
人工知能・IoT 研究部門

2021年度活動サマリー・研究成果・業績リスト

人工知能・IoT研究部門

(部門長)

山田哲靖 教授

(副部門長)

土屋 健 准教授

(部門研究員)

広瀬 啓雄 教授

水野 秀之 教授

橋本幸二郎 講師

木通秀樹 客員教授

人工知能・IoT 研究部門 活動サマリー

【1】 高齢者の情報取得支援とリスク診断に関する研究

高齢者にとって聞き取りやすい音声の生成方法の確立を目的として、高齢者にとって聞き取りやすい音声の特徴を分析し、次に得られた特徴に基づいて文章全体または文章の一部の内容に応じて韻律の制御を行なう高齢者向けの韻律制御方式を実現することで高齢者の情報格差を補償することが期待できる。

【2】 歩行解析による転倒リスク予測に関する研究

歩行動作からの転倒リスクの予測とシミュレーションに基づく将来の転倒動作の予測を目的として、これまで患者の歩行機能を簡易的に判断する方法の一つとして用いられてきた Timed Up & Go Test と呼ばれる歩行開始から終了までの経過時間で患者の状態を判断する診断方法に基づいて、可搬型のモーションキャプチャデバイス kinect 等のセンサを用いて歩行時の特徴を詳細に抽出する。また筋力や BMI 等の身体所見も含めて転倒記録との相関から転倒リスクに関係する特徴を同定する。さらにそれらの特徴に基づく予測モデルを構築し転倒リスクの推定を行う。さらに得られた歩行動作記録から歩行動作を司る主要な筋肉の筋電位を逆算することにより筋肉の衰えや使い方の癖を抽出し、将来起こりうる転倒の動作予測を行う。

【3】 分散ノードの協調による機械学習モデル構築を実現する情報基盤に関する研究

Web サービスで取得される情報、サーバログなどを対象としたテキスト情報の機械学習の高度化実現に向けて、本研究代表者はこれまでに分散データ学習による特徴モデル構築手法を明らかにしている。しかし、これら提案手法は、分散する全ての特徴モデルの結合を前提とし、この環境で従来のデータ集積型との性能比較による有効性のみを示していた。つまり、モデル結合の過程における処理タスクへ波及する性能変化、効率性については言及していない。本年度では、特徴モデルの結合において、処理タスクの特性に適応した特徴モデル結合手法を検討し、構築する特徴モデルの最適化を実現するための手法の検討を行なった。具体的には、結合対象となる特徴モデルの逐次的に選定と結合、サンプルデータによる評価、結合を判断するアルゴリズムの検討評価と、提案手法を効率的に実現する類似性に基づく特徴モデルの管理手法について明らかにしている。

【4】 Head Mounted Display を用いた作業支援システムの支援挙動自動生成アルゴリズムの開発

計算機の修理を担う工場では、数十種類以上の計算機を扱う。そして、人材不足の影響により、その修理作業を一人で担う企業も存在する。この場合、作業には熟練が伴い、初心者には作業を任せることができない。それ故、HMD による作業支援システムは有効に働くと考

えられるが、修理工程は何パターンも存在することから、上述した支援挙動設計の負担問題が浮上する。それ故、本研究では、ノート PC の修理作業を対象とした作業支援挙動の自動設計アルゴリズムを開発する。

【5】 実運転行動データを用いたドライバの認知機能検査システムの開発

高齢化社会に直面している日本では、高齢ドライバによる交通事故が問題視されている。事故の主な要因は加齢に伴う認知能力の低下によるものであり、能力低下の早期発見が急務とされている。能力低下の発見には、認知能力の定量的評価手法が必要であるが、ゴールドスタンダードな評価方法が確立していない。認知機能評価に関する研究が様々なアプローチで行われている中、ドライビングシミュレータを用いた検査方法は、安全面やコスト面等、様々なメリットがあり、実際に自動車学校でも導入されている。しかし、運転空間や自動車挙動に実際との乖離がある、短時間評価、ゲーム感覚となり危機感がない等、実際の運転行動を評価しているとは言い難い。そこで実際の運転行動データからドライバの認知機能を評価する技術開発に取り組んでいる。

【6】 深層学習に基づくペットボトル欠陥検出アルゴリズムの開発

製造現場において、欠陥品を自動で検出するシステムとして画像検査システムが導入されている。従来からルールベースな画像認識技術を用いており、綿密なルール設計を通じて高精度な欠陥検出を実現している。しかし、現在は消費者のニーズの多様化かつ変化が著しく、その変化する製造物に対しては対応が困難となっている。

一方、Convolutional Neural Network (CNN) の登場により画像認識問題はルールベース方式から深層学習ベースにシフトした。これに伴い深層学習方式の画像検査システムが実用化されつつある。この方式では、予め用意した製造物の正常品と欠陥品の画像群を学習データに用いて欠陥品の判定器を学習する。欠陥の明確な定義やルール設計が不要となり、製造物が変わっても学習データの収集さえできれば対応した欠陥検出システムが構築できる。しかし、欠陥品はめったに作られず、学習データを収集することが難しい。

上記の問題の解決は、深層学習ベースの欠陥検出システムの実用性を高める。以上から本研究では、深層学習ベースの欠陥検出アルゴリズムを開発することを目的とする。今年度はスタートアップとして、欠陥品画像を必要としない教師なし学習に基づくアルゴリズムと自己教師あり学習に基づくアルゴリズムを実証し、その有効性と問題点を明確にした。

【7】 減災を目的としたシミュレータ連携基盤の開発とその活用

この研究は、オープン減災プラットフォーム「ARIA」に関する研究開発プロジェクトの一部として行う。「減災」とは災害に対する取り組みの1つであり、被害が発生することを想定したうえで、その被害を低減させることを目的としている。災害による被害そのものを防ぐことを目的とした「防災」と比較して使用される。「ARIA」では主に水害を対象として、既存の複数のシミュレータと情報を連携することによって、リアルタイムに被害を予測することを目的としている。

災害対策の分野では、多くのシミュレータが開発されている。例えば避難については、様々な避難行動モデルが提唱されており、これに対応した人流シミュレータが開発されている。災害については、火災や水害などの種類に対応して、煙の広がり方のシミュレータや水位予測のシミュレータが開発されている。また災害に関する情報の面では、例えば水害であれば、複数の地域で監視カメラなどにより水位の監視が行われている。加えて、過去に発生した災害の被害情報や、SNSなどに投稿される個人の情報などが存在している。

一方でこれらは、研究や監視を目的として個別に用意されており、減災を目的としたシミュレーションという観点から連携はされていなかった。これらを連携して現実を上回る速度でシミュレーションを行うことにより、適切な避難開始のタイミングや、避難を避けるための避難経路の計算に役立てることが「ARIA」プロジェクトの目的の1つである。

【8】 初等中等教育での活用を目的とした諏訪地域植物マップの作成と AI による種の同定

政府の GIGA スクール構想により、小中学校および高等学校での生徒 1 人 1 台の端末の整備が進んでいる。これにより、ICT を活用した教育がより現実的に実施できるようになった。我々は以前から、地理情報システム (GIS) を活用した、植物の調査と比較のための教材を研究してきた。この教材では、まず児童生徒のもつ端末の GPS やカメラを利用して、地図上に植物の情報を追加する。その後、1 クラス分の情報を 1 つの地図上に集約し、植物の状態や地理情報を比較して考察するものである。教材は小学校、中学校、高等学校で実践を行っており、理科、生物、地理の教科における教育効果を確認した。この教材で作成する、植物の情報を追加した地図は、簡易的に植物マップと呼ぶ。

この教材には、いくつかの課題が見つかっている。例えば、1 つの地域で植物の情報を収集しても、収集できる植物の状態に関する情報は限られるという課題がある。植物の状態に関する情報が少なくても、生活圏との相関や虫害の拡大など社会的な考察は行うことができる。しかし植物の生育状態や多様性に関する情報が得られないため、生物学的な考察は限られる。また他にも、児童生徒にとって植物の種を同定することは難しいという課題がある。教員が同定する場合でも、写真のみから同定することは容易ではなく、かつ各生徒が収集した多量の写真を教員のみで同定することは困難である。もし、より容易に種を同定できるようになれば、植物に関する生物学的な情報を、書籍やインターネットを用いて調査することもできるだろう。

本研究では、1 つ目の課題に対しては諏訪地域の植物マップを作成し比較させることで、2 つ目の課題に対しては AI を活用することで解決することを目的としている。諏訪地域は、茅野市役所の標高が全国 1 位であるなど、標高が高いエリアに生活圏がある。そのため生育する植物の状態も地域とは異なる。また 2,000 m 近くまで容易にアクセスすることが可能であり、地域内でも多様な植物とその状態を観察できる。諏訪地域と、生徒自身の地域の植物を比較することは、新たな気づきに繋がる可能性がある。同時に、地域間の連携にも活かせる可能性があると考えている。また植物の同定については、例えば Google レンズを使用することでも、一定の精度で植物を同定することができる。一方でその精度は 100% にはなり

得ず、これは教育環境では懸念される可能性がある。AIによる植物の種の同定の精度を検証するとともに、教育現場でも納得できる利用方法を検討する必要があると考えている。

【9】 学習行動から学習成果の予測に関する研究

大学授業におけるプログラミング学習は、法人のオンラインスクールとは違い自分のペースで進むことが出来ず、一週間に一回程度の頻度での授業が行われる。初期段階のわからない状態で一回でも躓いてしまうと、どうすれば遅れを取り戻すことが出来るのか自ら気づくことは困難である。学生が効率的に学習を行うためには、教員側からついていけない可能性がある学生に何かしらのアクションがあると好ましい。しかし、ついていけない可能性がある学生を選ぶのも教員にとっては負担であり、現状、学生とついていけない学生を判別するすべが教員の経験に基づいていることが現状である。

本研究では、公立諏訪東京理科大学は学生の出席記録や課題提出の記録、教材のダウンロードの記録など、様々な学習行動が記録される Moodle を導入していることから、Moodle のアクセスログをデータとして取得し、解析することで学生の学習行動から授業についていけない学生の特徴と、ついていけなくなる学生の特徴を特徴量として抽出することが出来ると考えた。その特徴量を使い機械学習を使うことでついていける学生とついていけない学生の判別機を作成する。

【10】 プレゼンテーションスキル改善支援システムの構築

自分の意見や提案を明確に相手に伝えるプレゼンテーション能力は、現代社会における基礎スキルとして重視されており、近年の学校教育においてはこうした能力やスキルの育成が求められている。2020年度から実施されている文部科学省の新学習指導要領では、子どもたちの主体的かつ対話的で深い学びが推進されており、プレゼンテーションを含めたコミュニケーション能力の育成に力を入れていることが窺える。

プレゼンテーションスキルを改善するための最も有効な手段の一つに、発表全体を通して行うリハーサルを他者に評価してもらいアドバイスを受けることが挙げられる。しかしながら、助言者を募ってリハーサルを行うためには複数人の日程の調整が必要でありいつでも可能な手段ではない。

本研究では、助言者を必要とせずにプレゼンテーションスキルの改善作業を支援することを目的とし、プレゼンテーションのリハーサルの動画から発表者のプレゼンテーションの話し方や所作に関する測定、フィードバックを行い、効率的な振り返り作業をサポートするシステムを開発する。

【11】 PID 制御装置の自動調整方法

例えばビル等の空調システムにおける空調プロセスの制御を含めて、一般にプロセス量の制御としてはPID制御を用いることが多い。一般の空調システムにおいて、PID制御の適正な設定値は、用途や規模、システムの構成などによって異なるため、それに適したPID設定値（比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_d ）を設定しないと、ハンチング現象を

起こしたり、目標値に近づくまでの時間が非常に長くなったりするなど、制御上の不具合が発生する。これを防ぐため、例えばセントラル空調システムの場合、専門の調整員がシステムに合わせて試運転段階で試行錯誤して適正な設定値を決めていたが、これには多大な労力と時間を要していた。

適正な PID 設定値を自動で設定するには、常時連続して測定された時系列データの中から、システムの時間遅れ特性を同定するのに用いる時系列データを抽出する（切り出す）際、機械学習に適した部分を抽出することが重要であるが、既存の方法では、この点が全く考慮されていない。

すなわち、抽出した時系列データには、システムの時間遅れ特性が同定できるように、入力 u 及び出力 y の適度な時間変動が含まれており、さらに両者の時間遅れ関係が収まっている必要がある。このような時間遅れ関係が収められた部分の時系列データを抽出することによって、正確なシステムの同定が行えるようになるのである。このとき、抽出した時系列データの時間長さは、長時間であるほど外乱の影響が相対的に小さくなり、推定精度が向上すると考えられるが、実フィールドにおいて同じ運転状態（空調負荷）が続く時間には限りがあるので、必要かつ十分な時間長さで、学習データを分割・抽出する技術が求められる。

主たる課題は、PID 設定値を自動で調整できるようにすることで、労力の軽減を図るとともに、測定された時系列データのなかから、学習用に抽出する時系列データの抽出時間長さを自動で設定することにより、PID 設定値の調整の手間を軽減し、制御精度の向上を図ることにある。

【12】 医療ビッグデータを用いた精神神経疾患と生活習慣病のデータ分析

少子高齢化に伴う高齢者の要介護者の増加は、国民医療費を圧迫するため社会問題となっている。要介護は、認知症や脳血管障害によって起こる。このため、精神神経疾患や生活習慣病の実態把握とその予防は、要介護の増加抑制の鍵となる。本研究では、これら医療ビッグデータであるレセプト情報、健診データ、MRI 画像を用いた精神神経疾患と生活習慣病の実態調査を実施している。本年度は、オープンデータを中心にデータ分析を行い生活習慣病と脳神経系病変の関連性を示した。次年度では、オープンデータではなく厚労省からの提供データによる詳細な実態把握と、脳 MRI 画像を用いた脳白質病変の AI 予測モデルを推進することを目標とする。

