

局所的明度補正によるカラー動画像の視認性改善

黒子 岳人 安藤 慎吾 中島 真人

慶應義塾大学理工学部

写真やビデオ撮影において、例えば逆光下や、明るい場所と暗い場所を同時に撮影した場合には、撮影した写真やビデオに潰れや白とびが生じ、その部分の視認性が低下することが多い。しかし、潰れや白とびが生じることなく、写真や映像全体を鮮明に撮影することは、場所や時間等の撮影条件により困難であることが多かった。そこで我々は、カラー動画像に対して、局所的な明度補正を行うことで、潰れや白とびを防止して映像全体の視認性を改善する手法を提案する。また、局所的な明度補正処理に伴い、輝度レベルが変動する波打ち歪(フリッカ)の発生が懸念されるが、本手法では、フリッカの発生は効果的に抑制され、見た目に全く違和感のない動画像を得ることが出来る。

Adaptive Visibility Improvement Method for Digital Video Image

Takehito KUROKO, Shingo ANDO and Masato NAKAJIMA

Faculty of Science and Technology, Keio University

When we take a picture of or record on videotape a scene including both very bright area and dark area, the visibility of such areas declines in that picture or video, and we have difficulty to recognize their detailed information. We propose an adaptive visibility improvement method for digital video image. If our proposed method is applied for the unclear video image with adaptively blackish or whitish areas, their adaptive visibility is improved, and the video image gets entirely clear. In addition, our proposed method can restrain scene flicker effectively, and there is no incongruity in the output video.

1. はじめに

逆光下において、明るい景色をバックに記念撮影を行うと、人物が黒く潰れて撮影されてしまうことが多い。近年、カメラやビデオカメラには逆光防止機能が備わっているが、それを用いて撮影すると、人物は鮮明に写すことが出来ても、バックの景色がサチレーションを起こして白くとんで撮影されてしまう。このように、明暗の混在する状況において、

潰れやとびを起こすことなく、撮影対象全体を鮮明に撮影することは困難であった。その原因は、撮像機器のダイナミックレンジにある。一般に実際の撮影対象に比べて、撮像機器のダイナミックレンジは狭く、撮影対象の非常に明るい部分や暗い部分の微細な明度差は圧縮され、細部情報が失われる。そのため、潰れや白とびが発生する。近年広く普及しているデジタルカメラやデジタルビデオカメラ

は CCD 素子の小型化に伴い、さらにこの問題が深刻である。しかし、デジタル情報の利点として、撮影後の補正が比較的容易であることが挙げられる。

静止画においては、このような潰れや白とびを局所的に補正する手法は数多く提案されている[1][2][3]。動画像においても同様の問題が存在するが、現状では、静止画における手法に比べてはるかに数が少ない。動画像では、フレームレベルの静的画質に加えて、画の動きに伴う動的画質が重要である。すなわち、個々のフレームレベルでの処理に加えて、時間軸方向への処理が必要ということである。代表的な動的画質劣化であるフリッカは、輝度レベルが変動してちらついて見える画質劣化である。局所的な輝度変換処理では、フリッカが生じやすく、その対応は本来の目的以上に重要であるといえる。

本論文では、デジタルカラー動画像において、潰れや白とびにより視認性が低下した部分を自動的に判別して、その部分のコントラストを適切に強調することで視認性を改善し、かつ、フリッカ等の動的劣化を効果的に抑制して、見た目に不自然さのない動画像を得る手法を提案する。

