

画像の奥行き感を復元する奥行き利用超解像技術

Depth-Adapted Super-Resolution Technology to Achieve Depth Recovery of Images

小野 利幸 田口 安則 金子 敏充

■ ONO Toshiyuki ■ TAGUCHI Yasunori ■ KANEKO Toshimitsu

近年、東芝が<レグザ> 55XS5を商品化したのをはじめとして、4K2K (3,840×2,160画素)の画面解像度を持つテレビの商品化や商品発表が各社から行われ、超高精細テレビの市場が立ち上がりつつある。画面解像度が4K2Kのテレビは、フルHD (High Definition) (1,920×1,080画素)では表現できなかった高精細な映像を表現できるため、その臨場感の高い画質に関心が集まっている。

当社はこれまでに、超解像技術の開発を行い、テレビの画面解像度に合わせて鮮明な映像を表示することで臨場感を向上させてきた。今回、新たに、被写体の奥行き情報を利用して超解像処理の強度を制御することで画像の奥行き感を復元する奥行き利用超解像技術を開発し、更に臨場感を向上させた。

With the development of TVs equipped with 4K2K (3,840 x 2,160 pixels)-resolution liquid crystal displays (LCDs), including the REGZA 55XS5 LCD TV developed by Toshiba, the market for such 4K2K-resolution TVs has been expanding. 4K2K-resolution TVs are attracting attention due to their better image quality reproduction with a higher degree of realism compared with full high-definition (1,920 x 1,080 pixels) TVs.

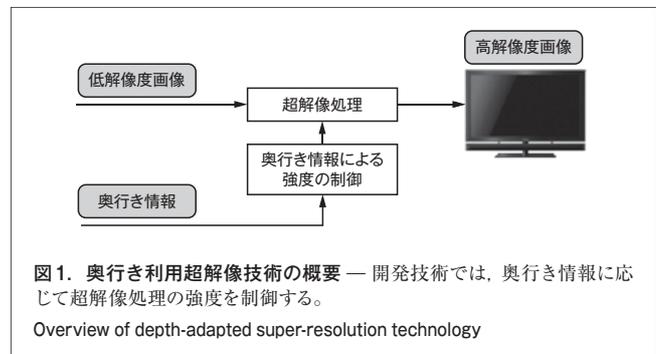
Toshiba has been devoting continuous efforts to the enhancement of image quality appropriate to the resolution of displays through the development of super-resolution technologies. We have now developed a depth-adapted super-resolution technology for 4K2K-resolution TVs, which can recover the depth feel of images by controlling the super-resolution effect based on the depth information of images. With this new technology, we have succeeded in reproducing more realistic images than ever.

1 まえがき

近年、東芝が<レグザ> 55XS5を商品化したのをはじめとして、4K2K (3,840×2,160画素)の画面解像度を持つテレビの商品化や商品発表が各社から行われ、超高精細テレビの市場が立ち上がりつつある。画面解像度が4K2Kのテレビは、フルHD (1,920×1,080画素)では表現できなかった高精細で臨場感の高い映像を表現できる。また、3D (立体視) 対応のテレビや映画が普及し、映像の立体感や奥行き感への関心は高まっている。

テレビの4K2K化が進む一方で、テレビ放送などの映像コンテンツの解像度はフルHD以下である状況がしばらく続くと予想される。この解像度の不足に対しては、解像度の低い映像から解像度の高い映像を生成する超解像技術を用いることで、4K2Kの画面解像度を生かした映像表示ができる。

超解像技術を用いることで、解像度の低い映像に含まれていない高周波数成分を復元し、鮮明な映像を生成することができる⁽¹⁾。当社はこれまでに、1枚の画像から超解像処理を行うフレーム内超解像技術⁽²⁾や複数のフレームを用いる複数フレーム超解像技術⁽³⁾を開発し、鮮明な画像を生成することで、映像の臨場感を高めてきた。しかし、従来の超解像技術は、映像の奥行き感を高めるといった観点からは、臨場感向上の効



果が十分ではない場合があった。これは、被写体の奥行きによらず画面内を一様な強度で処理するために、遠景の被写体が鮮鋭化されて手前に進出して見え、奥行き感が低下して知覚されるためである。

そこで当社は、画像の奥行き情報を利用して超解像処理の強度を制御することで画像の奥行き感を復元する、奥行き利用超解像技術⁽⁴⁾を新たに開発した(図1)。この技術により、画像の臨場感を更に高めることができる。

