

明滅する被写体の複数フレーム超解像

福島 淳史 岡部 孝弘

九州工業大学 情報工学部 知能情報工学科

1 はじめに

電光掲示板は、LEDなどを格子状に配置した表示デバイスであり、ニュース、道路交通情報、広告などの様々な有益な情報の表示に用いられている。近年のカメラ付き携帯電話や車載カメラなどの普及に伴い、電光掲示板などの表示デバイスの時系列画像を取得する機会が増えている。これらの時系列画像は一般に低解像度であることから、人や計算機が理解しやすくなるように画質を改善することが重要である。

LEDを用いた電光掲示板などの表示デバイスの多くは、CRTのように、比較的遅いリフレッシュレートで明滅している。明滅する被写体を撮影するとき、露光時間が長いと、明滅が観察されない代わりに、動きぶれにより画像の高周波数成分が失われてしまう。一方、露光時間が短いと、動きぶれが観察されない代わりに、図3(a)(b)の帯状の暗い領域のような欠損領域、つまり、露光時間中に偶然消灯しているLEDが観察されてしまう。本研究では、このような明滅が観察される映像の超解像に取り組む。

超解像処理には、学習型超解像と再構成型超解像の二つがある。学習型超解像は、一枚の画像からでも超解像を行うことができるが、明滅が観察される場合には、欠損領域の超解像は困難である。そこで本研究では、複数枚の画像を入力とする再構成型超解像の枠組みで、明滅が観察される映像の超解像を行う。

従来の再構成型超解像では、被写体の明るさが不変であることを仮定している。しかしながら、明滅する被写体は明るさが変化するために、従来手法を適用することができない。そこで提案手法では、欠損領域を検出してそれらを外れ値として扱うことで、再構成型超解像における尤度モデルを拡張する。本稿では、合成画像と実画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を評価する。

2 再構成型超解像

再構成型超解像では、高解像度画像の画素値が与えられたときの低解像度入力画像の画素値の尤もらしさを記述する尤度と、高解像度画像の画素値に関する事前知識を記述する事前確率を併用した、MAP (Maximum A Posteriori) 推定が用いられることが多い。

具体的には、評価関数

$$c = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{n=1}^N [\mathbf{b}(x_n, y_n)^\top \mathbf{h} - l_n]^2 + p(\mathbf{h}) \quad (1)$$

を最小化することで高解像度画像を推定する。ここで N は低解像度画像列の総画素数であり、入力画像の枚数 F と各画像の画素数 M の積 $N = MF$ で与えられる。また、 n 番目 ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) の画素の画素値を l_n 、位置合わせ後の座標を (x_n, y_n) とする。 $\mathbf{h}$ は高解像度画像の画素値を並べたベクトル、 $\mathbf{b}(x_n, y_n)$ は高解像度画像から低解像度画像への劣化過程、つまり、 (x_n, y_n) における点拡がり関数を表すベクトルである。

式(1)の第1項は尤度由来し、画素値のノイズが分散 σ^2 の正規分布に従うことを意味する。第2項は事前確率由来し、高解像度画像の高周波数成分の二乗和などが用いられる。

3 提案手法

3.1 尤度モデルの拡張

提案手法では、電光掲示板などに表示されている文字・記号・図などは、入力画像列を撮影している間は固定されていると仮定する。また、低解像度入力画像で点灯したり消灯したりしているLEDについては、点灯している状態の高解像度画像を推定する。

このとき、低解像度入力画像において点灯しているLEDに対応する画素では、画素値 l_n と $\mathbf{b}(x_n, y_n)^\top \mathbf{h}$ の差は小さく、その差は分散 σ^2 の正規分布に従うと考えられる。一方、低解像度入力画像における欠損領域では、画素値 l_n は (例えば0になるために) $\mathbf{b}(x_n, y_n)^\top \mathbf{h}$ と大きく異なり、その差は正規分布に従わない。

そこで提案手法では、これらを外れ値として扱う。具体的には、式(1)の評価関数を、

$$c' = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{n=1}^N w_n [\mathbf{b}(x_n, y_n)^\top \mathbf{h} - l_n]^2 + p(\mathbf{h}) \quad (2)$$

