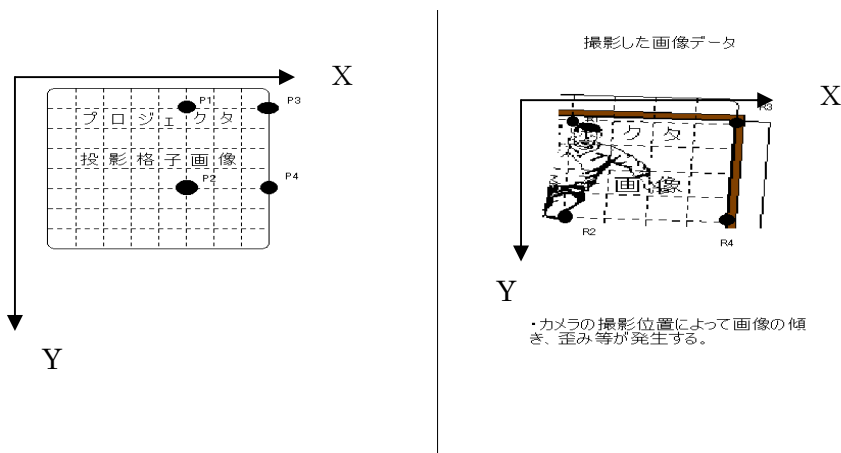


図5-ア-1-17 特徴点の選択

図5-ア-1-17のとおりプロジェクト座標系上の点を n 点選び、それを

$$P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), P_3(x_3, y_3), P_n(x_n, y_n)$$

とし、対応する実写カメラ座標の点を

$$R_1(x_1', y_1'), R_2(x_2', y_2'), R_3(x_3', y_3'), R_n(x_n', y_n')$$

とし、

$$P \ni \{P_1, P_2, P_3 \dots P_n\}, Ri \ni \{Ri_1, Ri_2, Ri_3 \dots Ri_n\}$$

とする。選択した対応する座標点から、以下の射影変換式のパラメータを最小2乗法で推定する。射影変換式から

$$\begin{aligned} x' &= (hiq_1x + hiq_2y + hiq_3) / (hiq_7x + hiq_8y + 1) \\ y' &= (hiq_4x + hiq_5y + hiq_6) / (hiq_7x + hiq_8y + 1) \end{aligned}$$

ここで求めるパラメータをH i Qとすると次のとおり。

$$HiQ = (hiq_1, hiq_2, hiq_3, hiq_4, hiq_5, hiq_6, hiq_7, hiq_8)$$

(4) 特徴点の選択

各座標系の特徴点は、G U I画面上でユーザがマウスで選択して指定する。
ここでは、そのマウス選択を行うウィンドウの座標系と対象座標系の関係について説明する。

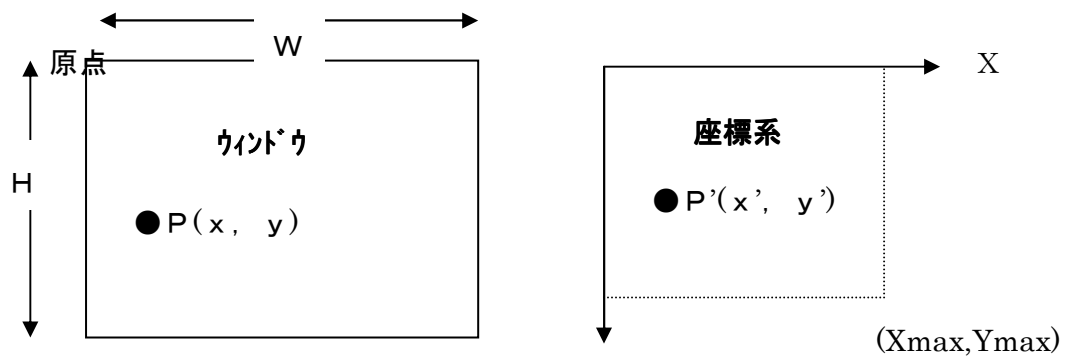


図5-ア-1-18 ウィンドウ座標系

ここで、

H : ウィンドウの高さ、W : ウィンドウの幅

としてP(x, y)をマウス選択して座標P' (x' , y')を求める変換式

$$\begin{aligned} X' &= X * Xmax / W \\ Y' &= Y * Ymax / H \end{aligned}$$

Xmax/W=1 , Ymax/H=1 に設定した場合、操作画面に表示されているウィンドウ座標系と、座標系が等倍になる。

(5) 合成変換係数の算出

①写象の合成

射影変換による座標系間の写像の合成は、射影変換となりその変換係数(Q)は、変換行列を利用して求めることができる。

$$\begin{pmatrix} Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_2 \end{pmatrix}$$

② 実写カメラ座標系からアクリル座標系への変換

実写カメラ座標系からアクリル座標系への写像は、以下のような合成写像となる。

$$\text{写像 } E_i \text{ HiGF: } R_i \rightarrow A$$

上記の写像は、射影変換を連続3回行うため、その合成写像は射影変換となり、変換係数 $E_i Q$ は、以下のように行列演算で求めることができる。

$$\begin{pmatrix} E_i Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} FQ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} GQ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} HiQ \end{pmatrix}$$

5-ア-1-5 画像の座標変換

画像の座標変換処理は補間アルゴリズムを伴う。ここでは一般のパッケージに従い、

- 最近傍値
- 線形補間
- cubic convolution

を利用する。本年度は画像処理ライブラリを用いて各種変換・補間を実現した。

5-ア-1-6 合成画像の作成

座標変換して得られた画像を合成する。本年度はもっとも一般的なクロスフェード処理により合成機能を実現した。クロスフェードするためにはそのエリア(幅)を決める必要があるが、本年度は手動および自動的に検出する方法を実現した。

(1) クロスフェード処理

分割画像間で、重なっているエリア内にクロスフェード処理を行うエリア（縦または横方向）を決定する。

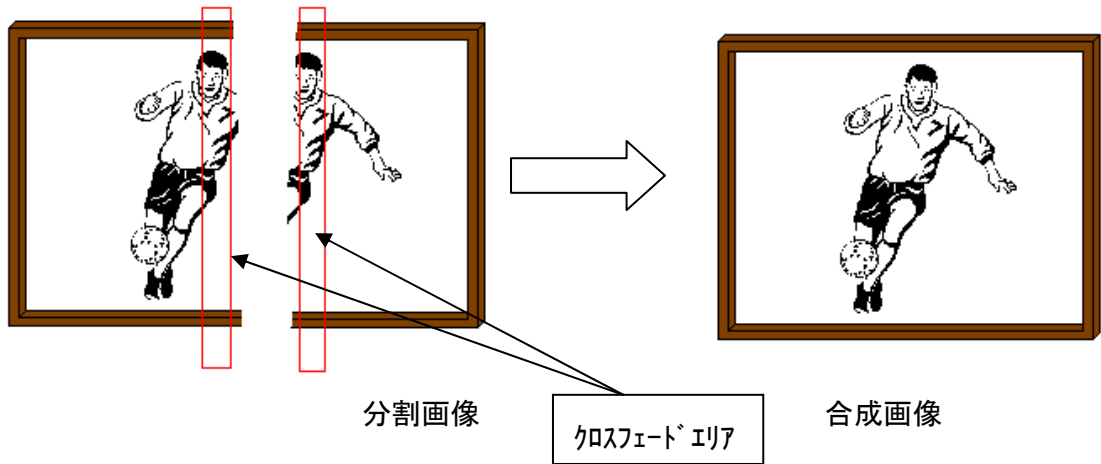


図5-ア-1-19 クロスフェード

クロスフェードエリア内の各座標点の画素内容（RGB）を図5-ア-1-20に示す比率で合成して合成画像を作成する。

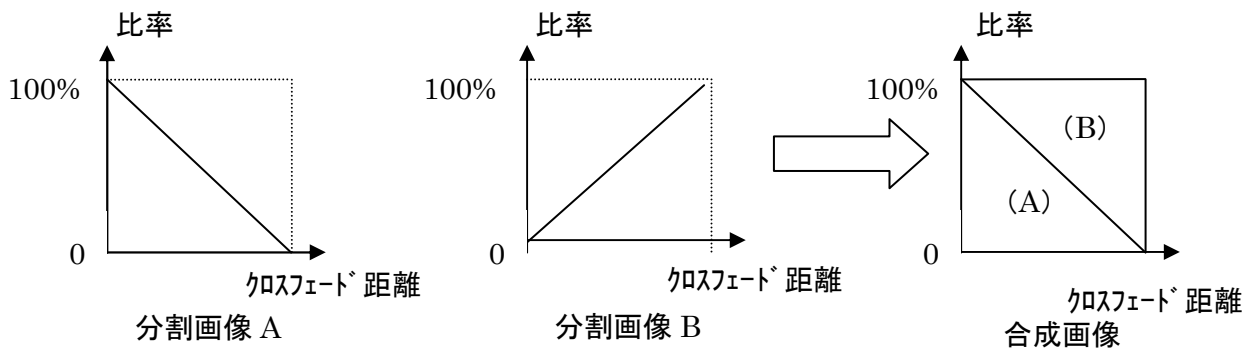


図5-ア-1-20 クロスフェードの比率

(2) クロスフェードエリアの指定（手動）

クロスフェードエリアを手動で指定する時は、図5-ア-1-21のように分割画像の同一座標点を指定する。

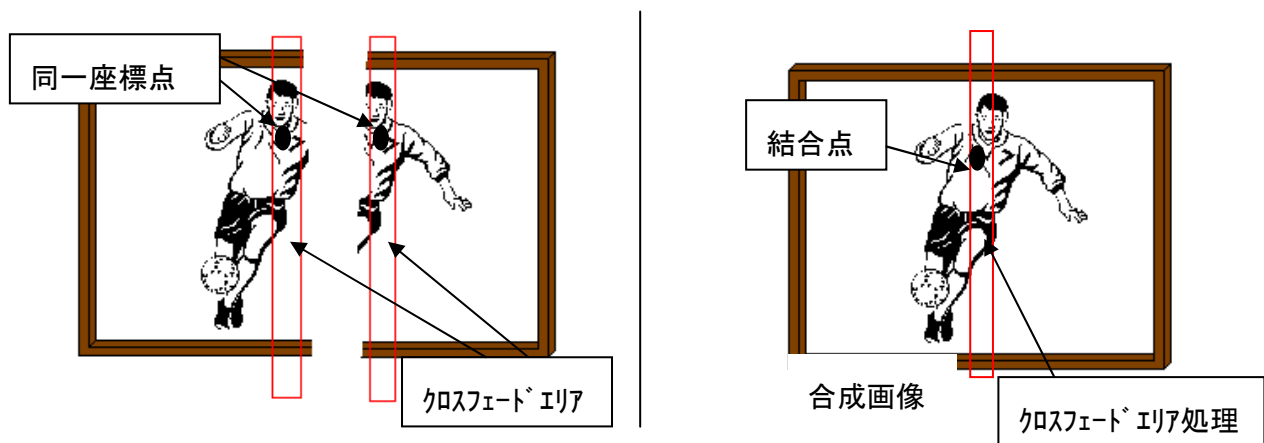


図5-ア-1-21 分割画像の同一座標の指定

分割画像を結合する方向（縦または横）を指定してクロスフェードエリアを求める。ここで、幅（クロスフェード距離）はあらかじめ設定された値を既定値とするが、変更も可能とする（クロスフェード距離を0に指定した場合は、分割画像の結合のみ行う）。

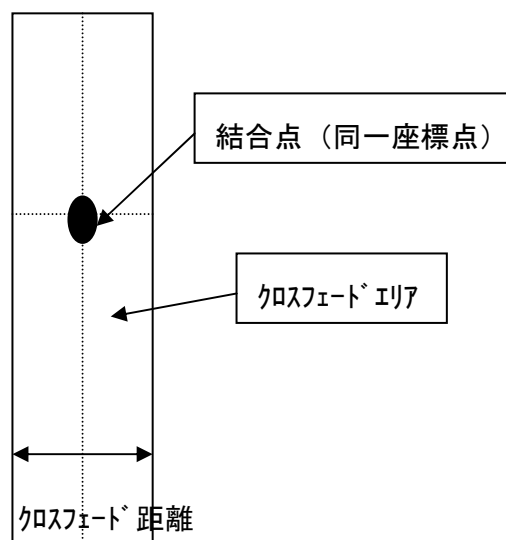


図5-ア-1-22 結合点とクロスフェードエリア

(3) クロスフェードエリアの自動検出

クロスフェードエリアの自動検出を行い、自動合成処理を行う。ここでは、クロスフェードエリアの検出方法について説明する。

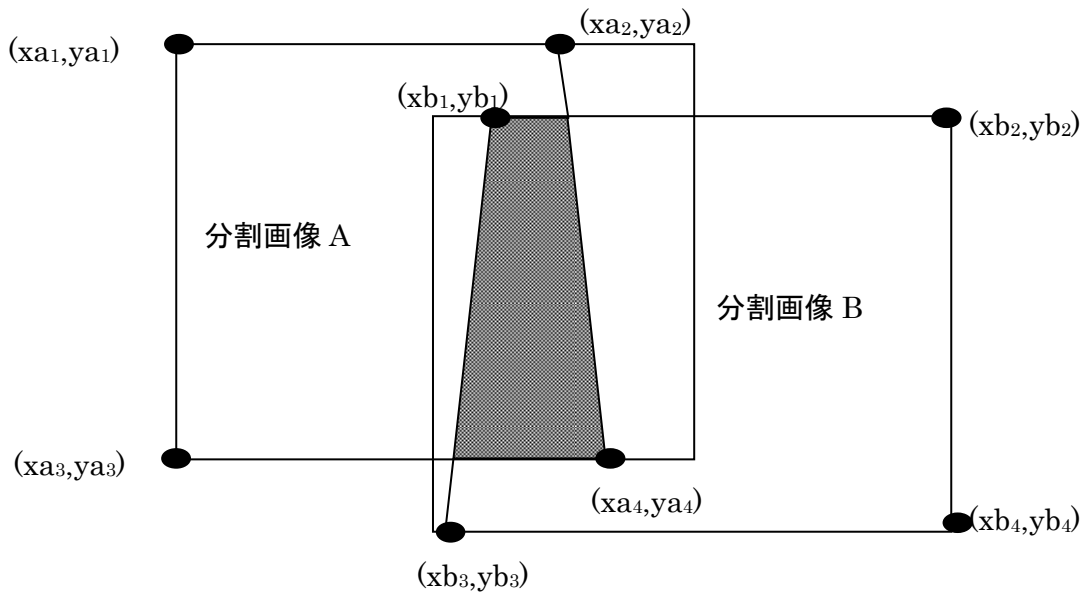


図 5 - ア - 1 - 2 3 分割画像の重なり例

分割画像の 4 隅の座標点（アクリル板座標系）から図 5 - ア - 1 - 2 3 画像の重なりを求める。これらの座標点は、各画像変換処理工程ごとに求めておく。次に、画像の重なりの中に入る最大の高さを持つ四角形を求めてその中心点を結合点として、パラメータで指定されたクロスフェード距離からクロスフェードエリアを検出する。

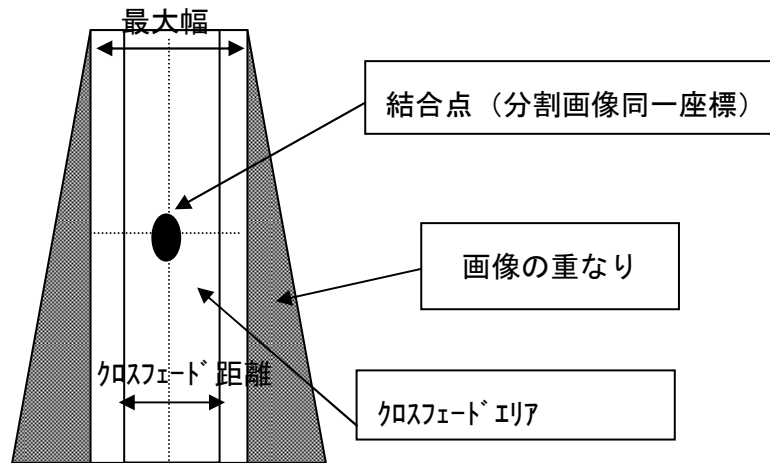


図 5 - ア - 1 - 2 4 画像の重なりとクロスフェードエリア

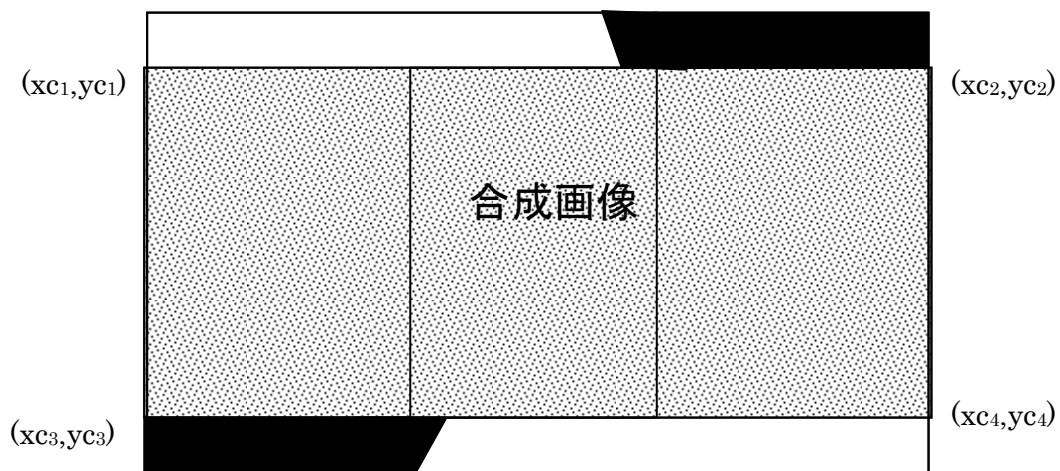


図5-ア-1-25 クロスフェード後の合成画像例

(4) 複数分割画像の合成

① 結合方向

分割画像が複数ある場合は、図5-ア-1-26のように縦方向、横方向の合成を繰り返し行い、合成画像を作成する。合成する方向の順序（縦方向優先または横方向優先）は、利用者指定可能とする。

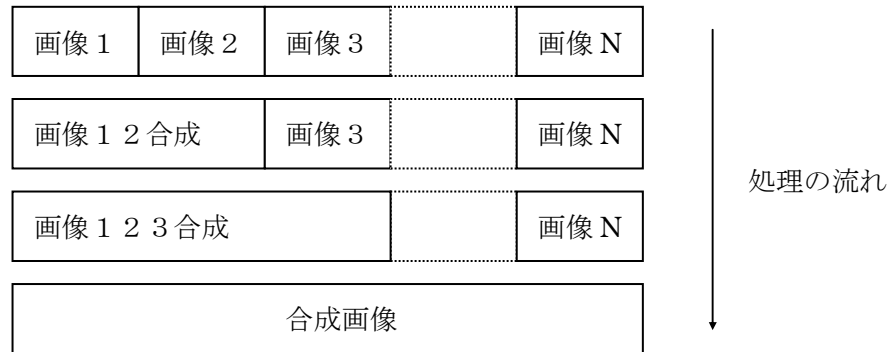


図5-ア-1-26 横方向の画像合成手順

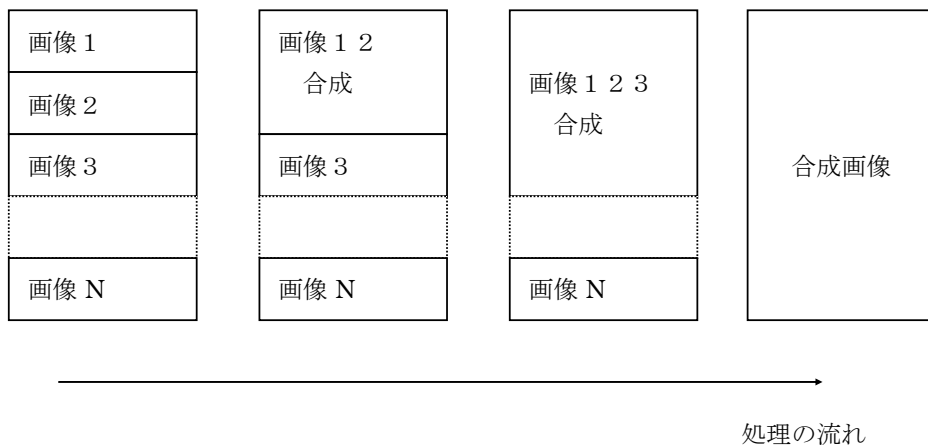


図5-ア-1-27 縦方向の画像合成手順

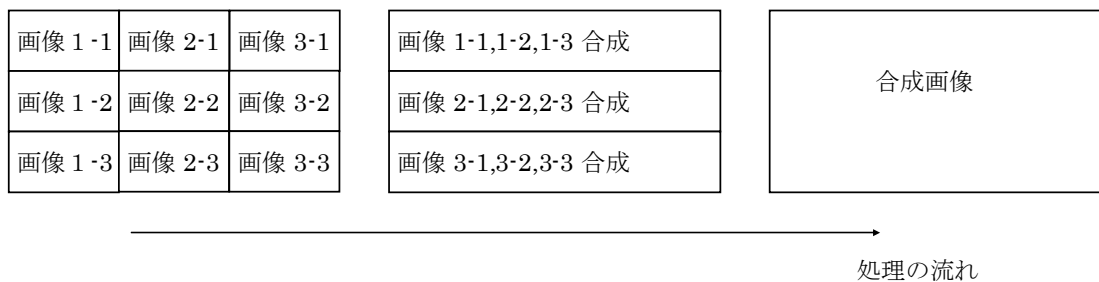


図5-ア-1-28 画像合成手順(横方向優先)

② 結合手順の決定

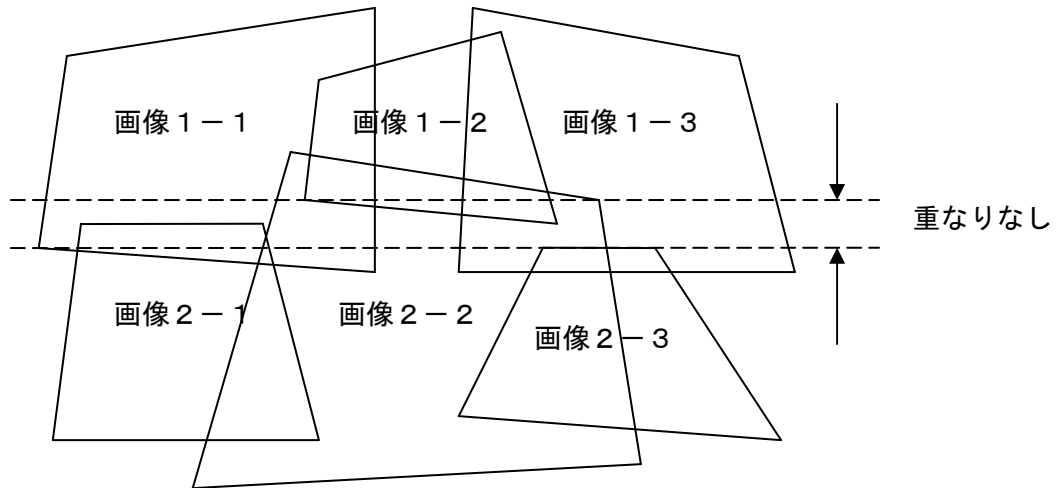


図 5 - ア - 1 - 2 9 分割画像の合成

分割画像が複数ある場合は、利用者が指定した、結合方向に従って順次分割画像を結合する。但し、図 5 - ア - 1 - 2 9 のような分割画像を横方向優先で作成する場合は、横方向の分割画像作成後、縦方向の合成が可能となるように、分割画像の結合手順を決定する。結果を図 5 - ア - 1 - 3 0 に示す。

$$\begin{aligned} \text{合成画像} = & (\text{画像 1-1} + (\text{画像 1-2} + \text{画像 2-2}) + \text{画像 1-3}) \\ & + (\text{画像 2-1} + \text{画像 2-2} + \text{画像 2-3}) \end{aligned}$$

ここで、+ : 横結合、+ : 縦結合とする。

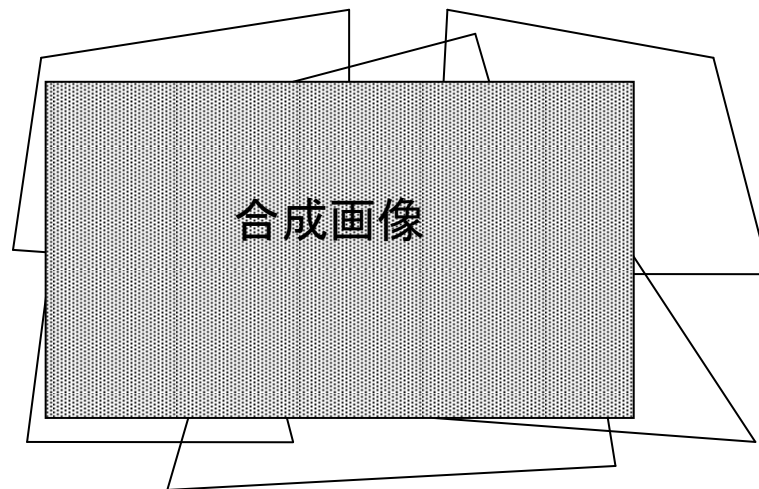


図5-ア-1-30 分割画像の合成結果

5-ア-1-7 実装

本実装は、図5-ア-1-31のとおり、以下のプログラムで構成される。

- 画面操作部
- 処理手順制御部
- 画像処理演算部

画面操作部は、利用者にユーザインタフェースを提供し、利用者の操作内容に従って処理手順を制御する Shell Script を起動する。処理手順制御部では、処理手順に従って該当する画像処理演算プログラムを順次起動する。画像処理演算部は、画像処理および関連する画像演算プログラムで構成される。