ここでは、奥行き利用超解像技術の原理と、その効果を確認した実験の結果について述べる。

2 従来の超解像技術の原理

表示画面の解像度が入力画像の解像度よりも高い場合、画像を拡大して表示する必要があるが、線形補間などの単純な拡大手法で画像を拡大すると、画像がぼやけることが知られている。超解像技術では、解像度の低い画像に含まれていない高周波数成分を復元し、鮮鋭な高解像度画像を生成できる。

超解像の主要な技術の一つである再構成型超解像技術の原理について述べる。再構成型超解像技術では、カメラの撮像モデルに従って低解像度画像から高解像度画像を復元する。カメラの撮像モデルとして、低解像度画像の画素値 $y_m (m=1, \dots, M)$ を、対応する高解像度画像上の画素値 $x_k (k=1, \dots, N)$ の加重平均で表すモデルを考える。このモデルは、低解像度画像の画素の位置や画像のぼけ方によって決定される重み $w_{m,k}$ を高解像度画像の画素の重みとした、式(1)で表せる。

$$y_m = \sum_k w_{m,k} x_k \quad (1)$$

この式は、 x_k を求めるための線形連立方程式を与える。しかし、与えられる方程式の数が低解像度画像の画素数 M であるのに対して、解となる高解像度画像の画素数 N が M よりも多いため、解が一意に定まらない。

そこで、画像内や他の時刻で取得した画像の画素を用いて式(1)を構成し、方程式の数を増やして解となる高解像度画像の推定精度を向上させる。 x_k に対応する低解像度画像の画素を対応点と呼ぶ。画像内から対応点を追加する技術はフレーム内超解像と呼ばれ、注目する x_k の画素位置の近傍から対応点を探索する⁽²⁾ (図2(a))。これは、被写体の輪郭部分では、その輪郭に沿って類似した画素値のパターンが並ぶという性質(自己合同性)に基づいている。一方、他の時刻で取得した画像の画素を対応点として追加する技術は複数フレーム超解像と呼ばれ、動き探索を行い対応点を追加する⁽³⁾ (図2(b))。

複数定義された式(1)を用いて、超解像処理は以下の手順で行う。

- ステップ1 線形補間などで、仮の高解像度画像を生成する。
- ステップ2 一つの低解像度画像の画素 m を選択する。
- ステップ3 高解像度画像から撮像モデル(式(1))に従って低解像度画像の画素の値を算出し、 y_m に対する誤差 e_m を式(2)から求める。

$$e_m = \sum_k w_{m,k} x_k - y_m \quad (2)$$

- ステップ4 誤差 e_m を補償するように、式(3)により高解像度画像の画素値を更新する。

$$x_k \leftarrow x_k - \lambda e_m w_{m,k} \quad (3)$$

ここで、 λ は画像の更新量を調整するパラメータである。超解像処理の強度は、 λ の値を変えることで制御できる。

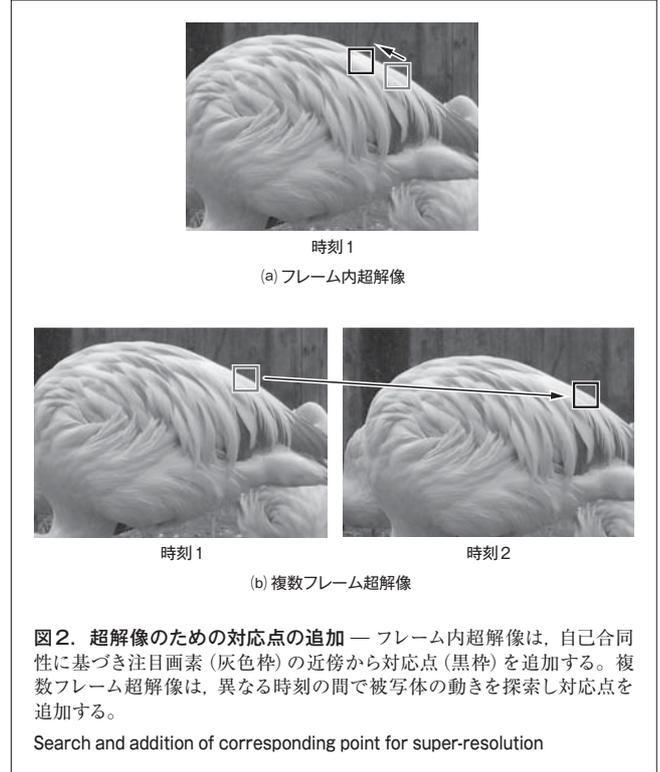


図2. 超解像のための対応点の追加 — フレーム内超解像は、自己合同性に基づき注目画素(灰色枠)の近傍から対応点(黒枠)を追加する。複数フレーム超解像は、異なる時刻の間で被写体の動きを探索し対応点を追加する。

