

令和元年6月17日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00240

研究課題名(和文)老眼のための瞬時画像・映像強調システム

研究課題名(英文)Fast Image Enhancement System for Elderly Person

研究代表者

末竹 規哲(Noriaki, Suetake)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：80334051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：人間の視機能は、加齢により低下する。例えば、光を取り込む量が減少し、視野が暗くなる。また、コントラスト感が低下し、物体が霞んで見える。特に、高い周波数であるほどコントラスト感度の低下は顕著となる。本課題では、高齢者の視覚特性を考慮した明度変換と高周波数成分の増幅を目的とした画像の強調法を提案した。具体的には、トーンマッピングにより、色域内での処理を保証した明度変換を行い、感度減衰曲線の逆数に基づいた鮮鋭化を行った。種々の画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像・映像処理の分野では古くから様々な方法が研究されているが、加齢による視覚特性変化を考慮した画像・映像強調手法に関する研究はあまり例がなく、本研究の実施は学術的に意義深い。また、全世代総デジタル化社会においてデジタル表示デバイスの利便性(明視性、視認性)を向上させることは、人類のQuality of Lifeを直接的に向上させることになる。そのため、本研究の社会的な意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The performance of human visual functions degrades with age. For instance, the visual field becomes dark owing to a decrease of the amount of light received. Moreover, objects appear to be hazy by a decrease in the contrast sensitivity. Especially, the contrast sensitivity decreases remarkably as the spatial frequency increases. In this study, we proposed an image enhancement method which consists of a lightness conversion taking account of visual characteristics of elderly persons and an amplification of high spatial frequency components. Concretely, the lightness conversion was conducted within the color gamut by using a tone mapping. In addition, a sharpening based on the inverse characteristic function of the sensitivity decay curve was applied. The effectiveness of the proposed method is verified by experiments using several digital images.

研究分野：画像処理，信号処理

キーワード：高齢者視覚変化モデル 画像・映像強調アルゴリズム 画像情報処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、スマートフォンをはじめとするデジタルデバイスの普及率は60歳未満とそれ以上では大きく異なり、ユーザの中心は若年層である。一方、日本の高齢者人口は2025年には3700万人に迫り2.5人に1人が65歳以上となる。現役のデジタル世代が高齢化する10年後では、世代シフトにより高齢者へのデジタルデバイス普及率は8割を超える。すなわち、全世界にデジタル化社会が到来する。よって、老眼に対応した画像・映像に対する明視性・視認性の向上のための画像処理技術の開発が強く求められる。

加齢による視覚特性変化は老眼と呼ばれ一括りにされることが多いが、詳しくは「焦点調節力劣化」、「瞳孔面積縮小」、「水晶体濁り」、「空間周波数感度劣化」の4つがある。例えば、高齢者は視野が暗く、青色波長帯の見分けが困難なため、同じ画像を見たときでも若年者に対する見えとは全く異なる印象を受ける。また、「瞳孔面積縮小」、「水晶体濁り」、「空間周波数感度劣化」は老眼鏡での補正が原理的に不可能である。よって視認性向上のためには、ぼけ、明るさ、色彩、コントラストの全てを考慮した画像・映像強調法を実現しなければならない。

2. 研究の目的

本研究では、高齢者における焦点調節力劣化、「瞳孔面積縮小」、「水晶体濁り」、「空間周波数感度劣化」の4つの視覚特性変化の全てに対応した高齢者視覚の数理モデルを構築し、そのモデルに基づき、計算コストの小さい画像・映像強調アルゴリズムを確立する。その後、システムの性能を画像・映像品質、処理速度の観点から評価し、その実用性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

高齢者視覚特性を数理モデル化し、そのモデルを利用し、計算コストの小さい画像・映像強調アルゴリズムを提案した。詳細を以下に示す。

(1) 高齢者視覚特性の数理モデル化

高齢者視覚の数理モデル化について述べる。色覚の加齢変化を考慮した高齢者視覚シミュレーションには、水晶体の黄変化を模擬したものと、水晶体の黄変化と老人性縮瞳を考慮したものがある。提案法で用いる高齢者視覚シミュレーションでは、色覚の加齢変化を考慮したものに加えて、空間周波数特性の加齢変化を考慮したコントラスト感度低下シミュレーションを用いる。色覚の加齢変化を考慮した高齢者視覚シミュレーションでは、Pokornyらによって提案された水晶体モデルを用いている。Pokornyらによって提案された高齢者の水晶体モデルは以下のよう表される。