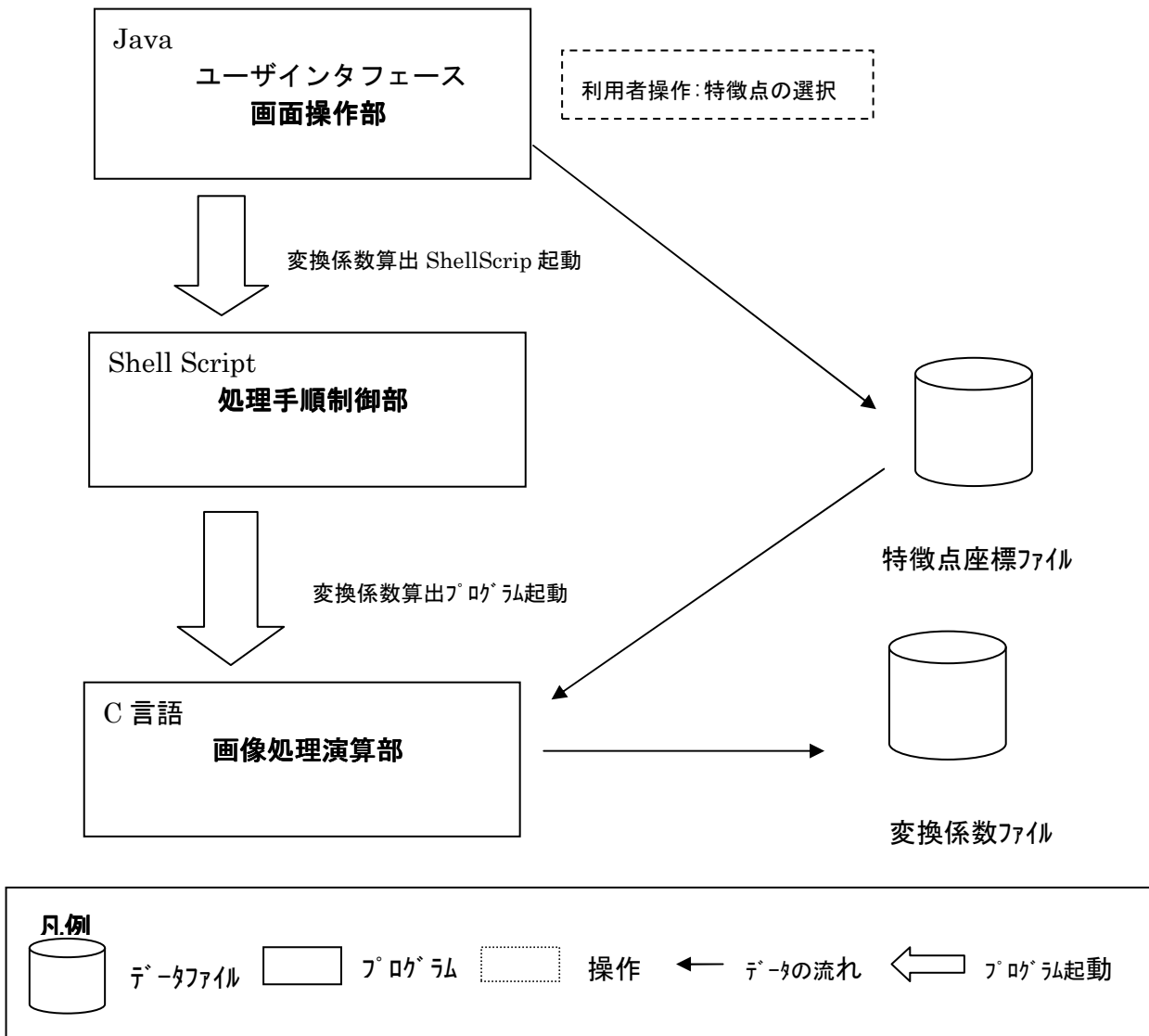


図5-ア-1-31 プログラムの起動例

5-ア-1-8 評価とまとめ

本年度は本方式により合成データが得られることを確認することが目標である。そこで襖絵を撮影・合成したところ良好なデータが得られ、方式として問題ないことが確認された。添付資料(5-ア-2-1)参照に合成画像の一例を示す。

5-ア-2 色補正処理（カラーマネージメント）

5-ア-2-1 序論

(1) 現状の概要

従来からの印刷方式であるオフセットやグラビア印刷では、印刷所におけるコンテンツの集中管理下において、カラーマネージメントがなされてきた。また、印刷機におけるカラーマッチングに関するワークフローも長年の技術蓄積があり標準化されている。

しかし近年の高細密な入出力機器の出現とネットワークによる分散処理される状況の出現に対し、標準化されたカラーマネージメントシステムの確立がなされていない。

(2) 現状の詳細

① 機器の進歩がこの数年にあまりに急速であったこと。

入出力機器の進歩が急速であり、各機器のモデルチェンジも早く、能力もその都度上がるがゆえに、カラーマッチングにおいて各社、各機器の枠を越えた標準化をするという考えに至らない状態が続いている。

また、機器のコストダウンにより入出力とも急速に分散型になり、プロの技術者以外も入出力に携わるようになってきていること。スキャナの能力は2400dpiを越えたものが数万円以内という安価で入手できるようになった。このdpi数は反射原稿においては、精密な出力に十分な能力を持っている。フィルムスキャナにおいても、dpi数が大幅に上がり、コストは逆に大幅に下がっている。デジタルカメラでも同様の傾向が続いている。この状況で、印刷の専門職でない者が簡単に入出力に携われるようになってきている。

その他に、ブロードバンドの普及により、誰でも高細密な画像データをダウンロードし、利用することも技術的には容易になってきた。かつては、オフセットやグラビア方式の印刷を対象に、印刷会社内のプロのみが行った入出力作業が、素人の手によりそれに準ずるクオリティが得られるようになってきたのである。

このような状況下、各入出力機器で、プロユースレベルのカラーマッチングが容易になれば、コンテンツの流通が増加し、様々な用途への利用が促進されると思われる。この事実は新しい分散型のコンテンツ関連市場創造の可能性を示すものである。

② RGBとCMYK両データが混在し、流通していること。

RGBのデータは、CMYKのデータより色帯域が広い。言い換えればCMYKデータよりRGBのデータは、多くの色の階調を持っている。よってデータの保存は、入力時のRGBデータのまま保存しておけば、より再現性の高い出力機器が開発された場合、より高細密な表現の可能性を持つと言える。

ところが、最も普及している印刷方式であるオフセットやグラビアでは、CMYKの製版を基本とするため、工程の早い段階で画像データはCMYKに変換、統一され、流通するのが一般的である。

つまりデータをアーカイブして保存するには、印刷工程で使用されたCMYKはふさわしくないと言える。もちろんCMYKのデータをRGBに再変換することは可能であるが失われた色帯域は元に戻ることはない。

近年まで、データとして保存されているコンテンツの多くは、印刷用に加工されたCMYKデータである。よってこれからの画像データはRGBによる保存を基本とすべきである、この基準の確立が必須である。

- ③ インクジェットプリンターの進歩により出力用紙のバリエーションが急増し、その色再現特性の研究が必要となったこと。

インクジェットプリンターを中心とする最近の出力機器では、様々な用紙による出力が可能となった。従来のオフセット印刷における高精細な再現がコート系の用紙に限定されるのと大きな違いがある。

例えば、日本古来の和紙を中心とするマット系の用紙における再現では、インクジェットプリンターは、オフセット印刷での色の再現を完全に凌駕している。また、屋外用のテント生地、テキスタイルにも使用できる布、ディスプレイなどに使える透明フィルムやミラー系メディアなど、多種多様な用紙の使用が可能である。

この事実は、画像データのワンソースマルチユースの可能性に大きな期待を持たせる。

ただし、これだけの高品位な再現できるインクヘッドやプリンタドライバの開発はごく近年のことであり、用紙に対する再現研究は途についたばかりである。

一方、カラーマッチングに関する研究は、入出力機器メーカーごと機器単位でなされているが、分散型のワークフローにおける入力から出力までを総合化した研究は、各関連学会を含め、充分なされているとは言い難い。

例えば、印刷学会が中心となり開発が進んでいる JAPAN COLEAR というカラーマッチングの標準化システムがあるが、対象はオフセット印刷である。現在開発中のプリンターに対しての JAPAN COLEAR のシステムもオフセットに対するプルーフのためのものである。

5-ア-2-2 研究開発の実施状況

(1) 作品選定

京都デジタルアーカイブ研究センターより作品データ選定のアドバイスを受け伊藤快彦「大奥女中」(京都市美術館収蔵品)のデータを選択。使用許諾を受け、HPDesignJet5500PS/UVにて出力実験を実施。同一データで9種のメディアを使用。それぞれの色調の差異について実証研究を完了。

ギリシアにおけるCrisatelプロジェクトレビュー(4月4日)における発表資料として提出。添付資料(5-ア-2-1)を参照

(2) 研究目的

ワニスが塗布された油絵作品における再現研究の内、出力フェーズの用紙の種類により生じる発色の差異を把握すること。

(3) 研究開発環境

①プリンター

ヒューレットパッカード DesignJet5500PS・UV

欧州 Open Heritage Project の主要メンバーであるルーブル美術館や C2RMF で導入されているプリンターの後継機であることが使用理由である。

②PC 端末

DELL Precision340 (WINDOWS PC) (純正モニタと DLP モニタを併用)

Apple PowerMacG 4 (MAC OS PC) (純正モニタ)

③アプリケーション

アドビ フォトショップ (画像加工に使用)

アドビ イラストレーター (作品ラベル作成、パネルレイアウトに使用)

④分光光度計

GretagMacbeth EYE ONE

⑤メディア

Hewlett-Packard Studio Canvas (ヒューレットパッカード スタジオキャンバス)

Hewlett-Packard Half-Gloss Paper (ヒューレットパッカード ハーフグロスペーパー)

Hewlett-Packard Matte Paper (ヒューレットパッカード社マットペーパー)

Pictorico Hi-Gloss (ピクトリコ ハイグロス)

Pictorico Velvety (ピクトリコ ベルベッティ)

Sakura Canvas (桜井 キャンバス)

Sakurai Matte Synthetic Paper (桜井 マットペーパー)

Sakurai IJ Tarpaulin (桜井 IJ ターポリン)

Too Canvas Cloth (Too キャンバスクロス)

Too Washi White (Too 和紙ホワイト)

EPSON PX/MC (プレミアムマット紙)

(4) 今回の研究に使用した作品

- ・作家名 伊藤快彦 (いとうやすひこ)
- ・作品名 大奥女中
- ・収蔵元 京都市立美術館
- ・データ 4×5サイズのポジフィルムをフィルムスキャナでデータ化
- ・著作権 本研究への使用許諾契約を締結済み
- ・画像 添付資料(5-A-2-2)参照
- ・伊藤 快彦 (いとうやすひこ) 履歴

1868-1936 神宮の子として京都市に生。高橋由一 (たかはし・ゆいち) の「鮭」に感動し洋画家を志す。1885 年京都府画学学校 (現京都市立芸術大学) に学ぶ。89 年小山正太郎やドイツ帰りの原田直次郎に師事し、独自の風俗画を育てた。1892 年に京都に帰ってからは、家塾鐘美会を開く。1901 年関西美術会の結成に発起人として参加、同会展で 3 等賞。1906 年浅井忠と関西美術院を創立。16 年には関西美術院長となる。京都洋画の発展期より昭和に至るまで、貢献したところは大きい。洛東若王子神社の社掌でもあった。

(5) デジタル化方法

高品質のプリントアウトをするためのデータ作成条件と本研究で使用した「大奥女中」画像データのデジタル化方法について以下に述べる。

① 高条件での撮影

- ・ 最高品質のカメラ機材の使用

「大奥女中」のデータは、4×5サイズのポジフィルムをフィルムスキャナでデータ化したものである。撮影段階でライティングの不備が見られる。またスキャンされた条件のメタデータも無かった。

- ・ 最適なカラーチャートが同時撮影されていること

KODAK の撮影用カラーチャートが写し込まれていたのでカラーマッチングのデータとして使用できた。

② 最適なデータの保存

スキャンされたデータは修正されておらず良好。

③ 最適な色調整

現物を実際に目視はできなかつたので、あくまで KODAK の撮影用カラーチャートを色調整の基準とした。ヒューレットパッカード DesignJet5500PS・UV の発色特性としてハイコントラストであることと明度の低い色は黒っぽく再現する傾向が見られた。

(6) 研究結果（各用紙の発色傾向）

マット系のペーパーを基準としたカラーマッチングをデータで行い、同じデータですべての用紙で出力した。

① Hewlett-Packard Studio Canvas (ヒューレットパッカード スタジオキャンバス)

ワニスなどによる光沢のある油絵の再現を目的として作られた用紙であり、強い光沢を持つが、不自然さが際立つ色調。

② Hewlett-Packard Half-Gloss Paper (ヒューレットパッカード ハーフグロスペーパー)

問題の無い発色ではあるがやや黒が強く出て彩度は高くない。黒が強く出るプリンターの特性に忠実。

③ Hewlett-Packard Matte Paper (ヒューレットパッカード マットペーパー)

問題の無い発色ではあるが彩度は高くない。黒はマットペーパーである分、光沢系の紙に比べてしまりが無く、プリンターの特性がやや薄れた印象。

④ Pictorico Hi-Gloss (ピクトリコ ハイグロス)

極めて鮮やかな発色。彩度が高く、中間階調の再現も良好であり最高品質の出力結果となった。

⑤ Pictorico Velvety (ピクトリコ ベルベッティ)

⑥ Sakurai Matte Synthetic Paper (桜井 マットペーパー)

上記2用紙共、ヒューレットパッカード マットペーパー同様の発色。マット系としての共通の発色と言える。中間調の再現においてピクトリコ ベルベッティがやや優位。

⑦ Sakurai IJ Tarpaulin (桜井 IJターポリン)

表面のコート剤の特性からか、若干くすんだ発色特性を持つ。使用目的を主として大きな光の変化を伴う屋外とするこの用紙としては十分な発色である。

⑧ Too Canvas Cloth (Too キャンバスクロス)

ヒューレットパッカード スタジオキャンバスのような光沢を持つコーティングがされてなく、自然な発色。キャンバス地の織り目が擬似的な効果として得られるが本来写真で写っているものであり、評価の分かれるところである。ニーズとの相関で判断するべきであろう。

⑨ Too Washi White (Too 和紙ホワイト)

黄変した発色。別のカラーマッチングの作業が明らかに必要。油絵に使用するは無理があるが、顔料等を使った日本画には紙の風合いが効果的であろう。

5-ア-2-3 撮影および海外調査

(1) 三井寺撮影

京都デジタルアーカイブ研究センターと三井寺の撮影を高精細デジタルカメラで行ない、そのデータの発色特性検証を実施し、撮影ワークフローを把握した。今年度の出力実験にデータを活用する。

(2) Crisatel 調査

①撮影ワークフローのマニュアルを作成し、前述 Crisatel の研究を受けた出力実験にデータを活用。

- ・C2RMF 所蔵のシュルブル美術館収蔵品の作品データにて色調補正実験を実施。(ルーブル収蔵品の代替データとして)
- ・C2RMF から貸与された作品データにカラーチャートが写っておらず、カラーマッチング(色補正)実験を中止。各用紙による発色の把握実験に切り替え、その結果を受け、Crisatel における用紙選定を行った。
- ・2RMF における Crisatel プロジェクトメンバーとの意見交換、調査、研究発表。

②調査結果

- ・ヨーロッパではプリンター用紙の種類が少なく、発色実験もあまり行われていない。
- ・ルーブル美術館では、ヒューレットパッカードのプリンターが標準。
- ・油絵、テンペラ画などの再現研究が中心。
- ・ルーブルでもカラーチャートが写っていない状態のポジも多い。
- ・高精細のデジタルカメラの開発はフランスのベンチャー企業が開発の中心。
- ・描画材料別カラーチャートが必要。

- ・ブロードバンド上で開示していくスキームは未開発。 等

5-ア-2-4 平成14年度の研究内容により得られた成果

(1)用紙の種別ごとの発色傾向の把握。

- ・色調補正作業の実働時間の把握。
- ・高精細デジタルカメラの撮影ワークフローの把握。
- ・高精細デジタルカメラによる撮影データ発色特性の把握。
- ・フランスを中心とするヨーロッパにおけるカラーマッチング研究状況の把握。
- ・ギリシア、ヘラクリオンにおける Crisatel プロジェクトレビューにおける発表。

5-ア-2-5 平成15年度以降の研究課題

- ・日本画を使用した用紙による発色特性研究。
- ・プリンターの種別による発色特性研究。 等

5-ア-3 質感表現三次元データ生成処理

5-ア-3-1 序論

下記2のサブテーマを設定し、研究開発を進めた。

(1) 質感データ入力とその処理モデルの検討

平成14年度に導入するゴニオフォトメータの設計と実際の測定環境を整備し、各種画材（顔料、染料、墨朱）及び各種素材（紙、布、石膏・粘土など）のマルチスペクトル光源に対応した基本反射特性基本データ収集のための、機器制御プログラムの開発と、基本データ分析のアルゴリズムの開発を行った。

(2) 質感表現手法の検討と具体的システム化の検討

裸眼立体視覚に基づく3次元表示装置を用いた立体表示呈示システムの構築を行い、立体表示のためのプログラムライブラリの整備を行い、従来、表現が困難であった表面の形状（ザラツキ感、細部凹凸形状）と高階調の色調表現を実現するための3次元データ入力および、3次元形状復元アルゴリズムの開発など具体化に向けての基盤整備を行った。

5-ア-3-2 BRDFによる質感モデルとデータ解析

デジタルアーカイブにおけるデータ表現に、AV (Augmented Virtuality) の方法がある。AVにおいては、幾何モデルを用いずに形状の復元（3次元仮想空間の生成）を行う。IBR (Image-Based Rendering)においては、光（光源）と環境・対象物体との相互関係を考慮していくことになる。図5-ア-3-1に、IBRによる仮想実空間の実証実験の例として光源からの照明光の入射角の制御を行い、質感解析・呈示が可能となることを示す。図5-ア-3-1に示す入力系によって、双方向性反射特性（BRDF：Bi-directional Reflectance Distribution Function）が明らかになり、光の入射および反射の方向と反射率の相互関係を表すモデルの形成が可能となる。

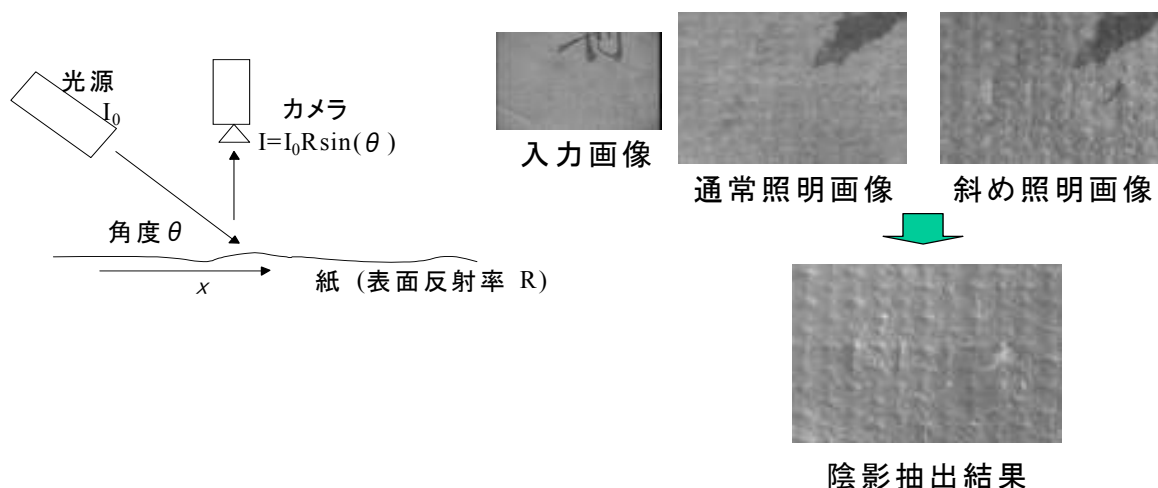


図5-ア-3-1 BRDFによる質感解析・呈示

BRDFとは、任意の光源照射角に対応して、種々の対象物によって異なる物体表面の分光反射特性 (R) であり、その値は物体表面の微細構造により決定される。また、物体表面の微細構造から BRDF をモデル化する方法が従来から提案されている。

ここでの研究開発の目的は、超高精細コンテンツデジタル化を目指した、対象物体表面の微細構造の解析と質感表現である。前者では、物体形状の計測、物体表面のテクスチャ取得・解析、BRDF による物体表面の微細構造の取得・解析を行い、物体構造記述 (Object scale、Micro-scale の Multi-scale 構造記述) を行う。後者では、物体の Multi-scale 構造記述をもとに、シームレスな物体表面の質感表示方法についての検討を行う。

物体構造の記述には、ユーザの視点 (視距離およびユーザの興味) を考慮し、Object scale、Micro-scale などのスケールを定義した。各スケールの定義を以下に示す。Object scale は、3次元幾何モデルによる物体全体のポリゴン・ボクセル記述であり、Micro-scale は、色特性およびテクスチャ解析により得られる特徴量と、BRDF による物体表面の微細構造の記述である。

上述の構造記述方法は、次の通りである。各スケールの物理構造と物体に関する付加情報 (キーワード、対象に関する知識など) を Scene Graph と Document Type Definition (DTD) の概念を包含したデータ構造を定義し、物理構造と論理構造の両面からの物体構造記述を行った。

質感表示に関しては、超高精細ディスプレイと 3D ディスプレイを併用し、先に述べた Multi-scale 構造記述に基づき、ユーザの視点 (要求) に応じて、3次元幾何モデルから微細構造までをシームレスに提示する。

5-ア-3-3 BRDFデータ入力システムの構築

図5-ア-3-2にBRDFデータ入力のために、今回設計したゴニオフォトメータの構成を示す。

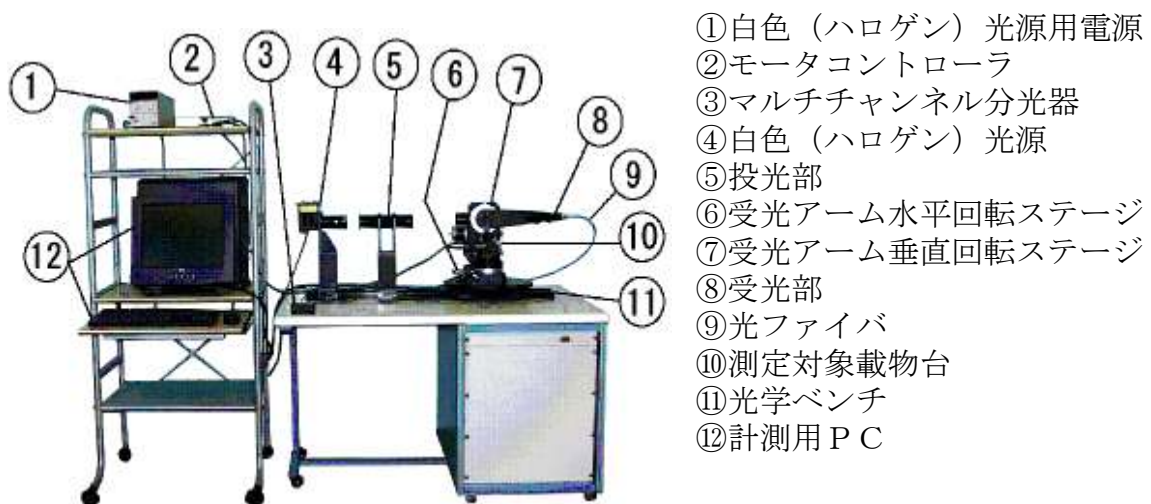


図5-ア-3-2 ゴニオフォトメータによるBRDFデータ測定

表 5 - ア - 3 - 1 システム仕様

本体		
品 名	数 量	備 考
光学ベンチ	1	薄型アルミベンチ W=100mm l=1000mm
回転アーム	1	アーム水平回転角-165° ~50° (出荷時) アーム垂直回転角-10° ~100° (出荷時) 最小読取り 0.01° [自動] 受光鏡筒固定式
資料回転ステージ	1	±180° 最小読取り 0.1° [手動]
資料直線移動ステージ	1	XY 方向±6.5mm [手動] 最小読取り : 0.01 mm
資料積載台	1	紙など薄い物用。

コントローラ		
品 名	数 量	備 考
モータコントローラ 中央精機 MMC-2(K)	1	ステッピングモータ駆動ドライバ、コントローラ内蔵 GP-IB 接続。手動/コンピュータ操作可。2 軸。5 相用 X, Y 軸 0.75A/相

投光部		
品 名	数 量	備 考
白色光源	1	ランプハウス内にハロゲン球 12V50W フィルター2 枚まで装着可能
白色光源電源	1	DC 安定化電源 18V5A
投光側鏡筒	1	f=165、絞り 1~30 φ
減光フィルター	4	透過率 10/20/50/80%。ランプハウスに装着

受光部		
品 名	数 量	備 考
受光鏡筒	1	垂直回転ステージのアームに固定式
ファイバー取付け部	1	FC コネクタ

5-ア-3-4 多重解像度表現に基づく質感表現手法の検討

デジタルアーカイブにおける彫像や塑像などの3次元コンテンツのデジタル化の精細度は対象物と入力装置（以後、簡易にカメラと呼ぶ）の位置関係、及び、画像と3次元データを表現するボクセル空間の解像度に依存する。

当然、カメラ解像度を上げれば、精度は向上するが、3次元データ処理時間が指数的に増加する上、コンピュータ上での物理的なメモリ空間の大きさにも制限が出てくる。これを解決するために、3次元対象物全体を大まかに計測し、仏像の指先のように細かい部分だけを接写して、高解像度に計測して合成する方法を検討した。

上記のことを実行するために、自由な視点から撮影した画像から計測を行う方法と光学モデルを用いて仮想的に接写した計測を行う方法について検討した。

(1) 自由な視点から撮影した画像による計測

3次元対象物の周囲から撮影した複数枚の画像を用い、Voxel空間でより精細に形状を復元するには、Voxelの分割数を増加し、空間解像度を上げる必要である。しかし、復元精度を上げるとデータ量が増加し、表示の際の膨大な3次元データの効率的な扱いが求められる。また、復元精度は対象の領域部分の画像解像度に大きく依存するため、形状の複雑な部分に対して十分な復元精度を得るためにはそれだけ画像解像度が必要となる。

ここでは入力画像の解像度を変化させて3次元コンテンツを復元することで形状の複雑な部分まで高精細に復元し、形状の複雑さや視点と物体との距離に応じて空間解像度を変えて効率的に表現する手法について検討した。

一般に3次元形状の復元精度は入力画像の解像度によって大きく変化する。ここでは、従来手法で十分な復元精度の得られない形状の複雑な部分について部分拡大（ズーム）して部分的に撮影し、対象領域部分の画像解像度を上げることでより詳細な3次元形状データを生成する。そして、全体の形状データと統合することで全体的に復元精度の高い形状データを得ることができる。また、Voxel空間での物体表現の精度はそのVoxelの分割の細かさによって決まる。分割を細かくして空間解像度をあげればそれだけ形状のデータ量も増え、表示が困難となる。そこで、人間の視覚特性に基づいたLOD (Level of Detail) 表現を行い効率的な表現を行う。LOD表現では、Voxel空間での復元のレベル（復元の精細度）を変えたものを複数用意する。そして、視点と物体との距離が近ければ精細に表現し、距離が遠ければ荒い解像度で表現する。この手法を用いることで3次元形状を適した空間解像度で表現し、不必要な表現を行わないことで表示時のレンダリング処理の計算量を軽減し、効率的に表現することが可能となった。