研究開発成果（1）：高齢者の情報取得支援とリスク診断に関する研究

○高齢者への音声による情報取得支援の研究

1. 背景・目的

高齢者の音声による情報把握の支援については、これまで多くの補聴器などの音響系の研究が行われてきた一方で、高齢者にとって内容を理解しやすいような音声の特徴に関する研究はあまり行われていない。本研究では高齢者にとって聞き取りやすい音声の生成方法の確立を目的として、高齢者にとって聞き取りやすい音声の特徴を分析し、次に得られた特徴に

基づいて文章全体または文章の一部の内容に応じて韻律の制御を行なう高齢者向けの韻律制御方式を実現することで高齢者の情報格差を補償することが期待できる。

これまで我々は高齢者対応経験や資格を有する話者が高齢者を意識して発話した音声の韻律的特徴について報告してきた。しかし文章の内容が韻律的特徴に与える影響やアクセント句単位での韻律的特徴が未解明などの課題があった。そこで昨年度、一名の話者が比較的多くの一ジャンルの文章を高齢者向けに発話した音声と、同一の文章を通常に読み上げた音声データの収録を行った。本収録は科学研究費助成事業（課題番号：20K11869 「高齢者への音声による効果的な情報伝達のための韻律制御モデルの構築と評価」）に基づくものである。

2. 研究体制

本研究は科学研究費助成事業（課題番号：20K11869）に基づき NTT と共同で行われたものである。

3. 今年度の研究成果

3.1 概要

昨年度収集した音声データに対して分析に必要な情報を付与しデータ整備を行った。その後、同一話者が聞き手として高齢者を意識して発話した音声と、単に読み上げた音声を呼気段落及びアクセント句単位で韻律的特徴に関して比較分析を行った。

3.2 音声データ整備

各発話に対し手作業で呼気段落区間とアクセント句境界のラベリングを行い、既存の分析ツールを用いて基本周波数を抽出した。ただし 100Hz 以下のフレームは抽出誤りとして除去した。標本化周波数は 48 kHz, フレームシフトは 5 msec である。また話速測定のため機械的に読み付与を行った後手作業で修正を行った。

3.3 発話全体での基本周波数の比較

高齢者向け発話 (Elderly) と読み上げ発話 (Reading) のフレーム単位での基本周波数 (F_0) と ΔF_0 の平均値と標準偏差を Table 1 に示す。また Fig1 に F_0 の分布図を示す。分布が重なっている部分は■色で示している。表 1 より高齢者向け発話は F_0 と ΔF_0 の両方とも平均値と分散が大きいことから、高齢

Table 1 Fundamental statistics of F_0 and ΔF_0

	Elderly		Reading	
	Avg.	SD	Avg.	SD
F_0 (Hz)	236.1	42.7	205.5	33.5
ΔF_0 (Hz/s)	13.2	32.1	11.4	28.4

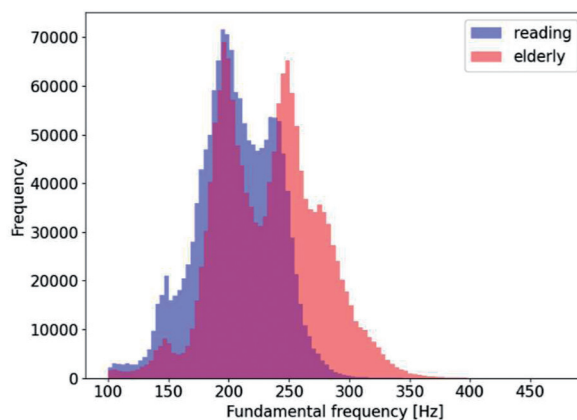


Fig.1 Histogram of F_0

者発話では平均的には声が高くかつ抑揚も強めに発話されているが値のばらつきも大きいことがわかる。また Fig1 から高齢者向け発話と読み上げ発話ともに 200Hz 付近で頻度が最大となる点は同じだが、高齢者向け発話では 150Hz 前後の値が減少し 250Hz 以上の値が顕著に増加していることがわかる。

3.4 アクセント句単位での基本周波数の比較

基本周波数と話速に対し、アクセント句単位で比較を行った。ただし前述のとおり各発話の F0 に差異があるため、発話全体の F0 の平均値を基準に cent 単位で求め相対値での比較を行った。話速についてはアクセント句のモーラ数と時間長の比をアクセント句単位での話速 (mora/sec) とした。結果を Table 2 に示す。高齢者向け発話では読み上げ発話と比べて最小値が下降し、最大値が上昇していることから F0 レンジが広がっていること、標準偏差が増大していることからアクセント句内での変動が大きいことがわかる。話速については高齢者向け発話では平均値が若干上昇し、標準偏差が減少していることから少し早めの話速かつ一定速度での発話であると思われる。これらの値についてマンホイットニーの U 検定で検定したところ全ての値で有意差 ($p < 0.01$) が認められたことから高齢者向け発話と読み上げ発話の F0 と話速は顕著な差異があることがわかる。

Table 2 Statistics of maximum, minimum standard deviation of F₀ (cent) and speech rate over accent phrase

	Elderly		Reading	
	Avg.	SD	Avg.	SD
Min. of F ₀ [cent]	-627.8	318.8	-540.6	327.0
Max. of F ₀ [cent]	389.4	222.2	377.3	213.5
SD. of F ₀	292.2	218.9	254.9	175.2
Speech Rate [mora/s]	6.5	1.0	6.4	1.3

3.5 高齢者向け発話における重要箇所の韻律的特徴

内容的な重要度に伴う、韻律的特徴の差異を確認するため、文書毎に重要ラベルが付与された呼気段落 (以降、重要文) と付与されていない呼気段落 (以降、通常文) 間で比較を行った。また呼気段落の一部のみに重要ラベルが付与されている場合も呼気段落全体を重要文とした。ただし比較を行ったのは、内容を考慮した発話である高齢者向け発話のみである。文書毎に当該文書に含まれる重要文 (key sentence)、通常文 (normal sentence) の F0 最大値、F0 最小値、話速、平均パワーに対し平均を求めた。Table 3 にそれぞれの値の全文書の平均値を示す。

さらに、それぞれの値について重要文と通常文間の相関を求めた。Table 4 に重要文と通常文の相関を示す。また Fig.2 に文書毎の重要文 (と通常文の F0 最大値の平均値、F0 最小値の平均値の関係について示す。ただしグラフの中央がそれぞれの平均値になるよう値をシフトして表示した。F0 最大値にはある程度相関がみられるのに対し F0 最小値には全く相関がないことがわかる。これらの結果から、F0 最小値については重要文において単に値が

通常文より減少するのではなく、文書内の他の通常文とは無関係に内容に応じて細かく制御されていることが推測される。一方 F0 最大値や F0 平均、話速は概ね通常文と相関があることから単純に値が上下にシフトする傾向があること、またパワーにはほぼ差が無いことがわかる。

Table 3 Averages of prosodic features over breath group

	Elderly		Reading	
	Avg.	SD	Avg.	SD
Min. of F ₀ [cent]	-627.8	318.8	-540.6	327.0
Max. of F ₀ [cent]	389.4	222.2	377.3	213.5
SD. of F ₀	292.2	218.9	254.9	175.2
Speech Rate [mora/s]	6.5	1.0	6.4	1.3

Table 4 Correlation coefficients of F₀ maximum, minimum, average, speech rate and power over breath group between key sentences and normal sentences

F ₀			Speech rate	Average Power
Max.	Min.	Avg.		
0.53	0.02	0.72	0.63	0.87

4. 今後の計画

- ・ 文章における重要箇所への予測
- ・ 高齢者向けの発話の韻律的特徴モデルの構築
- ・ 韻律的特徴モデルに基づいて生成した音声の評価

研究開発成果（2）：歩行解析による転倒リスク予測に関する研究

1. 背景・目的

地域の高齢者の健康状態の維持は地域医療における重要なテーマの一つである。特に骨粗鬆症患者の転倒は骨折等を引き起こしその後の要介護状態に繋がるリスクが高く、転倒予防は介護予防の観点からも極めて重要な課題である。本研究では歩行動作からの転倒リスクの予測とシミュレーションに基づく将来の転倒動作の予測を目的として、これまで患者の歩行機能を簡易的に判断する方法の一つとして用いられてきた Timed Up & Go Test と呼ばれる歩行開始から終了までの経過時間で患者の状態を判断する診断方法に基づいて、可搬型のモーションキャプチャデバイス kinect 等のセンサを用いて歩行時の特徴を詳細に抽出する。また筋力や BMI 等の身体所見も含めて転倒記録との相関から転倒リスクに関係する特徴を同定する。さらにそれらの特徴に基づく予測モデルを構築し転倒リスクの推定を行う。さらに得られた歩行動作記録から歩行動作を司る主要な筋肉の筋電位を逆算することにより筋肉の衰えや使い方の癖を抽出し、将来起こりうる転倒の動作予測を行う。

2. 研究体制

本研究は長野県工業技術総合センターと共同で行われたものである。

3. 今年度の研究成果

3.1 概要

先行研究では、高齢者の歩行時に変化がみられる特徴として「歩幅」、「歩調」など17の項目が挙げられている。これらの特徴のうち脚部の特徴は Kinect での精度が確認済みであるが、「上肢運動範囲」、「上体の左右動」、「体幹の前傾」、「視線の角度」、「膝関節の屈曲」の5つの上半身の歩行特徴については、これまで Kinect での精度評価は行われていない。そこで本研究ではこれら5つの特徴について精度評価を行った。

3.2 上半身の歩行特徴量の算出方法

Kinect は 32ヶ所の関節点の三次元座標および関節毎のローカル座標系ベクトルを取得可能である。前述の5つの歩行特徴を Kinect で得られた頭部、首、胸部、腹部、肩、肘の各関節点の3次元座標から算出した。左右の上肢運動範囲及び肘関節については、それぞれ対応する左右の関節点から求めた。

3.3 実験

精度評価のための歩行テストでは、高齢者の歩行能力等の評価方法として実績のある Time Up and Go Test (以下、TUG) を採用した。Kinect は歩行者の進行方向の左側面に約 1m の距離をあけて設置した。また、比較のためモーションキャプチャシステム Vicon と同時に測定を行った。被験者は健康な成人2名である。ただし Vicon の赤外線の影響により歩行路中央 1.5m 付近での測定が不可能であったため、TUG における起立時と着席時のみ測定を行った。Kinect と Vicon で測定したデータに基づいて算出した歩行特徴の平均値を比較し Kinect の精度を評価した。

実験結果を Table.1 に示す。なお、表1の各欄で右が1人目、左が2人目の値であり、“ / ”の左が平均、右が標準偏差である。また Vicon の値を真値としたときの誤差(絶対値)を示す。「体幹の前傾角」、「視線角度」については2名ともに誤差が Vicon 測定値の標準偏差同等以下であったのに対し、「上体の左右動」と「肘関節の屈曲角」では標準偏差の2倍以上の値となった。原因として、「上体の左右動」の揺らぎは小さいが、Kinect では数度程度の誤差は原理的に避けられないこと、「肘関節の屈曲」では運動量が大きい手首の関節点を用いたため誤差が大きくなったと考えられる。それ以外にも、Vicon の赤外線の影響により Kinect の性能が全般的に低下していた可能性も考えられる。

Table.1 Average and error of human gait features

歩行特徴	Vicon [deg]		Kinect [deg]		Error [deg]	
左上肢運動範囲	22.3/20.0	17.4/4.8	21.9/15.4	9.8/3.2	0.4	7.6
右上肢運動範囲	24.3/20.1	18.6/3.3	19.8/7.8	18.2/11.6	4.5	0.4
上体の左右動	0.9/0.4	1.0/1.0	3.6/1.3	3.3/2.0	2.7	2.3
体幹の前傾角	170.2/4.5	170.0/3.8	174.7/4.1	172.7/5.5	4.6	3.8
視線角度	81.0/9.6	74.3/12.1	76.1/8.7	77.0/10.7	4.9	2.7
左肘関節屈曲角	6.7/6.0	14.2/3.8	23.6/22.2	23.0/8.9	16.9	8.8
右肘関節屈曲角	3.7/2.8	10.6/6.8	28.8/25.1	25.9/13.0	25.1	15.3

4. 今後の計画

- ・デバイスのキャプチャ精度を考慮した歩行特徴の抽出方法の改良
- ・リアルタイムでの歩行特徴の表示機能の開発
- ・転倒リスクの予測方式の実現

研究開発成果（3）：分散ノードの協調による機械学習モデル構築を実現する 情報基盤に関する研究

1. 背景・目的

Web サービスで取得される情報、サーバログなどを対象としたテキスト情報の機械学習の高度化実現に向けて、本研究代表者はこれまでに分散データ学習による特徴モデル構築手法を明らかにしている。しかし、これら提案手法は、分散する全ての特徴モデルの結合を前提とし、この環境で従来のデータ集積型との性能比較による有効性のみを示していた。つまり、モデル結合の過程における処理タスクへ波及する性能変化、効率性については言及していない。本年度では、特徴モデルの結合において、処理タスクの特性に適応した特徴モデル結合手法を検討し、構築する特徴モデルの最適化を実現するための手法の検討を行なった。具体的には、結合対象となる特徴モデルの逐次的に選定と結合、サンプルデータによる評価、結合を判断するアルゴリズムの検討評価と、提案手法を効率的に実現する類似性に基づく特徴モデルの管理手法について明らかにしている。