・ $20 < A < 60$ のとき

$$L(\lambda, A) = [1.00 + 0.02(A - 32)]T_{L1}(\lambda) + T_{L2}(\lambda) \quad \text{式(1)}$$

・ $A \geq 60$ のとき

$$L(\lambda, A) = [1.56 + 0.0667(A - 60)]T_{L1}(\lambda) + T_{L2}(\lambda) \quad \text{式(2)}$$

ここで、式中、 A は年齢、 λ は波長であり、 $L(\lambda, A)$ は水晶体の分光光濃度を表している。また、 $T_{L1}(\lambda)$ と $T_{L2}(\lambda)$ はそれぞれ各波長によって定められた定数である。

水晶体の黄変化は、高齢者の水晶体の分光透過率を模擬したフィルタを用いることで行う。フィルタは以下のように表される。

$$F(\lambda, A^2, A^1) = \frac{\tau(\lambda, A^2)}{\tau(\lambda, A^1)} \quad \text{式(3)}$$

$$\tau(\lambda, A) = 10^{-L(\lambda, A)} \quad \text{式(4)}$$

ここで、 A^1 は若年者の年齢、 A^2 は高齢者の年齢、 $\tau(\lambda, A)$ は水晶体の分光透過率を表す。このフィルタを通して、ある分光反射率を持つ物体を年齢 A^2 の若年者が観測したとき、XYZ色空間における三刺激値は以下のように表される。

$$X(A^2) = K \sum_{400}^{650} \rho(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda) F(\lambda, A^2, 32) \Delta\lambda, \quad \text{式(5)}$$

$$Y(A^2) = K \sum_{400}^{650} \rho(\lambda) E(\lambda) \bar{y}(\lambda) F(\lambda, A^2, 32) \Delta\lambda, \quad \text{式(6)}$$

$$Z(A^2) = K \sum_{400}^{650} \rho(\lambda) E(\lambda) \bar{z}(\lambda) F(\lambda, A^2, 32) \Delta\lambda \quad \text{式(7)}$$

K は比例定数、 $\rho(\lambda)$ は物体の分光反射率、 $E(\lambda)$ は照明光の分光エネルギーを表している。 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ はCIEの等色関数である。また、ここでは、若年者を標準観測者としており、その年齢を32歳としている。物体の分光反射率をRGB輝度値、照明光の分光エネルギーをCIE標準イルミネラントD65とすると、デジタル画像に対して高齢者視覚シミュレーションを行うこ

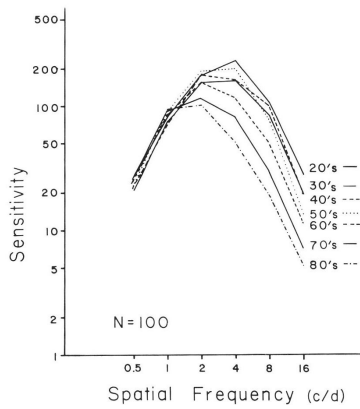


図1 年齢別の空間周波数特性

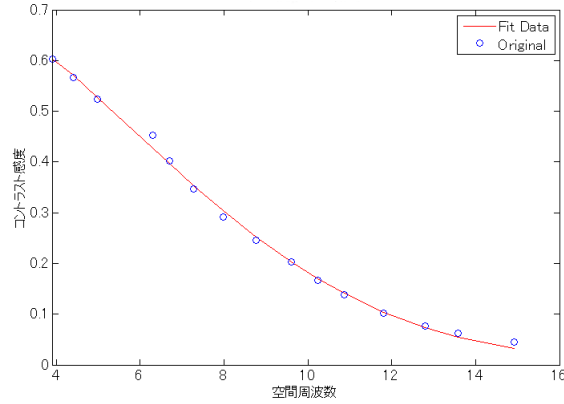


図2 コントラスト感度の近似結果の一例

とができる。

上述のシミュレーションでは、色相が変化する。しかし、実際には、高齢者が物体を見たときには、色順応が働くため、色相が変化して見えているわけではない。そこで、色相を変えずに、輝度を低下させることで、高齢者の視覚に近いシミュレーションを実現する。輝度を低下させることで実現する高齢者視覚シミュレーションは以下のように表される。

$$\dot{K} = \frac{K_R Y_R + K_G Y_G + K_B Y_B}{Y_R + Y_G + Y_B}, \quad \text{式(8)}$$

$$\ddot{K} = \alpha \dot{K}, \quad \text{式(9)}$$

$$\dot{Y}_R = \ddot{K} Y_R, \dot{Y}_G = \ddot{K} Y_G, \dot{Y}_B = \ddot{K} Y_B \quad \text{式(10)}$$