5-ア-3-5 3次元表面形状表現の検討

3次元コンテンツにおける、表面の微細な凹凸情報は、これまで述べてきた手法では計測および表現は不可能である。ここでは、レーザレンジファインダーを用いて、表面形状を求める実験を行った。このレンジファインダーは、30cm x 30cmの範囲を0.1mmの精度で計測できる性能を持つ。

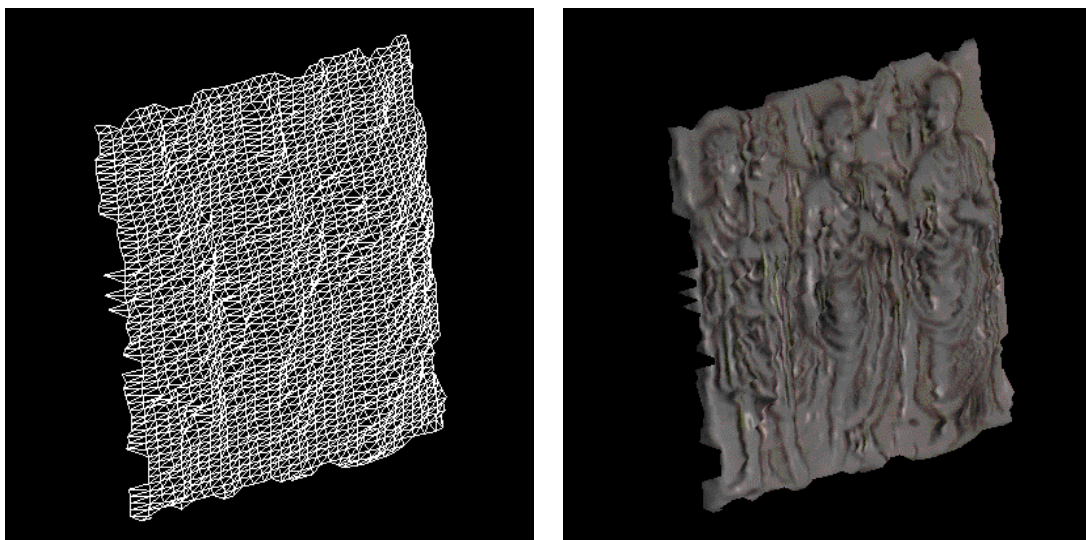


図5-ア-3-3 レリーフ画像1 (3次元表面形状表示と3次元形状表現)

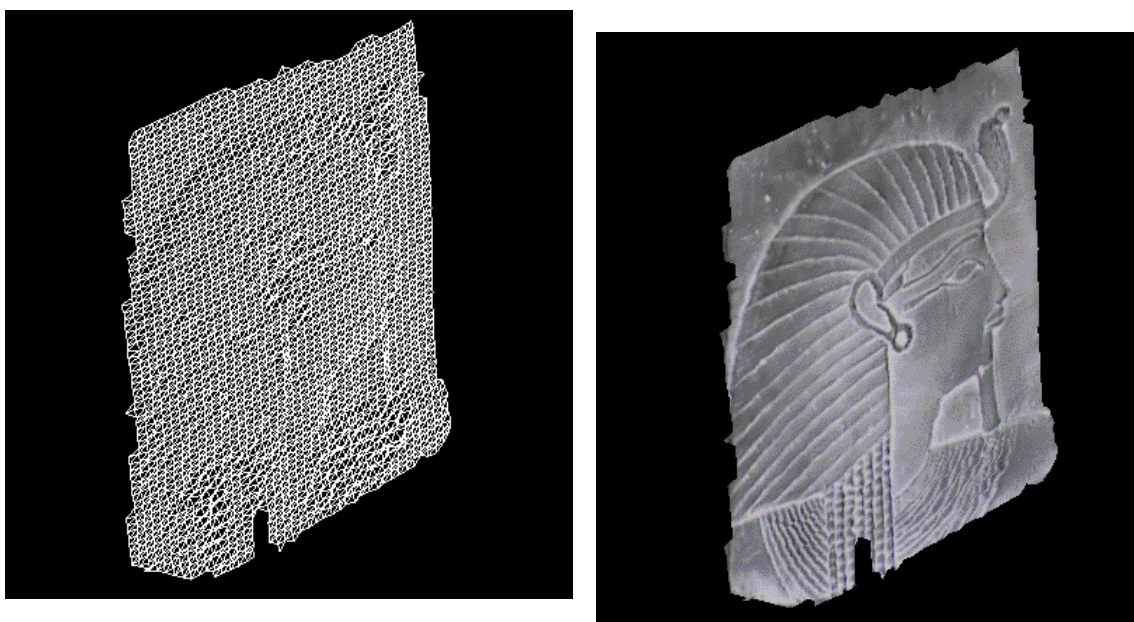


図5-ア-3-4 レリーフ画像2 (3次元表面形状表示と3次元形状表現)

5-ア-3-6 まとめ

ここでは、超高精細コンテンツデジタル技術における、質感表現を表面形状の計測と、精密に制御された観測光のもとでの分光反射特性の計測という、物理的な計測手法を用い、これをコンピュータ上でデジタル化を行うアルゴリズムについて検討を進めた。この計測環境をベースにして、今後は、対象コンテンツを拡大し、デジタルアーカイブへと実際に利用しうるルーチン的な手法開発を目指していく。

発表、文献

久保 智裕, 岩成 英一, 岡田 至弘:” 簡易ズームカメラモデルを用いた中心射影行列による部分形状復元”, 平成 14 年 電気関係学会関西支部連合大会 G14-7 G339, Oct. 2002.

Tetsuo Shoji, Kogi Kudara, Kenji Murayama, Yoshihiro Okada, “3-D modeling and Coloring Wall Paintings for the Bezeklil caves”, 5th International Dunhuang Project (IDP) Conference, Stockholm, October 2002.

正司哲朗, 岡田至弘, 入澤崇, 小田義久,” デジタルアーカイブのためのコンテンツ管理システムの構築”, 情報処理学会 人文科学とコンピュータシンポジウム「じんもんこん 2002」, pp. 137-144, (2002)

岩成 英一, 久保 智裕, 脇坂 隆史, 岡田 至弘:” 仏頭の保存を目的とした三次元形状再構成とレプリカ生成”, 映像情報メディア学会 冬季大会 第 10 部門-4. Nov. 2002.

Yoshihiro Okada : “Development of 3-D Contents Management System for Digital Archives”, Proceedings of PNC Annual Conference and Joint Meetings 2002,

脇坂 隆史, 久保智裕, 岩成英一, 岡田至弘:” 視体積情報と色彩情報による 3 次元形状復元”, 電子情報通信学会 2003 年総合大会 D-12-130, Mar. 19, 2003.

正司哲朗, 百済康義, 岡田至弘, “正投影図を用いた視体積交差法に基づくキジル石窟およびモール仏塔の 3 次元形状モデリング”, 日本情報考古学会誌 Vol. 8, p. 11-21, (2003).

5-ア-4 検証用コンテンツデジタル化

5-ア-4-1 検証用超高精細画像データの作成

ここでは、超高精細コンテンツデジタル化技術における(1)位置補正・画像合成処理、(2)ひずみ補正処理、(3)色補正処理(カラーマネジメント)の研究を実施するために必要な比較検証用の画像データを作成する。

また、ここで作成された画像データは他のサブテーマである蓄積管理技術やコンテンツナビゲーション技術の研究・実証実験にも必要となるものである。

検証用データ作成の具体的な方法は、大型の文化財を被写体にして超高精細デジタルカメラを用いてそのデジタル画像を作成することとした。

5-ア-4-2 デジタル画像作成の対象(被写体)

研究のねらいから被写体としては比較的大きいもので且つ細かな描写・細工が施されており、色彩が豊富なものが適している。さらに、実証実験としても実際の優れた文化財を対象とすることが重要である。

天台門宗総本山 園城寺(三井寺)はこのような条件に合致した文化財を保有しており、本研究の主旨の賛同と協力を得ることができた。

(1)対象物

天台門宗総本山 園城寺(三井寺)の勸学院 客殿一之間の襖

- ・四季花卉図(紙本金地著色 各縦179.0cm 横116.5cm)
- ・滝図(金地著色 縦256.0cm 横478.5cm)

共に狩野光信筆 重要文化財 桃山時代。

- ・三井寺には国宝10件(64点)、重要文化財42件(720点)の国指定文化財、その他に県指定、市指定などを含む多くの文化財が残されている。

- ・国指定文化財の内訳：建造物12件(うち国宝4件)、絵画20件(うち国宝2件)、彫刻13件(うち国宝3件)、工芸3件、書跡典籍3件(うち国宝1件)、歴史資料1件。

5-ア-4-3 撮影装置

被写体を記録する解像度について、肉眼で被写体を観察するのと同程度度の再現性を有したデジタル画像として、被写体に対して5~10画素/mmの精度で記録することとした。

今回の被写体である襖の縦方向が約180cmであるため、前記の精度から9,000~18,000画素の解像度を有する下記の仕様のデジタルカメラを用いることとした。

- ・撮像部：フェーズワンFX(Phase One社製)
- ・方式：CCDラインセンサーによるスキャンニング
- ・解像度：10,500×12,600画素

- ・最大画像ファイルサイズ：380MB（RGB、8bit-TIFF）
- ・カメラ本体：4×5インチ版大型カメラ

5-ア-4-4 照明装置

貴重な文化財を撮影する際に、照明光の紫外線や赤外線（熱）による文化財の損傷・劣化を防ぐため、照明光源には下記のような紫外線や赤外線（発熱）の少ないものを使用した。

- ・写真撮影用蛍光灯（色温度 5500° K）

さらに、光源に紫外線カットフィルタ（アセテートフィルム製、透過率90%以上。紫外線を390nmでカット。難燃性。）及び光拡散フィルタを施した。

5-ア-4-5 撮影方法

前記X-1-3、X-1-4で述べたデジタルカメラと照明装置を用いて撮影した。

カメラ操作においては、画像の歪劣化を低減するために、大版カメラ特有のアオリ操作をできる限りおこなわないこととした。

また、照明については、照明ムラを少なくするために照明装置（蛍光灯16本内蔵）を4台を用いた。

また、撮影記録は8bit-RGBとし、色温度調整により撮影画像のグレーバランスを整えた。



図一ア-4-1 撮影状況

5-ア-4-6 画像データの記録

襖画像15枚を撮影し、8bit-RGB画像として、TIFFフォーマットで記録。記録媒体としてDVD-Rを使用した。

参照用の縮小画像についてもTIFFフォーマットで記録。記録媒体としてCD-Rを使用した。

5-イ ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

5-イ-1 コンテンツの階層的な蓄積方式

5-イ-1-1 研究開発課題の背景

超高精細デジタルコンテンツは、流通コンテンツに対するマスターデータとして位置付けられるものである。マスターフォーマットはユーザの要求と通信環境によるトラフィック制限の双方からの要求により必要とする画像の大きさとクオリティを用途に応じて変える必要があるが、既存の画像フォーマットでは解像度と色深度方向の双方について多重性をもつものは存在しない。また解像度方向に多重性をもつファイルフォーマット（Flash Pix が代表的なものとしてあげられる）は通常フォーマット内に保存する最大画素数のデータ容量よりも大きくなるのが通常でこの点が利用の促進を阻害するポイントである。

一方 ADSL や光による通信環境が整いつつある現在においても、超高精細なコンテンツ流通のボトルネックの大きな一つは依然としてトラフィックの帯域幅である。帯域幅の制限によりデータ量を削減する方法としては上記の条件の様に解像度方向および色深度方向にフレキシビリティを持たせるアイデアが考えられる。特に人間の目は色の微少な差よりもオブジェクトの境界の不鮮明さに敏感であるため、色深度を浅くするという方法はデータ量を削減する効率的な方法であると言える。

一方色深度方向のフレキシビリティに対して解像度方向のフレキシビリティには表示メディアの画像サイズに合わせるという実運用上のニーズによって転送データ量を削減することができることから双方向にフレキシビリティを持たせることは重要である。

5-イ-1-2 研究開発分野の現状

既存のコンテンツ流通のための代表的な画像フォーマットは下記の3つをあげることができ、次の様な特徴を持っている。

(1) Gigaview

①フォーマット説明

Gigaview は JPEG 圧縮（DCT 変換符号化圧縮）を採用している。JPEG 圧縮は画像情報の周波数成分が低周波数領域に集中することを利用して高周波成分の情報を間引き、画像品質を大きく損なうことなく高い圧縮率を得る。

また、高精細画像（最大 32,000×32,000pixels）を高速に表示するために、JPEG 拡張規格の階層型処理モードが採用されている。（ISO/IEC 10918-3）階層型処理モードは原画像をパネルに分割して各々を等間隔の倍率でピラミッド的に縮小した解像度画像を生成し、最小画像で構成されるインデックス画像を除いた各層の差分情報を階層的に保存する。そして画像を表示する際は、先ず最小画像データであるインデックス画像のみを画面に表示する。さらにユーザから伸張が要求されると画面に表示する部分のパネルに該当する高解像度成分情報（差分情報）が呼び出され、所望の解像度で表示する。

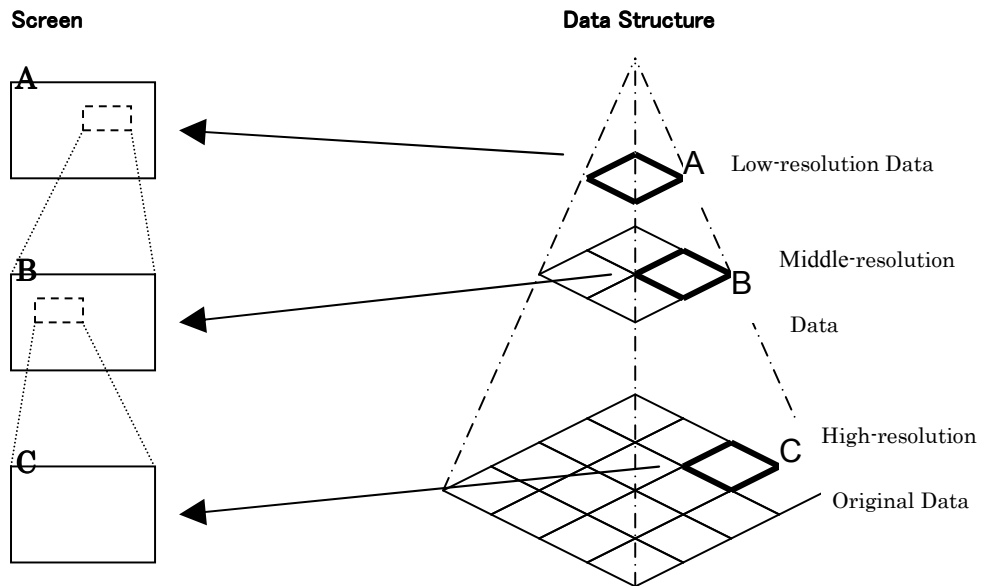


図 5-1-1-1 階層型処理モード

②圧縮率

圧縮率は JPEG の量子化テーブルが 3 段階に固定で設定されており、低品位高圧縮、中位圧縮、高品位低圧縮が用意されている。高品位モードで約 1/10 程度の圧縮率である。

③展開速度

画像の表示アルゴリズムは上述の通り、必要部分の情報のみ呼び出されて JPEG 復号化される。3GB の画像データにおいても最初に表示される全景画像の表示や部分伸張処理や画面のパン処理による表示処理も 5 秒以内で展開される。一方、生成に関しては複数解像度の JPEG 相当データを生成する必要があることから、生成処理には若干の時間を要すると思われる。

④使い易さ

古地図等で横になった文字などを見やすく読み取るために表示中の画像を 90 度単位に回転させる機能や、表示物のサイズを図るためにグリッド表示機能が装備されている。また、画像の上にテキストボックスを埋め込み、解説文などを挿入できる機能が装備されている。

(2)FlashPix

①フォーマット説明

FlashPix のファイルの構造も、Gigaview と同様、複数の解像度のデータを 1 つのファイルの中に収めている。なお、解像度は 1/2、1/4、1/8、・・・と 1/2 の倍数単位で設定されている。また、画像データも 64×64 ピクセルの固定長のタイル分割して構成している。画像を伸張表示する際も、Gigaview 同様、画面の表示スペースに収まるタイル部分に相当する高解像度データを表示する。このため少量のメモリーでも高速な処理を実現している。

②圧縮率

圧縮方法は、非圧縮、単色（グレースケール）圧縮や JPEG 圧縮などが選択

できる。JPEG 圧縮では量子化テーブルを任意に選択できる。

(3) Mr. SID

① フォーマット説明

MrSID のファイルの構造も、Flashpix と同様、1/2、1/4、1/8、・・・と解像度別のデータを1つのファイルの中に収めており、且つ、画像データをタイルに分割して構成している。圧縮方式にはWavelet 変換符号化が採用されている。Wavelet はサブバンド分解と呼ばれ、1/2、1/4、1/8 画像の生成処理と等価処理で、解像度の多段階ピラミッド構造との親和性が高い。また画像を伸張表示する際も、Gigaview や Flashpix と同様、画面の表示スペースに収まるタイル部分に相当する高解像度データ呼び出して表示する。そのため少量のメモリーでも高速な処理を実現している。

上記3画像フォーマットでは、解像度方向と色深度方向双方に対する多重化は実現しておらず、この分野で求められるニーズに必ずしも適合しているとは言えない。またハードウェアスペックが低い時代に設計されたものが多く表示・保存などのハンドリングに必要な時間よりも RAM 消費量を抑える設計となっているため実運用上ではコンテンツ取扱のボトルネックの要素となる場合が多くある。

5-イ-1-3 研究開発実施状況

(1) JBIG、JPEG2000 についての詳細調査

既存のフォーマットある Gigaview、Flash Pix、Mr.Sid とは別に JBIG および JPEG2000 についての詳細調査を行った。

JBIG は主に FAX の G3/G4 の通信フォーマットとして利用されるが各解像度画像をレイヤと考え2段目以降のレイヤでは、低解像度画像情報の全てが利用できる様、差分による情報保持を行っている。低解像度画像の情報をコンテキストに含めてマルコフモデル符号化を行うため物理的な差分を取らなくても、実質的に追加情報の符号化となる。

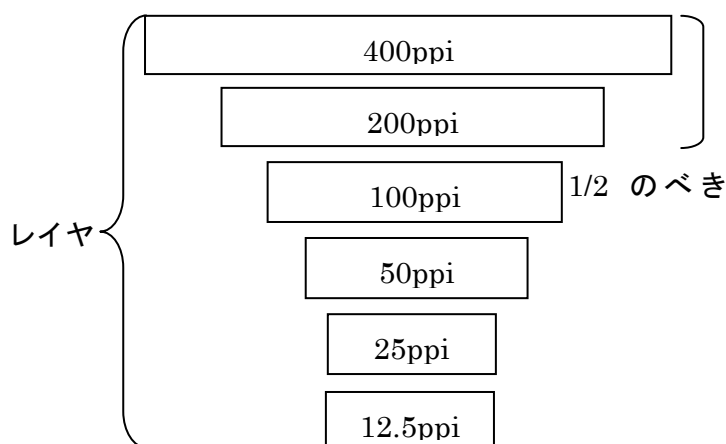


図 5-イ-1-2 J B I G レイヤ

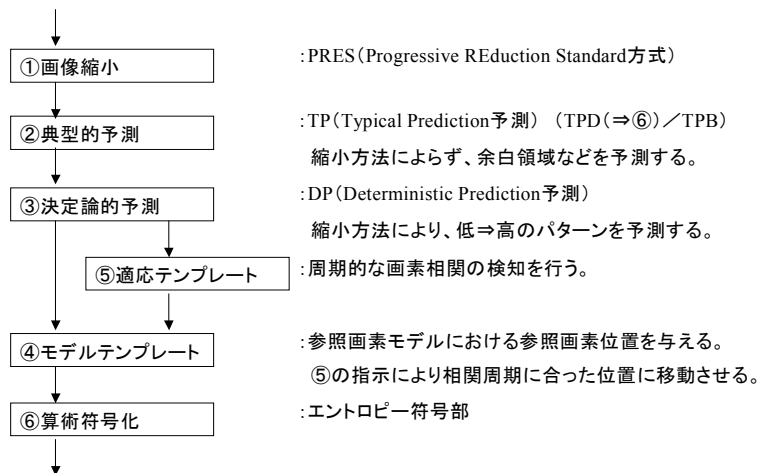


図5-イ-1-3 JBIGベースシステム構成

ただし画像としての文字の取扱に特化しているため絵画や写真などのコンテンツの保存には適していないと言える。

一方 JPEG2000 はその圧縮方式に、JPEG の離散コーサイン変換(DCT)ならびに予測符号化(DPCM)に替わり、離散ウェーブレット変換(DWT)方式がロスレス/ロッシューの圧縮方式として統一的に採用された。なお、JPEG2000 part-1 ではこれまでのJPEG 圧縮/伸張方式との間の互換性はない。JPEG2000 part-1 ではDWT の実装方法として可逆フィルターと非可逆フィルターが採用された。これらのフィルター処理は、画像データ全体をメモリーに読み込まず、画像データを5行あるいは9行ずつ順次メモリーに読み込むことでメモリー消費量が抑えられている。

なお、このフィルターは縦横の各方向に1回ずつ解像度多重化の階層数分繰り返して実行される。(変換処理速度が遅いといわれる要因となる。)



図5-イ-1-4 JPEG2000圧縮方式

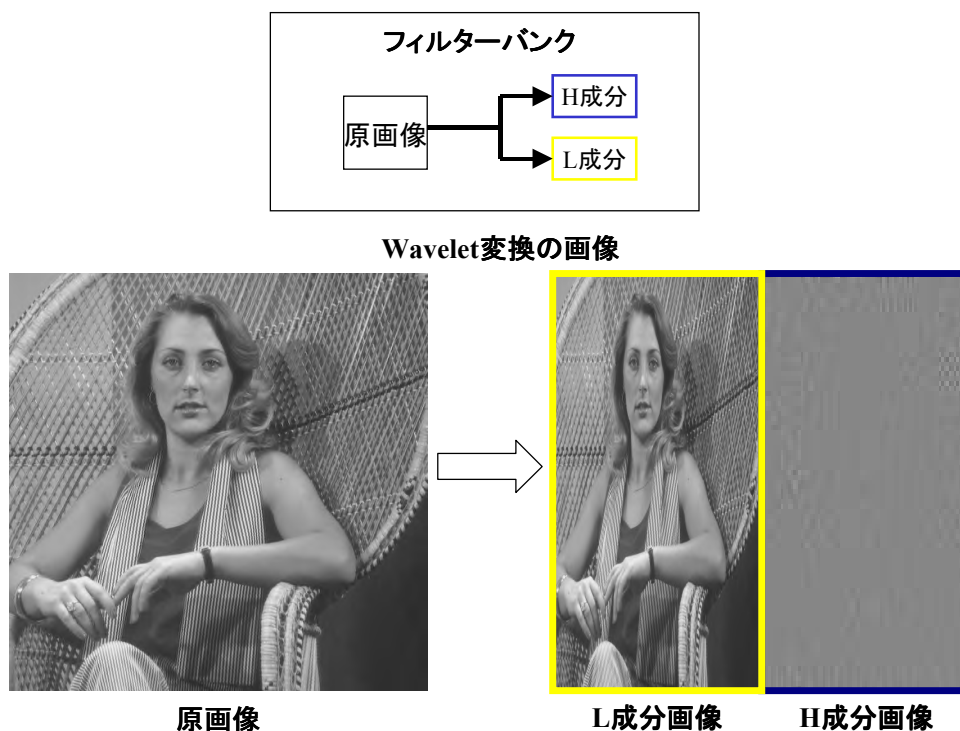


図5-1-5 ウェーブレット変換(フィルターバンク)

ウェーブレット変換は、解像度多重分割とも呼ばれ、画像を縦横に2倍(面積は4倍)に拡大して記録することを考えたときに、元のサイズの画像データを単に4倍したデータとして保持するのではなく『元サイズ画像データ』+『拡大率(2倍)』+『ディテール』の各要素に分けて効率的記録する原理を利用する。

すなわち、対象画像データから1/4、1/16・・・と段階的に縮小画像を生成し、次に最小化画像データ+拡大率+ディテールに分解した値に置き換える。

DWTで生成されたウェーブレット変換係数は、先ず解像度多重化された階層毎に固定長のブロックに分割され、次にブロック毎でビットプレーンに分割される。

分割されたデータは各々独立に画像特性に基づくテーブル(19種類のコンテキスト・レベル)で符号化されてから、JBIG2に規定されているMQ-coder(推定確率の学習型符号化)で符号化される。

元データから可逆でファイルサイズが小さく解像度多重にも対応しているが、著作権管理機能の弱さと色深度方向への多重化にまでは至っていないポイントがデメリットと考えられる。

(2) メタ領域定義

ハイエンドデジタルカメラからの画像書き出しや印刷分野でカラープロファイルを埋め込み利用されている代表的なものがTIFFであり、既存のスタンダードのタグ領域+コンテンツ流通のために必要な情報を定義するためTIFFのメタ領域の調査および本研究開発での研究対象の解像度・色深度多重フォーマットのメタ領域の定義を行った。

(3) 解像度・色深度多重化フォーマット仕様策定

プロトタイプ開発をおこなった基本的な要求する性能は下記を課題とした。

- ・マルチレゾリューション(解像度多重)フォーマット
- ・拡大法(エッジ、シャープネス)
- ・品質レベル(ロッキー/ビジュアル・ロスレス/ロスレス)、およびロッキー画像の品質の向上
- ・ビット数(高階調)対応の拡張
- ・色空間対応の拡張
- ・チャンネル数対応の拡張

