

都市夜景変換

王 旭[†] 渡辺 大地[†] 柿本 正憲^{†‡} (正会員)

[†] 東京工科大学メディア学部 〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

[‡] ドワンゴCGリサーチ

E-mail: [†] m02171017e@edu.teu.ac.jp

あらまし 本研究では、都市昼景画像を夜景画像に自動変換する手法を提案する。人の視覚特性に基づいて画像の輝度を調節し、画像全体を暗くすることに加え、いくつかの推定に基づく描画処理を追加する。俯瞰都市画像の特徴を考慮しながら、モルフォロジー処理とラベリング処理を併用して各建物の壁面と窓の領域推定を行う。推定された窓領域の形状によって窓明かりを再現する。さらに、道路上の各種光源が壁面を照射する現象をシミュレートした。実際の都市画像を対象に実験を行い、良好な結果を得た。

キーワード 都市, 夜景, モルフォロジー処理, ラベリング処理, 都市光源

City Photo Transformation for Night Views

Xu WANG[†], Taichi WATANABE[†], Masanori KAKIMOTO^{†‡} (Member)

[†] Tokyo University of Technology 1401-1 Katakuramachi, Hachioji-shi, Tokyo, 192-0982 Japan

[‡] Dwango CG Research

E-mail: [†] m02171017e@edu.teu.ac.jp

Abstract We introduce a method to automatically synthesize a city night view image from a day time photo. Our approach relies on the features of scotopic vision to adjust the image luminance in order to make the image become darker and looks like a real night scene. Then we considered the characteristics of the daytime's city image which took a photo from overlooking views. We demonstrate some experimental results of our plausible night view image generation.

Keyword City, Night View, Morphological Image Processing, Connected-component Labeling, City Light Source

1. はじめに

近年、都市夜景を撮影する興味がある人の数は増えつつある。ところが、写真撮影の素人や初心者といった人にとって、理想的な夜景写真を撮ることが容易ではないと考えられている。たとえあらゆる撮影条件（タイミングや場所、天気状況など）を満足しても、写真の後処理が必要の場合も珍しくない。もし、昼景の都市画像だけで自動的に夜景のような画像に生成することが実現できれば、コンテンツ制作への応用が考えられる。

典型的な夜景景観は「境界夜景」「車窓夜景」「俯瞰夜景」3つある。繁華街で広告照明や街灯などが創り出す都市照明環境は境界夜景の対象と見なされる。本稿ではこのような照明を都市光源と呼ぶこととする。電車沿線地域の夜間景観は車窓夜景と呼ばれる。俯瞰夜景は超高層ビルや飛行体から見える夜景景観[1][2]である。俯瞰夜景の特徴は明かりの数が膨大でそれぞれの明かりが点状に分布することである。本稿ではこれらを輝点と呼ぶことにする。

昼景画像から夜景画像に推定する多くの既存例においては、全体の輝度を下げることが基本である。自然景観あるいは辺境

の町に対してはこれだけで十分な場合も多いが、多様な都市光源や輝点が存在している大都市の画像を雰囲気の良い夜景に変換することは難しい。都市光源を考慮した夜景変換の手法は建物近景の写真を対象に行われているが、近景の建物は細部の特徴を再現するために手入力によるユーザー補助が必要である。また、俯瞰夜景を目指し、遠景の自動変換においては都市特徴に対する考慮が不足であることから考え、推定した都市光源や輝点の位置が正確とは言えない。

そこで、本研究では、夜景景観の1つである俯瞰夜景への変換に目指し、俯瞰夜景の特徴を考慮しながら、都市光源あるいは輝点が存在する場所の推定を試み、推定された部分で照明処理や輝点の付加を行う手法を提案し、自動的に都市夜景画像を変換する手法の実現を目的とする。

2. 従来手法

Thompson ら[3]は、夜景変換の効果に対して影響がある要素として、低コントラスト、低明度、desaturation とブルーシフト以外に、視力によってぼやけた現象と目に見えるノイズも重要なポイントであることを指摘した。しかし、高輝度の光源や輝点が存在する場合の状況が考えられていない。生成した画像は

