様　式　C－19、F－19－1、Z－19　(共通)

科研費
KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６ 年　６ 月 １７ 日現在

機関番号：１２６０８
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2018～2022
課題番号：１８Ｈ０３２４７

研究課題名（和文）周辺視野の知覚特性を利用した広角視覚像の効率的な生成及び転送手法に関する研究

研究課題名（英文）Applied peripheral vision to wide-viewing image transfer and generation

研究代表者
齋藤　豪（Saito, Suguru）

東京工業大学・情報理工学院・准教授

研究者番号：００３２３８３２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　13,500,000円

研究成果の概要（和文）：将来のヘッドマウントディスプレイでの広視野没入環境を見据え、周辺視領域で要求される描画品質を見積もるために、周辺視の輝度コントラストの知覚閾値について、従来測定されていた測定範囲よりもより広く、4名の20代の被験者の単眼視野の鼻側、耳側、上側、下側について測定を行った。測定結果からは、従来提案されてきた低偏心度の測定結果にのみ基いたコントラスト感度関数モデルが、高偏心度において実際の測定値よりも閾値を高く見積もる傾向があることを示した。また、周辺視の見えの直感的理解のために、コントラスト感度関数を応用したコントラスト知覚画像を生成する画像フィルタ手法についての提案も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究で計測した周辺視野の輝度コントラスト知覚閾値は、将来のバーチャルリアリティ、リモートコミュニケーションに必要とされる高視野画像の作成、伝送のために要求される画像品質を明らかにするための基礎情報となる。また本研究で提案したコントラスト知覚画像を生成する画像フィルタ手法は、中心視から周辺視へと偏心角により変化するコントラスト感度特性がもたらす視野の見え方の直感的理解に役立つ。

研究成果の概要（英文）：To estimate the required rendering quality in the peripheral vision area in anticipation of a wide field of view immersive environment in future head-mounted displays, we measured the perceptual thresholds of luminance contrast in peripheral vision more widely than the previously measured range. The measurements were conducted for the nasal, temporal, upper, and lower sides of the monocular visual field of four participants in their 20s. The measurement results showed that the previously proposed contrast sensitivity function models, based only on measurements at low eccentricities, tend to estimate the threshold higher than the actual measurements at high eccentricities. We also proposed an image filter method for generating perceptual contrast images by applying the contrast sensitivity function to understand peripheral vision intuitively.

研究分野：コンピュータグラフィクス、画像処理

キーワード：コントラス感度関数　周辺視　画像フィルタ　レンダリング

※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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ヘッドマウントディスプレイは近年急速にその性能が向上した表示装置である。特に高視野化の進化は没入感の向上に寄与する。また高解像度化は精緻な作業への利用の道を開き、今後の用途拡大が期待される。将来のヘッドマウントディスプレイを考えたとき、単純にその表示能力を満足させる映像の作成、伝送をするには従来よりもコストがかかることが予想できる。しかしながら、人間の視野は中心視と周辺視ではその特性が異なり、周辺視では詳細な知覚は行えないことが知られている。したがって視線方向から逸れた領域の描画の品質を適切な程度で低下させても気づくことがないはずである。以上から将来の広視野没入環境を見据え、知覚特性に基いて周辺視領域で要求される描画品質を見積ることは、バーチャルリアリティ、リモートコミュニケーションのための高視野画像の作成、伝送の研究の基礎として重要である。しかしながら、知覚能力が視角偏心度の増大に従ってどのように低下するかの計測報告は十分になく、特に周辺視野への画像表示において、その要求描画品質を決定するためにに利用可能な計測は存在しなかった。

2. 研究の目的

周辺視野への画像表示をする際に描画品質を低下させつつもその低下を知覚させることがないという許容画像品質を見積るために利用可能な、高偏心度を網羅した視野の広範囲の輝度コントラスト知覚閾値の測定を行う。それにより視野全域の輝度についてのコントラスト感度関数（Contrast Sensitivity Function,CSF）モデルを作成する。また、その視野全域輝度コントラスト感度関数を用いたコントラスト知覚像生成画像フィルタを提案する。

主に上記2つを研究の目的とした。

3. 研究の方法

3.1 輝度コントラスト閾値測定

矯正視力 1.0 の 20 代の被験者 4 名の片目の視野の耳側、鼻側、上側、下側の各偏心方位の最大で偏心角度 84 度の範囲の輝度コントラスト知覚閾値を測定した。提示刺激には視角約 10 度四方のコサインガボール模様を採用し、その縞は偏心方位に平行とした。これは最も知覚感度が高い方位条件での知覚閾値を測定するためである。刺激の表示方法は時間周波数を 0Hz と見なせる表示速度とした。空間周波数は、高コントラスト刺激で偏心方位、偏心角毎に知覚できる最大周波数を事前に測定し、その最大周波数から 0.4[cpd]を最低周波数とする範囲で段階的に周波数を変えて視野の各地点で測定を行った。実験は 31[cd/m^2]の順応環境下で、二区間強制選択法により被験者に回答してもらい、PSI 法により輝度コントラスト閾値を求める方法を採った。

