

令和2年度  
修士論文要旨集

高知大学大学院

総合人間自然科学研究科

理学専攻

応用理学コース 情報科学分野

# 学習見守りデバイスを用いた家庭学習の習慣化・遂行支援システムの設計

応用理学コース 情報科学分野

溝口 啓太

国立教育政策研究所で毎年実施されている全国学力・学習状況調査では、家で自分で計画を立てて勉強している生徒は正答率が高い傾向にあることが示されており、家庭学習の習慣を身につけることは学力向上のために重要であると考えられる。しかしながら、家庭学習の習慣化は容易でない。同調査によると、小学生より中学生の方が、家で自分で計画を立てて勉強していると回答した生徒の割合が低くなっている。家庭学習の習慣化は家族による支援が難しく、学習塾や家庭教師がよく利用されているが、その料金は決して安くはない。また、学習塾や家庭教師の役割は、メンタリングなどによるモチベーションの支援より、学習内容の指導が主であるため、家庭学習の習慣化の支援が十分に行われているとは言い難い。家庭学習の習慣化支援に着目した先行事例には、見守りロボットを通じてメンターが家庭学習の支援・促進を行う学習塾のサービスがある。しかし、サービス利用のためのコストが非常に大きく、サービスの質がメンターの能力に依存することやプライバシーに関する問題が懸念される。

そこで本研究では、コストを抑え、プライバシーに配慮し、メンターの能力に依存しない均等な支援を提供する家庭学習習慣化支援システムの構築を目的とする。本システムは、スマートスピーカーをベースとした学習見守りデバイスを用いて、家庭学習の習慣化支援を学習習慣化支援（学習計画を立て、計画で予定した時間に学習を始める習慣がつくようにする支援）と学習遂行支援（学習を開始した後、最後まで集中して学習を進められるように仕向ける支援）の両面で行う。本見守りデバイスは、ロボット型にしないことによりコストを抑え、カメラを搭載しないことによりプライバシーの問題を解決している。また、本システムでは、見守りデバイスが学習者への声かけを行うため、メンターの雇用を必要としない。

本システムによる学習習慣化・遂行支援は、学習者が帰宅した際に、学習見守りデバイスが「お帰りなさい」のように声かけを行うことから始まる。そして、Voice User Interface による学習者との対話を通じて、学習計画を立てることを促す（学習習慣化支援）。例えば、学習者にやるべき宿題などを思い出させ、それらにかかる時間の予測や行う順序を考えさせる。学習者が学習を開始した後は、計画通りに学習を進められているかチェックし、適宜声かけにより学習を促す（学習遂行支援）。例えば、予定していた学習終了時間に「終わりましたか？」というような声かけを行い、終わっていなければリスケジュールを学習者にさせて、いつまでに終わらせるか目標を立て直させるなどを行うことで学習をやり遂げることを支援する。

基本的にはシナリオを元に声かけを行うことで支援を進めていくが、ここで重要となるのが、学習者の状況把握や特性の推定である。センサー類を用いて学習者の着席状況・筆記状況等の把握や、忘れっぽい・集中力が続かない・自分の能力を過大評価あるいは過小評価しがち等の特性の推定ができれば、状況に応じて学習者の特性に合った声かけが可能となる。例えば、学習計画を立てさせる際に、忘れ物の多い特性を持つ学習者には「他にやらないといけない宿題はないの？」のような声かけを行う、あるいは自分の能力を過大評価して学習時間の延長をよく行う学習者には「もう少し時間を長めに取ってみたらどう？」のような声かけを行うことができる。このような声かけは、学習者からすると指摘や批判を受けたと感じる内容となっている。そのため、学習者が気分を害してモチベーションを下げてしまわないよう、指摘を伴う声かけは慎重に行う必要がある。そこで、指摘の際に考慮すべき要素（説明を含める、想像を促す、先に肯定を示す等）を整理し、要素の組み合わせパターンに沿うだけで容易に声かけ文のバリエーションを増やすことができる枠組みを設計した。しかし、これにより声かけ文の種類を増やしたとしても、学習者に合った声かけ文を選択できるようになるためには、声かけに対してリアルタイムに評価が行えなければならない。そこで、即座に声かけの反応を伺うために、学習者からの応答の音声を感情分析にかけることにより声かけの仕方がよかったかどうかを判定する機能の提案・設計を行った。この判定機能の実現可能性を確認するため、音声の感情分析の検証実験を実施した。

