

能動カメラによる中心視ビデオ映像と 周辺視パノラマ画像の自然な合成法

弓場 竜 ウ小軍 東海 彰吾 松山 隆司
京都大学大学院情報学研究科 知能情報学専攻

本論文は、移動対象を自律的に追跡する能動カメラを遠隔監視に用いて、観察者が目視により遠隔地のシーンを即座に理解できるようなカメラ映像の自然な表示方法を提案する。まず最初に、能動カメラの自律的なパン・チルト・ズームの変化を自然に表示する方法として、カメラ映像と予め撮影しておいた背景パノラマ画像を幾何学的にシームレスに合成する表示方法について述べる。次に、シーンの照明変化に追従してカメラ映像と背景パノラマ画像とを光学的にシームレスに合成するために、照明変化による背景パノラマ画像の明度変化を統計的手法によってモデル化し、入力されたカメラ映像から統計的手法によって背景パノラマ画像の明度を推定する手法について述べる。

Natural Scene Visualization using Active Camera

— Seamless Composition of Central Camera Image and Peripheral Panorama —

R. Yumiba W. Xiaojun S. Tokai T. Matsuyama
Graduate School of Informatics, Kyoto University

In this paper, we propose natural visualization of scene in telepresence using active camera tracking moving object automatically, from which human observer can comprehend the remote scene immediately. First we describe seamless composition of a camera image and a background panorama taken previously which naturally visualize automatic pan-tilt-zoom transition of active camera. Second we describe statistical learning of variation of panorama brightness and statistical estimation of panorama brightness from a camera image, as a method to create photometrically seamless composition of a camera image and a background panorama under varying illumination.

1 はじめに

遠隔地に設置したカメラ映像をネットワークを介して観察する遠隔監視システムにおいては、観察者が遠隔地のシーンを容易に理解できるようなカメラ映像の自然な表示方法が望まれる。従来、監視用のカメラには固定カメラ、あるいは手動操作による首振りカメラがほとんどであったが、近年の計算機ソフトウェア・ハードウェアの発達によって、計算機の制御によって移動対象の探索や追跡を自動的に行う能動カメラシステムが実用可能になってきている。この能動カメラを用いた場合、人間がカメラの視線方向等の制

御から解放されるという大きな利点がある。その利点の反面、カメラが計算機からの自動制御によって観察者の意志と無関係にパン・チルト・ズームを変化させるため、カメラがシーンの何処を捉えているのかわからないという問題が新たに生じ、人間が直接目視するのに適さない。

そこで本稿は、この能動カメラの観測映像を観察者が自然に理解できる表示方法として、カメラが捉えている観測映像とシーン全体の像とを合成して一つの画像にすることで、両者を同時に理解することを可能にする、カメラ映像を予め撮影されたパノラマ画像上に投影する合成

表示法を提案する。

しかし、この合成表示方法には、シーンの照明条件が変化するとき、観測映像とパノラマ画像との明度の違いが生じて不自然になるという問題がある。本稿では、画像の明度変化を統計的手法によってモデル化し、そのモデルを利用してシーンの照明変化に追従した自然な合成表示を生成する手法を提案する。

以下、2章では、先ず能動カメラの観測映像をパノラマ画像上に投影した自然な合成表示を述べ、次に照明条件が変化した時に合成表示に生じる問題を述べる。3章以降では、この照明条件の変化によって生じる合成表示の不自然さを解決する手法について述べる。まず3章では、照明条件の変化による画像一般の明度変化一般のモデルについて述べる。次に4章では、シーンの照明が大局的な場合と局所的な場合とに分けて、3章のモデルに基づいたパノラマ画像の明度変化のモデル化方法と、観測画像からパノラマ画像の最適なモデルパラメータを計算する方法について述べる。最後に5章では、4章の方法を評価した実験について述べる。

2 能動カメラによる中心視映像と周辺視画像の自然な合成法

人間の視覚システムは、注視対象を捉える中心視とシーンの全体的様子を捉える周辺視の両方を利用している。機能の面から考えると能動カメラの観測映像は人間の中心視に相当するので、能動カメラの周辺視が自然な表示のために必要であると考えられる。以下、パノラマ画像を利用して、能動カメラの観測映像にカメラの周辺視を補って合成表示する方法について述べる。

