

昼間の都市俯瞰画像からの夜景画像の生成

Aerial Image Transformation for Night Views

〈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

<Summary> 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. Reproducing the city's light sources to the specific areas were inferred by morphological image processing and connected component labeling. Simulating the wall's reflection phenomenon from road. 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「界限夜景」「車窓夜景」「俯瞰夜景」の3つに分類される。繁華街で広告照明や街灯などが作り出す都市照明環境は界限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。一方、俯瞰夜景のための、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つである俯瞰夜景に着目し、昼景画像から夜景画像への変換を目指す。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る。さらに、推定された部分で照明処理や輝点の付加を行う。最終的には、都市の昼景の俯瞰画像を入力として、自動的に都市夜景画像を生成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、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。しかし、入力画像では窓明かりや街路灯からの光などの光源が含まれてない場合は、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、本研究では、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道路、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。同時に、道路画素の輪郭情報を抽出する。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。具体的には道路、窓または壁面に一定の規則にしたがって計算した輝度値を与える。その際、透視変換に基づいて道路真上の視点から街路灯を描画し、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し、ガンマ変換と元画像の差分画像により道路領域の画素を判別できる。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或は道路部分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。

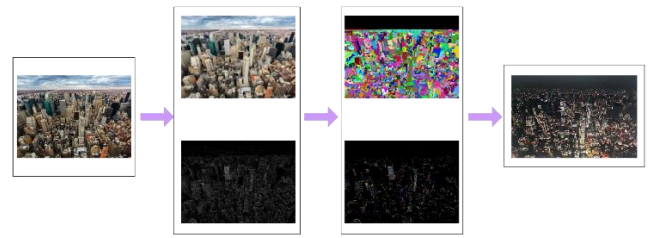


図 1 提案手法の処理の流れ

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列挙するものである。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ジング処理した結果である。

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、続けてオープニング処理を行う。オープニングの手順は、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ることができる。

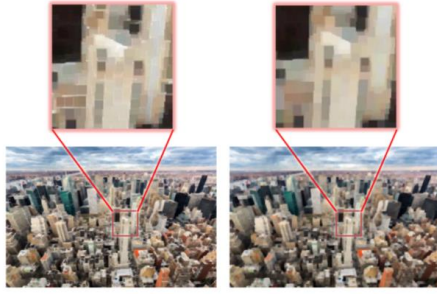


図2 左：窓を除く壁面画像 右：ノイズ除去結果

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みなす。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の場所で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。

壁面領域の判別においては、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。

3.2.4. 道路領域画素の分離

近年自動運転に関する研究が多く行われるため、道路領域を検出する既存手法も増えてきた。よく使われている手法は道路白線を検出対象としてハフ変換を利用し、道路領域を検出するものである[10]。Song ら[12]は、パターン認識モデルの一つSVMと領域分割を併用し、航空写真から道路領域を検出できる。高解像度の航空写真を入力画像として、深層学習に基づいて道路領域検出の手法も存在している[11]。しかし、都市昼景の俯瞰画像に対して、道路領域は建物と混在し、明確な境界線が存在していない。そのため、既存研究の処理対象と異なり、俯瞰画像から道路領域を抽出する手法には適用できない。

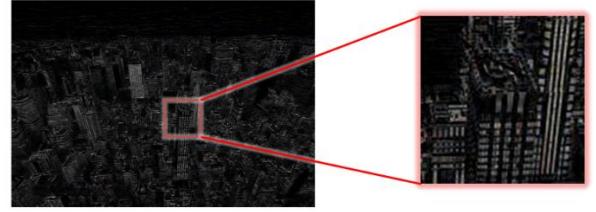


図3 窓の特徴画像

本手法では、ビルに隠れていない道路を処理対象とする。道路領域の特徴を考慮し、縦方向の道路領域を抽出する。最終的には俯瞰夜景用の道路を描画することを目指す。

多くの都市画像の観察により、ビルに隠されていない道路の輝度は画像全体と比べ、低いと分かった。そのため、式(4)を用いながら、画像から輝度が低い領域の抽出を試みた。

$$B(p) = \begin{cases} 1, & Y(I_G(p))^{\frac{1}{\gamma}} - Y(I_G(p)) > \varepsilon \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$I_G = I \otimes K_G$$

ここで、 I は入力画像、 K_G はガウシアンフィルタのカーネル、 p は画像上の一点、 $I_G(p)$ はガウシアンフィルタ処理後 p 点の画素、 $Y(\cdot)$ はRGBからY信号に変換する関数、 γ は定数、 ε は閾値、 $B(p)$ は輝度が低い領域の二値画像である。ただし、画像 I の全画素値は[0,1]に正規化され、 $\varepsilon = 0.373$ を設定している。