3.2 コントラスト感度関数モデル

鼻側、耳側、上側、下側の 4 方向の偏心方位毎に、測定されたコントラスト知覚閾値のデータへ双三次 Bezier 関数をフィッティングさせることで、空間周波数、偏心角を引数として輝度コントラスト知覚閾値の逆数を返す輝度コントラスト感度関数を決定した。任意偏心方位の偏心角のコントラスト知覚閾値はそれを挟む測定された 2 方位の輝度コントラスト感度関数を楕円補間することで求めることとした。

3.3 コントラスト知覚像生成画像フィルタ

コントラスト知覚像生成画像フィルタは輝度コントラスト知覚閾値未満の視覚刺激を削除し、知覚される視覚刺激は変化させずに通過させる選択的なフィルタとすることを理想として設計した。表示装置と眼との位置関係から画像上の各点についての視線方向からの偏心方位、偏心角を求め、それに従って画像上の各局所領域毎に選択的なフィルタリングを行うこととした。フィルタリングには完全再合成可能な畳み込み周波数分解フィルタ群を採用した。ただし、信号通過判定処理は先の周波数分解フィルタとは別に周波数を細かな帯域に分割して各帯域毎のコントラストを検出するコントラスト検知フィルタ群を採用し、その応答値とコントラスト感度関数の値とを比較して通過判定を行うこととした。通過判定結果に従って、完全再合成可能な畳み込み周波数分解フィルタ群で分解された周波数画像を選択的に合成することで、コントラスト感度関数に従った知覚されない画像情報を削除したコントラスト知覚像を作成することととした。

4. 研究成果

4.1 輝度コントラスト知覚閾値測定

輝度コントラスト知覚閾値の測定結果からは、まず偏心方位によりコントラスト知覚閾値が大きく異なるという従来報告されていたことと同様の傾向を確認した。しかし、周辺視へと偏心度が大きくなるにつれてのコントラスト知覚閾値の変化傾向は、従来想定されていたものと異なる部分があった。周辺視へと偏心度が大きくなるにつれて、知覚されにくくなるという変化傾向は従来想定されていたものであったが、従来のコントラスト感度関数モデルでは想定されていなかった中周辺視領域にてその変化が一度緩むことが観測された。

また、本研究で測定により得られた閾値から、偏心方位、偏心角、空間周波数を引数とする輝度についての視野の広範囲を網羅するコントラスト感度関数モデルを構築した。

4.2 コントラスト知覚像生成画像フィルタについて

周波数分解フィルタは再合成可能な画像分解をするという制約から設計が制限される。そのため周波数分解フィルタを用いては精細な周波数別コントラスト検出ができなかった。そこで、周波数分解フィルタとは別にコントラスト検出フィルタを本研究では導入した。二種類のフィルタ群を用いることで細かくコントラスト感度関数との閾値判定を行うことが可能となった。同様な目的で提案されている従来の画像フィルタ（周波数空間で理想に近い帯域分割を行うフィルタを用いて画像を周波数分解し、同じフィルタの応答値を用いてコントラスト感度関数による通過判定処理を行い画像再合成をする手法と、コントラスト感度関数を Magnitude Transfer Function(MTF)と見なして画像加工する方法の二種類）による結果と、本研究で提案した画像フィルタによる結果を比較することで、提案手法が従来よりもリンギングノイズを低減させ、また過剰なボケを生じさせないコントラスト知覚像生成手法であることを確認した。

4.3 リアルタイムレンダリングへの応用

上記の 2 項目に加え、多人数共有バーチャル空間のリアルタイム描画に向けた周辺視の視覚特性を考慮できる効率的な分散レンダリングを行うためのアーキテクチャの提案、コントラスト知覚閾値を考慮した三次元モデルの描画詳細度制御法についての提案も行った。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計2件（うち査読付論文　2件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　0件）

１．著者名 Naru Yamamoto, Shiori Ito, Kengo Ito, Suguru Saito, Keiji Uchikawa	４．巻 50
２．論文標題 3D CSF models in peripheral vision using Bezier functions	５．発行年 2021年
３．雑誌名 43rd European Conference on Visual Perception	６．最初と最後の頁 227
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/03010066211059887	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Shiori Ito,Suguru Saito,Keiji Uchikawa	４．巻 10
２．論文標題 Experiments for Measurement of Peripheral Contrast Sensitivity Function	５．発行年 2019年
３．雑誌名 i-Perception	６．最初と最後の頁 155
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/2041669519877985	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

〔学会発表〕　計24件（うち招待講演　1件／うちい国際学会　5件）

１．発表者名 北上晃太郎，齋藤 豪，内川惠二
２．発表標題 輝度CSF視野全域モデルに用いる補間手法の実測値による評価
３．学会等名 映像情報メディア学会技術報告
４．発表年 2024年

１．発表者名 北上晃太郎，齋藤 豪，内川惠二
２．発表標題 高偏心度周辺視野における輝度コントラスト閾値の測定と関数表示
３．学会等名 日本視覚学会 2023年夏季大会 抄録集
４．発表年 2023年