2. 研究メンバー

メンバー	主な役割分担
土屋 健	総括、モデル設計
広瀬 啓雄	アルゴリズム設計評価
山田 哲靖	アルゴリズム設計
QUANG TRAN MIN 准教授 学外（ホーチミン工科大学）	データ収集、データの前処理
望月 龍一（院生）	分散学習モデル適応型結合手法の検討
石塚 龍（学部3年）	画像情報に基づく分散学習モデル獲得手法の検討

3. 今年度の研究成果

【処理タスクに適応した特徴モデル結合アルゴリズムの提案】

まず、筆者らの先行研究では明らかになっていない特徴モデルの結合過程に着目した。図1に2つの異なる処理タスクに対する特徴モデルの結合と特徴モデルの精度変化の関係を示す。このとき、どちらのタスクの場合でも近傍のフォグノードの特徴モデル順次結合していった。このとき、50～60%程度の結合をピークとして特徴モデルの性能は低下を始めることが観測できる。これは、前半部分では評価に用いるデータと特徴モデルの特性が一致による

性能の向上のフェーズ、後半の低下は、データに対して過学習状態から、特性が異なる特徴モデルの結合によって生じる特徴モデルの安定化のフェーズと考察できる。そこで、本研究では、ユーザが任意の特性を持つ特徴モデルを適応的に構築可能となる手法を検討した。

処理タスクに適応的に特徴モデルを結合するアルゴリズムを検討

した。本アルゴリズムでは、結合の候補となる特徴モデルに対して、モデル結合と処理タスク特性を示す評価用サンプルデータを利用した性能に基づき結合を判断する。結合前の特徴モデルよりも結合による性能向上を認められる場合では次の候補を検討し、性能を低下、大きく向上しない場合ではこの候補を結合しないという単純なアルゴリズムにより結合する特徴モデルを決定していく。現在の実装では、特徴モデルの管理するノードIDの順でアルゴリズムを適用している。図2

に学習モデルの結合数と精度の関係を示す。青線が提案アルゴリズムによる変化、赤線が従来手法による結合の変化を示す。青線が想定したように適合数の増加とともに性能の向上を観測できる。従来手法は接合当初では提案手法よりも性能は上回るが、これは処理タスクに対する特徴モ

デルの特性が一致するためと考えられ、結合数の増加に伴い性能は低下していくことが観測できる。これは、後半に発生した結合が処理タスクに適応しないため性能が低下したと考える。提案手法の有効性は明らかになったが、課題として提案手法では逐次的に結合の選択、サンプルデータによる評価を繰り返すため、分散する学習モデル結合対象の分散スケーラビリティに課題があること、性能に基づいた結合の判定するための閾値の決定手法、結合を決定するサンプルデータの選択手法など解決すべき課題があるといえる。

【類似度に基づく特徴モデルの管理手法】

上記課題を解決する手法として、学習モデルの特徴に基づく構造型モデル管理手法の検討を行なった。本研究の特徴モデルは、学習データとしてテキスト情報を利用することから、画像データと比較して数値化（ベクトル化）された場合でも次元数は限定的である。従って、ベクトル次元数に比例して、管理コストが増大する“次元の呪い”の影響は大きくはない。

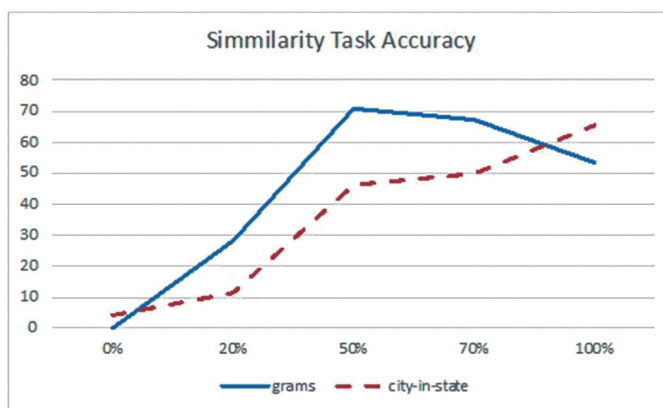


図1 特徴モデルの結合の過程

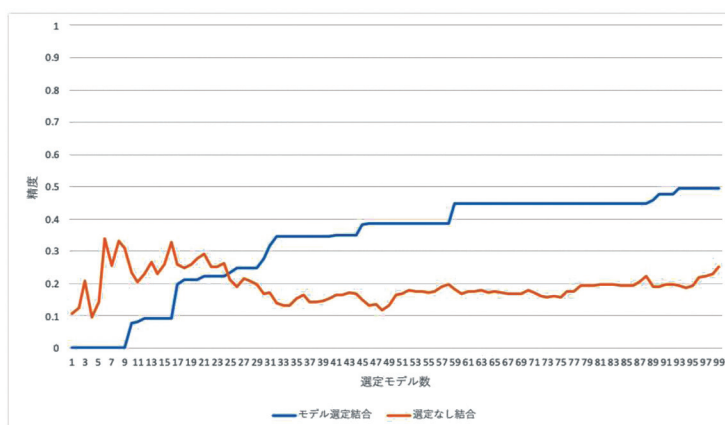


図2 適応的結合と従来手法の比較

本研究の提案ではまず論理空間上で特徴モデルの索引を可能とする分散アルゴリズムを検討した。

本期間で提案するアルゴリズムは、処理タスクに適応できる特性をもつ特徴モデルの検索と、検索したモデルの結合することである。つまり、前述した手法では全ての特徴モデルと逐次結合、評価を繰り返したのに対して、提案手法は処理タスクに適応した任意の特徴モデルへ到達し、対象となる特徴モデル、類似する特性を持つモデルと結合を行う。このとき、分散するすべての特徴モデルは図3に示す木構造上で管理する。実体は、分散R-Tree アルゴリズムを提案し、ノードの協調による仮想的な木構造を構築している。木構造は基準となるベクトルとの類似性の値に基づいて相対的に構築される。本提案では、類似度が近い値を持つ特徴モデルは類似することを前提として、木構造での配置を決定する。具体的には、一般的な木構造とは異なり、一定の類似度の範囲ごとに節を作成する（図3）。そして、管理対象となる特徴モデル数に応じて、木構造の節数、類似度の範囲を拡大していく。

空間上における特徴モデルの検索は、全学習データから導出された統計情報を利用して数値化（ベクトル化）と、この結果を得ることができる特徴モデルの構築を行うことから開始する。共通する統計情報の利用は分散する特徴モデルと同じ次元空間で表現することを意味し、処理タスクのデータをベクトル化することで空間上での特徴を得る。そして、木構造を構築するフォグノードIDの最も小さいフォグノードの管理する特徴モデル（ベクトル）を基準として、相対的な類似度に基づいて木構造を管理している。つまり、

次元単位の値ではなく、基準となる特定のベクトル（base ベクトル）に対する類似性という単一の値に基づいて管理されている。任意のベクトルに対してもこの base ベクトルとの類似性を導出することで、データ特性の分類が可能となる。また、類似する特徴を持つ特徴モデルは、base ベクトルとの類似性が近似する値を持つことが想定でき、木構造上で近似する値の部分をもつ特徴モデルを中心にして結合することで、優れた学習モデルの構築が可能としている。また、任意の特性をもつ特徴モデルを構築したい場合には、その特性を有するベクトルと base ベクトルの類似性を評価することで、木構造上の特徴モデルへ到達することができる。従って、提案手法では、base ベクトルを中心として、任意の特徴を有する特徴モデルの結合と構築を可能となる。各節を構成する特徴モデルは、base ベクトルと直接の類似性導出だけでなく、類似性が明らかになっている特徴モデルとの類似性を用いても配置を決定している。

本期間では、提案手法の評価、考察まで間に合わなかったが、現在評価のための実装が終わり、今後評価を予定している。その後、論文として執筆を予定する。現時点において、今

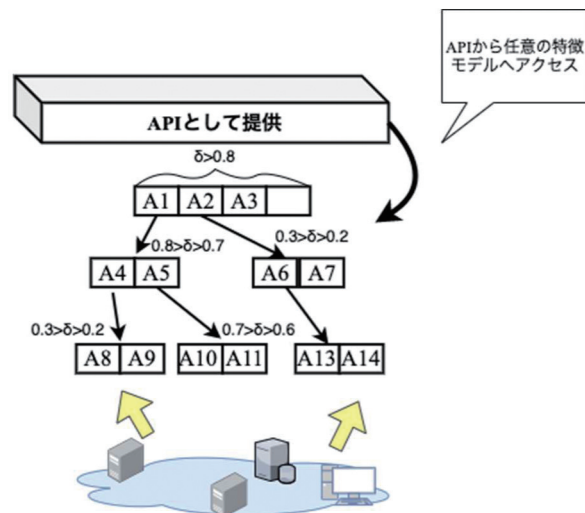


図3 特徴モデルの管理手法

後解決すべき課題として明らかとなっているのは、特徴モデルの管理基準となる base ベクトルの妥当性の評価手法の検討が必要と考える。全特徴モデルの管理基準となるため、偏在的な特性を持つデータである場合、一般的な特性の特徴モデルは類似しないと評価され、十分な分類性能を持たない可能性がある。そのため、今後の検討として base ベクトルの評価手法の検討が必要と考える。加えて、base ベクトルの交換と、分散 R-Tree モデル再構築のためのプロトコルの開発と、最適化手法の検討を行う予定である。

本年度は、コロナにより、対外発表等が制限されたことから、研究の進捗が想定よりも十分な進捗を得られなかったと考える。次年度以降も継続して研究を推進し、環境に影響されぬよう研究を進めたいと考える。本年度は貴財団に研究をサポートいただき、心より感謝申し上げます。

研究開発成果（4）：Head Mounted Display を用いた作業支援システムの支援挙動自動生成アルゴリズムの開発

1. 背景・目的

人中心の作業を担う中小企業において、少子高齢化に伴う人材不足が深刻な問題となっている。対して、Head Mounted Display (HMD) が作業を支援するツールとして注目を集めている。HMD は作業者の視界上にデジタル情報を重畳することができ、リアルタイムな情報教示が可能となる。それ故、適切なタイミングで適切な支援情報が提示されるよう設計することにより、初心者でも複雑な作業をこなすことが期待できる。

しかし、支援すべき作業の種類が多い場合、一つ一つの作業に対して支援挙動を設計する必要があり、設計者の負担は計り知れない。それ故、システムの支援挙動を自動設計できる技術が確立できれば、設計者の負担を軽減し、作業支援システムを構築することができる。

本研究では、ノート PC の修理作業を例に挙げる。計算機の修理を担う工場では、数十種類以上の計算機を扱う。そして、人材不足の影響により、その修理作業を一人で担う企業も存在する。この場合、作業には熟練が伴い、初心者には作業を任せることができない。それ故、HMD による作業支援システムは有効に働くと考えられるが、修理工程は何パターンも存在することから、上述した支援挙動設計の負担問題が浮上する。それ故、本研究では、ノート PC の修理作業を対象とした作業支援挙動の自動設計アルゴリズムを開発する。

2. 今年度の研究成果

図 1 に実験環境を示す。ここでは、ノート PC に対する作業箇所を、HMD を通じて提示するシステムを想定する。固定カメラより作業状況が映像として取得され、その映像に基づきシステムは作業箇所を決定、提示する。この支援挙動を自動で生成するため、前年度は以下について検討している。

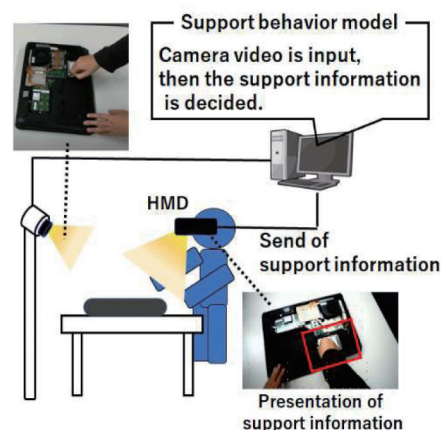


図 1 実験環境

< 昨年度の成果 >

システムが自律的に作業支援を行うためには、作業工程の理解、作業の予測、支援情報の選択処理が必要になる。作業工程の理解とは、作業工程を数理モデルで表現することを意味し、作業工程モデルをシステムに保持させることでシステムは現在と次の工程推定を可能とする。それ故、第一ステップとして、作業工程のモデル化手法を検討した。ただし、設計者の負担を軽減するため、作業映像から自動でモデルが生成できる仕組みとする。

図2に提案したモデルアーキテクチャを示す。提案モデルでは、作業映像を学習データとし、モデル内部で作業対象の識別モデル、作業対象の状態識別モデル、作業対象の状態遷移ネットワークが教師なしで生成される。図3に例として、Hard Disk Drive (HDD) の取り外し作業をモデル化し、そのモデルの特徴量空間を可視化した図を示す。HDDの取り外し作業では、作業対象が3つの状態（初期状態→カバー取り外し状態→HDD取り外し状態）に遷移する。ここでは各状態の遷移が特徴量空間の分布の遷移としてモデル化される。図3から状態が3つ生成されており、state1からstate3までの状態遷移は実際の状態遷移を正しく表現している。

以上から、提案手法に基づき作業工程がモデル化されることを確認した。しかし、提案手法は予め多くの学習データを用意する必要がある。これは作業工程モデルを自動で生成するために、予め作業者に作業を実行してもらい、その作業データを収集しなければならないことを意味する。一方、画像認識の分野ではData Augmentationと呼ばれる学習データの増やし処理が提案されており、この処理を追加することで、最低1試行分の作業データから支援挙動モデルを生成できる可能性がある。