2. 濃度変換曲線の作成

本手法では、領域ごとに適切な濃度変換曲線を作成して濃度変換を行う。ここでは、濃度変換曲線の作成方法を述べる。詳細は、文献[1]を参照していただきたい。

2.1 明度画像作成

まずカラー画像より、明度画像を作成する。YCbCr 空間を採用し、(1)式を用いて RGB から明度 Y を算出する。

$$\begin{aligned} Y &= 0.29900 \cdot R + 0.58700 \cdot G + 0.14400 \cdot B \\ Cr &= -0.16874 \cdot R - 0.33126 \cdot G + 0.50000 \cdot B \\ Cb &= 0.50000 \cdot R - 0.41869 \cdot G + 0.81311 \cdot B \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} R &= Y + 1.40200 \cdot Cr \\ G &= Y - 0.34414 \cdot Cb - 0.71414 \cdot Cr \\ B &= Y + 1.77200 \cdot Cb \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 領域分割

次に LOG (Laplacian Of Gaussian) フィルタを用いてエッジを検出し、明度画像をテクスチャの異なる幾つかの領域に自動的に分割する(図1)。さらに処理の高速化のために、領域をブロックが連結した形で空間的に量子化して(最小領域サイズは、単位ブロックサイズ)、それを最終的な領域分割結果とする(図2)。

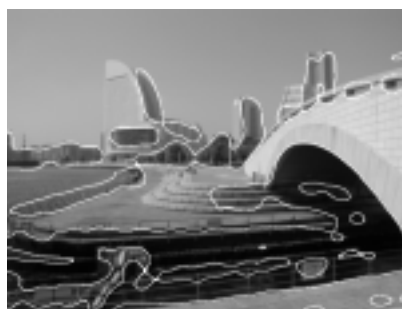


図1 LOG フィルタによる領域分割結果



図2 量子化領域分割結果

2.3 濃度変換曲線の作成

分割された各々の領域ごとに濃度変換曲線を作成する。ここでは、コントラスト強調の一手法であるヒストグラム均等化法を応用する。各領域で濃度ヒストグラムを作成し、その累積ヒストグラムを領域内の濃度変換曲線とする。しかし、累積ヒストグラムをそのまま用いると強調が強すぎる。そこで、累積をとる前に、後述のクリッピング処理を行う。

クリップ値は、各領域における濃度のばらつき具合とテクスチャの複雑さ具合という2つのパラメータから自動的に決定され、値が大きいほど補正割合は大きくなる。すなわちクリップ値は、潰れや白とびにより大きな補正が必要とされた領域では大きく、補正が必要でない領域では小さく設定される。そのため、各領域の適切な補正割合を自動的に決定することが可能である。

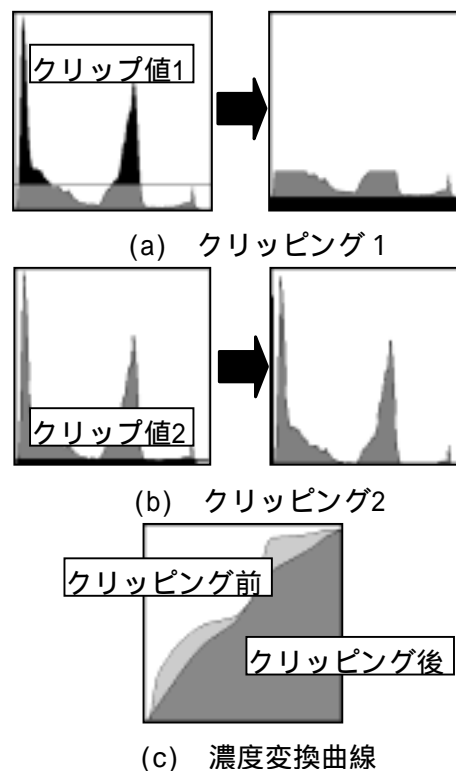


図3 濃度変換曲線の作成

2.3.1 クリッピング1：コントラスト強調の制御

クリップ値1を濃度ヒストグラムの上部に設定し、それより大きなヒストグラムを全濃度に等配分する処理を行う。この処理により、累積ヒストグラムは滑らかになり、過強調が抑制される。

