

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

差分画像を用いた定点カメラ映像分析システム

野上 僚司

(コンピュータサイエンス専攻)

指導教員 田中 二郎

2011年3月

概要

定点カメラによる人の行動分析が行われている。この様な分析は、撮影を行う期間が長期になるほど得られる情報は多くなる。しかし、人が閲覧できる映像の長さには限界がある為、数ヶ月に及ぶ定点カメラ映像を、人が直接閲覧して分析する事は困難である。

本研究では、長期間の定点カメラ映像に対し、人が直接閲覧して分析することを目的とし、定点カメラ映像から重要な映像のみを抜き出し分析することを支援するシステムを開発した。

本システムは、定点カメラ映像から得られる差分画像を用いて映像閲覧の支援を行う。差分画像とは、定点カメラ映像を構成するフレーム毎に、前フレームと比べ輝度値が変化したピクセルを求め、この輝度値が変化したピクセルを1、変化のなかったピクセルを0とした2値画像である。この差分画像を用いる事により、映像中人や物が動いた領域を求めることが可能である。本システムでは、この差分画像を用いて「映像中人や物が動いた領域の提示」「映像中人や物が動いた時間の提示」「類似映像検索」を行う。これにより、定点カメラ映像分析者は閲覧対象となる時間を絞って、定点カメラ映像分析を行う事が可能となる。

また、開発したシステムを用いて、研究室の天井に設置した全方位カメラから得られた3ヶ月程度の映像に対し分析を行った。

目次

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1.1 背景 | 1 |
| 1.2 本研究の目的とアプローチ | 1 |
| 1.3 本論文の構成 | 4 |
| 第2章 関連研究 | 5 |
| 2.1 人の行動分析に関する研究 | 5 |
| 2.2 映像閲覧支援に関する研究 | 5 |
| 2.3 定点カメラ映像分析に関する研究 | 5 |
| 第3章 差分画像を用いた定点カメラ映像分析支援手法 | 7 |
| 3.1 変化領域の提示手法 | 7 |
| 3.2 変化時間の提示手法 | 11 |
| 3.3 類似画像の検索手法 | 11 |
| 第4章 定点カメラ映像分析システム | 13 |
| 4.1 システム構成 | 13 |
| 4.2 定点カメラ映像分析インタフェース | 13 |
| 4.2.1 期間指定部 | 13 |
| 4.2.2 カメラ映像部 | 15 |
| 4.2.3 時間部 | 16 |
| 外観ビュー | 16 |
| 詳細ビュー | 16 |
| 第5章 実装 | 18 |
| 5.1 定点カメラ映像撮影 | 18 |
| 5.2 前処理 | 19 |
| 5.2.1 差分画像の作成 | 19 |
| 5.2.2 定点カメラ画像の圧縮 | 19 |
| 5.2.3 積分画像の作成 | 25 |
| 5.2.4 低解像度差分画像の作成 | 25 |
| 5.3 定点カメラ映像分析インタフェース | 27 |
| 5.3.1 変化領域の提示 | 27 |

| | | |
|--------------|---------------------------------|-----------|
| 5.3.2 | 変化時間の提示 | 27 |
| 5.3.3 | 類似映像検索 | 27 |
| 第 6 章 | ケーススタディ | 29 |
| 第 7 章 | 議論 | 34 |
| 7.1 | 定点カメラ映像分析インターフェースについて | 34 |
| 7.2 | 定点カメラ映像分析システムの実装について | 34 |
| 第 8 章 | 結論 | 35 |
| | 謝辞 | 36 |
| | 参考文献 | 37 |

目次

| | | |
|------|--------------------|----|
| 1.1 | 撮影環境 | 2 |
| 1.2 | 全方位カメラ画像 | 2 |
| 1.3 | 差分画像 | 3 |
| 3.1 | 変化領域画像の例 | 7 |
| 3.2 | 変化領域の提示例 | 8 |
| 3.3 | 2期間の変化領域画像を同時に示した例 | 9 |
| 3.4 | 2期間の変化領域の提示例 | 10 |
| 3.5 | 変化時間の提示手法 | 11 |
| 4.1 | 定点カメラ映像分析インターフェース | 14 |
| 4.2 | 期間指定部 | 14 |
| 4.3 | 明度を変更した変化領域画像 | 15 |
| 4.4 | 詳細ビューの提示例 | 17 |
| 4.5 | 類似度の提示例 | 17 |
| 5.1 | 処理の流れ | 18 |
| 5.2 | ディレクトリ構成 | 19 |
| 5.3 | 手順に応じて作成される画像 | 21 |
| 5.4 | 圧縮した画像 | 22 |
| 5.5 | 復元画像 | 23 |
| 5.6 | 元画像 | 24 |
| 5.7 | 差分画像における切り取った領域 | 26 |
| 5.8 | 定点カメラ画像における切り取った領域 | 26 |
| 5.9 | 領域を切り取った差分画像 | 26 |
| 5.10 | 低解像差分画像 | 26 |
| 6.1 | 期間指定後の画面 | 29 |
| 6.2 | 色の塗られた机の領域 | 30 |
| 6.3 | 外観ビュー上部の提示 | 30 |
| 6.4 | 外観ビュー下部の提示 | 31 |
| 6.5 | 詳細ビューの提示 | 31 |
| 6.6 | 発見した画像群 | 32 |

第1章 序論

1.1 背景

定点カメラを用いた、人の行動分析が行われている。実用例として、コンビニエンスストアやスーパーマーケットでの客層分析、動線分析が挙げられる [NEC][Vit]。また、研究例においてもデジタルサイネージの評価やインタラクティブシステムの評価 [南竹 10][RSSA08] が挙げられる。これらの分析はシステムが自動的にイベント（映像に人が映った等）を収集した後統計的な情報を提示し、映像分析者が取得された統計的なイベント情報を閲覧することによって分析を行う手法（以降、統計型分析）と、映像分析者が映像を直接閲覧して分析を行う手法（以降、閲覧型分析）に大別できる。

統計型分析において、閲覧者が閲覧すべき情報は限られている為、長期間の人の行動分析に適用可能であるという利点がある。その一方で、取得できる情報はあらかじめシステムに定められたイベント情報である為、システムに定められていない未知のイベントを発見することは不可能である。その為、未知のイベントそのものを発見したい様な分析にこの分析を適用することは困難である。

閲覧型分析においては、人が直接映像を閲覧することにより、未知のイベントの発見する可能性がある。しかし、人が閲覧できる映像の長さには限界がある為、長期的な映像に対し閲覧型分析を行うことは困難である。分析対象となる期間が数ヶ月に渡る場合には、人間が全ての映像を閲覧することは現実的ではない。

1.2 本研究の目的とアプローチ

本研究では、1年程度の映像を対象とした閲覧型分析を支援するシステムを開発することを目的とする。我々は分析対象の定点カメラ映像として、全方位方式の定点カメラを研究室の天井に設置し24時間撮影した映像を用いた。我々の撮影環境を図 1.1 に示す。実際にカメラから撮影し得られた画像を図 1.2 に示す。撮影のフレームレートは常時毎秒1枚とした。これは定点カメラを用いた監視システムにおいて通常用いられるフレームレートであることから採用した。このフレームレートは、人が後から画像を連続的に観察すれば、人物の動きを捉えることができ、各時点に起こっていた状況を想起することが可能である。

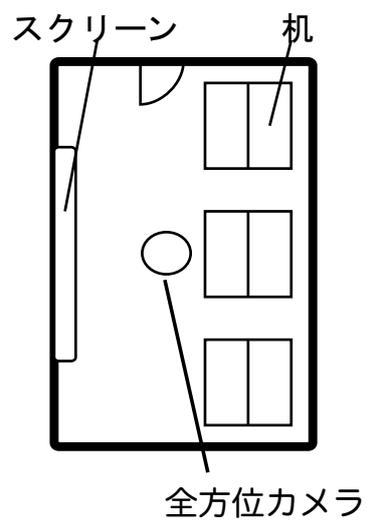


図 1.1: 撮影環境



図 1.2: 全方位カメラ画像

本研究では、定点カメラ映像からイベントを取得し、閲覧型分析を支援する形でイベントを提示する。我々は、定点カメラ映像からイベントを取得する為に差分画像に着目した。差分画像とは、定点カメラ映像を構成するフレーム（以降、定点カメラ画像）毎に、前フレームと比べ輝度値が変化したピクセルを求め、この輝度値が変化したピクセルを1、変化のなかったピクセルを0とした2値画像である。図5.2に差分画像の例を示す。この差分画像を利用することにより、人や物が動いたというイベントを求めることが可能である。

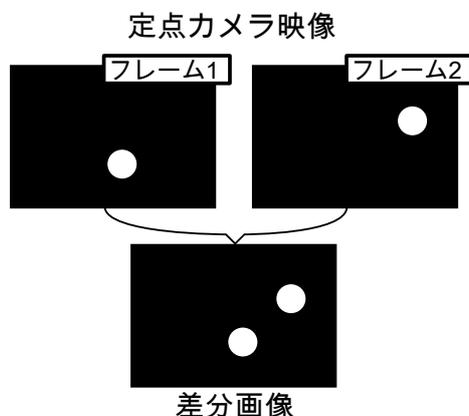


図 1.3: 差分画像

人あるいは物が動いた領域は、定点カメラ映像において輝度値が変化する。その為、人あるいは物が動いた領域は差分画像において1の値を持つ。その為、ある時刻に人あるいは物が動いた領域は、その時刻に対応する差分画像において1の値を持つ領域となる。以降、差分画像において1の値を持つ領域を変化領域と呼ぶ。

また、差分画像を利用することにより、人や物が動いた時刻を求めることが可能である。これは、変化領域が発生している差分画像を求めれば、その差分画像に対応する時刻が人や物が動いた時刻である。以降、変化領域が発生している時刻を変化時間と呼ぶ。

本研究では、定点カメラ映像を用いて分析の対象となる期間（以降、分析対象期間）中の変化領域と変化時間を提示する事によって定点カメラ映像分析を支援する。定点カメラ映像分析者は、変化領域の提示によって分析期間中のイベントの外観を知ることができる。また、変化時間の提示により、イベントが発生した時刻を知ることができる。イベントの外観と、そのイベントが発生した時間を知ることができれば、定点カメラ映像は閲覧して分析を行う映像を絞ることができる。

また、本研究では差分画像を用いて類似映像検索も行う。これは連続する差分画像どうしの類似度を求めるものである。差分画像どうしの類似度は、イベントの類似度であると考えられることができる為、類似したイベントの検索を可能にする。これにより、定点カメラ映像分析者は定点カメラ映像において着目すべきイベントを見つけた際、同じ様なイベントを閲覧し、そのイベントをより深く分析することができる。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。本章では研究の背景として定点カメラ映像分析とその問題点について述べ、本研究の目的とアプローチを述べた。第2章では本研究に関連のある研究について述べる。第3章では定点カメラ映像分析を支援する手法について述べる。第4章では第3章で述べた手法を用いた定点カメラ映像分析システムについて述べる。第5章では定点カメラ映像分析システムの実装について述べる。第6章では定点カメラ映像分析システムを用いたケーススタディについて述べる。第7章では本システムに関する考察を行い、最後に第8章で結論を述べる。