2.1 Appearance Plane モデル

能動カメラを用いた対象の検出追跡の研究 [1] において、視野全体のパノラマ背景モデルとして、Appearance Plane というモデルがある。

3次元空間から2次元スクリーン(画像平面)への投影モデルとして透視投影を仮定したとき、カメラのパン・チルト・ズームを変更しても投影中心の移動が生じなければ、シーン中の物体・光源と投影中心の位置関係は変化しないため、撮影した画像間に幾何学的変化(運動視差)や光学的変化(ハイライトの変化等)は全く生じない。このように、パン・チルト・ズームを変更しても視点の位置が変化しないカメラのことを、視点固定型カメラと呼ぶ。

図1に示すように、視点固定型カメラによって撮影された複数の視線方向の画像を1枚の仮想スクリーンに再投影したとき、投影像は重なり部分で互いに一致し、複数の観測画像から継ぎ目のない1枚のパノラマ画像が合成できる。この

仮想スクリーンを Appearance Plane と呼ぶ。

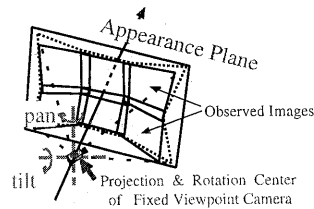


図1: Appearance Plane

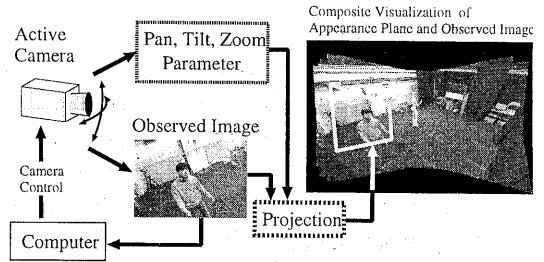


図2: 観測画像と Appearance Plane 画像の合成

2.2 能動カメラの観測映像と Appearance Plane 画像の自然な合成表示

今、あらかじめ過去のある時刻の Appearance Plane 画像が撮影されているとする。視点固定型カメラの観測映像は、カメラのパン・チルト・ズームをもとに、この Appearance Plane 画像上に境界部で継ぎ目が生じること無く投影することが可能になる(図2)。この合成表示を見れば、カメラの観測映像とシーンの全体的様子とを同時に理解することができる。本稿では、以下能動カメラの観測映像/画像を中心視映像/画像と呼び、Appearance Plane 画像を周辺視画像と呼ぶことにする。

2.3 照明変化による不自然な合成表示

シーンの照明条件が変化するとき、2.2節の合成表示には、中心視映像の明度と周辺視画像の明度の違いによって、両者の境界に明度差が生じてしまうため、両者をシームレスに合成できず図3の様に不自然になるという問題が生じる。このような不自然な合成表示は、観察者の不必要な注意を引くという問題があり、解決が望まれる。

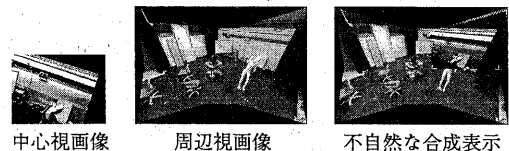


図3: 照明変化による不自然な合成表示

この照明変化による合成表示の不自然さの解決には、A. 中心視映像の明度を周辺視画像に調

和するように操作する手法と、反対に B. 周辺視画像の明度を中心視映像に調和するように操作する手法の 2 つが考えられる。しかし、A. の場合観測映像を操作することにより、映像中の有意な情報が失われるおそれがあるので、本稿では B. の手法を採用する。本稿は、この自然な周辺視画像の生成を、

1. 予め様々な照明条件下の周辺視画像系の標本系列を用意して、周辺視画像の明度変化モデルを学習する。
2. カメラが観測する中心視映像の明度から周辺視画像の明度を推定する。

という 2 ステップの処理で行う手法を提案する。次節以降、詳細を述べる。

3 照明変化による画像の明度変化モデル

シーン中光源からの光線が物体表面上で反射した後、カメラの撮像面に届いた時の強度が画像の明度である。シーンの構造に変化が無ければ、シーンの照明変化は個々の光源の強度の変化である。

よって、シーン中の物体の反射特性ならびに光源の位置といったシーンの物理的構造を計算機内にモデル化すれば、照明変化による画像の明度変化を扱うことができる。しかし、この物理的モデルの構築は、シーンの構造が単純でなければ難しい。

一方、画像を画素数次元のベクトルと考えれば、照明変化による画像の明度変化は空間中のベクトルの分布と考えることができ、物理的モデルより容易に扱うことができる。以下、本研究が前提として考えている、2 つの照明変化による画像の分布モデルを述べる。

3.1 照明加法則

画像の明度は、カメラの撮像面の受ける光エネルギーによって定まる。シーンに光源が複数ある場合には、カメラの撮像面の受ける光エネルギーは、個々の光源から受ける光エネルギーの和となる。よって、画像明度は光源の影響を加法的に受ける。これを、照明加法則と呼ぶことにする。

