

VIII. 計算情報学研究部門

VIII-1. データ基盤分野

1. メンバー

教授	天笠 俊之
准教授	塩川 浩昭
助教	堀江 和正, Bou Savong (橋本 武彦)
研究員	太田 玲央
学内共同研究員	北川 博之 (国際睡眠医科学統合機構 教授)
学生	大学院生 31 名, 学類生 6 名

2. 概要

計算科学において、大規模データの管理や活用は極めて重要な課題となっている。計算情報学研究部門データ基盤分野は、データ工学関連分野の研究開発を担当している。具体的には、異種データベースや多様な情報源を統合的に扱うための情報統合基盤技術、データ中に埋もれた知識や規則を発見するためのデータマイニング・知識発見技術、インターネット環境においてさまざまなデータを統合的に扱うための RDF・知識ベース・LOD 関連技術等の研究を継続して行っている。また、国際睡眠医科学統合機構 (IIS) 等との連携を通じて、計算科学の各分野における応用的な研究を推進している。

今年度、外部資金として JST 戦略的創造研究推進事業「さきがけ」(令和 2 年 12 月～令和 7 年度)、NEDO (令和 2 年度～令和 6 年度) に加えて、JST CREST「基礎理論とシステム基盤技術の融合による Society 5.0 のための基盤ソフトウェアの創出」領域の新規課題「検証可能なデータエコシステム」(令和 4 年 10 月～令和 9 年度) が採択された。また従来通り、計算メディカルサイエンス事業をはじめとして、センターの他部門と連携した研究を積極的に推進した。

3. 研究成果

[1] 情報統合基盤技術

(1) 静的データを用いた複合的データ分析処理に対するトレーサビリティ基盤

膨大かつ多様なデータを対象とした分析処理においては、分析結果がどのようにして導出されたかを示し、分析結果の信頼性を高めるトレーサビリティの確保が重要である。これまでトレーサビリティを保証するために、分析結果の元になった入力データを提示するデータ来歴が研究されてきた。しかし AI 処理等の判断ロジックが非常に複雑な処理を伴う近年のデータ分析(複合的データ分析処理)に対しては、単に元になった入力データを提示するだけでは、分析結果の導出根拠を十分に説明することができないという問題がある。

本研究においては、この問題に対応するために従来のデータ来歴に加えて、AI 処理等における判断根拠も導出可能な拡張来歴 (Augmented Lineage) の概念を提案した (図 1)。また、関係データモデルでモデル化可能な複合的データ分析処理に対して拡張来歴を導出するためのアルゴリズムを定

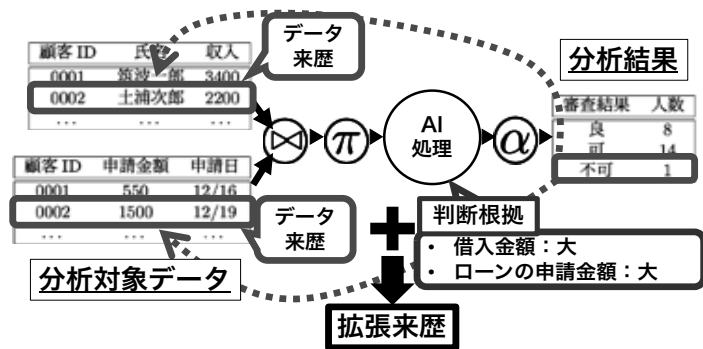


図 1. 拡張来歴の概要図

式化すると共に、実際の RDBMS 処理において拡張来歴を導出するための 3 つの手法 (Rerun, Function Materialization, Full Materialization) の比較検討を行った。

特に、今年度は、拡張来歴導出アルゴリズムの改善を行なった。拡張来歴導出には先行研究の Tracing Query と呼ばれる逆クエリを活用している。Tracing Query は分析結果と入力データの共通する属性値を手掛かりに来歴を特定するため、分析結果に入力データの属性が直接含まれない場合には、分析処理の中間結果を経由して来歴を求める必要がある。そのために分析処理のクエリ木をいくつかの部分木 (セグメント) に分割する必要がある。以前は分割時にクエリ木を変形する必要があった。しかし今回、クエリ木を変形せずにセグメントに分割する手法を提案した。これにより、クエリ木がオプティマイザ等によって既に最適化されている場合に、クエリ木と競合しない拡張来歴導出を実現する枠組みとなった。

また、多様な分析処理を対象とする性能評価を行った。具体的には、RDBMS のベンチマークとして広く知られている TPC-H をベースに作成した評価実験を新たに行った。そのために TPC-H のベンチマークスキーマに AI 処理の対象となる追加の属性を追加する拡張を行い、ベンチマーククエリに顔認識またはテキスト感情分類を行う AI 処理を追加した。図 2 は拡張来歴導出に要した時間を示している。横軸は実験クエリを表しており、それぞれ Rerun, Function Materialization (FM), Full Materialization (Full) の 3 つに基づいた導出時間を示している。ここで、Rerun は中間結果を求めるために問合せの一部を再実行する方式であり、Full は問合せ実行時にその中間結果を全て保存する方式である。これらが比較的自明な方式であるのに対し、FM は高コストの AI 処理の再実行を避けるため一部の中間結果だけを保存する本研究独自の方式である。全体の傾向として、分析処理の実行コストのうち AI 処理に大きな処理コストが発生している場合、特に FM が有効であることを確認できる。最善の場合として Q9 の FM では、全ての中間結果を再実行で再導出する Rerun と比べて 12.8 倍高速に拡張来歴

が導出でき、全ての中間結果を予め保存する Full と比べて 99.6% ストレージコストの削減ができることが示された。

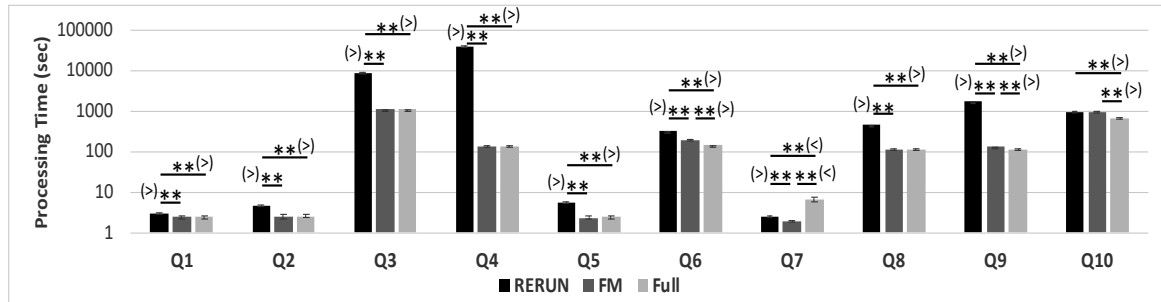


図 2. TPC-H をベースに作成した評価実験の結果

(2) 複合的ストリーム処理に対するトレーサビリティ基盤

近年センサや IoT 機器等から多様なリアルタイムデータが生成されており、それらに対する AI 処理等を含めた複合的ストリーム処理も一般化しつつある。そのため、リアルタイムな複合的ストリーム分析処理に対する拡張来歴導出も重要である。リアルタイム分析を行うストリーム処理は、分析対象が無限長のデータシーケンスであることや、分析処理のオペレータの状態が刻々と変化する特徴があるため、(1) の枠組みをストリーム処理に直接適用することはできない。そこで、ストリーム処理において来歴を導出する GeneaLog をベースに拡張来歴を導出する枠組みを提案した。

GeneaLog は大きく 3 つのアイデアからなる。(i) 分析処理中の生成される全てのデータに対して、元になったデータを指すためのポインタ領域を追加し、(ii) 分析処理の各オペレータで出力タプルのポインタ領域に入力タプルをセットする。(iii) 最後に分析結果の来歴は分析結果からポインタを再帰的に辿ることで導出する。

これを踏まえ 3 点拡張を行った。(i) 全てのデータに判断根拠データへのポインタをさらに追加。(ii) オペレータで AI 処理等の判断根拠が必要な処理を行った場合、分析結果の判断根拠ポインタに判断根拠データをセット。(iii) 分析結果からポインタを辿る場合は入力タプルへのポインタだけでなく判断根拠ポインタも併せて辿る。以上 3 つの拡張を行うことでストリーム処理に対して拡張来歴を導出する枠組みを提案した。また、それを実装したプロトタイプシステムを、Apache Flink ならびに GeneaLog をベースに開発した。

プロトタイプシステムを用いた実験では、Amazon レビューデータをベースに作成した 2 種類の分析処理を用いて、拡張来歴導出のとき発生するオーバーヘッドをレイテンシとスループットの 2 つの指標で評価した。図 3 の左はレイテンシ、右はスループットを示す。Baseline と Lineage は来歴導出なしの場合と通常のデータ来歴のみ導出する場合を指しており、SAL が本研究が提案する拡張来歴を導出する手法である。この結果では、分析処理中の AI 処理の実行コストが大きい場合は SAL におけるオーバーヘッドの割合が小さくなる傾向が認められた。実

用的な AI 処理は多くの場合高コストであることが想定される。したがって、本手法により AI 処理を伴う複合的ストリーム分析処理に対して拡張来歴を導出した場合でも、通常処理に対するオーバーヘッドの割合は小さいことが示唆される。

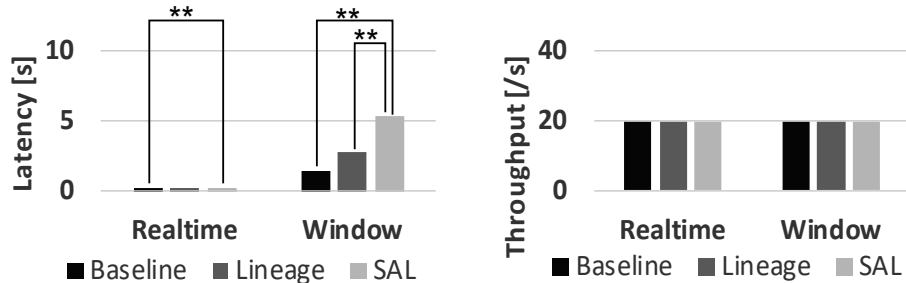


図 3. Amazon レビューデータを用いた評価実験結果

(3) 分散ストリーム処理のフォールトトレランスのための部分スナップショット方式

分散ストリーム処理システム (DSPS) は、複数のノードが連携して大量のストリームデータを継続的にリアルタイム処理する。DSPS では、一部ノードに障害が生じた際は、速やかに障害回復を行って継続的に到着するデータの処理を再開することが求められる。さらに、障害に対する回復処理を行った際でも、全ての入力ストリームデータを欠損も重複もなく一度だけ処理する Exactly-Once を保証する障害回復が望まれる。今日、多くの実用的 DSPS では、これを実現するためにグローバルチェックポイントによる方式を採用している。この方式では、分散システムの一貫性を有する内部状態（グローバルスナップショット）をグローバルチェックポイント処理により定期的に取得・保存し、障害発生時にはシステム全体を直近のグローバルスナップショットに戻した上で、その時点の入力ストリームから再実行する手法がとられている。しかし、この方法では障害発生時に全ノードのリスタートが必要であり、大きなオーバーヘッドが障害回復時には生じる。