# 多層ニューラルネットワークの ワンチップ化に向けたハードウェア実装に関する研究

応用理学コース 情報科学分野

萱嶋 彬 宏

画像認識の分野において、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network, CNN) を利用した手法はそれ以前の手法と比べ高い認識率を示した。この手法を、自動運転支援システムのような限られた時間内にすばやく認識結果を得る必要のある分野へ応用するには、高い認識率に加えて高い瞬時応答性も要求される。そのためには、従来のクライアントサーバモデルに代表されるメインデータ処理部とカメラセンサ部に分離する形態より、カメラセンサ部と物理的に近い場所で一定のデータ処理を行える方が望ましい。現在、CNN の利用した画像認識を実行するプラットフォームとして選択されるのは市販されている一般的なコンピュータシステムが多い。また、CNN の推論計算過程で多量の積和演算を行うことから、CPU(Central Processing Unit) よりも多数の演算コアを持つ GPU(Graphics Processing Unit) も計算アクセラレータとして活用されている。CPU や GPU は汎用的で柔軟なデータ処理を行えるという優れた特徴を備える一方、所望の計算処理以外の多くのタスクも実行しており、必ずしも瞬時応答性に優れたデータ処理装置であるとは限らない。また重量のある電源モジュールや大型のヒートシンクも必要となれば、小さなカメラセンサ部に併設することは物理的に難しい。

本研究では、CNN の推論計算に FPGA(Field-Programmable Gate Array) と呼ばれる電子デバイスを利用することで、瞬時応答性に優れたコンパクトな画像認識システムの実現を目指した。FPGA は、一般的な CPU と異なり設計者が内部の回路構成を自由に変更できる電子デバイスである。この特徴を利用して、推論処理に最適化した独自の演算回路を構成、配置することで効率的で計算処理の実現が可能である。実装対象とした CNN は、全 5 層で構成され比較的小規模なネットワークとして知られる LeNet-5(Y. LeCun et al.,1998) を選択した。推論処理の基本的なアルゴリズムである畳み込み、プーリング、全結合の演算処理の効率的な FPGA への実装方法について検討し実装した。具体的には、CNN における膨大な積和演算を、FPGA 内の専用回路として実装し、畳み込み層で最大 150 個、全結合層で最大 120 個並列に配置することで、計算効率の向上を図った。CNN の多量の演算処理のワンチップに収めることが主目的であるため、CNN の学習フェーズは FPGA 機能に含めていない。学習済みの CNN パラメータを FPGA 内に読み込んでおいて、 $32 \times 32$  ピクセルの手書き文字の認識フェーズのみの実装に限定した。結果として、30 万個程度の Flip-Flop、1kB 程度の内蔵 RAM、800 個程度の DSP を含む消費電力当りの性能を重視した中規模の FPGA 上の回路リソースの 80% を使用することで LeNet-5 の認識機能の実装に成功した。開発環境上で消費電力を解析した結果は 1.8W だった。

今後の課題と展望として、(1) 計算負荷のより重い学習フェーズのハードウェア化、(2) 学習パラメータの動的な更新機能、(3) 高速な画像入力と認識結果出力を可能にするインタフェース機能の追加、が挙げられる。

