

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330196

研究課題名(和文) 視覚特性を考慮したHDRスペクトル画像の表示手法の開発

研究課題名(英文) A Method for Displaying HDR Spectral Images Considering Human Visual Perception

研究代表者

金田 和文 (KANEDA, Kazufumi)

広島大学・工学研究院・教授

研究者番号：30185946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：分光分布情報をあわせもつ広い輝度ダイナミックレンジの高品質画像を、人間の視覚特性を考慮することにより現実感あるリアルな表示を行う手法の開発を行った。さらに、HDR画像を両眼表示デバイスや大画面ディスプレイなどの各種デバイスに表示する際の表示手法を提案し、実験により知覚される輝度ダイナミックレンジが広がることを確認した。また、HDRスペクトル画像を圧縮してコンパクトに記録し、表示デバイスの解像度に応じて高速に表示する手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a method for displaying high dynamic range (HDR) spectral images realistically considering human visual perception. We also proposed methods for displaying HDR images to various kinds of display devices such as a binocular display and a projection display with a large-sized screen, and demonstrated the proposed methods enhanced the dynamic range of image intensities perceived by test subjects in our experiments. We further developed a method for storing HDR spectral images compactly and for displaying the image quickly to various kinds of display devices with different resolutions.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：ハイダイナミックレンジ画像 トーンマッピング 視覚特性 両眼ディスプレイ 大画面ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

コンピュータグラフィクスにおける映像制作技術は年々進歩しており、フォトンマッピング法に代表される大域照明モデルの開発により、間接光を考慮した照明計算が行われるようになった。これにより、直射光で照らされた明るい領域から暗い影に至るまで、連続して微妙な陰影を再現することが可能となった。さらに、表示物体も拡散反射や鏡面反射面だけでなく、物体表面での光の干渉や回折により色付いた物体を表示することも可能となってきた。

これに対して、画像を表示するディスプレイは、RGB 三原色で各色 256 階調のモニタが通常用いられている。輝度階調レベルを拡張したディスプレイモニタも以前開発されたが、高価で普及には至っていない。また、実環境と同じ輝度ダイナミックレンジをもち、分光分布も一致した光を発生させることのできる表示デバイスを開発することは極めて困難である。

この問題を解決するために、ハイダイナミックレンジ(HDR)画像の輝度幅を圧縮して、通常のディスプレイモニタに表示するトーンマッピング手法が開発されている。しかし、これらの手法の多くは、輝度レベルだけに着目して表示を行っているため、夕暮れ時や夜間における人の視覚の色感度の連続的な変化をディスプレイに再現することはできない。さらに、これらの手法は RGB 画像入力を前提としているため、輝線スペクトルをもつ蛍光灯や LED 照明下での輝度変化による色の見えを正確に再現することができない。また、従来の表示法は主に一般のコンピュータディスプレイを対象としており、両眼ディスプレイや大画面ディスプレイなどの様々な表示デバイスへの効果的な表示法については未だ確立されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、最新のコンピュータグラフィクス技術により作成された HDR スペクトル画像を、人の視覚特性を考慮して現実感あふれるようにリアルに表示する手法を開発することである。すなわち、明るさによる人の視覚のスペクトル感度変化を考慮することにより、直射光に照らされた明るいシーンから日陰や夕暮れなどの薄暗いシーン、そして月明かりの暗いシーンに至るまで、広範な輝度領域をカバーする、色相変化をともなったトーンマッピング手法の開発をめざす。さらに、近年バーチャルリアリティ (VR) への応用において両眼ディスプレイや大画面ディスプレイなどの様々な表示デバイスが利用され普及してきている。これらの表示デバイスに対しても HDR 画像のもつ幅広い輝度ダイナミックレンジを動的かつリアルに知覚させることができる表示手法を考案し、評価実験を行い評価・検討する。

3. 研究の方法

(1) 視覚特性モデルの構築と表示

これまでに明らかにされている網膜の色情報処理メカニズムに基づいた視覚神経系の回路モデルを導入し、解剖学における形態学的知見と、生理学・心理物理学における機能学的知見の両者を用いて視覚特性モデルを構築する。すなわち、本研究では網膜の視覚神経系の回路モデルに基づいて、視細胞の3種類の錐体(L, M, S)からの信号を受取り、反対色表系(r-g, y-b, v)に変換するモデルを採用する。この神経回路モデルの各素子の応答を関数近似し、そのパラメータを心理物理学における計測結果を用いて設定する。すなわち、心理物理学実験における波長弁別閾の計測結果を用いて、視覚特性モデルの光波長の違いによる応答が、波長弁別閾の計測結果と一致するように、近似関数のパラメータを調整する。最適化問題を解くことにより、このパラメータ調整を行う。これにより、波長の違い、すなわち色感度特性を考慮した視覚特性モデルを構築する。