本研究では、DSPS におけるチェックポイントの対象をより狭い範囲に限定し、障害発生時に一部ノードのリスタートのみでシステム全体の回復処理を実現する部分スナップショットスキーム (RegSnap) を提案した。また、RegSnap を代表的な DSPS である Apache Flink 上で実装し、その実現可能性と有効性を確認した。

一般に、ストリームアプリケーションは、ソースからシンクに至るオペレータ群をノードとする有向非巡回グラフとしてモデル化される。RegSnap のスナップショット領域 (SR) は、以下の図 4 に示すような部分グラフとして定義できる。すなわち、直感的には全オペレータからなるグラフのいずれかの下流部分に相当する部分グラフであり、この例のようにスナップショット領域が入れ子になっても良い。グローバルチェックポイントでは、チェックポイントバリアがソースから下流オペレータに向けて順次流れることで、チェックポイント処理が行われる。RegSnap では、グローバルチェックポイントに加えて、スナップショット領域ご

とに特化した部分チェックポイントが定期的に取りられる．部分チェックポイント処理では，スナップショット領域の最も上流に位置するイニシエータからチェックポイントバリアが下流に向けて流れることで領域内に特化したスナップショットが保存される．また，部分チェックポイント開始時以降にイニシエータに到着したインフライトデータは全てログに記録される．

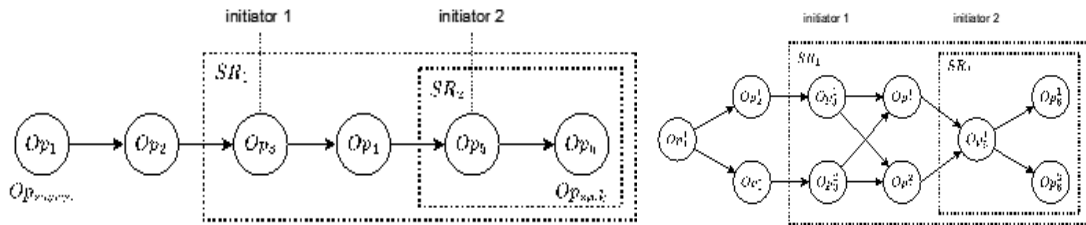


図 4. スナップショット領域（左：論理レベル，右：物理レベル）

RegSnap における障害回復処理では，障害が生じたオペレータを含む最小のスナップショット領域を特定し，その内部のオペレータの状態を部分スナップショットを用いて復元すると共に，インフライトログ中のデータをイニシエータに再送することでスナップショット領域の回復処理を行う．スナップショット領域の回復処理が終了した後は，システム全体での処理が再開される．なお，障害が上流オペレータで発生し，それを含むスナップショット領域がない場合は，通常と同様にグローバルチェックポイントによる障害回復が行われる．

本研究では，Flink 上のプロトタイプシステムを用いた性能評価を行った．評価には標準ベンチマーク Nexmark 中のクエリ q4 と q5 を含む 4 つのクエリを選択した．図 5 はグローバルチェックポイントと部分チェックポイントにおけるチェックポイント処理時間とスナップショットサイズを比較したものである．スナップショット領域が狭い場合は，処理時間もサイズも小さくなっていることが確認できる．表 1 は障害回復処理に必要な時間を比較したものである．スナップショット領域が小さい場合は，障害回復処理時間も縮小できていることが確認できる．このように，RegSnap では，定義されたスナップショット領域のサイズの割合に応じて，チェックポイント処理時間と回復処理時間を短縮できることが確認できた．なお，結合などの高コストなステートフルオペレータは，性能に大きな影響を与えるので，スナップショット領域の選択に当たっては，オペレータの性質にも留意する必要がある．

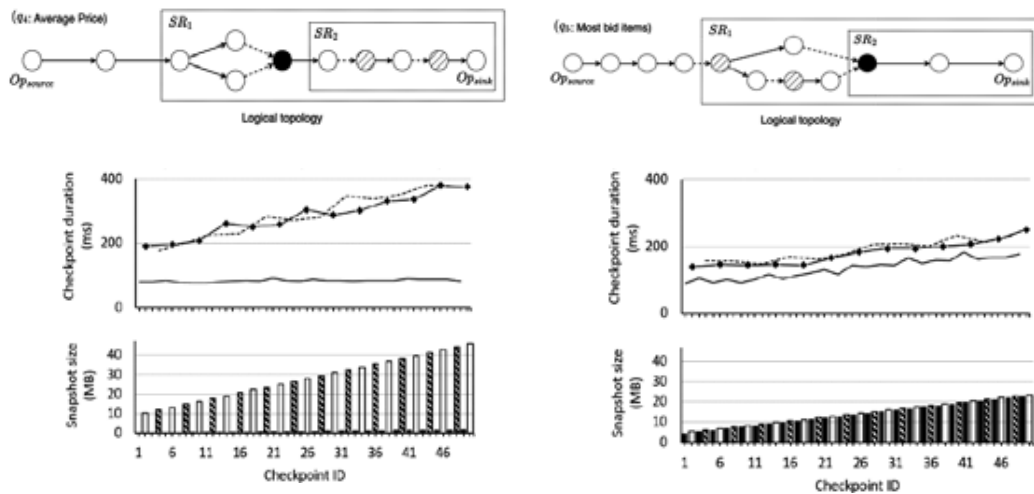


図 5. チェックポイント処理時間とスナップショットサイズ（左：q4，右：q5）

表 1 障害回復処理

Query	Average of recovery time (ms)		
	Global Recovery	Recovery of SR_1	Recovery of SR_2
q4	156.2	143.4	18.0
q5	79.2	75.8	52.8

(4) InTrans: Fast Incremental Transformer for Time Series Data Prediction

時系列データの予測 (TF) は、自然災害防止システム、天気予報、交通管制システムなど、多くのアプリケーションで役立つため広く研究されている。多くの既存の予測モデルは、短いシーケンスの予測においてうまく機能する傾向があることが知られている。ただし、長いシーケンスの時系列を扱うと、パフォーマンスが大幅に低下する。最近では、この方向性についてより多くの研究が行われており、Informer は現在最も高性能な予測モデルである。

TF では、通常、予測は連続的に行われる。たとえば、天気予報システムは、2 分ごとに次の 24 時間の天気を予測する。そのため、通常はスライディング ウィンドウを使用して作成されるトレーニング/テスト サンプル間で、入力と出力の両方が重複している場合が多くある。入力と出力の両方が、定義されたスライドに従って、あるトレーニング/テスト サンプルから別のサンプルに重複している。本論文では、トレーニング/テスト サンプルが互いに重複している TF に焦点を当てる。

Informer の主な欠点は、段階的に学習できないことである。本研究では、InTrans と呼ばれる差分計算に基づく Transformer を提案し、Informer のトレーニング/予測時間を短縮することで上記のボトルネックに対処する。InTrans は、必要なパラメータのみを計算および更新することにより、時系列データから段階的に学習/予測できる。本論文の貢献は(1) 入力/出力

の両方の位置，時間，および値を差分埋め込みメカニズム，と (2)Query, Key, および Value を差分計算する自己注意メカニズムである．具体的なコンセプトを図 6 に示す．

Informer と比較した場合の InTrans の計算量は (1) $O(S)$ vs $O(L)$: 位置的小よび時間的小埋め込み， (2) $O(S+k-1)$ vs $O(L)$: Value の埋め込み，と (3) $O(S+k-1)$ vs $O(L)$: 自己注意メカニズムでの Query/Key/Value の計算である．なお L は入力の長さ， k は kernel のサイズ，と S は slide サイズである．実験の結果により，InTrans は，Informer と比較して，同じ予測精度を達成しながら，学習/予測時間を約 26% 短縮できることが示された (図 7) ．

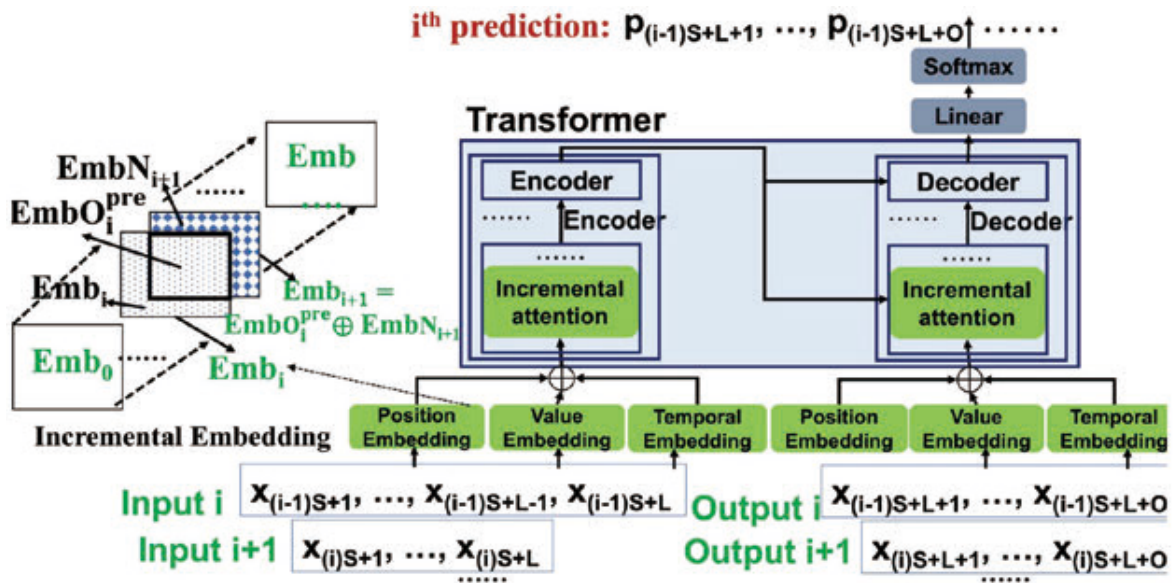


図 6. 提案する InTrans の概要

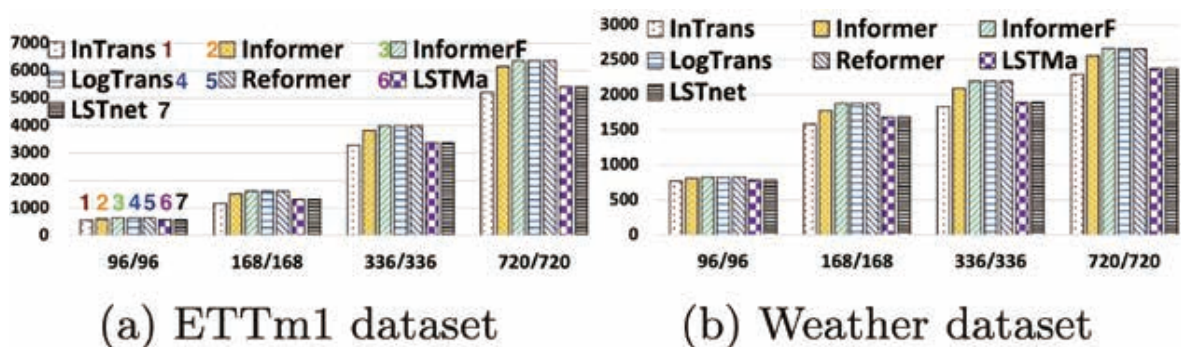


図 7. 入力/出力長を増やした場合のテスト時間 (秒)