シーンに単一の光源がある場合、光源の強さが一定比率変化すると、物体表面の反射光の強さも同率だけ変化するため、撮像面に到達する光の強度も同率だけ変化する。よって、任意の照明条件下の画像の明度は、ある基底画像の定数倍で表される。

シーンの光源の数が複数の場合には、各光源の影響は加法的なので、任意の照明条件下の画像の明度は、各光源の影響の基底画像の線形結

合になる。よって、画像の分布する部分空間の次元は、光源の数以下になる。

3.2 Illumination Cone モデル

参考文献 [2] で解説されている、シーン中の物体と照明が以下に挙げる制約に従う場合の、照明変化による画像の明度変化モデルを述べる。

1. あらゆる物体の表面が完全拡散面である。
2. あらゆる光源が無限遠にある。
3. 影 (shadow) が生じない。

まず、シーンに点光源が一つだけある場合を考える。この光源の方向 n_s (3×1) と強度 s の積を $s = sn_s$ とする。3 次元シーン中のある対応物体の法線ベクトル (物体内向き) n_b (3×1) と反射係数 b との積を $b^\# = bn_b$ とすると、その物体表面上で反射した光線を受ける画素の明度 x は、 $b^\#$ と s の内積 $b^\#s$ となる¹。

画像中の各画素がシーン中の一点からの反射光のみを受けるとすると、各画素における反射特性を行列表記して反射係数行列 B とすれば、画像 x は光源 s の B による線形写像 Bs となる。画素の数を n とすると、 B の大きさは $n \times 3$ になる。ただし、物体の法線方向によっては内積 $b^\#s$ が負になる場合があるため、画像中の負の画素明度を 0 に変換する関数 $\max(., 0)$ を用いて、画像は $\max(Bs, 0)$ となる。

光源が複数の場合には、各光源の影響は加法的なので、画像明度は次式で表される。

$$x = \sum_i \max(Bs_i, 0) \quad (1)$$

シーンの照明変化は上式中の各光源 s_i のノルム $\|s_i\|$ の変化であり、 Bs_i は線形変換の任意性 $Bs_i = (BA^{-1})(As)$ を持つので、反射係数行列 B の張る空間 \mathcal{L} の基底が求まれば、照明変化による画像 x の分布を決定できる。 \mathcal{L} の次元は、シーン中の一次独立な物体法線の数によって定まる。床面のように物体の法線が単一の場合は 1 次元、法線の数が 2 の場合は 2 次元、それ以上に構造が複雑なシーンでは 3 次元になる。

4 照明変化に追従した周辺視画像の生成

本章では、3 章で述べた照明変化による画像の明度変化モデルに基づいて、1. 与えられた標本から周辺視画像の明度変化を学習する方法と、2. 投影された中心視映像という部分画像の明度から周辺視画像という画像全体の明度を求める方法とを述べる。

以下これを、シーンにスポット光のような近接光源が無く全ての光源が無限遠にあるとみな

¹本稿では、任意の行列 A 、ベクトル a の転置を、 A', a' で表す。

せる大局的照明の場合と、近接光源がある場合局所的照明とに、場合分けして述べる。

4.1 大局的照明変化

4.1.1 照明変化による画像の明度変化モデルの学習

ここでは、シーン中の物体と光源が3.2節で列挙した条件に追加して、シーン中の全ての光源がシーン中のあらゆる物体を照らすという制約を受ける場合を考える。この照明条件を大局的照明と定義する。

この場合、式(1)中の光源 $\{s_1, s_2, \dots\}$ の和を $s = \sum_i s_i$ とすると、 $\max(\cdot, 0)$ は不要になって画像 x は線形写像 Bs となる。よって、画像 x を確率変数とであるとみなせば、異なる照明条件下で撮影した画像の標本 $X = [x_1, \dots, x_m]$ から、固有画像分析[3]によって反射係数 B の張る空間 L の基底を抽出することができる。固有画像分析には、平均ベクトルを座標中心として基底を抽出する主成分分析を用いる。固有空間の次元は固有値の分布から判断して、反射係数行列 B のとりうる最大の次元数である3以下で定める。固有画像分析の結果を