夜景の美しさを表現することができない。

川畑ら[4]は、夜間の都市景観における「ネオンサイン」とビル窓明かり 2つの光源を着目し、テクスチャマッピングによってシミュレーションする手法を用いた。三次元都市モデルと多様なテクスチャ事前に準備することが必要であるため、自動的に夜景をシミュレーションすることは難しいと考えられる。

山口ら[5]は、建物の近景画像を夜景画像に変換する手法を提案した。シャドウを取り除き、全体的に暗くさせ、ユーザーの手作業によって窓の領域を分割することにより、都市光源を付加する手法である。このような手法を大都市の俯瞰夜景への変換に適用する場合は、数多くの窓の領域を手作業で分割する必要があるため効率的ではない。

柿崎ら[6]は、遠景の都市画像でモルフォロジー処理に基づいて建物の領域を推定し、推定された建物上部の傾きによって平行四角形のような光を付加する手法を提案した。しかし、推定された窓形状と元画像の窓形状とで誤差が大きい場合が多い。

Yichang Shin ら[7]は、機械学習を用い、同じ場所を前提として異なる時間の画像と比較した上で、昼景画像から夜景画像までのカラーマッピングに学習させた。また、膨大な学習用データを収集することは困難であり、学習画像の中の物体はステイックではない場合があるため、推定結果に対する影響もある。

夜景変換に関する先行研究をレビューし、上述の問題を改良するため、本論では、都市遠景の俯瞰夜景を対象とし、一枚の昼景画像を夜景画像に変換する手法を提案する。

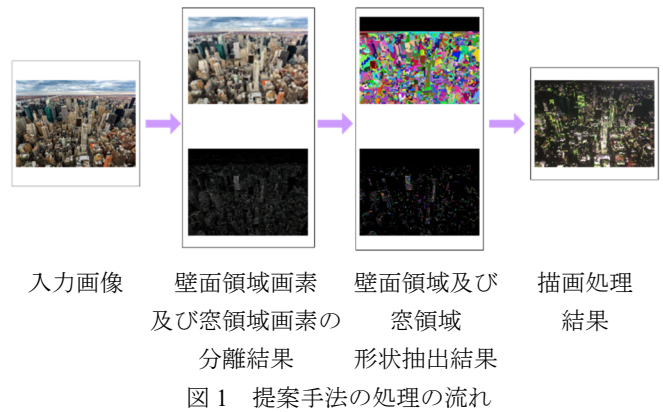
3. 都市夜景変換の処理手法

3.1. 提案手法の概要

図 1 に提案手法の 3 つの主要な処理ステップを示す。まず、入力された都市画像から建物の壁面と窓部分の特徴画像を分離する。次に、壁面画素及び窓画素に対して、近傍画素との類似度に基づいてラベリング処理を行う。結果として個々の壁面領域や窓領域を連続領域として抽出する。3 番目のステップとして、領域形状情報を利用して描画処理を行う。具体的には窓または壁面に一定の規則に従って計算した輝度値を与える。その際、統計的分析により得られた窓の色彩情報を利用し、あるいは建物壁面照射モデルを適用する。加えて、描画処理においては、夜景を構成する各種輝点を付加する。

3.2. 都市画像からの画素の分類

入力された都市画像の特徴を分析し、モルフォロジー処理に基づいて建物の壁面及び窓の領域に対応する画素を特定する処理を実現する。この段階では、領域の形状は特定せず、各画素が壁面部分なのか窓部分なのかを分類するにとどまる。本章ではこれらの具体的な処理方法を紹介する。



3.2.1. モルフォロジー処理

モルフォロジー処理は主に領域形状に基づき、画像に対して一連の変換を行う手法である。最も基礎な方法は膨張処理と収縮処理である。この二つの方法を組み合わせ繰り返して利用し、所望の特徴画像を得られる。提案手法では、各建物の壁面の抽出ならびに窓領域の抽出を行うためにモルフォロジー処理を利用する。