(5) 事前学習済み文脈埋め込みモデルを用いた実体マッチングのためのブロッキング手法

実体マッチングとは，商品や人物など，実世界の実体に対応するレコード集合が二つ与えられたとき，同じ実体を参照しているレコード同士をマッチさせる処理である．同じ対象に

関するデータを格納する異なるテーブル同士の統合や、同一のテーブルにおける重複レコードの検出など、多くの応用で利用されている。実体マッチングをナイーブに処理しようとする、サイズが m および n のテーブルに対して $m \times n$ 回のレコード比較が必要であり、大きなサイズのテーブルを処理する際に問題となる。これに対して、類似したレコード同士をテーブル内であらかじめグループ化しておき、類似したグループの間だけでレコード同士の比較を行うことによって、比較回数を大幅に削減する**ブロック化手法**が広く用いられている。ブロック化では、正解としてマッチするレコード同士をいかに精度良く同じブロックに割り当てることが課題であり、これまでに教師ありの手法、教師なしの手法を含め多くの手法が提案されてきた。

本研究では、高精度なブロック化を実現するために、近年広く用いられるようになった事前学習済み言語モデル (PrLM) を用いたレコードの埋め込み表現に加え、類似レコードのブロック化のために、埋込ベクトルから構成される k 最近傍グラフ上のクラスタリングを用いる手法を提案した (図 8)。提案手法では、入力テーブルの各レコードの属性を連結して単一文字列に変換したのち、PrLM によってベクトル空間に埋め込む。その際、対照学習 (Contrastive Learning) を適用することで埋め込みベクトルを計算する。得られたベクトル表現は高次元であるため、必要に応じて次元削減を行なった後、各レコードを頂点とするグラフに変換する。その際、頂点から最も近傍にある k 個の頂点に対して辺を作成することで、 k 最近傍グラフを構成する。彫られたグラフに対して、モジュラリティ最小化などのクラスタリングを適用することで、類似したレコードからなるブロックを作成する。

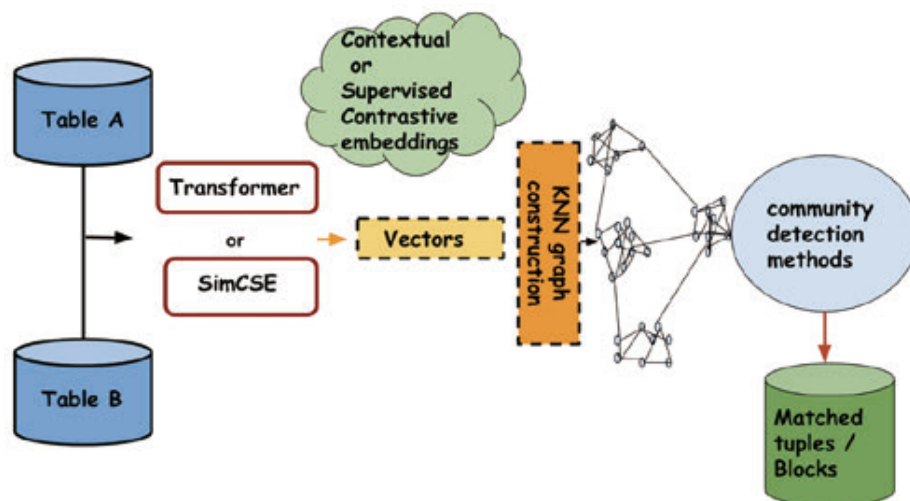


図 8. 提案するブロック化手法の概要

提案手法の有効性を評価するため、4 種類のデータセットを用いた評価実験を行った。そのうち図 9 は iTunes データセットと Amazon データセットのマッチングを行なった際の実行時間および精度 (F-measure) を示している。実験では、異なる PrLM (method 列) に対して複

数のグラフクラスタリングアルゴリズム (algorithm 列) を組み合わせた手法と、対照学習をと入れた提案手法 (SimCSE) を比較している。その結果から、提案手法はトータルの処理時間を抑えつつ、最も良い精度を実現していることが示された。

Table 5: iTunes-Amazon.

method	algo _{best}	emb' _{sec}	bk _{sec}	total _{sec}	F1
R-BERT	l'vian	91.8	461.8	553.6	85.2
DeBERTa	l'vian	311.2	557.2	868.4	89.2
RoBERTa	l'vian	253.6	58.1	311.7	89.7
BART	l'vian	324.0	433.6	757.6	91.7
RNN	birch	2329.8	dnf	dnf	dnf
SimCSE	l'vian	64.5	160.9	225.4	92.8
R-BERT _d	l'den	127.7	328.2	455.9	56.2
DeBERTa _d	l'den	470.0	607.8	1077.8	56.4
RoBERTa _d	l'vian	391.5	368.2	759.7	64.0
BART _d	l'den	642.9	347.5	990.4	68.0
SimCSE _d	l'den	125.8	164.4	290.2	89.7

図 9. 実験結果

[2] データマイニング・知識発見技術

(1) 静的データ・ストリームデータに対するクラスタ境界点検出

データセットにおける境界点 (Boundary point) とは、密なクラスタの境界領域に位置する点のことである。クラスタ中の中心に近い位置にある点は一般性をもった典型的データであり、コアポイント (Core point) と呼ばれる。一方、クラスタから遠く離れた点は外れ値 (Outlier) を表す。境界点は、外れ値とは言えないもののコアポイントとは少し外れた境界的な性質のデータとなる。データ応用では、境界点の検出が有用なケースが存在する。例えば、健康状態を表すデータでは、境界データは疾病を発症するには至っていないものの、そのリスクが高まっている被験者を表す可能性がある。

これまでも境界点検出の研究は行われてきたが、既存の手法には多くの問題点がある。例えば、一部の手法では境界点と外れ値を充分区別することができない。したがって、境界点検出の精度は、データセット内の外れ値の存在によって影響を受ける。また、一部の手法は、データセット内の外れ値に関する知識がないと決定が難しいパラメタを含む。

本研究では、これらの問題を解決する新たな境界点検出手法である Boundary Point Factor 手法 (BPF) を提案した。BPF では、Gravity と Local Outlier Factor (LOF) を組み合わせて BPF スコアを各点に対して計算し、そのスコアの高い点を境界点として検出する。Gravity は、対象点からその k 最近傍点方向の単位ベクトルの平均ベクトル長として計算される 0 から 1 までの間の値を取る値であり、 k 最近傍点が特定の方向に偏って存在する場合に 1 に近い値を、全方向に満遍なく存在する場合に 0 に近い値を取る。LOF は良く知られた密度ベースの外れ

値検出手法であり、外れ値は大きな LOF スコアを取る一方、それ以外の点は 1 に比較的近い値を取るという性質を有する．点 p の Gravity スコア $G(p)$ 、LOF スコア $LOF(p)$ を用いて、BPF スコアは、 $BPF(p)=G(p)/LOF(p)$ により求められる．図 10 に示すように、境界点 p 、コア点 q 、外れ値 r とすると、 $G(p)>G(q)$ ならびに $LOF(p)$ 、 $LOF(q)<<LOF(r)$ が成り立つ可能性が高いため、 $BPF(p)>BPF(q)$ 、 $BPF(r)$ となり、境界点 p の BPF スコアが高くなることが期待される．

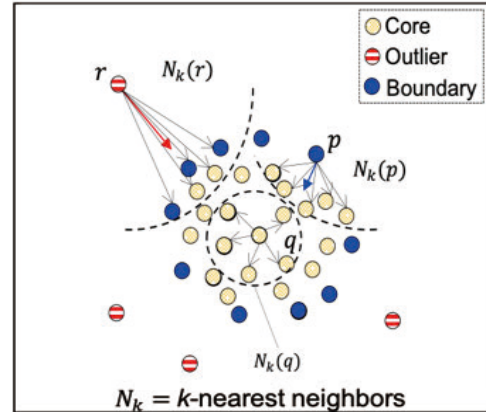


図 10. 境界点，コアポイント，外れ値

StaticBPF は、静的データセット内の全データに対して BPF スコアを計算し、上位 m 個の境界点を検出するアルゴリズムである． k 最近傍を効率的に探索する索引を使用しない場合、StaticBPF の計算量はデータ件数 n に対して $O(n^2)$ である．図 11 は、StaticBPF の検出精度を、既存手法である BORDER, BorderShift, BRIM, BPDAD と比較した結果である．検出された境界点を赤色で示している．表 2 は定量的精度比較の結果である．これらの結果は、StaticBPF が既存方法と比較してより効果的に境界点を検出できることを示している．

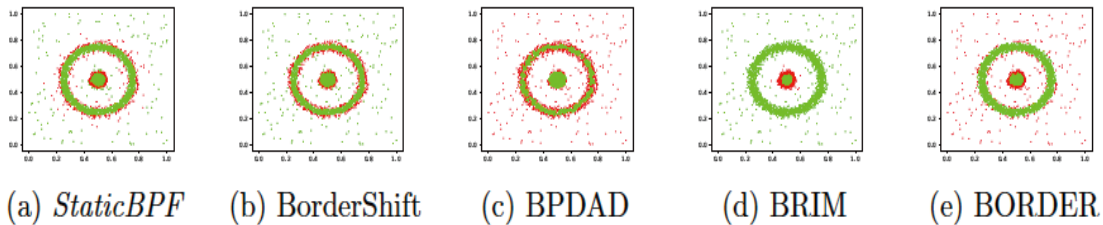


図 11. 2 次元データを用いた各手法の比較

表 2 各手法の定量的性能比較

Method	Parameter	Prec	Rec	F1	ROC	PR
StaticBPF	$k = 200$	0.79	0.79	0.79	0.97	0.71
BPDAD	#boundaries=915	0.33	0.53	0.4	—	—
BRIM	$eps = 0.094$	0.53	0.53	0.53	0.78	0.59
BORDER	$k = 100$	0.69	0.69	0.69	0.95	0.55
BorderShift	$k = 100, \lambda_1 = 3461, \lambda_2 = 4028$	0.66	0.66	0.66	0.93	0.69

本研究では、さらにストリームに対して境界点検出を行う StreamBPF を開発した．StreamBPF はストリーム上のスライディングウィンドウ内の境界点検出を継続的に行うもので、グリッド構造を用いた k 最近傍計算と、ウィンドウがスライドした際の差分計算を組み

合わせることで、ウィンドウ内の全ての点の BPF スコアを効率的に計算可能である。前者においては、グリッド構造を使用し、ウィンドウ内の全てのポイントをセルにグループ化することで、ウィンドウ内のすべての点のペアごとに距離を単純に計算するよりも、 k 最近傍を効率的に計算可能である。後者においては、ウィンドウのスライドによる新たな点の到着や期限切れによる点の削除によって Gravity スコアや LOF スコアが影響を受ける点を特定し、それらの点の BPF スコアを効率的に更新する。図 12 (a) (b) は、合成データを用いて最近傍数 (k) とスライドサイズ (w) を変更した場合の 処理時間の変化を、StreamBPF, StaticBPF を繰返すナイーブな方式、差分計算のみを用いた方式 (IncBPF)、グリッド構造のみを用いた方式 (GridBPF) と比較したものである。図 12 (c) (d) は、処理時間を実データで評価したものである。グリッド構造と差分計算を併用することで、比較手法と比べて StreamBPF は優れた処理性能を示している。