$$p = E'(x - x_m) \quad (2)$$

$$x \simeq x_m + Ep \quad (3)$$

とする。本稿では、上式中の p を固有パラメータと呼ぶことにする。

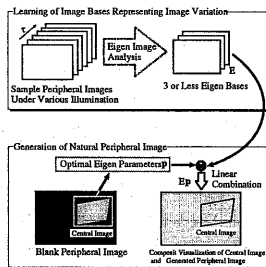


図4: 大局的照明に追従した合成表示の生成

4.1.2 中心視画像に調和した周辺視画像の生成

今、大局的照明下のシーンを撮影した画像 x 中の3画素の部分画像 \tilde{x} が与えられたとする。部分画像 \tilde{x} も光源 s の反射係数行列 \tilde{B} による線形写像 $\tilde{B}s$ になっている。このとき \tilde{B} の階数が画像全体の B に等しければ、最小2乗型一般逆行列 \tilde{B}^{-} で \tilde{x} を射影することにより、光源 s を計算できる。 s が定まれば、画像全体の明度は Bs で定まる。

同様の性質が固有空間でも成立すると考える。部分画像 \tilde{x} 内の固有基底 \tilde{E} の階数が画像全体の E に等しければ、最小2乗型一般逆行列 \tilde{E}^{-} で \tilde{x} を射影することによって、最適な固有パラメータ p

が計算できる。 p が定まれば、画像全体の明度も式(3)で定まる。

ここで、周辺視画像を画像全体 x 、中心視画像を部分画像 \tilde{x} とすれば、以上の方法で中心視画像に最適な周辺視画像を生成し、自然な合成表示を生成することができる。図4に処理の概要を示す。

4.2 局所的照明変化

次に、3.2節に挙げたシーンの光源・物体の制約から、光源が無遠にあるという制約を緩めて、シーンにスポット光のような近接光源がある場合を扱う。この条件を局所的照明と定義する。

この局所的照明の変化による画像の明度変化は、シーンの構造に依存して非常に複雑になる。しかし、シーン中の十分小さな領域に着目した場合、全ての光源は無遠にあると見なすことができるので、画像内の十分に小さなブロック内の明度変化には、前4.1節の大局的照明モデルを適用することができる。

小ブロック単位で画像の明度変化をモデル化した後、画像全体の明度変化をモデルするには、ブロック画像間の明度変化の関係を用いる。画像内の2つの小ブロック (β_1, β_2) に着目したとき、両ブロックに共通に影響を与える光源があれば、両ブロック内の画像 $(x^{\beta_1}, x^{\beta_2})$ の明度変化同士は独立ではなく、ある程度の相関がある。これをブロック画像間の明度変化の共起性と呼ぶことにする。

大局的照明モデルでは、画像明度は固有パラメータに置き換えられるので、画像の明度変化の共起性は低次元変数の固有パラメータの共起性に要約することができる。この固有パラメータ間の共起性を、各照明が画像中で影響を与える領域単位に抽出することによって、局所的照明変化による画像の明度変化モデルとする。

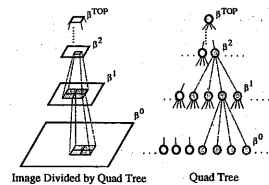


図5: 画像の4進木分割

4.2.1 階層の構造による画像の明度変化の共起性モデル

本節では、具体的にブロック画像間の固有パラメータの共起性を抽出する方法として、図5の様な4進木構造を利用した再帰的抽出法について述べる。4進木構造を用いた理由は、1. 個々の2ブロック間の共起性を全て計算するより計算コストが少なく済むことと、2. 4進木のグ

ラフ構造によって照明の影響毎に画像中の任意形状領域の共起性を扱えるという利点のためである。まず、処理の概要を述べる。

初期状態: 今、明度条件の異なる撮影画像の標本系列が与えられたとき、4進木中の k 層までの任意のブロック β^k の画像が次の2つの条件を満たしているとする。

条件 1: ブロック β^k 内の画像 x^{β^k} が少数次のパラメータ d^k の基底画像系列 G^{β^k} による線形写像と平均画像 x_m^β との和で

$$x^{\beta^k} \simeq x_m^{\beta^k} + G^{\beta^k} d^k \quad (4)$$

の様に表示することができ、 β^k 内の標本画像の明度変化が d^k の変動に要約される。上式中の d^k を画像明度パラメータと呼ぶことにする。この d^k の各要素は、平均0かつ分散1で互いに独立である。固有画像分析を行った最下層(第0層)のブロック β^0 では、式(3)を式変形することによって、この条件は成立する。