# 競技向けゲームにおける個人適応型練習方法推薦手法の開発

応用理学コース 情報科学分野

河邊 倫

近年の esports 産業は急速な発展を遂げつつあるが、日本における esports は未だ馴染みが浅く、スポーツという文化としては発展途中にある。文科省がスポーツ政策について示した文書には、スポーツの文化的な発展には、「スポーツをする人、観る人、支える人の重視、連携・協働の推進」が重要であり、その生態系を構築してゆく必要があると記されている。しかし、人気のある競技性の高いゲームは、いずれも技術と知識が必要であり、初心者が独学で渡り合っゆくことは難しい。実際、競技性の高いゲームは、一般プレイヤーが非常に多く、プロの前段階であるアマチュア競技プレイヤーの数が少なく、生態系の構築が正常に行われているとは言い難い。一般的なスポーツはコミュニティに属するところからスタートし、目標を共有するチームメイトやコーチ等が存在するが、一人で始め、一人で続けることの多い esports は、技術を身につけるための知識を共有し合う相手が不足しがちであり、esports の練習支援には、指導者が必要とされていると言える。

本研究では、一般的なゲームプレイヤーがオフライン大会等に参加するための技術や自信をつけさせることを目的としている。そして、プレイヤーの癖や性質を元に、それらの改善点を指摘するような、指導者の代わりとなる練習支援システムの開発を目指す。先行研究では、テトリスを練習支援の対象とするゲームとし、中でも、40 列を消去する時間を競うという競技のプレイログから、プレイヤー個人の癖や性質をより具体化した“プレイヤー特性”の推定・可視化を行うシステムを試作し、いくつかの特性を推定・可視化を行うことができた。本研究では、プレイヤー特性から特性に合わせた適切な練習方法を提供することを目標とし、個人適応型練習方法推薦手法を開発した。この推薦手法により、例えば、ピースの積み方が不安定で、タイムの振れ幅が大きいという特性を持つ被験者に対し、正しい積み方を覚える練習方法の提案を行うことができる。本修士論文では、開発した練習方法推薦手法と技能練習アプリについて解説する。また、本推薦手法により「実際にプレイヤーへ練習方法の推薦が行えるかどうか」や「推薦した練習方法が効果的であったか」を確認するために行った実験の結果と考察について述べる。

今回行った実験は、9 人の被験者に対してテトリスをプレイさせてログを集めた後、全員に特定の技能練習を行わせ、練習前と練習後のプレイログを比較するというものである。実験前に初心者向け・上級者向け用練習をそれぞれ 2 種類ずつ想定し、どのプレイヤーがどの練習を行うと効果があるかを開発した推薦手法を用いて予想した。その上で、被験者全員に同じ「ピースの回転方向の使い分けを練習する」技能練習を行わせた。なお、この練習方法は上級者向けの練習として想定されているものである。

実験後にプレイログを精査したところ、回転方向の使い分け練習では、全被験者の中でも最もテトリスに熟達した被験者しかタイムは向上しなかった。他の被験者は、回転方向の使い分け自体には上達が見受けられたが、タイムの向上には繋がらなかった。その原因は、ブロックの配置ミスや盤面の組み方など、回転方向の使い分けよりも基礎的な技術が十分な水準に達していないためであった。被験者らはそれらの要因に気を取られたことによって、タイムが伸びなかったことがプレイログから分かった。以上の結果より、事前に予想していた「ピースの回転方向の使い分けを練習する」という技能練習が、ある程度基礎的な技術を持つ上級者向け練習であるということが正しいと分かった。また、今回行わなかった他の練習方法についても、実験によって得られたプレイログから、それぞれの練習方法が適切な特性を持つ被験者が存在していることが確認できた。

# 保存された計算機合成ホログラムからの高精細な三次元動画再生と電子ホログラフィによる三次元描画に関する研究

応用理学コース 情報科学分野

鈴木 康平

ホログラフィは三次元物体からの光の波面を忠実に記録・再生できる技術である。コンピュータによって作られた計算機合成ホログラム (CGH) を空間光位相変調器 (SLM) に表示し、光を照射することで空中に三次元物体が再生される。この技術は電子ホログラフィと呼ばれ、「究極の 3D テレビ」になると考えられる。本研究では、保存された CGH からの高精細な三次元動画再生と電子ホログラフィによる三次元描画装置の開発を行った。