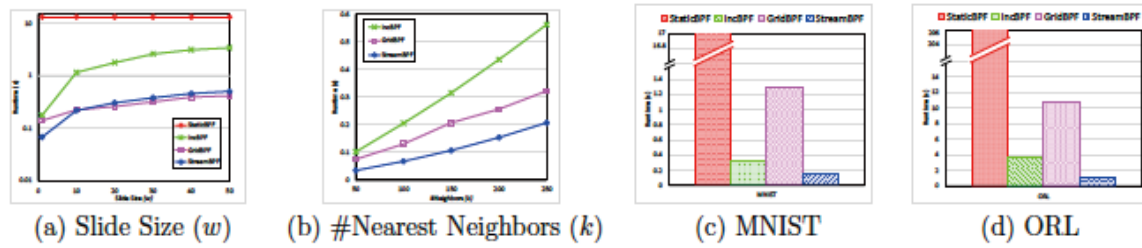


図 12. StreamBPF の性能評価

(2) Indexing Complex Networks for Fast Attributed kNN Queries

2021 年度から引き続き、本研究ではネットワーク上のデータに対して高速に k 最近傍検索を行うための索引構築手法を提案した。ネットワーク上のデータに対してこれまで多数の索引構築手法が提案されているが、その多くは属性を考慮しておらず、平面グラフを対象としたものである。一方で、実世界で多く観測される複雑ネットワークは平面グラフとは異なりエッジ同士の交差を多く含む構造特性があるとともに、ネットワーク上のノードが複数の属性を有する。(例えば、MaaS により構築されるネットワークを考えた場合、各ノードはその行動履歴に伴い複雑にリンクする。また、各ノードはユーザや移動体を表すことから、ユーザの性質を示す属性をもつことが自然である。) その結果として、従来の索引構築手法は実践的なデータに置いて索引構築に膨大な計算時間が必要となり、 k 最近傍検索を高速化できない。

本研究では多モーダルな属性を持った複雑ネットワークに対して、効率的な k 最近傍検索を実現するための索引構築手法を提案した 1)。提案手法 BAG-index では、複雑ネットワークに含まれる基調構造を抽出し、それぞれの基調構造に対して属性索引と基調構造索引を構築する。属性索引と基調構造索引は、それぞれ複雑ネットワークの構造を考慮することで検索

に必要な情報を $O(1)$ 時間で見つけることができる。図 13（左）は提案手法と既存手法の検索時間の比較を行ったものである。図中の CT+BAG が提案手法、CT+Naïve は我々が 2021 年度に開発した手法を拡張したもの、CT+G-Tree は最先端手法を示している。また、24 時間以内に計算が終了しないものについては図から除外している。この結果からも明らかなように、提案手法は既存手法と比較して 100～1,000 倍高速な検索処理を実現している。また、本研究の提案する BAG-index は基調構造を捉えることで、索引構築時間も既存手法と比べて大幅に高速である。図 13（右）に索引構築時間の比較結果を示す。この図からわかるように、提案手法 CT+BAG は最先端手法 CT+G-Tree と比較して、20,000 倍程度高速である。

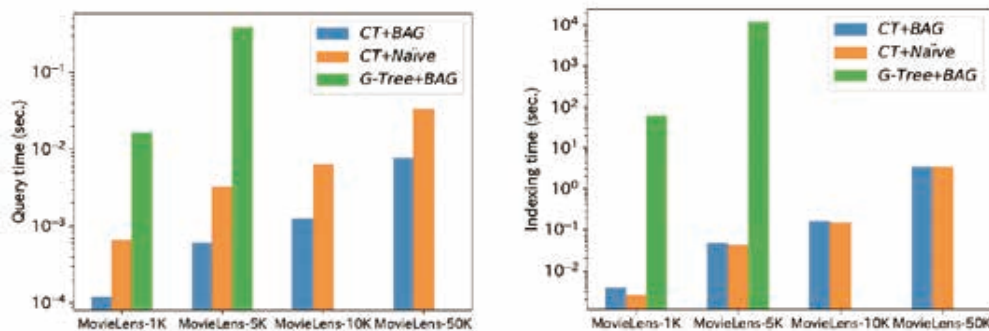


図 13. （左）問合せ処理時間の比較

（右）索引構築時間の比較

(3) Fast Top-k Similar Sequence Search on DNA Databases

文字列の類似度や相関に関する研究は、データベース分野や生命情報科学分野等において基本的な問題であり、データクリーニングやゲノムシーケンスアセンブリなどに数多く採用されている。例えば、地球上のいかなる生物の DNA も A, C, G, T の 4 文字で構成される文字列として表すことができ、生物学的に近い種は似たような DNA シーケンスとなる可能性がある。そのため DNA シーケンスの類似度や相関に関する問題は文字列処理と同等の問題として考えることができる。本研究では DNA シーケンス集合を対象とした類似検索手法について考える。これはユーザからクエリ DNA シーケンスシーケンスが与えられたとき、DNA シーケンス集合の中から類似度の高い部分文字列を列挙する問題である。DNA シーケンスに対する類似度評価には文字列編集距離を利用することが一般的である。しかしながら、生命科学分野で用いられる DNA シーケンスのシーケンス長は 1 億個以上の要素から構成されることが多い。そのため、既存の高速な編集距離計算手法を用いても膨大な計算時間を要する問題がある。

本研究では約百万件の DNA シーケンス集合の中からクエリ文字列に対して編集距離が小さい k 個の部分系列を高速に列挙する手法を開発した。上述の通り、DNA シーケンス長が大

きい場合、類似度評価に用いる編集距離計算に大きな計算時間を必要とする。本研究ではこの問題を解決するために、編集距離の分割計算手法を提案し、近似編集距離を高速に求めることを可能とした。本研究が開発した類似検索手法では、この近似編集距離に基づいて、検索結果として不適切な DNA シーケンスを効率的に除外することができる。その結果として、実際の DNA シーケンス集合において最大で 4 倍程度高速な検索処理を実現した。表 3 では検索件数 k を 500～2,000 件に変化させた場合の提案手法の再現率を示している（1.00 に近いほど、高い精度の検索結果を意味する。）この結果からも明らかなように、提案手法は近似編集距離を用いるものの、高い精度で検索を実行可能であることを確認した。

表 3 検索結果の再現率

Datasets	$k = 500$	$k = 1,000$	$k = 1,500$	$k = 2,000$
dataset 1	1.000	1.000	0.950	0.926
dataset 2	0.998	0.993	0.934	0.913
dataset 3	0.998	0.987	0.932	0.910

(4) PR-MVI: Efficient Missing Value Imputation over Data Streams by Distance Likelihood

データ ストリームで欠落している属性値を予測することは、多くのアプリケーションで分析結果の精度を高めるのに役立つ。永続的に保存されたデータに対して、多くのアルゴリズム（距離尤度最大化 (DLM) など）が提案されていった。既存手法はデータ ストリームの処理に使用できるが、データ ストリームの分布がトレーニング データとは異なる場合、パフォーマンスが低下する。一部の既存手法（自己回帰統合移動平均 (ARIMA) など）はデータ ストリームを処理できるが、カテゴリ データは処理できない。

具体的なコンセプトを図 14 に示す。過去の信頼できるトレーニング データ (R) とデータ ストリームからの最新のデータのセット (W) は相互に補完的である。具体的には、 W は、データ ストリームの動作が R の動作からシフトしたことを予測モデルに指示するのに役立つ。逆に、 R は、基本的でありながら永続的な知識を予測モデルに提供し、学習がデータ ストリームの動作のノイズや一時的な変化によって過度に影響されるのを防ぐことができる。さらに、DLM は数値データとカテゴリ データの両方をサポートできるため、DLM は R と W の両方から学習できるように拡張されている。

この論文では、過去のトレーニングと同様のおよび/または異なる分布を持つ数値データ ストリームとカテゴリ データ ストリームの両方に対して、「PR-MVI」と呼ばれる、距離尤度による欠損属性値補完のための過去および最近の隣接ベースのアプローチを提案する。さまざまなデータセットに対する広範な実験により、PR-MVI が既存手法よりもデータ ストリームから欠落している属性値をより適切に補完することが示される。PR-MVI は、時間の経

過とともに動的に変化するデータ ストリームに対して ARIMA より約 13%, DLM より約 45% 優れている. 過去のトレーニング データと同様の分布を持つデータ ストリームの場合, PR-MVI は DLM と同等のパフォーマンスを実現し, ARIMA よりも大幅に優れたパフォーマンスを実現する (図 15) .

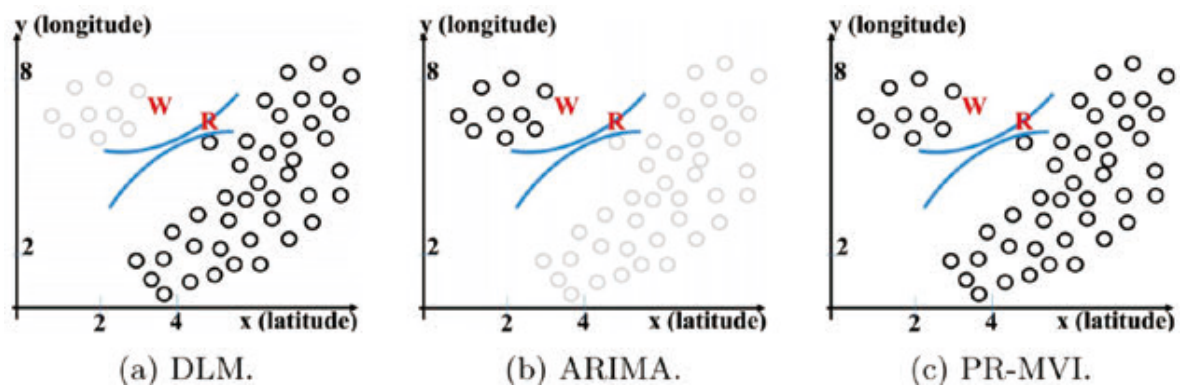


図 14. 既存の手法と PR-MVI の概要. 各ノードは各レコードを表し, R は過去の学習データを表し, W はデータストリームからの最新の完全なレコードのセットを表す. 薄茶色のノードは, 対応する手法の学習には使用されない

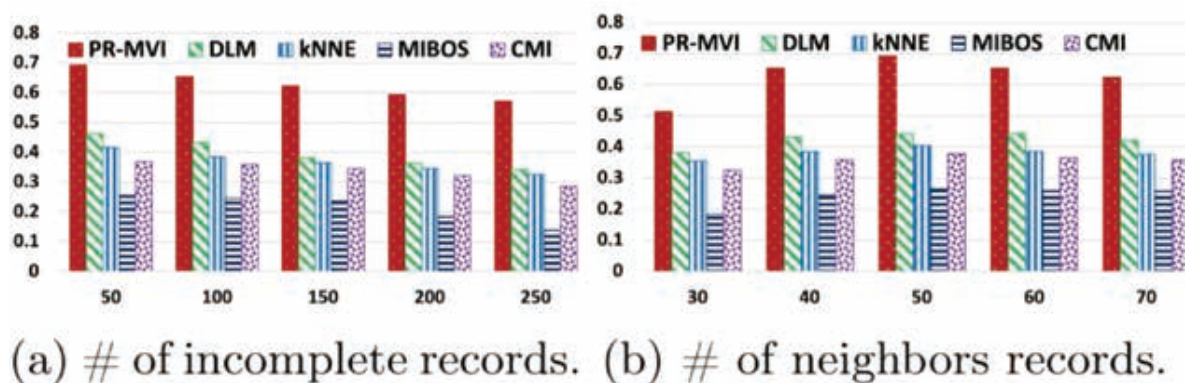


図 15. 提案された PR-MVI と他の既存手法の予測精度

(5) 低リソース言語を対象とした大規模言語モデルを用いた固有表現識別

テキスト処理において, 文章中に埋め込まれた個人名や組織名などの「固有表現」を識別することは, 検索や分析など様々なタスクに応用が可能であるため重要な処理として認識されている. その方式には様々なものがあるが, 近年では, 精度の高さから, 機械学習を用いた手法が注目されている. この手法では, 教師データとして自然文に対応する単語列及び固有表現ラベル (人名, 組織名など) を与え, 入力された単語列に対してそれぞれの固有表現ラベルを出力するよう機械学習モデルを学習させる. このときモデルの精度及び汎化性能を