(2) 両眼ディスプレイへの表示手法

VR アプリケーション等で使われている両眼表示デバイスへの HDR 画像表示を対象として、幅広い輝度ダイナミックレンジをリアルに知覚することのできる表示手法について検討する。輝度ダイナミックレンジの大きな周囲景観を記録した HDR パノラマ画像を、左右眼が異なる方法によるトーンマッピング処理を施して両眼ディスプレイに見る方向を変えながら表示し、輝度変化の大きさをリアルに知覚することができる両眼表示法を評価実験により求める。異なる方法によるトーンマッピング処理は、HDR パノラマ画像全体をトーンマッピング処理した LDR パノラマ画像をまず作成し、その LDR パノラマ画像から表示領域を切り出す方法(手順1)と、HDR パノラマ画像から表示領域を切り出した後、その切り出された HDR 画像にトーンマッピング処理を行って LDR 表示画像を作成する方法(手順2)である。これら2つの手順により作成した画像シーケンスを両眼ディスプレイに表示する。複数人の被験者に対して複数の画像シーケンスを呈示して評価実験を行う。

(3) 大画面ディスプレイへの表示手法

大画面スクリーンにプロジェクタ等を用いて画像を表示する際に、観察者の注視領域を考慮したトーンマッピング処理を施すことにより、広い輝度ダイナミックレンジを知覚することができるかどうかについて評価実験を行う。観察者の注視点を中心とした矩形領域を注視領域とし、その注視領域の対数平均輝度を用いてトーンマッピング処理を行う。観察者が視線方向を変えながら大画面ディスプレイを見る場合を想定し、注視領域を考慮したトーンマッピング処理を施した

場合に、知覚される輝度ダイナミックレンジが広がるかどうかを実験により検証する。併せて、知覚される輝度ダイナミックレンジの広がりが大きくなる注視領域の大きさを求める。

4. 研究成果

(1) 視覚特性モデルの構築と表示

形態学と機能学の両者の知見を用いて構築した視覚特性モデルに基づく表示手法をインプリメントし、HDR スペクトル画像の表示を行うプロトタイプのソフトウェアを開発した(学会発表7, 9参照)。形態学と機能学の両者の知見を融合させて新たな視覚特性モデルを構築することにより、広範囲に亘る輝度ダイナミックレンジに対応可能となる。さらに、構築した視覚特性モデルは、HDR スペクトル画像を表示対象としている。従来のトーンマッピング手法では、RGB画像を対象としているが、輝度変化にともなう人の視覚の色感度変化を再現するには、光のスペクトルが必要であり、従来手法では原理的に色感度変化に対処することができない。一方、構築した視覚特性モデルでは、3種類の錐体の応答の変化により、輝度変化にともない知覚される色相が変化する視覚特性を実現することができる。

直射光に照らされた明るいシーンから日陰や夕暮れなどの薄暗いシーン、そして月明かりの暗いシーンに至るまで、広範囲な輝度領域をカバーし、かつ明るさによる人の視覚のスペクトル感度変化を考慮することにより色相変化をともなった表示が行えることを実験により検証した。また、従来のトーンマッピング手法では、特定の視覚特性だけをモデル化に用いて輝度変換を行っているため、明るさの違いにより明所視、薄明視、暗所視に対応して表示手法が異なっており、動画のように連続的に明るさが変化するシーンをリアルに表示することができないという問題があった。本研究で開発した表示手法では、タイムラプス動画のように明るさが連続的に広範囲で変化した場合でも、現実感あるリアルな表示を行うことができることを検証した。

さらに、暗所視の際に生じる視力低下や桿体の影響を考慮した視覚特性を表示手法に取り入れて、HDR スペクトル画像表示手法の改良を行った(学会発表5, 6参照)。そして、開発したHDR スペクトル画像表示手法と従来手法を比較してその効果の検証を行った。

高解像度のHDR スペクトル画像の記録には大容量の補助記憶装置が必要となる。この問題を解決するために、HDR スペクトル画像を圧縮してコンパクトに記録し、表示デバイスの解像度に応じて、高速に表示する手法の開発も併せて行った(雑誌論文1, 学会発表8参照)。

(2) 両眼ディスプレイへの表示手法

両眼表示デバイスを用いて方向を変えながら周囲環境を見回したときに知覚される輝度ダイナミックレンジが、左右眼用の2枚のLDR画像の作成方法を変えた場合の方が、両眼に同じ手順で作成した画像シーケンスを表示した場合よりも広がることを評価実験により検証した(学会発表3, 4)。手順1と2により作成した画像をそれぞれ、右目と左目に表示する場合が最もよい結果が得られた。この表示法では、手順1で作成された画像シーケンスが呈示された片眼で、見る方向を変えたときの輝度変化を知覚することができ、手順2で作成された画像シーケンスが呈示された他方の眼で、画像のディテールを観察することができる。

評価実験において、左右眼の表示を入れ替えると評価値が大きく変化したが、この理由については、利き目の影響や、画像領域の左右端の明暗のバランスの違いなどの影響が考えられる。これに関しては今後の研究課題である。

さらに、上述の知見に基づいて、広い輝度ダイナミックレンジをもつHDRパノラマ画像をタブレット端末で鑑賞するための両眼表示アプリを開発した(学会発表2参照)。本アプリではタブレット端末のジャイロセンサーからの信号を利用して、見る方向によりパノラマ画像の表示範囲が変化するVR機能を兼ね備えている。