第2章 関連研究

本章では、本研究に関連する研究として、人の行動分析に関する研究、映像閲覧支援に関する研究と、定点カメラ映像分析に関する研究について述べる。

2.1 人の行動分析に関する研究

鈴木らのライフタペストリーは、腕時計型センサ端末から情報を取得し、時間軸で活動データと活動のリズムを色分けし表示を行っている [鈴木 07]。藤原らは、RFID より取得した人の行方情報を記録し、記録した行方情報の可視化を行った [藤原 10]。イベント情報を色分けし時間軸で表示を行っている点で関連するが、本研究ではカメラによる映像を用いてイベントを取得している点が異なる。

2.2 映像閲覧支援に関する研究

映像の内容を短時間で把握する為の研究が行われている。橋本らは、ライブカメラより取得した映像 30 分間分をアルファブレンディングで合成し、その時間分の映像を 1 枚の画像に合成した [橋本 06]。Daniel らは、映像を三次元的に描画することにより、膨大なデータである映像の要約を行った [DC03]。藤吉らは、人と自動車のアクティビティを認識し、ウェブ上でその結果を表示検索を行うシステムを実現した [藤吉 01]。Terry らは、定点カメラから異なる時間に撮影を行った複数枚の画像を、1 枚の画像にまとめる事によって、定点カメラ映像の要約を行った [TBO⁺04]。これらの映像から重要な映像のみを抜き出すという点において、本研究と関連するが、本研究では人の行動分析に焦点を当て差分画像というイベントを用いて、映像閲覧の支援を行っている点が異なる。本研究では、差分画像を用いることにより数ヶ月程度の期間に起こったイベントの外観、及びイベントの起こった詳細な時間を知ることが可能にする。

2.3 定点カメラ映像分析に関する研究

定点カメラを用いて撮影を行った映像を人が閲覧して分析を行う研究が行われている。川原らは公園の様子を定点カメラから撮影し、人が直接観察するという方法で定点カメラ映像を分析している [川原 05]。1 分間に 1 枚の頻度で公園の撮影を行い、2 時刻以上の画像を閲覧する事により画像に映った人物の公園での活動内容を分析している。また、活動内容を「通

過利用」「遊び利用」「休憩利用」「散歩利用」の4つに区分し、1週間の公園での活動内容を集計している。本研究とは直接映像を閲覧し人の行動分析を行っている点で関連するが、本研究では、より細かい粒度の1秒に1枚の頻度で撮影を行っている。また、差分画像を用いてイベント情報の提示を行う事によって、閲覧すべき時間を絞る支援を行っている。

Romeroらは、定点カメラ映像の中で変化の発生した領域とその量を提示する可視化、及び変化発生した時間を可視化し、撮りためた定点カメラ映像の分析を行う手法を提案している[RSSA08]。定点カメラ映像の分析対象期間においてイベントが発生し変化時間の提示において関連するが、類似映像検索は行っていない。

Ivanovらは、モーションセンサとカメラを用いてイベントを取得し、その情報を可視化することにより長期間のカメラ映像分析を支援している[IWSK07]。本研究とはイベントを可視化し映像分析の支援を行っている点で関連するが、本研究はイベント情報もカメラで撮影した画像を用いて取得している点が異なる。

第3章 差分画像を用いた定点カメラ映像分析支援手法

本章では、本研究での定点カメラ映像分析を支援する手法である「変化領域の提示手法」「変化時間の提示手法」「類似映像検索手法」について述べる。

3.1 変化領域の提示手法

分析対象期間中、変化領域となったピクセル数（以降、変化量）が多かったピクセルほど明度の高い色で塗った画像（以降、変化領域画像）を提示する。映像分析者は、変化領域画像を閲覧することにより分析対象期間中に変化が多かった領域、及び変化の少なかった領域を一目見て把握できる。図 3.1 に変化領域画像の例を示す。この例での定点カメラ映像は、4 フレームから構成される。この際、差分画像は3枚作成される。変化領域画像はこの3枚を加算合成することにより作成される。変化領域画像中の領域 A はフレーム 2, 3, 4 において変化領域となった領域であり、領域 B はフレーム 3, 4 において変化領域となった領域である。つまり、領域 A の方が変化量が多い領域である為領域 A の方が領域 B よりも明るい色で塗られる。

上記の方法で作成した変化領域画像を定点カメラ画像に重畳表示すれば、映像分析者は研究室のどの領域に変化があったか一目で把握することができる。定点カメラ画像への変化領域画像の重畳表示を図 3.2 に示す。

図 3.2 を観察すると、ドア付近及び5つの机付近の領域が明るい緑色に塗られている事を確

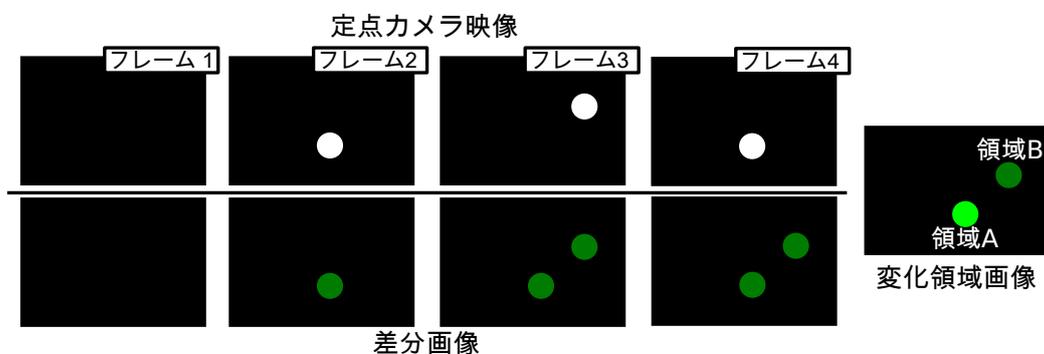


図 3.1: 変化領域画像の例

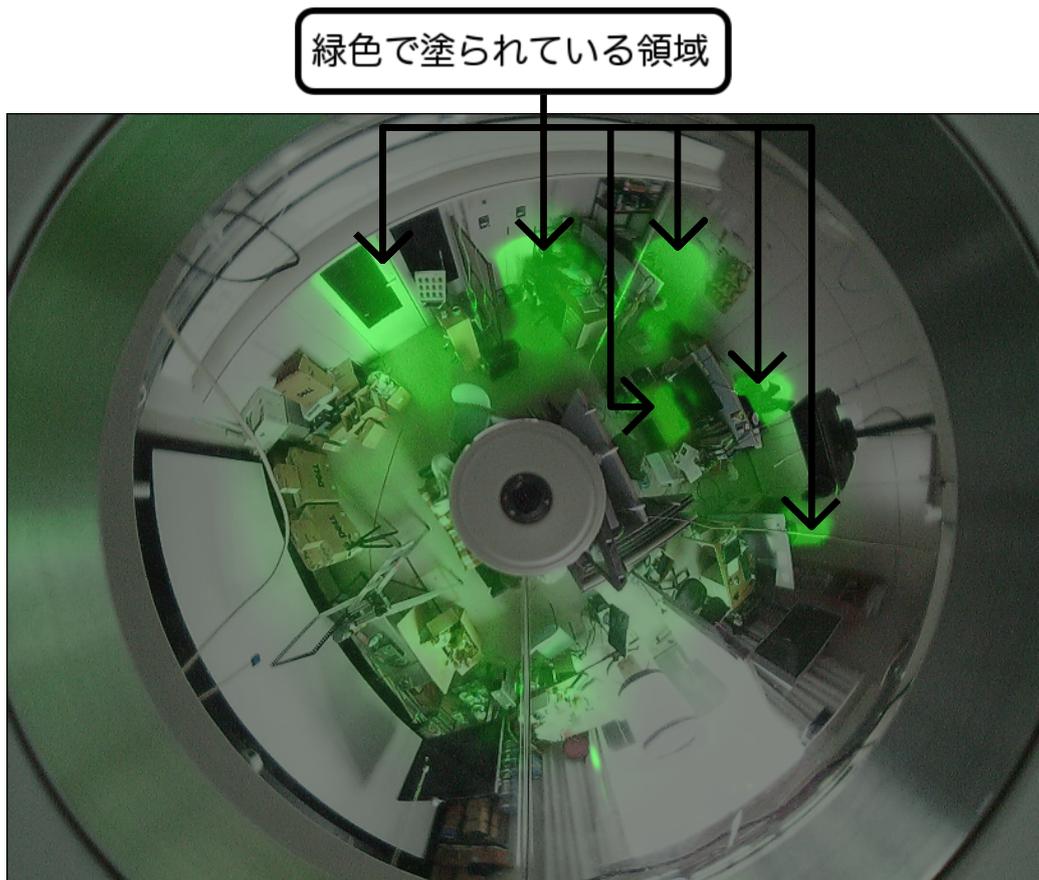


図 3.2: 変化領域の提示例

認できる。この事から分析対象期間中ドアの開け閉めが多く行われたこと、5つの机において長い時間作業が行われていたことが推測できる。

図 3.2 では変化領域を示す色の色相は緑色 1 色を用いているが、赤色を合わせて用いる事により、2 期間の変化領域を同時に示す変化領域画像を作成できる。2 期間の変化領域を同時に示すことができれば、映像分析者は異なる期間における変化領域の違いを観察することができるようになる。2 期間の変化領域を同時に示す提示例を図 3.3 に示す。図 3.3 は、期間 A と期間 B それぞれの変化領域画像をそれぞれ緑色と赤色で表現している。ここで変化領域画像 A と変化領域画像 B の加算合成を行い、二つの変化領域を同時に示す画像を作成する。図 3.3 の場合、期間 A と期間 B で共通する変化領域は黄色、期間 A のみ変化のあった領域は緑色、期間 B のみで変化のあった領域は赤色で表現される。

映像分析者は図 3.3 の 2 期間の変化領域画像を観察し、黄色に着目することによって期間 A と期間 B の状況に依らず「人の集まった領域」を発見することができる。また、赤色、緑色に着目すれば、期間 A の状況、期間 B の状況によって変化した「人の集まった領域」を発見することができる。2 期間の変化領域画像を利用する具体的な例として、広告が人にどのよ