しかし、式(4)による輝度変換を行った結果図4(左)で示すように、変換の前後の差が大きき部分は、ビルに隠されていない道路領域だけではなく、色が濃い建物と陰影の部分も含んでいる。

以上の問題を解決するため、Suzuki ら[14]の手法に基づいて $B(p)$ 各部分の輪郭を検出し、Hu モーメント不変量[15]によって平行四角形との類似度が最も高い部分を道路領域と見なす。その結果、図4(右)は認識された道路領域の輪郭である。



図4左：輝度変化量が著しい領域の特徴画像
右：認識された道路領域の輪郭

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道路、壁面と窓の特徴画像を利用し、道路、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、個々の窓は独立の状態になっているため、4 連結成分のラベリング処理を利用すれば、窓の領域から分割できる。図 5 は窓の領域分割の結果である。

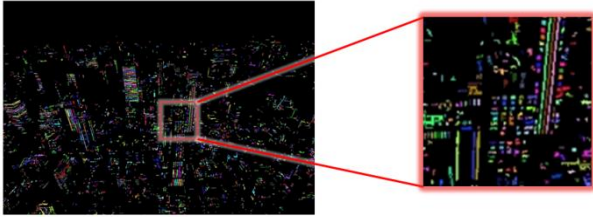


図 5 窓領域の抽出例

道路の抽出方法について、図 4(右)道路領域の輪郭情報を用い、ラベリング処理による道路の領域の抽出を行う。図 6 は道路の領域分割結果である。



図 6 道路領域の抽出例

前章の 3.2.2 で述べた手法で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、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 比べて、閾値以下の画素値に注目画素の番号をつける。

この方法によって壁面の領域分割の結果は図 7(左)のようになる。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施した。ところが、その結果、元々建物間に存在する輪郭線が消える場合がある。同時に、もしその 2 つの建物の色が類似していれば、誤った領域分割結果となる恐れがある。

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利用だけにとどまらず、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、キャニー法を利用し、輪郭抽出した 2 値画像を計算する。そして、ラベリング処理の際

に、輪郭上の画素を無視するようにした。

図 7(右)で示すように、輪郭情報を考慮した場合、より正確の壁面の領域分割結果を得られると考えられる。

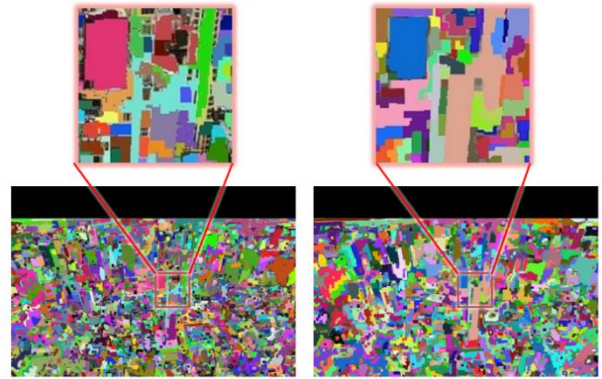


図 7 ラベリングによる壁面領域抽出結果

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、街路灯の描画手法、輝点としての窓明かりの処理手法、及び建物壁面への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。輝度を調節された結果は以下の式で計算される。

$$I_{dark} = (1 - \alpha)Y(I) \quad (5)$$

ここで、 α は係数、 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. 透視変換に基づく街路灯の描画手法

都市夜景画像では、道路上の光は主に街路灯からの光である。一般的に、道路両側の街路灯は一定間隔に配置される。個々の街路灯の光を点光源と見なし、道路領域を描画する手法を紹介する。

入力の昼景都市画像は遠近感がある写真ため、街路灯の光を道路領域に照射した結果を描画することは困難である。しかし、もし道路真上の視点位置が推定できれば、その視点から見た画像に変換した道路領域は図 8(左)のように得られることとなる。



図 8 左：視点変換結果 右：真上視点から街路灯の分布

そこで、Douglas-Peucker アルゴリズム[13]を利用し、3.2.4 で抽出された道路領域の輪郭を近似形状に変換する。近似された形状に対して、縦方向の内接する台形面積の最大値を計算し、最大面積台形の四つの頂点を得る。この四つの頂点を透視変換の入力対象とし、遠近感のある道路領域を道路真上の視点に変換する。この方法によって変換された結果を図 8(右)に示す。道路真上の視点から、街路灯の光描画方法は以下の式で計算される。

$$I_i = \alpha I_i + (1 - \alpha) \sum_{n=1}^N \frac{P_n}{\gamma_1 + \gamma_2 D_n + \gamma_3 D_n^2} \quad (6)$$

