

PTZ カメラを用いた物体検出のための画像の線形化による予測 背景画像生成

高田 和豊 佐藤 智 登 一生

松下電器産業株式会社 先端技術研究所

〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 3-4

E-mail:{takata.kazutoyo,sato.satoshi,nobori.kunio}@jp.panasonic.com

Predicting a Background Image using Photometric Linearization for a PTZ Camera

PTZ カメラで撮影された画像から背景差分法を用いて物体検出を行う場合、背景画像の撮影時に照明条件が変動すると、予測背景画像の輝度誤差が大きくなるという課題があった。これに対し、本研究では、画像の線形化によって照明条件の異なる画像からパノラマ基底画像を生成したうえで、パノラマ基底画像を用いて予測背景画像を生成する方法を提案する。さらに、パノラマ基底画像生成時に、量子化誤差により生じる輝度誤差を低減する方法を提案する。光源が平行光である CG 画像を用いて検証実験を行った結果、照明変動環境下においても検出対象画像に対して輝度誤差の少ない予測背景画像を生成することができ、提案法の有効性を確認した。

Predicting a Background Image Using Photometric Linearization for a PTZ Camera

Kazutoyo Takata Satoshi Sato Kunio Nobori

Advanced Technology Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

3-4,Hikaridai,Seika-chou,Souraku-gun,Kyoto, 619-0237 ,Japan

We propose a method for predicting a background image using photometric linearization for a PTZ camera. Background subtraction is one of the effective methods for object detection using a PTZ camera. However, conventional methods cannot make a correct background image under various lighting conditions. On the other hand, linear combinations of base images can make a background image of arbitrary lighting conditions. So First, we show the method for making a panoramic base image from various lighting images and predicting a background image using panoramic base images. Next, we show the method for reducing quantization error of the synthesized panoramic base image is made. Experimental results show that, assuming parallel light and using CG images, the proposed method can make a panoramic base image correctly and reduce intensity error under various lighting conditions.

1. はじめに

パン・チルト・ズーム・カメラ(PTZ カメラ)は、撮影範囲が広く、高解像度の画像も撮影できることから、監視用途などに広く用いられている。PTZ カメラで撮影された画像から背景差分法を用いて物体検出を行う場合、撮影範囲の変動と照明条件(光源の方向、強度、個数)の変動に対応し

た予測背景画像の生成が必要であり、そのための手法が提案されている。

和田ら[1]は、視点固定型の PTZ カメラを用いることで、撮影範囲の異なる画像を接合した予測背景画像における、画像の位置ずれを低減する手法を提案している。和田らの方法は、背景画像の撮影時および物体検出時に照明の強度が変化した場合でも、正しく予測背景画像を生成できるが、照明の方向や個数などの変化は考慮されていない。

新宮ら[2]は、照明の光量に対する物体の画面輝度をモデル化することにより、照明が変化する場合でも、予測背景画像を生成できる手法を提案している。しかし、物体表面の位置、法線、反射係数を予め測定する必要がある。また、一旦パノラマ画像を作成した後に予測背景画像を合成する方法としては、画像の線形化によって3枚の基底画像を用いて任意光源方向の画像を生成する方法[3]などが有効だが、パノラマ画像を作成する際に照明条件が一定である必要がある。

これらの課題に対し、本報告では、まず画像の線形化を用いることで、任意の照明条件で撮影された撮影範囲の異なる複数の画像から、パノラマ画像を生成する手法を提案する。照明の方向が異なる3枚のパノラマ画像を基底画像として用いることで、任意の照明条件の予測背景画像の生成と、背景差分による物体検出を行うことができる。次に、パノラマ画像を生成する際に、局所的な評価の繰り返しによって量子化誤差が蓄積する課題に対して、全体で再評価を行うことで誤差を低減する手法についても提案する。