2.3.2 クリッピング2：明るさの制御

クリップ値2は濃度ヒストグラムの下部に設定し、それより小さいヒストグラムを最も暗い(通常0)もしくは明るい濃度(通常255)のヒストグラムに集める。この処理により、累積ヒストグラムはクリップ前に比べて若干上方もしくは下方に移動し、適度な明るさが得られる濃度変換曲線となる。

以上の処理により、各領域に対して最適な濃度変換曲線が得られ、この濃度変換曲線を用いて濃度変換を行う。静止画の場合、この後にブロックノイズの除去を行い、(2)式を用いてRGB値を再算出してカラー出力画像が得られる。

3. カラー動画像の局所的な視認性改善

2章において濃度変換曲線の作成方法を述べた。この濃度変換曲線を動画像の局所的な視認性改善に用いる。また、フリッカを抑制する処理を加える。処理は、動画像のフレームに対して行われる。

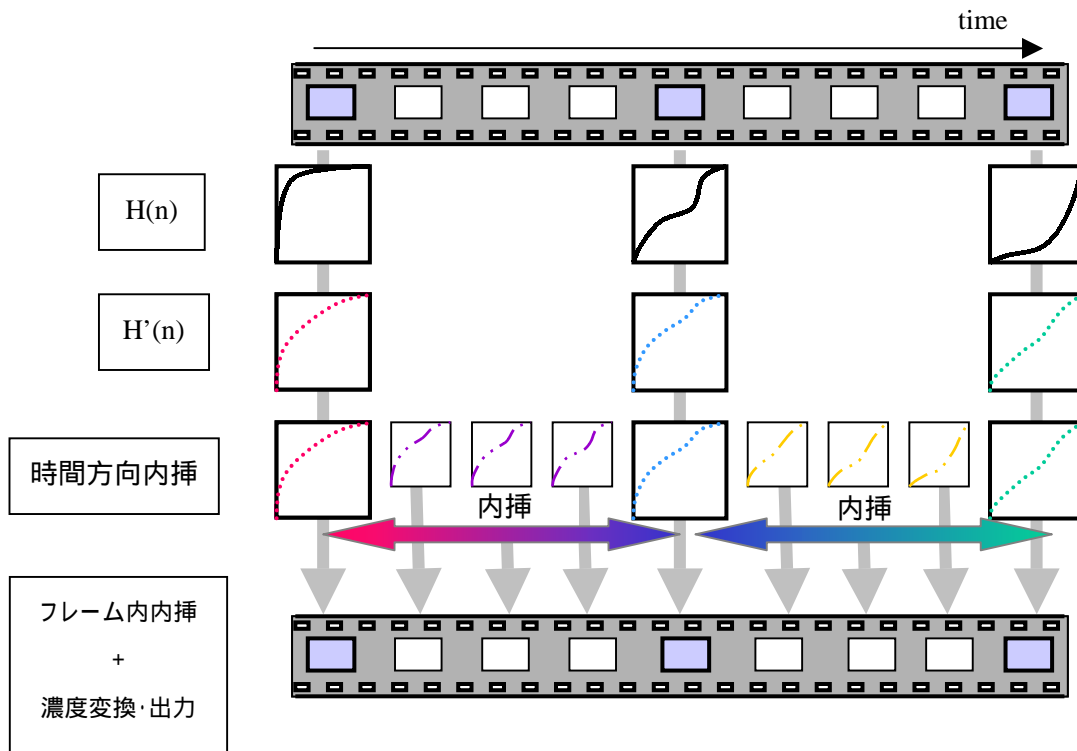


図4 処理の流れ

3.1 濃度変換曲線の作成

まず、2章で述べた処理手順に基づいて濃度変換曲線を作成する。その際、全フレームに対して濃度変換曲線を作成するのではなく、何フレームかおきに濃度変換曲線を作成する（以降、濃度変換曲線を作成するフレームを“代表フレーム”と記す）。