保存された CGH からの高精細な三次元動画再生は、リアルタイム計算が困難となる膨大な物体点からなる三次元物体の動画再生を目的とする。高精細な三次元動画再生を実現するため、時空間分割多重法を用いた。この手法は、元の三次元物体を分割し、得られたすべての物体に対して作成された CGH を SLM に次々と表示する。残像効果によって視覚的に補間され、高精細な三次元物体が再生される。1 枚の CGH に記録される物体点数が減ることにより、再生像の画質劣化が低減される。しかし、この方法を動画に適用すると、フレーム数は分割数に比例して増加する。高速な CGH 再生が必要となる。本研究では、各フレームにおいて三次元物体を 6 分割し、分割された物体から作成された 6 枚の CGH を用いる。これらの CGH は、パッキング処理によりデータ量が低減され、SSD に保存される。保存された CGH データは SSD から高速に読みだされ、アンパッキング処理により 6 枚のバイナリ CGH が復元される。ここで、復元された 6 枚のバイナリ CGH を SLM 上に高速表示する必要があるため、デジタルマイクロミラーデバイス (DMD) を用いた。GPU により 6 枚のバイナリ CGH から 1 枚のカラー CGH 画像を作成し、DMD に出力する。DMD は、入力されたカラー CGH 画像から 6 枚のバイナリ CGH を生成し、リフレッシュ時間内にすべてを表示する。最終的に、SSD に保存された CGH から 100 万点で構成された三次元物体の高精細な動画を 60fps で再生することに成功した。

また、ホログラフィックプロジェクタを用いて壁や天井をはじめ様々な立体物に指先の動きに合わせて自由に描画できる装置を開発した。ホログラフィックプロジェクタはレンズを用いることなく、任意の距離に置かれた複数の三次元物体に焦点のあった映像を投影することができる。指先を深度カメラで捉え、取得した指先の位置座標データから CGH を作成する。しかし、CGH の計算は膨大であるため、CGH 計算を効率的に行わないと、指先で描画している途中で計算が間に合わず指先の軌跡を投影することができなくなる。そこで、本研究では、一定時間の間に取得した指先の位置座標のみ CGH 計算を行い、その CGH 計算結果の値を GPU 上のメモリに保存する。GPU 上のメモリに保存された過去の CGH 計算結果に、新たに CGH 計算した値を加え、SLM に再生する CGH を作成する。このようにすることで、指先の動きに合わせてリアルタイム描画を実現した。なお、共役像を除去するため位相ホログラフィを用いた。また、昨今の新型コロナウイルスの流行により、遠隔コミュニケーション支援システムの需要が急増していることから、遠隔から指先で描画できる装置も開発した。

## ホログラフィを利用して光の強弱で復号する 3D 視覚暗号

応用理学コース 情報科学分野

高澤匠

視覚復号型秘密分散法（以下、視覚暗号）は画像暗号化方式の一種である。原画像を視覚暗号により暗号化すると複数の暗号画像が生成される。一つ一つの暗号画像からは原画像の情報を全く得られないが、複数の暗号画像を重ね合わせると原画像が視覚的に復号される。原画像が二次元画像であれば暗号画像も二次元画像となる。実際の運用では、あらかじめ暗号画像を透明なシート等に印刷しておき、そのうち複数枚のシートを重ねることで原画像が視覚的に復号される。

視覚暗号は共通鍵暗号や公開鍵暗号のように鍵を用いる暗号化方式ではないため、鍵の紛失による情報漏洩の心配がない。また、ひとつの暗号画像が盗まれたとしても原画像の情報が漏洩しないため、暗号画像を別々の場所に保管することで情報漏洩リスクを低減できる。さらに、シートを重ねるだけで復号できるため復号時に計算機が不要であり、計算機に不慣れであったり使用できない状況であったとしても利用可能な暗号方式として期待されている。