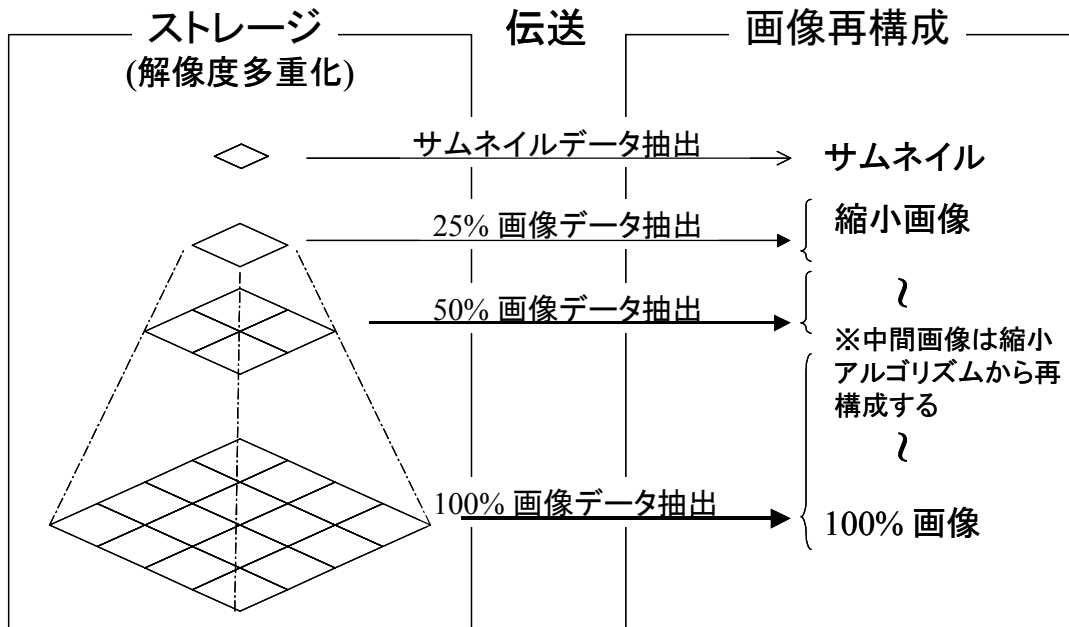
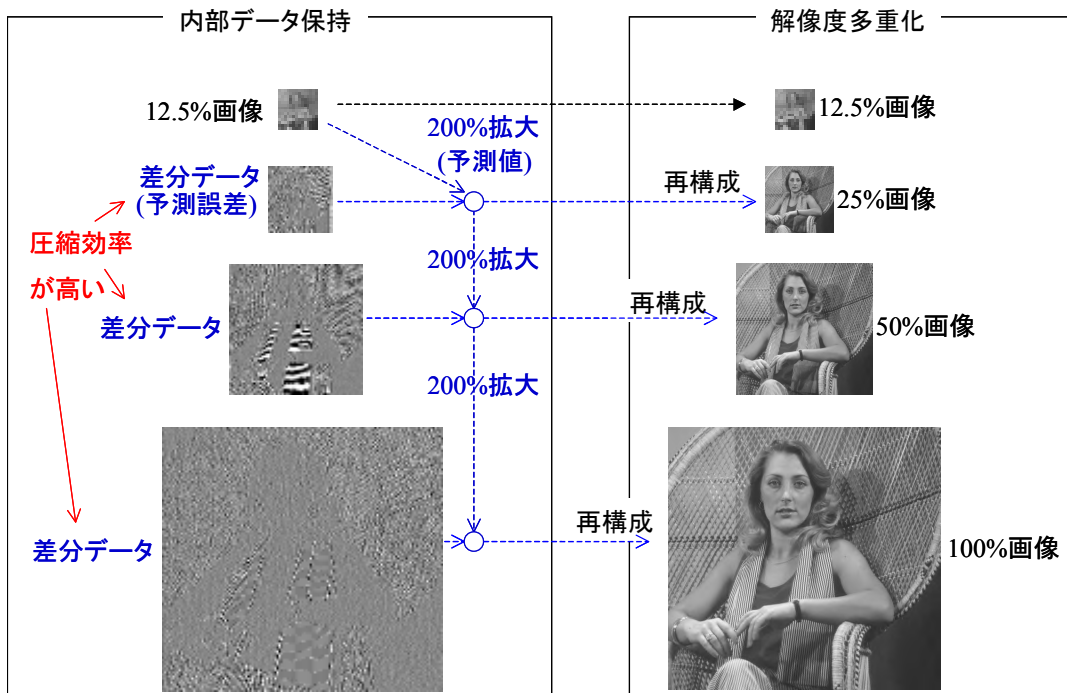


図5-イ-1-6 解像度・色深度多重化フォーマット概要

現在、(株)セラーテムテクノロジーで保有する画像フォーマットであるVFZが色深度方向の多重性を実現しているので、基本的には既存のVFZに解像度多重をどう組み込むかということ为先の他フォーマットの調査を参考としながら検討をおこなった。通常解像度多重化フォーマットは元データの画像サイズからそれよりも小さい画像をいかにもつかというところを工夫するが、今回の研究開発では元データの画像サイズには関わらず100×100pixel程度のサムネイル画像からいかに元データを構成するかという視点でのフォーマットの設計をおこなった。



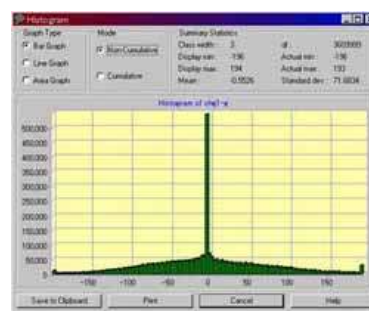
上記の構成での画像分布は下記の様になり圧縮率がかなり期待できることがわかった。

図5-イ-1-7 VFZを用いた解像度多重化

- ・ワンソースから、マルチレゾリューションで画像を提供できる。
- ・差分データはその分布が平均値付近に偏り、エントロピーが下がり、圧縮率が上がる。
- ・現在のVFZ(Ver. 2. x)と比較しても、圧縮率が良くなる見込み



原画像の分布



差分データの分布
⇒ 圧縮効率の向上

図5-イ-1-8 ヒストグラム

また解像度多重フォーマットは元画像を最大としてそれ以上の大きさの画像を品質良く抽出することは困難であり、ここで元画像の大きさ以上の画像を品質よく取得できるよう拡大のロジックを研究する必要があり、エッジ抽出による拡大の研究をおこなった。

5-1-4 処理説明

本方式では大きく下記の4つに処理が分かれる。

- ①エッジ勾配算出処理
- ②細線化処理
- ③ノイズ除去処理
- ④エッジ画像作成処理

以下にそれぞれの処理について詳細を述べる。

①エッジ勾配算出処理

各画素の勾配を調べる。

X軸の勾配を取るマトリクス

0	0	0
-1	0	1
0	0	0

Y軸の勾配を取るマトリクス

0	-1	0
0	0	0
0	1	0

これにより、 $-255 \sim 255$ の範囲で各軸方向の傾きが拾える。
また、この関数は戻り値として、そのポイントのエッジの強さを返す。
計算式は、「 $\text{sqrt}((x*x)+(y*y))$ 」で表される。

②細線化処理

①の処理で得られた画像から極値を拾い、細線化されたエッジを生成する。
まず、Xの正負、Yの正負、XとYの大小関係について場合分けを行う。これにより近傍9画素の傾きが8方向に分類される。次に、この9画素の傾きに対し、

垂直な方向の傾きを捨てる。もし、このとき例えば、 $X > 0$ 、 $Y > 0$ 、 $X > Y$ の場合、には以下の処理を行う。

③ノイズ除去処理

②の処理によりエッジとして検出された画像に対し、1画素単位で独立に存在するピクセルや、ある一定の強さを持たないエッジを除外する。

画像中から Threshold 以上の強さを持つピクセルを探し、まずその点に対しエッジであるというフラグを立てる。次いで、その点を起点にして、全方位に対し隣接する画素にエッジが存在するかをチェックする。隣接画素がエッジであった場合 (Threshold 以下も含む) には、またエッジであるというフラグを立て、後は、この繰り返しである。

最終的には、エッジのフラグが立ったピクセルと、フラグがなく、Threshold 以下の強さの画素が残るはずである。

④エッジ画像作成処理

ここで、エッジとなるピクセルとそうでないピクセルとを完全により分ける処理をかける。



図5-イ-1-9 エッジ抽出イメージ

エッジ抽出法の拡大画像への応用については拡大した画像の中からエッジを抽出する。前述のエッジ検出器を用いてエッジを抽出することに代わりはないが、拡大した画像にはノイズが乗りやすく、それを防ぐために2段階で検出器をかける方法をとる。

まず、オリジナル(100%)の画像からエッジを抽出し、その画像を任意の倍率まで拡大する。拡大された画像に対し、オリジナル画像から抽出したエッジに基づき、一定範囲にマスクを生成し、それをキーに拡大画像中から処理部分を抽出してエッジ検出する。これにより、拡大によって発生し検出されてしまうエッジ、ただしこれはノイズとして処理されるべきものに対し、効率的に除外することができる。また、マスク部分のみに処理を限定することにより、処理効率を向上することができる。

マスクの生成は、オリジナルから抽出された画像に対して、まず、エッジ画像を点の集合体と見なし、拡大倍率にあわせて均等に距離を空けて配置する。そして、8近傍の点同士を線で結ぶ処理をかけてマスク領域を生成する。この処理により生成されたマスク画像を用いて、拡大されたオリジナル画像に対して、再度エッジ抽出を行う。

これにより、オリジナル画像でエッジとして見なされなかったピクセルが、拡大後に検出されることを防ぐ。

コンフィデンス・マップの作成はエッジマップ作成後、コンフィデンスマップの作成に入る。コンフィデンスマップは2段階の処理からなる。

まず、エッジ処理により抽出されたエッジ情報を利用して、そこからコンフィデンスマップを作り上げるための下準備をする。抽出された情報からエッジと見なすピクセルにはEDGEフラグを立てる。また、エッジでない部分には、エッジ強度値を入れる。

次にコンフィデンスマップの作成部として、エッジの周りを半径(Rad)の円でなぞりこの領域のピクセルにBLOCKEDフラグを立てる。また、BLOCKEDと判定されたピクセルに関しては、エッジ強度値からコンフィデンス値の算出を行う。また、EDGE、BLOCKED以外のピクセルはFREEフラグを立てる。

ベース画像の作成方法(拡散拡大方法)はピクセル同士の関係は縦、横、といった、近傍4画素、近傍8画素のみの関係ではなく、距離によって減衰するが、すべての画素同士が相関を持つはずである、という考えに基づいている。

ニアレストネイバー法やバイリニア法、バイキュービック法といった拡大方法は縦横の関係に着目し、重みをつけた畳み込みを行い、平均化された中間色を発生させる。

この方法では、800%や1000%といった、広角な拡大を行った場合に、十時方向に格子状のノイズが発生する。

拡散拡大方法は、バイリニアやバイキュービックと同じように、一次関数や、ジグザグ関数で求められるものを利用するが、縦横2段の近似をとらず、放射上に直接結んだ方向に対して加算する。

これを、マトリクス処理できるようにして、掛け合わせ処理できるようにするアプローチを取った拡大方法も用いる。

このニアレストネイバー拡大された画像に対し、このマトリクスを適用すると、結果的にピクセル状のブロックノイズを生じない画像が生成される。ただし、この結果得られる画像は、全体的にエッジが鈍る傾向がある。

そこで、これを回避するために、拡大画像に対して、元画像に存在しない色情報を使わないように、元画像のカラーテーブルへ減色処理を行う。

拡散拡大方法で得た画像に対して、元画像をニアレストネイバーで拡大したように4近傍の最も近い色情報へ置き換えを行う。

ニアレストネイバーという拡大法は、オリジナルに存在した色以外は発生しない拡大法であり、これとの対比を取ることで中間色をすべて置き換えることができ、かつ、ニアレストネイバーのような格子模様状の画像となることを防ぐことができる。



図 5-イ-1-10 拡大画像イメージ

輪郭強調拡大法は上述のベース画像に対して、FREE 領域では平滑化フィルタを、EDGE 領域は注目ピクセルの値を、BLOCKED では注目ピクセルからコンボリューション範囲を巡回してエッジを超えるか超えないかを検出する、エッジを超える領域はゼロ値にし、更にコンフィデンスマップの値を重みとしてオリジナル画像データを補正し、FREE と同様の平滑化フィルタを施す。以上によって、エッジ情報を保持した高品質拡大が実現される。

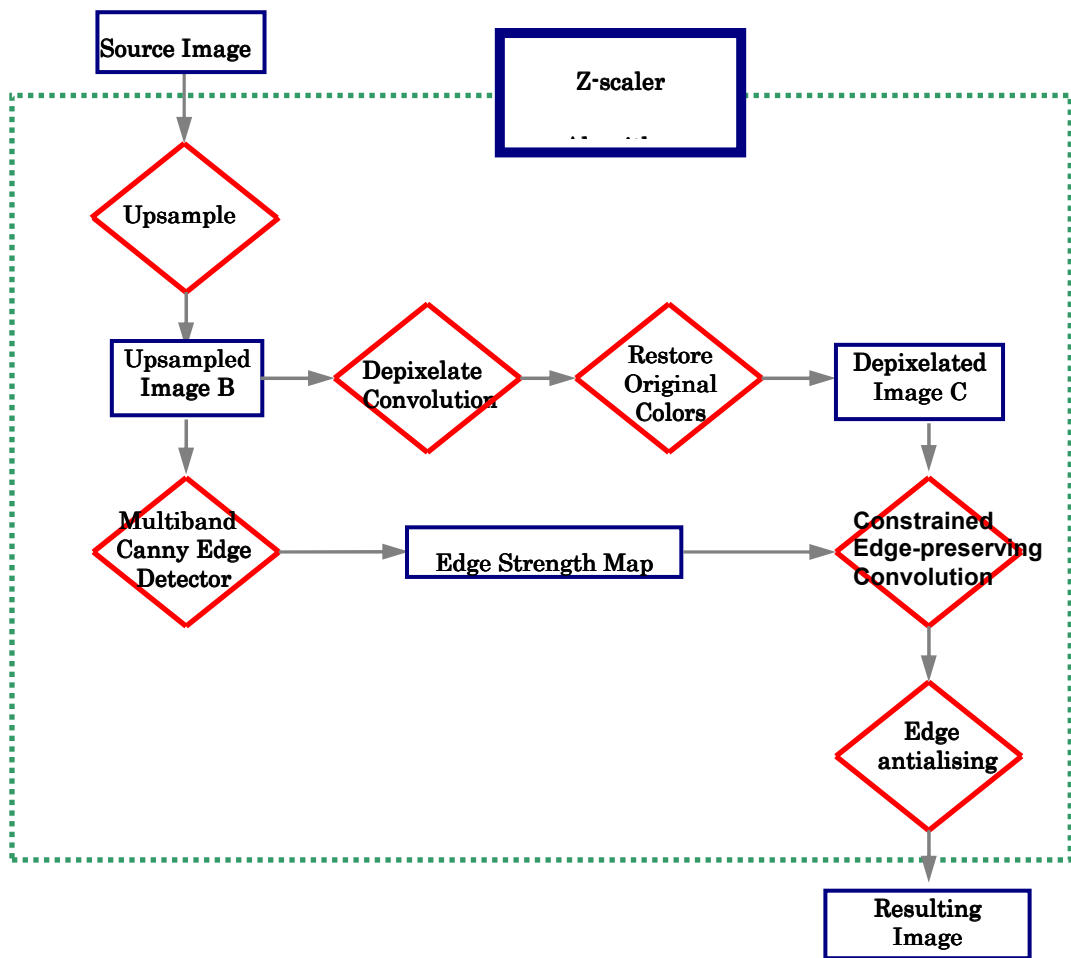


図 5-イ-1-11 処理ブロック図

輪郭強調拡大法の実装と処理速度検証については輪郭強調拡大アルゴリズムを実装し、全体ならびに主要処理部分の処理時間を計測した。

テストでは、輪郭強調のための画質パラメータを一定(SL=2, EC=1, DS=0, AE=0)に保ち、拡大率：151%から 1551%まで 50%刻みで拡大を行って各拡大率毎に処理時間を計測した。

なお画質パラメータについては、1つ目のSLは1~4の値を取り、数字が大きくなるに従ってコンボリューションマスクのサイズが大きくなる。2つ目のECは検出されたエッジ強さの切り捨て閾値を0(High)または1(Low)の2段階で指定できる。3つ目のDSはエッジ検出時の平滑化フィルタのサイズを示し、0(Small)または1(large)を指定できる。4つ目のEAはエッジ強さを増幅するパラメータで、0(no effect)または1(effective)の2段階で指定できる。

その結果、表より Convolution(コンボリューション処理)、OrigColor(ベース画像の作成)ならびに EdgeDetection(エッジ抽出処理)の比率が高いが、中でもコンボリューション処理が指数的に増加して、800%拡大を超えた辺りから60%以上の処理占有率を占めている。

またエッジ強さの切り捨て閾値に対応するECが影響していることが示された。これはECを1(Low)にすると、エッジ領域が拡大して、拡大画像に対するマスク処理の効率が低下するためであり、逆にECが0(High)の際には、拡大画像に対するマスク処理の効果が高いことが示された。

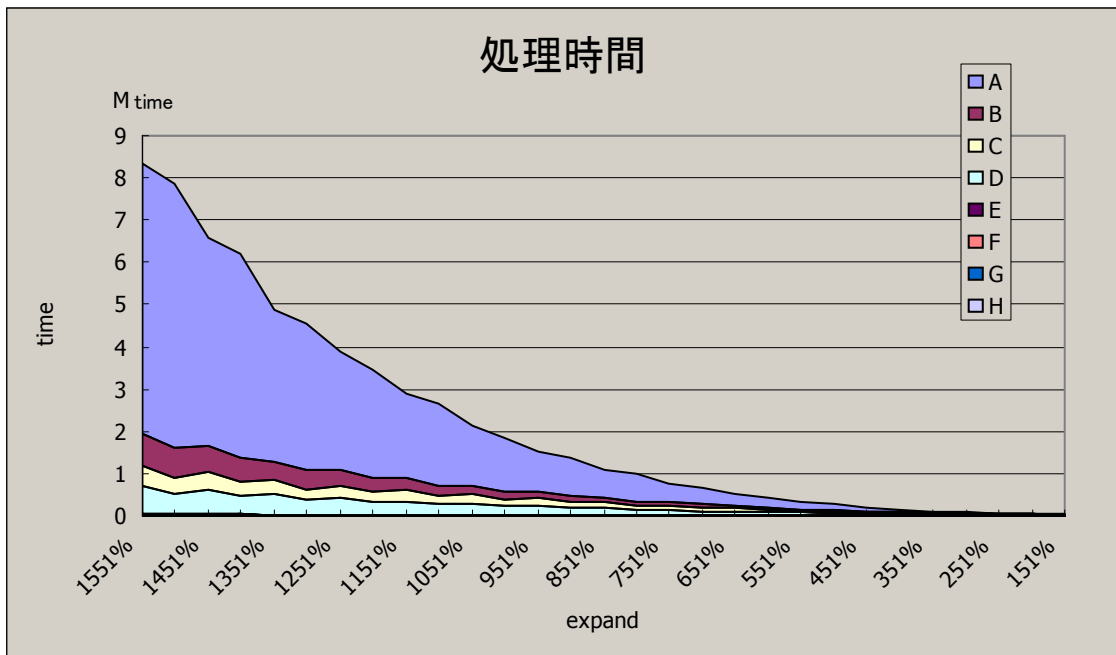


図 5 - イ - 1 - 1 2 拡大率-処理速度要因対比図 (時間)

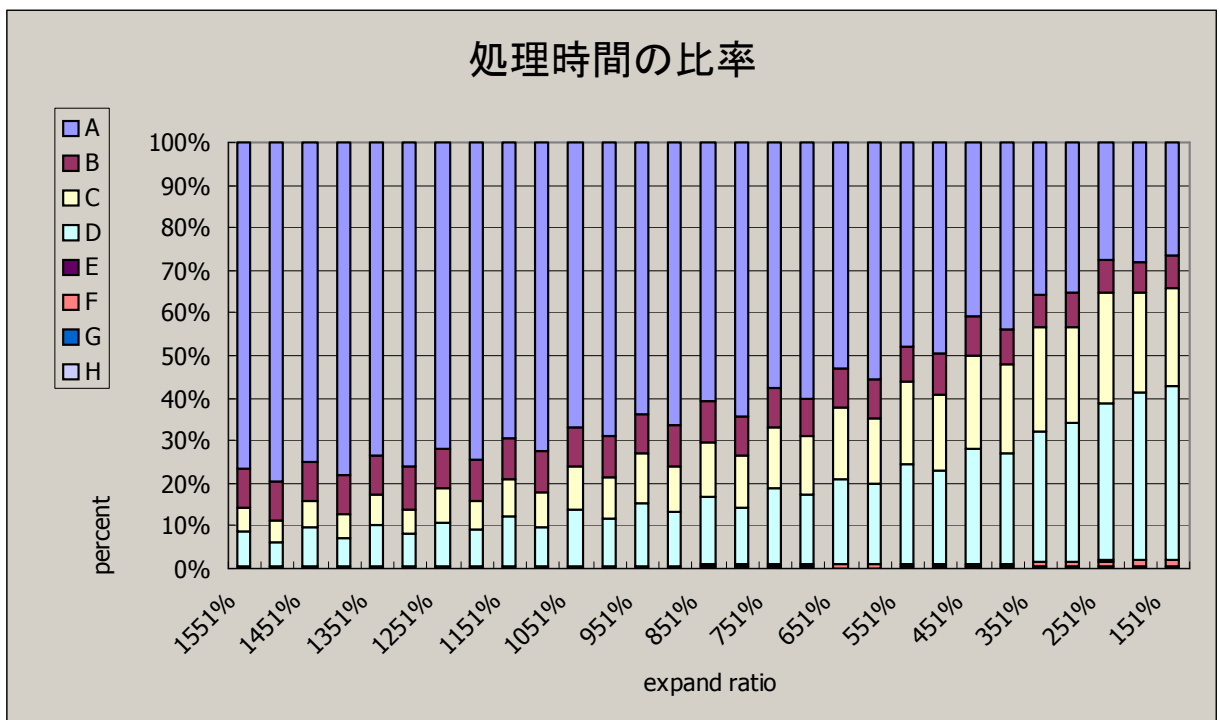


図 5 - イ - 1 - 1 3 拡大率-処理速度要因対比図 (比率)

5-イ-1-5 解像度多重データ構成方法の評価

解像度多重に関するテストではオリジナル画像データ(A) (No.1~No.71) に対して、解像度を2分の1ずつ下げた画像データを保持する解像度多重データの保持方法として、2つのデータ構成方法を比較した。

画像データ構成方法(B)は、複数の解像度データを生成した後、単に各々の解像度データに圧縮処理を施して保持するデータ構成とした。

一方、画像データ構成方法(C)は、高解像度のデータを直接圧縮せず、一段階低解像度データにバイリニア拡大を施したデータとの差分データに変換して圧縮保持するデータ構成とした。

その結果、(C)の縮小画像+差分データによるデータ構成が(B)の単純構成に比べて高い圧縮率を得ることが示された。

表5-イ-1-1 実験結果

データ構成	(A)				(B)		(C)	
	オリジナル画像				解像度多重 (単純加算)		解像度多重 (縮小画像+差分方式)	
データ No.	Height (pixel)	Width (pixel)	Color Space	Size (byte)	Size (Byte)	%	Size (Byte)	%
1	572	392	RGB	672,672	752,456	112%	540,786	80%
2	800	519	RGB	1,245,600	1,227,631	99%	736,807	59%
3	594	400	RGB	712,800	758,497	106%	631,258	89%
4	512	512	RGB	786,432	942,290	120%	684,144	87%
5	512	512	RGB	786,432	739,820	94%	472,612	60%
6	512	512	RGB	786,432	781,509	99%	514,170	65%
7	512	512	RGB	786,432	791,389	101%	538,131	68%
8	1,024	768	RGB	2,359,296	1,712,157	73%	974,685	41%
9	1,024	768	RGB	2,359,296	2,488,446	105%	1,714,965	73%
10	800	600	RGB	1,440,000	1,305,872	91%	737,125	51%
11	2,048	2,560	CMYK	15,728,640	18,955,676	121%	10,354,362	66%
12	1,536	1,920	CMYK	8,847,360	10,516,551	119%	6,428,986	73%
13	2,048	2,560	CMYK	15,728,640	21,360,540	136%	12,107,288	77%
14	1,536	1,920	CMYK	8,847,360	11,960,019	135%	7,161,016	81%
15	2,560	2,048	CMYK	15,728,640	18,565,945	118%	9,578,979	61%
16	1,920	1,536	CMYK	8,847,360	10,920,875	123%	5,802,947	66%
17	2,560	2,048	CMYK	15,728,640	18,064,835	115%	10,200,232	65%
18	1,920	1,536	CMYK	8,847,360	10,490,639	119%	6,281,910	71%
19	2,048	2,560	CMYK	15,728,640	17,536,725	111%	10,280,134	65%
20	1,536	1,920	CMYK	8,847,360	9,666,947	109%	6,373,023	72%
21	2,560	2,048	CMYK	15,728,640	17,521,091	111%	8,294,581	53%
22	1,920	1,536	CMYK	8,847,360	9,639,897	109%	5,082,300	57%
23	2,560	2,048	CMYK	15,728,640	21,350,036	136%	12,578,127	80%
24	1,920	1,536	CMYK	8,847,360	11,989,324	136%	7,439,776	84%
25	2,560	2,048	CMYK	15,728,640	23,096,303	147%	12,729,610	81%