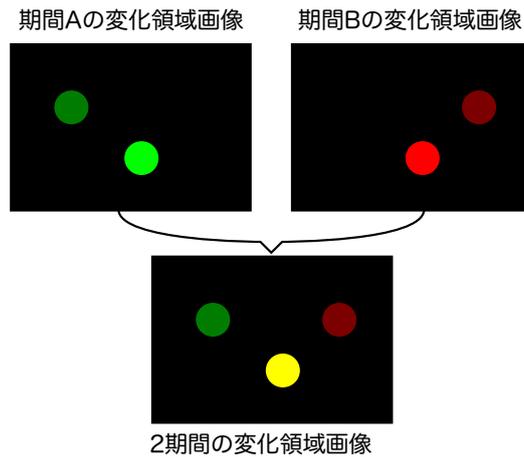


図 3.3: 2 期間の変化領域画像を同時に示した例

うに閲覧されているか分析することを考える。期間 A に広告を設置する以前の期間，期間 B に広告を設置した後の期間を指定する。この時の，期間の長さは同じ長さの期間を指定する。もし，赤色が明るい色で塗られている領域があれば，その領域は広告が設置されたことにより，人が集まるようになった領域であると考えられる。この領域に着目することにより，広告が人に与えた影響を分析することができる。逆に黄色の領域は，広告を「設置している」，「設置していない」という状況に依らず，人の集まっている領域である為，広告の設置以外の要因で人が集まっている領域であると考えられる。

定点カメラ映像への 2 期間の変化領域画像の重畳表示を図 3.4 に示す。図 3.4 を観察すると，緑色に塗られている領域，赤色に塗られている領域，黄色に塗られている領域を確認できる。緑色で塗った分析対象期間を期間 A，赤色で塗った分析対象期間を期間 B とすると，以下の事を推測できる。

- 緑色で塗られている机は期間 A においてのみ使用され，期間 B では使用されなかった机である。
- 赤色で塗られている机は期間 B においてのみ使用され，期間 A では使用されなかった机である。
- 黄色で塗られている机は期間 A，B の両方の期間で使用された机である。また，ドアが黄色に塗られている為，人の出入りは期間 A，B の両方で頻繁に行われた。

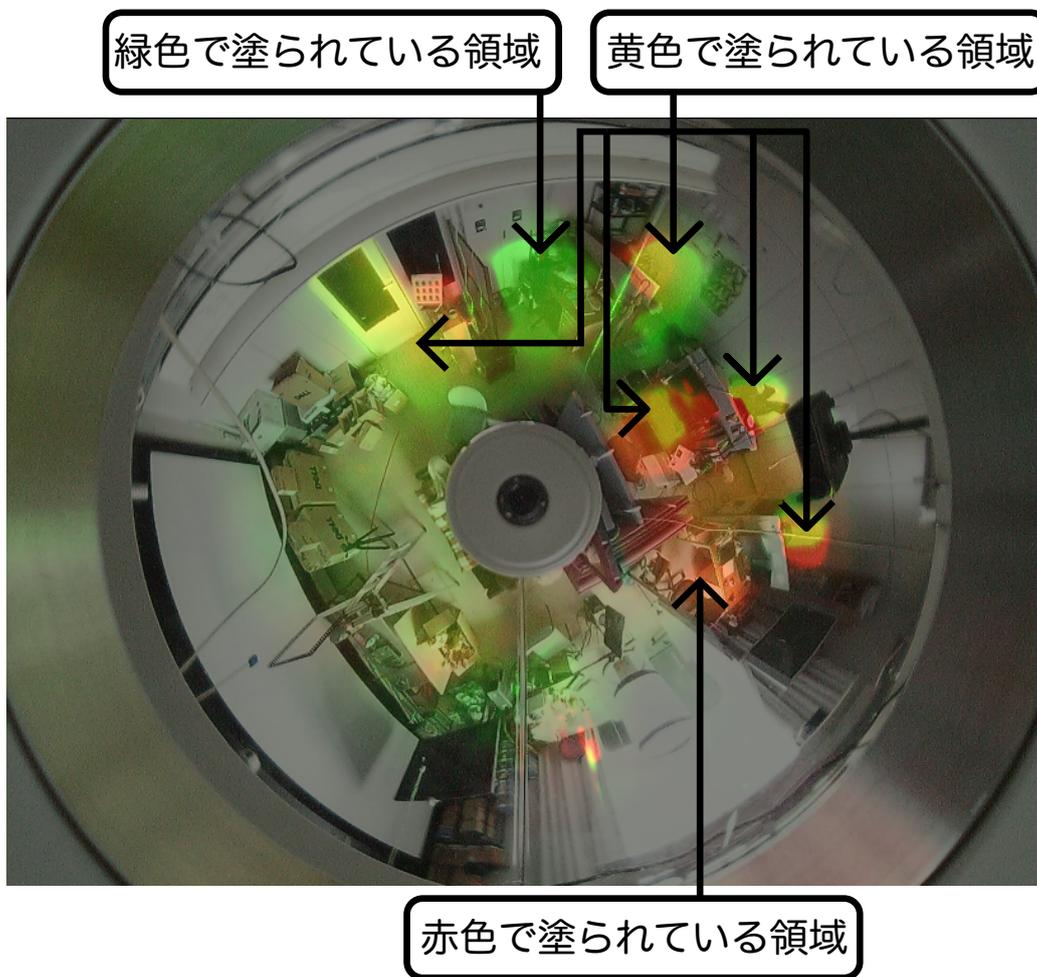


図 3.4: 2 期間の変化領域の提示例

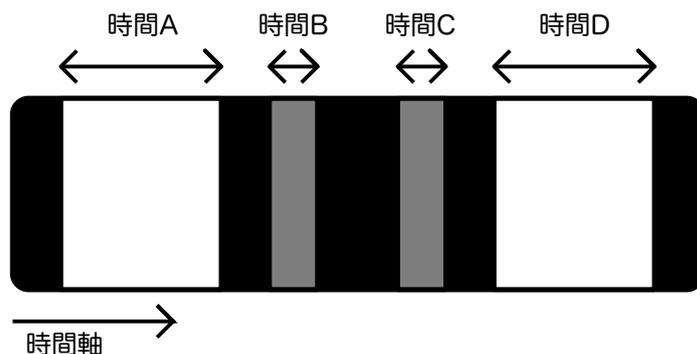


図 3.5: 変化時間の提示手法

3.2 変化時間の提示手法

変化時間の提示は、変化領域の発生した時間一覧できる様に提示する。この提示は横軸で時間軸を示し、色の明度で変化領域のピクセル数を示す。図 3.5 からは、時間 A、時間 D に活発なイベントがあったことが読み取れる。また、時間 B、時間 C に時間 A、時間 D ほど活発ではないが、イベントがあったことを読み取れる。この提示によって、映像分析者はいつどの程度のイベントがあったのかを知ることができる。この提示を閲覧することにより、映像分析者は閲覧する映像を絞ることが可能である。また、この提示手法は、定点カメラ映像内のある領域に対して変化時間を提示することも可能である。例えば、ドア付近の領域に対して変化時間の提示を行えば、ドアの開け閉めが行われた時間のみを明度の高い色で塗った変化時間の提示を行える。机付近の領域に対して変化時間の提示を行えば、机で作業を行っている時間のみを明度の高い色で塗った変化時間の提示を行える。ある領域に対する変化時間の提示を行う事により、映像分析者は閲覧する映像を更に絞ることができる。

また「変化領域の提示手法」「変化時間の提示手法」の組み合わせにより、映像分析者は、注目すべき領域を見つけ、その領域における変化時間を提示し、閲覧すべき時間を絞って映像を閲覧するという映像分析が可能となる。

3.3 類似画像の検索手法

類似映像検索にも差分画像を用いる。この理由は、人物の動きが類似する映像は対応する差分画像同士の類似性から判定することが可能だと考えたからである。まず、2 画像 a 及び b の類似度 $sim(a, b)$ を、画像に対応する差分画像を低解像度化した画像（以降、低解像度差分画像）間の類似度とした。すなわち $sim(a, b)$ を求める手順は以下の通りである。

1. a 及び b に対応する差分画像の低解像度差分画像を作る。
2. 低解像度差分画像の各ピクセルの値を要素として持つベクトル \vec{a} と \vec{b} を求める。
3. この 2 つのベクトルから求まる $\cos\theta$ を $sim(a, b)$ とする。

$$\cos\theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} \quad (3.1)$$

2 画像間の類似度を用いて, 2 映像 A 及び B の類似度 $sim(A, B)$ を次のように定義した. ここで, a_i 及び $b_i (i = 1, \dots, n)$ は A 及び B を構成する画像である.

$$sim(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\vec{a}_i \cdot \vec{b}_i}{|\vec{a}_i| |\vec{b}_i|} \quad (3.2)$$

第4章 定点カメラ映像分析システム

本章では、前章の手法を用いた定点カメラ映像分析システムについて述べる。

4.1 システム構成

本システムは定点カメラ映像撮影部と定点カメラ映像分析部からなる。定点カメラ映像撮影部は全方位カメラ、計算機、外付けされたハードディスクから構成され、定点カメラ映像分析部は定点カメラ映像撮影部とは別の計算機により構成される。

定点カメラ映像撮影部は定点カメラ映像の撮影を行い定点カメラ映像を保存し続ける。定点カメラ映像分析部は、映像分析者が定点カメラ映像を分析する為の定点カメラ映像分析インタフェースを提供する。

4.2 定点カメラ映像分析インタフェース

定点カメラ映像分析部における定点カメラ映像分析インタフェースを図4.1に示す。

本インタフェースは期間指定部、カメラ映像部、時間部から構成される。期間指定部は分析対象期間を指定する為のインタフェースである。本インタフェースによって分析対象期間を指定すると、カメラ映像部に变化領域の提示が行われる。カメラ映像部では、変化時間の提示の為の領域指定を行う。カメラ映像部を矩形選択すると、時間部に変化時間の提示が行われる。時間部では、閲覧する定点カメラ映像の指定、及び類似映像検索を行いたい映像を指定する。以降、それぞれのインタフェースの操作方法について述べる。

4.2.1 期間指定部

期間指定部は緑色期間指定インタフェースと赤色期間指定インタフェースから構成される(図4.2)。緑色期間指定インタフェースは変化領域を緑色で塗る期間を指定するインタフェースであり、赤色期間指定インタフェースは変化領域を赤色で塗る期間を指定するインタフェースである。それぞれ、分析対象期間の始まりと終わりを指定するテキストボックスを持ち、映像分析者は両者の年、月、日、時、分を入力し Confirm ボタンを押す事により分析対象期間を指定する。Confirm ボタンが押されると、カメラ映像部に両インタフェースで指定された期間に対応する変化領域画像が提示される。