膨張処理は画像に対する局所的な極大値を求める計算である。すなわち、入力画像 I とカーネル K (サイズは $n \times n$ で、 n は奇数) を畳み込み演算し、計算した極大値を指定された画素に入れる。膨張処理の出力画像 I_{dilate} は以下のように計算できる。

$$I_{dilate} = \max\{I \otimes K\} \quad (1)$$

収縮処理は膨張処理と逆になっているため、局所的な極小値を計算できる。収縮画像 I_{erode} は次式で算出できる。

$$I_{erode} = \min\{I \otimes K\} \quad (2)$$

ここで、演算子 \otimes は、各画素について、カーネル K で指定された近傍の画素値を並べるものである。その中から最大値をとれば膨張処理、最小値を選べば収縮処理を行うこととなる。

3.2.2. 壁面領域画素の分離

都市光源を照射するために建物壁面の領域を分割する必要がある。前処理においては建物壁面を明確に判別できるようにするため、壁面の中で窓を除くことが重要である。遠景の都市画像の窓は極めて小さいため、画像で窓と同じ特徴を持っている要素が存在していないと考え、クローージング処理によりこのような窓をふさいでしまうことができると考えられる。具体的な手法は膨張処理した後、一回の収縮処理を行うことである。図 2(左)は図 1 の入力画像に対してクローージング処理した結果である。

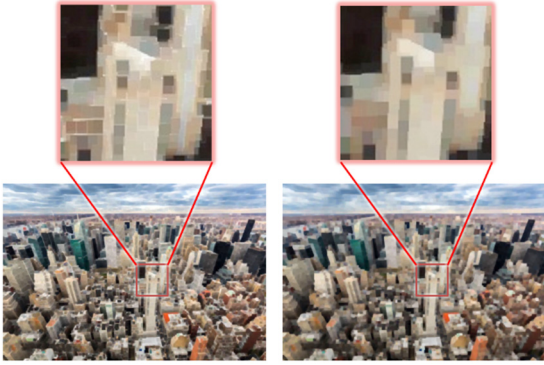


図2 左：窓を除く壁面画像 右：ノイズ除去結果

しかし、個々の建物の壁面には小さい不規則な塊状な色がノイズとして現れる。壁面の領域分離を行う際にこのようなノイズを除去する。まずはクロージング処理を行い、続けてオープンニング処理を行う。オープンニングの手順は、クロージング処理と逆で、収縮処理した後で膨張処理する。図2(右)に示されるように、建物の壁面の平滑化を図り、壁面領域抽出の精度を高めることができる。

3.2.3. 窓領域画素の分離

柿崎ら[3]の手法では、各建物上部の傾きに平行なメッシュ状な領域に分割し、その内側の中心に近い部分を窓と見なす。しかし、推定された窓の位置が実際の窓の位置と比べ乖離が大きくなることが多い。夜景における窓の並びは明るく表現されて目立つため、このような乖離が多くある場所と起こると全体景観のリアリティを損ねてしまう。

そこで、窓の位置を推定してあとから付加する方法ではなく、提案手法では画像処理によって直接窓領域を抽出する。これにより正確な位置の窓領域が得られる。昼間の遠景都市画像において、個々の窓領域はきわめて小さく暗い画素から構成される場合が多い。壁面と窓との分離処理のためモルフォロジー処理を行う際にこの点を利用する。

4.2 においてはクロージング処理を利用し、小さい窓を除去した。窓領域を抽出するにはこれとは逆の演算を行う。具体的には次式のようにクロージング処理された画像から元画像を減算する処理を行う。

$$I_{\text{window}} = \min\{\max\{I \otimes K\} \otimes K\} - I \quad (3)$$

結果は、窓領域以外のものを除去した画像、すなわち窓領域の画像である。式(3)は、モルフォロジー処理でブラックハットと呼ばれるものである。図3は、入力画像をブラックハット処理した結果の例で、窓領域の抽出結果が得られていることがわかる。