26	1,920	1,536	CMYK	8,847,360	13,300,982	150%	7,607,868	86%
27	400	400	CMYK	480,000	724,324	151%	269,237	56%
28	2,464	4,400	CMYK	32,524,800	1,898,493	6%	3,077,193	9%
29	1,848	3,300	CMYK	18,295,200	1,919,814	10%	2,187,236	12%
30	300	300	CMYK	270,000	436,662	162%	195,892	73%
31	400	400	CMYK	480,000	236,567	49%	146,908	31%
32	300	300	CMYK	270,000	229,709	85%	101,004	37%
33	400	400	CMYK	480,000	236,946	49%	147,881	31%
34	300	300	CMYK	270,000	229,775	85%	101,469	38%
35	400	400	CMYK	480,000	174,832	36%	149,882	31%
36	300	300	CMYK	270,000	154,230	57%	115,006	43%
37	400	400	CMYK	480,000	175,139	36%	149,550	31%
38	300	300	CMYK	270,000	154,510	57%	112,038	41%
39	2,512	3,048	CMYK	22,969,728	1,261,455	5%	960,776	4%
40	1,884	2,286	CMYK	12,920,472	949,758	7%	787,775	6%
41	2,288	1,056	CMYK	7,248,384	333,669	5%	521,278	7%
42	1,716	792	CMYK	4,077,216	279,667	7%	371,811	9%
43	2,288	1,408	CMYK	9,664,512	624,381	6%	954,211	10%
44	1,716	1,056	CMYK	5,436,288	607,738	11%	691,494	13%
45	3,168	4,224	CMYK	40,144,896	2,467,756	6%	3,805,279	9%
46	2,376	3,168	CMYK	22,581,504	2,278,823	10%	2,739,667	12%
47	1,995	2,982	RGB	17,847,270	10,812,307	61%	11,894,154	67%
48	2,980	2,059	RGB	18,407,460	11,898,835	65%	12,518,676	68%
49	3,172	2,266	RGB	21,563,256	18,513,617	86%	14,918,594	69%
50	4,427	3,008	RGB	39,949,248	21,413,163	54%	23,252,572	58%
51	4,427	3,008	RGB	39,949,248	38,215,875	96%	29,772,818	75%
52	2,967	3,425	RGB	30,485,925	34,244,252	112%	29,838,104	98%
53	2,794	4,207	RGB	35,263,074	36,450,844	103%	31,954,848	91%
54	3,020	2,042	RGB	18,500,520	18,397,830	99%	12,486,390	67%
55	4,422	6,347	RGB	84,199,302	83,214,187	99%	66,290,131	79%
56	2,090	3,000	RGB	18,810,000	12,431,277	66%	10,577,335	56%
57	3,840	2,048	RGB	23,592,960	23,443,504	99%	16,024,999	68%
58	2,908	2,048	RGB	17,866,752	19,500,848	109%	14,424,274	81%
59	732	500	RGB	1,098,000	975,468	89%	668,726	61%
60	695	586	RGB	1,221,810	1,212,118	99%	948,735	78%
61	800	529	RGB	1,269,600	1,283,067	101%	852,219	67%
62	403	610	RGB	737,490	718,092	97%	571,126	77%
63	400	594	RGB	712,800	444,215	62%	333,064	47%
64	610	403	RGB	737,490	557,665	76%	418,330	57%
65	518	744	RGB	1,156,176	1,112,848	96%	765,230	66%
66	711	859	RGB	1,832,247	1,633,364	89%	1,149,736	63%
67	768	512	RGB	1,179,648	1,062,610	90%	711,669	60%
68	594	400	RGB	712,800	479,871	67%	296,362	42%
69	394	600	RGB	709,200	693,298	98%	483,465	68%
70	487	703	RGB	1,027,083	837,542	82%	608,526	59%
71	841	559	RGB	1,410,357	1,311,521	93%	1,042,661	74%

平均値	-	-	-	10,822,480	8,629,140	85%	6,284,988	56%
-----	---	---	---	------------	-----------	-----	-----------	-----

表からもわかるとおり、ファイルサイズにして平均 0.8 倍となる解像度多重フォーマットのプロトタイプの開発をおこなうことができた。従来方式が元ファイルに比べて大きくなるのに比べ、当方式では逆に元ファイルより小さくできるというのは画期的な成果といえるのではないだろうか。

ただし平均値は 0.8 倍であるが中には 1.3 倍をこえるものもあり、さらなる実験とともに一部アルゴリズムの見直しが必要である。

5-イ-2 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かしの研究開発

5-イ-2-1 序論

(1) 提案する真正性証明電子透かしの概要

JPEG で符号化された画像に対して、確実に改竄を検出する電子透かしの方法 [3] を提案する。その概要は以下の通りである。

まず、128 個の DCT ブロックを 1 まとめとして、量子化した DCT 係数のランレングス構造を符号化する。この符号化したコードのハッシュ値 (128 ビット) を透かし情報と鍵で暗号化し、各 DCT ブロックのスキヤンの最後に追加する。このとき、最後の DCT 係数の値は、ビットが「0」ならば「-1」、「1」ならば「1」とする。(追加する係数のランレングスはあらかじめハッシュ値の計算に含めなければならない。)

この方法では、DCT 係数のランレングス構造が DCT ブロックの最後に埋め込まれている。したがって、この構造が 1 ビットでも改竄されれば、それを確実に検知することが可能である。

また、最後の DCT 係数は「+1」か「-1」の値しか取らないから、それを他の値に変更した場合も、確実に改竄を検知できる。また、画像が復号された後でも、同じ量子化器を用いて、ランレングス構造を調べれば、真正性の検査が可能である。

上記概略を、「図 5-イ-2-1」に記す。

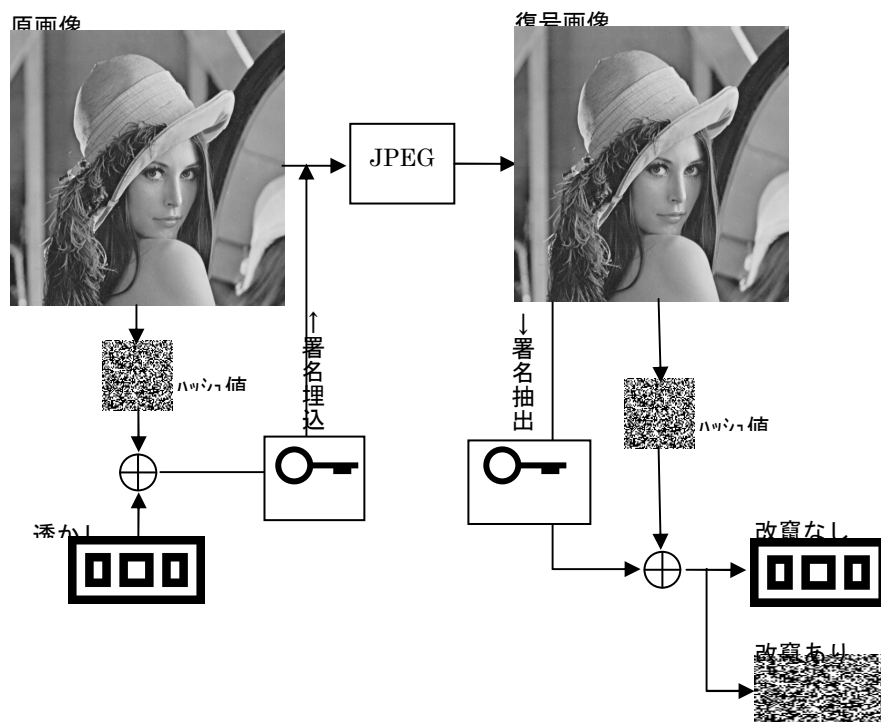


図 5-イ-2-1 真正性証明電子透かしの概略

(2) JPEG 画像に対する真正性の定義について

2つの画像の DCT 係数を同じ量子化パラメータで符号化した時に、量子化イ

インデックスが全く同じになるとき、これらの画像は同一であると定義する。

この定義によれば2つの画像は生データの段階で全く同一である必要はない。量子化された段階で同じであればよい。しかし、量子化されたインデックスが1つでも異なれば、2つの画像は異なると見なす。

5-1-2-2 提案する真正性証明電子透かし方式の原理、特徴

(1) 基本アルゴリズム

DCTブロックを128個まとめてマクロブロックを形成し、このマクロブロックの中に128ビットの署名データを埋め込む。

(2) マクロブロック構成について

DCTブロックを128個(横16個×縦8個)まとめ、1つのマクロブロックとして定義する。このマクロブロック単位に画像を分割し、透かし埋め込み/検出処理を行う。透かし検出結果もマクロブロック単位で表示する。

「5-1-2-2」に、マクロブロック構成説明を記す。

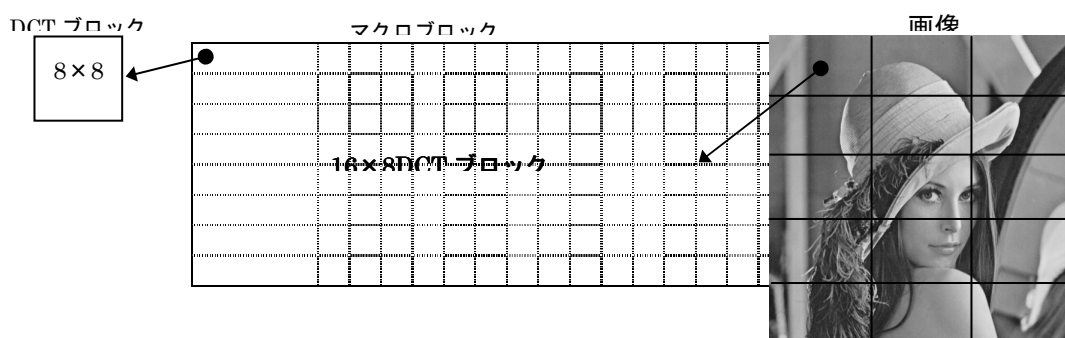


図5-1-2-2 マクロブロック構成説明

(3) 署名データ生成方法

① ブロックのDCT係数を量子化した後の、ランレングス構造をブロックの数だけ並べたものをハッシュ関数によって、128ビットのハッシュ値に変換する。ただし、各ブロックのランレングスの最後にダミーのランを一つ追加する。(ダミーのランは、後に署名データをJPEGのビットストリームの中に埋め込むために用いられる。)

② Wongの方法[1]によって、128ビットのハッシュ値に透かしデータを埋め込み、これを秘密鍵で暗号化して128ビットの署名データを得る。

(4) 署名データ埋め込み方法

DCTブロック毎のDCT係数符号化時に、ジグザグスキャンの最終有効係数の後に生成された署名データ(ランレングス「0」、DCT係数「±1」)を埋め込む。その際、DCT係数値は、埋め込みデータが「1」ならば「+1」を、「0」ならば「-1」を設定する。

図「図5-1-2-3」にDCTブロックへの署名データ埋め込みイメージを記す。

	1	5	0	-1	0	0	0	0	0
	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0
	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
署名	→	<u>[±1]</u>	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0

図5-イ-2-3 署名データ埋め込みイメージ

(5) 真正性認証能力の証明

提案した真正性証明電子透かし方式で、透かしが埋め込まれた画像について、量子化後のインデックスが1つでも変わると、それが確実に検出できることは、以下のようにして証明可能である。

もし、ランレングスの構造の中で、署名データ（ランレングスの最後に入れた「+1」か「-1」の値）以外の部分が変わると、ハッシュ値が変わる為、埋め込んだ透かしデータが検出できない。

同様に、もし、署名データが変わると、画像から検出されたハッシュ値と署名データが一致しない為、埋め込んだ透かしデータが検出できない。

以上から、埋め込んだデータが検出可能であるのは、署名データもそれ以外のインデックスも変化していない場合に限られる。

(6) 埋め込み可能データ量について

今回提案したアルゴリズムでは、1つの DCT ブロックに対して1ビットのデータ埋め込みを行う為、画像に埋め込み可能なビット数は、(全画素数/64)ビットとなる。

(7) 量子化ステップ幅制限

今回提案したアルゴリズムでは、埋め込んだ署名データが確実に検出できることを保障する為、量子化ステップ幅に以下の制限をもつ。

$$\underline{\text{量子化ステップ幅} \geq 8}$$

(8) 画像サイズの制限について

今回提案したアルゴリズムでは、現時点では、透かし埋め込み対象の画像サイズの制限として、マクロブロックサイズ(128 ピクセル×64 ピクセル)で割り切れない画像は未対応である。

5-1-2-3 実験1：提案アルゴリズムを用いた透かし埋込み／検出実験

一般的なJPEGコーディング処理に、今回提案したアルゴリズムを用いた透かしの埋め込み／検出処理を追加し、透かし検出実験を行った。

(1) サンプル画像について

実験に使用するサンプル画像として、下記「表5-1-2-1」の24画像を使用する。

表5-1-2-1 実験使用サンプル

No	ファイル	画像サイズ	画像特徴	備考
1	C1RGB. bmp	2688×1280	カラー(明)タイルパターン	画像電子学会提供 「高精細XYZ・CIELAB・RGB 標準画像 (SHIPP) の CD-ROM」より。 ただし、フォーマットを TIFF→24BitBMPに変換。 また、画像サイズをマク ロブロックで割り切れる サイズ(128×64 Pixel)に 調整。
2	C1XYZ. bmp	2688×1280	カラー(暗)タイルパターン	
3	P1RGB. bmp	3072×4096	人物(女性)	
4	P2RGB. bmp	4096×3072	風景画(港)	
5	P3RGB. bmp	4096×3072	毛糸球	
6	P4RGB. bmp	3072×4096	ワインクーラー	
7	N1. bmp	2048×2560	ポートレート	JIS X 9201 準拠「高精細 カラーデジタル標準画 像データ (ISO/JIS-SCID)」より。 ただし、フォーマットを TIFF→24BitBMPに変換。 また、画像サイズをマク ロブロックで割り切れる サイズ(128×64 Pixel)に 調整。
8	N2. bmp	2048×2560	カフェテラス	
9	N3. bmp	2560×2048	フルーツバスケット	
10	N4. bmp	2560×2048	ワイングラス等	
11	N5. bmp	2048×2560	自転車	
12	N6. bmp	2560×2048	花	
13	N7. bmp	2560×2048	民族衣装	
14	N8. bmp	2560×2048	机の上	
15	S1. bmp	384×384	モノクロ放射パターン	
16	S2. bmp	384×384	モノクロ放射パターン	
17	S3. bmp	384×384	モノクロ放射パターン	
18	S4. bmp	384×384	モノクロ放射パターン	
19	S5. bmp	384×384	モノクロ放射パターン	
20	S6. bmp	2432×3008	カラー縦割りパターン	
21	S7. bmp	2176×1024	カラータイルパターン	
22	S8. bmp	2176×1408	カラータイルパターン	
23	S9. bmp	3072×4224	カラータイルパターン	
24	S109. bmp	2432×4416	カラータイルパターン	

(2) 実験手順

下記「図5-イ-2-4」に記した手順で、透かし埋め込み／検出実験を実施した。

(a) J P E G符号化+透かし埋め込み

サンプルBMPファイルをJ P E G符号化する。その際、透かし埋め込み処理を同時に行う。

(b) J P E G復号

透かしが埋め込まれたJ P E Gファイルを復号し、透かしが埋め込まれたBMPファイルを出力する。

(c) 透かし検出

透かしが埋め込まれたBMPファイルより、透かし検出処理を実行し、透かしデータを出力する。

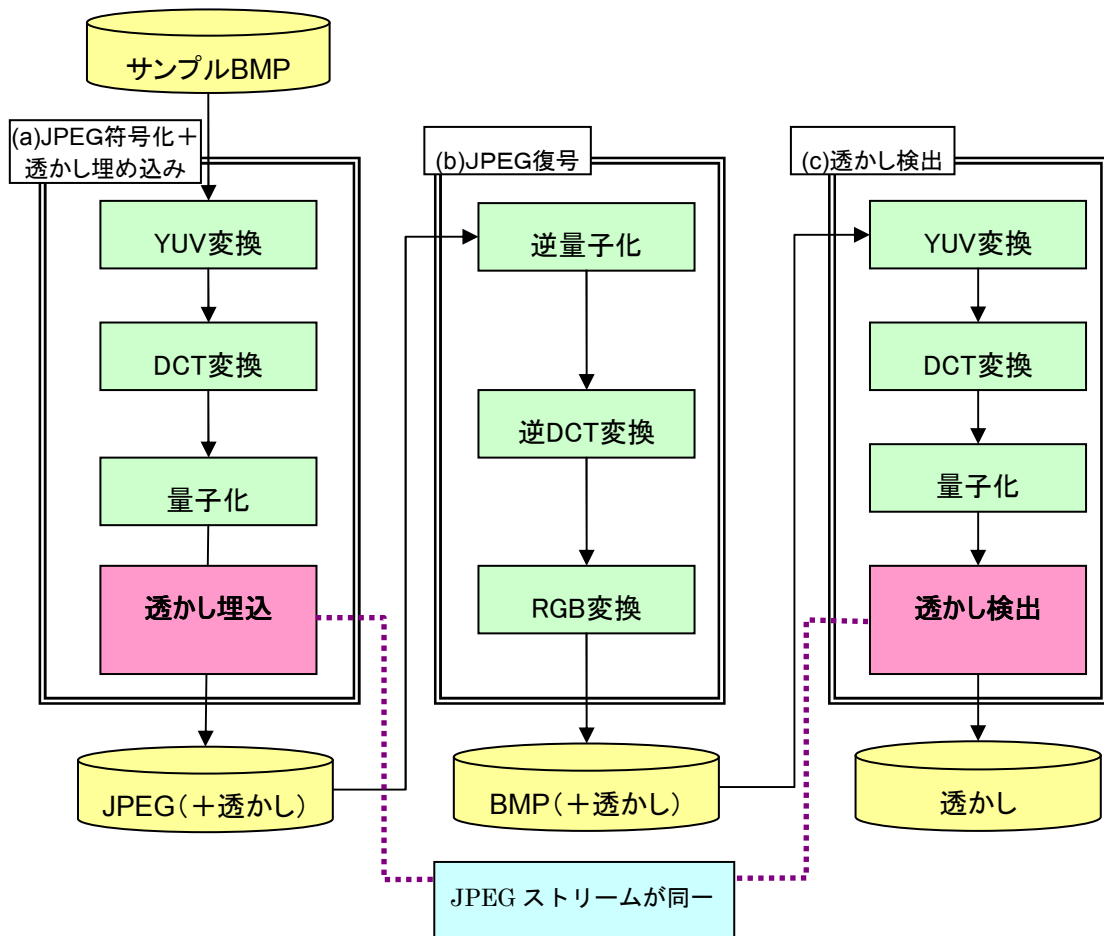


図5-イ-2-4 透かし埋め込み／検出手順

(3) 実験結果

実験結果を「表 5-イ-2-2」に記す。

表 5-イ-2-2 実験 1 結果

No	ファイル	全ブロック数	検出ブロック数	検出率	非検出ブロック数
1	C1RGB. bmp	420	143	34.05%	277
2	C1XYZ. bmp	420	391	93.10%	29
3	P1RGB. bmp	1536	1530	99.61%	6
4	P2RGB. bmp	1536	1514	98.57%	22
5	P3RGB. bmp	1536	1518	98.83%	18
6	P4RGB. bmp	1536	1530	99.61%	6
7	N1. bmp	640	517	80.78%	123
8	N2. bmp	640	128	20.00%	512
9	N3. bmp	640	468	73.13%	172
10	N4. bmp	640	394	61.56%	246
11	N5. bmp	640	389	60.78%	251
12	N6. bmp	640	580	90.63%	60
13	N7. bmp	640	261	40.78%	379
14	N8. bmp	640	60	9.38%	580
15	S1. bmp	18	10	55.56%	8
16	S2. bmp	18	0	0.00%	18
17	S3. bmp	18	0	0.00%	18
18	S4. bmp	18	18	100.00%	0
19	S5. bmp	18	17	94.44%	1
20	S6. bmp	893	884	98.99%	9
21	S7. bmp	272	271	99.63%	1
22	S8. bmp	374	373	99.73%	1
23	S9. bmp	1584	1569	99.05%	15
24	S10. bmp	1311	1293	98.63%	18

ほとんどのサンプルで、透かし検出率は100%に達せず、また、サンプルにより検出率にかなり大きな差が発生した。

自然画像では、エッジが強い画像(N2. BMP、N8. BMP 等)で、特に検出率が低かった。

検出率が高い画像(P1RGB. bmp、P4RGB. bmp)でも、画像内の特にエッジの強い部分で透かし検出に失敗していた。

(4) 考察

透かし埋め込み時と透かし検出時の J P E G ストリームデータを比較すると、透かし未検出ブロックの場合は、透かし埋め込み時と検出時で J P E G ストリームデータに差分が発生しており、それが原因で「真正性が崩れた」状態となり、透かし検出に失敗する事がわかった。

透かし検出率を 1 0 0 % とする為には、J P E G ストリームデータが変化する原因をつきとめ、対処する必要があると思われる。

5-1-2-4 実験 2 : J P E G ストリームデータ変化原因調査

実験 1 では、透かし埋め込み時と検出時で J P E G ストリームデータが変化した為、透かし検出に失敗していた。J P E G ストリームが変化する要因として、以下に記す 2 つの処理が疑われる。

(1) J P E G 復号時の逆 DCT 後のクリッピング処理

J P E G 復号時、逆 DCT 後の Y U V 値が、8 ビット (0 ~ 2 5 5) の値範囲に収まらない場合が発生する。この場合、0 未満の値は 0 に、2 5 5 より大きな値は 2 5 5 に「クリッピング」され、それが原因で J P E G ストリームデータに差分が発生している可能性がある。

(2) R G B ⇔ Y U V 変換処理

通常の J P E G 符号化 / 復号処理で使用されている R G B ⇔ Y U V 変換用色空間変換式は、「非可逆」な変換式である。

その為、透かし埋め込み時の Y U V 値と、その Y U V 値を一度 R G B に変換してできあがった BMP ファイルから、もう一度 Y U V 変換を行って取得する透かし検出時の Y U V 値が同一にならず、その結果、J P E G ストリームデータに差分が発生している可能性がある。

透かし未検出原因を確認、特定する為、これら 2 処理をショートカットして透かし検出を行う実験を行い、検出率を調査、比較する。

(3) サンプル画像について

実験 1 で使用したサンプル画像「表 5-1-2-1」を使用する。

(4) 実験手順

JPEG復号処理側で、逆DCT直後のYUV値、クリッピング直後のYUV値をファイル出力しておき、透かし検出処理側で、DCT変換処理直前に出力しておいたファイルよりYUV値を読み込む事で、ショートカット処理を実現する。

「図5-イ-2-5」にショートカット処理概略を記す。

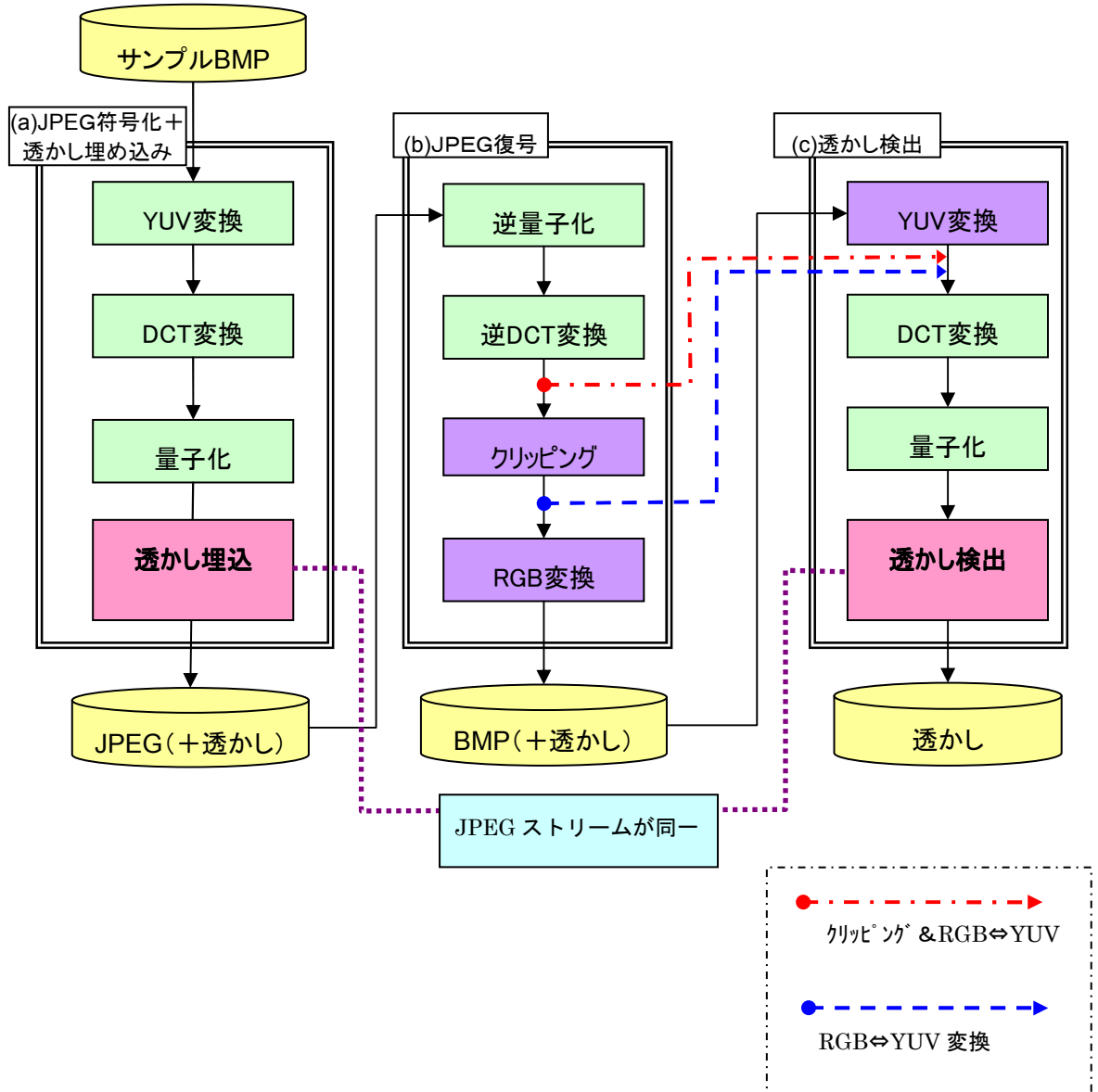


図5-イ-2-5 ショートカット処理概略

(5) 実験結果

実験結果を「表 5-イ-2-3」に記す。

表 5-イ-2-3 実験 2 結果

No	ファイル	全ブロック数	ショートカット					
			無 (実験 1)		RGB 変換処理		クリッピング& RGB 変換処理	
			検出数	検出率	検出数	検出率	検出数	検出率
0	C1RGB. bmp	420	143	34. 05%	398	94. 76%	420	100. 00%
1	C1XYZ. bmp	420	391	93. 10%	397	94. 52%	420	100. 00%
2	P1RGB. bmp	1536	1530	99. 61%	1530	99. 61%	1536	100. 00%
3	P2RGB. bmp	1536	1514	98. 57%	1527	99. 41%	1536	100. 00%
4	P3RGB. bmp	1536	1518	98. 83%	1530	99. 61%	1536	100. 00%
5	P4RGB. bmp	1536	1530	99. 61%	1530	99. 61%	1536	100. 00%
6	N1. bmp	640	517	80. 78%	533	83. 28%	640	100. 00%
7	N2. bmp	640	128	20. 00%	160	25. 00%	640	100. 00%
8	N3. bmp	640	468	73. 13%	550	85. 94%	640	100. 00%
9	N4. bmp	640	394	61. 56%	418	65. 31%	640	100. 00%
10	N5. bmp	640	389	60. 78%	432	67. 50%	640	100. 00%
11	N6. bmp	640	580	90. 63%	586	91. 56%	640	100. 00%
12	N7. bmp	640	261	40. 78%	310	48. 44%	640	100. 00%
13	N8. bmp	640	60	9. 38%	84	13. 13%	640	100. 00%
14	S1. bmp	18	10	55. 56%	12	66. 67%	18	100. 00%
15	S2. bmp	18	0	0. 00%	0	0. 00%	18	100. 00%
16	S3. bmp	18	0	0. 00%	0	0. 00%	18	100. 00%
17	S4. bmp	18	18	100. 00%	18	100. 00%	18	100. 00%
18	S5. bmp	18	17	94. 44%	18	100. 00%	18	100. 00%
19	S6. bmp	893	884	98. 99%	885	99. 10%	893	100. 00%
20	S7. bmp	272	271	99. 63%	271	99. 63%	272	100. 00%
21	S8. bmp	374	373	99. 73%	373	99. 73%	374	100. 00%
22	S9. bmp	1584	1569	99. 05%	1569	99. 05%	1584	100. 00%
23	S10. bmp	1311	1274	97. 18%	1274	97. 18%	1311	100. 00%