条件 2: 画像の標本系列から計算した d^k の標本系列が既知である。

Step 1: 上の条件を満たす、4進木中の隣接する4ブロック $\{\beta_1^k, \dots, \beta_4^k\}$ の画像明度パラメータを一纏めにして $d_*^k = [d_1^k, \dots, d_4^k]$ とする。 d_* の標本系列の変動を見たとき、各ブロックのパラメータ d_i^k 間に共通の変動がある場合、 d_* 中のその変動は適切な基底ベクトル h の一次結合 $d_U h$ で要約できる。例えば各 d_i^k の次元が1で、全 d_i^k 間の相関係数が1の時に主成分分析を行えば、これは明らかである。この性質を利用して、 d_* の相関係数行列を分析することで、 d_* 中の全変動を次式のような少数次元パラメータの線形写像に要約する。

$$d_* \simeq \sum_i h_i d_{U_i} = H d_U \quad (5)$$

上式中の d_U の各要素は、分散が1で互いに独立であるとする。各ブロックの d_i^k に間に共通な変動は、それぞれその変動に対応した d_U の要素を介して共起していると考えられる。

式(5)より d_U は4ブロックのパラメータを決定する。4ブロックのパラメータはそれぞれのブロック内の画像明度を決定するので、 d_U は4ブロックの画像明度を決定する。

Step 2: 4ブロックのパラメータの標本系列から、 d_U の標本系列を計算する。

Step 3: d_U は、4ブロックを含む一層上のブロック β_U^{k+1} の画像明度パラメータとして条件1,2を満たす。よって、再びStep 1に戻る。

この再帰的処理を、固有画像分析を行った最下層ブロック β^0 から、ブロックが画像全体であ

る最上層 β^{TOP} まで行う。以下、**Step 1:**の共起性抽出の詳細を述べる。

正準相関分析と因子分析を用いた共起性抽出法各ブロックの画像明度パラメータは、各要素の分散が1かつ相互に独立な多次元量なので相関係数の意味で直交変換の任意性を持つ。よって、各ブロックの d_i を適切な正規直交行列 M_i で $c_i = M_i d_i$ に変換すれば、より強い共起性の抽出が期待できる。この M_i を1ブロックのパラメータ d_i と、残りの3ブロックのパラメータを2組の変数とした正準相関分析によって求める。これを4ブロックのパラメータそれぞれで行う。

正準変化後の c_i の各要素について、残り3ブロックのパラメータのあらゆる変動と相関を持たない、その要素だけに独立な変動の大きさが正準相関係数から計算できる。この性質を利用して、4ブロックの c_i を一纏めにした c_* を少数要素の線形写像に展開するには、各要素の独立な変動の大きさを特殊因子の大きさとした因子分析を用いる。式(5)より d_U は d_* の要約なので、因子分析の結果得られる共通因子と分散が閾値以上に大きい特殊因子とを、一層上のパラメータ d_U とする。

4.2.2 中心視画像に調和した周辺視画像の生成

4.2.1節の画像 x の明度変化の階層的共起性モデルを予め計算しておけば、これを利用することによって、次のような処理によって、画像中の部分画像 \tilde{x} の明度変化に共起した画像中の残りの領域の明度変化 \tilde{x}^c を生成することができる。

Step 1: 部分画像 \tilde{x} 中の最下層(第0層)の各ブロック β^0 で画像明度パラメータ d^0 の値を計算する。

Step 2: 次に、第1層の各ブロックのパラメータを、部分画像 \tilde{x} 中の最下層のブロックの画像明度パラメータから計算する。あるひとつの第1層のブロック β^1 に着目したとき、画像 x 中における β^1 と部分画像 \tilde{x} との領域の位置関係によって、 β^1 内の最下層4ブロックの内、0個から4個のブロックに部分画像 \tilde{x} の明度が入力される。部分画像の明度が入力された最下層ブロックでは、**Step 1:**でパラメータの値を計算することができる。 β^1 内の最下層4ブロックのパラメータの一つでも値が入力されたときには、4.2.1節で計算された上下層のパラメータ間の共起性を利用して、その値が求められた最下層のパラメータと共起した β^1 の画像明度パラメータ d^1 の値を求める。

具体的には、 β^1 内の最下層4ブロックの全パラメータを一纏めにした d_*^0 の要素の内、値が求められた要素からなるパラメータ \tilde{d}_*^0 を入力に用いて、回帰分析によって d^1 各要素の統計的な最適

推定値を計算する。回帰分析に必要な、 \tilde{d}_*^0 の偏差平方和ならびに、 d^1 と \tilde{d}_*^0 との偏差積和は、式(5)の行列 H から計算することができる。このとき最適な推定値と同時に回帰残差の大きさから、 d^1 の各要素について、全変動のうち共起性を通じて計算可能な変動の割合を計算できる。この性質を利用して d^1 の各要素の回帰推定値のうち、回帰残差が閾値以上のものを有効推定値とし、残りのものを無効推定値とする。