2. パノラマ基底画像合成方法

提案法による予測背景画像の生成方法について示す。

2.1 画像の線形化を用いたパノラマ基底画像生成概要

光源が平行光であり、かつ被写体の表面が拡散反射面であると仮定すると、光源方向の異なる3枚の画像の線形結合により、任意の光源方向の画像を生成できることが知られている[3]。このような3枚の画像を基底画像と呼ぶ。PTZカメラの全撮影範囲にわたって、3枚の基底画像を生成することができれば、その基底画像を用いて、照明変動下の画像を予測することが可能となる。

提案法では、図1に示すように、PTZカメラで撮像された撮像範囲と光源方向が異なる複数枚の画像を用いて、光源方向が一定となるパノラマ画像を合成する。3つの異なる光源方向について合成されたパノラマ画像3枚を基底画像（パノラマ基底画像）として用いることで、任意光源方向、任意撮像方向の検出対象画像に対して、検出対象画像と同じ光源方向の予測背景画像を生成する。

本研究では、撮像範囲、光源方向の異なる複数枚の画像を用いて、画像の線形化を利用してパノラマ基底画像を作成するアプローチを行った。

以下、パノラマ基底画像の生成方法、及びパノラマ基底画像を用いた予測背景画像生成方法に関して順に詳述する。

2.2 パノラマ基底画像生成アルゴリズム

パノラマ基底画像生成方法の基本アルゴリズムに関して詳述する。図1に示すように、PTZカメ

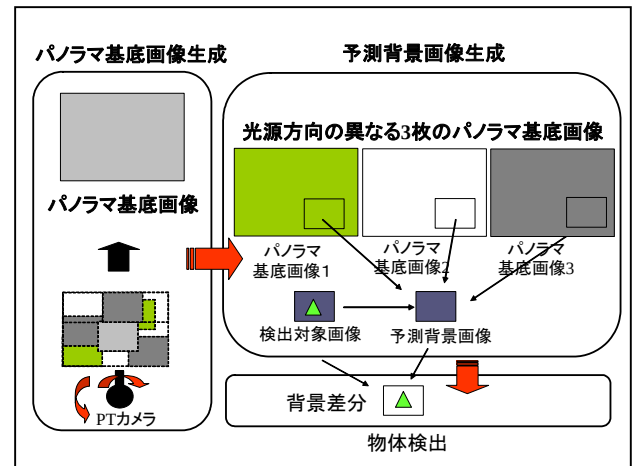


図1 パノラマ基底画像生成概要

ラで撮影された光源方向、撮影範囲の異なる複数枚画像から、1枚のパノラマ基底画像を生成する方法は、以下の3つのステップで実現できる。

STEP 1: 重複画像の選択

図1のようにPTZカメラで撮影された複数枚の画像の中から、図2のように被拡張画像 I_0 を1枚選択し、この I_0 に対して共通の重複領域を持ち（図中のAに対応する領域。以下A領域と呼ぶ）、かつ、 I_0 以外の画像が共通の重複領域（図中のBに対応する領域。以下B領域と呼ぶ）を持つ3枚の画像 I_1, I_2, I_3 を、同じく撮影された画像の中から選択する。

STEP 2: 線形係数算出

STEP 1で選択された3枚の画像 I_1, I_2, I_3 のA領域の画素値を用いて、被拡張画像 I_0 に対して、式(1)で表される線形係数 $C_0 = (c_0^1, c_0^2, c_0^3)$ を算出する。算出方法には、RANSACを用いて評価値 e の最も高い線形係数を選択する方法を用いる[4]。評価値 e は、算出した係数 C_0 を用いて式(1)で合成された被拡張画像 I_0^L における拡散反射画素の数を用いる。ここで述べる拡散反射画素数は、 I_0^L と I_0 の輝度誤差が閾値以内となる画素の数である。すなわち、評価値 e の値が高いほど、輝度誤差の少ない画像を合成できる線形係数であるといえる。

$$I_0 = c_0^1 I_1 + c_0^2 I_2 + c_0^3 I_3 \quad (1)$$

STEP 3: 拡張

STEP 2で算出された線形係数 $C_0 = (c_0^1, c_0^2, c_0^3)$ と、 I_1, I_2, I_3 におけるB領域の画素値を式(1)に代入し、 I_0 の画像領域を $(I_0 + B)$ 領域まで拡張し、拡張された画像 I_0^L を生成する。