Search and addition of corresponding point for super-resolution

ステップ5 ステップ2で選択する画素を変更しながら、ステップ3とステップ4を繰り返す。

3 奥行き利用超解像技術の概要

この章では、人が2Dの画像からでも奥行き感を知覚できる要因(奥行き手がかり)と、奥行き感の向上という観点で従来の超解像技術に残されていた課題、及び画像の奥行き感を復元できる奥行き利用超解像技術の原理について述べる。

3.1 奥行き手がかりからの奥行き知覚

人が光景を見たときに奥行きや立体感を知覚するための手がかりは、奥行き手がかりと呼ばれる。これは、両眼からのものと単眼からのものに分類できる(図3)。両眼からの奥行き手がかりには両眼視差や輻輳(ふくそう)などがあり、両眼視差は多くの3D映像システムに使われている。一方、単眼から

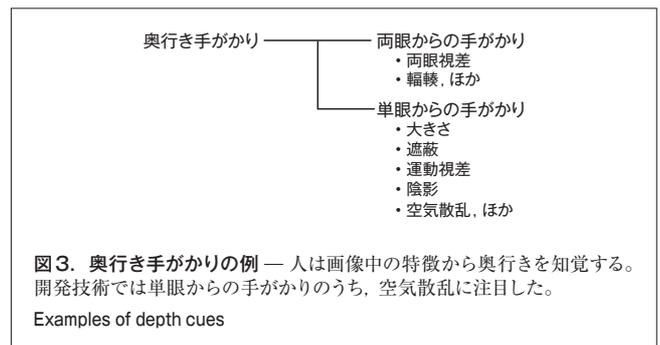


図3. 奥行き手がかりの例 — 人は画像中の特徴から奥行きを知覚する。開発技術では単眼からの手がかりのうち、空気散乱に注目した。

Examples of depth cues

の奥行き手がかりとしては、被写体の大きさ、遮蔽（しゃへい）、運動視差、陰影、及び空気散乱などがあり、2Dの映像からでも奥行き感や立体感を知覚することができる。当社は、単眼からの奥行き手がかりのうち、空気散乱に着目した。

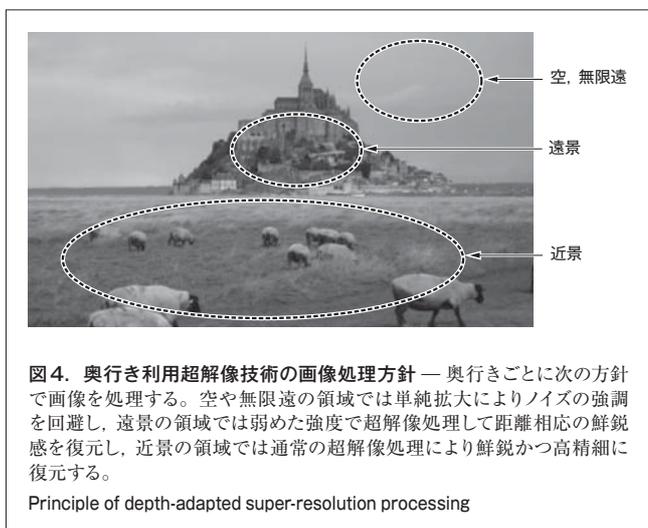
空気散乱による奥行きの知覚は次のような原理による。被写体が屋外で遠景にある場合は、大気中のちりや水蒸気による光の散乱の影響で、鮮鋭さやコントラストが低下して見える。人はこの鮮鋭さやコントラストの低下の程度から逆算して、物体までの距離を把握している。テレビに表示される画像も、撮影時のカメラから被写体までの距離に応じた鮮鋭さやコントラストで表示されることで、奥行き感のある画像として見る事ができる。

従来の超解像技術では、撮影時のカメラから被写体までの距離によらず、画像中の輪郭や模様が鮮鋭化される。そのため、遠景の被写体の輪郭や模様の鮮鋭さ及びコントラストが、その被写体の距離に一致しないと、不自然に感じられる場合があった。また、遠景の被写体が近づいて知覚されることにより、画像全体から感じられる奥行き感が低下する場合があった。このように、従来の超解像技術は、画像を鮮鋭化することで臨場感を高めることができたが、奥行き感の高い画像を生成するという観点からは、更に臨場感を高められる余地が残されていた。