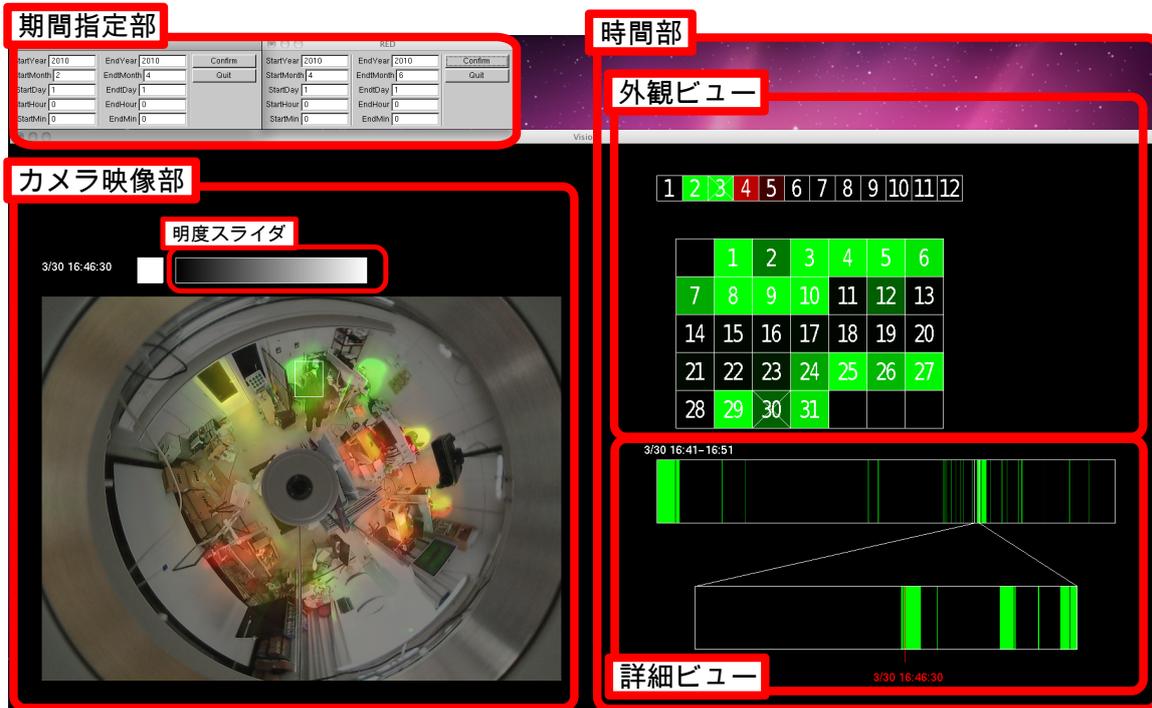


図 4.1: 定点カメラ映像分析インターフェース



緑色期間指定インターフェース

赤色期間指定インターフェース

図 4.2: 期間指定部



図 4.3: 明るく変更した変化領域画像

4.2.2 カメラ映像部

定点カメラ画像上に分析対象期間の変化域画像を重畳表示する。この際の定点カメラ画像は、映像分析者が時間部を用いて指定した時刻の定点カメラ画像となる。なお、時刻が指定されていない状態では、誰もいない研究室を定点カメラで撮影した画像となる。

またカメラ映像部は、変化領域画像の変化領域を示す色の明度を調節する為の明度スライダを持つ。このスライダは変化領域の色の明度を決定するスライダ値を設定する。映像分析者はスライダの領域内を左クリックした状態でドラッグすることによってスライダ値を変更できる。左にドラッグするほどスライダ値は低くなり、右にドラッグするほどスライダ値は高くなる。変化領域画像のそれぞれのピクセルの明度は、そのピクセルの変化量 \times スライダ値で決定される。その為、スライダ値を低く設定し変化量の多いピクセルのみ人の目に見える明度を割り当てれば、最も変化のあった領域を見つけられる。その状態から、少しずつスライダ値を上げていけば、変化量の多くあった領域から順に色が見えてくる。スライダ値を操作することにより、変化領域の変化量の違いを把握することができる。図 4.3 に、明度値を変更した変化領域画像を示す。図 4.3 の 3 つの画像の中で、画像 1 は最も低い明度を割り当てた変化領域画像であり、画像 2 は画像 1 より高い明度を割り当てた変化領域画像、画像 3 は画像 2 より高い明度を割り当てた変化領域画像である。画像 1 を観察すると、画像 1 中の白丸をつけた位置に色が塗られていることを確認できる。画像 1 には最も低い明度を割り当てているので、白丸のつけられた領域は非常に多くの変化量があった領域である。画像 2 においては、新たに画像 2 中の白丸をつけた領域に色が塗られていることを確認できる。これらの領域は画像 1 中の白丸をつけていた領域より、変化量は少ないが多く変化領域となった領域である。画像 3 においても、新たに画像 3 中の白丸をつけた領域に色が塗られていることを確認できる。この領域も画像 2 の白丸をつけた領域より、変化量は少ないが多く変化領域となった領域である。この様に、変化領域画像の明度を変更して観察することにより、変化領域の変化量の違いを把握することができる。

また、映像分析者は変化時間を求める為の領域選択にもカメラ映像部を用いる。画像内で左クリックした状態でドラッグすることによって、変化時間を提示する領域を矩形選択できる。この選択を行うと時間部に、選択された領域に対応する変化時間が提示される。

4.2.3 時間部

時間部は外観ビューと詳細ビューから構成される。2種類のビューによって、長期間の変化時間の外観を把握し変化時間の傾向を知る目的（外観ビュー）と、変化のあった瞬間を知り、実際の画像を閲覧する時刻を指定する目的（詳細ビュー）という異なる目的を実現する。また、詳細ビューにおいては類似映像検索も行う。

外観ビュー

外観ビュー上部の1～12の数字は月を示す。それぞれの数字の背景色は、対応する月の間、かつ期間指定部で指定された期間の、カメラ映像部で選択された領域での変化量を示す。背景色の色相は、その期間が緑色期間指定インタフェースを用いて指定された期間であれば緑色、赤色期間指定インタフェースを用いて指定された期間であれば赤色となる。期間が重複していた場合黄色となる。この黄色は緑色期間指定インタフェースを用いて指定された期間の変化量と、赤色期間指定インタフェースを用いて指定された期間の変化量の違いを示す。緑色期間指定インタフェースを用いて指定された期間の変化量の方が多ければ、緑色寄りの黄色となり、赤色期間指定インタフェースを用いて指定された期間の変化量の方が多ければ、赤色寄りの黄色となる。明度は、対応する期間領域において変化量が多ければ多い程高くなる。映像分析者はこの月の部分をクリックすることにより、その下方にクリックされた月の日を表示することができる。この日の背景色は月と同じく対応する日の変化量を示す。この日の部分をクリックすることにより、対応する日の変化時間を詳細ビューに提示することができる。

詳細ビュー

詳細ビューは、外観ビューで指定された日の変化時間を提示する。1日分の変化時間を提示する上部のビューと、上部でクリックされた領域を拡大して10分間の変化時間を提示する下部のビューから構成される。上部のビューの横軸は時間軸であり、左端が外観ビューで選択された日の0時、右端が24時に対応する。1ピクセルは2分間を表し、1ピクセル毎に、対応する時間の変化量を色の明度によって示す線分が描画される。上部の提示がクリックされると、クリックされたピクセルの開始時刻から前5分間、後5分間の計10分間の変化量が下部に提示される。3月16日10時41分～10時51分を詳細ビューに提示している例を図4.4に示す。

下部のビューも、上部のビューと同じく横軸は時間軸であり、1ピクセルは1秒を表す。また、上部のビューと同じく対応する時刻の変化量を示す線分が描画される。この提示を左クリックすることにより、対応する時刻の画像をカメラ映像部に表示することができる。また、この詳細ビューを用いて、類似映像検索を行うことが可能である。詳細ビューを右クリックした状態で、ドラッグすることにより、ドラッグした領域に対応する時間の映像と、詳細ビューに表示している日、1日分の映像との類似度が提示される。類似度は、上部のビュー及び下部のビューの白色の棒グラフによって表現される。棒が高い時間の映像ほど、指定した映像との類似度が高いことを示す。図4.5に、類似度の提示を行った例を示す。

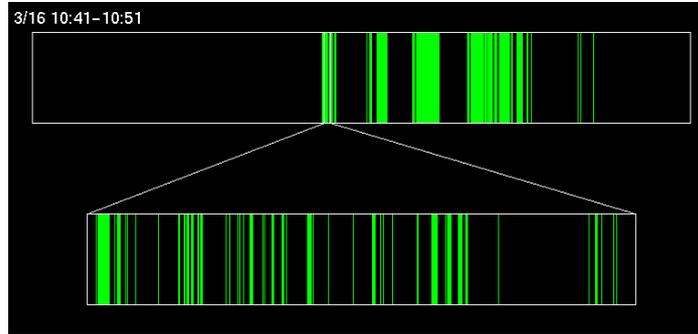


図 4.4: 詳細ビューの提示例

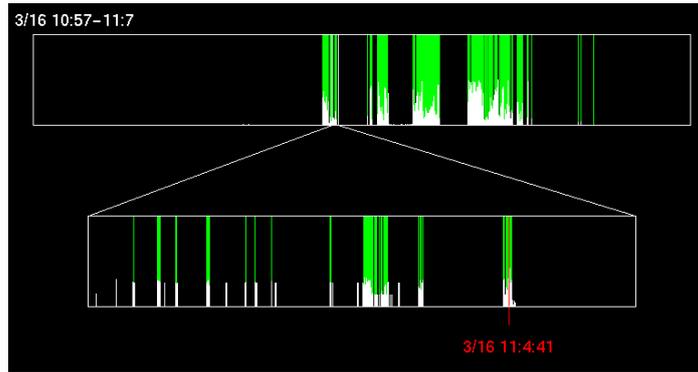


図 4.5: 類似度の提示例

第5章 実装

本章では、定点カメラ映像分析システムの実装について述べる。本システムを動作させる為のハードウェアとして、定点カメラ映像撮影部に計算機 (Let's note CF-W7 Core 2 Duo 1.07GHz) と全方位カメラ (シャープセミコンダクタ社製 LZ0P3551)、定点カメラ映像分析部に撮影部とは別の計算機 (MacPro 2.66GHz 6Core Intel Xeon Westmere 2基) を用いた。開発言語として C++ を、ライブラリとして OpenCV, OpenGL, GLUT, GLUI を使用した。

定点カメラ撮影部では定点カメラ映像を出力する。定点カメラ映像分析部では前処理として定点カメラ映像から、差分画像、定点カメラ画像を圧縮した圧縮画像、変化領域画像を求める為の積分画像、低解像度差分画像の作成を行う。定点カメラ映像分析インタフェースは、前処理によって作成された画像を用いて分析を行う。