のように拡張する。ここで w_n は重みであり、

$$w_n = \begin{cases} 0 & (\text{欠損領域}) \\ 1 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (3)$$

とする。

3.2 欠損領域の検出

F 枚の入力画像の各々について、位置合わせ後の座標 (x_n, y_n) における画素値を双線形補間により求め、 F 個の画素値の最大値を $l_n^{(\max)}$ とする。画素値 l_n が $l_n^{(\max)}$ よりも有意に小さいとき、 n 番目の画素は欠損領域に含まれると考えられる。そこで、

$$l_n^{(\max)} - l_n > t \quad (4)$$

を満たすとき、 n 番目の画素は外れ値であるとみなして、 $w_n = 0$ とする。ここで t は閾値である。

4 実験

合成画像と実画像を用いた実験を行い、提案手法と従来手法の性能を比較した。Pickup らの手法 [1] を従来手法とし、これに外れ値除去を組み込むことで提案手法を実装した。合成画像実験における位置ずれは既知とし、実画像実験における位置ずれはマーカーを用いて求めた。閾値は経験的に $t = 0.15$ (画素値は $[0, 1]$ に正規化済) とした。

4.1 合成画像実験

一枚の原画像から、欠損領域と位置ずれの異なる 5 枚の低解像度画像 (画素数は縦横ともに半分) を生成して、入力画像とした。提案手法と従来手法のそれぞれを用いて、画素数を縦横ともに 2 倍にすることで、原画像を復元した。

図 1 に、5 枚の入力画像 (左) と重み (右) を示す。白い画素が $w_n = 0$ に対応しており、欠損領域が検出できていることが分かる。



図 1: 入力画像 (左) と重み (右)

図 2 に原画像 (a)、および、従来手法 (b) と提案手法 (c) それぞれの結果画像を示す。従来手法が明滅の影響を受けてうまく働いていないのに対して、欠損領域を外れ値として除去する提案手法がうまく働いている

ことを確認できる。なお、従来手法と提案手法により再構成された画像の PSNR はそれぞれ 16.36 と 30.56 であり、定量的にも提案手法の有効性が分かる。

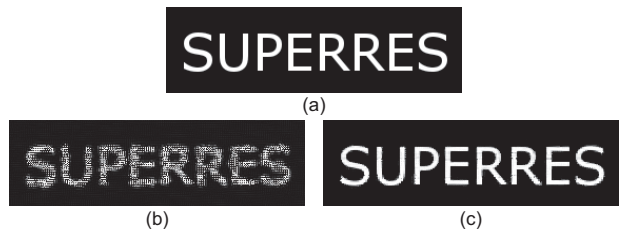


図 2: 原画像 (a)、従来手法の結果 (b)、および、提案手法の結果 (c) : 合成画像

4.2 実画像実験

LED 電光掲示板を撮影した実画像を用いて実験を行った。撮影には Point Grey 社製のカメラ Chameleon を使い、露光時間は 5.3[ms] であった。超解像処理により、入力画像の画素数を縦横ともに 2 倍にした。

図 3 に、5 枚の入力画像のうちの 2 枚 (a)(b)、および、従来手法 (c) と提案手法 (d) それぞれの結果画像を示す。入力画像において明滅が観察されているために、従来手法で再構成された文字領域の明るさにはムラが見られる。一方、提案手法では、文字領域の明るさがほぼ一定で、かつ、文字自体もより鮮明に復元されている。これらのことから、実画像に対しても、提案手法が従来手法よりもうまく働くことが分かる。



図 3: 入力画像 (a)(b)、従来手法の結果 (c)、および、提案手法の結果 (d) : 実画像

5 むすび

本稿では、LED 電光掲示板のような明滅する被写体の映像の超解像手法を提案した。合成画像と実画像を用いた実験を行い、欠損領域を外れ値として扱う提案手法の有効性を確認した。今後は、電光掲示板を流れる情報の超解像や、明滅と動きぶれの両方が観察される映像の超解像にも取り組みたい。

参考文献

- [1] L. Pickup, S. Roberts, and A. Zisserman, "A sampled texture prior for image super-resolution," In *Proc. NIPS2003*, pp.1587–1594, 2003.