1994年に Naor と Shamir によって初めて提案された視覚暗号は  $(k,n)$ -視覚暗号と呼ばれる。原画像を  $(k,n)$ -視覚暗号により暗号化すると  $n$  個の暗号画像が生成される。そのうち任意の  $k$  個を何らかの方法で重ね合わせると復号できるが、 $k-1$  個以下の暗号画像を重ね合わせても原画像の情報を得ることはできない。

Naor と Shamir によって  $(k,n)$ -視覚暗号が発表されて以降、様々な視覚暗号方式が提案されているが、実際の運用時における復号方法の研究は少なく、透明シート等を重ね合わせる方法など、原画像が二次元画像である場合を想定したものに留まっていた。原画像が三次元画像である場合、暗号画像も三次元画像となるが、それらを物質的・物理的に表現して現実空間上で重ね合わせる方法までをも含めた視覚暗号方式（以下、3D 視覚暗号）はこれまで考えられていなかった。

二次元画像は透明シート等へ印刷すれば重ね合わせることができるが、三次元の暗号画像の一つ一つを 3D プリンタで出力し重ね合わせようとしても互いにつぶかかってしまう。そこで、本研究では、光が現実空間上でぶつからずに重ね合わせることが可能であることに着目し、三次元の暗号画像の一つ一つをホログラフィで表示し重ね合わせることで視覚的に復号する 3D 視覚暗号を提案する。

従来の視覚暗号では、暗号画像を重ね合わせたときに黒いピクセルが多い部分は黒く見え、少ない部分は相対的に白く見えることを利用して視覚的に復号する。本研究の提案手法では、光は重なると明るくなるという特性に着目し、光が一点で重なり明るくなっているか否かによってその位置にピクセルが存在するか否かを視覚的に認識させることにより復号する。

提案手法の有効性を検証するため、電子ホログラフィシステムを用いた実験を行った。 $k=2$ ,  $n=2, 8, 16$  について  $(k,n)$ -3D 視覚暗号によって生成された 2 つの暗号画像を交互に高速に表示させ、残像効果により疑似的に重なり合った像を撮影したところ、視覚的に復号されることを確認できた。また、光の強弱で復号することにより、復号時のコントラストが  $n$  の値によらず一定となることがわかった。黒いピクセルの多少によって復号する従来の視覚暗号では  $n$  が大きいほど復号時のコントラストが悪くなり見えづらくなることが知られていたが、提案手法はこの問題を解決する初めての手法である。

## 音響装置を用いた視覚障害者への情報提示 – 移動する対象者への応用事例 –

応用理学コース 情報科学分野

竹内 佑理子

本研究室では、64個のスピーカをアレイ状に配置した“スピーカアレイ”を用いて音を用いた視覚障害者向け情報提示装置の研究を進めてきた。2019年度奥宮は、対象者が動かない場合に音像を移動させることで動的情報を感じられるのかの検証を行なった。本研究では、逆に対象者が動いている場合どのように感じられるのかを実験し音による情報提示の可能性を検証した。対象者が動いている具体的応用例として「新体力テスト」の中の往復持久走である20[m]シャトルランに着目した。これは、視覚障害者は「新体力テスト」で健常者と比べて視覚情報がないことにより不利な種目があるためである。

視覚障害者にとって反復横とび、20[m]シャトルラン、長距離走の3つが特に不利であると考えられる。俊敏性の測定項目の反復横とびは、1[m]間隔で床に示された3本線を視覚で確認してサイドステップする必要がある。反復横とびを測定項目から外したり、座位ステップングやバーピーテストに置き換えて測定されている事が多く、得点合計の算出や総合評価ができない。また、20[m]シャトルランや長距離走も同様に、視覚情報が無いため伴走者やコーラー(補助者)が必要になる。また、真っ直ぐ走っていない場合、実際よりも走る距離が長くなることも考えられる。