3.2 開発技術の原理と手順

画像の奥行き感を復元する奥行き利用超解像技術の原理について述べる。奥行き利用超解像技術により実現する奥行きごとの画像処理の方針を、図4を用いて以下に示す。

- (1) 空や無限遠の領域 超解像処理を行わず画像を単純に拡大する。被写体は、鮮鋭さやコントラストが高められることなく、また、ノイズが強調されることなく自然な画像となる。
- (2) 遠景の領域 処理の強度を弱めた超解像処理を行



う。被写体は、その距離相応の鮮鋭感が復元されるため自然であり、かつ手前に近づいて知覚されることもない。

- (3) 近景の領域 通常の強度で超解像処理を行う。被写体は、鮮鋭さとコントラストが復元される。

(1)~(3)によって、遠いほど超解像処理の強度が弱くなり、距離相応の鮮鋭感が復元される。

処理の手順は、以下のとおりである。

まず、画像の奥行き情報を取得する。奥行き情報は、2Dの入力画像や、3D表示用に入力されるステレオ画像から推定することができる⁽⁵⁾。また、映像コンテンツによっては奥行き情報が付加されている場合も想定できる。

次に、2章で説明したステップ1からステップ5の超解像処理を行う。このとき、式(3)における λ の値は、奥行き情報に応じて画素ごとに式(4)で設定する。

$$\lambda_k = d_k \lambda_0 \quad (4)$$

ここで、 λ_k は x_k を更新する際の λ の値であり、 λ_0 は λ の基準値である。 d_k は、 k 番目の画素の奥行き情報であり、0から1の値をとり、値が大きいほど奥行きが近いことを表す。奥行きが近い画素では、 λ_k が大きくなるため超解像処理による画像の更新が十分に行われ、鮮鋭な画像が生成される。奥行きが遠い画素では、その奥行きに応じて画像の更新量が抑制され、鮮鋭さが調整された画像が生成される。

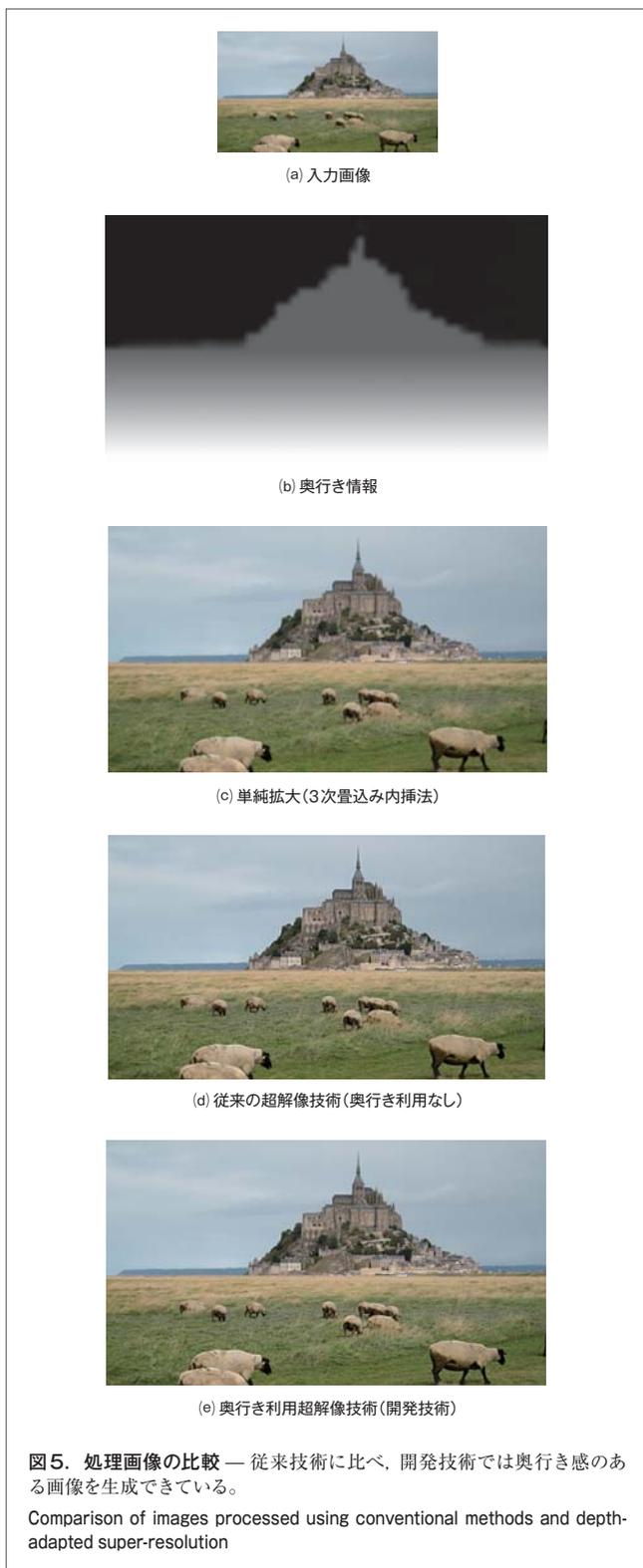
これまで述べたように、開発技術では奥行きに応じた強度で画像の輪郭や模様が鮮鋭化されることで、奥行き感の高い画像を生成できる。また、空気散乱の効果は屋外の遠距離にある被写体においてより強く現れる。そのため、開発技術は、被写体が遠距離まである光景の画像、例えば風景画像に対して特に有効である。