向上させるためには、大規模な教師データが必要となる。英語や日本語など、このような言語リソースが潤沢な言語に対して、地球上の多くの言語は、このような言語リソースが十分整備されているとは言えず、これらへの対応が望まれている。

本研究では、主にエチオピア（アフリカ）周辺で使用され、900 万人以上の話者を持つ低リソースの一つである Tigrinya を対象に、固有表現識別のためのデータセットを作成するとともに、BERT ベースの言語モデルである RoBERTa を元に Tigrinya 向けに訓練した言語モデルである TigRoBERTa を提案した。データセット作成においては、Tigrinya 話者によって 5,645 文を人手でラベル付けした。

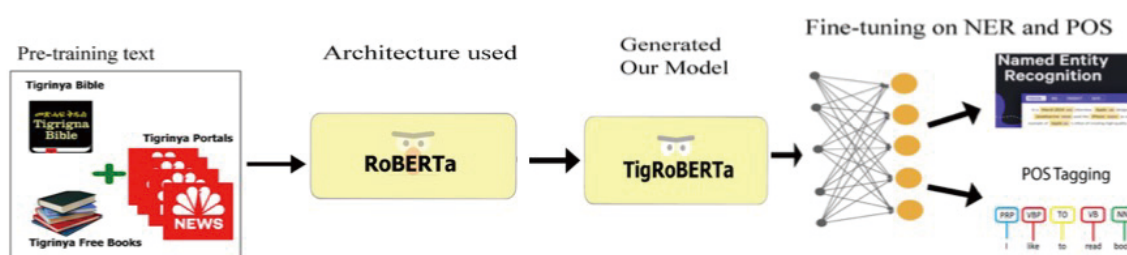


図 16. TigRoBERTa 言語モデル

図 16 に、提案する TigRoBERTa 言語モデルの概要を示す。通常の RoBERTa 同様、マスク付き言語モデルを利用し、Web から取得した 430 万文を使って言語モデルを学習した。さらに、自作の固有表現識別データセットを使ったファインチューニングを適用することで、目的のタスクに用いることができる機械学習モデルを訓練することができる。本研究では、固有表現識別に加え、品詞推定タスクのためのモデルも生成している。さらに、データセットの規模を補うため、半教師ありによるデータセットの拡張にも取り組んでいる。すなわち、一旦生成したモデルによってラベルの付与されていないデータセットにラベルを付与する。この時、モデル予測の確信度が一定以上のデータを教師データとして加えることで、データセットを拡張する。

	Dataset	Precision	Recall	F1score
Supervised (Fine-tune TigRoBERTa)	V1	80	82	81
	V1 & V2	83	86	<u>84</u>
Semi-supervised learning	$\mathcal{T} = 0.85$	80	79	80
	$\mathcal{T} = 0.90$	81	79	80
	$\mathcal{T} = 0.95$	80	81	<u>81</u>

図 17. TigRoBERTa の評価実験（固有表現識別）

提案手法の有効性を示すために評価実験を行っている。図 17 では、サイズの異なる教師データ（V1 のみ、V1+V2）での精度比較の結果、より大規模なデータセットを使うことで精度

が向上することが確認された．その一方で，半教師あり学習による精度向上については明確な精度向上は見られなかった．

[3] RDF・知識ベース・LOD

(1) フォグ環境における RDF 推論の動的負荷分散

デバイスやセンサーの発展とともに，実世界における様々なものをネットワークに接続し，リアルタイムに情報を取得することのできる IoT やサイバーフィジカルシステム (CPS) が注目されている．これらのネットワークでは，大量のセンサーが接続されているため，データを集約するサーバーに負荷が集中するという問題がある．この問題に対応するため，サーバーとジューデバイスの間で 中間的な集約を行うフォグノードを導入したアーキテクチャが注目されている．これによって，データ量や通信トラフィックの削減が期待できるが，ノードの移動や通信量の変化に伴って，フォグノード間の負荷分散をどのように行うかが重要となる．

一方，エッジデバイスの性能向上に伴い，これらの上で機械学習モデルを用いた推論などより高度な処理を行うことが可能になっている．この時より意味的なデータを扱うことが求められる．RDF (Resource Description Framework) は，このような意味的なデータを表現するとともに，意味的处理を行うことも可能であり，近年 IoT デバイスなどでも広く用いられるようになってきている．ただし，これまでフォグ環境における RDF 推論処理の負荷分散に関する研究はほとんど行われていない．

このため本研究では，フォグ環境における RDF 推論を対象とした動的負荷分散手法を提案している．図 18 に提案システムの概要を示す．RDF 推論はルールベースの単純なものを想定し，フォグあるいはクラウドによって処理が可能である．フォグノードでは CPU 付加を常時モニタリングしており，負荷が一定以上になると，RDF 推論ルールの一部をクラウドにオフロードすることによって負荷の均衡化を図る．

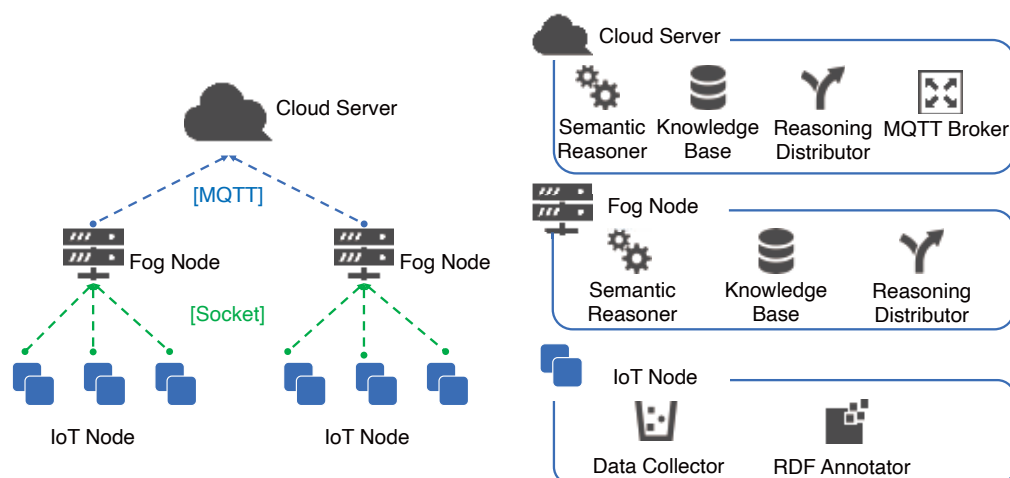


図 18. フォグ環境における RDF 推論の動的負荷分散

提案手法の有効性を検証するために評価実験を行った。実験では、スマートシティをシミュレートしたベンチマークによって生成された大気観測データに対して、RDF ルールによる推論を行った。その際、フォグの負荷や IoT ノードあるいはフォグノードの数を変化させた時のレイテンシの違いを観測した。図 19 は、フォグノードの付加を変化させた時の、クラウドおよびフォグでのユーザ通知時間（レイテンシ）の変化を表している。左はルールを固定した場合であり、負荷の増加とともにフォグでの通知時間が増加している。その一方、提案手法では、負荷に応じて推論ルールをクラウドにアウトソースすることによって処理時間が減少している。クラウドの処理能力には余裕があるため、通知時間の増加はフォグに比べて少ない。

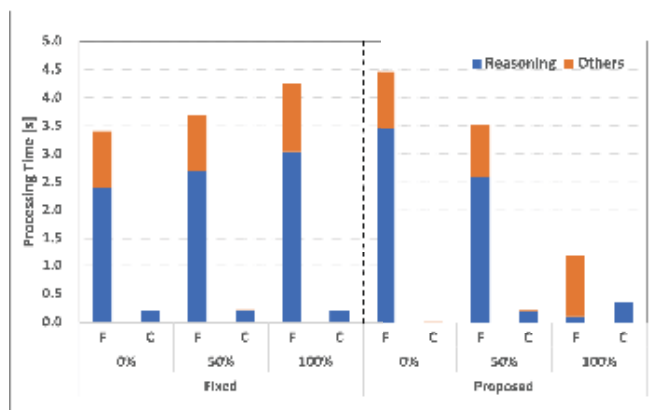


図 19. 評価実験（ユーザ通知時間の変化）

(2) ラベル付きグラフにおける正規パス問合せのための FPGA アクセラレータ

近年、モノの間の関連を表現したデータ構造であるグラフが注目されている。例えば、ソーシャルネットワークにおけるユーザ間の関係や、タンパク質間の相互作用ネットワークなどが代表的な例である。グラフの中でも、辺にラベルが付与されたものをラベル付きグラフと呼び、多くの応用で利用されている。与えられたラベル付きグラフに対して、特定の辺をいくつか通って到達することのできる頂点对を列挙する処理は、グラフから特定の情報を抽出する上で有用性が高い。特に、正規表現を使ってラベルのパターンを指定する処理を、正規パス問合せと言う。正規パス問合せの処理では、任意の頂点から幅優先探索を行うとともに、各探索で得られるパスが問合せで与えられた正規表現にマッチするかどうかを全てチェックする必要がある。このため規模の大きなグラフに対して実用的な処理性能を実現するためには、並列処理などを組み合わせる必要がある。

本研究では、ラベル付きグラフに対する正規パス問合せを高速に実行するために、FPGA (field-programmable grid array) 上のアクセラレータを開発した。FPGA、任意論理回路をソフトウェアで実現できるデバイスであり、近年高性能化が進んでいる。本研究では、FPGA 上で正規パス問合せを実行するために、グラフデータを隣接リスト形式で FPGA 上に読み込み、

複数スレッドで並列に幅優先探索を実行する．その際，探索される頂点までのパスが問合せにマッチするかどうかを，非決定性有限オートマトン（NFA）を用いてチェックする．FPGA上でNFAを実現するため，図20に示す方法を用いた．具体的には，正規表現をラベル(Tokens)，状態とラベルの対応(Triggers)，状態遷移(State Transition)の三つのテーブルで表現，管理する．

