

学位論文の要旨	
氏名	青木 謙二
学位論文題目	視覚シミュレータによる錯視の研究
<p>本論文は、視覚シミュレータの作成とその錯視への応用に関する研究の結果をまとめたものである。作成した視覚シミュレータを用いて、Müller Lyer の錯視、Mach Band の錯視、ヘルマン格子の錯視、同時対比の錯視の四種類の錯視図について、シミュレーションを行い、錯視発生のメカニズムについて考察した。その結果、本視覚シミュレータを用いて、これら四種類の錯視現象を再現できることを確認できた。これらのシミュレーションは全て一つのシミュレータを用い、同一のパラメータ値によって錯視現象を再現することができた。また、シミュレーションの結果から、これらの錯視発生の強弱は側抑制に関わる神経細胞の側方向の繋がり強度によって変化することがわかった。</p> <p>第1章を序論とし、本研究の背景を明らかにし、研究の目的および研究の概要を示す。本研究の最終的な目的は錯視発生のメカニズムを明らかにすることであるが、本論文では視覚シミュレータを構築し、第4章から第7章で述べる四種類の錯視図へ応用し、そのメカニズムについて検証することを目的とした。</p> <p>第2章では、過去の知見をもとに、錯視研究の歴史や錯視の分類方法について述べ、これまで行われてきた錯視研究を心理学的研究および生理学的研究、工学的研究の3つに分けて紹介する。</p> <p>第3章では、本研究のモデルに用いる視覚神経系（網膜および外側膝状体、一次視覚野）の神経回路構造や視覚情報の入出力関係について述べ、それらの神経細胞が持つ受容野について解説する。また、本研究で作成した視覚シミュレータのモデルの基となった外網膜の神経回路構造と信号の伝播経路について説明する。外網膜神経回路から等価な電気回路モデルを提案し、シミュレータのアルゴリズムおよび実装方法について述べる。さらに、錯視図でない一般的なサンプル画像を用いたシミュレーション結果を示し、シミュレータの動作結果および機能について述べる。</p> <p>第4章では、Müller Lyer の錯視図を作成した視覚シミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べる。また、心理評価実験の結果について述べ、シミュレーション実験の結果と比較する。さらに、シミュレータのパラメータ値と出力値との関係について述べる。Müller Lyer の錯視において、シミュレータで錯視現</p>	

象を再現することができた。また、心理評価実験の結果との比較から、シミュレーション結果が確からしい結果であることがわかった。側方向の結合度を決定しているパラメータの値を変化させることによって、錯視現象の現れ方が変わることがわかった。

第5章では、Mach Band 錯視図を視覚シミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べる。また、Mach Band錯視図のグラデーション幅を変化させたときの出力値の変化、およびシミュレータのパラメータ値を変化させたときの出力値との関係について述べる。さらに、これらの結果について考察する。Mach Bandの錯視のシミュレーションにおいては、Mach Band錯視現象を再現することができた。側方向のつながり強度に関するパラメータ値をいくつかの異なる値に変えてシミュレーションを行った結果、隣接する神経細胞間の側方向の結合度によって、Mach Band 錯視現象の現れ方が強くなったり弱くなったりすることがわかった。また、グラデーション部分の幅がMach Band 錯視現象の発生に影響していることがわかった。

第6章では、ヘルマン格子の錯視図を視覚シミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べる。また、シミュレータのパラメータ値を変化させたときの出力値との関係について述べる。ヘルマン格子の錯視のシミュレーションにおいては、ヘルマン格子の錯視現象を再現することができた。側方向のつながり強度に関するパラメータ値を変えてシミュレーションを行った結果、隣接する神経細胞間の側方向の結合度によって、ヘルマン格子の錯視現象が発生または消失することがわかった。