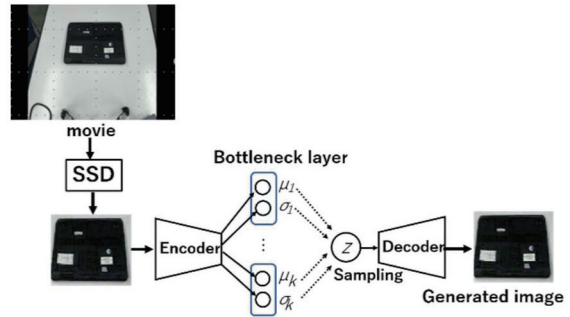


図2 VaDE-Markov Clustering Model

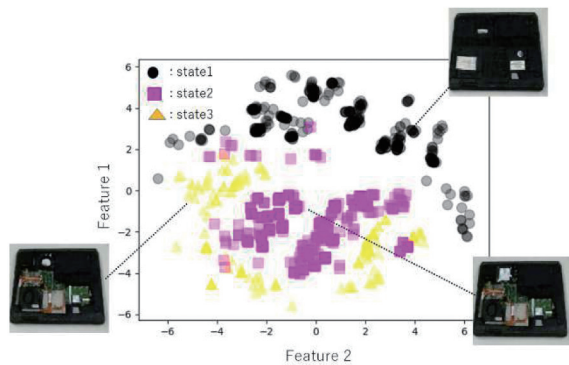


図3 作業工程モデルの特徴量空間上可視化

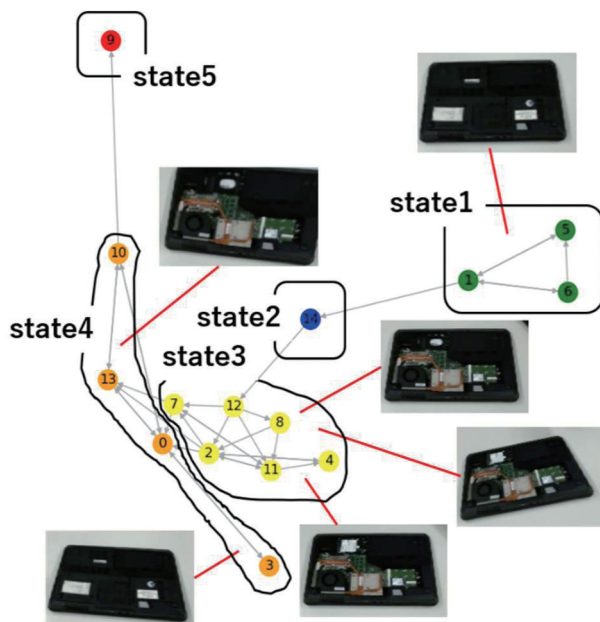


図4 従来手法により得られる作業工程の状態遷移ネットワーク

<今年度の成果>

今年度は、最低1試行分の作業データから作業工程モデルを生成できる可能性を示すため、Data Augmentation 処理を追加した際のモデル構造を提案した。ここでは、前年度の手法を従来手法、一方、今年度提案した手法を提案手法と記述する。

まずは、従来手法に対してData Augmentation 処理を追加した際に得られた作業工程モデルについて、その状態遷移ネットワークを図4に示す。ここでは各状態を色で分類している。結論として、得られるモデルに再現性はなく、一つの状態に複数の作業工程の画像が混在するモデルが得られた。図4のstate3のように、1つの状態にカバー取り外し状態とHDD取り外し状態が混在していることが確認できる。両状態間では画像の一部が変化するのみであり、アフィン変換に比べ画像情報の変化が少ない。それ故、アフィン変換による画像情報の変化量が作業工程モデルを支配的に構成する結果となった。以上から従来手法にData Augmentation 処理を追加することは有効ではない。

そこで図5に示すモデル構造を提案した。提案モデルではData Augmentation 処理による画像情報と状態遷移による画像情報の変化を区別し学習可能な構造となっている。図6に提案手法に基づき得られた作業工程モデルの状態遷移ネットワークを示す。各状態で正しい状態遷移の画像を表現されていることが確認できる。以上から、提案手法に基づきData Augmentation 処理を追加しても作業工程モデルが得られることを確認した。

次に、モデル構造を拡張し、支援情報を自動抽出する手法を提案した。ここでの支援情報は作業箇所を指す。すなわち、HMDにより次に取り掛かるべき作業箇所を提示することが支援挙動となる。ここでは作業箇所を状態変化に伴う画像情報の変化領域と仮定する。この変化領域の検出モデルを構築し、作業工程モデルに組み込むことにより、作業箇所の検出及び提示を可能とする支援挙動モデルを実現する。

図7に提案した支援挙動モデルの構造を示す。提案モデルでは、Convolutional Neural Network (CNN) と Inverse Neural Network (INN) で構成されている。CNNでは現在の状態画像と次の状態画像が入力

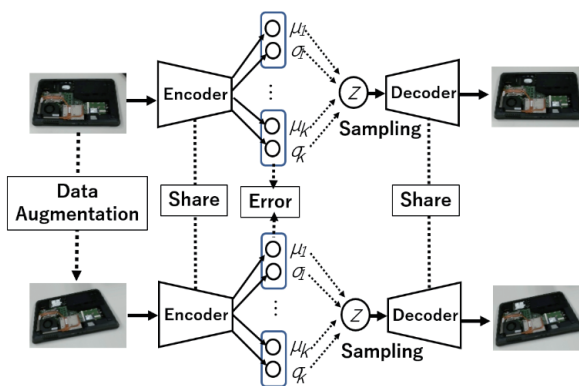


図5 提案したモデル構造

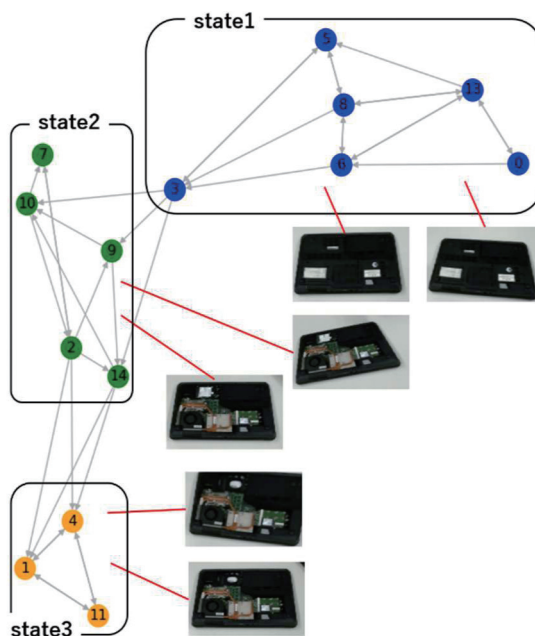


図6 提案モデルにより得られる状態遷移ネットワーク

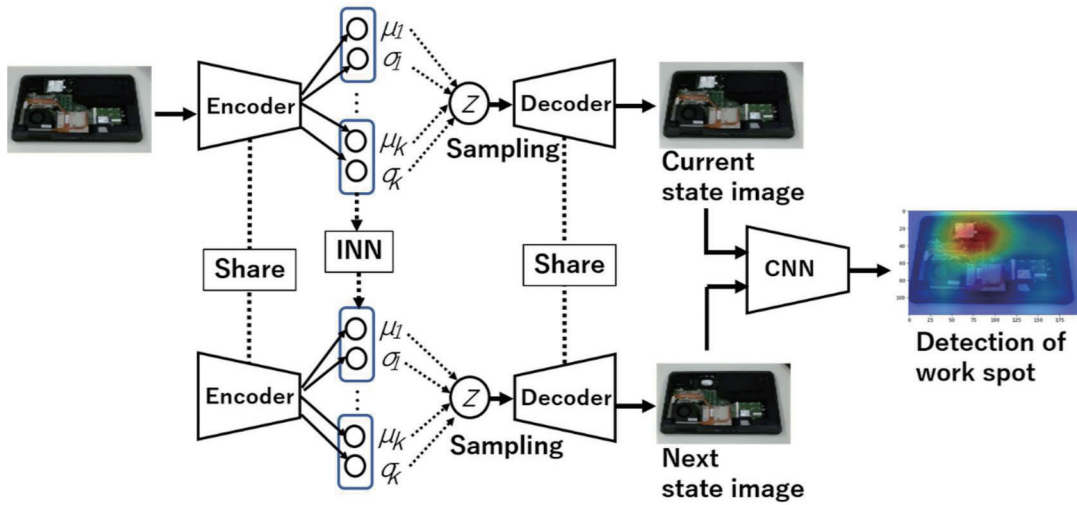


図7 提案した支援挙動モデルの構造

され、Grad-CAMに基づきヒートマップとして変化領域を取得することができる。図8に例として、Hard Disk Drive (HDD) の取り外し作業に対する作業箇所の提示結果を示す。図8上図が正解箇所であり、図8下図がヒートマップとして作業箇所を提示した図である。ヒートマップにおいて、青い領域が作業箇所の可能性が高い領域とみなす。正解領域と比較すると、近い領域に青い領域が分布していることが確認できる。このヒートマップに対して判別分析法

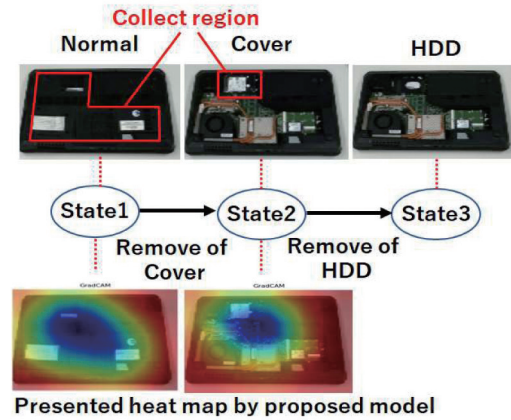


図8 提案モデルに基づく作業箇所提示例

を適用し、青い領域のみ抽出した。そして、正解領域に対する Recall 値と Precision 値を算出した結果を表1に示す。結果から、Recall 値は高いが、Precision 値は低い。これは提案モデルに基づき提示される領域は、正解領域を含むが、余計な領域も提示していることを意味する。この原因は変化領域検出に用いた Grad-CAM にある。Grad-CAM は縮小した特徴量マップを利用することから位置情報が欠落する。それ故、正確な領域検出ができない。この問題に対しては今後の課題と言える。

以上より、本研究ではシステムの支援挙動を自動生成するアルゴリズム開発を目的とし、今年度は、その叩き台として、作業工程のモデル化手法及び作業箇所提示挙動の自動生成モデルを提案した。現状、単純作業を例に挙げているが、この程度の作業内容であれば支援挙動を自動生成可能であることを示した。

表1：正解領域に対する Recall 値と Precision 値

Work type	State	Recall		Precision	
		Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
HDD	State1	0.97	0.05	1.00	0.05
	State2	0.65	0.02	0.11	0.05

研究開発成果（5）：実運転行動データを用いたドライバの認知機能検査システムの開発

1. 背景・目的

高齢化社会に直面している日本では、高齢ドライバによる交通事故が問題視されている。事故の主な要因は加齢に伴う認知能力の低下によるものであり、能力低下の早期発見が急務とされている。能力低下の発見には、認知能力の定量的評価手法が必要であるが、ゴールドスタンダードな評価方法が確立していない。認知機能評価に関する研究が様々なアプローチで行われている中、ドライビングシミュレータを用いた検査方法は、安全面やコスト面等、様々なメリットがあり、実際に自動車学校でも導入されている。しかし、運転空間や自動車挙動に実際との乖離がある、短時間評価、ゲーム感覚となり危機感がない等、実際の運転行動を評価しているとは言い難い。そこで実際の運転行動データからドライバの認知機能を評価する技術開発に取り組んでいる。

2. 研究計画

現在の自動車には Controller Area Network 通信、車載カメラ、GPS等の様々なセンサが搭載されており、運転中にドライバが実行した操作情報、周囲の環境情報、位置情報を収集することが可能である。この収集された運転行動データからドライバの認知機能を評価する技術を開発する。

ドライバにとって認知を要する場面とは、信号機や対向車、歩行者等の存在により、複数の判断を要求される場面である。一方、一連の運転には常に高度な認知が要求される場面が発生する訳ではなく、要求される認知の難しさが状況に応じて変化する。この時、認知機能が評価できるのは高度な認知を要する場面（以降、認知場面と呼ぶ）であり、この場면을運転行動データの中から適切に検出できなければ正しく認知機能を評価することができない。

以上から、本研究の第1ステップとして、運転行動データの中から認知場면을検出する手法を確立する。ここでは、認知場면을任意に定義された時、その定義された運転場면을検出する手法を確立する。この問題の信号のパターン認識問題に帰着させたとき、機械学習のアプローチを採ることが有用であると考えた。そこで、今年度は大きく以下の2つの技術について提案し、検証を行った。

- A. 教師あり学習に基づく任意運転場面検出手法の確立
- B. 教師なし学習に基づく任意運転場面検出手法の確立

3. 今年度の成果

- A. 教師あり学習に基づく任意運転場面検出手法の確立

ここでは、検出したい場面が事前に定義され、その場面に対する実際の運転行動データが事前に手元に用意できることを前提とする。また、運転行動データは、操作情報と走行映像のみを使用することを前提とする。運転場面とは時々刻々と変化するものであり、歩行者や対向車の存在、道路環境や周囲の建物等は不確実に変化する。そのため、言語レベルで定義した運転場면을センサ信号に紐づけることは容易ではない。すなわち、運転場面

となる特徴を設計者の手によりルール化することが困難である。そこで、本研究では、時系列データに特化した深層学習モデルである LSTM (Long Short Term Model) を利用した検出モデルを提案した。