シャトルランを行うには、20[m]を走る残り時間と走る方向、走っている距離と自分の位置の3つの情報が必須である。晴眼者は、20[m]を走る残り時間をペース配分の為のドレミ音源で、走っている方向や距離と自分の位置を目視で確認する事ができるが、視覚障害者はシャトルランの走る残り時間を示すドレミ音源、走る方向を教えてくれるコーラー(補助者)の声、走っている距離や自分の位置を教えてくれる伴走者の声の3つを同時に聞き取る必要がある。複数の音を同時に聞くことの困難さの想像は容易である。

本研究では、当研究室で用いてきたダイナミックスピーカの“スピーカアレイ”と、パラメトリックの指向性スピーカの“超音波スピーカ”を新たに追加し、“スピーカアレイ”を等間隔に片側のみ配置するパターン、パラメトリックの“超音波スピーカ”を等間隔に片側のみ配置するパターンと中心部分で3方向に向けて片側のみ計3パターンの配置を考案し、走る残り時間を示すドレミ音源で残り時間だけではなく、自分の位置もスピーカを切り替えることによって表現することを検証した。また、片側のみであるのは、被測定者がスピーカに当たることを避けることと、スピーカ同士をつなぐケーブルで足を引っ掛けて怪我するのを防ぐためである。

本研究室で用いていたダイナミックスピーカの“スピーカアレイ”は広い範囲に音声を届けるため、20[m]シャトルランで移動する際に自分の位置を把握しずらく、パラメトリックの指向性スピーカの“超音波スピーカ”を新たに導入した。超音波スピーカは、指向性が強く、限定された範囲でのみ被測定者に音が届きやすい為である。また、20[m]シャトルランは一般的に体育館などの屋内で行われるのが一般的であるため、超音波スピーカの音声が壁に反射することにより、スピーカは片側のみ配置しているが、置いていない側の壁からの音の反射で両側から聞こえるためより位置が分かりやすいのではないかと推測した。

実際に本研究室のゼミ生に視覚障害ゴーグルを用いて擬似的な全盲状態で前述の3パターンで評価実験を行い比較したところ、超音波スピーカを等間隔に片側のみ配置するパターンが一番自分の場所が分かりやすいとの良好な結果が得られた。しかし、自分の位置はわかるがどこまでが20[m]のラインなのか分かりにくいと言う新たな問題点も発覚した。

# A Study of Temperature Estimation Models using A Tiny Neural Network and Strange Attractor

応用理学コース 情報科学分野 HUIDONG TANG

According to the White Paper on Information and Communications in Japan, recent years have seen Japanese society reach Society 5.0. Smart grids, one of the goals of Society 5.0, are being investigated in terms of their role in improving energy efficiency via energy distribution optimization. They quantify the energy in power grids and transmit power from surplus areas to demand areas, which necessitates the prediction of power consumption. However, challenges arise in such predictions because power demand may increase or decrease depending on highly correlated environmental factors such as temperature. Therefore, electricity demand estimation depends on maximum temperature (i.e., electricity demand is considered the maximum power consumption in any season). Hence, the ability to predict hourly temperatures would considerably reduce power consumption.

Traditionally, scientists have based their daily temperature approximations on simple statistical methods and long-term computer simulations. However, they have focused their predictions only on maximum temperatures but not hourly temperatures, as temperature is part of a complex system that follows fluid dynamics. Scholars have proposed several neural networks to forecast the weather. These show the lack of a round-the-clock hourly prediction technique via a small neural network that may be useful for small local power companies. Although several small-scale neural networks have been suggested, they only estimate maximum and minimum temperatures. Thus, to determine the exact amount of electricity demand, predicting temperature transitions over time is crucial. Therefore, we proposed a small-scale neural network for forecasting temperature variations. We applied this system in five representative Japanese cities and achieved high accuracy, with errors ranging from 1.62% to 3.24%, but a rather wide error variance between cities.