(3) 大画面ディスプレイへの表示手法

大画面ディスプレイへの表示法について、注視領域周辺の輝度値を考慮してトーンマッピング処理を行うことにより、広い輝度ダイナミックレンジを知覚できることを評価実験によって明らかにした(学会発表1参照)。注視領域の大きさを、注視点を中心に視野角 5° 、 10° 、 15° をそれぞれ一辺とする矩形領域に設定して3枚のHDR画像表示に対して評価実験を行った結果、平均すると 10° または 15° の注視領域でトーンマッピング処理した場合が最も広い輝度ダイナミックレンジを知覚させることができた。ただし、最も高い評価値を与える注視領域はHDR画像ごとに異なっていた。注視領域を 5° に設定した場合には、視線方向の変化により表示画像全体の明るさが大きく変化するため、どのHDR画像に対しても最も評価値が低く、注視領域を考慮しない表示よりも評価値が悪かった。

これらのことより、大画面ディスプレイへの表示方法として、注視領域を考慮したトーンマッピング処理を行ってLDR画像を作成することにより、注視領域を考慮しない場合よりも広い輝度ダイナミックレンジが知覚できる表示が行えることがわかった。ただし、注視領域の大きさを適切に設定しなければ逆効果となる場合も発生する。また、HDR画像に依存して最も適切な注視領域の大きさが異なることも判明した。最も適切な注視

領域の大きさを求めることに関しては今後の研究課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

1. Michihiro Mikamo, Tsuyoshi Harada, Bisser Raytchev, Toru Tamaki, Kazufumi Kaneda, Displaying Compressed HDR Spectral Images by Integration of Direct Tristimulus Value Conversion and Tone Mapping, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, 査読有, Vol. 3, No. 2, pp. 126-135, 2015. <http://www.iieej.org/eng/journal.html>

〔学会発表〕(計9件)

1. 山本佳明, Raytchev Bisser, 玉木徹, 金田和文, 大画面表示のための注視領域を考慮したトーンマッピング表示に関する検討, 2017年3月13日, 情報処理学会 コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会 第166回研究発表会, GYAO セミナールーム 東京都.

2. 酒井駿志, Raychev Bisser, 玉木徹, 金田和文, バイノキュラートーンマッピングを利用したタブレット上での画像表示アプリケーションの開発, 2017年3月13日, 情報処理学会 コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会 第166回研究発表会, GYAO セミナールーム 東京都.

3. Michihiro Mikamo, Kotaro Mori, Bisser Raytchev, Toru Tamaki, Kazufumi Kaneda, Binocular Tone Reproduction Display for an HDR Panorama Image, ACM Symposium on Applied Perception 2016, 22-23 July 2016, Anaheim U.S.A.

4. 吉廻脩登, 森浩太郎, Bisser Raytchev, 玉木徹, 金田和文, 三嶋道弘, 両眼ディスプレイへの HDR 画像表示に関する検討, 2016年度第44回画像電子学会年次大会, 2016年6月18~19日, 早稲田大学国際会議場 東京都.

5. 中迫弘子, 三嶋道弘, 川崎洋, 金田和文, VR/AR システムにおける仮想周辺環境の明るさ変化を考慮した視覚特性の再現, 情報処理学会 グラフィックスと CAD 研究会 第162回研究発表会, 2016年2月8日, 国立情報学研究所 東京.

6. 三嶋道弘, 川崎洋, 金田和文, 周囲が暗い環境での色の見えを考慮したトーンリプロダクション手法, 情報処理学会 グラフィックスと CAD 研究会 第159回研究発表会, 2015年6月30日~7月1日, 広島大学, 東広島市.

7. 三嶋道弘, Bisser Raytchev, 玉木徹, 金田和文, 広範囲の輝度変化に伴う色知覚を考慮したトーンリプロダクション手法, 情報処理学会 グラフィックスと CAD 研究会 第158回研究発表会, 2015年2月27日, 理化学研究所, 和光市.

8. Michihiro Mikamo, Tsuyoshi Harada, Bisser Raytchev, Toru Tamaki, Kazufumi Kaneda, Displaying Compressed HDR Spectral Images Using a Direct Tristimulus value Conversion and Dynamic Range Compression, The Fourth IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing, 7-10 October 2014, Samui Thailand.

9. Michihiro Mikamo, Bisser Raytchev, Toru Tamaki, Kazufumi Kaneda, A Tone Reproduction Operator for All Luminance Ranges Considering Human Color Perception, EUROGRAPHICS 2014, 7-11 April 2014, Strasbourg France.

〔その他〕

ホームページ等

<http://vis.hiroshima-u.ac.jp/publications/publications.php>

6. 研究組織

(1)研究代表者

金田 和文 (KANEDA KAZUFUMI)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30185946

(2)研究分担者

三嶋 道弘 (MIKAMO MICHIIHIRO)

鹿児島大学・理工学域工学系・助教

研究者番号：00735269