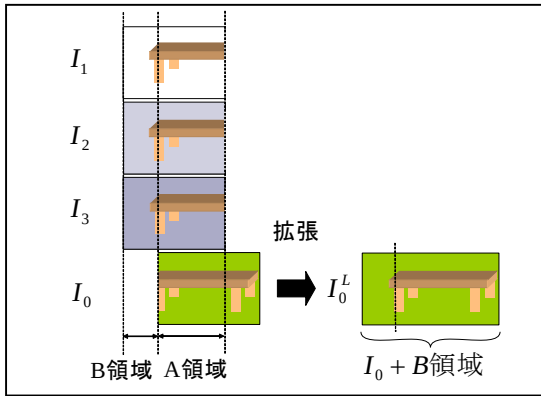
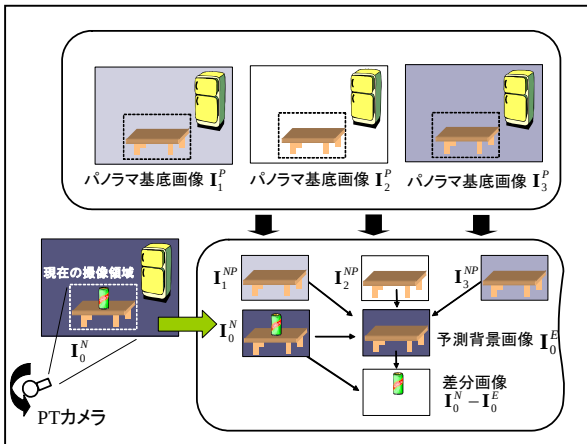


図2 パノラマ基底画像生成方法

以上の3つのSTEPを、被拡張画像 I_0 がカメラの撮影範囲全体に拡張されるまで繰り返すことで、図1に示す様に、PTZカメラで撮影された光源方向、撮影範囲の異なる複数枚画像から、1枚のパノラマ基底画像を生成することができる。

2.3 パノラマ基底画像を用いた予測背景画像生成

パノラマ基底画像を用いた予測背景画像生成方法に関して詳述する。前節で述べた基本アルゴリズムをカメラの撮影範囲全体に拡張されるまで繰り返すことにより、1枚のパノラマ基底画像が合成される。このパノラマ基底画像を3枚用いることで、任意光源方向で撮影された画像に対する予測背景画像生成が可能となる。この際、選択する3枚の



パノラマ基底画像は光源方向の異なる画像を選択する。

図3 パノラマ基底画像を用いた予測背景画像生成方法

ここで、図3を用いて検出対象画像 I_0^N に対して予測背景画像 I_0^E を生成し、検出対象画像 I_0^N に背景以外に存在する缶を「物体」として検出する場合を考える。図2に示される I_1^P, I_2^P, I_3^P は、それぞれ検出対象画像 I_0^N を撮影する前に、予め生成されている光源方向の異なる3枚のパノラマ基底画像

である。カメラの撮影範囲には、床、机、冷蔵庫が背景として存在しており、検出対象画像 I_0^N は、机の部分（物体として缶が存在）を撮影している。

この場合において、現在の撮影画像 I_0^N における予測背景画像 I_0^E の生成方法、及び物体検出は以下のステップで実現できる。

STEP 1: 検出対象画像 I_0^N を撮影する。

STEP 2: 検出対象画像 I_0^N の撮影領域に対応するパノラマ基底画像（ $I_1^{NP}, I_2^{NP}, I_3^{NP}$ ）を切出す。

STEP 3: $I_1^{NP}, I_2^{NP}, I_3^{NP}$ を用いて I_0^N に対する線形係数 $C_0^N = (c_0^{1P}, c_0^{2P}, c_0^{3P})$ を算出する。