In other fields, the stability of nonlinear systems has been studied using stock analysis, particularly range limitations of price movement, and some unconventional attractors have been identified that are known to affect price predictions. These researchers found similarities between attractor bursts and the volatility clustering of empirical financial time series, which make it possible to predict rapid stock price changes by observing attractor bursts. Our work described a novel temperature prediction method that combined a small neural network and attractor behaviors. Our small neural network mainly predicted stable temperatures, and our attractor behaviors detected temperature fluctuations. The results of our yearly experiments in five major Japanese cities showed that this method can accurately predict temperatures in the country.

To verify our scope of application, we conducted additional experiments in 12 cities worldwide, whose further results validate the usefulness of our method.

This whole research is about temperature estimation over time using a tiny neural network and strange attractor to achieve one of the goals of Society 5.0-smart grids. The author earnestly believes that the research findings would contribute to the realization of Society 5.0.



# グルーピングによって計算効率化した 階調表現可能なリアルタイム電子ホログラフィに関する研究

応用理学コース 情報科学分野

野口蓮

ホログラフィは三次元物体から発せられる物体光を忠実に記録・再生できる唯一の技術である。視覚疲労が生じず、三次元像を様々な角度から見る事が可能となる。この技術をコンピュータによって電子化した技術が電子ホログラフィである。ホログラムは三次元像を記録・再生するための媒体であり、コンピュータ上でのシミュレーションにより得られたホログラムを計算機合成ホログラム (CGH) と呼ぶ。電子ホログラフィは、“次世代の 3D テレビ” として期待されている。しかし、3D テレビに欠かすことのできない階調表現を電子ホログラフィで実現することは容易ではない。階調表現性を向上する方法として、パルス幅変調方式, DBS (Direct Binary Search) 法, 誤差拡散法が提案されている。しかし、光源の調整や反復計算を必要とするなど、実用化に向けての課題が存在する。

当研究室では階調表現性を向上させる手法として、複数の重み付きバイナリ計算機合成ホログラム (BW-CGH) をビットプレーンとして用いる手法を提案している。BW-CGH とは灰色と黒色で描写した振幅型バイナリ CGH である。灰色の階調値を変えることで、光の透過率を容易に変えることができる。光の透過率を変えることでバイナリ CGH から再生される三次元像は明るさの異なるものが再生される。光の透過率の異なる複数のビットプレーンを時分割で高速に再生すると、それぞれから再生された三次元像が残像効果によって重なって見る事ができる。このようにして階調を持つ三次元像を再生する。BW-CGH により、光源の明るさを変えることなく再生像の明るさを容易に調整できることが、本手法の大きな利点である。そのためカラー再生に応用すると、光源の明るさを変えることなく色調を変える事が可能である。電子ホログラフィによる再生像の色調補正に役立つものと考えている。

しかし、複数の BW-CGH を作成する際に課題が存在する。これまでは、三次元物体を構成する物体点をビットプレーンに割り当てていた。割り当てられた物体点の位置座標から、ビットプレーンとなる BW-CGH を計算により作成していた。そのため、同じ物体点が複数のビットプレーンに割り当てられることが多く、同じ物体点の計算が重複して何度も行われ、余分な計算時間を要していた。

本研究では、この重複計算を除去し、効率よく複数の BW-CGH を計算する方法を提案する。重複計算を除去するため、三次元物体を構成する物体点を輝度ごとにグループ分けする。グループ毎に、割り当てられた物体点から CGH に照射される物体光の強さを計算する。計算された値は、そのグループの輝度値によって、該当する複数のビットプレーンに渡される。この処理が、すべてのグループに割り当てられた物体点に対してなされることで、最終的に、ビットプレーンとなる BW-CGH のすべてが作成される。これにより、すべての物体点の CGH 計算は 1 度で済むこととなる。