１．発表者名
北上晃太郎，齋藤 豪，内川惠二

２．発表標題
周辺視野における輝度コントラスト閾値測定と輝度コントラスト感度関数との比較

３．学会等名
VC+VCC2023

４．発表年
2023年

１．発表者名
吉井 碧人，北上 晃太郎，齋藤 豪

２．発表標題
偏心方位を考慮した視野全域におけるコントラスト知覚像生成手法の適用と評価

３．学会等名
VC+VCC2023

４．発表年
2023年

１．発表者名
吉井 碧人，北上 晃太郎，齋藤 豪

２．発表標題
輝度と色のコントラスト感度特性に基いたコントラスト知覚像の生成

３．学会等名
画像電子学会 VCWS2023

４．発表年
2023年

１．発表者名
Kotaro Kitakami, Suguru Saito

２．発表標題
Measuring luminance CSFs from the fovea to far peripheries

３．学会等名
Fall Vision Meeting（国際学会）

４．発表年
2023年

１．発表者名
Naoto Yoshii, Suguru Saito

２．発表標題
Real-time Polygon Subdivision Control Using SVM with CSF Filter

３．学会等名
Cyberworld 2022（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
Naoto Yoshii, Suguru Saito

２．発表標題
Polygon Subdivision Control Using SVM with CSF

３．学会等名
Nicograph International 2022（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
吉井 碧人 , 齋藤 豪

２．発表標題
コントラスト感度関数画像フィルタを用いたサポートベクタマシンによるリアルタイムなポリゴン分割制御

３．学会等名
VC+VCC2022

４．発表年
2022年

１．発表者名
齋藤 豪 , 伊藤 謙吾

２．発表標題
コントラスト感度関数画像フィルタの全天球画像への適用

３．学会等名
第 50 回画像電子学会年次大会

４．発表年
2022年

１．発表者名
北上 晃太郎 , 齋藤 豪 , 山本 成

２．発表標題
周辺視野の視界上側におけるコントラスト感度関数の測定とモデル化

３．学会等名
第 50 回画像電子学会年次大会

４．発表年
2022年

１．発表者名
北上晃太郎 , 齋藤 豪 , 内川惠二

２．発表標題
上側視野と下側視野における輝度コントラスト感度関数の測定

３．学会等名
映像情報メ ディア学会技術報告

４．発表年
2023年

１．発表者名
北上晃太郎 , 齋藤 豪 , 内川惠二

２．発表標題
視野全域の輝度コントラスト感度関数のモデル化

３．学会等名
映像情報メディア学会技術報告

４．発表年
2023年

１．発表者名
吉井 碧人 , 齋藤 豪

２．発表標題
Foveated Rendering のための コントラスト感度関数画像フィルタに基いた SVM によるポリゴン分割制御

３．学会等名
情報処理学会研究報告

４．発表年
2023年

１．発表者名 内川恵二
２．発表標題 色の恒常性と色覚メカニズム
３．学会等名 日本視野画像学会（招待講演）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Naru Yamamoto, Kengo Ito, Suguru Saito
２．発表標題 Constrast Sensitivity Function model with Bezier Surface in Peripheral Vision
３．学会等名 IEVC2021（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 伊藤 謙吾 , 齋藤 豪
２．発表標題 Gabor 関数の合成による等方的なバンドパスフィルタの提案
３．学会等名 Visual Computing 2021
４．発表年 2021年

１．発表者名 山本 成 , 伊藤 謙吾 , 伊藤 史織 , 齋藤 豪 , 内川 惠二
２．発表標題 周辺視を含む CSF の Bezier 関数を用いた 3 次元モデル
３．学会等名 Visual Computing 2021
４．発表年 2021年

１．発表者名 伊藤 謙吾 ， 齋藤 豪
２．発表標題 バンドパスフィルタとコントラスト感度関数を用いた画像フィルタ
３．学会等名 IEICE HIP 研究会
４．発表年 2022年

１．発表者名 伊藤史織 齋藤 豪 内川恵二
２．発表標題 周辺視野のコントラスト感度関数の測定
３．学会等名 報処理学会第 82 回全国大会
４．発表年 2020年

１．発表者名 伊藤謙吾 齋藤 豪
２．発表標題 DoG とガボール関数を用いた周辺視野特性を考慮した画像フィルタ
３．学会等名 映情学技報
４．発表年 2020年

１．発表者名 伊藤謙吾 齋藤 豪
２．発表標題 視覚特性に基づく画像フィルタの空間周波数成分処理に関する研究
３．学会等名 VCWS2019 画像電子学会誌
４．発表年 2019年

1．発表者名 Keiji Uchikawa, Masayuki Sato, Shoji Sunaga, Takuma Morimoto
2．発表標題 Estimating illuminant color in a shadow
3．学会等名 OSA Fall Vision Meetin（国際学会）
4．発表年 2018年

1．発表者名 鎰谷賢治，松本知久，永井岳大，内川惠二
2．発表標題 実物体の色・光沢統合質感の差の定量化
3．学会等名 日本色彩学会色覚研究会
4．発表年 2019年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	内川　惠二 (Uchikawa Keiji) (00158776)	神奈川工科大学・公私立大学の部局等・研究員 (32714)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関