ここで、 α , γ_1 , γ_2 , γ_3 は係数、 I_i は元画像 I の各画素、 N は街路灯の数、 P_n は街路灯から光の強度、 D_n は I_i と n 番街路灯の距離である。

式(6)によって描画された道路領域をもう一度透視変換を利用し、視点変換前の領域に戻す。そして、変換された道路領域の画像と元画像合成する、街路灯の描画結果の例を図 9 に示す。

3.4.3. 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

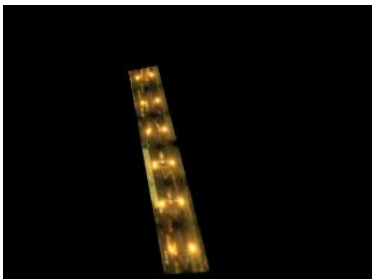


図 9 街路灯の描画結果

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、窓の光のバリエーションを

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。夜景画像変換ときには、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、3.2.3 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 10 に示す。

このようにして分離した窓領域に対して 3.3 章で述べたラベ



図 10 夜景画像から窓領域の分離

リング処理を施し、各ラベルとして抽出した領域の一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 11 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 11 統計的に分類した窓領域色彩構成比率

3.4.4. 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。このような現象をモデル化して近似する手法を紹介する。

入力の昼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。壁面上の輝度は次式により求めることができる。

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

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。 $W(p)$ 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

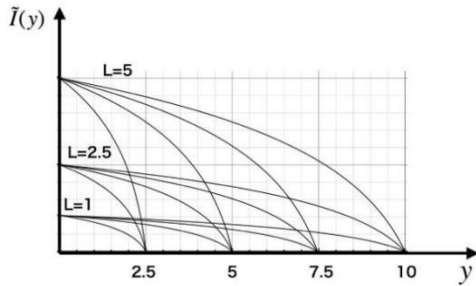


図 12 壁面照射の近似モデル。横軸は建物壁面上の注目点の高さ y 、縦軸は注目点に与える輝度 $I(y)$

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。面光源は一定間隔に配置された複数列の点光源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(10)を近似する関数として複数列点光源の輝度を足し合わせた図 12 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。

3.4.5. 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)～(6)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(5)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) 街路灯の描画

道路領域に街路灯を描画する。3.4.2 で説明した透視変換により道路領域の元視点から道路真上の視点に変換し、式(6)によって街路灯からの光を描画する。最後は、描画された道路領域を元視点に変換する。図 10 は道路上で街路灯を描画した表示

例である。

(3) 街路からの建物壁面照射

3.4.4 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 12 に示す近似モデルによって求める。図 13 左上は建物壁面照射結果の一例である。

(4) 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、3.4.3 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 13 右上は窓明かりのみを生成表示した例、図 13 下は壁面照射と窓明かりの両方を合計した結果である。

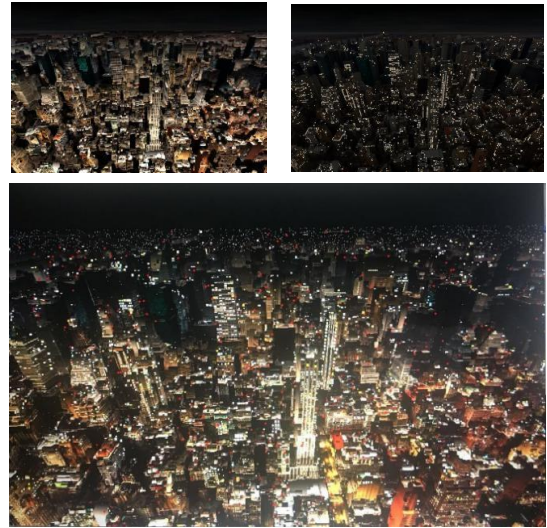


図 13 左上：建物壁面照射のみ 右上：窓明かりのみ
下：壁面照射及び窓明かり

(5) 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 14 左は航空障害灯を付加した表示例である。

(6) 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。具体的に、輝点横方向の座標が正規分布に従い、縦方向の座標に対して事前に環境輝点の累積分布関数を設定し、この分布にしたがって座標を計算する。図 14 右は環境輝点を付加した表示例である。