本システムの処理の流れを図 5.1 に示す。

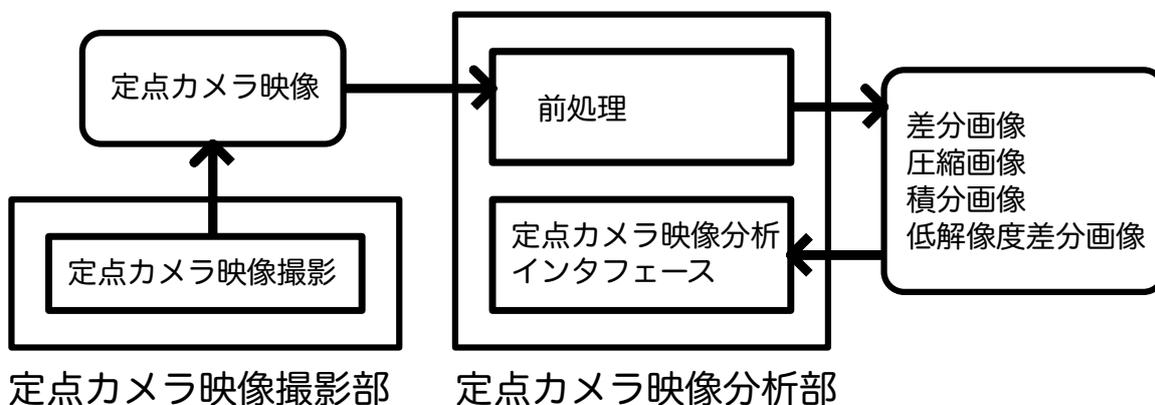


図 5.1: 処理の流れ

以降定点カメラ映像撮影、前処理、定点カメラ映像分析インタフェースの実装について述べる。

5.1 定点カメラ映像撮影

定点カメラ映像撮影部では、絶えず定点カメラ画像を撮影し png 形式で保存し続けている。画像の解像度は 816×608、撮影頻度は毎秒 1 枚である。撮影した画像は図 5.2 に示す、ディレクトリ構成、及びファイル名で保存した。

なお、この時の画像ファイルの容量は、1ファイルあたり900KBである。このサイズは保存し続けるには非常に大きい容量であり、長期間の画像の保存が困難となる。我々の目標とする1年間画像を保持した場合容量は式5.1より、約26TBとなる。

$$26.4TB = 900KB \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 \quad (5.1)$$

この容量を扱うことが困難であった為、前処理では画像の圧縮を行った。

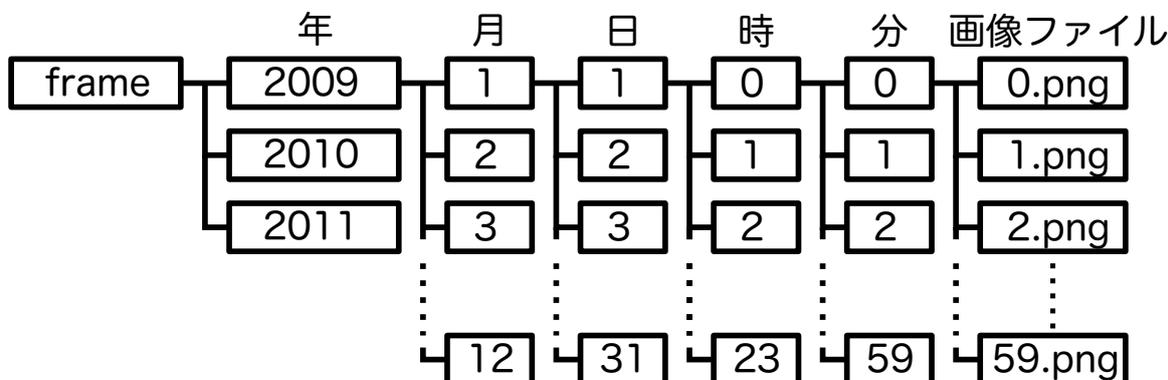


図 5.2: ディレクトリ構成

5.2 前処理

5.2.1 差分画像の作成

時刻 t の差分画像を求める為には、まず、時刻 t 及び時刻 $t-1$ 定点カメラ画像のグレースケール化を行う、このグレースケール化した画像の各ピクセルのサイズは8bitであり、0~255の輝度値を持つ。我々は、時刻 t の差分画像における各ピクセル (x, y) の輝度値 $D_t(x, y)$ を5.2式のように定義した。 $F_t(x, y)$ は時刻 t におけるグレースケール化した画像のピクセルの輝度値である。

$$D_t(x, y) = \begin{cases} 1 & (|F_t(x, y) - F_{t-1}(x, y)| \geq 20 \text{ のとき}) \\ 0 & (|F_t(x, y) - F_{t-1}(x, y)| < 20 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (5.2)$$

作成した差分画像は、図 5.2 と同じディレクトリ構成を用いて png 形式で保存した。

5.2.2 定点カメラ画像の圧縮

我々は画像圧縮の要件を以下の様にまとめた。

要件 1 元容量の10分の1程度に容量を圧縮すること。

要件2 イベントが起こった領域に関しては、情報量を落とさない事。

要件1に関しては、1年程度の画像をPCで扱うことを想定したものである。10分の1程度の容量に圧縮できれば、1年間の容量は約2.6TBとなり、PCで扱うことのできる容量となる。また、要件2に関しては後々差分画像以外の情報を抜き出す事を想定したものである。イベントが発生している領域の元情報を残すことにより、映像に映った人物の数等を抜き出せる可能性がある。

図5.2の画像0.pngのみ元画像を残し、画像1.png...画像59.pngは0.pngと比較し、色情報の異なるピクセルの情報のみを残す事により容量の圧縮を行った。画像1.png...画像59.pngに対して行った圧縮を以下に述べる。同じ分ディレクトリ内にある0.pngを基準画像、圧縮を行う画像を圧縮対象画像とする。

1. 圧縮対象画像に対し基準画像との差分画像を求める。
2. 求めた差分画像の差分領域を膨張させる。
3. 膨張させた差分画像の差分領域となっているピクセルのRGB値のみを残し、その他のピクセルはRGB値を(0,0,0)とした画像を保存する。

2では、各ピクセルにおいて隣接するピクセルの最大値を自らの値とするという膨張を20回行っている。この膨張は、人や物が動いた際に実際には動いている領域であるにも関わらず、差分領域として認識されないピクセルがある為行った。この様なピクセルは、差分領域として認識されたピクセルに隣接しているピクセルである。差分領域を膨張させる事により、上手く差分領域として認識されなかったピクセルも含んだ差分画像を作成できる。膨張の20回という回数は、1回の膨張で圧縮を行う、2回の膨張で圧縮を行うという試行を膨張の回数を増やして繰り返し、差分領域として認識したいピクセルを十分認識できる回数であるとして定めた。

それぞれの手順を行った際に作成される画像を図5.3に示す。

この圧縮された画像を復元する際には、復元を行いたい画像と同じ分ディレクトリの0.pngに対し、圧縮後の画像が色情報を持っているピクセルのみ上書きするという方法で復元を行う。実際に2010年6月27日14時47分10秒の画像を圧縮した画像を図5.4に示す。また、図5.4を復元した画像を図5.5に示し、図5.4の元画像を図5.6に示す。