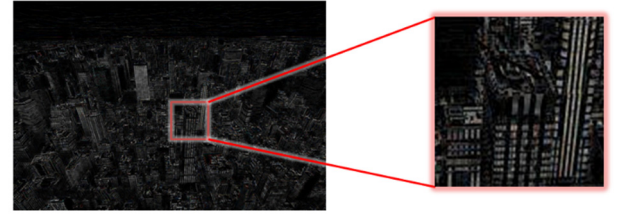


図3 窓の特徴画像

3.3. ラベリング処理による各領域の抽出

ここでは、都市画像から抽出した壁面と窓の特徴画像を利用し、各窓と壁面の領域を分割する手法を説明する。

窓の特徴画像について、2値画像に変換すれば、個々窓は独立の状態になっているため、4連結成分の処理を利用すれば、窓の領域から分割できる。図4は窓の領域分割の結果である。

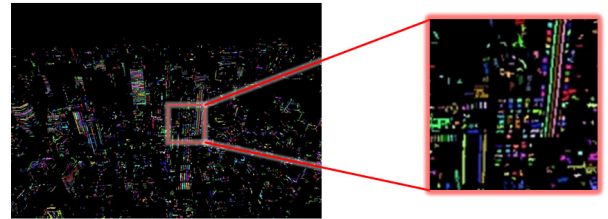


図4 領域分割した窓

前章抽出した壁面の特徴画像では、壁面の色はほぼ同じ色彩であるため、4連結成分法と似ているが、処理する対象は2値画像ではなく、RGB空間で注目画素に対する4近傍のユークリッド距離を求める。計算した距離と閾値 ϵ を比べて、閾値以下の画素値に注目画素の番号をつける。例え、画像 I には、注目画素 $I(i, j)$ の左画素 $I(i-1, j)$ に対して注目画素の番号を入れる判定条件は以下の数式で決められる。

$$\sqrt{\sum_{c=0}^2 (I(i, j, c) - I(i-1, j, c))^2} < \epsilon \quad (4)$$

ここで、 c は各画素のチャンネルである。この方法によって壁面の領域分割の結果は図5(左)のように示す。しかし、前章述べた壁面の特徴画像では、塊状な色を削除するため、処理した画像の上でオープンニング処理をした。ところが、その結果、元々建物間に明確な輪郭線が消えた。同時に、もし画像の中で近い色である2つ建物があれば、領域分割の結果に影響する恐れがある。

そこで、ラベリング処理するとき、画素値間にはユークリッド距離の考えにとどまらず、壁面の特徴画像の輪郭情報に対する考慮も必要である。そのため、Canny法を利用し、輪郭特徴

の 2 値画像を計算する．この数値と式(4)の判定条件を組み合わせ、新しい判定条件を次のように書ける．

$$\sqrt{\sum_{c=0}^2 (I(i, j, c) - I(i-1, j, c))^2} < \varepsilon(I_{\text{canny}}(i, j) \neq 1) \quad (5)$$

図 5(右)で示すように、輪郭情報を考慮した場合、より精确の壁面の領域分割結果を得られると考えられる．

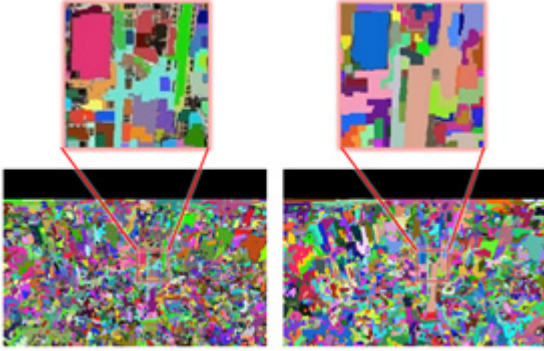


図 5 ラベリングによる壁面領域抽出結果

3.4. 都市光源及び輝点の付加

都市夜景写真の特徴は、膨大な数の輝点のほか、様々な都市光源からの直接光や間接光の照射結果が撮影されることである．これらに関する照明モデルのうち、本節では、輝点としての窓明かりの処理手法と建物壁面に都市光源照射現象の再現手法について説明する．