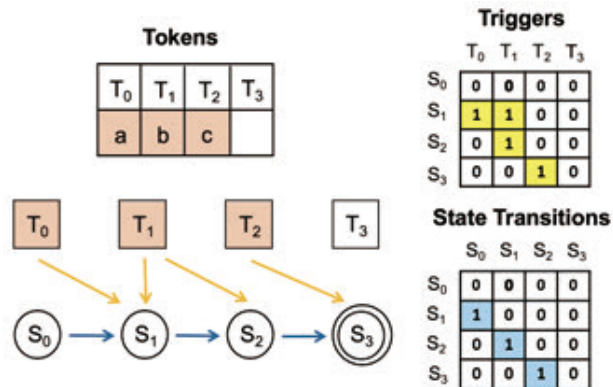


図 20. FPGA 上の NFA の実装 $(a \cup b) \circ b \circ c$

さらに，FPGA 上でグラフの幅優先探索を並列で実行するため，フロンティアを用いた幅優先探索アルゴリズムを拡張した（図 21）．通常のフロンティアでは一次元の配列によって各頂点が探索済みであるかどうかを管理するが，提案手法ではこれを二次元に拡張し，各頂点が NFA のどの状態にあるかを管理する．さらに，各セルの値をビット列とする．ビット列はそれぞれの位置が検索スレッドに対応しており，これにより複数スレッドでの幅優先探索および NFA によるマッチング処理を並列に行うことを可能にする．図では 2 並列の検索処理の例を示しており，実際は現在のフロンティアを参照しつつ，次のステップのフロンティアを作成し，これを交互に行うことで処理を進める．なお，フロンティアのサイズはグラフの頂点数に比例して増加するため，大規模なグラフを処理するためには，高速な BRAM には収まらない．その一方で，フロンティアは多くの要素が空であるため極めてスパースである．このため，フロンティアを圧縮した上でより容量の大きいデバイスメモリに置く方法についても検討した．

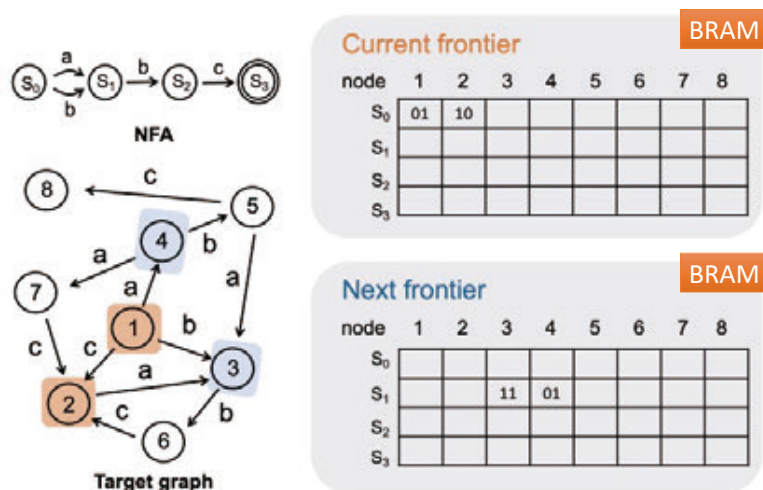


図 21. 拡張したフロンティアによる並列なグラフ探索

提案手法の有効性を検証するため、評価実験を実施した。Advogato データセットを用いて、正規パス問合せのパス長を変化させた時の実行時間を比較した(図 22, 縦軸は対数スケール)。比較手法は、索引ベースの Path Index とグラフデータベース Neo4j である。比較手法が、パスの長さに応じて大幅に処理時間が長くなっているのに対して、提案手法ではほぼ一定の処理時間となっている。また、並列度を上げることによって、より高速な検索が達成できることを確認した。

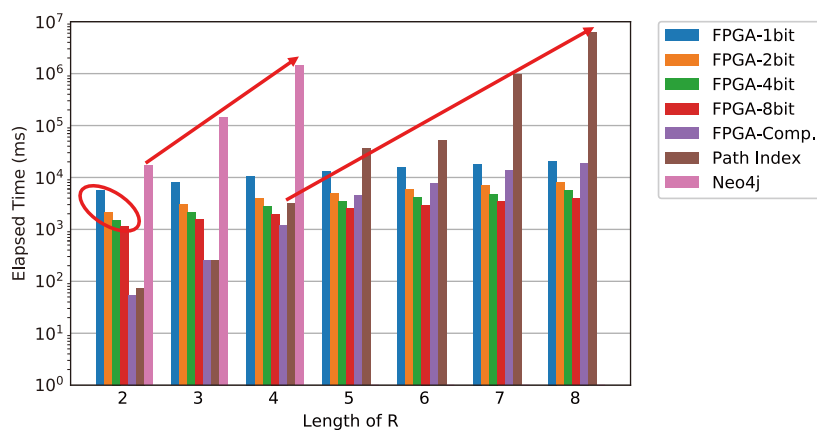


図 22. 正規パス問合せの処理時間

[4] データベース応用・データサイエンス

(1) An ensemble method for improving robustness against the electrode contact problems in automated sleep stage scoring

睡眠の臨床・診断を効率化すべく、深層学習を中心に様々な自動睡眠ステージ判定手法が提案されている。私たちの研究グループが以前より開発していた、判定理由の提示機構を含むステージ判定手法 Sleep-CAM も本年度論文化し、Scientific Report より報告している。

2022 年度は、Sleep-CAM を含む睡眠ステージ自動判定手法の頑健性の向上に取り組んだ。ステージ判定の判定精度は、電極の接触不良に由来するノイズに強く影響され、時には 50% 近く精度が低下する例も確認している。医師・技師の負担を考えると、どのような計測記録に対しても高精度で判定が行えることが望ましい。

本研究では、小モデルのアンサンブルを用いることでこの問題の解決を図った。具体的なコンセプトを図*に示す。本手法では、一般的なアンサンブルとは異なり、各小モデルは異なる信号を入力とし、その多数決をもって最終的なステージを決定している。ある電極が接触不良を起こした場合（図 23 では Fp2）、その電極を利用しない小モデルのみで多数決を取る。これにより接触不良の電極を「無視」することができる。本研究では、電極の接触抵抗を計測し、これを基に接触不良を起こしている電極を判断している。

図 24 は、M2 が接触不良を起こしている計測記録に対しステージ判定を行った際のヒプログラムである。提案手法を導入することで、M2 が接触不良を起こしていても判定が W（覚醒）に偏らず、適切なステージ判定を行っていることが分かる。また、アンサンブルの効果としてノイズのない領域においても判定精度が改善していた。

本研究の成果は筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構（WPI-IIIIS）との共同研究として、PLOS Digital Health に投稿中である。

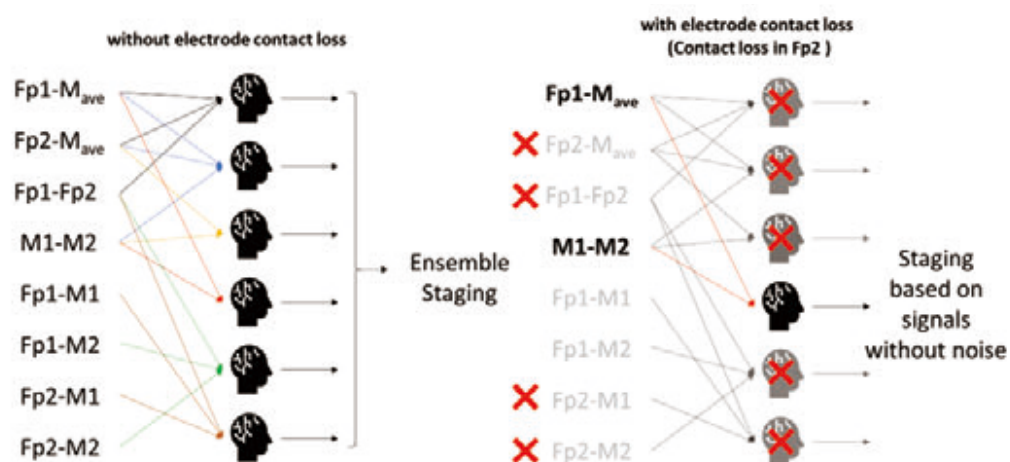


図 23. 提案するノイズ対策手法のコンセプト

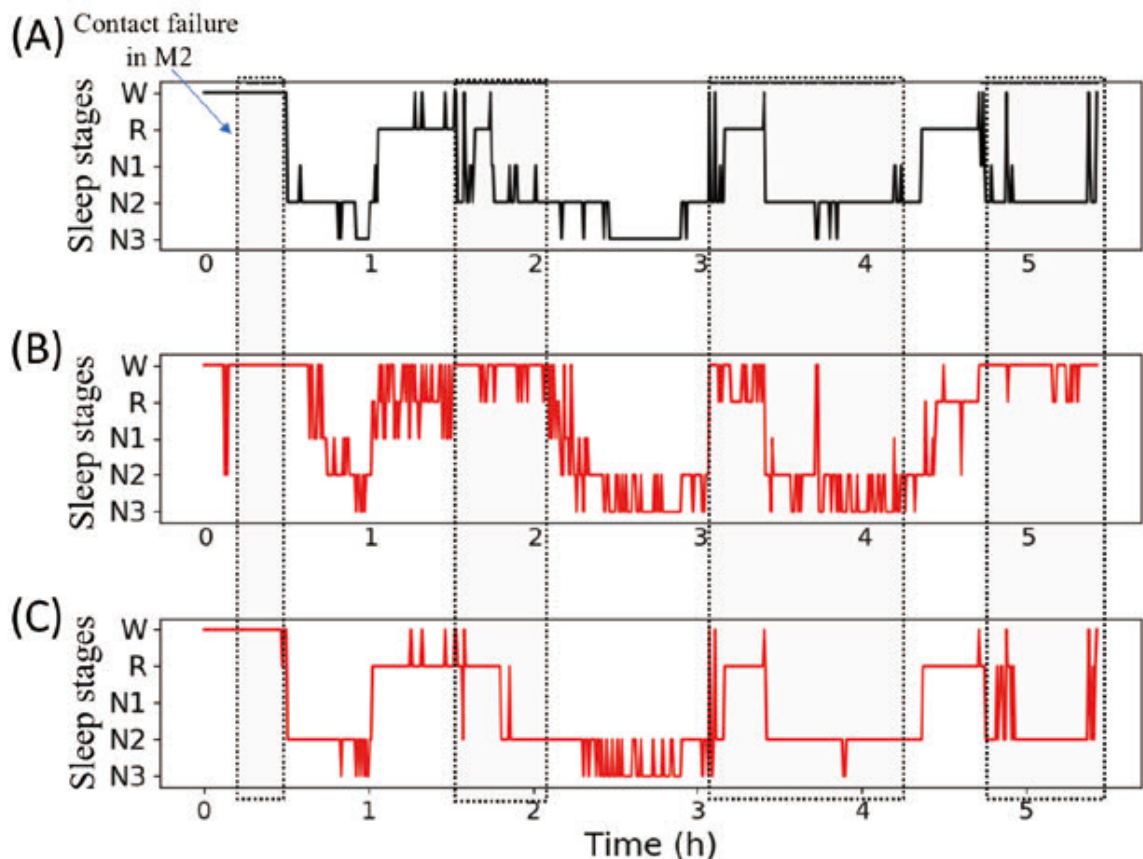


図 24. M2 接触不良を含む生体信号に対するステージ判定結果 (A) 技師による判定, (B) 対策を行わない場合, (C) 提案手法を導入した場合.