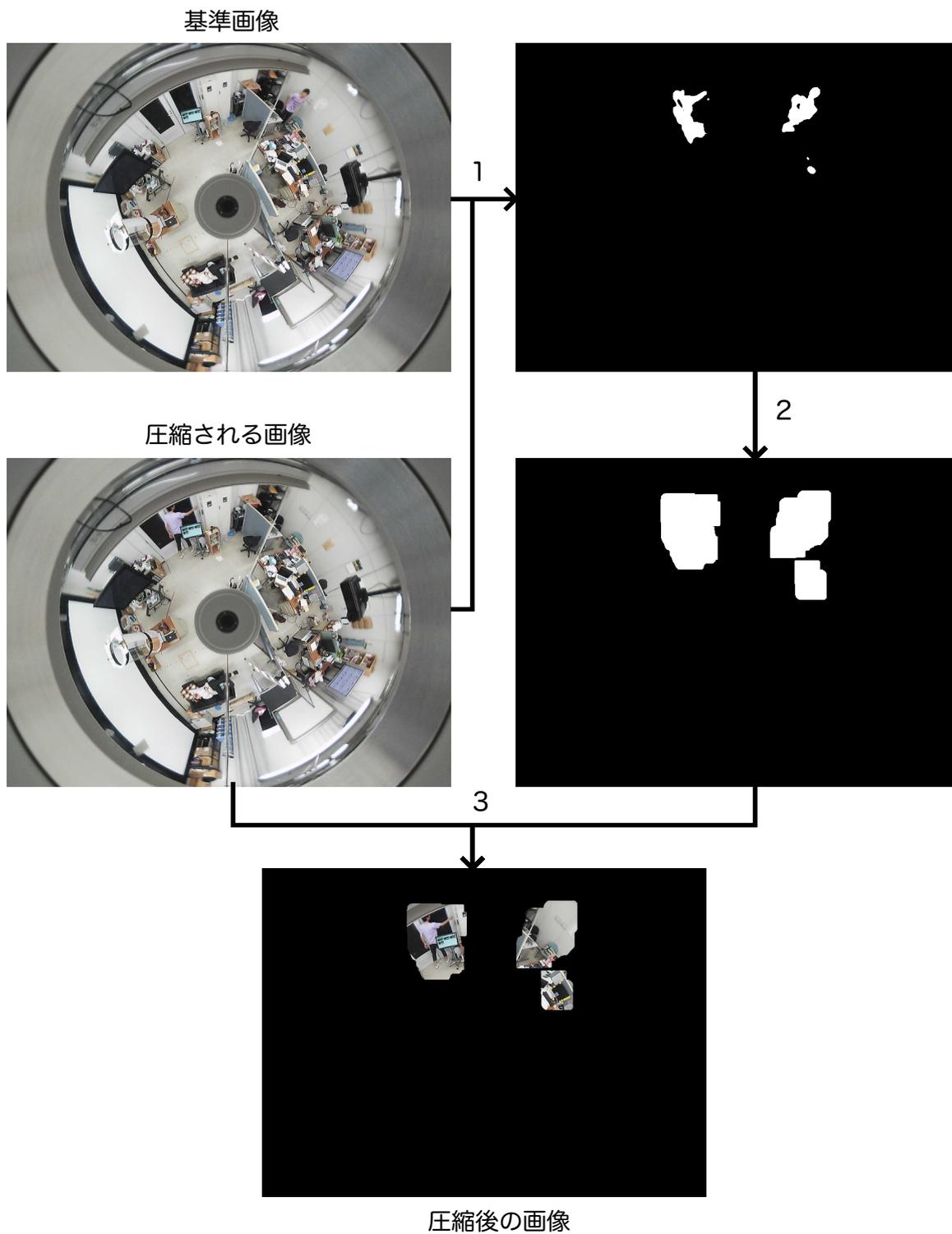


図 5.3: 手順に応じて作成される画像

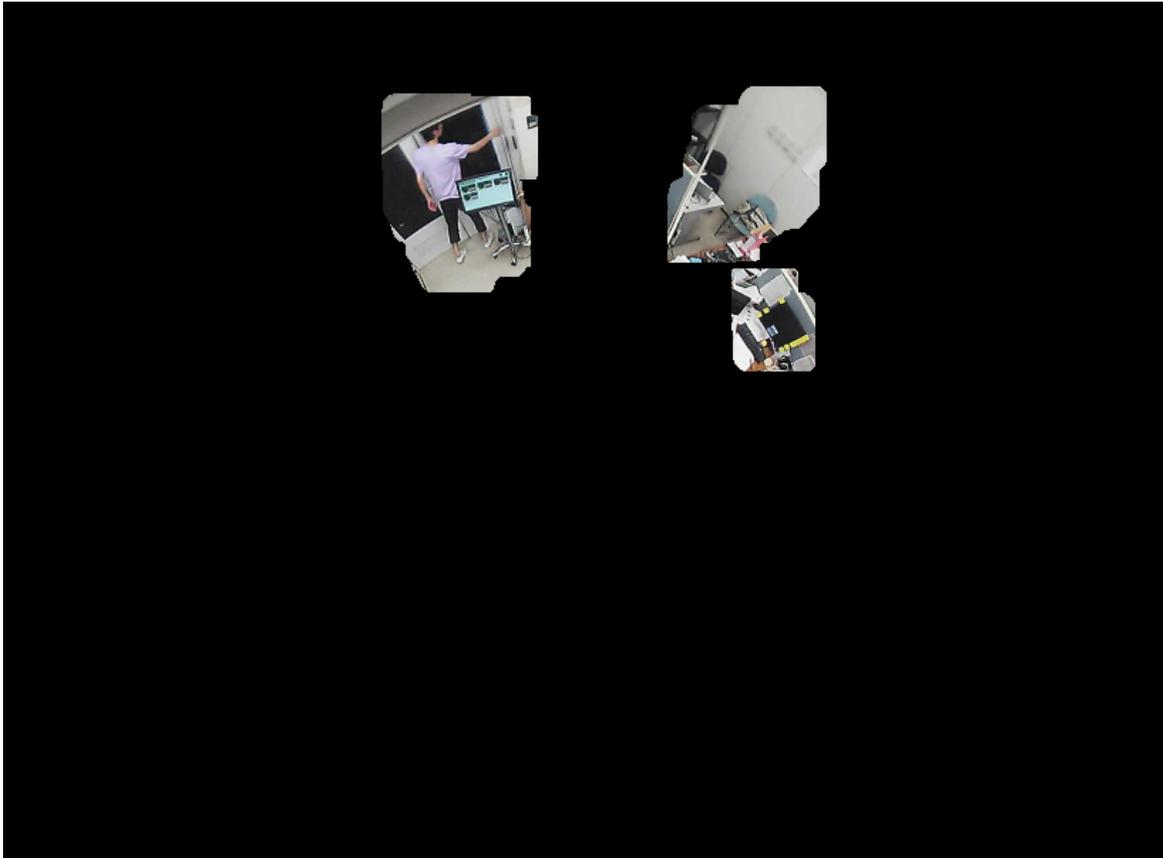


図 5.4: 圧縮した画像



图 5.5: 復元画像



图 5.6: 元画像

この時の圧縮後の画像容量は 57KB であり、この容量は要件 1 を満たす。しかし、本手法による圧縮では、圧縮の際の差分領域が大きくなるほど容量が大きくなってしまふ為、それぞれの圧縮後の画像容量は一定ではない。

その為、我々は 2010 年 2 月 20 日～2 月 26 日まで 1 週間分の定点カメラ画像の圧縮を行い、この期間の圧縮後の画像の容量が 30.64GB であることを確かめた。この 1 週間分の容量から 1 年間分の圧縮後の画像の容量を推測し、およそ 1.6TB 程度となると予測した。1 年間分の容量が 1.6TB であれば要件 1 を満たす為、我々は本手法で画像圧縮を行った。

5.2.3 積分画像の作成

変化領域画像は、差分画像の加算を行いピクセル値の高いピクセルほど高い明度の色で描画した画像である。単純に差分画像の加算を行った場合分析対象期間が長くなるほど計算量が多くなってしまふ。1 秒毎に差分画像を作成している場合、分析対象期間が 1 日であれば 86400 回の加算が必要となる。1 分間の差分をまとめた差分画像、1 時間の差分をまとめた差分画像等の様に粒度の異なる差分画像を作成することにより、計算の短縮を行うことも考えられるが、ファイル数が多くなり容量を余計に使ってしまうこと、用意すべきファイル数が多くなってしまふことが問題であった。

我々はこの問題を差分画像の加算を行った積分画像を分単位で作成することにより解決した。この積分画像は 1 ピクセル毎に 24bit の値を持つ画像である。我々は、時刻 t の積分画像における各ピクセル (x, y) の持つ値 $I_t(x, y)$ を 5.3 式の様に定義した。

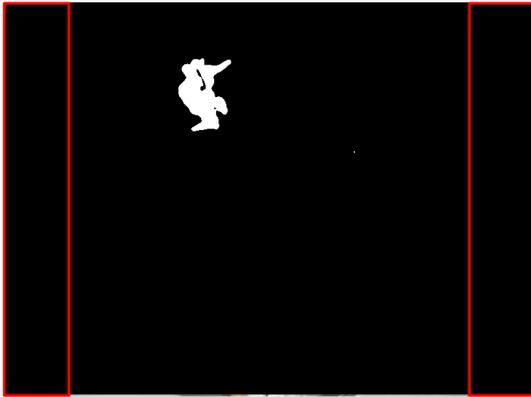
$$I_t(x, y) = \sum_{k=1}^t D_k(x, y) \quad (5.3)$$

上記の式で求めた積分画像を分単位で作成することにより、分単位であれば、あらゆる期間の差分画像加算を、積分画像の 1 度の減算で求めることができる。時刻 a から時刻 b までの変化領域画像における各ピクセル (x, y) の持つ値 $D_{ab}(x, y)$ は 5.4 式によりもとめる事ができる。

$$D_{ab}(x, y) = I_b(x, y) - I_{a-1}(x, y) \quad (5.4)$$

5.2.4 低解像度差分画像の作成

低解像度差分画像は、類似映像検索の為に用いる画像である。低解像度化した画像を用いることにより、映像どうしの類似度計算を高速に行うことができる。我々はこの低解像度差分画像の解像度を 19x19 ピクセルとした。また低解像度化にあたり、差分画像の両端の領域を切りとり、低解像度差分画像には反映させなかった。差分画像の切り取った領域を図 5.7 に示す。この領域は定点カメラ画像において、全方位カメラの淵にあたる領域であり類似映像を探すに当たって意味のない領域である為、切り取りを行った。定点カメラ画像における切り取った領域を図 5.8 に示す。



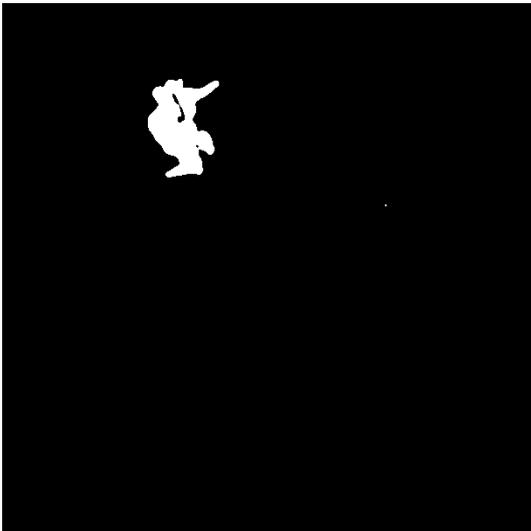
切り取った領域



切り取った領域

図 5.7: 差分画像における切り取った領域

図 5.8: 定点カメラ画像における切り取った領域



領域を切り取った差分画像

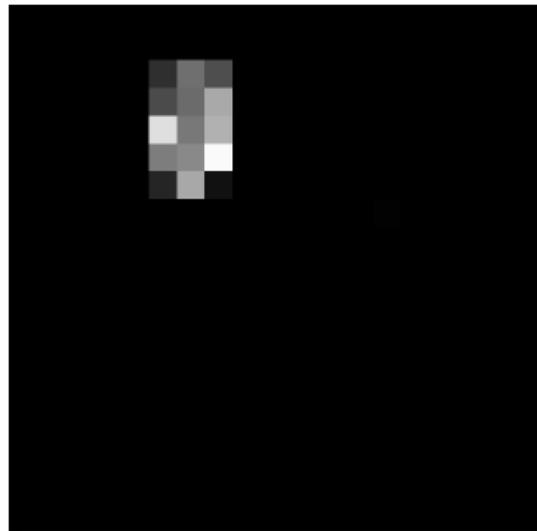


図 5.10: 低解像度差分画像

領域を切り取った差分画像を図 5.9 に示す。切り取りを行った差分画像のサイズは 608x608 となる。この差分画像を 19x19 ピクセルに低解像度化すると図 5.10 となる。

全ての差分画像に対しこの低解像度差分画像を作成する。この低解像度差分画像は、1 日分の低解像度差分画像を 1 つのファイルにまとめ保存した。このファイルは 8bit 毎に画像の各ピクセルの輝度値を書き込んだファイルであり、1 ファイルあたりの容量は 31.2MB となる。

5.3 定点カメラ映像分析インタフェース

本節では、定点カメラ映像分析インタフェースにおける変化領域の提示、変化時間の提示、類似映像検索の実装について述べる。

5.3.1 変化領域の提示

変化領域の提示は、変化領域画像と圧縮画像を復元した画像のアルファ合成によって作成する。変化領域画像のアルファ値、圧縮画像を復元した画像のアルファ値は0.5である。

変化領域画像の座標 (x, y) における RGB 値 $S_r(x, y)$, $S_g(x, y)$, $S_b(x, y)$ は、5.5 式により求められる。なお、 $gstart$, $gend$ は緑色期間指定インタフェースで指定された期間の始点終点、 $rstart$, $rend$ は赤色期間指定インタフェースで指定された期間の始点終点である。 $I_t(x, y)$ は時刻 t における積分画像の座標 (x, y) の値である。 $weight$ は映像分析者が明度スライダをクリックした x 座標によって定められるパラメータである。

$$\begin{aligned} S_g(x, y) &= (I_{gend}(x, y) - I_{gstart-1}(x, y)) \times weight \\ S_r(x, y) &= (I_{rend}(x, y) - I_{rstart-1}(x, y)) \times weight \\ S_b(x, y) &= 0 \end{aligned} \quad (5.5)$$

5.3.2 変化時間の提示

変化時間の提示を行う為には、外観ビューにおいては数字の背景色、詳細ビューにおいては線分の配色を決定する必要がある。この色は対応する時間中のカメラ映像部で選択された領域内の変化量で決定される。配色を決定する期間を時刻 $start$ から end とすると、その配色の RGB 値 $T_r T_g T_b$ は式 5.6 で求める。なお、 $start$ から end までの期間中、緑色で指定されてる期間を $gstart$ から $gend$ 、赤色で指定されてる期間を時刻 $rstart$ から時刻 $rend$ とし、カメラ映像部で選択された領域を A 、時刻 t における積分画像中の領域 A の値を全て加算したものを $C_t(A)$ とする。

$$\begin{aligned} T_g &= (C_{gend}(A) - C_{gstart-1}(A)) \\ T_r &= (C_{rend}(A) - C_{rstart-1}(A)) \\ T_b &= 0 \end{aligned} \quad (5.6)$$

5.3.3 類似映像検索

時間部詳細ビューにおいて、右クリックした状態でドラッグが行われると、ドラッグした時間に対応する映像と、1日分の映像との類似度を求める計算を行う。ドラッグした時間のフレーム数を $length$ とすると、1日分の映像とは、1日の映像開始時点から1フレームずつずらして $length$ フレーム抜き出した、86400個の映像である。それぞれの類似度は、ドラッグ

した時間の低解像度差分画像群を A , 1日の映像から抜き出した $length$ フレームの画像群を B とし, 式 3.2 で求める. 求めた類似度は, 詳細ビューの白色の棒の高さに反映する.