3.4.1. 夜間輝度調整モデル

入力昼間都市画像に対して、基本的な輝度調整を行って全体を夜間の輝度[8][9]にする必要がある．

提案手法では Thompson ら[3]の手法に基づく人の視覚特性を考慮し、入力の都市画像全体の輝度を調節する．輝度の低下は以下の式で計算される．

$$I_{\text{dark}} = \alpha I_{\text{gray}} + (1 - \alpha)YI \quad (6)$$

ここで、 α は係数、 I_{gray} は一枚暗い画像、 Y は入力画像 I のコンポーネントの Y 信号である．

画像中に地平線がある場合の空の領域を認識して夜空の輝度を与える方法については、柿崎ら[6]の手法を用いた．

3.4.2. 窓明かりの色彩構成比率

都市遠景の夜景画像では、目に見える光は主に窓からの光である．特に、超遠景の画像を撮影する場合は、画像全体の見え方に対して窓からの光の分布が大きな影響を与える．遠景画像内での窓の分布はラベリング処理によってすでに得られている．窓の個々の形状は各ラベル領域の形状であり、ほぼ長方形や平行四角形、あるいはごく少数の画素からなる点状となる．

もっとも単純に窓に光を設定する方法として、すべての窓領域に単一の色彩を割り当てることが考えられる．しかしながら、

リアルな夜景画像を得るためには、窓の光のパリエーションを与えることが望ましい．提案手法では、本物の夜景画像で窓か

らの光を抽出し、統計的な光の色彩構成比率を計算し、参照データとして保持する．夜景画像変換時には、色彩構成比率に基づいて確率的に各窓領域に輝度を割り当てる．

実際の光の色彩構成比率の計算手法について説明する．まず、ネットから都市夜景の遠景画像を自動的に収集し、改めて、手作業によって適当な画像を選ぶ．次に、4.3 で述べた画像からの窓領域抽出手法をそのまま利用して夜景画像から窓領域を抽出する．この際、入力画像そのものが夜景であるため、輝度を反転した処理を行う．具体的には次のように書ける．

$$I_{\text{night-window}} = \max\{\min\{I \otimes K\} \otimes K\} - I \quad (7)$$

この処理の一つ結果を図 6 に示す．



図 6 夜景画像から窓領域の分離

このようにして分離した窓領域に対して 5 章で述べたラベリング処理を施し、各ラベルとして抽出した領域の画素の色を取り出し記録する．ラベルの面積は考慮しない．最後に、 k -means 法に基づき色を分類し十種類の色彩と各色彩の比率を計算する．図 7 は、参照データとして利用する光の色彩構成比率の可視化結果である．図中では各色彩の矩形の幅がその色彩の出現頻度の大きさと合致している．



図 7 統計的に分類した窓領域色彩構成比率

3.4.3. 路上の都市光源による建物壁面照射モデル

都市夜景では窓以外の建物壁面は基本的には暗い状態である．しかしながら、街灯や広告の看板などの都市光源が壁面に直接または間接的に照射される影響により、地表に近い場所の壁面ほど輝度が高くなる．このような現象をシミュレーション

する手法を紹介する。

入力の日間都市画像をラベリング分割した壁面領域は、前節で述べたように窓明かりの付与に利用している。同じ壁面領域に対して建物壁面が照射される様子もシミュレーションする。建物壁面は道路上の都市光源から照射されると仮定する。壁面の材質はランバート反射と仮定する。壁面上で高い位置にあるほど都市光源から離れるため、輝度が低くなる。壁面上の一点 p の輝度 $I(p)$ は、当該建物が面している街路領域 S から照射される面光源強度の積分である。ただし、街路領域 S は高さ $y = 0$ の地面（壁面領域の下端）にあるものとする。輝度は次式により求める。

$$I(p) = \int_S \frac{L(s)W(p)}{Q(|s-p|)} N(p) \cdot \frac{s-p}{|s-p|} dS \quad (8)$$

