

Abstract of Doctoral Thesis

Title : Example-based Face Image Enhancement by Taking Correspondence of Facial Parts into Consideration

Doctoral Program in Advanced Electrical, Electronic and Computer Systems
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

ムハマド スハイル ビン ムハマド ハムダン
MUHAMMAD SUHAIL BIN MUHAMAD HAMDAN

The thesis presents and investigates an approach for face image enhancement based on a machine learning technique utilizing facial image examples.

Faces are one of the main concern in the image applications, especially in the security system such as a surveillance camera. There are cases that a face image of an interest has unsatisfactory quality by some factors as the distance to the camera, the luminance environment, the motion speed of the target, noises, data compression, and so on. Thus, the enhancement of the image quality from a low-resolution degraded image is one of the key issues in the field of image processing.

A conventional approach in common to generate a higher-resolution image is interpolation using Lanczos (sinc) or Gaussian filters. However, these analytic approaches suffer from a blurred appearance. Super-resolution (SR) techniques have emerged to resolve these problems by inferring detailed information on the missing texture. One of the major approach in super-resolutions is example-based methods which utilize example images as a database to compensate the missing texture. Freeman et.al have proposed a novel example-based super-resolution method where example images are used to generate pairs of high-frequency (HF) and low-frequency (LF) components of the images and they are divided into patches of the image to compose a database of the relationship between LR appearances and HR textures. Given an LR image, a Markov Random Field (MRF) network is applied to find the best-fit HF patches for the LF component of the given image. Then the given image and the HF patches are combined to be an HR image.

The thesis introduces an idea specific for human faces to the Freeman's method, restoring each part of the image with patches corresponding to each facial parts. The database is composed patches with information of their original positions and the distance between the target and original patch positions is incorporated to the compatibility function for fitting patches. An experiment on a set of facial images demonstrated that the proposed method achieved the best quality of 30.39 [dB] in terms of the peak signal-to-noise ratio (PSNR) compared to the previous' quality of 29.65 [dB].

Further analysis is conducted to determine appropriate parameters. An experiment on patch-databases with different image scaling factors and different patch sizes revealed that the best patch size is interestingly adaptable to scaling factor n and determined by $(2n+1)/2$.

The presented approach is also applied to noise reduction, especially for the block noise in highly compressed image data. The database is reconstructed by replacing LR-HR patch pairs with we pairs of degraded (compressed) face images and the corresponding original images and two variations of the image enhancement methods are presented. One method results in a 3.2 [dB] improvement in terms of PSNR on average for a very low quality rate of 1% (around 120:1 compression rate), while the conventional Gaussian-filtering method results in a 2.5 [dB] improvement. Another method yields more natural images and better PSNRs for images when the quality rate is around 5%.

An improved patch-searching algorithm is also presented which restricts the searching area nearby the targeted facial parts but searches more closely to select the patch candidates. An experimental result shows the proposed method achieves better or comparable results while reducing by 90% computational time compared to the previous.

博士論文要旨

論文題名：顔の部位の対応を考慮した サンプルベースの顔画像の高精細化手法

立命館大学大学院理工学研究科
電子システム専攻博士課程後期課程

ムハマド スハイル ビン ムハマド ハムダン
MUHAMMAD SUHAIL BIN MUHAMAD HAMDAN

本論文では、サンプル画像を用いた機械学習技術に基づく顔画像の画質改善のための手法を提案する。

人物の顔は、画像アプリケーション、特に監視カメラなどのセキュリティシステムにおける主な関心事のひとつである。対象の顔画像は、カメラまでの距離、光環境、対象人物の移動速度、ノイズ、データ圧縮などのいくつかの要因によって品質が十分でない場合がある。そのような低解像度の劣化画像に対する画質改善は、画像処理分野における重要な課題である。

古典的な画像高解像化の手法としては、Lanczos(sinc)や Gauss フィルタを用いた補間が挙げられる。しかし、これらの手法で得られる画像はボケたものになってしまう。超解像(Super-Resolution, SR)技術は低解像画像の失われたテクスチャを推定して高解像画像を生成する技術である。超解像では一般に失われたテクスチャを補償するためにサンプル画像のデータベースを利用する。Freeman らは、サンプル画像から概形となる低周波(Low-Frequency, LF)成分と詳細なテクスチャとなる高周波(High-Frequency, HF)成分を生成し、対象画像の低周波成分の類似度から対応する高周波成分を推定する効果的な手法を提案した。サンプル画像の低周波成分と高周波成分をパッチに分割してそれら対のデータベースを作成し、対象の低解像度画像の低周波成分に対して Markov Random Field (MRF) を用いて最適な高周波パッチを推定する。対象画像と推定した高周波パッチを合成して、高解像画像が得られる。

本論文では、Freeman の手法をもとに人の顔を対象とした改良を行う。すなわち、目、鼻、口などの顔のそれぞれの部位に対して、その部位のパッチを優先的に選択する。そのため、データベースにパッチの位置情報を付与し、推定対象とパッチの元の位置との距離をパッチの適合度を判定する関数に組み込む。実験での PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) 評価では、既存手法の 29.65 [dB] に対して提案手法はより高い 30.39 [dB] の画質を達成した。また、画像の拡大率およびデータベースのパッチサイズを変化させた実験により、経験的に最適なパッチサイズは拡大率 n により定めることができ $(2n+1)/2$ となることを示した。

さらに、提示手法を拡張し高圧縮の画像データのブロックノイズの低減に適用した。デー

データベースの LR-HR パッチ対を劣化（圧縮）画像と原画像の対で置き換えて構成し、二つの画質改善手法、直接法と平滑法を提案した。直接法は、JPEG quality rate で 1% の非常に低い画質（圧縮率約 120:1）に対して、Gaussian フィルタでは 2.5[dB] の改善に対し、PSNR で平均 3.2[dB] のより高い改善を達成した。主観的な外観では、直接法ではブロックノイズが若干残っているように見えるのに対し平滑法はより自然な画像を生成し quality rate が 5% 程度の画像ではより良い PSNR となる。

最後に、パッチ探索アルゴリズムの改善を行った。より精細にパッチを切り出して候補を増やす一方で、探索領域を対象部位の近傍に制限する。実験により、改善手法は同等の画質を維持しつつ計算時間を 90% 削減できることを示した。