第6章 ケーススタディ

本章では、定点カメラ映像分析システムを使用して実際に定点カメラ映像を分析したケーススタディについて述べる。使用する映像は、定点カメラ映像撮影部を用いて撮影した2月19日～5月10日までの映像である。

この背景には、4月から研究室に新しいメンバーが加わった為、撮影を行っている居室で作業を行っているメンバーも変わったという背景がある。撮影している居室のメンバーが変わった事により、研究室の使用のされ方がどう変わったかを知る事が本ケーススタディの目的である。

まず、4月以降と4月以前の変化領域の違いを調べる為、緑色期間指定インターフェースを用いて2月19日～4月1日の期間を指定し、赤色期間指定インターフェースを用いて4月1日～5月11日を指定した。両指定を行った際に表示された画面を図6.1に示す。

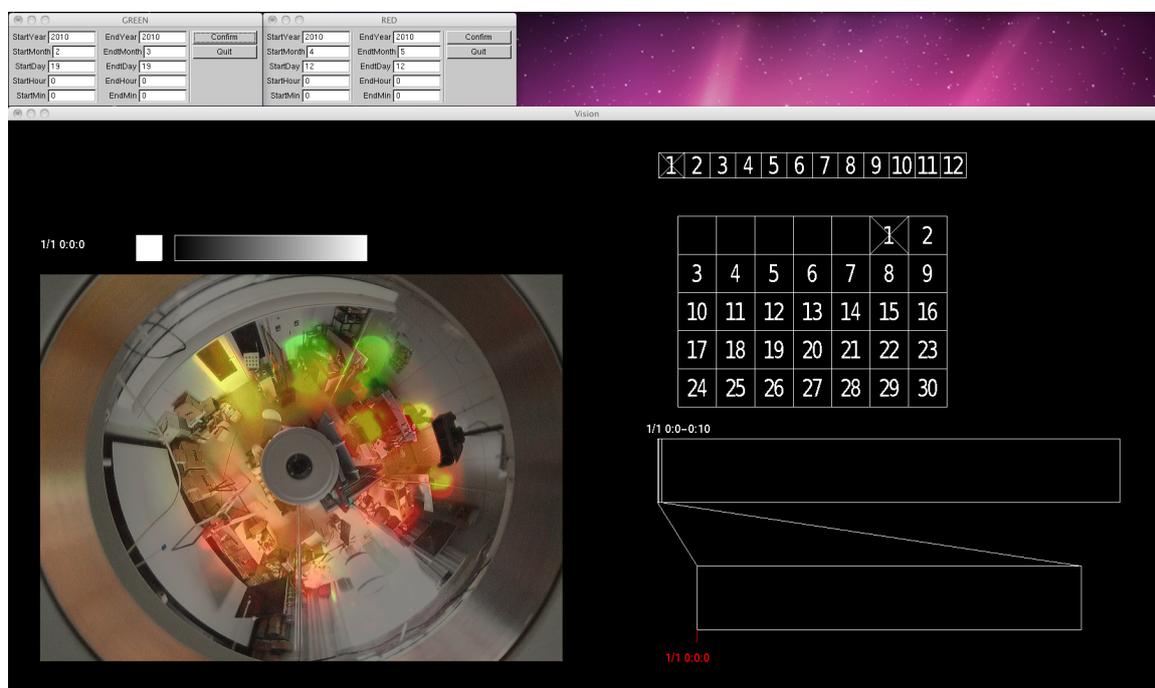


図 6.1: 期間指定後の画面

この状態において、カメラ映像部の机の領域に着目すると、緑色が塗られている領域、赤色のみが塗られている領域、黄色が塗られている領域が発見できた (図 6.2)。この事から、

緑色で塗られている領域の机は居室のメンバーが変わった事により使われなくなった，黄色で塗られている領域の机は分析対象期間中使われ続けている，赤色の領域は以前はあまり使われていなかったが，居室のメンバーが変わった事により頻繁に使われる様になったという事を推測できる。

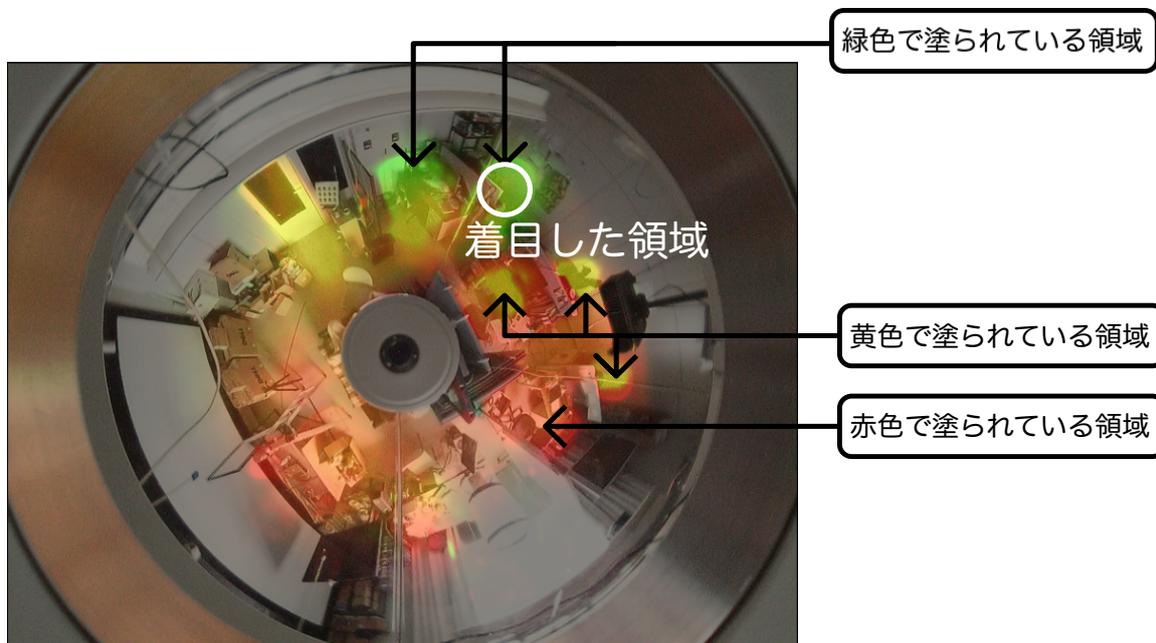


図 6.2: 色の塗られた机の領域

次に，その推測が正しいものかを確認する為，図 6.2 の白色の丸で囲んだ領域に着目して分析を進めた。

着目した領域を矩形選択により選択し，変化時間の提示を行った。この際の時間部外観ビュー上部の提示は図 6.3 の様になった。この外観ビューを観察すると，2，3月の背景色は明度の高い色であるのに対し，4，5月は明度の低い色が塗られていることがわかる。つまり4月を境に，変化領域が発生しなくなったことがわかる。また，それぞれの月をクリックし外観ビュー下部に各月に対する日の変化時間を提示は図 6.4 の様になった。この提示からも2月，3月に多くの変化領域が発生しているが，4月，5月に変化領域が少なくなっていることが読みとれる。また，4月でも1日には多くの変化領域が発生していたことが読み取れる。このことから，1日にあるいは2日に，何か状況の変化が起こったのではないかと推測し，



図 6.3: 外観ビュー上部の提示

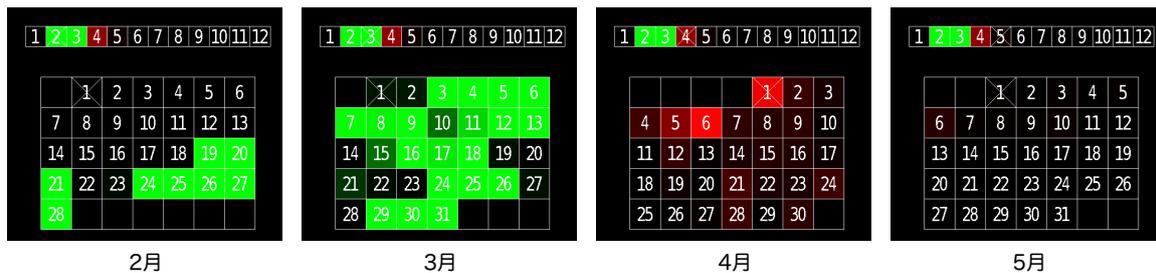


図 6.4: 外観ビュー下部の提示

4月1日を選択し、詳細ビューに提示を行い、赤くなっている領域の時間の映像を閲覧した。すると、図 6.5 に示す時間の閲覧を行っている際、人が、図 6.2 にて着目した領域から、物を運び出し台車にのせている作業を行っている画像群を発見した。この時の詳細ビューを図 6.5 に示す。また、発見した画像群を図 6.6 に示す。

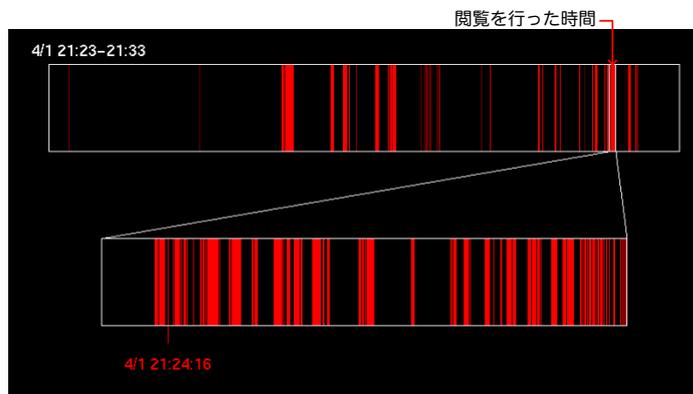
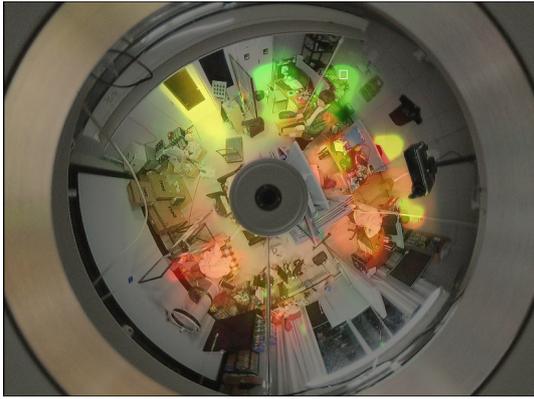