STEP 4: STEP3で求めた線形係数 $C_0^N = (c_0^{1P}, c_0^{2P}, c_0^{3P})$ 、及び $I_1^{NP}, I_2^{NP}, I_3^{NP}$ を式(1)に代入し、予測背景画像 I_0^E を生成する。

STEP 5: $I_0^N - I_0^E$ を行い物体を検出する。

以上のステップにより、光源変動環境下で撮影された任意光源方向の画像に対して、同一の光源方向を持つ予測背景画像生成が可能となり、物体検出を行うことができる。また、石井ら[4]の分類基準を用いることにより、STEP5において、背景とは異なる領域を拡散反射、鏡面反射、attached shadow, cast shadow に分類もすることも可能となる。

3 量子化誤差による輝度誤差低減方法

パノラマ基底画像を生成する際に、量子化誤差によって生じる輝度誤差の低減方法に関して述べる。

3.1 線形係数の算出と誤差の蓄積

2.2節では、被拡張画像に対する重複領域で線形係数を算出し、算出した線形係数を用いることで拡張を行うことを述べた。しかし、実際に算出する線形係数は、評価値 e が同じ場合、もしくは近い場合でも、量子化誤差によって線形係数の値にばらつきを持つことがある。この線形係数のばらつきが、拡張を繰り返すと最終的に生成されるパノラマ基底画像の輝度値に大きく影響を与える。これを以下、説明する。

図4に示す様に、画像 I_0 を拡張画像群 I_{nG} の領域まで逐次的に拡張する場合を考える。被拡張画像 I_0 は、拡張画像群 I_{1G} との重複領域である A_0^{1G} 領域を用いて線形係数 C_0^{1G} を算出し、式(2)を用いて、被拡張画像 I_0 を $(I_0 + I_{1G})$ 領域へと拡張する。

$$I_0 = C_0^{1G} I_{1G} \quad (2)$$

$$I_{1G} = C_{1G}^{2G} I_{2G} \quad (3)$$

⋮

$$I_{(n-1)G} = C_{(n-1)G}^{nG} I_{nG} \quad (4)$$

同様に式 (3) ～式 (4) を用いて A_{1G}^{2G} 領域～ $A_{(n-1)G}^{nG}$ 領域の各重複領域における線形係数を算出し、被拡張画像 I_0 は、最終的に I_{nG} の領域まで拡張される。この時の拡張画像群 I_{nG} 領域の輝度値 I_0 は式 (5) の様に、式 (2) ～式 (4) で算出した線形係数の掛け合わせで表される。

$$I_0' = C_0^{1G} C_{1G}^{2G} \cdots C_{(n-1)G}^{nG} I_{nG} \quad (5)$$

よって、上述の量子化誤差による係数のばらつきは、拡張を行う繰り返し回数が多いほど、掛け合わせで効いてくるため、最終的に拡張されたパノラマ基底画像の輝度の値に大きく影響する。このように、2.2 節で説明した拡張方法を逐次的に繰り返す場合は、被拡張画像 I_0 に対して拡張後に拡張が正しく行われているかを評価する正解画像が存在しないため、各々の A 領域で最も評価値の高い線形係数を算出する以外に評価することはできるが、上述の線形係数のばらつきによるパノラマ基底画像の輝度値の影響を評価することができない。