第1層のブロック各々で以上の計算した後、第2層の各ブロックのパラメータを第1層パラメータの有効推定値から、同様に回帰分析によって計算する。この処理を再帰的に最上層までボトムアップ的に行う。

Step 3: 反対に、最上層パラメータの全要素の内、回帰推定が有効な要素を説明変数として、1層下の4ブロックの画像明度パラメータを回帰推定する。これを再帰的に最下層までトップダウン的に行う。

Step 4: 画像中の部分画像外の領域 \tilde{x}^c の各ブロックの明度を、Step 2, 3 の処理によって計算された画像明度パラメータで生成する。

ここで、周辺視画像を画像全体 x 、中心視画像を部分画像 \tilde{x} とすれば、以上の方法で中心視画像の明度変化に共起した周辺視画像を生成することができる。

なお、中心視画像の位置と大きさによっては、実周辺視画像の全ての明度変化を反映した周辺視画像を生成することはできないが、ここでは中心視画像の明度変化に共起した周辺視画像の明度を生成すれば、合成表示中の両者が調和して自然な表示になると仮定する。図6に処理の概要を示す。

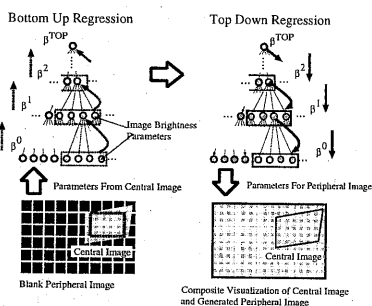


図6: 局所的照明に追従した合成表示の生成

4.2.3 時系列の利用による自然な周辺視画像シークエンスの生成

中心視画像から共起性を介して計算可能な周辺視野画像の明度変化は、周辺視画像上に投影される中心視画像の位置ならびに大きさに依存す

る。このため、能動カメラがパン・チルト・ズームを変化させながら観測した中心視画像シークエンスが入力されたときに、各中心視画像から逐次的に周辺視画像を生成すると、合成表示シークエンスが頻繁に明度変化して不自然になるという問題が生じる。

この問題の解決のために、シーンの照明変化が十分に緩やかであることを仮定して、現在入力された中心視画像から計算することができない局所的な明度変化情報を、時系列データから補って周辺視画像を生成する。

具体的には、各時刻のパラメータの推定値の推定精度を4.2.2節の回帰分析時の回帰残差から計算することによって、各層各ブロックのパラメータの推定値に時系列データの推定精度を重みとした平均値を採用する。これによって、精度良く推定されたパラメータほど大きな重みを持ち、単純な時系列平滑よりも実画像に近い周辺視画像シークエンスを生成することが可能になる。

5 評価実験

4章で述べた、中心視画像に調和した方法の有効性を評価する実験について述べる。本実験は、移動対象を含まないシーンに対して、カメラが移動対象を探索している状態を想定し、観察者が不必要な注意を引かれない自然な合成表示を生成することを目的とする。

シーンの照明の構成は、天井に設置された出力調整可能な4個所の蛍光灯と実験室の一カ所を照らすスポット光からなる。蛍光灯を無限遠にあるとみなして大局的照明とし、スポット光を局所的照明とする。照明条件を変化させながら、実験室の一カ所に設置した視点固定型カメラで Appearance Plane 画像(周辺視画像)系列を撮影する。画像は、白黒256階調の濃淡画像である。

撮影した周辺視画像系列の内、一部を明度変化モデルの学習用の標本とする。学習に用いなかった残りの周辺視画像上の4辺形領域を抜き出して、仮想的にカメラが観測した中心視画像として用いる。

5.1 大局的照明

周辺視画像の明度変化の基底の学習 ここでは前述の天井の4個所の蛍光灯の強度を変化させながら撮影した12枚の周辺視画像を標本として用いる。周辺視画像の標本の一例を、図7に示す。標本系列を固有画像分析した結果を図8に示す。図8において、(a)の基底は画像の全体的な明度変化を表しているが、(b),(c)の基底は陰影の変化を表している。また同図(d)のグラフより、固有空間の次元はほぼ3次であることがわかる。