RGB変換処理をショートカットした場合、透かし検出率の大幅な改善が見られた。ただし、それでも透かし検出率は100%に達しないサンプルがほとんどであった。

クリッピング処理とRGB変換処理をショートカットした場合、透かし検出率は全てのサンプルで100%となった。

(6) 考察

実験結果から、J P E G復号時の逆DCT後の「クリッピング処理」および、「R G B⇔Y U V変換処理」時の情報劣化が原因で、透かし埋め込み時と検出時でJ P E Gストリームに差分が発生し、その結果、透かし検出に失敗している事が明確となった。

5-イ-2-5 実験3：グレースケール画像による透かし埋め込み／検出

実験2で、透かし埋め込み時と検出時でJ P E Gストリームが変化する原因は明らかになった。

その内、R G B⇔Y U V変換時の情報劣化に対しては、実験の入力ファイルであるサンプル画像を、グレースケール画像に変更することで、R G B⇔Y U V変換処理が行われない為、回避可能となる。

入力サンプル画像をグレースケール画像に変換し、透かし検出率を調査、確認する。

(1) サンプル画像

実験1で使用したサンプル画像「表5-イ-2-1」をグレースケールに変換したものを使用。

(2) 実験手順

グレースケールのサンプル画像を入力ファイルとして、実験1と同じ手順「図5-イ-2-4」で透かし埋め込み／検出実験を行った。

(3) 実験結果

実験結果を下記「表 5-イ-2-3」に記す。

表 5-イ-2-4 実験 3 結果

No	ファイル	全ブロック数	検出ブロック状況					
			カラー画像				グレースケール	
			ショートカットなし (実験 1)		RGB ショートカット (実験 2)			
			検出数	検出率	検出数	検出率	検出数	検出率
1	C1RGB. bmp	420	143	34.05%	398	94.76%	398	94.76%
2	C1XYZ. bmp	420	391	93.10%	397	94.52%	397	94.52%
3	P1RGB. bmp	1536	1530	99.61%	1530	99.61%	1530	99.61%
4	P2RGB. bmp	1536	1514	98.57%	1527	99.41%	1528	99.48%
5	P3RGB. bmp	1536	1518	98.83%	1530	99.61%	1530	99.61%
6	P4RGB. bmp	1536	1530	99.61%	1530	99.61%	1530	99.61%
7	N1. bmp	640	517	80.78%	533	83.28%	539	84.22%
8	N2. bmp	640	128	20.00%	160	25.00%	164	25.63%
9	N3. bmp	640	468	73.13%	550	85.94%	545	85.16%
10	N4. bmp	640	394	61.56%	418	65.31%	402	62.81%
11	N5. bmp	640	389	60.78%	432	67.50%	437	68.28%
12	N6. bmp	640	580	90.63%	586	91.56%	586	91.56%
13	N7. bmp	640	261	40.78%	310	48.44%	301	47.03%
14	N8. bmp	640	60	9.38%	84	13.13%	80	12.50%
15	S1. bmp	18	10	55.56%	12	66.67%	12	66.67%
16	S2. bmp	18	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
17	S3. bmp	18	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
18	S4. bmp	18	18	100.00%	18	100.00%	18	100.00%
19	S5. bmp	18	17	94.44%	18	100.00%	18	100.00%
20	S6. bmp	893	884	98.99%	885	99.10%	883	98.88%
21	S7. bmp	272	271	99.63%	271	99.63%	271	99.63%
22	S8. bmp	374	373	99.73%	373	99.73%	373	99.73%
23	S9. bmp	1584	1569	99.05%	1569	99.05%	1569	99.05%
24	S10. bmp	1311	1274	97.18%	1274	97.18%	1274	97.18%

グレースケール画像を実験対象とすることで、実験 2 の RGB ⇔ YUV 変換処理ショートカット実験結果とほぼ近似の検出率が得られた。

(4) 考察

入力ファイルを、グレースケール画像に制限することで、RGB ⇔ YUV 変換時の情報劣化は回避できる事が確認できた。カラー画像での RGB ⇔ YUV 変換時の情報劣化対策は今後の課題とし、まず、グレースケール画像での真正性証明透かしを完成させることとする。

5-イ-2-6 実験4：JPEG復号時の逆DCT後クリッピング対策実験

透かし埋め込み時と検出時でJPEGストリームが変化するもうひとつの原因として、YUV \leftrightarrow RGB変換以外に、JPEG復号時の逆DCT後のクリッピング処理がある。

クリッピング処理により、YUV値が8ビットで表せる規定範囲（ $0 \leq Y \leq 255$ ）に丸められる為、そこから変換したRGB値を持つ画像からの透かし検出に失敗していた。

このクリッピング処理への対策方法として、渡辺[4]らの方法があり、今実験では、この方法を応用し、透かし検出率を調査する。

(1) サンプル画像

実験1で使用したサンプル画像「表5-イ-2-1」をグレースケールに変換したものを使用。実験3と同一。

(2) 実験手順

実験1と同じ手順「図5-イ-2-4」で透かし埋め込み／検出実験を行った。ただし、JPEG符号化+透かし埋め込み時、DCTブロック毎のDCT変換→量子化処理後、得られたDCT係数値を用いて、逆量子化→逆DCT変換を行い、その結果得られた画素値にクリッピングが発生するか確認する。

クリッピングが発生していれば、発生しないよう、DCT係数値を調整後、再度、逆量子化→逆DCT変換を行い、クリッピングが発生しなくなるまでDCT係数値を調整する。

最終的に逆DCT変換後のクリッピングが発生しないDCT係数値を求め、ハフマン符号化する。

上記説明概略を「図5-イ-2-6」に記す。

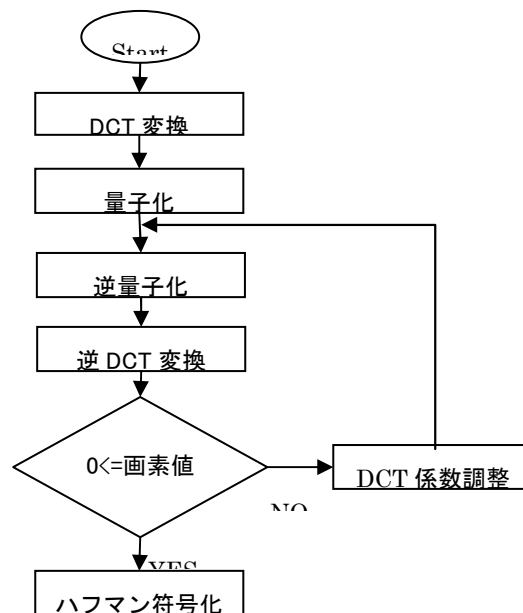


図5-イ-2-6 クリッピング未発生DCT係数算出フロー

(3) 実験結果

実験結果を「表 5-イ-2-5」に記す。

表 5-イ-2-5 実験 4 結果

No	ファイル	全ブロック数	検出ブロック状況			
			グレースケール (実験 3)		クリッピング対 策	
			検出数	検出率	検出数	検出率
1	C1RGB. bmp	420	398	94. 76%	420	100%
2	C1XYZ. bmp	420	397	94. 52%	420	100%
3	P1RGB. bmp	1536	1530	99. 61%	1536	100%
4	P2RGB. bmp	1536	1528	99. 48%	1536	100%
5	P3RGB. bmp	1536	1530	99. 61%	1536	100%
6	P4RGB. bmp	1536	1530	99. 61%	1536	100%
7	N1. bmp	640	539	84. 22%	640	100%
8	N2. bmp	640	164	25. 63%	640	100%
9	N3. bmp	640	545	85. 16%	640	100%
10	N4. bmp	640	402	62. 81%	640	100%
11	N5. bmp	640	437	68. 28%	640	100%
12	N6. bmp	640	586	91. 56%	640	100%
13	N7. bmp	640	301	47. 03%	640	100%
14	N8. bmp	640	80	12. 50%	640	100%
15	S1. bmp	18	12	66. 67%	18	100%
16	S2. bmp	18	0	0. 00%	18	100%
17	S3. bmp	18	0	0. 00%	18	100%
18	S4. bmp	18	18	100. 00%	18	100%
19	S5. bmp	18	18	100. 00%	18	100%
20	S6. bmp	893	883	98. 88%	893	100%
21	S7. bmp	272	271	99. 63%	272	100%
22	S8. bmp	374	373	99. 73%	374	100%
23	S9. bmp	1584	1569	99. 05%	1584	100%
24	S10. bmp	1311	1274	97. 18%	1311	100%

全てのサンプル画像で、クリッピング対策を行ったことにより、透かし検出率が 100% に達した。

(4) 考察

グレースケール画像に対し、透かし埋め込み時にクリッピング対策処理を行うことで、J P E G ストリームの差分は解消し、2つの画像は「同一」となり、その結果、真正性証明透かしの検出に成功した。

5-イ-2-7 実験5：真正性証明透かしでの「同一性」確認実験

実験4で、全てのサンプルで透かし検出率が100%に達し、提案する真正性証明透かしが有効であることが確認できた。

今実験では、真正性証明透かしを埋め込んだ画像データに対し、以下の2方法で画像処理を行った後の画像データから、透かし検出処理を行い、検出率を調査する。

- ①再 JPEG 符号化→復号
- ②ガウシアンノイズ追加

この実験により、本報告書で定義した「JPEG画像に対する真正性の定義」、つまり、「2つの画像の DCT 係数を同じ量子化パラメータで符号化した場合に、量子化インデックスが全く同じになるとき、これらの画像は同一である」に準拠した「同一性」がどの程度の画像処理に対して保持されるのか、確認できる。

(1) サンプル画像

実験1で使用したサンプル画像をグレースケールに変換したものより、下記「表5-イ-2-6」のサンプルを使用して実験を行った。

表5-イ-2-6 実験使用サンプル

No	ファイル	画像サイズ	画像特徴	備考
1	N1. bmp	2048×2560	ポートレート	JIS X 9201 準拠「高精細カラーデジタル標準画像データ (ISO/JIS-SCID)」より。ただし、フォーマットを TIFF→24BitBMP に変換。また、画像サイズをマクロブロックで割り切れるサイズ(128×64 Pixel)に調整。
2	N2. bmp	2048×2560	カフェテラス	
3	N3. bmp	2560×2048	フルーツバスケット	

(2) 実験手順

①再 JPEG 符号化→復号

透かしを埋め込んだ画像に対し、再度 JPEG 符号化、複合処理を行い、その結果得られる画像データより、透かし検出を行う。

②ガウシアンノイズ追加

透かしを埋め込んだ画像に対し、ガウシアンノイズ追加処理を行い、その結果得られる画像データより、透かし検出を行う。

(3) 実験結果

①再 J P E G 符号化→復号実験

再 J P E G 符号化→復号実験結果を下記「表 5 - イ - 2 - 7」に記す。

表 5 - イ - 2 - 7 実験 5 結果 (再 J P E G)

ファイル	再 JPEG 符号化時 透かし 埋め込み時画質	透かし検出率				
		S=1/1	S=1/2	S=1/4	S=1/8	S=1/16
N1G. BMP	S=1/1	100%	100%	100%	100%	100%
	S=1/2	0%	44.69%	86.72%	100%	100%
	S=1/4	0%	0%	54.38%	100%	100%
N2G. BMP	S=1/1	100%	100%	100%	100%	100%
	S=1/2	0%	24.84%	98.59%	100%	100%
	S=1/4	0%	0%	52.97%	100%	100%
N3G. BMP	S=1/1	100%	100%	100%	100%	100%
	S=1/2	0%	47.81%	98.91%	100%	100%
	S=1/4	0%	0%	70.16%	100%	100%

※S は量子化値(Q)に掛ける係数。S が小さいほど、画質は向上する。
S=1 の場合、JPEG の標準量子化テーブルで量子化を行う。

②ガウシアンノイズ追加実験

ガウシアンノイズ追加実験結果を下記「表 5 - イ - 2 - 8」に記す。

表 5 - イ - 2 - 8 実験 5 結果 (ガウシアンノイズ)

ファイル	ガウシアンノイズ 透かし 埋め込み時画質	透かし検出率		
		$\mu=0$ $\sigma=1$	$\mu=0$ $\sigma=2$	$\mu=0$ $\sigma=3$
N1G. BMP	S=1/1	99.84%	1.72%	0.00%
	S=1/2	67.03%	0.00%	0.00%
	S=1/4	50.63%	0.00%	0.00%
N2G. BMP	S=1/1	99.84%	1.09%	0.00%
	S=1/2	71.09%	0.00%	0.00%
	S=1/4	52.66%	0.00%	0.00%
N3G. BMP	S=1/1	100.00%	2.50%	0.00%
	S=1/2	71.09%	0.00%	0.00%
	S=1/4	52.50%	0.00%	0.00%

※ μ は、ガウシアンノイズ発生時の標準正規分布平均値
 σ は、ガウシアンノイズ発生時の標準正規分布分散値

(4) 考察

①再 J P E G 符号化→復号実験

再 J P E G 符号化時の画質が高い($S=1/1 \rightarrow S=1/16$)ほど、透かし検出率が高い傾向が得られ、特に $S \leq 8$ の場合、全てのケースで透かし検出率は 100% に達し、「同一性」が保持される事が明らかになった。

また、透かし埋め込み時より低い画質で再 J P E G 符号化を行った場合、全てのケースで透かし検出率は 0% となった。これは、埋め込んだ透かしデータ(± 1)が、再 J P E G 時の量子化処理で削除される為と考えられる。

②ガウシアンノイズ追加実験

透かし埋め込み時の画質が低い($S=1/1 \leftarrow S=1/4$)ほど、ガウシアンノイズへの耐性が高く、「同一性」が保持される傾向にある事が明らかになった。

同様に、ガウシアンノイズの強度が低い($\sigma=3 \rightarrow \sigma=1$)ほど、「同一性」が保持される傾向にあり、 $\sigma=1$ の場合、ほぼ「同一」と判定される事が明らかになった。

上記(a)、(b)より、透かし埋め込み画像へ画像処理を加えても、ある程度の範囲内ならば耐性があり、「真正性」が保持されることが確認できた。

5-1-2-8 まとめ、今後の課題等

(1)まとめ

本報告書で提案した「真正性証明透かし」方式を用いれば、J P E G 符号化時に電子透かしを埋め込み、その後、透かしを検出することにより、2つの画像ファイルが同一であり、改竄されていない事、つまり「真正性」を証明可能なことが確認できた。

(2)今後の課題

本報告で提案した「真正性証明透かし」方式は、現時点で以下の制限がある。問題点と、対応方針を記す。

①カラー画像への対応

J P E G 標準の $YUV \leftrightarrow RGB$ 変換式が「非可逆」な変換式である為、情報劣化が発生し、その結果、透かし埋め込み/検出時の J P E G ストリームに差分が発生し、透かし検出に失敗する。

その為、現在のアルゴリズムはグレースケール画像にしか対応していない。

現時点で、この問題に対処する方法として、J P E G 2000 で採用されている「可逆性のある」 $YUV \leftrightarrow RGB$ 変換処理式を適応することを検討している。

ただし、J P E G 復号側でもこの変換式への変更を必要とする為、専用の復号器が必要となる欠点は存在する。

②量子化ステップ幅制限への対応

透かし検出時に確実に透かしデータが残存することを保障する為、量子化ステップ幅に対し、(量子化ステップ幅 ≥ 8)の制限が存在する。

この制限は、特に高品質を要求される画像への適応時に問題となる。

現時点で、この問題に対処する方法として、通常の DCT 係数値用の標準的な量子化テーブルとは別に、透かし専用の量子化テーブル ($Q \geq 8$) を用意し、量子化時に通常の DCT 係数と透かしデータでテーブルを使い分けることで、高品質画像に対する適応を可能とする事を検討している。

参考資料、参考文献

- [1] P.W.Wong, “A public key watermark for image verification and authentication”, ICIP98.
- [2] S.Walton, “Image authentication for a slipperly new age”, Dr. Dobb’s Journal, vol. 20, pp. 18-26, Apr. 1995.
- [3] 伊藤、馬養、鈴木、「JPEG 画像の真正性を証明する電子透かしの方法」、信学総合大会、D-11-33、2003 年 3 月.
- [4] 渡辺、長谷川、加藤、「直交変換利用型電子透かしにおける無攻撃時の透かし情報消失防止についての検討」、画像電子誌、32 巻、1 号、pp. 13-21、2003 年 1 月.

5-イ-3 分散環境著作権管理方式

5-イ-3-1 研究開発課題の背景

ネットワーク上でコンテンツを流通させるには1つのデータベースにコンテンツを登録し種々の方法によりユーザ認証を行いながら流通させる方法が一般的である。データベースには通常画像データそのものと特定画像を探し出すための文字情報、著作権情報や著作権者からコンテンツの使用目的に合わせたライセンスングの条件などを登録しその処理を自動化しているものが多い。

これら既存の方式には大きく2つの問題点があり一つはコンテンツを理解するために必要は情報が一元管理されているため必ずそれら情報を得るためには必ず一元管理された情報にアクセスをしなければならないこと、もう一つはコンテンツの流通を促進するためには魅力あるコンテンツを数多く集める必要があるが一元管理されているため膨大なコンテンツを扱うためにはハードウェアの性能上の限界があること（コンテンツを増やして魅力的にできる限界が存在すること）、コンテンツホルダーは自身のコンテンツをより大きなコンテンツを流通させる事業体に預けなければならないことが理由となり流通の促進を阻害する要因となっている。コンテンツのデータそのものにコンテンツを説明する情報が付加されることと、一元管理ではない、著作権情報を護りながら分散型で処理できる管理手法が望まれる。

5-イ-3-2 研究開発課題の現状

分散環境で著作権管理を行っている例はほとんど見られず現在は下記の一元管理方式によるコンテンツ流通が一般的である。

(1) CORBIS Corporation

Corbis 社の前身は、マイクロソフトの創始者ビル・ゲイツ氏により、一般家庭のモニターにデジタルコンテンツを供給するために1989年に創られた「インタラクティブ・ホーム・システムズ」。この会社は数々の美術作品のデジタル化権を取得する一方で、オンライン・ライブラリーの技術的問題の解決にも着手し、1994年にはCorbisに社名変更、収蔵データを飛躍的に増加させるとともに高度な検索システムを構築、オンラインによるデジタル画像プロバイダーの世界的なリーダーの一つといえる。現在、シアトル郊外ベルビューの本社をはじめ、ニューヨーク、ロスアンゼルス、ロンドン、パリ、デュッセルドルフ、ウィーン、香港、クアラルンプールのオフィスにおいて1,300人以上のスタッフにより運営される。コンテンツの取扱数量はオンライン供給だけで210万点、総数では6500万点におよび、美術館収蔵品を中心とするヨーロッパのコンテンツ流通団体と好対照をなし、コマースストックフォトの他、ニュース、エディトリアル、スポーツ、現代社会、歴史、著名人、そしてファインアートなど幅広くカバーするのが特徴である。

オンラインでの画像流通にはJPEGを利用しており、ライセンスングに至るまでのWeb上でのワークフロー中にはビジブル透かしによる著作権保護を行っている。コンテンツに関する情報はWebサイトと連動するDBにより一元管理されている。

(2) Getty Images

1993年設立。世界中の広告代理店、デザインハウス、出版社、雑誌社、新聞社、放送局、制作会社、ニューメディア関連などのクリエイティブワークに携わるプロフェッショナルユーザをターゲットとしており70カ国の顧客により世界最大のシェアをもつ。上記 Corbis のコンテンツに加え、7000 満点におよぶスポーツ、ニュース、エンターテインメントなどの日常のイベントに関するコンテンツをもカバーしているがオンラインでの画像流通が限られた解像度のコンテンツまでで実際に消費されるコンテンツはオフラインでの流通がメイン。ライセンシング処理をオンラインで行うのが主要なワークフローである。コンテンツ流通に利用されるデータは JPEG を利用しており Corbis と同様にコンテンツに関しての情報は Web サイトと連動する DB により一元管理されている。

コンテンツは静止画だけではなく動画、音声なども扱う。

(3) Cultural Heritage On Line

Cultural Heritage On Line は、ヨーロッパ文化遺産から全世界に向けてデジタル財産を配信するために Dominique Delouis 氏と Philippe Langlois 氏により設立された。上記の Corbis、Getty とは異なりあくまでも美術館に収蔵されている美術コンテンツを主体としており、イギリス、スペイン、イタリア、ドイツ、フランスの 132 の美術館からデジタルコンテンツの複製権を得ている。美術コンテンツを中心に今後 5 年間で 60 万点を取り扱う予定である。画像の流通はオンラインが中心である。同様にコンテンツに関しての情報は Web サイトと連動する DB により一元管理されているが、同団体が欧州連合より委託されているプロジェクトである Open Heritage プロジェクトと本研究開発にて分散著作権管理の実証を行う予定である。

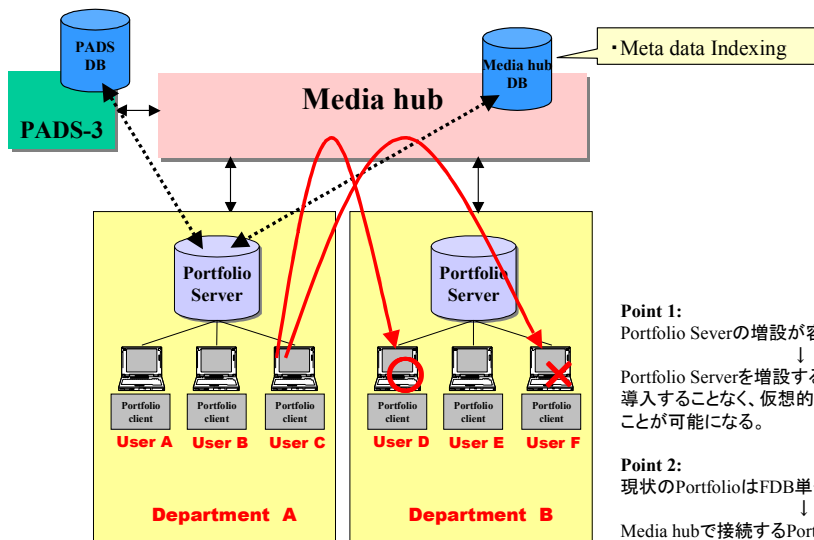
上記の代表的な事例の結果が示すとおり、その多くはコンテンツの流通の一部にのみネットワークを利用しており、かつそこで利用するファイルは JPEG がほとんどであることから本研究開発で達成される状況にはほど遠いというのがコンテンツ流通分野の現状と言える。

5-1-3-3 システム構成

研究開発分野の現状でも記載があるように、既存のほぼすべてのコンテンツ流通のためのシステムは一元管理型であり、システムの制約により流通のための様々なボトルネックが生じている。

そのため分散環境での著作権管理を行えるコンテンツ流通のシステムが必要となる。

コンテンツ流通システムは大きくユーザへのサービス提供に必要な機能、コンテンツの管理を行う機能（デジタル・アセット・マネジメント）に大別される。ここでの管理機能を分散化できること、また規模のことなるコンテンツ流通システムを連動させる機能を満たすため下記の構成を検討した。



Point 1:
Portfolio Serverの増設が容易である
↓
Portfolio Serverを増設することにより、メディアムDAMを導入することなく、仮想的なメディアムDAMを構築することが可能になる。

Point 2:
現状のPortfolioはFDB単位のアクセスしかできない
↓
Media hubで接続するPortfolioのコンテンツ情報を一元管理することにより、異なるPortfolio server配下のコンテンツへのアクセスを可能になる