第7章では、同時対比の錯視図をシミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べる。また、シミュレーション実験の結果と心理評価実験の結果との関係について考察する。さらに、同時対比に分類されるコフカの錯視図をシミュレータの入力として与え、その結果を含めて同時対比について考察する。同時対比錯視についてもシミュレータで錯視現象を再現可能であった。しかし、心理評価実験が理想的な錯視を示さなかったため十分な評価ができなかった。また、心理評価実験の結果が示す値とシミュレーション実験の結果が示す値の量的な関係が不明であったため、心理評価実験結果とシミュレーション結果の量的比較はできない問題が明らかとなった。

第8章では、本研究で得られた結論を示し、さらなる今後の研究の展望を提起する。

論文審査の要旨

報告番号	理工研 第 335号	氏名	青木 謙二
審査委員	主査	中山 茂	
	副査	渡邊 睦	大塚 作一
<p>学位論文題目 視覚シミュレータによる錯視の研究 (Study on Visual Illusion with Visual Simulator)</p> <p>審査要旨</p> <p>提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は、視覚シミュレータの作成とその錯視への応用に関する研究について述べたもので、4種類の錯視図に適用し、そのメカニズムについて検証したもので、全文8章より構成されている。</p> <p>第1章を序論とし、本研究の背景を明らかにし、研究の目的および研究の概要を示した。第2章では、錯視研究の歴史や錯視の分類方法について述べ、これまで行われてきた錯視研究を心理学的研究および生理学的研究、工学的研究の3つに分けて紹介した。第3章では、本研究のモデルに用いる視覚神経系の神経回路構造や視覚情報の入出力関係について述べ、それらの神経細胞が持つ受容野について解説した。また、本研究で作成した視覚シミュレータのモデルの基となった外網膜の神経回路構造と信号の伝播経路について説明した。外網膜神経回路から等価な電気回路モデルを提案し、シミュレータのアルゴリズムおよび実装方法について述べた。</p> <p>第4章では、Müller Lyerの錯視図を作成した視覚シミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べた。また、心理評価実験の結果について述べ、シミュレーション実験の結果と比較し、シミュレータで錯視現象を概ね再現することができた。側方向の結合度を決定しているパラメータの値を変化させると、錯視現象の現れ方が変わることがわかった。</p> <p>第5章では、Mach Band錯視図を視覚シミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べた。また、Mach Band錯視図のグラデーション幅を変化させたときの出力値の変化、およびシミュレータのパラメータ値を変化させたときの出力値との関係について述べ、Mach Band錯視現象を概ね再現することができた。側方向のつながり強度に関するパラメータ値をいくつかの異なった値に変えてシミュレーションを行った結果、隣接する神経細胞間の側方向の結合度によって、Mach Band 錯視現象の現れ方が強くなったり弱くなったりすることがわかった。また、グラデーション部分の幅がMach Band 錯視現象の発生に影響していることがわかった。</p> <p>第6章では、ヘルマン格子の錯視図を視覚シミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べ、ヘルマン格子の錯視現象を概ね再現することができた。隣接する神経細胞間の側方向の結合度によって、ヘルマン格子の錯視現象が発生または消失することがわかった。</p> <p>第7章では、同時対比の錯視図をシミュレータに入力として与えたときのシミュレーション結果について述べた。さらに、シミュレーション実験の結果と心理評価実験の結果との関係について考察する。さらに、同時対比に分類されるコフカの錯視図をシミュレータの入力として与え、その結果を含めて同時対比について考察した。しかし、心理評価実験結果とシミュレーション結果の量的比較はできない問題を明らかにした。第8章では、本研究で得られた結論を示し、さらなる今後の研究の発展を提起した。</p> <p>以上、本論文は、視覚シミュレータによる錯視に関する研究で4つの錯視現象について検討を行い、これらの錯視発生の強弱は、側抑制に関わる神経細胞の側方向の繋がり強度によって変化することを、作成した視覚シミュレータを用いて概ね明らかにした。これは、今後のいろいろな錯視現象の更なる解明に大きく寄与すると期待される。よって、審査委員会は博士（工学）の学位論文として合格と判定する。</p>			