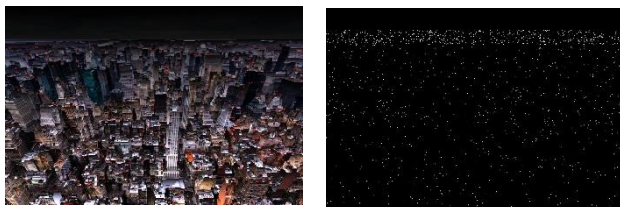


図 14 左：壁面照射及び航空障害灯の付加
右：環境輝点の付加

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、街路灯の描画、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 15 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 15 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 16 中である。実写の夜景写真は図 16 下である。

図 17 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。

表 1 各ステップの計算時間

道路領域画素、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

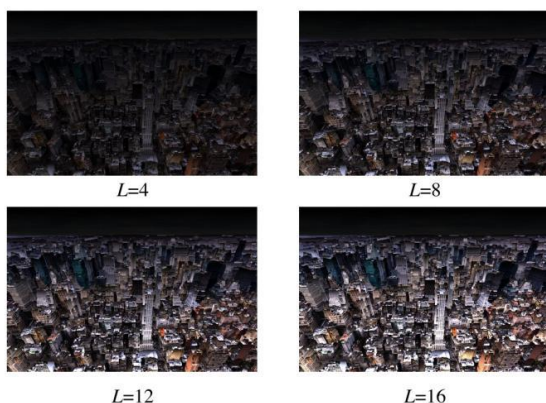


図 15 光源強度の変更による壁面光の違い

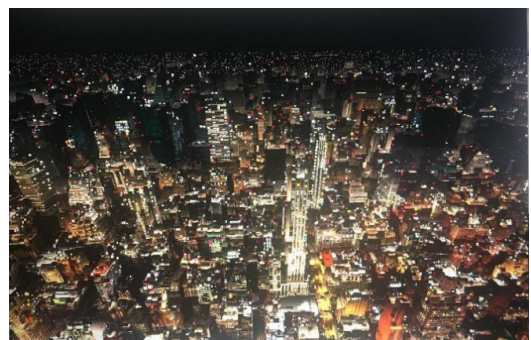


図 16 都市夜景画像の変換処理
(上：入力画像 中：変換結果 下：実写の夜景写真)

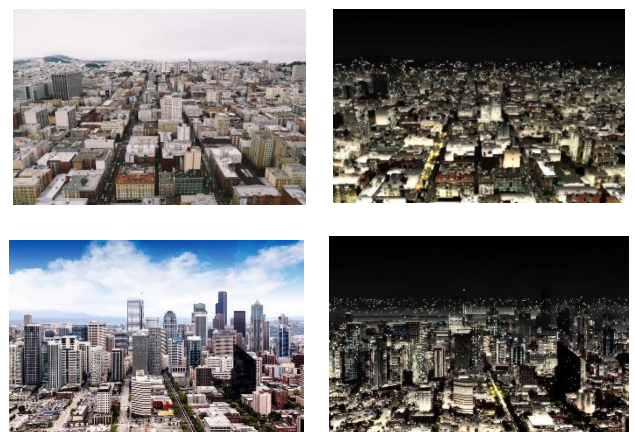


図 17 他の都市夜景画像変換結果

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とおりである：

1. モルフォロジー処理を活用し、都市画像には道路、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、道路領域、個別の窓領域や壁面領域の形状を抽出した。
3. 透視変換に基づいて抽出された道路領域に街路灯からの光を描画した。
4. 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。
5. 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。道路領域の抽出手法について、道路が放射線状に分布していると仮定するため、横方向の道路領域が抽出できない場合もある。

今後の課題として、都市夜景の高速変換方法、動画対応などが挙げられる。

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 night sky model". Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, pp.399-408, 2001.
- [10] Yu, Bin, Anil K. Jain. "Lane boundary detection using a multiresolution hough transform". Image Processing, vol.2, pp.748-751, 1997.
- [11] MNIH, Volodymyr, HINTON, Geoffrey E. "Learning to detect roads in high-resolution aerial images". European Conference on Computer Vision, pp.210-223, 2010.
- [12] SONG, Mingjun, CIVCO, Daniel. "Road extraction using SVM and image segmentation". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol.70, no.12, pp.1365-1371, 2004.
- [13] David Douglas, Thomas Peucker. "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature". The Canadian Cartographer, vol.10, no.2, pp.112-122, 1973.
- [14] Suzuki, Satoshi. "Topological structural analysis of digitized binary images by border following". Computer vision, graphics, and image processing, vol.30, no.1, pp.32-46, 1985.
- [15] M. K. Hu. "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants". IRE Trans. Info. Theory, vol.IT-8, pp.179-187, 1962.