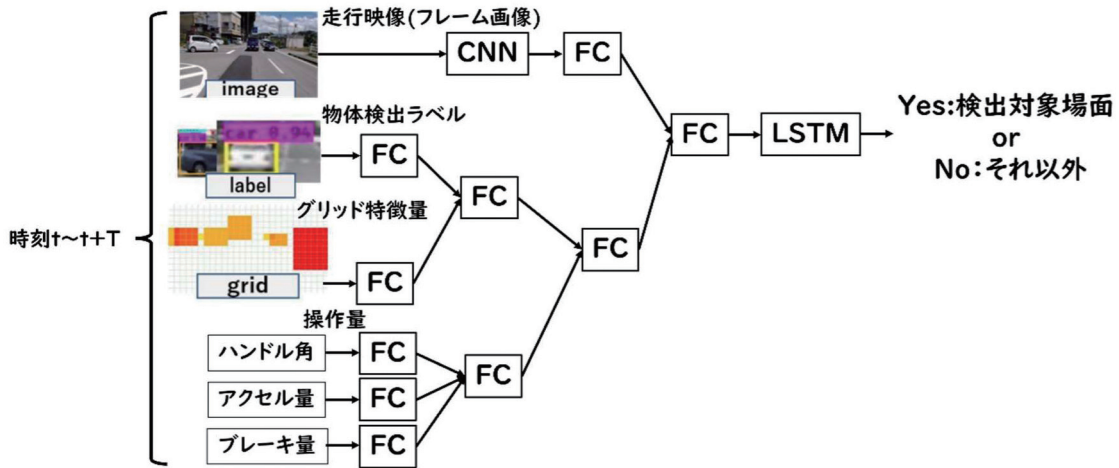


図 1 提案モデルのアーキテクチャ

図 1 に提案モデルのアーキテクチャを示す。提案モデルは、T フレーム間の走行映像 (各フレーム画像系列)、走行映像に対して画像物体検出を行い、得られる物体検出ラベル、物体の位置情報を表現するグリッド特徴量、操作情報の 4 種類の時系列データが入力され、検出対象場面かそれ以外かの二値判定結果を出力する。

実験では、検出したい運転場面として、信号機のある交差点での右折、信号機のある交差点での左折、前方車両の後方停止の 3 つの場面を設定し、提案手法に基づき検出されるかを検証した。図 2 に検出精度を示す。図では再現率と適合率を示しており、約 6 割以上の精度を得た。誤検出が起きる場面として、信号機のない場面での交差点での右左折場面が検出されており、これは物体検出モデルにて信号機が上手く検出できない走行映像が存在し、それを学習データに混在させてしまったことが原因としてわかっている。

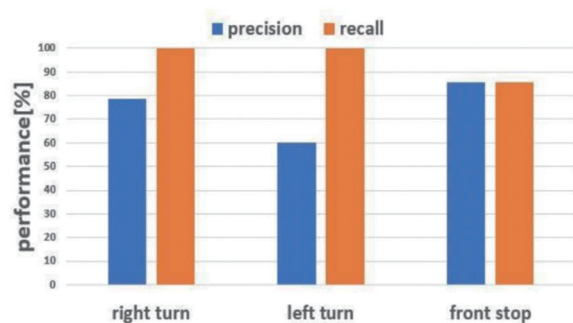


図 2 提案モデルに基づく場面検出精度

B. 教師なし学習に基づく任意運転場面検出手法の確立

前述した教師あり学習に基づく手法では、認知場面を検出するために予め対象となる場面の運転行動データを収集する必要がある。しかし、運転時に期待する運転場面が都合よく発生するわけではない。また、過去の蓄積運転行動データの中から探すことも容易ではない。そこで、二つ目の成果として、収集した膨大な運転行動データをクラスタリングする手法を提案した。膨大な運転行動データを予めクラスタリングすることができれば、キー

ワードから必要な運転場面のデータを見つけることが可能となる。

運転行動データは操作データと走行映像で構成される。運行動データに対して、本手法によりクラスタリングして得られるクラスタ群は、状況と操作の関係パターンを表現したものとする。ここでの状況とは走行映像で表現される周囲の環境情報の時系列変化を指す。これは、ドライバーが何らかの状況を認知し、その認知状況に応じた操作を実行している点、この状況に応じた操作の性能で認知能力を評価できる点が主な理由である。すなわち、2種類のデータ間の関係を考慮したクラスタリング手法が必要となる。

本研究では、Gaussian Process-Hidden Semi Markov Model (GP-HSMM) を用いた運転行動データのクラスタリング手法を提案した。GP-HSMM は操作データ、走行映像に対して単位パターンとみなせる時系列データの分節化が自動で行われると同時に各分節化データのクラスタリングも実現する。さらに両クラスタ間の相関確率を求めることで関係性の強い状況-操作パターンを得ることができる。図3に例としてブレーキデータに対して得られたクラスタ間遷移モデルを示す。ブレーキ操作の一連の変化がクラスタ間遷移により表現されていることがわかる。図4は提案手法に基づき得られた状況-操作パターンの例を示す。ここでは操作Cluster3（ブレーキを踏み込んでいる状態）における状況との関係パターンを示している。交差点での停止時の場面が抽出されており、妥当な状況-操作パターンが得られることを確認できた。

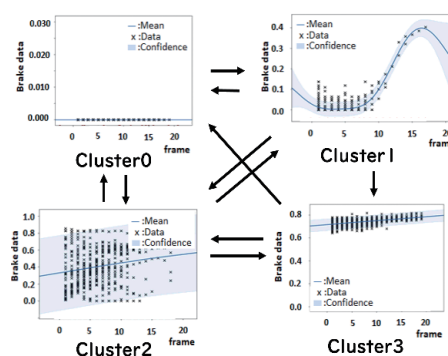


図3 操作データのクラスタリング結果

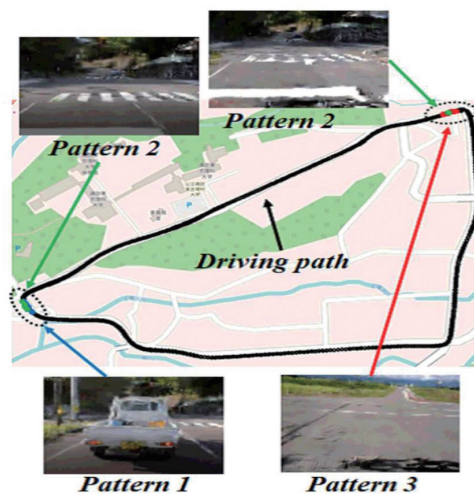


図4 得られた状況-操作パターンの例

4. 今後の予定

今年度は、認知場面を検出する手法を確立することを目的として、教師あり学習に基づく場面検出手法と運転行動データのクラスタリング手法を提案した。前者は抽象的な場面の検証であったため、今後は、例えば対向車や歩行者の有無といった細かな違いを場面として定義した際に適用可能な手法を提案する。後者は物体検出やグリッド特徴量化によりデータの抽象化を行うことで結果に対する言語的解釈が容易なクラスタリング手法を提案する。

研究開発成果（6）：深層学習に基づくペットボトル欠陥検出アルゴリズムの開発

1. 背景・目的

製造現場において、欠陥品を自動で検出するシステムとして画像検査システムが導入されている。従来からルールベースな画像認識技術を用いており、綿密なルール設計を通じて高精度な欠陥検出を実現している。しかし、現在は消費者のニーズの多様化かつ変化が著しく、その変化する製造物に対しては対応が困難となっている。

一方、Convolutional Neural Network (CNN) の登場により画像認識問題はルールベース方式から深層学習ベースにシフトした。これに伴い深層学習方式の画像検査システムが実用化されつつある。この方式では、予め用意した製造物の正常品と欠陥品の画像群を学習データに用いて欠陥品の判定器を学習する。欠陥の明確な定義やルール設計が不要となり、製造物に変化しても学習データの収集さえできれば対応した欠陥検出システムが構築できる。しかし、欠陥品はめったに作られず、学習データを収集することが難しい。

上記の問題の解決は、深層学習ベースの欠陥検出システムの実用性を高める。以上から本研究では、深層学習ベースの欠陥検出アルゴリズムを開発することを目的とする。今年度はスタートアップとして、欠陥品画像を必要としない教師なし学習に基づくアルゴリズムと自己教師あり学習に基づくアルゴリズムを実証し、その有効性と問題点を明確にした。

2. 問題設定

本研究では、ペットボトルのラベル欠陥検出問題を対象とする。これは信州ビバレッジ株式会社との協力を頂き、実際の飲料製造現場で抱える問題を対象としている。ペットボトルのラベル欠陥例を図1に示す。対象とするラベル欠陥はめくれ、ゆるみ、折れの3種類とした。これは、発生するラベル欠陥の中でも従来の画像検査システムをパスすることがあり、作業員により取り除かれる欠陥である。



図1 対象とするラベル欠陥の種類

3. 今年度の成果

A. 教師なし学習に基づくペットボトルラベルの欠陥検出手法の開発と評価

教師なし学習ベースの欠陥検出方法としては画像生成モデルを用いた方法が知ら

れている。この方法では、AutoEncoder ライクなモデル構造を定義し、正解画像を学習させる。このモデルは入力した画像をそのまま再現するモデルであり、学習した正解画像が入力されたら正しく再現できるが、欠陥品画像が入力されると欠陥領域を再現できない。この入力画像と再現画像の差分を取ることで、欠陥部分を検出するアプローチである。

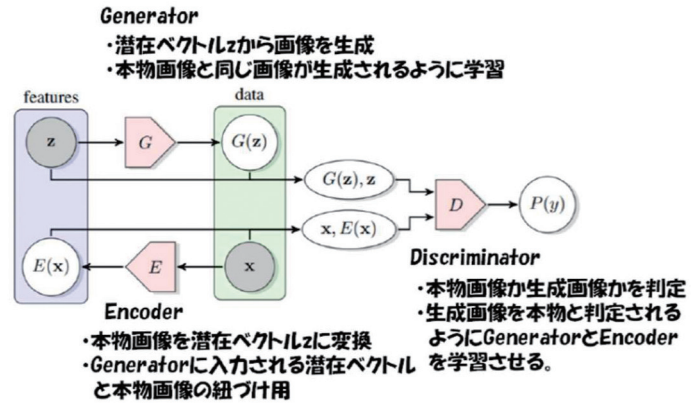


図2 Efficient GAN のモデルアーキテクチャ

深層学習技術では高精度な画像生成を実現する Generative Adversarial Network (GAN) が登場し、欠陥検出問題に適用した手法が提案されている。今年度は、その代表的な手法である Efficient GAN を用いた欠陥検出手法を実装し、教師なし学習ベースの問題点を明らかにする。図2に Efficient GAN のモデルアーキテクチャを示す。通常のGANにEncoder層を追加したモデル構造を持ち、GANの入力とする潜在ベクトルをEncoder層の出力と紐づけることで入力画像を再現する仕組みとなっている。

図3に学習済み Efficient GAN の挙動の例を示す。図には、入力画像、生成画像、差分画像の順に示しており、図3 (a) は正解画像が入力された場合、図3 (b) は欠陥 (めくれ) 画像が入力された場合の例である。欠陥画像が入力されると正解画像が入力された場合に比べ欠陥領域で色情報が得られており、大きな誤差が得られていることが確認できる。この誤差から欠陥品の区別が可能と言える。

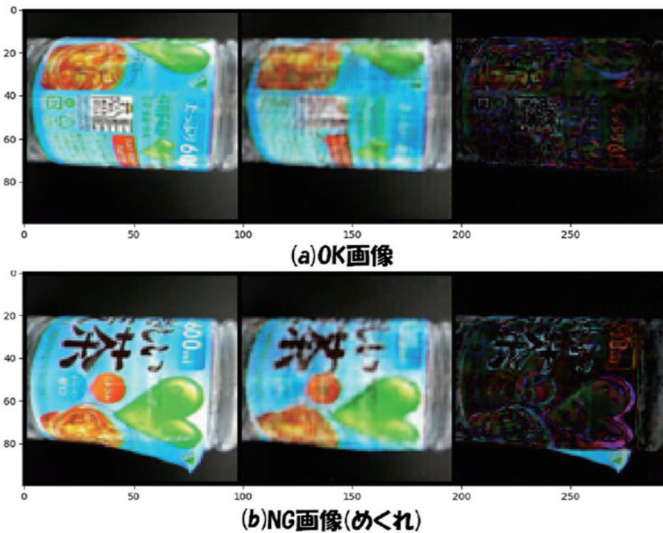


図3 学習済み Efficient GAN の挙動例

しかし、正解画像入力時の差分画像を見ると輪郭部分で誤差が得られており、小さな欠陥を対象とした場合は誤差からの判定は難しい。すなわち、教師なし学習では画像生成の高精度が要求される。特にGANは高周波成分の再現が難しいとされており、モデル構造の工夫が必要であると言える。

B. 自己教師あり学習に基づくペットボトルラベルの欠陥検出手法の開発と評価

前述のアプローチでは、高精度な画像生成が要求され、そこには膨大な学習データと学習時間を要する。一方、教師あり学習の有効性は確認されており、欠陥品データを用意で

きない点さえ解決できれば教師あり学習を用いた方が良いと言える。そこで、自己教師あり学習に基づく手法を提案し、その有効性を評価した。

自己教師あり学習とは、疑似的に学習データを作り、教師あり学習させるアプローチである。欠陥検出問題をペットボトルのラベル欠陥のみに特化させた場合、今回対象としているラベル欠陥は画像を歪ませることにより類似した画像が得られると考えられる。そこで、欠陥品画像が正解画像を歪ませることで得



図4 TSP変換により得られる疑似欠陥品画像例



図5 学習済み欠陥検出モデルの挙動例

られるという仮定のもと、自己教師あり学習に基づく欠陥品検出モデルを学習させる。具体的には Thin Plate Spline (TPS) 変換を用いて正解画像を歪ませ、それを疑似欠陥品画像とする。この手法を全ての正解画像に適用することで正解画像群と疑似欠陥品画像群を用意し、教師あり学習に基づき欠陥品検出モデルを生成する。図4にTPS変換に基づき生成された疑似欠陥品画像を示す。