3.2 濃度変換曲線のブレンドおよび時間方向における濃度変換曲線の内挿

次に、代表フレーム以外のフレームに適用される濃度変換曲線を決定する。代表フレームからのフレーム枚数に応じて2つの濃度変換曲線の加重平均をとって濃度変換曲線の内挿し、各フレームの濃度変換曲線が決定される。

ただし、代表フレームで作成した濃度変換曲線をそのまま内挿しても、フリッカが見え

てしまう。これは、濃度変換曲線がフレーム間において大きく変化してしまうためである。そこで、過去の濃度変換曲線のある割合でブレンドして、新たな濃度変換曲線を作成する。代表フレームで作成した濃度変換曲線を $H(n)$ 、新たな濃度変換曲線を $H'(n)$ とおくと、両者の関係は次式で表される。

$$H'(n) = p \cdot H'(n-1) + (1-p) \cdot H(n) \quad (3)$$

$$\text{初期値: } H'(1) = H(1), \quad 0 < p < 1$$

新たな濃度変換曲線 $H'(n)$ の導入により、フレーム間において濃度変換曲線が大きく変化することが抑制され、結果としてフリッカの発生を防ぐことが出来る。

$H'(n)$ を作成した後、図4の要領で $H'(n)$ を時間方向に内挿して各フレームに適用される濃度変換曲線が決定される。

3.3 各フレーム内における濃度変換曲線の内挿

3.2 節の処理により、各フレームに適用される濃度変換曲線が決定された。濃度変換曲線は、濃度変換曲線のブレンドおよび濃度変換曲線の内挿により決定されるため、各フレームは濃度変換曲線をほぼ最小ブロック単位で持つことになる。このまま濃度変換を行うとブロックノイズが発生するため、ブロックノイズを除去する処理を行う。

各フレームの左から k 番目、上から l 番目のブロックにおける濃度変換曲線を $h(k,l)$ 、 $h(k,l)$ とその 4 近傍ブロックの濃度変換曲線との平均を $h'(k,l)$ とおく。

$$h'(k,l) = \{h(k,l) + h(k-1,l) + h(k+1,l) + h(k,l-1) + h(k,l+1)\} / 5 \quad (4)$$

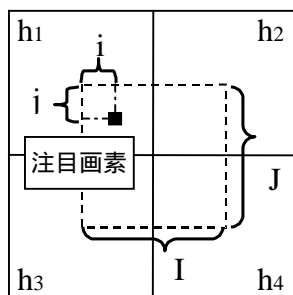


図5 注目画素とブロックの位置関係

$$f(x,y) = \frac{J-j}{J} \left[\frac{I-i}{I} h_1 + \frac{i}{I} h_2 \right] + \frac{j}{J} \left[\frac{I-i}{I} h_3 + \frac{i}{I} h_4 \right] \quad (5)$$

$h'(k,l)$ を計算した後、図5と(5)式に示す方法で各ブロックの濃度変換曲線を内挿してブロックノイズを除去する。 $h(k,l)$ のままで内挿を行わない理由は、 $h'(k,l)$ で行う方が動画

像で見た場合にちらつきの原因となるフレーム間の微小な濃度差が目立たないためである。

最後に(2)式よりカラー画像を再算出して、フレームを結合して、最終的な出力とする。

4. 実験・考察

本論文で提案した局所的な視認性改善手法を、実際にカラー動画像に対して適用する実験を行った。実験結果および考察を示す。

4.1 実験

実験手順は、デジタルビデオカメラで取得した動画像を計算機に取り込み、フレーム分割した後、本手法を用いて処理を行った。フレーム結合して動画像を出力したのち、画質の主観評価を行った。画像サイズは 720×480 [pixel]、フレームレートは 29.97 [fps]、動画像フォーマットは DV 方式である。処理パラメータは、最小ブロックサイズ： 40×40 [pixel]、代表フレーム間隔： 10 フレーム、濃度変換曲線のブレンド： $H'(n) = 0.75 \cdot H'(n-1) + 0.25 \cdot H(n)$ である。平均処理時間は AMD Athlon プロセッサ 1.2 GHz 使用時で、約 1.0 [sec/frame] である。