Y_R, Y_G, Y_B は若年者の RGB 輝度値、 \dot{K} は実効輝度比、 K_R, K_G, K_B は高齢者の RGB 値の実効輝度比を表す。また、 $\dot{Y}_R, \dot{Y}_G, \dot{Y}_B$ は高齢者の RGB 輝度値を表す。 $\dot{Y}_R, \dot{Y}_G, \dot{Y}_B$ の色相は、 Y_R, Y_G, Y_B から変化しない。ここで述べるシミュレーションでは、式(5)～式(7)で求めた値を RGB 輝度値に変換したものを高齢者輝度値として、若年者の RGB 輝度値と比をとることで実効輝度比とする。 α は老人生縮瞳を考慮した実効輝度比であり、 \ddot{K} は老人性縮瞳を模擬する定数となる。 α は年齢に対応した数値が求められており、70 歳のとき 0.6, 80 歳のとき 0.5 とする。 $\dot{Y}_R, \dot{Y}_G, \dot{Y}_B$ ははリニア RGB 値に相当する。このため、表示デバイスの特性を考慮した補正を行い、最終的な RGB 値を算出し、シミュレーション結果とする。

コントラスト感度低下シミュレーションは、周波数空間上で、高齢者の空間周波数特性の加齢変化を模擬したぼけフィルタを用いることで行う。図1に大頭らが示した年齢別の空間周波数特性を示す。図1に示すように、人間の視覚は、加齢によって高い周波数に対するコントラスト感度が低下する。そのため、高齢者の視覚では、若年者に比べて画像がぼける。したがって、ここで示すぼけフィルタは、ローパスフィルタによって再現できる。高い周波数に対するコントラスト感度の低下を模擬するため、感度曲線がピークである 2～5cpd 以上から、最小値までを近似している。コントラスト感度の曲線近似は以下のように表すことができる。

$$H(f) = a \cdot e^{-\frac{1}{2}\sigma^2 f^2} \quad \text{式(11)}$$

式(11)中の a および σ は、感度曲線を近似するための係数である。 f は入力画像を cpd 変換したものである。周波数領域のガウス関数を 2～5cpd 以上の空間周波数のデータに合うようにフィッティングすることで係数を決定する。この近似は最小二乗法により行う。図2にコントラスト感度の近似結果の一例を示す。図2は 60 歳の場合を示しており、70 歳、80 歳の場合も同様の近似によって式(11)の係数を求めることができる。

(2) 提案方式

高齢者の視覚は、若年者に比べて視野の明るさが \dot{K} 倍になる。また、コントラスト感度の低下により、 $H(f)$ の影響を受け、画像がぼける。ここでは、高齢者の視機能の低下による明度低下と、コントラスト感度の低下の両方に対応した画像の補正法を提案する。以下に、具体的な処理手順を示す。まず、若年者の RGB 値 $x_{sRGB} = (R_{sRGB}, G_{sRGB}, B_{sRGB})$ にあらかじめ \dot{K} の逆数を乗算し、明度変換後の画像 $x_p = (R_p, G_p, B_p)$ を得る。

$$x_p = \frac{1}{\dot{K}} x_{sRGB} \quad \text{式(12)}$$

その後、画像全体の濃淡変化を保ち、色域内での処理を保証した指数対数型曲線を用いてトーンマッピングを行う。

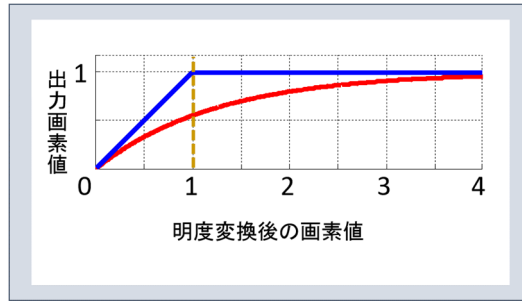


図3 トーンカーブの一例

$$R_t = 1 - e^{-sR_p}, G_t = 1 - e^{-sG_p}, B_t = 1 - e^{-sB_p}, \quad \text{式(13)}$$