図5に学習済み欠陥検出モデルの挙動例を示す。図には欠陥と判断される要因領域にヒートマップを示している。それぞれの欠陥に対して適した位置にヒートマップが得られており、正しく欠陥判定が行われていることが確認できる。

4. 今後の予定

ペットボトルのラベル欠陥検出問題を対象として、今年度は教師なし学習、自己教師あり学習に基づく欠陥検出アルゴリズムの開発と評価を行った。結果として自己教師あり学習を用いると学習データを容易に準備でき、かつ検出精度も高いことを確認した。ただし、このアプローチは今回の3種類の欠陥に特化したものであり、汎用性が低い。また、ラベル内容が2週間で変わる場合もあり、この変化に適用ができない。今後は、疑似欠陥品画像の生成に対する汎用的な手法を検討することと、逐次学習ベースな適応的に学習内容が変化する仕組みを導入することを行う。

研究開発成果 (7) : 減災を目的としたシミュレータ連携基盤の開発とその活用

1. 背景・目的

この研究は、オープン減災プラットフォーム「ARIA」に関する研究開発プロジェクトの

一部として行う。「減災」とは災害に対する取り組みの1つであり、被害が発生することを想定したうえで、その被害を低減させることを目的としている。災害による被害そのものを防ぐことを目的とした「防災」と比較して使用される。「ARIA」では主に水害を対象として、既存の複数のシミュレータと情報を連携することによって、リアルタイムに被害を予測することを目的としている。

災害対策の分野では、多くのシミュレータが開発されている。例えば避難については、様々な避難行動モデルが提唱されており、これに対応した人流シミュレータが開発されている。災害については、火災や水害などの種類に対応して、煙の広がり方のシミュレータや水位予測のシミュレータが開発されている。また災害に関する情報の面では、例えば水害であれば、複数の地域で監視カメラなどにより水位の監視が行われている。加えて、過去に発生した災害の被害情報や、SNSなどに投稿される個人の情報などが存在している。

一方でこれらは、研究や監視を目的として個別に用意されており、減災を目的としたシミュレーションという観点から連携はされていなかった。これらを連携して現実を上回る速度でシミュレーションを行うことにより、適切な避難開始のタイミングや、避難を避けるための避難経路の計算に役立てることが「ARIA」プロジェクトの目的の1つである。

2. 研究体制

この研究は北陸先端科学技術大学院大学、京都大学防災研究所と共同で行った。

3. 今年度の研究成果

今年度までの研究により、複数のシミュレータと情報を連携して、水害をシミュレーションするための基盤の開発が完了している。シミュレータには2種類の災害行動モデルを利用した人流シミュレータ、1種類の水位予測シミュレータが含まれる。シミュレーションに使用する情報としては、地図情報のほか、実物のセンサを用いた水位の値と、SNSなどの情報を反映するための仮想センサの情報が含まれる。この連携基盤を用いて、地図上にランダムに配置した、仮想的な人物の避難シミュレーションを行うことにより、被害の予測を行うことが可能である。シミュレーションの結果は、表形式で数値として出力できるほか、プロジェクションマッピングを用いてジオラマ上に投影することができる。ただしこの研究段階については、前職の立場で参画していたため研究成果としての報告はしない。

このプロジェクトの現在の課題として、シミュレーション結果を活用する方法の開発と、減災に対する効果の検証がある。活用方法としては、安全な避難経路の情報提供や、適切なタイミングでの避難を促すためのアプリケーションの開発や、VRを活用した避難訓練の実施を検討している。避難中に被害にあうことが予想される個所を避けた避難経路を、地図上に表示するためのスマートフォンアプリケーションの開発を始めている。

4. 今後の計画

- ・3種類目の災害行動モデルを利用した人流シミュレータの連携
- ・安全な避難を促すスマートフォンアプリケーションの開発

研究開発成果（8）：初等中等教育での活用を目的とした諏訪地域植物マップの作成とAIによる種の同定

1. 背景・目的

政府のGIGAスクール構想により、小中学校および高等学校での生徒1人1台の端末の整備が進んでいる。これにより、ICTを活用した教育がより現実的に実施できるようになった。我々は以前から、地理情報システム（GIS）を活用した、植物の調査と比較のための教材を研究してきた。この教材では、まず児童生徒のもつ端末のGPSやカメラを利用して、地図上に植物の情報を追加する。その後、1クラス分の情報を1つの地図上に集約し、植物の状態や地理情報を比較して考察するものである。教材は小学校、中学校、高等学校で実践を行っており、理科、生物、地理の教科における教育効果を確認した。この教材で作成する、植物の情報を追加した地図は、簡易的に植物マップと呼ぶ。

この教材には、いくつかの課題が見つまっている。例えば、1つの地域で植物の情報を収集しても、収集できる植物の状態に関する情報は限られるという課題がある。植物の状態に関する情報が少なくても、生活圏との相関や虫害の拡大など社会的な考察は行うことができる。しかし植物の生育状態や多様性に関する情報が得られないため、生物学的な考察は限られる。また他にも、児童生徒にとって植物の種を同定することは難しいという課題がある。教員が同定する場合でも、写真のみから同定することは容易ではなく、かつ各生徒が収集した多量の写真を教員のみで同定することは困難である。もし、より容易に種を同定できるようになれば、植物に関する生物学的な情報を、書籍やインターネットを用いて調査することもできるだろう。

本研究では、1つ目の課題に対しては諏訪地域の植物マップを作成し比較させることで、2つ目の課題に対してはAIを活用することで解決することを目的としている。諏訪地域は、茅野市役所の標高が全国1位であるなど、標高が高いエリアに生活圏がある。そのため生育する植物の状態も地域とは異なる。また2,000 m近くまで容易にアクセスすることが可能であり、地域内でも多様な植物とその状態を観察できる。諏訪地域と、生徒自身の地域の植物を比較することは、新たな気づきに繋がる可能性がある。同時に、地域間の連携にも活かせる可能性があると考えている。また植物の同定については、例えばGoogle レンズを使用することでも、一定の精度で植物を同定することができる。一方でその精度は100%にはなり得ず、これは教育環境では懸念される可能性がある。AIによる植物の種の同定の精度を検証するとともに、教育現場でも納得できる利用方法を検討する必要があると考えている。

2. 研究体制

この研究は東京理科大学、太田市立太田高等学校の教員と共同で研究を行った。

3. 今年度の研究成果

今年度は1校の小学校、1校の中高一貫校で植物マップの作成を行った。小学校での実践は今年度が初めてであったが、小学生4年生でも植物の写真を撮る、撮影した植物の位置を地図上で指定する、という操作ができることが確認できた。加えてアンケートの結果から、

他の児童が撮影した写真との比較ができることを確認した。この成果は、日本生物教育学会第106回全国大会で発表した。

中学生と高校生では、特にサクラに注目して植物マップを作製させた。この実践では写真の撮影は行われなかったが、代わりに虫害の状況について入力を行わせた。またこの実践は、生物と地理の教科間連携として実施した。実践の結果として、4,000本を超える数の植物の情報が集まった。実践の前後に行ったアンケートの結果から、生物では植物の観察における教育効果が、地理ではGISの活用と外来生物の学習における教育効果が確認できた。加えて、この地域の市役所とも虫害の被害情報を共有することができた。この成果は、日本生物教育学会第106回全国大会で発表し、生物教育、地理教育に論文として報告した。

4. 今後の計画

- ・ 諏訪エリアの植物マップの作成
- ・ 他地域のマップの比較による教育効果の検証
- ・ 植物の同定におけるAIの有用性の検証

研究開発成果（9）：学習行動から学習成果の予測に関する研究

1. 背景・目的

大学授業におけるプログラミング学習は、法人のオンラインスクールとは違い自分のペースで進むことが出来ず、一週間に一回程度の頻度での授業が行われる。初期段階のわからない状態で一回でも躓いてしまうと、どうすれば遅れを取り戻すことができるのか自ら気づくことは困難である。学生が効率的に学習を行うためには、教員側からついていけない可能性がある学生に何かしらのアクションがあると好ましい。しかし、ついていけない可能性がある学生を選ぶのも教員にとっては負担であり、現状、学生とついていけない学生を判別するすべが教員の経験に基づいていることが現状である

本研究では、公立諏訪東京理科大学は学生の出席記録や課題提出の記録、教材のダウンロードの記録など、様々な学習行動が記録されるMoodleを導入していることから、Moodleのアクセスログをデータとして取得し、解析することで学生の学習行動から授業についていけない学生の特徴と、ついていけなくなる学生の特徴を特徴量として抽出することが出来ると考えた。その特徴量を使い機械学習を使うことでついていける学生とついていけない学生の判別機を作成する。

2. 今年度の研究成果

本学のプログラミングに関する授業を対象に、Moodleのアクセスログから学習行動を抽出し、学習成果を予測するモデル構築した。

抽出した結果、A以上の評定になった学生と、B以下の評定の学生を比較した結果、下記のような特徴があった。

学習行動	t 値	P 値
アクセス総数	4.321095	2.82368e-5***
出席回数	3.601847	0.0005119***
出席時間	3.377543	0.00098801***
課題提出回数	5.2254733	1.05288e-6***
課題提出時間	-1.587726	0.115067

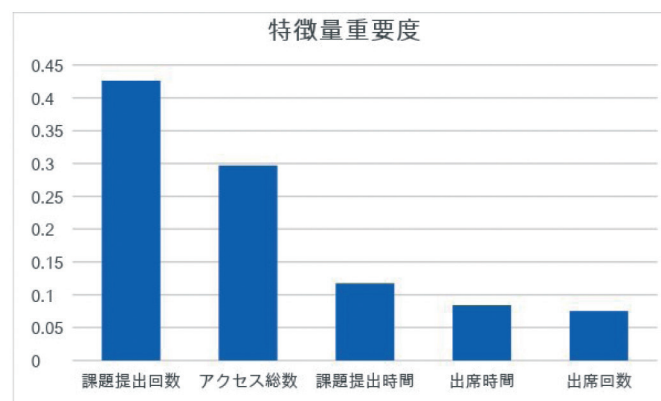
これより、交差検証を用いることで各モデルの汎化性能を評価するとともに、正解率の一番高いモデルを機械学習に使うモデルとした。本研究では、4つの手法をピックアップして交差検証を行った。

交差検証結果

手法	平均スコア
ロジスティック回帰	0.821176
ランダムフォレスト	0.854379
線形サポートベクターマシン	0.847843
非線形サポートベクターマシン	0.834509

本研究では、プログラミング授業において初期段階から躓くとその遅れを自分で取り戻すことは困難であることから、ついていける人とついていけない学生を判別する判別機を作成することを目的とした。

この目的を達成するため Moodle から学生のログデータを取得し、アクセスの分布から課題と出席の観点で特徴量を作成した。また、層化 k 交差検証を使い、スコアの高かったランダムフォレストを用いて学習を行った。





その結果テストデータにおける精度が78%と高い精度を出し、授業回数ごとに見ると最大85%の精度を出した。また、別授業でのデータで予測したものと比べると、どちらも前半は精度が回数を重ねるごとに上昇したり下降したりしたが、後半になるにつれて一定の精度になった。また、各個人の予測の推移をみると、試験結果の悪い人が前半はよかったが途中で躓いていることがわかった。このことから前半についていけない可能性がある学生に対して何かしらのレポートや補講を行うことで、生徒のやり方や考え方を変えることで学習成果の向上を図ることが出来る考えた。さらに、予測に失敗した人から試験結果が悪い人の精度を上げるために再レポートのログデータが必要であると考えた。

3. 今後の計画

学習行動を Moodle だけでなく、顔の向きや振る舞いを Video で撮影し分析することにより、授業中の学習態度を数値化する。その結果と、昨年度の学習行動のデータを合わせ予測の精度向上を図る。

研究開発成果 (10) : プレゼンテーションスキル改善支援システムの構築

1. 背景・目的

自分の意見や提案を明確に相手に伝えるプレゼンテーション能力は、現代社会における基礎スキルとして重視されており、近年の学校教育においてはこうした能力やスキルの育成が求められている。2020 年度から実施されている文部科学省の新学習指導要領では、子どもたちの主体的かつ対話的で深い学びが推進されており、プレゼンテーションを含めたコミュニケーション能力の育成に力を入れていることが窺える。

プレゼンテーションスキルを改善するための最も有効な手段の一つに、発表全体を通して行うリハーサルを他者に評価してもらいアドバイスを受けることが挙げられる。しかしながら、助言者を募ってリハーサルを行うためには複数人の日程の調整が必要でありいつでも可

能な手段ではない。

本研究では、助言者を必要とせずにプレゼンテーションスキルの改善作業を支援することを目的とし、プレゼンテーションのリハーサルの動画から発表者のプレゼンテーションの話し方や所作に関する測定、フィードバックを行い、効率的な振り返り作業をサポートするシステムを開発する。

2. 研究メンバ

メンバ	主な役割分担
尾崎 剛	全体統括
戸谷 颯	システム構築

3. 今年度の研究成果

今年度の研究では、プレゼンテーションの様子を撮影した動画ファイルからスライドの切り替わりの判定および顔の向きを検出の2つを対象とし、システムを構築した。システムの構築にはPython3.8.8を用い、動画のアップロード及びフィードバックをするためのWebアプリケーションとして利用するためにFlask1.1.2を用いた。スライドの切り替わり判定を行うためにOpenCV4.5.4による画像処理を利用した。輪郭抽出で検出されたモニター内の画像に対して、フレームの前後で差分を取り切り替わりを判定した。顔の向きの検出には、機械学習ライブラリの1つであるDlib19.22.1を用いた。検出された顔の向きをスライドごとに色を変えて表示することで、プレゼンテーション中の顔の向きに関するフィードバックを行うようにした。