(2) Owro: A Novel Robot for Sitting Posture Training Based on Adaptive Human Robot Interaction (天笠)

現代は多くの人々がオフィスワークを始め、生活時間のほとんどを椅子に座って過ごしており、それに伴う健康被害が世界的に問題となっている。着座姿勢を正しいものにすることにより、このような健康被害を未然に防ぐことができる。この目的のために、我々は圧力センサを内蔵した IoT クッション (LifeChair) を開発した。これを椅子の上にセットすることで、利用者の着座姿勢をリアルタイムにモニタリング、機械学習を用いた着座位置を推定するとともに、スマートフォンを利用したフィードバックを行うことで、正しい着座位置への修正を可能にした。

本研究ではこれを受け、ロボットを用いた利用者へのフィードバックについて検討した。開発したロボット (Owro) を図 25 に示す。Owro は卓上設置型のロボットであり、LED によって異なる表情を示すことができる。利用者の着座姿勢が正しい時には喜びの表情、姿勢が悪い時には悲しみの表情を示すことで、利用者の正しい姿勢への矯正を実現する。

Owro の有効性を評価するために、評価実験を行なった（図 26）．実験では、被験者に前半 30 分は Owro によるフィードバックなし、後半 30 分はフィードバックありで作業をしてもらい、正しい着座姿勢でいた時間を比較した．その結果、Owro によるフィードバックにより、より正しい着座姿勢が実現できることが示された．



図 25. インタフェースロボット Owro

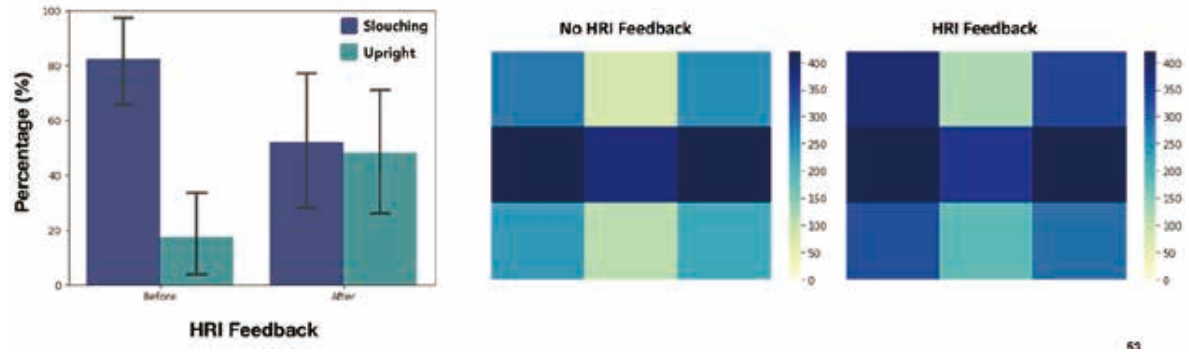


図 26. Owro を利用した被験者実験の結果

4. 教育

<修士（工学）>

1. 大森 雄基

エンティティリンキング機能を有する知識ベースと外部情報源の統合利用環境

2. 原田 亮

ゲノムアノテーションのためのアテンションベース Bi-LSTM を用いたエンドツーエンドなスプライス座位予測手法 (A scheme for end-to-end prediction of splice sites using attention-based Bi-LSTM for genome annotation)

3. 萬場 大登

メソッド構文木の埋め込みを利用したグラフニューラルネットワークによるクラス名推薦 (Class Name Recommendation with Graph Neural Networks Using Embedding of Method AST)

4. 小久保 柚真

フォグコンピューティングにおける RDF 推論処理の動的負荷分散

5. 小林 瑞季

雑ネットワークに対する k 最近傍検索のための高速な索引構築手法

6. 柳澤 隼也

不確実グラフにおける信頼性の高速推定

7. 高島 聡

機械学習による眼球指標を用いた客観的覚醒度合い推定手法の開発

8. 対比地 恭平

GPU を用いた高次元データに対する逆 k 最近傍検索の高速化

<学士(情報科学, 情報工学)>

1. 安田 裕真

多次元時系列データに対する高速な類似部分シーケンス問合せ

2. 山崎 昂輔

SparkSQL による効率的な SPARQL 問合せ処理のためのデータ分割

3. 山田 空

エポック内の時系列情報に着目した睡眠ステージ自動判定の精度向上とエポックフリー化

4. 小倉 勇大

ステートメント間の依存関係を入力とした Transformer に基づくメソッド名推定

5. 受賞, 外部資金, 知的財産権等

受賞

1. 情報処理学会第 85 回全国大会, 学生奨励賞: 川上隼, Bou Savong, 天笠俊之, "データストリームに対する効率的な複数連続的集約アルゴリズム", 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
2. 情報処理学会第 85 回全国大会, 学生奨励賞: 山崎昂輔, "異種知識グラフに対する効率的な問合せ処理のためのデータ分割手法", 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.

3. 情報処理学会第 85 回全国大会,学生奨励賞：小倉勇大, 早瀬康裕, 天笠俊之,"PDG 上の経路集合を入力とした二段階の Transformer によるメソッド名推定", 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
4. 情報処理学会第 85 回全国大会,学生奨励賞：高根沢光輔, "BERT-NER によるテンプレート分類と Patent-Tokenizer を用いた和文特許文章の文章生成", 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
5. 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 学生プレゼンテーション賞：Hiroto Mamba, Yasuhiro Hayase, Toshiyuki Amagasa, "Utilizing Abstract Syntax Tree Embedding to Improve the Quality of GNN-based Class Name Estimation", 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
6. 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 学生プレゼンテーション賞：山田真也, 北川博之, Salman Ahmed Shaikh, 天笠俊之, 的野晃整, "複合的ストリーム処理に対するトレーサビリティの研究", 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
7. 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 学生プレゼンテーション賞：直井悠馬, 真次彰平, 塩川浩昭, "グラフデータベースに対する高速高精度な相関問合せ", 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.

外部資金

1. 受託研究：民間企業共同研究（令和元年 10 月 1 日～令和 6 年 3 月 31 日）
研究課題：睡眠障害の自動診断システム及び睡眠障害の予防・改善・治療システムの研究開発
研究代表者：天笠 俊之
全年度直接経費：32,705,128 円 (R4 年度直接経費：7,083,333 円)
2. 受託研究：新エネルギー・産業技術総合開発機構（令和 2 年 7 月 16 日～令和 5 年 3 月 31 日）
研究課題：多粒度ストリームにおける StreamOps 技術の開発
研究代表者：天笠 俊之
全年度契約金額：30,821 千円（R4 年度直接経費：7,712 千円）
3. 受託研究：国立研究開発法人科学技術振興機構（令和 4 年 10 月 1 日～令和 6 年 3 月 31 日）
研究課題：データエコシステムのためのメタデータ管理およびスマート農業実証
研究代表者：天笠 俊之
全年度契約金額：27,950 千円（R4 年度直接経費：4,500 千円）

4. 共同研究：民間企業共同研究（令和４年４月１日～令和６年３月３１日）
研究課題：データエンジニアリングの知見の応用による SKYSEA Client View のログ
及び資産情報の処理の高速化・軽量化
研究代表者：天笠 俊之
直接経費：3,150 千円
5. 共同研究：民間企業共同研究（令和４年５月１２日～令和５年３月３１日）
研究課題：次世代データ解析基盤のためのグラフデータ解析技術に関する研究
研究代表者：天笠 俊之
直接経費：1,250 千円
6. 科研費：基盤 B （令和４年度～令和７年度）
研究課題：多粒度分散知識グラフ活用のための基盤技術に関する研究
研究代表者：天笠 俊之
全年度直接経費：12,800 千円 (R4 年度直接経費：3,200 千円)
7. 受託研究：科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（さきがけ）「IoT が拓く未来」(令和２年１１月１日～令和６年３月３１日)
研究課題：超高速な多モーダル IoT データ統合処理基盤
研究代表者：塩川 浩昭
全年度直接経費：40,000 千円 (R4 年度直接経費：13,500 千円)
8. 科研費：若手研究 （令和４年度～令和７年度）
研究課題：大規模科学データに対する高速問合せ処理
研究代表者：塩川 浩昭
全年度直接経費：3,600 千円 (R4 年度直接経費：600 千円)
9. 科研費：若手研究（令和元年度～令和４年度）
研究課題：敵対的生成ネットワークを用いたノイズ除去手法の開発と生体信号への
応用
研究代表者：堀江 和正
全年度直接経費：3,300 千円 (R4 年度期間延長分：1,807,950 円)
10. 科研費：基盤研究 B （令和元年度～令和４年度）
研究課題：高水準仮想化機能を持つ Augmented リアルビッグデータ利活用基盤の構
築
研究代表者：北川 博之
全年度直接経費：13,200 千円 (R4 年度直接経費：2,900 千円)
11. 科研費：挑戦的研究（萌芽）（令和４年６月３０日～令和６年度）
研究課題：睡眠センシングストリーム基盤を用いた睡眠時のリアルタイム情動推定

研究代表者：北川 博之

全年度直接経費：4,800 千円 (R4 年度直接経費：1,500 千円)

12. 受託研究：AMED ムーンショット型研究開発事業（令和3年度～令和7年度）

睡眠と冬眠：2つの「眠り」の解明と操作が拓く新世代医療の展開

研究分担者：北川 博之

R4 年度直接経費：650 千円

13. 共同研究：民間企業共同研究（令和4年4月1日～令和5年3月31日）

研究課題：モビリティイノベーションの社会応用と未来社会工学研究

研究分担者：北川 博之

R4 年度直接経費：7,000 千円

14. 共同研究：民間企業共同研究（令和3年4月1日～令和6年3月31日）

研究課題：データエンジニアリングの知見の応用による SKYSEA Client View のログ
及び資産情報の処理の高度化

研究代表者：北川 博之

直接経費：3,150 千円

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

< 学術雑誌論文 >

1. Suomi Kobayashi, Shohei Matsugu, Hiroaki Shiokawa, "Indexing Complex Networks for Fast Attributed kNN Queries", Social Network Analysis and Mining, Vol.12, No.82, pp.21 pages, Jul. 2022.
2. Katia Bourahmoune, Karlos Ishac, Toshiyuki Amagasa, "Intelligent Posture Training: Machine-Learning-Powered Human Sitting Posture Recognition Based on a Pressure-Sensing IoT Cushion", Sensors, Vol. 22, No. 14, Article No. 5337, Jul. 2022.
3. Kazumasa Horie, Leo Ota, Ryusuke Miyamoto, Takashi Abe, Yoko Suzuki, Fusae Kawana, Toshio Kokubo, Masashi Yanagisawa, and Hiroyuki Kitagawa, "Automated sleep stage scoring employing a reasoning mechanism and evaluation of its explainability", Scientific Reports, Vol. 12, Article number 12799, Jul. 2022.
4. Kota Yukawa, Toshiyuki Amagasa, "Online Optimized Product Quantization for ANN Queries over Dynamic Database using SVD-Updating", Trans. Large Scale Data Knowl. Centered Syst., Vol. 52, pp. 86-102, Sep. 2022.