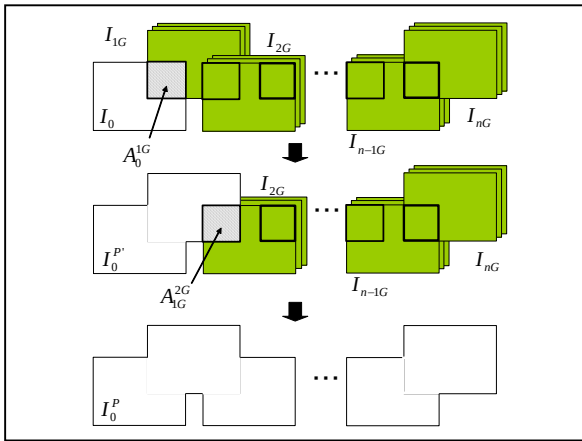


図 4 パノラマ基底画像の逐次的拡張

3.2 評価画像群を用いた誤差低減方法

しかし、図 5 に示すように、PTZ カメラで撮影された複数枚の画像中に、被拡張画像 I_0 を拡張する方法が複数通り存在する場合は（図 5 では、 $I_0 \rightarrow I_{1G} \rightarrow I_{2G} \rightarrow I_{3G}$ と $I_0 \rightarrow I_{3G} \rightarrow I_{2G} \rightarrow I_{1G}$ の 2 通りの拡張方法が存在する）、被拡張画像 I_0 に対して、 I_0 自身が拡張されたパノラマ基底画像の正解画像となるため、拡張後のパノラマ基底画像と被拡張画像 I_0 の輝度誤差を考慮に入れて線形係数を算出することにより、前節で述べた線形係数のばらつきによるパノラマ基底画像の輝度誤差を低減したパノラマ基底画像生成が可能となる。このような画像群を評価画像群と呼ぶ。評価式は式 (6) に示すように、被拡張画像 I_0 を I_{nG} 領域まで拡張するのに n 個の線形係数 ($C_0^{1G} \sim C_{n-1G}^{nG}$) が必要な場合、各係数に対応する評価値 e の総和と、式 (5) で求めた画像 I_0' と、正解画像となる被拡張画像 I_0 自身との輝度値を比較して求めた評価値

e_g （評価方法は同様に拡散反射画素の数）の和 (e_{eval}) を用いる。

$$e_{eval} = \sum_{k=0}^{n-1} e_k + e_g \quad (6)$$

以上述べたように、PTZ カメラで撮影された複数枚の画像の中に評価画像群が存在する場合、各 A 領域の線形係数を式 (6) を用いて算出することにより、量子化誤差による輝度誤差を低減したパノラマ基底画像生成を行うことができる。

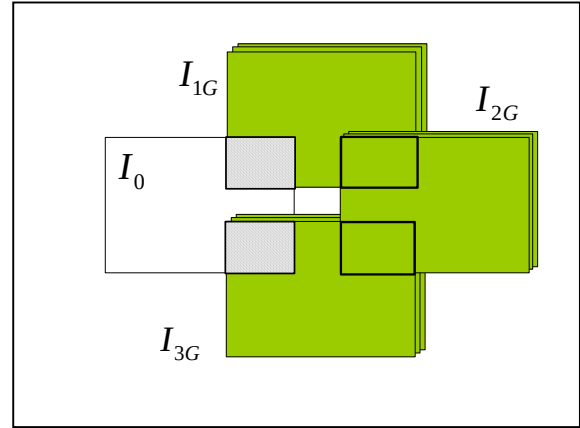


図 5 評価画像群

評価画像群を用いたパノラマ基底画像生成の具体的な処理は、以下のステップで実現される。

STEP1: 被拡張画像 I_0 に対する評価画像群の各 A 領域において、線形係数の算出を行う（線形係数の数は n 個とする）。この際、各 A 領域で評価値 e の高い線形係数を複数個 (m 個) 保持しておく。

STEP2: STEP1 で算出した $n \times m$ 個の線形係数を組み合わせ（各 A 領域で保持している m 個の係数の中から、1 つの係数を選択し、選択した係数をそれぞれ組み合わせる）、その中から、式 (6) の評価値 e_{eval} が最も高い係数の組み合わせを選択する。