最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第 335号	氏名	青木 謙二
審査委員	主査	中山 茂	
	副査	渡邊 睦	大塚 作一
<p>主査及び副査2名で構成される審査委員会は、平成22年2月2日に学位申請者「青木 謙二」に対して、論文の内容について説明を求めた。これに引き続き、参加者を含めて質疑応答を行うとともに、関連事項について諮問を以下のように行った結果、いずれに対しても満足すべき回答が得られた。主な質疑応答は、以下の通りであった。</p> <p>質問1: 今回の研究は、視覚シミュレータと言うことで、網膜の生理学的な面を模擬して錯視現象を説明したというものだが、その実証方法が心理学的実験に基づいて行われている。生理学的知見と何か対応付けて説明できるとより説得力がますと思うが、そのようなアプローチは考えてみたか。</p> <p>回答1: 今回は考えていない。生理学的な知見との比較を行う必要があると考える。今回の心理学的な実験との比較によって、説明できる部分は生理学的な要因によるものであり、説明できないものが心理学的な要因を含んだものであると考えることができる。</p> <p>質問2: ミュラー・リヤーの錯視のところで、Rh (抵抗値) を変えた実験があるが、生理学的にみると何か対応付けできるものがあるのか。</p> <p>回答2: Rhはギャップ結合と呼ばれるものを模擬したもので、細胞同士が筒状のものでつながっている。生理学的には順応に関係していると言われている。順応状態によってその筒状のものが閉じたり開いたりすることによって、つながりの強さが変わってくるという知見がある。これにより、受容野の大きさが変わってくることから、Rhを変えることは順応状態を変え、受容野の大きさを変えらるることに対応している。</p> <p>質問3: 色のモデルを組み込んだ場合はどのようなようになるか。</p> <p>回答3: 色のモデルを組み込んで、基本的な錯視現象には影響しないと思われる。色の錯視を扱う場合にのみ関係がある。</p> <p>質問4: 時間経過を見ることによって面白そうなことは何か出てくるか。</p> <p>回答4: 動きの錯視がある。中央が縦に動いているものを見ていて、それが急に止まると周囲が逆方向に動いて見えるような錯視を再現できないかと考える。また、止まっている図形が、動いているように見える錯視もこのシミュレータに入力した場合にどのような結果になるか興味があるところである。</p> <p>質問5: Mach Bandのシミュレーション出力で、グラデーション部分の出力が単調増加となっていない部分があることの理由はなにか。</p> <p>回答5: 二つの要因が関与している。ひとつは計算過程での丸め込みによるものである。式に従い計算した出力値を実数から整数にするときに小数点以下を切り捨てている。もうひとつは、一層目と二層目の出力は単調増加になっているが、その差をとるとあるところでは単調増加にならない場合があることを確認している。</p> <p>質問6: ヘルマン格子について、シミュレーションの出力では白線部分が湾曲しているが、実際の感覚では一様である。これはどうしてか？</p> <p>回答6: 出力は明るさ的なものも表すし、エッジ的なものも含んでいる。このシミュレータではそれらを分離することはできない。境界部分の湾曲はエッジを現しており、明るさを現していないと考える。</p> <p>質問7: コフカの錯視に関して、バーがないときは現実的には差があるように見えないが、なぜバーがない時でも左右の灰色部分の出力に差が生じているのか。</p> <p>回答7: バーがない場合でも灰色部分の周りを囲んでいる黒または白色部分が影響し、左右の差が生じているものと思われる。</p> <p>など約11の質問に対して的確に答えた。</p> <p>以上の結果を受け、上記審査委員会は全員一致で、学位申請者は、大学院博士後期課程の修了者としての学力ならびに見識を十分に有するものと判断し、博士(工学)の学位を与えるに足る資格を持つと認めた。</p>			