式(13)の s はトーンカーブの傾きを決めるパラメータである。図3にトーンカーブの一例を示す。図3の赤線に示すように、トーンマッピングを用いることで、色域を保証した明度変換を行うことができる。続いて、高周波成分を増幅し、画像の鮮鋭化を行う。高周波成分を増幅させる補正関数 $c(f)$ をとすると、周波数空間の補正画像 $I_{cor}(u, v)$ は以下のように表すことができる。

$$I_{cor}(u, v) = c(f) \times x_F(u, v) \quad \text{式(14)}$$

ここで、 $x_F(u, v)$ は $x_t = (R_t, G_t, B_t)$ を周波数空間へ変換したものであり、補正関数 $c(f)$ は以下のように表す。

$$c(f) = \frac{e^{h(f)} - e^{-h(f)}}{e^{h(f)} + e^{-h(f)}} \quad \text{式(15)}$$

式(15)中の $h(f)$ は

$$h(f) = \begin{cases} \frac{1}{2}\sigma^2 f^2 & (f \leq r) \\ \frac{1}{2}\sigma^2 r^2 & (f > r) \end{cases} \quad \text{式(16)}$$

と表す。式(16)では、空間周波数が $0 \sim r$ cpdに対応する周波数に対して補正を行い、 r cpdよりも大きい領域は一定値となる。 f は空間周波数、 σ は補正を行う空間周波数によって決まる定数である。式(16)中、 σ は、感度減衰曲線の逆数にフィッティングするように決定される。以上のようにして、特定の周波数までの成分を増幅させる補正関数 $c(f)$ を周波数空間上で乗算し、画像空間に戻すことで補正画像を得る。

4. 研究成果

老化による視機能の低下に対応した画像の明度変換と鮮鋭化方法を提案した。提案法では、明度変換後、色域内での処理を保証するためにトーンマッピングが行われる。その後、感度減衰曲線の逆数に基づいた双曲線関数を用いて、画像の高周波数成分を増幅させる処理が行われる。実験では、種々の画像に対して補正を行った。本研究課題で確立した高齢者視覚の数理モデルに基づいたシミュレーションを適用し、補正後画像に対する主観評価と客観評価(PSNRやSSIM)を実施し、提案手法の有効性を確認した。また、本システムの実応用性を確認した。期間内にFPGAでの実装が完全に終わるまでには至らなかったが、完成後はディスプレイデバイス上の表示装置へと適用することで映像のリアルタイム色補正処理が可能になると予想される。

今後考慮すべきアルゴリズム上の課題としては、コントラスト感度低下の補正によって生じた低い周波数領域における明度低下の防止が挙げられる。

<引用文献>

J. Pokorny, V.C. Smith, and M. Lutze, "Aging of the Human Lens," Applied Optics, Vol. 26, No. 8, pp. 1437-1440, April 1987.

岡嶋克典, "視機能から見た印刷物におけるユニバーサルデザイン," 日本印刷学会誌, Vol. 46, No. 3, pp. 10-15, 2009.

G. Sharma, R. Bala, Digital Color Imaging Handbook. CRC Press, Florida, 2002.

岡嶋克典, 高瀬正典, "マンセル色票の色名呼称における高齢者水晶体擬似フィルタ装着の効果," 照明学会誌, Vol. 84, No. 11, pp. 838-842, 2000.

大頭仁, 行田尚義, "年齢による時空間周波数特性の変化," 日本眼光学学会誌, Vol. 8, No. 1, pp. 32-41, 1987.

石黒和之, 浅野敏郎, 近藤孝洋, 劉偉 “周波数解析によるディスプレイ画質むら検査,” 精密工学会誌, Vol.83, No.3, pp.258-262, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Chiaki Ueda, Tadahiro Azetsu, Noriaki Suetake, and Eiji Uchino, “Color Appearance Improvement for Elderly Person Using Lightness Transform,” Optical Review, Vol.23, No.6, pp.917-925, 2016. (DOI:10.1007/s10043-016-0272-0)

〔学会発表〕(計3件)

森山大樹, 上田千晶, 畔津忠博, 末竹規哲, 内野英治, “高齢者の視覚特性を考慮した画像の明度変換と鮮鋭化に関する一提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.118, No.473, SIS2018-49, pp.65-70, 東京, 2019.

上田千晶, 畔津忠博, 末竹規哲, “高齢者視覚を考慮した画像の明度及び彩度の強調法,” 2018年電子情報通信学会総合大会論文集, A-15-6, p.131, 東京, 2018.

上田千晶, 畔津忠博, 末竹規哲, 内野英治, “高齢者視覚シミュレーションを用いた画像強調法の一提案,” 2016年電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集, A-15-13, p.179, 札幌, 2016.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 内野 英治

ローマ字氏名: Eiji Uchino

所属研究機関名: 山口大学

部局名: 大学院創成科学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): (30168710)

研究分担者氏名: 田向 権

ローマ字氏名: Hakaru Tamukoh

所属研究機関名: 九州工業大学

部局名: 大学院生命体工学研究科

職名: 准教授

研究者番号(8桁): (90432955)

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。