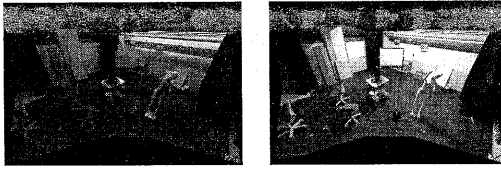


図 7: 大局的照明の変化による周辺視画像の明度変化の標本の一例

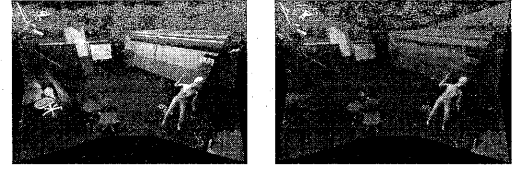
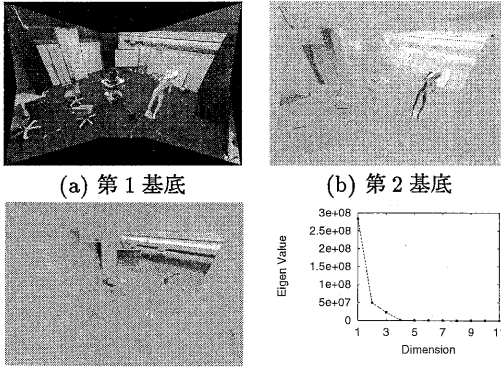


図 10: 局所的照明の変化による周辺視画像の明度変化の標本の一例



(a) 第1基底 (b) 第2基底
(c) 第3基底 (d) 固有値の分布
図 8: 固有画像分析結果

中心視画像に調和した周辺視画像の生成 図 9(a)の周辺視画像から中心視画像を抜き出して、周辺視画像を生成し中心視画像と合成表示した画像を図 9(b)に示す。図 9(b)中の4つの白い印の内側が、中心視画像である。合成表示の実周辺視画像からの平均2乗誤差は103である。

撮影したシーンでは逆光・影になっているところが所々あるものの、概ね大局的照明の近似は有効であり、中心視画像に調和した周辺視画像はほぼ生成できているといえる。

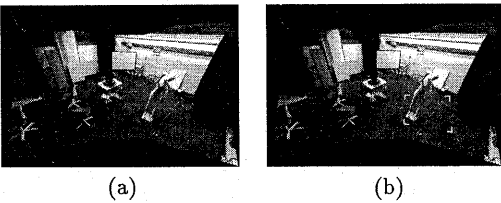


図 9: 大局的照明下における合成表示の生成結果
(a) 中心視画像を抜き出した元の周辺視画像
(b) 中心視画像と生成周辺視画像の合成表示

5.2 局所的照明

周辺視画像の階層的共起性モデルの学習 天井の照明の強弱に加えてスポット光の明滅をさせながら撮影した、24枚の周辺視画像の標本系列の一例を図 10に示す。画像中の左端の椅子にスポット光が当てられている。標本周辺視画像中の中央部を抜き出して、15×7画素のブロックを単位とした、64×64のブロック格子に分割し、最下層(第0層)を含めて7層の4進木を構築する。

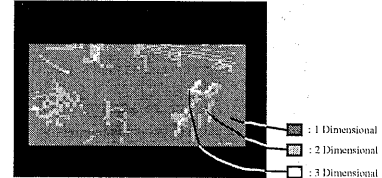


図 11: 各ブロックの固有空間の次元

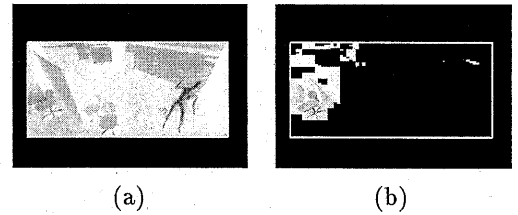


図 12: 画像明度パラメータの基底画像の一例

4進木の最下層の各ブロックで固有画像分析を行い、ブロック内の固有基底を抽出する。固有空間の次元は、それぞれのブロックで固有値の累積寄与率と絶対的な大きさを閾値処理して、最高3次で決定する。各ブロックの固有空間の次元を明度においた画像を図 11に示す。椅子の縁やマネキン等の物体表面に変化があるところほど、固有空間の次元が高くなっていることがわかる。

次に、4.2.1節の方法を用いて、隣接4ブロックの画像明度パラメータの共起性を最下層から最上層まで再帰的に抽出する。結果、最上層の画像明度変化パラメータの次元は5となり、これはシーンの照明の数と一致している。各パラメータの要素が画像明度に与える影響は、式(4)中の行列 G_k^β の各列の基底画像に対応するので、その基底画像の一例として、最上層の基底の一部を図 12に示す。図中の白枠の内側がブロックである。図 12(a)は全体的な照明変化に対応しているが、図 12(b)は局所的なスポット光の明滅にほぼ対応していることがわかる。