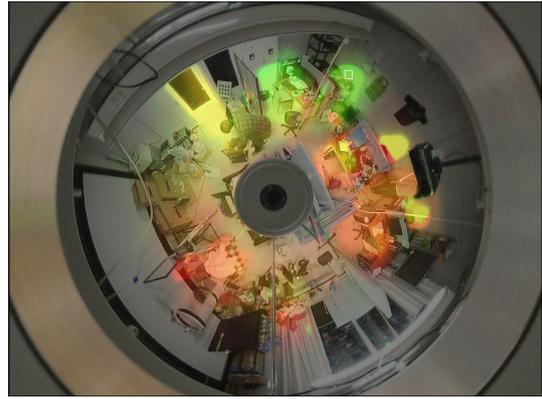
図 6.5: 詳細ビューの提示

この事から、着目した領域の机を割り当てられていた人物が、4月1日に他の場所に移り、それ以降その机は使われていないのだろうという事が推測できる。その後、2月、3月に変化領域を発生している時間の映像を閲覧すると、物を運び出していた人物が、机で作業を行っている画像を発見できた。また、4月以降の変化領域を発生している時間の画像を閲覧すると、特に決められていない人物が短時間作業を行ったり、通りすぎている画像は発見できたが、その机で長時間作業を行っている様子は確認できなかった。このことから、4月以降、着目した領域の机には、割り当てられている人物は居ないと結論づけた。

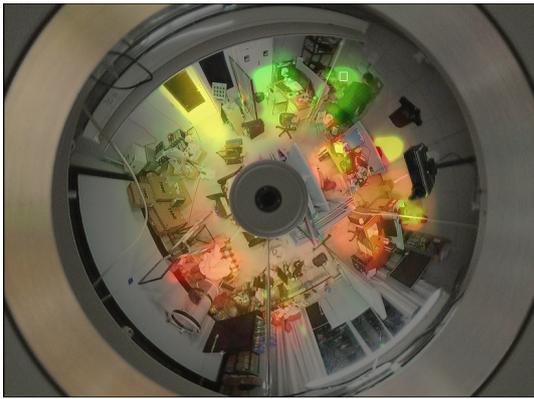
本システムを利用せずに単純に映像閲覧を行った場合、このような知見を得る為には、まず、2月、3月の映像を閲覧し、着目した領域の机の様子を確かめる必要がある。人が作業を行っている様子を確認する為には、誰も研究室に居ない時の映像や、着目した領域の机に関係のない領域で人が作業を行っている様な映像も閲覧する時間があると考えられる。今回のケーススタディでは、本システムを用いた事によって、着目した領域の机に動きのある映像を、効



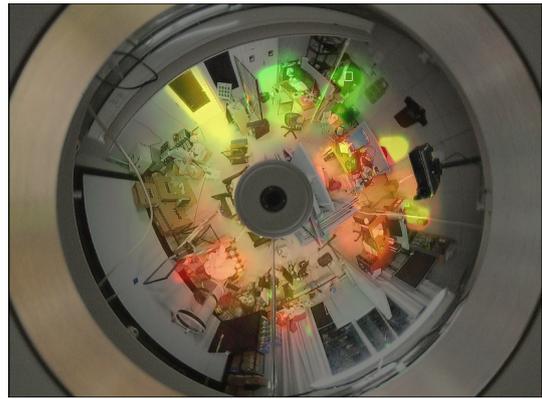
4/1 21:24:16



4/1 21:24:18



4/1 21:24:22



4/1 21:24:25



4/1 21:24:38



4/1 21:24:40

図 6.6: 発見した画像群

率的に抜き出すことができた。また、着目した机で作業を行っていた人物が、「物を運び出し台車にのせている作業を行っている映像」を確認する為には、映像を注意深く閲覧する必要がある為、非常に時間のかかる作業であることが予想される。この事から、定点カメラ映像

において本システムを利用する事により、重要な映像を抜き出し、映像分析を支援することが可能であると考えられる。

第7章 議論

7.1 定点カメラ映像分析インターフェースについて

期間指定部においては分析対象期間の始点と終点をテキストによる入力により、指定するという方法で、分析対象期間の指定を行った。期間の長さに関わらず、同じ速度で期間指定を行えるという利点がある。その一方で、この入力方法には連続した時間しか入力できないという問題がある。分析対象期間を指定する際、「ある期間の土曜日のみ」という指定や、「午前中のみ」といった条件指定が行える様になれば、本システムから得られる知見はより多くなると考えられる。

変化時間の提示を行った時間部においては、時間の粒度が異なるビューを配置することによって、1年間の外観表示と、1秒単位での詳細表示を同時に行うことを可能にした。しかし、分析対象期間が1年以上になってしまうと表示を行う事ができないという問題がある。外観ビュー上部の提示をスクロール可能にすることにより、より長い時間の映像に対応できると考えられる。

類似映像検索では、入力した映像と1日分の映像との類似度を求めた。しかし、類似した映像を探したい範囲は入力した映像と同じ日に限らない場合も考えられる。分析対象期間全ての類似を表示する事により、映像分析者はより多くの発見を行うことができる様になると考えられる。

7.2 定点カメラ映像分析システムの実装について

本システムでは、カメラ映像撮影部とカメラ映像分析部が別のハードウェアを用いて構成されている。その為、カメラ映像撮影部からカメラ映像分析部に撮影した画像データを送る必要があった。現状では、外付けハードディスクをカメラ映像撮影部にとりつけ、ハードディスクの容量が足りなくなった時点で、別のハードディスクに交換し、付けていたハードディスクを分析部につなげることにより、カメラ映像撮影部からカメラ映像分析部にデータを送っている。この方法では、直近の映像をカメラ映像分析部で分析することができないという問題がある。NAS等介して、カメラ映像撮影部で撮影したデータを分析部で直近の映像を用いることが可能な構成にする必要があると考えられる。

変化領域画像を求める為に用いた積分画像は、分析対象が連続的であることを前提としたものである。もし、本章の1節で述べた様に条件指定のある期間指定を実現する為には、積分画像を用いるよりも、様々な粒度の差分画像を用意した方が計算が速くなる可能性がある。

第8章 結論

本研究では、長期的な定点カメラ映像に対し、人が閲覧して分析することを支援する手法として「変化領域の提示手法」「変化時間の提示手法」「類似映像検索」を提案し、その手法を実現するシステムを開発した。また、本システムを用いてケーススタディを行い、3ヶ月程度の映像の分析を行った。今後は、このシステムを用いてシステム運用の評価を行う。

謝辞

本研究を行うにあたって、田中二郎先生には指導教員という立場から多くのご指導とご助言をいただきました。志築文太郎先生には、研究の方針から論文の執筆に至るまで、丁寧できめ細かいご指導をいただきました。三末和男先生、高橋伸先生には、様々な視点からのご意見と研究発表に関する多くのご助言をいただきました心より感謝いたします。

以前のヒートマップチームである大脇佑平氏、酒井祐介氏には、本研究に関し多くの議論を行っていただきました。また、全方位カメラシステムの制作に協力していただきました。深く感謝致します。

また、IPLABの皆様にも大変お世話になりました。特にWAVEチームの皆様にはチームゼミ、日常の議論を通じ、多くのアイデアをいただきました。ここに深く感謝いたします。

共同研究者である国立情報学研究所の細部博史先生には、研究活動において、多くのご指導とご助言をいただきました。深く感謝致します。

参考文献

- [DC03] Gareth Daniel and Min Chen. Video visualization. In *Proceedings of the 14th IEEE Visualization Conference (VIS'03)*, pp. 409–461, Los Alamitos, CA, USA, October 2003. IEEE Computer Society.
- [IWSK07] Yuri Ivanov, Christopher Wren, Alexander Sorokin, and Ishwinder Kaur. Visualizing the history of living spaces. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 13, No. 6, pp. 1153–1160, November/December 2007.
- [NEC] NEC Corporation. Fieldanalyst. <http://www.nec.co.jp/solution/video/fieldanalyst>.
- [RSSA08] Mario Romero, Jay Summet, John Stasko, and Gregory Abowd. Viz-a-vis: Toward visualizing video through computer vision. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 14, pp. 1261–1268, November/December 2008.
- [TBO⁺04] Michael Terry, Gabriel J. Brostow, Grace Ou, Jaroslav Tyman, and Diane Gromala. Making space for time in time-lapse photography. In *ACM SIGGRAPH 2004 Sketches*, p. 133, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [Vit] Vitracom. Siteview. <http://www.vitracom.de/en/products.html>.
- [橋本 06] 橋本悟, 中西泰人. ネットワークカメラ画像の合成による空間型コミュニケーションシステムの提案. インタラクシオン 2006 論文集, pp. 181–182. 情報処理学会, March 2006.
- [川原 05] 川原晋, 佐々木基, 大木一, 堀尾奈央, 佐藤滋. アクティビティを簡易に把握するための web カメラを用いた定点観測システムの開発. 日本建築学会技術報告集, No. 21, pp. 313–316, June 2005.
- [藤吉 01] 藤吉弘亘, 榎本暢芳, 長谷川修, 金出武雄. アクティビティモニタリング. 屋外監視映像の要約と www 上表示・検索システム. 第 7 回画像センシングシンポジウム論文集, pp. 423–428, 2001.
- [藤原 10] 藤原仁貴, 村田雄一, 堀竜慈, 鈴木俊吾, 志築文太郎, 田中二郎. メンバーの習慣を可視化する電子行方表とその評価. 情報処理学会シンポジウム インタラクシオン 2010 論文集, p. 4pages, 2010.

- [南竹 10] 南竹俊介, 高橋伸, 田中二郎. 顔向き情報と移動軌跡を利用したデジタルサイネージの効果測定ツール. 情報処理学会第 72 回大会講演論文集, Vol. 3, pp. 323–324, 2010.
- [鈴木 07] 鈴木敬, 山下春造, 栗山裕之, 矢野和男. ライフ顕微鏡: 20 人のライフタペストリーが語る人とセンサと it の未来. 日立評論, Vol. 89, pp. 30–35, 2007.