4 実験による効果の確認

開発した奥行き利用超解像技術と従来技術それぞれを用いて、入力画像を縦横それぞれ2倍に拡大する実験を行い、結果を比較した。

従来技術としては、一般的な画像拡大技術である3次畳込み内挿法と、奥行き情報を利用しない従来の超解像技術を用いた。開発技術で参照する奥行き情報は、入力画像を参照してマニュアル操作で作成した。奥行き情報は、空の領域はもっとも遠い値を示す0に設定し、空以外の領域は0.2から1の値を持つように作成した。また、従来の超解像技術と開発技術の全体的な鮮鋭さを合わせるため、 λ_0 の値を調節した。従来技術と開発技術ともに、フレーム内超解像を用いた。

処理画像の比較を図5に示す。それぞれの画像は、入力画像、マニュアル操作で作成した奥行き情報、3次畳込み内挿法による結果画像、奥行き情報を利用しない従来の超解像技



術による結果画像，及び奥行き利用超解像技術による結果画像である。(d)の画像は，(c)の画像に対して全体的に鮮鋭になっており，近景の動物や草原をはっきりと見ることができる。しかし，遠景の建物が鮮鋭化されたことにより手前に進出して知覚され，全体的に奥行き感の低い平面的な画像になってい

る。一方，(e)の画像は，近景の動物や草原については鮮鋭でありながら，遠景の建物の鮮鋭さが抑制されている。これにより，遠景が手前に進出する効果が抑えられ，遠景と近景の距離の差も知覚しやすくなり，奥行き感のある画像になっている。

このように，奥行き利用超解像技術は従来技術と比較して，奥行きに応じて画像が鮮鋭化され，奥行き感の高い画像を生成可能であることが確認できた。

5 あとがき

画像の奥行き情報に応じて超解像処理の強度を制御することで画像の奥行き感を復元する，奥行き利用超解像技術について述べた。この技術により，臨場感のある映像を楽しむことができるようになる。この技術は2D表示のテレビだけではなく，眼鏡式やグラスレスの3Dテレビにも適用可能な技術である。また，テレビだけでなく，パソコンやタブレットでの静止画や動画の再生時にも適用できる。

今後も，様々なデバイスやシーンで臨場感のある映像を楽しみたいという要求が生まれると考えられる。当社はこれからも，画像の奥行き感や立体感を復元し，臨場感の高い映像を表示する技術を開発していく。

文 献

- (1) Park, S. C. et al. Super-resolution image reconstruction - a technical overview-. IEEE Trans. on Signal Processing. 20, 3, 2003, p.21 - 36.
- (2) 松本信幸 他. 画像のエッジ部の自己合同性を利用した再構成型超解像. 電子情報通信学会論文誌D. J93-D, 2, 2010, p.118 - 126.
- (3) 竹島秀則 他. サブピクセルシフト画像を用いた複数フレーム超解像技術. 東芝レビュー. 64, 6, 2009, p.11 - 14.
- (4) Ono, T. et al. "Super-resolution with depth-adapted gain control for depth-feel enhancement of landscape image". The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics. Tokyo, 2012-10, IEEE. p.558 - 559.
- (5) 三田雄志 他. グラスレス3Dレグザ (REGZA) の多視差変換アルゴリズム. 電東芝レビュー. 66, 5, 2011, p.17 - 20.



小野 利幸 ONO Toshiyuki

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。
画像処理及び音響信号処理の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.



田口 安則 TAGUCHI Yasunori

研究開発センター マルチメディアラボラトリー 研究主務。
画像高画質化技術及び医用画像処理の研究・開発に従事。
電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.



金子 敏充 KANEKO Toshimitsu, D.Eng.

研究開発センター マルチメディアラボラトリー 研究主幹，
博士(工学)。画像高画質化技術の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.