STEP3: STEP3 で評価値 e_{eval} が最も高い係数の組み合わせを用いて被拡張画像 I_0 を拡大する。

4. 検証実験及び考察

本章では提案したパノラマ基底画像生成方法の基本アルゴリズム、及び拡張時の誤差低減方法に関して行った検証実験に関して述べる。

4.1 パノラマ基底画像生成の基本アルゴリズム検証

本実験では 2.3 節で提案したパノラマ基底画像生成方法の基本アルゴリズムの検証、及び最小 2 乗法を用いた線形濃度変換法[5]で生成したパノラマ画像との比較を行った。本実験は、照明（平行光）をパン角 (P) $30^\circ \sim 70^\circ$ 、チルト角 (T)

30° ～70° に変化させた部屋の CG 画像を用いて行った。鏡面反射、相互反射は含まれていない。本実験で用いた CG 画像の一例を図 6 に示す。

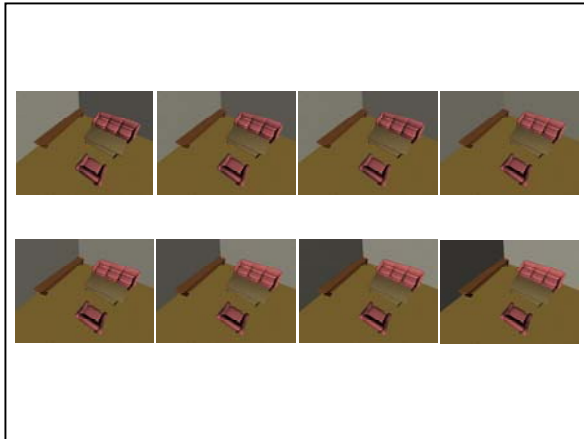


図 6 実験に用いた CG 画像の一例

これらの画像の中から、図 7 に示すように被拡張画像 I_0 と、光源方向の異なる 3 枚の画像 I_1, I_2, I_3 とが撮影範囲が異なり、かつ、重複領域を持つように各画像を切り取り、提案手法を用いて被拡張画像 I_0 を拡張した。また、被拡張画像 I_0 と画像 I_1 を、線形濃度変換法を用いて合成した。