提案手法をマルチ GPU クラスタシステムへ実装し、階調を持つ三次元物体のリアルタイム再生を行った。使用したシステムは、1 台の CGH 表示ノードと 4 台の CGH 計算ノードから構成される。CGH 表示ノードは、BW-CGH を表示する空間光変調器に接続した GPU を 1 つ搭載する。各 CGH 計算ノードは、それぞれ 3 つの GPU を搭載する。なお、GPU に NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti を用いた。その結果、1 枚の振幅型バイナリ CGH の計算時間の約 1.1 倍の計算時間で 3 枚の BW-CGH を計算することができた。これにより、8 階調を持つ 184,320 点からなる三次元物体のリアルタイム動画再生に成功した。

また三次元物体の点数が多くなるとバイナリ CGH の画質が劣化することが知られている。本研究においても、再生された像は画質が劣化した。そこで、さらに、高精細化を目的とした時空間分割多重法を適用した。三次元物体を複数に分割し、それぞれの CGH を作成し、再生する。1 枚の CGH に割り当てられる物体点数は抑えられるため、画質の劣化が低減される。最終的に、高精細化を目的とした時空間分割多重法とマルチ GPU クラスタシステム、BW-CGH を組み合わせ、8 階調を持つ 184,320 点からなる三次元物体の高精細なリアルタイム動画再生に成功した。

# リアルタイム画像解析システムに向けた 低遅延なコンピュータネットワークインタフェースに関する研究

応用理学コース

情報科学分野

三橋 拓郎

近年、高いリアルタイム応答性を求められる自動車の運転支援システムをはじめ、動画像の高速なエンコーディングとデコーディング、高スループットを要求される大規模データベースシステムなど様々な分野で FPGA (field-programmable gate array) と呼ばれる電子デバイスが利用されている。FPGA は、コンピュータの主要データ処理部である CPU (central processing unit) に類似したデータ処理を行うことの多いデバイスであるが、内部回路構成のあらかじめ決められている CPU と比べて、ユーザが独自に FPGA 内の回路構成を変更可能であるという特徴をもつ。この特徴を利用して従来ソフトウェア機能として実現されている計算やデータ処理の一部を、所望のアプリケーションに応じて最適化された専用のデータ処理回路に置き換えることで、従来システムのさらなる高性能化や小型化または省電力化といった性能向上を期待できる。

本研究では、コンピュータ間を有線接続するための主流規格であるイーサネット（いわゆる一般的に普及している有線 LAN）と FPGA を直接接続することで、高速なリアルタイム画像解析システムに向けた低遅延なネットワークインタフェース機能の検討と試作を行った。データ通信機能モデルにおける低レイヤ層の通信単位であるイーサネットフレームを直接取り込み、フレーム内に含まれている画像データを取り出して加工し、結果を返信するまでの一連のデータフローを FPGA 内のデータ処理パイプラインとして回路実装した。多機能かつ複雑なソフトウェアスタックや OS (operating system) 機能を媒介させずに直接カメラやセンサから画像データを処理することにより、低遅延かつ高速なネットワークインタフェース機能の構築を目指した。また、画像データバッファとして使用した SDRAM (synchronous dynamic random access memory) のインタフェース機能も回路実装した。

動作テストと評価実験のため、画像処理機能として平滑化フィルタ並列処理機能、ならびに VGA 規格のディスプレイ表示機能を、それぞれ専用回路として実装した。市販されている 2 台のコンピュータ間の通信処理時間と FPGA 対コンピュータ間での通信処理時間を比較し、試作したネットワークインタフェースの低遅延な応答性能を示した。また、別の評価実験として、ムービーカメラでリアルタイムに取り込んだ動画データを有線ネットワーク経由で FPGA が受信し、FPGA から直接ディスプレイに表示させる、といった動作も確認することができた。

以上の結果として、FPGA デバイスを利用した低遅延なネットワークインタフェースシステムを試作し低遅延な応答性能を示すことが出来た。また、撮影したリアルタイム動画データの画像処理動作を確認しある程度の実用途に応用できるだろうことも確認できた。今後の課題として、本ネットワークインタフェースのより実践的なアプリケーションへの適用が期待される。