本手法を実際にカラー動画像に適用した結果を、幾つかのフレームを抽出して、図6から図8に示す。発表当日は、映像で処理結果をお見せする予定である。

4.2 考察

処理結果1では、原画像では建物の影の部分で潰れが発生しているが、処理結果ではその部分の視認性が改善されており、自動車や歩行者、建物の壁面、街路樹の緑色等が見えるようになっている。また、日光が強くあたるとび気味になっている部分もコントラス

トが強調されていることが分かる。一方、右手奥の空の部分はほとんど原画像と変わっていない。処理結果 2 では、木陰の暗くなっている部分や歩行者がよく見えるようになっている。全体的に明るくなっているが、フレーム全体を一様に明るくしているのではなく、潰れが特に強い木陰の部分と奥の比較的明るい部分で改善の度合いが異なることから、局所的な処理がなされていることが分かる。処理結果 3 では、建物や木陰の男性が見えるようになっている。また、中央のフレームなど元々明るく鮮明に移っている部分に関してはほとんど処理がなされていないことがわかる。このように、局所的に視認性が改善されていることが、処理結果から分かる。また、フリッカは効果的に抑制されており、明度や色合いの不自然な変化は全く生じなかった。

今回のデータに関してはいずれも潰れやとびの局所的な改善がなされており、かつフリッカ等の動的劣化は生じなかった。しかし、今回の実験データは、いずれも比較的動きの緩やかな映像であり、またデジタルビデオカメラの絞りを固定で撮影したものである。本手法の有効性を検証するには更なるデータ取得が必要であると考え。特に、被写体の動きの激しいデータ、カメラの動きの激しいデータ、短時間に明るさが大きく変化するデータに対して、どの程度対応可能なのかを検証しなければならないであろう。

また、処理時間の改善も課題に挙げようと思う。現段階での処理時間は、1 フレーム当たり、約 1.0 秒である。これは 1 分間の映像の処理に約 30 分かかる計算になる。実用を考えれば、この処理時間では長すぎる。処理時間はぜひとも改善されるべき課題であると言える。

5. まとめ

潰れや白とびにより、局所的に視認性の低下したカラー動画像に対して、局所的な明度補正を行うことにより、潰れや白とびを補正して、動画像の視認性を改善する手法を提案し、良好な結果を得た。また、本手法では、フリッカを抑制するための処理を行っており、その結果、見た目に違和感のない動画像を得ることが出来た。以上より、本手法の有効性が示された。

今後は、さらなるデータ検証、および処理時間の改善が重要な課題になると考える。

参考文献

- [1] Shingo Ando, Satoko Imai and Masato Nakajima : Adaptive Visibility Improvement Method for Color Digital Image, Final Program and Proceedings of Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference, pp.306-309 (2001)
- [2] S.M.Pizer, J.D.Austin, J.R.Perry, H.D.Safrit and J.B.Zimmerman : Adaptive Histogram Equalization for Automatic Contrast Enhancement of Medical Images, SPIE, Vol.626, Medicine XIV/PACS IV, pp.242-250 (1986)
- [3] 小林直樹, 斎藤英雄, 中島真人 : 自然画像表示のための高速な局所的コントラスト強調, 電子情報通信学会論文誌 D- , Vol.J78-D- No.3, pp.502-509 (1994)



+ 150フレーム(約5.0秒) + 150フレーム(約5.0秒)



図6 処理結果1 (上:原画像 下:処理結果)



+ 15フレーム(約0.5秒) + 15フレーム(約0.5秒)



図7 処理結果2 (上:原画像 下:処理結果)



+ 150フレーム(約5.0秒) + 150フレーム(約5.0秒)



図8 処理結果3 (上:原画像 下:処理結果)