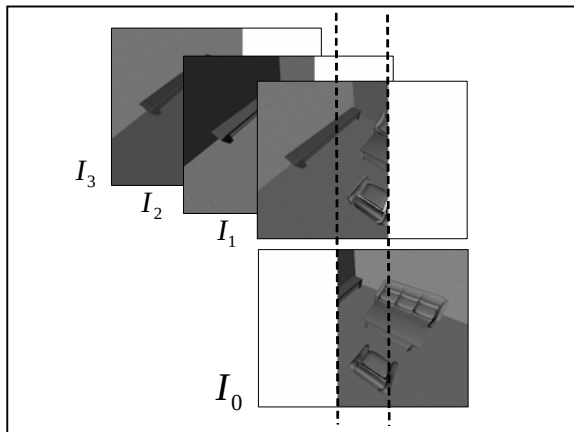


図 7 実験に用いた画像

各手法で拡張した結果を図 8 に示す。また、正解の画像との差分画像（輝度閾値 3）を図 9 に示す。

図 9 の差分画像の結果より、提案手法では輝度誤差なくパノラマ基底画像が生成されており、提案したパノラマ基底画像生成法の基本アルゴリズムの妥当性が確認できた。

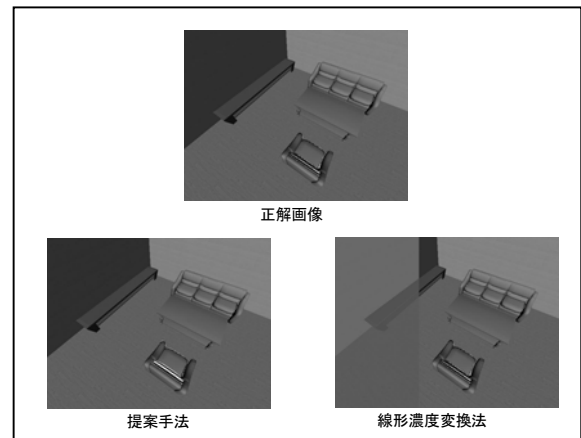


図 8 拡張結果

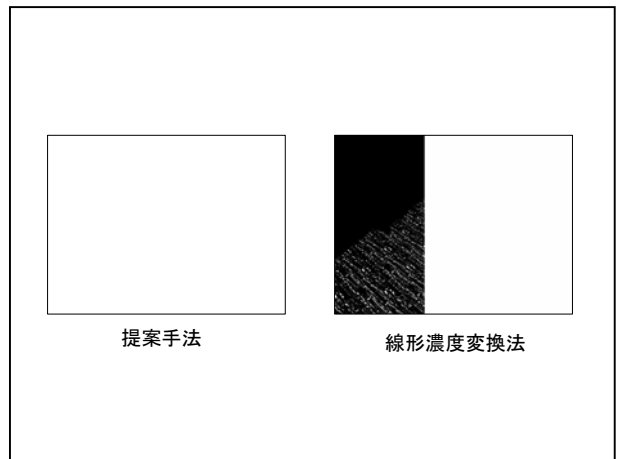


図 9 正解画像との差分画像

4.2 拡張誤差低減方法の検証

本実験では、3.2 節で提案した評価画像群を用いた誤差低減方法により拡張を行ったパノラマ基底画像と（方法①）、基本アルゴリズムを逐次的に繰り返すことで拡張を行ったパノラマ基底画像（方法②）との比較により、評価画像群を用いた誤差低減方法によって輝度誤差が低減されるかを検証した。用いた CG 画像は前節で用いた画像と同じである。

方法①では、各 A 領域において、RANSAC（1000 回）で算出した線形係数の中から、評価値 e の値が高かった上位 3 個の線形係数を保持しておき、その内 1 つの線形係数を選択して組み合わせた中から、式 (6) の評価値 e_{eval} が最も高かった線形係数の組み合わせを選択した。方法①によって拡大を行う過程は図 10 に示す通り、被拡張画像 I_0 に対して照明条件の異なる 3 枚の画像組 (I_1, I_2, I_3) , (I_4, I_5, I_6) , (I_7, I_8, I_9) を用いて線形係数 $C_1 \sim C_9$ を求め、拡張を行った。方法①で拡張された画像の結果を図 11 に示す。