ここで、 $L(s)$ は街路領域 S 上の一点 s における面光源の強度、 $W(p)$ は壁面上の一点 p の拡散反射係数、 $N(p)$ は p における壁面の法線ベクトルである。 $Q(\cdot)$ は光の減衰効果を与える二次式で、光源から壁面への距離 $|s-p|$ を独立変数として与える。 $W(p)$ の値として、式(8)の計算対象画素における元画像の壁面の色を使用することにより、簡便かつ精度良く壁面の反射率を反映させることができる。

式(8)の近似方法を説明する。 x 方向を建物が面している街路方向とすると、領域 S は x 方向に細長く伸びた領域となる。積分領域は $-\infty < x < \infty$ と近似的にみなすことができ、輝度 $I(p)$ は高さ変数 y のみで決まる一変数関数 $I(y)$ と考えることができる。本稿における実験では、式(8)を近似する関数 $\tilde{I}(y)$ として対数関数を使った図 8 のようなグラフの関数を用いて各壁面輝度を算出した。さらに、街路領域の面光源を一樣と仮定すると、光源強度 $L(s)$ は定数 L とみなして式(8)の積分の外に係数として出すことができる。

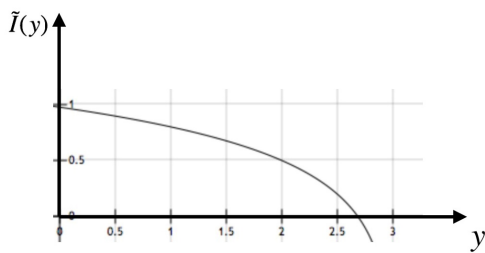


図 8 壁面照射の近似モデル。横軸は建物壁面上の注目点の高さ y 、縦軸は注目点に与える輝度 $\tilde{I}(y)$

3.4.4. 各モデルに基づく描画処理

本節では、夜景画像変換における実際の描画について述べる。以下の(1)～(5)の順番は実際の処理の際の描画順とも一致する。

(1) 夜間輝度調整

まず、夜間輝度調整モデルの式(6)に基づいて、入力画像の輝度を落とした都市画像を求める。

(2) 街路からの建物壁面照射

3.4.3 で述べた建物壁面照射モデルに基づき建物の壁面を塗りつぶす。ラベリング処理により得られた壁面領域の各ピクセルの輝度を図 8 に示す近似モデルによって求める。図 9 左上は建物壁面照射結果の一例である。

(3) 窓明かりの付与

建物壁面に窓明かりを付与する。3.3 で説明したラベリング処理で求めた個々の窓領域をそれぞれ単一の色で塗りつぶす。乱数を使用し、3.4.2 の分析を通じた色彩構成比率に基づく確率で色の選択を行う。図 9 右上は窓明かりのみを生成表示した例、図 9 下は壁面照射と窓明かりの両方を合計した結果である。