図 5 - イ - 3 - 1 構成例 1

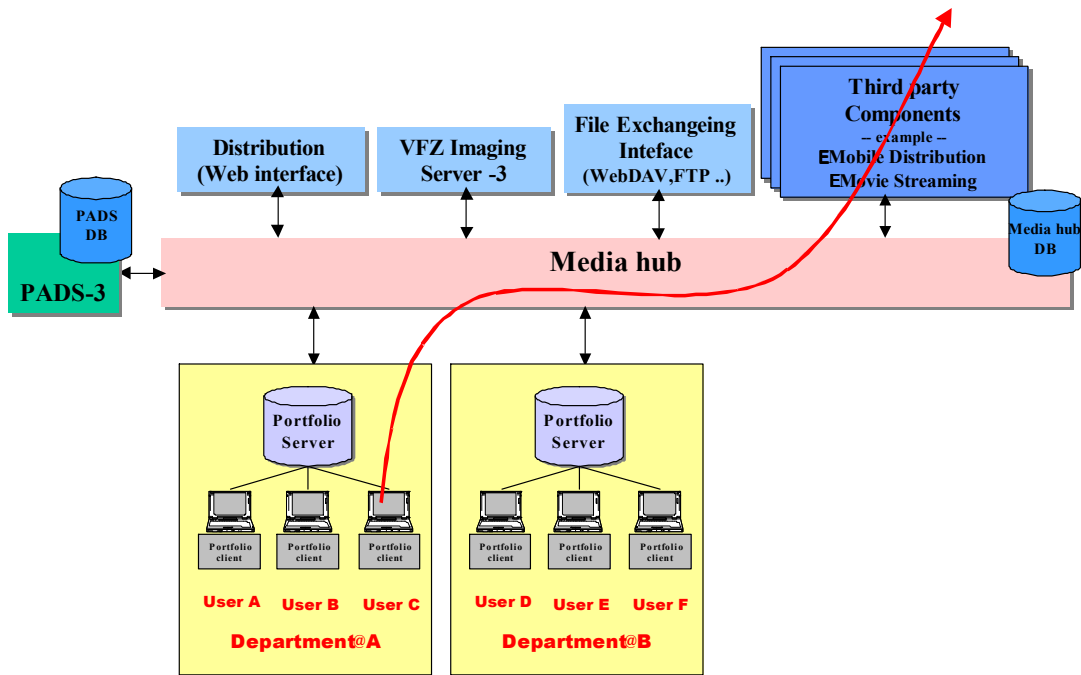


図 5 - イ - 3 - 2 構成例 2

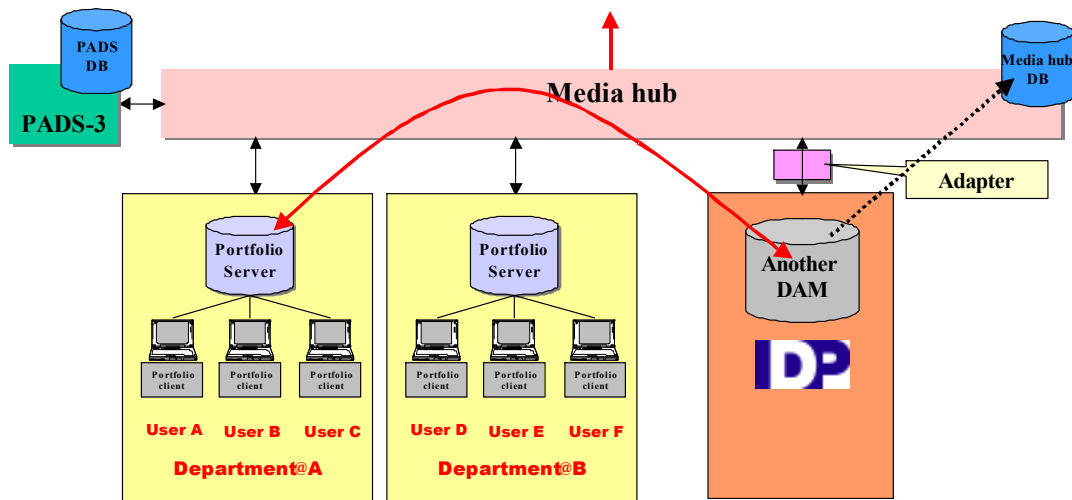


図 5 - イ - 3 - 3 構成例 3

管理側の機能は複雑になることが想定される。既存の多くのコンテンツ流通システムでも大規模でかつ複雑な Web Interface を用意しているが、管理すべき項目があまりにも多いため、調査の結果、結局は DB のデータを SQL 文などを使い直接管理している事例も見られたことから、既存の Web Interface ではないデジタルアセットマネジメントツールとの連動が重要であるとし、それらとの連動のための手法を模索した。

5-イ-3-4 ユーザオペレーション

ユーザ側のオペレーションとして次の様なオペレーション画面の設計・開発をおこなった。図5-イ-3-4に画面遷移を記す。

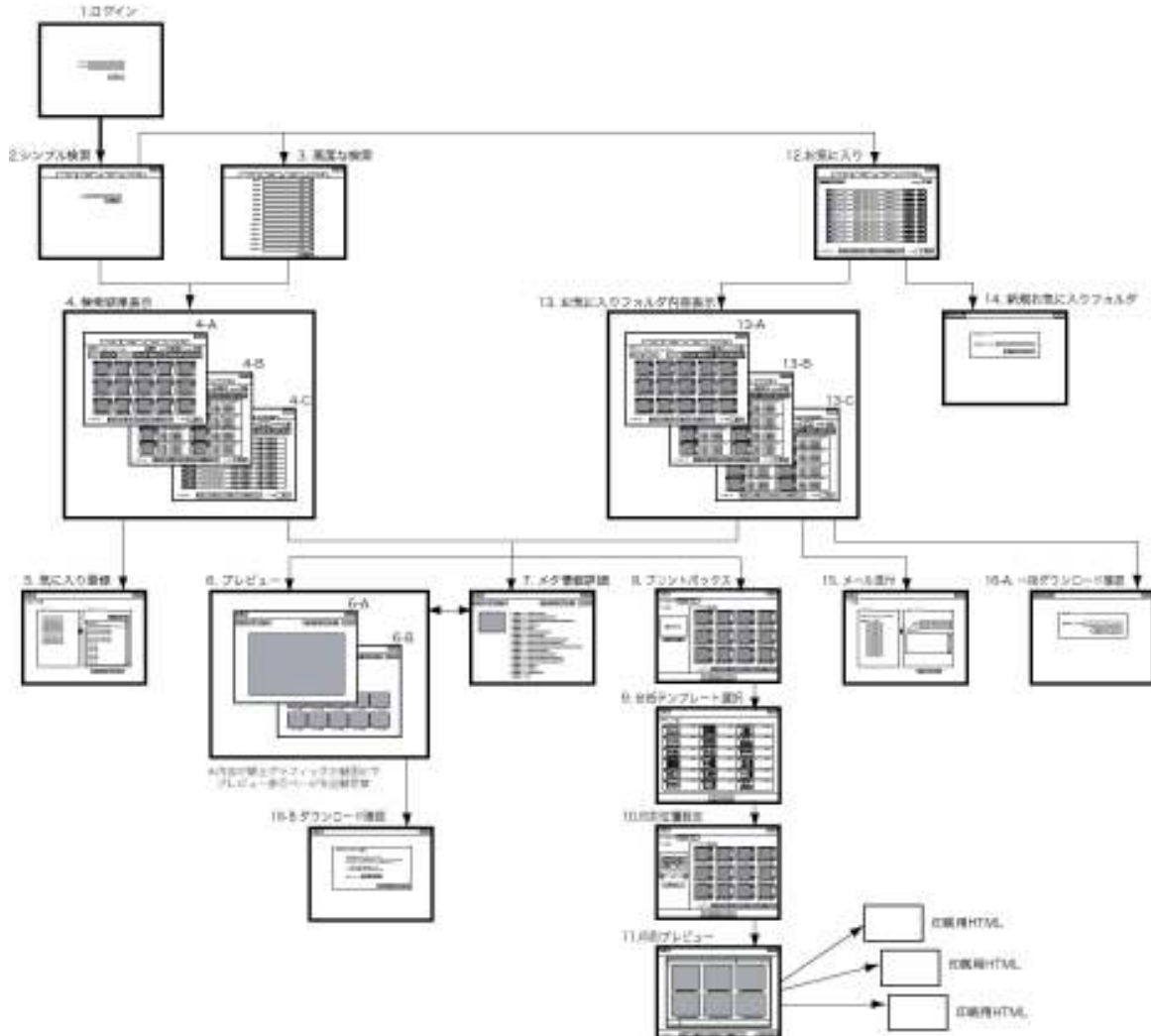


図5-イ-3-4 画面遷移図

5-ウ 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

5-ウ-1 序論

以下の2つの研究開発テーマを設定した。

(1) ユーザとのインタクションによる検索・ブラウジング精度の高度化

コンテンツ自体から信号レベルで抽出される特徴量、付加情報から抽出されるキーワードを用いて、多次元の検索インデックスを構成する。これにより、キーワード、例示画像、スケッチ等、ユーザからのさまざまな検索キーに対応可能な検索機能を開発する。その上で、ユーザによる検索結果の評価等のインタラクションから、各種検索パラメータの重み付けを最適化することで高精度な検索を実現する。

同様に多数のコンテンツを提示するブラウジング環境においても、ユーザのアクセス履歴に応じて、ブラウジングのための各種の軸（例：作者、年代、色分布、テキストチャ等）の重み付けを最適化し、ユーザの方向性に合致した情報整理・提示機能を実現する。

(2) キーワードと画像特徴のマッピング

コンテンツ検索の最初のきっかけとしてふさわしいのは、キーワードである。しかしながら、例えば絵画の場合、その作者、年代等はコンテンツの蓄積時にコンテンツの付加情報として与えられることが自然であるが、その内容についての記述がなされることが少ない。そこで、画像の特徴量とキーワードのマッピングを行なう方式について研究を行なう。具体的には、キーワードと画像からなる訓練セットを用意し、それらから対応モデルを構築し、このモデルを新規画像データに適用し、キーワードを付加することを目指す。

これにより、以下を可能とする。

- ① 画像データに対してキーワード等の付加情報を与えることができる。これにより、キーワードによる画像検索が可能になる。
- ② キーワードが検索キーとして与えられた場合に、そのキーワードを画像特徴量にマッピングさせ、特徴量によって分散アーカイブの検索を行なう。これにより、キーワードが与えられていないコンテンツ、および、付加されているキーワードの言語（日本語、英語等）が異なるコンテンツに対する検索が可能になる。

上記二つの研究開発において共通するのは、コンテンツとそのラベル(①においては、ユーザの評価や操作、②においては、キーワード)を対応させ、それらの関係を抽象化したモデルを構成するという機械学習的な手法を用いることであり、各機能を実現するための属性（特徴量）の選択方法、学習アルゴリズムの最適化が必要となる。これらのシステム概念図を図5-ウ-1に示す。

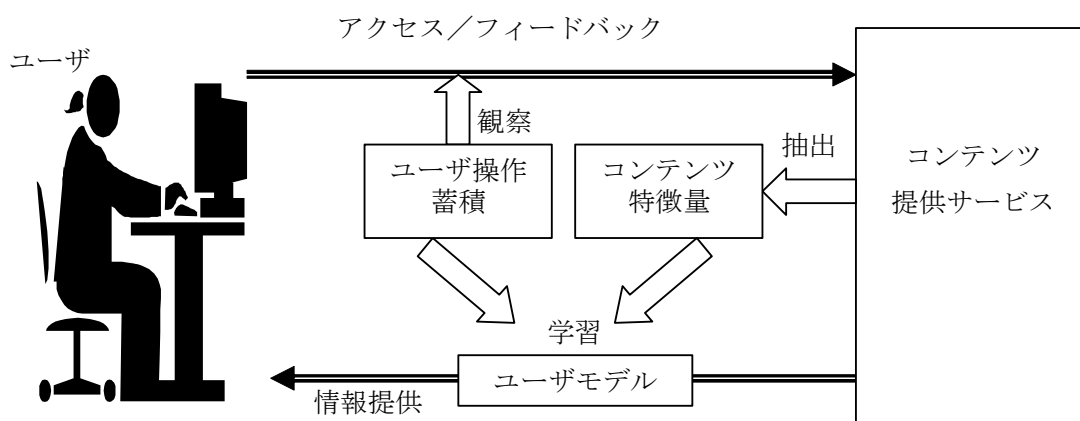


図5-ウ-1 状況適応型コンテンツ検索・ブラウジング

そこで、これらの問題点を解決するため、最終的には、コンテンツ自体から信号レベルで抽出される特徴量、付加情報から抽出されるキーワードを用いて、多次元の検索インデックスを構成する。これにより、キーワード、例示画像、スケッチ等、ユーザからのさまざまな検索キーに対応可能な検索機能を開発する。その上で、ユーザによる検索結果の評価等のインタラクションから、各種検索パラメータの重み付けを最適化することで高精度な検索を実現する。同様に多数のコンテンツを提示するブラウジング環境においても、ユーザのアクセス履歴に応じて、ブラウジングのための各種の軸（例：作者、年代、色分布、テキスト等）の重み付けを最適化し、ユーザの方向性に合致した情報整理・提示機能を実現する。

5-ウ-2 平成14年度研究開発目標

上に述べたシステム・機能を達成するためには、まず基本となる検索システムを構築する必要がある。その上で、ユーザのインタラクションによるデータを取得し、アルゴリズムの改良・精度向上に役立てることが重要である。

そこで、平成14年度は、「ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化」について以下を目標として掲げた。

画像検索機能、画像表示機能を有するシステムをサーバ・クライアントモデルとして検討、構築する。

画像検索サーバは下記の機能を有する。

- ①画像から色ヒストグラム、形状等の画像特徴量を抽出するライブラリ群
- ②画像と特徴量、さらには、撮影日時等付加的な情報の一元管理
- ③ユーザからのフィードバックの蓄積機能

検索クライアントは、下記の機能を有する。

- ①検索キー入力（例示画像、キーワード等）のサポート
- ②一覧性の良いサムネイルを用いた結果表示
- ③ユーザのフィードバックの受付

④画像データベースの編集機能（付加的な情報の入力登録）

以下では、研究開発内容について詳述する。

5-ウ-3 システム構成

本研究においては、広く一般に使用されている WEB ベース (HTTP ベース) のシステムとして設計した。これによって、ユーザインタフェース周り (WEB ブラウザの利用)、通信周り (WEB サーバの利用) の開発負荷を軽減した。

本研究におけるシステム構成図を図 5-ウ-2 に示す。

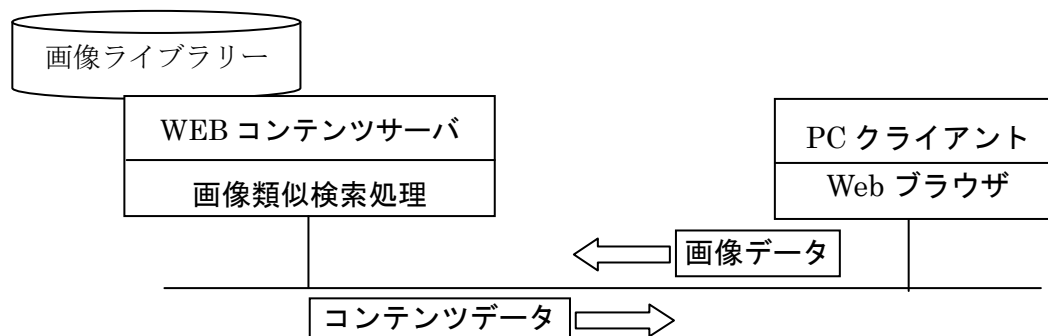


図 5-ウ-2 システム構成

WEB ベースのサーバークライアントモデルであるため、本研究開発は、WEB サーバ上のプログラムを実装されることになる。

さらに、WEB サーバ上の処理 (ソフトウェア構成) を図 5-ウ-3 に示す。

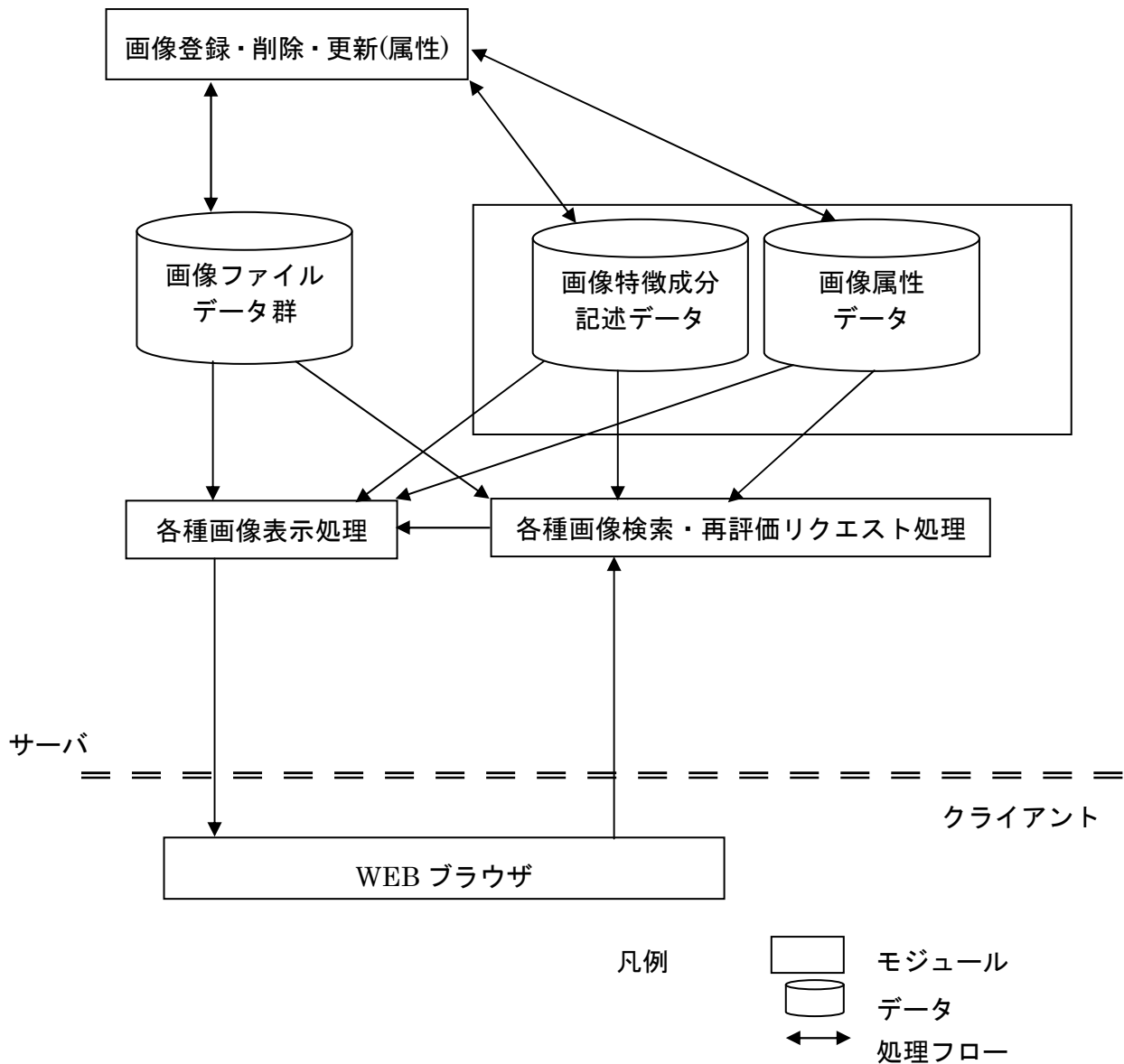


図5-ウ-3 ソフトウェア構成

図5-ウ-3に示したそれぞれの要素の概略機能を下記に示す。

(1) モジュール群

①画像登録・削除・更新(属性)

- ・ サーバ上に画像を登録する。
- ・ 画像ごとに特徴量を計算しDBに登録する。
- ・ 画像ごとにキーワードを登録しDBに登録する。
- ・ サーバ上の画像を削除する。ファイル、または、管理情報を削除する。
- ・ 削除した画像の特徴量をDBから削除する。
- ・ 削除した画像のキーワードをDBから削除する。
- ・ サーバ上の画像のキーワードをDB更新する。

②各種画像表示処理

- ・ サムネイル画像を表示する。
- ・ サムネイルを評価順に並べて表示する。

③各種画像検索・再評価リクエスト処理

- ・ 検索のダイアログを表示する。
- ・ 検索の評価変更のダイアログを表示する。
- ・ 検索結果の評価をする。
- ・ 検索を行う。
- ・ 再検索を行う。

(2)データ群

①画像ファイルデータ群

- ・ 最大 150×150 程度のサムネイル画像を格納する。

②画像特徴成分記述データ

- ・ 個々のサムネイル画像に関して、抽出された特徴量を格納する。

③画像属性データ

- ・ 画像ファイルに対するキーワード情報を格納する。

なお、上記②, ③は、リレーショナル5-ユー-3データベースによって、①の画像と対応付けられ一元的に管理される。

5-ユー-4 特徴量表現

ある画像を検索キー画像として入力し類似画像を検索する、類似画像検索の場合、画像の持つ特徴を数値的に表現する必要がある。これによって、数値計算により類似度の表現が可能となる。本研究においては、静止画像を対象としたことから、「色」、「レイアウト」、「テクスチャ」に関する特徴記述子を用いることにした。これらを表5-ユー-1に示す。

表5-ユー-1 使用した特徴量

属性	備考
色	HSV 色空間によるヒストグラム
レイアウト	YCbCr 空間の DCT 係数
テクスチャ	周波数のエネルギー計算

特徴量の表現に当たっては、MPEG-7 を参考にした。さらに、最も簡易な検索用のキーとして、任意のキーワードも付加した。

以下では、それぞれの特徴量について説明する。

(1)色

画像全体における色の使用量分布を表現する。色表現に RGB 空間の表現が最も、簡便であるが、本研究開発においては、特に、絵画等の美術品を含むデジタルアーカイブを対象としており、色彩、鮮やかさ等を表現できる方が望ましい。そのため、HSV 空間[色相(Hue)、彩度(Saturation)、明度(Value)]による表現とした。

画像中から、RGB 成分を取り出した後、それらの値を HSV 空間に写像した上で、色ヒストグラムを構築する。その際、各成分を独立した記述とせず、HSV 各成分の組み合わせで記述する。

具体的には、H 成分を 8 分割、S 成分を 2 分割、V 成分を 2 分割した上で、それらの組み合わせ、すなわち、 $8 \times 2 \times 2$ の 32 個の要素からなるヒストグラムとした。なお、画像間の類似度計算を行う際、検索キー画像と対象画像のサイズ（ピクセル数）の違いに対応するため、各 32 個の要素からなるヒストグラムを全ピクセル数で割り正規化して表現する。

(2)レイアウト

画像全体における位置的な色の使われ具合を表現する。これは、MPEG-7 の記述を参考し、下記の処理で得られる対象画像の DCT 係数で表現する。

- ①各画素の色空間を YCbCr 空間に変換する。
- ②対象となる画像を縦横に 8 分割する。（ 8×8 のマトリックス領域に分ける。）
- ③分割された各領域の平均値を求める。

これによって、8 画素 \times 8 画素からなる仮想的な画像が作成されることになる。

- ④上記③で得られた画像に対して、Y, C b, C r 各成分毎に、D C T 変換を行い D C T 係数を得る。
- ⑤Y, C b, C r それぞれの D C T 係数に対して、低周波成分から順に、以下の数を取り出し、特徴量として格納する。

Y \rightarrow 6

Cb \rightarrow 3

Cr \rightarrow 3

レイアウトは、全 12 個の値で表現されることになる。

(3)テクスチャ

画像全体のテクスチャを表現する。下記にて抽出する。

- ①各画素の色空間を YCbCr 空間に変換する。
- ②Y 成分に対して、Gabor Filter (Scale = 4, Orientation = 6)を適用する。
- ③各スケール、各方向の平均と分散をテクスチャ特徴量として格納する。

すなわち、テクスチャは、 $4 \times 6 \times 2$ (平均値、分散値) = 48 個の値で表現される。

新たな画像が登録される毎、あるいは、検索キー画像が入力される毎、上述の特徴量が抽出されることになる。

5-ウ-5 距離計算

特徴量は、以下の 92 個の要素からなるベクトルと考えることができる。

色 : 32
 レイアウト : 12
 テクスチャ : 48

このベクトルを 1 つのフレームワーク内で扱うことができれば、特徴量毎に値の分布が異なっているため、それぞれの特徴毎に距離計算を行なう。

(1) 色

検索キー画像の 32 個の係数と対象画像の 32 個の係数の間で、L1Norm (絶対値の差分和) を計算する。すなわち、 K をキー画像の HSV ヒストグラム、 T をデータベース中の任意の画像の HSV ヒストグラムとすると以下の式で示される。

$$Dist(K, T) = \sum_{i=1}^{32} |K_i - T_i|$$

(2) レイアウト

YCbCr それぞれの DCT 係数間の距離を計算する。その際、成分毎に重み付けされた距離として計算する。

$$Dist = \sqrt{\sum_{i=0}^5 \lambda_{Yi} (YCoeff[i] - YCoeff'[i])^2} + \sqrt{\sum_{i=0}^2 \lambda_{Cbi} (CbCoeff[i] - CbCoeff'[i])^2}$$

$$+ \sqrt{\sum_{i=0}^2 \lambda_{Cr_i} (CrCoeff[i] - CrCoeff'[i])^2}$$

λ の設定は、表 5-ウ-2 に従う。

表 5-ウ-2 λ の重み

(X)	Coefficient Order					
	0	1	2	3	4	5
Y	2	2	2	1	1	1
Cb	2	1	1	-	-	-
Cr	4	2	2	-	-	-

(3) テクスチャ

抽出した平均値及び分散値間の差分絶対値で表現する。

$$Dist(K, T) = \sum_m \sum_n d_{mn}(K, T)$$

ここで、

$$d_{mn}(K, T) = \left| \frac{\mu_{mn}^K - \mu_{mn}^T}{\alpha(\mu_{mn})} \right| + \left| \frac{\sigma_{mn}^K - \sigma_{mn}^T}{\alpha(\sigma_{mn})} \right|$$

である。

また、 α は、登録されている全画像の値から計算される標準偏差である。

5-ウ-6 類似画像検索

次に、前節で定義した距離を組み合わせて、ユーザの所望する画像を検索することについて述べる。画像検索の場合、キーワードが予め主観的に画像に付加されている場合を除き、ユーザの意図する画像を 1 回の検索で取得することは難しいと考える。2 つの画像が似ている、似ていないという判断は、非常に主観的なものであり、そのよう類似性を正確に表現する普遍的な関数を得ることは困難である。

1 つの方法は、各特徴量の重みを明示的にユーザに指定させ、その重みに応じて距離計算を行うことであるが、ユーザにとっては負担である。そこで、ユーザのフィードバック、すなわち、検索結果に対するユーザの評価に応じて動的に類似度計算を変更することが必要である。概念図を図 5-ウ-4 に示す。