構築したシステムの評価を行うために、尾崎研究室で実施した卒業研究の中間発表の様子をiPhoneで撮影し、その動画に対して分析を行った。評価項目として、(1) スクリーン位置、(2) スライドの切り替わり、(3) 顔、(4) 顔の向き、が正しく検出されているかを評価した。スクリーン位置の検出については、撮影するカメラの位置によってばらつきが生じ、正面から撮影することで正しく検出を行うことができた。スクリーンを正しく検出できた場合は、スライドの切り替わり判定は全てうまく動作した。顔の検出はカメラの位置に依存しなかったが、スクリーンの方向を向き、顔の半分以上が隠れてしまう場合などに顔の検出ができなかったことがあった。顔の検出が正しくできた場合は、顔の向きは全て正しく検出された。

以上のように、今年度の研究においては、カメラの位置に依存することや使用したライブラリの問題等もあり、プレゼンテーションスキル改善の評価までは至らなかった。今後は、物体検出によるスクリーンの検出やopenposeなどを用いた動作推定などによって、検出精度の向上を図る必要があると考えている。

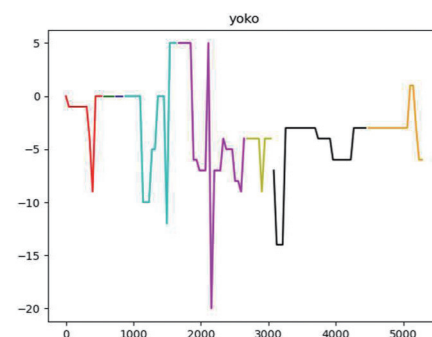


図 顔の向き (水平方向) の表示例

なお、本研究の一部は、JSPS 科研費 20K14090 の助成を受けたものです。

4. 今後の計画

今後は、本システムの完成に向け以下の研究を行う。

- ・スクリーン検出方法の改善
- ・プレゼンテーション動作推定方法の改善
- ・発話スピードの検出及び発話内容の分析
- ・フィードバックによるプレゼンテーションスキル改善の評価

研究開発成果 (11) : PID 制御装置の自動調整方法 (特願 2021-118426)

1. 初めに

本成果は新日本空調株式会社 技術開発研究所 (茅野市) との共同研究によるものである。

2. 背景技術

例えばビル等の空調システムにおける空調プロセスの制御を含めて、一般にプロセス量の制御としては PID 制御を用いることが多い。一般の空調システムにおいて、PID 制御の適正な設定値は、用途や規模、システムの構成などによって異なるため、それに適した PID 設定値 (比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_d) を設定しないと、ハンチング現象を起こしたり、目標値に近づくまでの時間が非常に長くなったりするなど、制御上の不具合が発生する。これを防ぐため、例えばセントラル空調システムの場合、専門の調整員がシステムに合わせて試運転段階で試行錯誤して適正な設定値を決めていたが、これには多大な労力と時間を要していた。

適正な PID 設定値を計算から推定・決定する手法として、例えばバルブ開度などのシステムの入力 u に強制的にステップ応答を加え、例えば室温などのシステムの出力 y の変化量を見て、システムの時間遅れ特性を把握し、すなわちシステム同定を行い、導出する手法がある。これはステップ応答法又はオートチューニング機能と呼ばれ、様々な PID 制御機構で実用化されている。このステップ応答法は、入力 u と出力 y の関係をはっきりと読み取ることができ、比較的正確なシステム同定が可能となるが、システムに意図的に外乱を加えることになり、連続運転が必要なシステムでの使用は好ましくない。また、一般的にシステムの時間遅れ特性は、各種運転パラメータ (負荷率や設定値など) によって変化するので、それぞれの運転条件に合わせた PID 設定値を算出するには、その条件を再現して複数回ステップ応答試験を行うことが必要となり、手間と時間がかかる欠点がある。

一方、入力 u に意図的な外乱を加えず、立ち上がり運転時や、通常の PID 制御を行う中で、入力 u 及び出力 y に生じた自励的振動からシステム同定を行い、PID 設定値を調整する手法が提案されており、これはセルフチューニングなどと呼ばれる。一連のシステム同定・最適化動作を自動化することで、連続運転中に人の手を介することなく実施することが可能となり、前述のステップ応答法の欠点を補うことができる一方で、ステップ応答法に比べて入

力 u と出力 y の関係をはっきりと読み取ることが困難な場合が多く、一般にシステム同定の精度に関しては、ステップ応答法に劣る場合が多いとされている。

PID 設定値を決定する作業を軽減するため、これまでも種々の提案がなされている。例えば下記非特許文献1では、システム伝達関数を一次遅れ+むだ時間モデルと仮定し、実測データから ARX モデルを用いてシステム同定を行い、適正な PID 設定値を検討する手法が開示されている。他の手法として、下記特許文献1では、目標値と制御対象からフィードバックされた現在の制御量との偏差を基に制御対象に操作量を出力制御する際、前記制御ゲインを前記制御対象の特性を同定して得るようにしたセルフチューニング制御装置において、前記目標値を中心とした所定範囲に同定再開整定帯域幅を設定する手段と、前記同定再開整定帯域幅の外側の所定範囲にゲイン変更許可整定帯域幅を設定する手段と、前記制御量が前記同定再開整定帯域幅内に一旦入ったときは同定を中止させるとともに、この同定再開整定帯域幅から逸脱したときは同定を再開させ、前記制御量が前記ゲイン変更許可整定帯域幅を逸脱し、かつ前記再開された同定が収束したときに前記制御ゲインをその収束された同定結果に基づいて変更させる制御手段とを具備するセルフチューニング制御装置が開示されている。また、下記特許文献2では、プロセスパラメータ算出部が、制御系に対してステップ状の入力が印加されたときに、制御系の応答波形を観測することによって、プロセスの伝達関数を同定する伝達関数同定部と、各種の環境変数とプロセスパラメータの関係を記述するゲインスケジューリング部からなり、両者の出力するプロセスパラメータのうちいずれか一方を選択し、このいずれか一方の出力に基づいて PID 設定値を算出する方法が開示されている。

3. 解決しようとする課題

適正な PID 設定値を自動で設定するには、常時連続して測定された時系列データの中から、システムの時間遅れ特性を同定するのに用いる時系列データを抽出する（切り出す）際、機械学習に適した部分を抽出することが重要であるが、既存の方法では、この点が全く考慮されていない。

すなわち、抽出した時系列データには、システムの時間遅れ特性が同定できるように、入力 u 及び出力 y の適度な時間変動が含まれており、さらに両者の時間遅れ関係が収まっている必要がある。このような時間遅れ関係が収められた部分の時系列データを抽出することによって、正確なシステムの同定が行えるようになるのである。このとき、抽出した時系列データの時間長さは、長時間であるほど外乱の影響が相対的に小さくなり、推定精度が向上すると考えられるが、実フィールドにおいて同じ運転状態（空調負荷）が続く時間には限りがあるので、必要かつ十分な時間長さで、学習データを分割・抽出する技術が求められる。

主たる課題は、PID 設定値を自動で調整できるようにすることで、労力の軽減を図るとともに、測定された時系列データのなかから、学習用に抽出する時系列データの抽出時間長さを自動で設定することにより、PID 設定値の調整の手間を軽減し、制御精度の向上を図ることにある。

4. 課題を解決するための手段

上記課題を解決するために、PID 制御の対象となるシステムの入力 u 、出力 y 及びその他システム的时间遅れ特性に影響を与える運転状態パラメータ Q の各連続時系列データを測定する第 0 工程と、前記連続時系列データから所定の抽出時間長さ X のデータを抽出して抽出時系列データとし、その適 / 不適を判断する第 1 工程と、適正と判断された前記抽出時系列データについて、対象システムを ARX モデルに基づきシステム同定を行い、時定数 T 及びむだ時間 L を含むパラメータを得るとともに、その結果をデータベースに記録する第 2 工程と、前記第 2 工程で求めた同定結果を基に、PID 制御システムの動的シミュレーションを行い、PID 設定値 (比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_d) を探索するとともに、その結果をデータベースに記録する第 3 工程と、実機運転時に、現在の運転状態パラメータ Q に合った PID 設定値を、前記データベースから読み出し、実機の運転に反映する第 4 工程と、を順に繰り返す PID 制御装置の自動調整方法であって、前記第 1 工程において、前記抽出時系列データがシステム同定用のデータとして適正と判断するための条件として、直近のシステム同定で得た時定数 T とむだ時間 L をもとに、前記抽出時間長さ X が $X \geq 1.5(T+L)$ の範囲であることを含むことを特徴とする PID 制御装置の自動調整方法が提供される。

まず、第 0 工程において運転データの取得を行う。具体的には、PID 制御の対象となるシステムの入力 u 、出力 y 及びその他システム的时间遅れ特性に影響を与えるパラメータ、例えば空調負荷熱量や風量などの運転状態パラメータ Q の各連続時系列データを、常時連続的に測定する。次いで、第 1 工程において同定対象データの取捨選択を行う。具体的には、前記第 0 工程で測定された連続時系列データから、正確なシステム同定に必要な時間長さを有することなどを条件として所定の抽出時間長さ X のデータを抽出して抽出時系列データとし、その適 / 不適を判断する。適正と判断された抽出時系列データについては、第 2 工程でシステム同定を行う。システム同定では、前記抽出時系列データについて、対象システムを ARX モデルに基づきシステム同定を行い、時定数 T 及びむだ時間 L を含むパラメータを得るとともに、その結果をデータベースに記録する。そして、第 3 工程として最適 PID 設定値の算出を行う。具体的には、前記第 2 工程で求めた同定結果を基に、PID 制御システムの動的シミュレーションを行い、PID 設定値を探索するとともに、その結果をデータベースに記録する。その後、第 4 工程として計算結果を実機に反映する。実機運転時に、現在の運転状態パラメータ Q に合った PID 設定値を、データベースから読み出し、実機の運転に反映する。これらの工程を順に繰り返し行うことにより、PID 設定値をそのときの運転状態に合わせて自動で調整可能なチューニング手法が得られる。

特に、前記第 1 工程において、前記抽出時系列データがシステム同定用のデータとして適正と判断するための条件として、直近のシステム同定で得た時定数 T とむだ時間 L をもとに、前記抽出時間長さ X が $X \geq 1.5(T+L)$ の範囲であることが含まれている。システム同定において、一次遅れパラメータ、特に時定数 T とむだ時間 L を正確に推定するには、入力 u と出力 y の時間遅れ関係が抽出時系列データ内に記録されている必要がある。言い換えると、両者の時間遅れ関係が反映された正確なシステム同定に必要な抽出時間長さ X の抽出時系列データを用いることが重要である。この必要な抽出時間長さ X を対象システム的时间遅

れ特性に合わせて自動で調整するため、直近のシステム同定計算で得たパラメータ（時定数 T 及びむだ時間 L ）をもとに、今回のシステム同定計算で用いる抽出時系列データの抽出時間長さ X を、 $X=A(T+L)$ （ここで、係数 A は正の実数）という導出式で算出する手法を用いる。前記係数 A については、後述の実験で適正値を検討した結果、 $A \geq 1.5$ 以上で良好な制御性能が得られたため、抽出時間長さ X を時定数 T とむだ時間 L の合計値の 1.5 倍以上とした条件の下で、この抽出時系列データがシステム同定用のデータとして適正と判断する。

前記第 1 工程において、前記抽出時系列データがシステム同定用のデータとして適正と判断するための条件として、上記条件に加え、直近のシステム同定で得た時定数 T とむだ時間 L をもとに、前記抽出時間長さ X が $X \leq 8.0(T+L)$ の範囲であることを含む PID 制御装置の自動調整方法が提供される。

上前述の抽出時間長さ $X=A(T+L)$ という導出式の係数 A を大きな値にするほど、抽出時間長さ X が長くなって、システム同定時の外乱の影響が相対的に小さくなり、推定精度が向上すると考えられるが、負荷が成り行きで変化する実機において、同じ運転状態が続く時間には限りがある。対象システムとして業務用空調システムを想定した場合、昼休みは空調機の設定や空調負荷傾向が変更される可能性が高い時間帯として除外すると、午前・午後の空調機のスケジュール運転時間はともに、4～5 時間程度が標準的である。また、標準的な業務用空調システムの時間遅れ特性（時定数 T 及びむだ時間 L ）について調査した結果、 $T+L$ の値は 900～1800 秒が多いことが分かった。そこで、代表値として、空調機の連続運転時間（＝抽出時間長さ X ）を 4 時間、 $T+L$ を 1800 秒とすると、係数 A は抽出時間長さ $X/(T+L)=8$ となる。この結果から、抽出時系列データの抽出時間長さ X が、時定数 T とむだ時間 L の合計値の 8 倍以下であるという条件の下で、抽出時系列データをシステム同定用のデータとして適正と判断する。

前記第 1 工程において、前記抽出時系列データがシステム同定用のデータとして適正と判断するための条件として、上記条件に加え、以下の (A)～(C) の全てを満たすことを含む PID 制御装置の自動調整方法が提供される。(A) 出力 y の抽出時系列データに関し、指定した設定値 r からの整定幅 a を跨ぐ時間変動が 1 か所以上含まれていること、及び、入力 u の抽出時系列データに関し、最小値 u_{min} と最大値 u_{max} との差 Δu が、指定した値 Δu_{set} よりも大きいこと。(B) 出力 y の抽出時系列データに関し、指定した設定値 r からの整定幅 b の中に全計測値が収まっていること。(C) 運転状態パラメータ Q の変動が、指定した下限値 Q_{min} 及び上限値 Q_{max} の間に収まっていること。