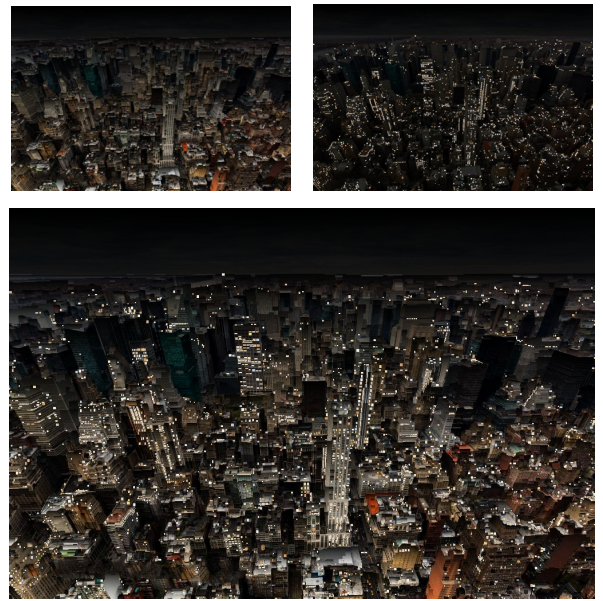


図 9 左上：建物壁面照射のみ 右上：窓明かりのみ
下：壁面照射及び窓明かり

(4) 航空障害灯

航空機の安全のために高層ビルの上に取り付けられる警告用の灯りで、赤色の点滅するものが多い。大都市の夜景の場合に目につく明かりで、本稿ではこれを輝点の一種として扱う。ラベリング処理により求められた壁面のうち、周囲よりも高さが大きいものの最上部に微小な円形を描いて配置する。図 10 左は航空障害灯を付加した表示例である。

(5) 環境輝点

街路灯、車のヘッドライトなど、窓や壁面以外にもさまざまな種類の明かりが夜景の中に存在する。それらを環境輝点と呼ぶことにする。環境輝点は 1 画素から数画素程度の領域として画面上にランダムに配置する。画面上部に行くほど画像上での密度が高くなるように配置する。図 10 右は環境輝点を付加した表示例である。

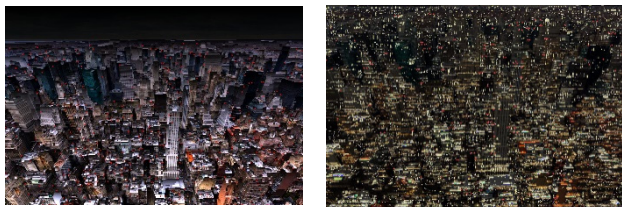


図 10 左：壁面照射及び航空障害灯の付加
右：環境輝点の付加

4. 実験結果

実験環境は、CPU が Intel Core i7 (メモリ 16GB) である。Python 版の OpenCV を用いてプログラムを実装した。実験の入力画像は Web 上に掲載されている昼間都市画像のデータを用いた。特徴画像の領域を分割し、窓明かりと壁面に投射した光と似たような都市光源でシミュレーションし、都市夜景変換の実験を行った。

図 11 は光源強度 L に対する調整によって壁面の光源を付加した画像である。

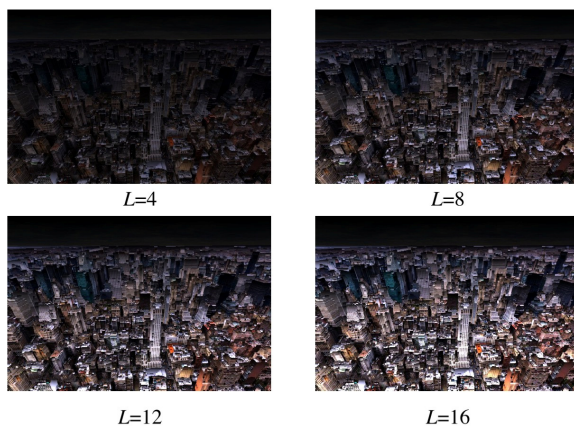


図 11 光源強度の変更による壁面光の違い

図 11 からパラメータ $L = 8$ の画像を選び、最後に窓明かりを付加し出力した都市夜景画像が図 12 下である。

図 13 は、別の大都市の昼間の俯瞰画像を入力し、夜景画像に変換した結果である。

表1は解像度 1024×682 の入力画像に対しての各ステップの計算時間である。ラベリング処理時間が全体の処理時間の 79.6% を占めており、最も影響が大きい。