ユーザフィードバックを用いる方式として、下記の 2 方式が考えられる。

1) Weight Adjustment

(2) Query Movement

以下、それぞれについて説明する。

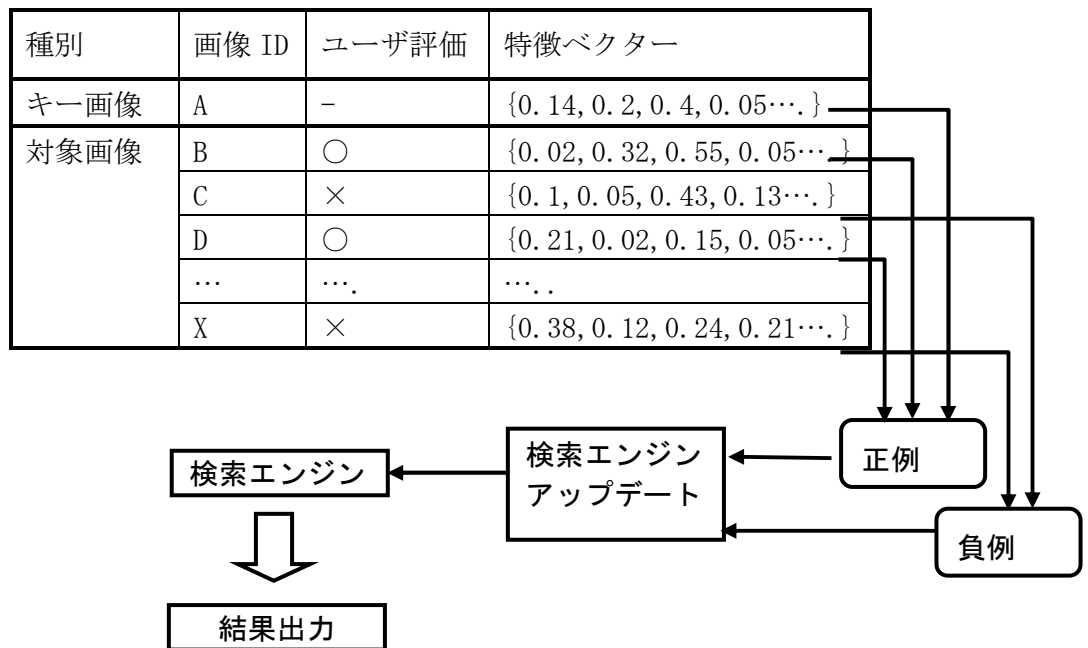


図5-ウ-4 ユーザフィードバックによる類似検索

(1) Weight Adjustment

これは、色、レイアウト、テクスチャの各特徴量の距離に重みをつける方式である。

定式的に示すと、

$$Dist(K,T) = \alpha \cdot Dist_{color}(K,T) + \beta \cdot Dist_{layout}(K,T) + \gamma \cdot Dist_{texture}(K,T)$$

で示される、ユーザのフィードバックの結果に応じて、 α 、 β 、 γ の値が決定される。これは、例えば、正例の距離（色、レイアウト、テクスチャの3次元）の重心と、負例の距離の重心との距離を最大するように、 α 、 β 、 γ の値を求めればよい。

(2) Query Movement

ユーザが入力した類似キー画像の5-ウ-6特徴ベクターを正例、負例を考慮して、変形する。すなわち、質問ベクトルを以下で表現する。

$$\vec{Q}_{modified} = \alpha \cdot \vec{Q}_{original} + \beta \cdot \vec{Q}_{positive} - \gamma \cdot \vec{Q}_{negative}$$

ここで、 $Q_{positive}$ は、正例のベクターの平均値、 $Q_{negative}$ は、負例のベクターの平均値である。これによって、多次元特徴ベクター空間上の1点である質問点

を正例の点に近づけ、かつ、負例の点から遠ざけるということを意図している。
なお、 α 、 β 、 γ の値は実験を通して最適値を見つける。

3つの特徴量間の距離計算については、「色」、「レイアウト」、「テクスチャ」を均等に扱うことを意識し、それぞれの距離計算値に対し、偏差を考慮し下式によって、正規化を行う。

$$Dist_{normalize}(K, T) = |Dist(K, T) - \mu| / 3 \cdot \sigma$$

ここで、 μ は、平均値、 σ は、偏差である。

それぞれの距離計算値を正規化した後、下記にて全体の距離を得る。

$$Dist_{final}(K, T) = Dist_{color}(K, T) + Dist_{layout}(K, T) + Dist_{texture}(K, T)$$

以上、述べたことを考慮し、実際に Query Movement 方式に基づく画像検索システムを WEB 環境上に実装し、評価した。

5-ウ-7 実装

(1) 画像登録・削除・更新(属性)処理部

検索対象となる画像を図5-ウ-5で示す構成によって管理する。

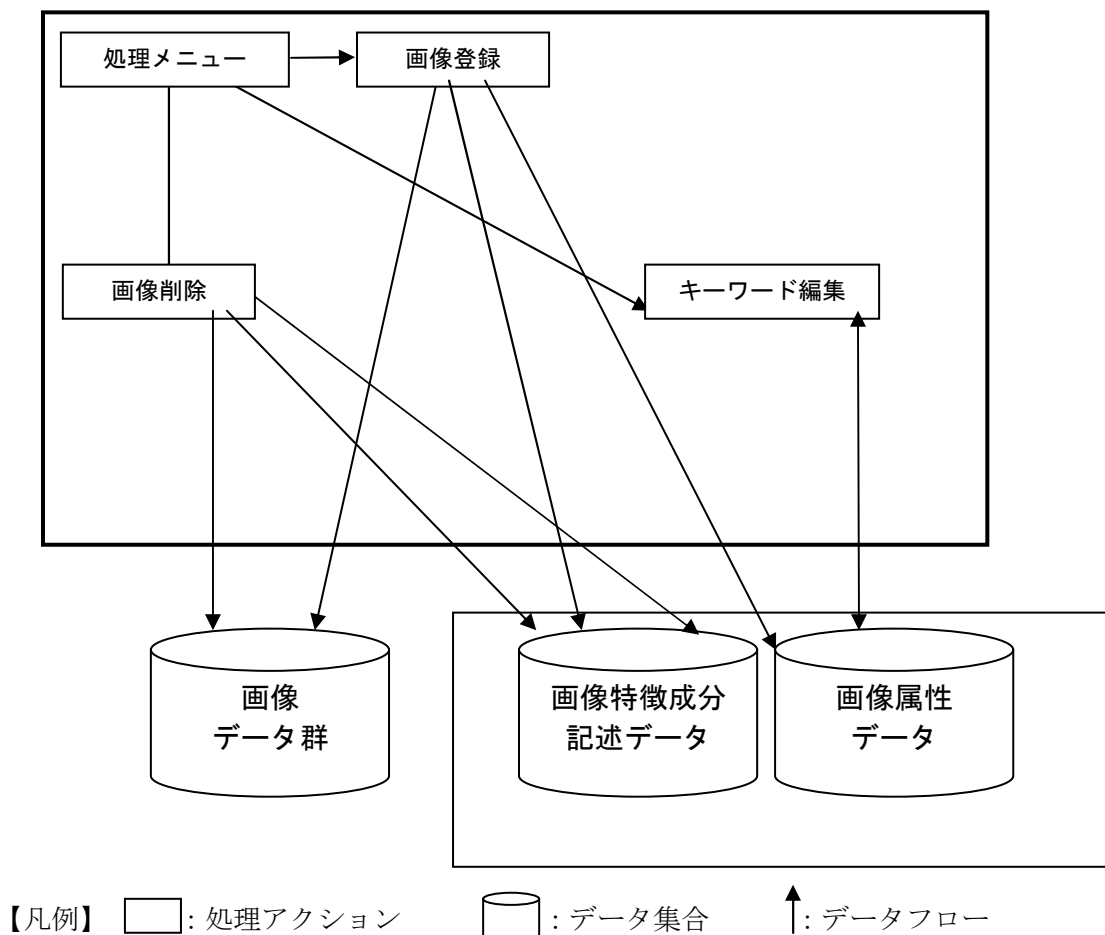


図5-ウ-5 画像登録・削除・更新系

以下、個々の処理について説明する。

①画像登録

指定された画像ファイルをストレージに格納する。このとき画像のイメージ変換、サイズ変化を行いサムネイル画像として格納する。画像検索は、これらサムネイル画像を対象になされる。同時に、画像毎に「色」、「レイアウト」、「テクスチャ」の特徴値を抽出し、画像ファイルを対応付けた上で、データベースに格納する。さらに、検索・表示機能を補助する項目として、キーワード情報も同時にデータベースに格納する。

②画像削除

指定された画像ファイルに関してストレージに格納されている画像ファイル、

ならびにデータベース上に格納されている、「色」、「レイアウト」、「テクスチャ」、「キーワード」を削除する。

③キーワード編集

画像に対して付加されているキーワードの編集を行う。

(2) 画像表示処理部

検索結果の表示を行う。その際、検索結果をユーザが評価できるように評価ボタンを設ける。構成を図5-ウ-5、ユーザインタフェースを図5-ウ-6に示す。

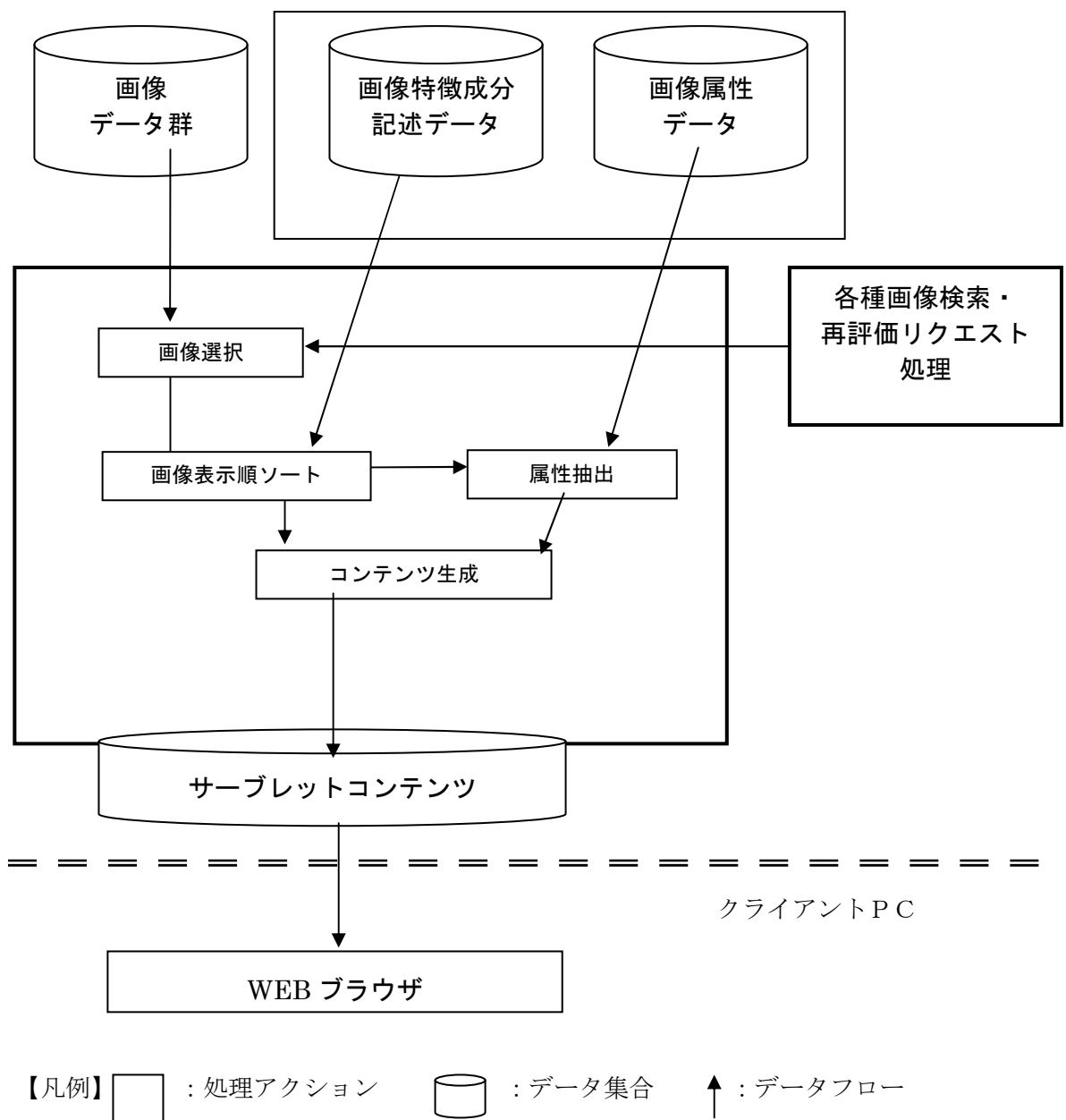


図5-ウ-5 画像表示

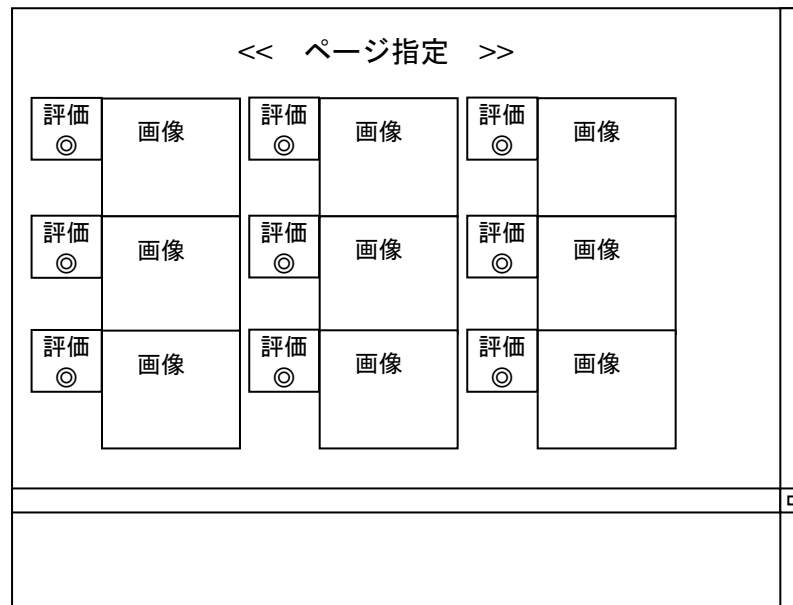


図5-ウ-6 検索結果ユーザインタフェース

以下、個々の処理について説明する。

①画像選択

検索キー画像及び、検索結果として表示すべき画像を選択しコンテンツ生成処理に渡す。

②画像表示順ソート

検索キー画像の持つ特徴量と、他画像のもつ特徴量間の距離計算を行い、近い順番に画像を並べ、WEBクライアントから見たときに、その順番の配置になるように画像順をコンテンツ生成処理に渡す。

③属性抽出

②「画像表示順ソート」の結果で指定される画像に付随しているキーワード情報を下記④のコンテンツ生成処理に渡す。

④コンテンツ生成

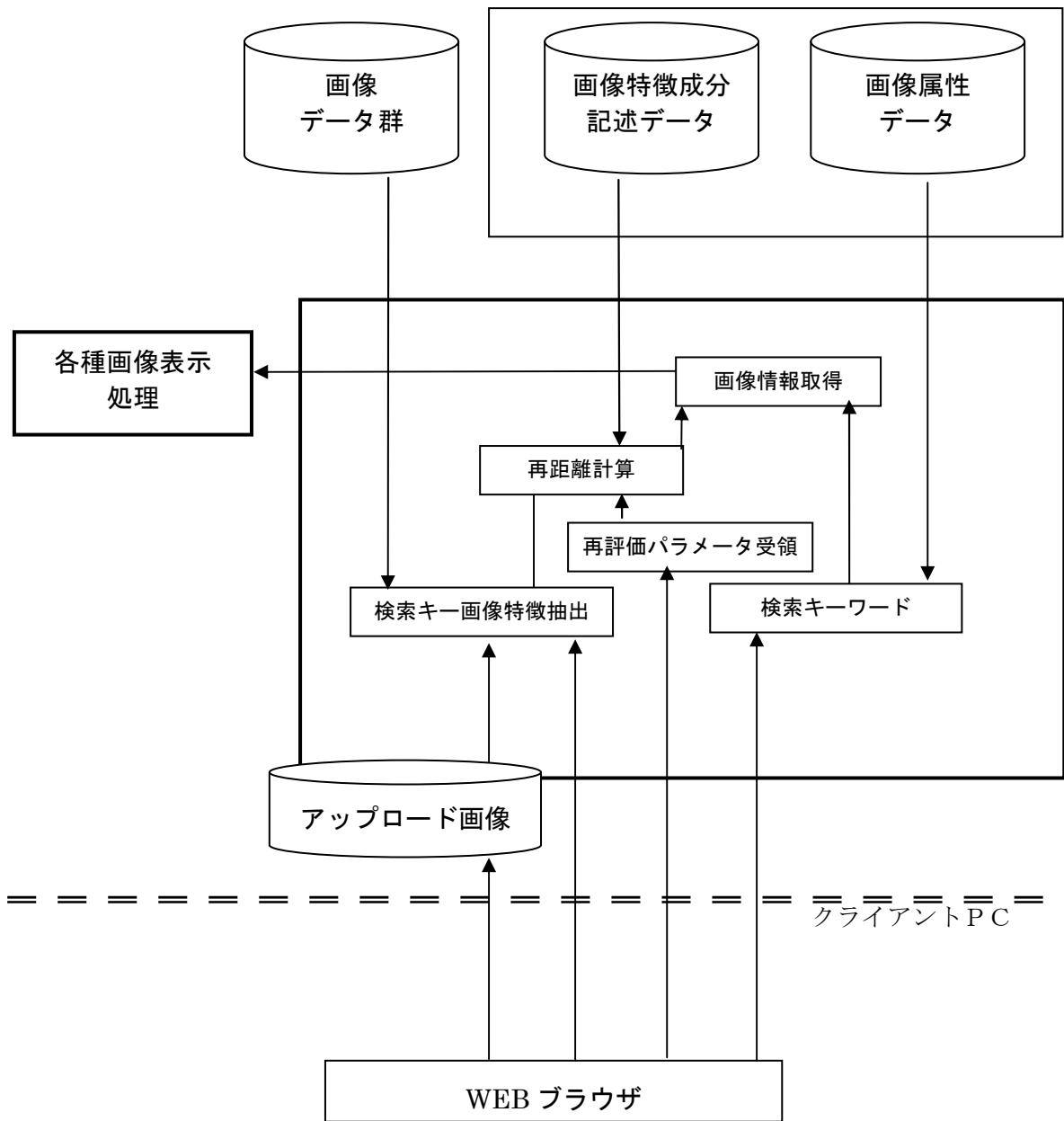
上記①～③から受け取った情報を元に、ユーザからフィードバック用ボタンを付加し、ユーザに表示する。

なお、今回の実装では、ユーザ評価は、バイナリ（似ている or 似ていない）とした。

(3)画像検索・再評価リクエスト処理部

ユーザによって、検索キー画像が入力された場合、まず、5-ウ-6節(2)の Query Movement の項で述べた距離計算によって、まず、初期の類似画像検索を行なう。個々の検索結果に対するユーザからの2値のフィードバックに応じて、Query Movement により質問点を動かすという処理を実装した。

図5-ウ-7に処理概念図を示す。



【凡例】 □ : 処理アクション 〇 : データ集合 ↑ : データフロー

図5-ウ-7 画像検索・再評価リクエスト処理

個々の処理は、以下の通り。

①検索キー画像特徴抽出

検索キー画像がストレージ上の画像ファイルの場合は、DBから「色」、「レイアウト」、「テクスチャ」情報を取得する。クライアントから、参照画像がアップロードされる場合は、アップロードされた参照画像に対して、イメージ変換、サイズ変換を行い、同時に、画像毎に色、「レイアウト」、「テクスチャ」情報を抽出する。特徴量は、②再距離計算部に渡される。

②再距離計算

検索キー画像の特徴量及と、登録されている画像との距離計算を行なう。距離に応じて検索結果を並べ、順序情報を④画像情報取得に渡す。

③再評価パラメータ受領

ユーザ（クライアント）からの「似ている」－「似ていない」の評価を受け、Query Movement によって、検索キーとなるべき特徴量ベクトルを変化させた上で、②再距離計算にその値を渡す。

④画像情報取得

②再距離計算で得られた画像、あるいは、⑤検索キーワードで選択されたキーワードにマッチする画像を前節の(2)画像表示処理部に渡す。

⑤検索キーワード

クライアントに対して、キーワード入力用のダイアログを提示し、入力されたキーワードを④画像情報取得」に渡す。

5-ウ-8 実験、評価

実装したシステムを用い、ユーザによる主観的な評価を実施した。なお、下記の式による Query Movement で質問ベクトルを変更した。

$$\vec{Q}_{\text{modified}} = 0.6 \cdot \vec{Q}_{\text{original}} + 0.4 \cdot \vec{Q}_{\text{positive}} - 0.1 \cdot \vec{Q}_{\text{negative}}$$

主観的な評価の限りでは、安定して満足できる結果を出していない。例えば、下記の点について今後、考えてゆく必要がある。

- (1) α 、 β 、 γ （現行： $\alpha=0.6$ 、 $\beta=0.4$ 、 $\gamma=0.1$ ）を変化させての客観的な評価が必要である。

(2) 現 Query Movement では、各特徴量間の距離をすべて等価（重み：1、5.1-6(2) 参照）に扱っているが、Weight Adjustment との融合を考えるべきである。

(3) 最終的な評価結果は、全ての特徴量が統合された一次元のスカラー値に基づき表示されるが、所望の画像が得られていない場合（特に、最初の検索結果の提示時）のシステムの挙動がわかりにくい。

なお、(3)については、今後のシステムの拡張を考え、検索結果の表示時に現在、3つ（色、レイアウト、テクスチャ）の特徴の任意の2軸

色	×	レイアウト
色	×	テクスチャ
レイアウト	×	テクスチャ

の距離に基づき、検索キー画像を中心に配置し、その周りに任意の2軸の距離に応じて検索結果を提示するモードを追加した。

表示例を図5-ウ-8に示す。



図5-ウ-8 任意の2軸による結果表示

5-ウ-9 まとめ

以上、今年度の実施内容について述べた。まとめると、

(1) 画像特徴量として色、レイアウト、テクスチャ (Texture) を取り出し、これらの特徴量に基づき画像検索を行うシステムを開発した。

(2) サムネイルによる結果の提示に加えて、ユーザに対して提示画像の評価を行うボタンを配し、その結果を Query Movement の手法を用いてフィードバック

する仕組みを実装した。

- (3) 検索に必要な画像データベースの管理、特徴量抽出、検索エンジン等モジュールに分けて実装することにより将来の拡張性を確保した実装、開発を行った。
- (4) 上記システムの評価を行い、ユーザフィードバック等のデータの収集、検討に関する方式の検討を実施した。

今後は、今回構築したシステムをベースに、新規アルゴリズムの実装、客観的・主観的評価を通し、精度の高い検索アルゴリズムを開発してゆくことが必要である。

プロジェクト全体としては、今年度は十分な成果が得られたと考える。以下、個別課題ごとに総括する。

【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発

位置補正・画像合成処理・ひずみ補正処理の研究においては、デジタルカメラを適切な位置に設置して撮影して得られた画像から、実際の画像のもつジオメトリを正確に計算することにより、ひずみのない画像を得る補正処理方式のアルゴリズムの研究を実施した。また、超高精細コンテンツを生成するために、デジタルカメラを使用して、絵画を複数の領域に分割撮影し、得られた画像データ群を合成する研究を実施した。開発したプロトタイプを用いて三井寺の襖絵を撮影・合成したところ良好なデータが得られ、方式として問題ないことが確認された。今後は精度の向上、処理の自動化、ユーザインタフェースの向上が課題である。

色補正処理の研究においては、用紙の種別ごとの発色傾向の把握、色調補正作業の実働時間の把握、高精細デジタルカメラの撮影ワークフローの把握、高精細デジタルカメラによる撮影データ発色特性の把握、フランスを中心とするヨーロッパにおけるカラーマッチング研究状況の把握、ギリシア、ヘラクليونにおけるCrisatel プロジェクトレビューにおける発表を実施した。今後は日本画を使用した用紙による発色特性研究、プリンターの種別による発色特性研究を実施する予定である。

質感表現三次元データ生成処理の研究においては、質感表現を表面形状の計測と、精密に制御された観測光のもとでの分光反射特性の計測という、物理的な計測手法を用い、これをコンピュータ上でデジタル化を行うアルゴリズムについて検討を進めた。この計測環境をベースにして、今後は対象コンテンツを拡大し、デジタルアーカイブへと実際に利用しうるルーチ的な手法開発を目指していく。

検証用コンテンツデジタル化の研究においては、天台門宗総本山 園城寺（三井寺）の勸学院 客殿一之間の襖襖12面、床間壁貼付『滝図』（杉木立と滝に雪山 狩野光信 筆）3面のデジタル化を実施し、良好なデータを取得することができた。

【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

コンテンツの階層的な蓄積方式の研究においては、解像度と色深度方向の双方について多重性をもつファイルフォーマットを開発した。評価の結果、ファイルサイズにして平均0.8倍となる解像度多重フォーマットのプロトタイプの開発をおこなうことができた。従来方式が元ファイルに比べて大きくなるのに対し、当方式では逆に元ファイルより小さくできるというのは画期的な成果といえる。ただし、平均値は0.8倍であるが中には1.3倍を超えるものもあり、さらなる実験とともに一部アルゴリズムの見直しが必要である。

各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かしの研究においては、「真正性証明透かし」方式を用いれば、JPEG符号化時に電子透かしを埋め込み、その後、透かしを検出することにより、2つの画像ファイルが同一であり、改ざんされていない事、つまり「真正性」を証明可能なことが確認できた。カラー画像への対応、量子化ステップ幅制限への対応が今後の課題である。

分散環境著作権管理方式の研究においては、コンテンツ流通システムの機能を詳細に分析し、ユーザーへのサービス提供に必要な機能、コンテンツの管理を行う機能（デジタル・アセット・マネジメント）を抽出し、管理機能の分散化と規模の

ことなるコンテンツ流通システムを連動させる機能を満たす構成を検討した。この結果、既存の Web Interface ではないデジタルアセットマネジメントツールとの連動が重要であるとし、それらとの連動のための手法を模索した。また、ユーザー側のオペレーション画面の設計・開発をおこなった。

【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

状況適応型コンテンツナビゲーション技術の研究においては、画像特徴量として色 (Color Layout)、ヒストグラム (HSV Color Histogram)、形状 (Texture) を抽出し、これらの特徴量に基づき画像検索を行うシステムを開発した。また、サムネイルによる結果の提示に加えて、ユーザに対して提示画像の評価を行うボタンを配し、その結果を Query Movement の手法を用いてフィードバックする仕組みを実装した。さらに、検索に必要な画像データベースの管理、特徴量抽出、検索エンジン等モジュールに分けて実装することにより将来の拡張性を確保した実装、開発を行った。次に、これを用いて評価を行い、ユーザフィードバック等のデータの収集、検討に関する方式の検討を実施した。今後は、今回構築したシステムをベースに、新規アルゴリズムの実装、客観的・主観的評価を通し、精度の高い検索アルゴリズムを開発してゆくことが必要である。

(添付資料)

1 研究発表、講演、文献等一覧

- ・ CRISATEL プロジェクト 中間研究報告レビュー（平成15年4月上旬）
- ・ 日本・紙アカデミー研究発表会（平成15年6月）
- ・ 意匠学会研究発表会（平成15年度後期研究発表会）
- ・ 京都市立芸術大学研究紀要（平成15年度版・平成16年3月発刊予定）
- ・ 超高精細コンテンツデジタル化技術（平成15年3月 情報処理学会“人文科学とコンピュータ研究会”）
- ・ 高精細画像呈示技術（平成15年3月 電子情報通信学会全国大会）