前記第 1 工程において、前記抽出時系列データがシステム同定用のデータとして適正と判断するための条件として、上記条件に加え、上記 (A)～(C) の 3 つの条件を規定している。上記 (A) は、入力 u 及び出力 y に関し、両者の関係性を識別可能な時間変動が含まれていることを条件とするものである。ARX モデルを用いたシステム同定は、モデル予測値と実測値を比較し、両者の差が小さくなるように、モデル式の係数を調整（フィッティング）することで、対象システムの時間遅れ特性（時定数 T 及びむだ時間 L を含む）を推定する手法である。正確なフィッティングを行うには、入力 u 及び出力 y の時系列データに、ノイ

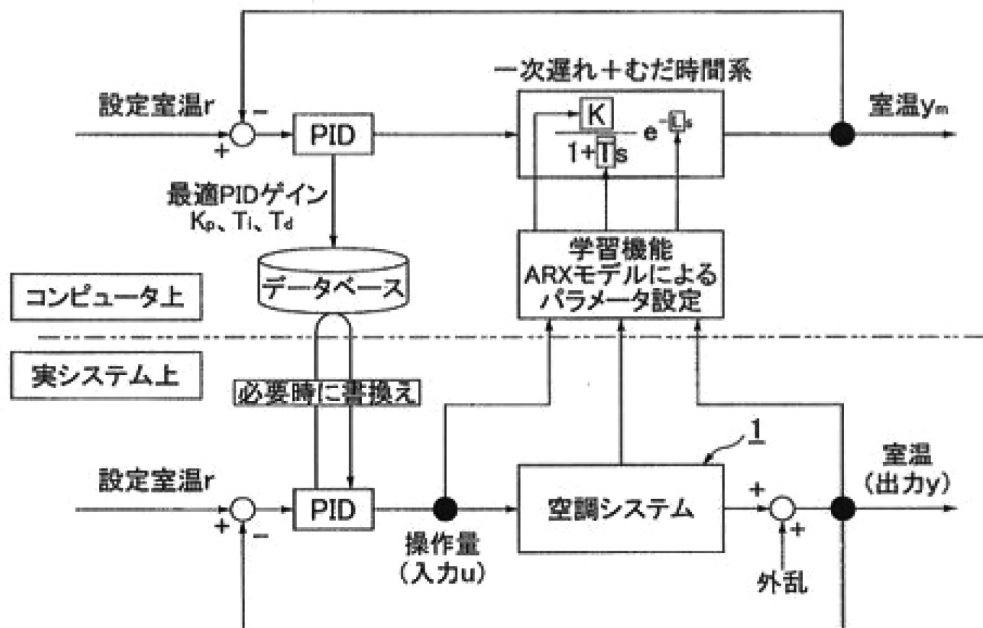
ズではない有意な時間変動（凹凸や極値）が含まれている必要がある。具体的には、出力 y の抽出時系列データに関し、指定した設定値 r からの整定幅 a を跨ぐ時間変動が 1 か所以上含まれていること、及び、入力 u の抽出時系列データに関し、時系列内の最小値 u_{min} と最大値 u_{max} との差 Δu が、指定した値 Δu_{set} よりも大きいことを条件としている。

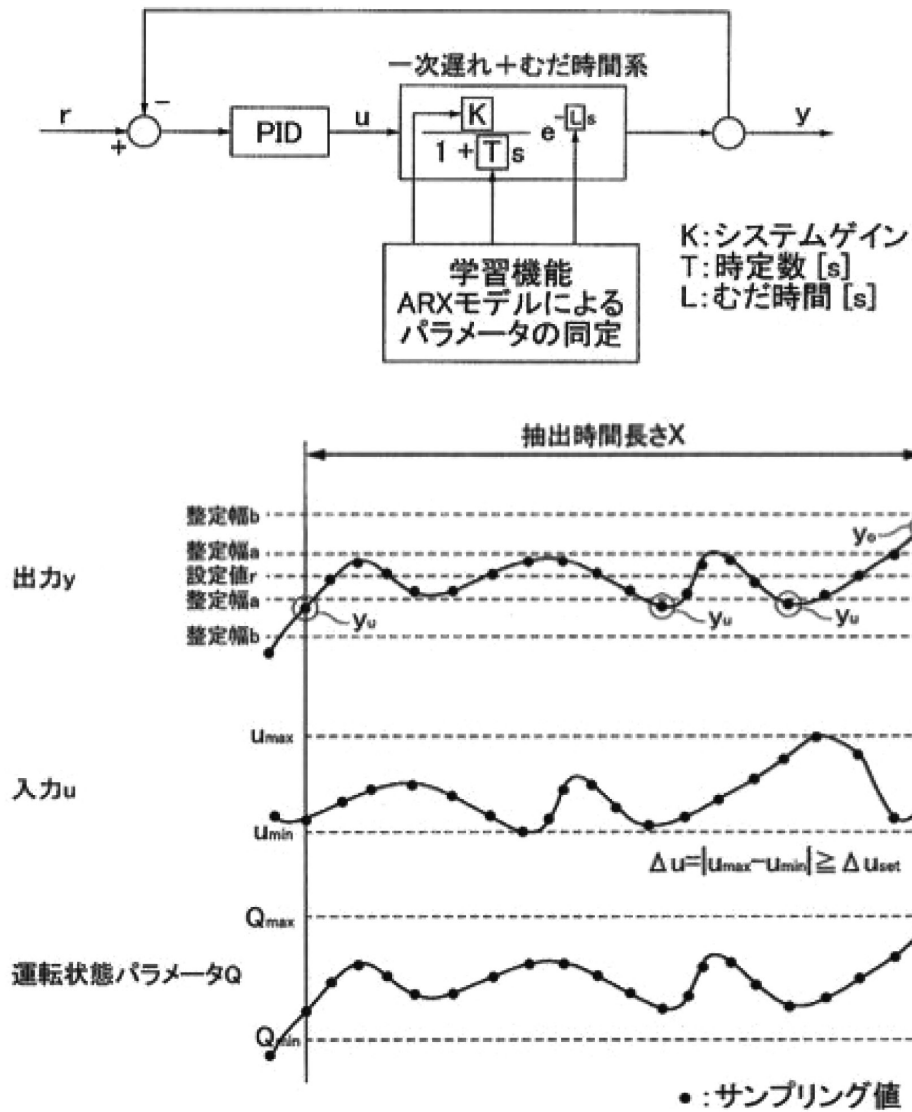
上記 (B) は、出力 y に関し、時系列内の時間変動が所定範囲内に収まっていることを条件とするものである。実用運転においては、立ち上がり運転の目標値へ到達する速さ（速応性）と、その後の定常運転でハンチングしないこと（安定性）が求められるが、本方法では、特に出力 y と設定値 r との差が小さい定常運転の場合を対象としている。具体的には、出力 y の抽出時系列データに関し、指定した設定値 r からの整定幅 b の中に全計測値が収まっていることを条件としている。

上記 (C) は、外乱の小さいことを条件とするものである。運転中の外乱の影響を少なくするため、本方法では、抽出時系列データで外乱となり得る運転状態パラメータ Q （例えば、負荷熱量や風量など）の変動が、指定した下限値 Q_{min} 及び上限値 Q_{max} の間に収まっていることを条件としている。

前記第 3 工程において、前記 PID 設定値を探索する際、CHR 法を基に探索範囲を絞る PID 制御装置の自動調整方法が提供される。

PID 設定値をベイズ推定のように乱数要素を含む手法でパラメータ探索するとき、探索する範囲内に複数の極値があると、本来の目的値とは異なる範囲を探索してしまうことがあるため、推定された一次遅れパラメータから CHR 法に基づき大体的見当をつけて、その周囲を探索するようにする。





5. 効果

本技術によれば、PID 設定値が自動で調整でき、労力の軽減が図れるとともに、測定された時系列データのなかから、学習用に抽出する時系列データの時間長さが自動で設定でき、PID 設定値の調整の手間が軽減され、制御精度が向上できるようになる。

人工知能・IoT 研究部門 研究業績リスト

査読付き論文

- [1] 倉林正, 高橋瑛人, 深谷将, 武村政春, “GIS を活用した地理と生物の教科間連携授業の開発と実践: サクラマップの作製とその分析を通して”, 新地理, Vol.69, No.2, pp.54-68, 2021.
- [2] 倉林正, 深谷将, 高橋瑛人, 武村政春, “特定外来生物「クビアカツヤカミキリ」を題材とした授業実践と防除対策: サクラ被害マップの作製と活用”, 生物教育, Vol.63, No.1, pp.10-21, 2021.

査読付き国際会議

- [1] Sawako Kawakami, Kazuhiro Kon1, Tetsuyasu Yamada, Yoshiyuki Kubota, Fumihiko Kimura, Masashi Yamamuro, Eriko Marukawa, “Construction of AI system to identify the dental implant system from radiographic images”, EAO 2022
- [2] Takeshi Tsuchiya*, Ryuichi Mochizuki, Hiroo Hirose, Tetsuyasu Yamada, Keiichi Koyanagi, Quang Tran Minh, “Selective Combination and Management of Distributed Machine Learning Models”, 8th International Conference on Future Data and Security Engineering, FDSE 2021
- [3] Kohjiro Hshimoto, Tadashi Miyosawa, Tetsuyasu Yamada, “Automatic Generation of Work Support Behavior with Smart Glasses based on the Deep Neural Network Corresponding to Encrypted Training Data”, Proc. of the 47th Annual Conference the IEEE Industrial Electronics Society, pp.1-6, 2021.

□頭発表

- [1] 水野秀之, 中嶋秀治, “高齢者向け発話と読み上げ発話の韻律的特徴の対比分析,” 日本音響学会春季研究発表会, 1-3Q-10, pp.1079-1080, 2022/3.
- [2] 横澤幸成, 水野秀之, 他, “3次元歩行データからの上半身の動作特徴解析,” 電子情報通信学会総合大会, D-7-7, 2022/3
- [3] 橋本幸二郎, 三代沢正, 山田哲靖, “スマートグラスによる作業支援挙動の自動生成ー学習データの暗号化に対する深層学習モデルの評価ー”, 電気学会電子情報システム部門大会, TC12-1, pp.377-382, 2021.
- [4] 柳原大地, 竹内智哉, 橋本幸二郎, “LSTM を用いた自動車の実運転行動データからの任意の運転場面検出手法の検討”, 情報処理学会 第 84 回全国大会, 2Q-02, pp.201-202, 2022.
- [5] 竹内智哉, 柳原大地, 橋本幸二郎, “GP-HSMM を用いた自動車の運転行動データのクラスタリング手法の検討”, 情報処理学会 第 84 回全国大会, 4X-04, pp.67-68, 2022.
- [6] 橋本幸二郎, 杉山貴也, 吉江亮, 桜井貴勝, “Thin Plate Spline 変換と自己教師あり学習を用いたペットボトルのラベル欠陥検出”, 電気学会全国大会, 3-090, pp.153, 2022.

- [7] 倉林正, 深谷将, 高橋瑛人, 武村政春, “特定外来生物「クビアカツヤカミキリ」の被害分布調査とその授業実践(第2報) –サクラ被害マップの精度分析と中学校での実践–”, 日本生物教育学会第106回全国大会, 2022年1月8日
- [8] 野地楓, 山野井貴浩, 深谷将, “小学校第4学年理科「季節と生物」において学習用アプリを用いた生物マップの作成により生物の季節変化についての理解を深める授業の開発”, 日本生物教育学会第106回全国大会, 2022年1月9日
- [9] 張江, 山田哲靖, 他, “床吹出システムを用いたタスク&アンビエント空調に関する研究(第3報) 瞬き解析を用いた覚醒度維持効果の検証及び暖房実験02”, 空衛学会大会2021
- [10] 福田伊吹希, 山田哲靖, 他, “空調におけるAIを活用した制御技術の開発(第3報) 適応制御のためのデータ自動抽出方法並びにパラメータ高精度推定方法の検討”, 空衛学会大会2021
- [11] 綾目久雄, 山田哲靖, 他, “学習機能による自動設定可能なPID制御を用いた空調システムに関する研究開発 第3報 自動調整のための各種機能追加”, 建築学会2021
- [12] 綾目久雄, 山田哲靖, 他, “空調制御におけるPIDゲイン自動調整機能の検討 第2報: 適応制御のためのデータ自動抽出方法”, D133-1, 冷凍学会2021

特許

- [1] 綾目久雄, 山田哲靖, 他, “PID制御装置の自動調整方法”, 特願2021-118426

外部資金獲得

- [1] 科学研究費助成事業 若手研究, 大学横断PBLにおける教育システムの開発と学習成果の分析, 尾崎 剛, 2020-04-01 – 2023-03-31

研究報告

- [1] 永坂茂之, 山田哲靖, 他, “空調におけるAIを活用した制御技術の開発(第3報) 適応制御のためのデータ自動抽出方法”, p.11 ~ 15, 新日本空調技報2021

講演

- [1] AI-IoT技術講演会, 信州ビバレッジ, 2022/3/22.

企業連携

- [1] 新日本空調(茅野市) 山田哲靖
- [2] 信州ビバレッジ(松本市) 橋本幸二郎
- [3] 長野県工業技術総合センター(松本市) 水野秀之
- [4] 長野県工業技術総合センター(松本市) 山田哲靖
- [5] エランプル(長野市) 山田哲靖
- [6] NTTコミュニケーション科学基礎研究所(京都府) 水野秀之

- [7] ビップシステムズ株式会社（東京都） 山田哲靖、土屋健
- [8] NTT テクノクロス（東京都） 山田哲靖