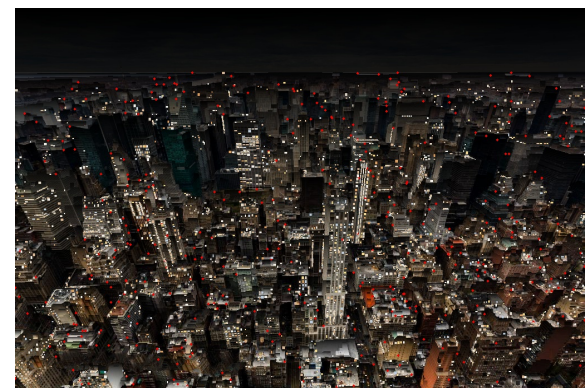


図 12 都市夜景画像の変換処理
(上：入力画像 下：変換結果)



図 13 他の都市夜景画像変換結果

表 1 各ステップの計算時間

壁面画素及び窓領域画素の分離	0.7s
ラベリング処理による領域抽出	130.4s
都市光源及び輝点の付加	32.7s

5. おわりに

本研究では、昼景の都市画像を入力し、俯瞰都市画像の特徴を考慮しながら、都市光源と輝点が存在する場所の推定を

試みた。推定された部分で窓明りなどの輝点と壁面を照射する都市光源とを付加し、夜景画像に自動変換するシステムを実現した。

本手法の特徴は以下の通りである：

1. モルフォロジー処理を活用し、都市画像にはビルの窓と壁面の領域画像を分離した。
2. 色彩のユークリッド距離と建物の輪郭線とともに考慮し、個別の窓領域や壁面領域の形状を抽出した。
3. 都市夜景の窓明りの統計的色彩構成比率に基づいて輝点を付加した。
4. 抽出された壁面領域上で領域内の明度を減衰し、壁面の照射をシミュレーションした。

夜景変換を実行した際に、解像度が大きい入力画像に対してはラベリング処理の時間が長いため、処理速度の改善が必要である。同時に、ラベリング処理の精度も高める必要がある。例えば道路領域などが壁面領域と誤判定される場合がある。

今後の課題として、都市夜景の高速変換方法、都市夜景ネオンサイン現象のシミュレーション、動画対応などが挙げられる。

night sky model". Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, pp.399-408, 2001.

文 献

- [1] 李 永桓, “都市照明環境と夜間景観体験分析にもとづく都市夜景に関する研究,” 早稲田大学, 博士論文, 2006.
- [2] 乙部 暢宏, 鍵野 壮宏, 後藤 春彦, 李 永桓, 李 彰浩, “都市における俯瞰夜景の景観認識に関する基礎的研究: 東京都心を対象として,” 日本建築学会計画系論文集, vol.71, no.606, pp.107-114, 2006.
- [3] Thompson, W. B., Shirley, P., & Ferwerda, J. A.: “A spatial post-processing algorithm for images of night scenes”, Journal of Graphics Tools, vol 7, no.1, pp.1-12, 2002.
- [4] 川畑 翔亮, 菊池 司, 伊藤 弘樹, “ネオンサインを考慮した都市夜景のビジュアルシミュレーション,” 映像情報メディア学会技術報告, vol.37, no.17, pp.51-52, 2013.
- [5] 山口 祐一郎, Paulo SILVA, 陳 炳宇, 坂東 洋介, 西田 友是, “人工光を考慮した夜景画像のインタラクティブな生成手法,” Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム, 2011.
- [6] 柿崎 遼平, 石川 知一, 竹島 由里子, 柿本 正憲, “都市景観画像からの夜景画像推定,” 第 78 回情報処理学会全国大会, vol.2016, no.1, pp.95-96, 2016.
- [7] Shih, Yichang, et al. "Data-driven hallucination of different times of day from a single outdoor photo." ACM Transactions on Graphics (TOG), vol.37, no.17, 2013.
- [8] G. Haro, M. Bertalmio, and V. Caselles: “Visual acuity in day for night,” International Journal of Computer Vision, vol.69, no.1, pp.109-117, 2006.
- [9] Jensen H W, Durand F, Dorsey J, et al. “A physically-based