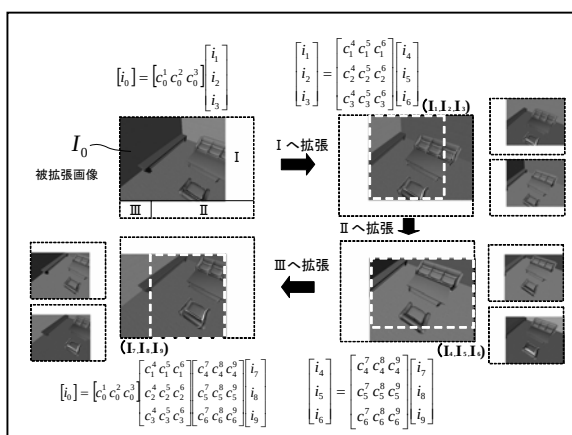


図 10 方法①による拡張

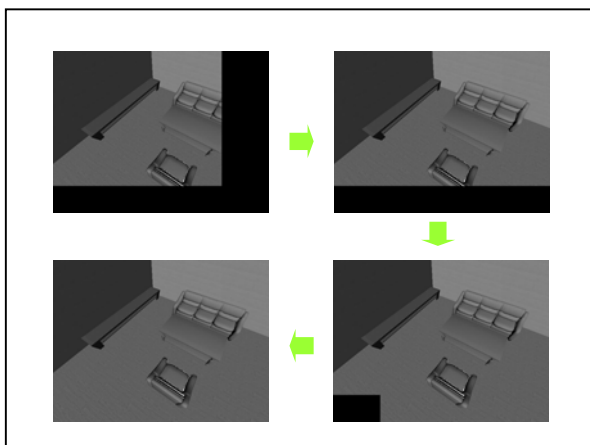


図 11 手法①の実験結果

また、評価画像を用いて拡張した方法と、逐次的に拡張した方法の評価値 e の値の比較を表 1 に、被拡張画像 I_0 の正解画像に対する輝度の 2 乗誤差、分散の比較（陰影領域は除く）を表 2 に示す。

表 1 評価値の比較

評価値(画素数)		方法①	方法②	①-②
I 領域 (14400)	e_0	142728	142729	-1
II 領域 (16000)	e_1	153036	153036	0
	e_2	159038	159038	0
	e_3	152532	152532	0
III 領域 (14400)	e_4	143146	143146	0
	e_5	141879	141884	-5
	e_6	143299	143317	-18
評価領域 (16000)	e_g	158681	157573	1108
e_{eval} (12160000)		12138339	12137255	1084

表 2 輝度誤差、分散

	方法①	方法②
輝度の 2 乗誤差	0.42	0.59
誤差分散	0.38	0.53

図 11 の結果、及び表 2 の輝度の 2 乗誤差、誤差分散の値より、どちらの方法も誤差が少なく拡張されていることがわかる。しかし、表 1 では方法①が、I、III 領域の 3 つの線形係数算出時に、評価値が 2 番目に高かった係数を選択していることにより、部分的に評価値は下がっているが、全体としての評価値 e_{eval} は方法②よりも高い評価をしており、全体としての評価値が高いパノラマ基底画像が生成されていることがわかる。同じく表 2 でも、方法①、方法②で生成されたパノラマ基底画像と正解画像との輝度 2 乗誤差、誤差分散を見ると、方法①の方がより輝度誤差が低減された結果が得られている。以上の結果により、提案した評価画像群を用いた誤差低減方法の有効性が確認できた。

5. まとめ

PTZ カメラを用いて照明変動環境下における物体検出を行うための予測背景画像生成法を提案した。任意の照明条件で PTZ カメラで撮影された撮影範囲の異なる複数の画像から、線形化を利用して画像の拡張を行うことで、パノラマ基底画像を生成し、これを用いて予測背景画像を生成した。次に、画像拡張時に評価画像群を用い、全体で再評価を行うことで、量子化誤差に起因する輝度誤差を低減した。CG 画像を用いて行った検証実験により、本提案手法の有効性を確認した。今後の課題としては、平行光から点光源等への拡張と、相互反射等の環境光への拡張とを行い、より実環境に近い環境での有効性の検討を行う。

参考文献

- [1]和田俊和,浮田宗伯,松山隆司,“視点固定型パンチルトズームカメラとその応用”,電子情報通信学会論文誌 D II, vol.J81-D- II, No.6, pp.1182-1193, 1998
- [2]新宮淳,亀田能成,角所考,美濃導彦,“背景画像合成による前景抽出とそれに基づく照明の動的制御”,電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU2001-218), pp.95-102, 2002
- [3] A.Shashua,“Geometry and Photometry in 3D Visual Recognition”, Ph.D thesis, Dept. Brain and Cognitive Science, MIT
- [4] 石井育規, 福井孝太郎, 向川康博, 尺長健,“光学現象の分類に基づく画像の線形化”,情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, vol.44, No.SIG5(CVIM6), pp.11-21, 2003
- [5]“画像解析ハンドブック”, pp.463-464, 東京大学出版社, 1991