中心視画像に調和した周辺視画像の生成 図 13の周辺視画像から抜き出した中心視画像を入力として、4.2.2節の方法で生成した周辺視画像と中心視画像との合成表示を図 14の上段に示す。同図の下段に、合成表示と実画像との差分画像を示す。実画像と合成表示の平均2乗誤差は、それぞれ (a)269, (b)25 である。

図 14上段それぞれの周辺視画像は、中心視画

像の捉えているシーンに応じて、中心視画像と調和するように生成されている。図 14(a)では、中心視画像は床面だけを捉えているため、全体的な明度のみが中心視画像と調和する周辺視画像が生成されている。一方、図 14(b)では、中心視画像はスポット光と椅子の陰影を捉えているため、スポット光の変化も椅子の陰影に共起した人形の陰影の変化もほぼ実画像に忠実な周辺視画像が生成されている。



図 13: 中心視画像を抜き出した周辺視画像

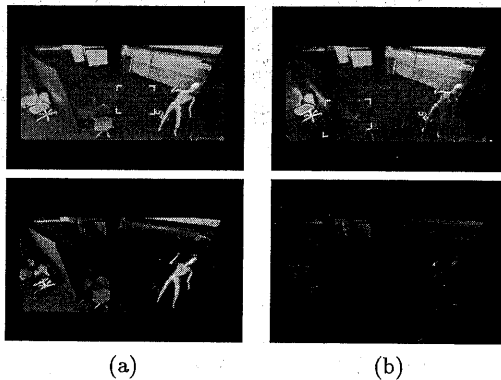


図 14: 局所的照明下の合成表示の生成結果
(上行) 合成表示 (下行) 実画像と合成表示の差分画像

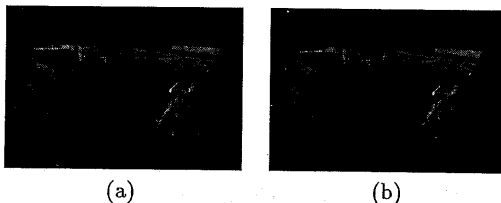


図 15: 時系列を利用時の合成表示と実画像との差分画像

時系列を利用した周辺画像シークエンスの生成時系列を利用した中心視画像の位置への依存度が小さい周辺視画像シークエンスの生成の実験として、図 14の (a),(b) の位置の中心視画像を (a)→(b)→(a)→..... と交互切り替えた中心視画像シークエンスを入力として、周辺視画像シークエンスを生成する。このとき、切り替わりが1順した後は (a),(b) のどちらの中心視画像を入力としたときも、ほぼ実画像と変わらない周辺視画像を生成することができる。図 15に切り替わり

2 順目の (a),(b) の中心視画像から生成した合成表示と実画像との差分画像を示す。合成表示の実画像からの平均 2 乗誤差は、(a)50,(b)48 である。差分画像より、(a),(b) の合成表示にはほぼ差がないことがわかる。

6 おわりに

自律的に移動対象を探索・追跡する能動カメラの観測映像を自然に表示する手法として、本稿ではまず、カメラのパン・チルト・ズームの変化という幾何的要因による観測映像の変動を補償したカメラ映像とパノラマ画像の合成表示法を示した。次にシーンの照明変化という光学的要因によって、合成表示中に明度差が生じて不自然になるという問題解決するための手法として、カメラ映像の明度変化に追従したパノラマ画像の生成法を示し、実験によってその有効性を示した。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- 照明変化に追従した移動対象追跡の自然な映像の生成 — カメラ映像中から背景部分のみを抜き出し、明度変化情報を得る。
- 明度変化モデルの自動的学習・更新
- 照明条件以外の変化への追従 — 風に揺れる樹木やドアの開閉などの変化に追従した合成表示を生成する。
- 複数カメラの利用 — 局所的照明変化情報を共有して、カメラの視線方向への依存度が小さな合成表示を生成する。

今後これらの問題を解決することによって、能動カメラの観測映像をより自然に表示する方法の確立を目指す。

謝辞 本研究を行うにあたり、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業 (JSPS-RFTF 96P00501) の補助を受けた。

参考文献

- [1] 松山隆司, 和田俊和: 視覚・行動機能の統合による柔軟・頑健な能動視覚システムの開発—視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた実時間対象検出・追跡—, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98) 論文集 I, pp. 359-364.
- [2] N.Belhumeur, P. and J.Kriegman, D.: What is the Set of Images of an Object Under All Possible Lighting Condition?, *CVPR*, pp. 270-277 (1996).
- [3] 村瀬洋, シュリーナイヤー: 2次元照合による3次元物体認識 — パラメトリック固有空間法 —, 信学論 D-II, Vol. J77-D-II, pp. 2129-2187 (1994).