5. Ryohei Kobayashi, Kento Miura, Norihisa Fujita, Taisuke Boku, and Toshiyuki Amagasa, "An Open-source FPGA Library for Data Sorting", Journal of Information Processing, Vol.30, pp.766-777, Oct. 2022.
6. Savong Bou, Hiroyuki Kitagawa, Toshiyuki Amagasa, "CPiX: Real-Time Analytics Over Out-of-Order Data Streams by Incremental Sliding-Window Aggregation", IEEE Trans, Knowl, Data Eng, Vol. 34, No. 11, pp. 5239-5250, Nov. 2022.
7. Hailemariam Mehari Yohannes, Toshiyuki Amagasa, "A method of named entity recognition for Tigrinya", ACM SIGAPP Applied Computing Review (SIGAPP), Vol. 22, Issue 3, pp 56-68, Nov. 2022.
8. Masaya Yamada, Hiroyuki Kitagawa, Toshiyuki Amagasa, Akiyoshi Matono, "Augmented Lineage: Traceability of Data Analysis Including Complex UDF Processing", The VLDB Journal, Springer, Nov. 2022.
9. John Bosco Mugeni, Toshiyuki Amagasa, "A Graph-Based Blocking Approach for Entity Matching Using Contrastively Learned Embeddings", ACM SIGAPP Applied Computing Review, Vol. 22, Issue 4, pp 37-46, Feb. 2023.
10. Vijdan Khaliq, Hiroyuki Kitagawa, and Toshiyuki Amagasa, "BPF: A Novel Cluster Boundary Points Detection Method for Static and Streaming Data", Knowledge and Information Systems, Springer, Mar. 2023.

B) 査読無し論文

該当なし

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

1. Hiroyuki Kitagawa, "Big Sequence Data Analysis: From Stream Processing Technology to Applications in Sleep Medicine", The 23rd IEEE International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI2022) (Keynote Talk), Online , Aug. 9, 2022.

B) 一般講演

<査読付き国際会議論文>

1. John Bosco Mugeni, Toshiyuki Amagasa, "A graph-based blocking approach for entity matching using pre-trained contextual embedding models", The 37th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing, April 2022 (SAC 2022), pp. 357-364, Virtual Conference, Apr.25-29, 2022.

2. Hailemariam Mehari Yohannes, Toshiyuki Amagasa, "Named-entity recognition for a low-resource language using pre-trained language model", The 37th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing, April 2022 (SAC 2022), pp. 837-844, Virtual Conference, Apr. 25-29, 2022.
3. Vijdan Khaliq and Hiroyuki Kitagawa, "BPF: An Effective Cluster Boundary Points Detection Technique", Proc. 33rd International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2022), Part I, pp. 404-416, Vienna, Austria, Aug. 22-24, 2022.
4. Savong Bou, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, "InTrans: Fast Incremental Transformer for Time Series Data Prediction", Proc. 33rd International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2022), Part II, pp. 47-61, Vienna, Austria, Aug. 22-24, 2022.
5. Kota Yukawa, Toshiyuki Amagasa, "BLOCK-OPTICS: An Efficient Density-Based Clustering Based on OPTICS", Proc. 33rd International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2022), Part II, pp. 291-296, Vienna, Austria, Aug. 22-24, 2022.
6. Kyohei Tsuihiji, Toshiyuki Amagasa, "GPU-Accelerated Reverse K-Nearest Neighbor Search for High-Dimensional Data", The 11th Int'l Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMoC-2022) in conjunction with NBS 2022, pp. 279-288, Virtual Conference, Sep. 7, 2022.
7. Salman Ahmed Shaikh, Hiroyuki Kitagawa, Akiyoshi Matono, Kyoung-Sook Kim, "TStream: A Framework for Real-time and Scalable Trajectory Stream Processing and Analysis", Proc. 30th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems 2022 (ACM SIGSPATIAL 2022), Seattle, Washington, Nov. 1-4, 2022.
8. Ryuichi Yagi, Hiroaki Shiokawa, "Fast Top-k Similar Sequence Search on DNA Databases", Proc. 24th International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2022), pp. 145-150, Virtual Conference, Nov. 28-30, 2022.
9. Suomi Kobayashi, Shohei Matsugu, Hiroaki Shiokawa, "Tree-based Graph Indexing for Fast kNN Queries", Proc. 24th International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2022), pp. 195-207, Virtual Conference, Nov. 28-30, 2022.
10. Masaya Yamada, Hiroyuki Kitagawa, Salman Ahmed Shaikh, Toshiyuki Amagasa, Akiyoshi Matono, "Streaming Augmented Lineage: Traceability of Complex Stream Data Analysis", Proc. 24th International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2022), pp. 224-236, Virtual Conference, Nov. 28-30, 2022.
11. Savong Bou, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, Salman Ahmed Shaikh, Akiyoshi Matono, "PR-MVI: Efficient Missing Value Imputation over Data Streams by Distance

- Likelihood", Proc. 24th International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2022), pp. 338-351, Virtual Conference, Nov. 28-30, 2022.
12. Mehari Yohannes Hailemariam, Toshiyuki Amagasa, "A Scheme for News Article Classification in a Low-Resource Language", Proc. 24th International Conference on Information Integration and Web Intelligence (iiWAS2022), pp. 519-530, Virtual Conference, Nov. 28-30, 2022.
 13. Kento Miura, Ryohei Kobayashi, Toshiyuki Amagasa, Hiroyuki Kitagawa, Norihisa Fujita, and Taisuke Boku, "An FPGA-based Accelerator for Regular Path Queries over Edge-labeled Graphs", Proc. 2022 IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData2022), Osaka, Japan, December 17 – Dec. 20, 2022
 14. Takdir, Hiroyuki Kitagawa, and Toshiyuki Amagasa, "Region-based Sub-Snapshot (RegSnap): Enhanced Fault Tolerance in Distributed Stream Processing with Partial Snapshot", Proc. 7th Workshop on Real-time Stream Analytics, Stream Mining, CER/CEP & Stream Data Management in Big Data, Co-located with 2022 IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData2022), pp. 3374-3382, Osaka, Japan, Dec. 17, 2022.
 15. Katia Bourahmoune, Karlos Ishac, Marc Carmichael, and Toshiyuki Amagasa, "Owro: A Novel Robot for Sitting Posture Training Based on Adaptive Human Robot Interaction", The 6th IEEE Workshop on Human-in-the-Loop Methods and Future of Work in BigData (IEEE HMDData 2022) co-located with IEEE Bigdata 2022, pp. 3986-3991, Osaka, Japan, Dec. 17, 2022.
 16. Hailemariam Mehari Yohannes and Toshiyuki Amagasa, "Long Text Classification using Pre-trained Language Model for a Low-resource Language", ICICT2023, Mar. 24-26, 2023.
 17. Yuma Kokubo and Toshiyuki Amagasa, "Dynamic Load Balancing of RDF Reasoning in Fog-Computing Environments", SAC 2023, Mar. 27-31, 2023.

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

該当なし

B) その他の発表

<学会発表>

1. 川上隼, Bou Savong, 天笠俊之, "データストリームに対する効率的な複数連続的集約アルゴリズム", 情報処理学会第 85 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2023), 電気通信大学 (東京都), 1N-06, 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.

2. 安田裕真, 塩川浩昭, "多次元時系列データに対する高速なモチーフ問合せ手法の提案", 情報処理学会第 85 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2023), 電気通信大学 (東京都), 1N-07, 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
3. 山崎昂輔, "異種知識グラフに対する効率的な問合せ処理のためのデータ分割手法", 情報処理学会第 85 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2023), 電気通信大学 (東京都), 2N-01, 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
4. 小倉勇大, 早瀬康裕, 天笠俊之, "PDG 上の経路集合を入力とした二段階の Transformer によるメソッド名推定", 情報処理学会第 85 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2023), 電気通信大学 (東京都), 6K-04, 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
5. 高根沢光輔, "BERT-NER によるテンプレート分類と Patent-Tokenizer を用いた和文特許文章の文章生成", 情報処理学会第 85 回全国大会 (IPSJ 全国大会 2023), 電気通信大学 (東京都), 6V-01, 2023 年 3 月 2 日~3 月 4 日.
6. 高根沢光輔, 堀江和正, 天笠俊之, "BERT-NER によるテンプレート分類と, 未知語を考慮した Patent-Tokenizer による和文特許文章の文章生成", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), Short paper, 1a-7-2, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
7. Hiroto Mamba, Yasuhiro Hayase, Toshiyuki Amagasa, "Utilizing Abstract Syntax Tree Embedding to Improve the Quality of GNN-based Class Name Estimation", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 1b-9-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
8. 大森雄基, 北川博之, 天笠俊之, "エンティティリンキング機能を有する知識ベースと外部情報源の統合利用手法", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2a-6-1, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
9. 佐藤祥吾, 天笠俊之, "SPARQL を対象としたクエリ書き換えによる異種データ統合", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2a-6-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
10. 対比地恭平, 天笠俊之, "特徴選択を用いた高次元データに対する逆 k 最近傍検索の高速化", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2a-7-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
11. 溝谷祐大, 小林諒平, 藤田典久, 朴泰祐, 天笠俊之, "FPGA 間通信フレームワーク CIRCUS を利用した複数 FPGA によるグラフ幅優先探索の提案", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), Short paper, 2a-7-5, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.

12. 山田真也, 北川博之, Salman Ahmed Shaikh, 天笠俊之, 的野晃整, "複合的ストリーム処理に対するトレーサビリティの研究", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2a-8-1, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
13. 小久保柚真, 天笠俊之, "フォグの負荷及び通信状況を考慮したコストに基づく推論処理の動的負荷分散", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2a-8-3, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
14. 安田裕真, 塩川浩昭, "多次元時系列データに対する類似部分シーケンス問合せの高速化", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), Short paper, 2b-2-5, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
15. 八木隆一, 直井悠馬, 塩川浩昭, "DNA データベースに対する効率的な相関問合せ手法の提案", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), Short paper, 2b-3-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
16. 直井悠馬, 真次彰平, 塩川浩昭, "グラフデータベースに対する高速高精度な相関問合せ", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2b-4-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
17. 真次彰平, 藤原靖宏, 塩川浩昭, "グラフ集約に基づく高速な最大 k-plex 探索", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2b-6-2, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
18. 小林瑞季, 真次彰平, 塩川浩昭, "動的グラフにおける k 最近傍探索のための索引更新手法の提案", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), 2b-6-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
19. 大宮直樹, 堀江和正, 北川博之, "睡眠ステージ判定のためのスタイル変換に基づく脳波信号のノイズ・個人差除去", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), Short paper, 5a-4-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
20. 山田空, 堀江和正, 北川博之, "特徴波の発生タイミングを考慮したモデルによる睡眠ステージ判定精度の向上とエポックフリーなステージ判定", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), Short paper, 5a-4-5, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.
21. 国生泰資, 山田空, 堀江和正, 阿部高志, 北川博之, "リアルタイム性を考慮した自動睡眠ステージ判定システムの設計", 第 15 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2023), Short paper, 5a-7-4, 2023 年 3 月 5 日~3 月 9 日.

(4) 著書、解説記事等

1. 波多野賢治 編著, 天笠俊之 著, 鈴木優 著, 宮崎純 著, 楠和馬 著, 「テキストデータマネジメント 前処理から分析へ」, テキストアナリティクス 第4巻, 岩波書店, ISBN 9784000298995, 2022 年 12 月 9 日.

7. 異分野間連携・産学官連携・国際連携・国際活動等

- 地球環境研究部門との連携：気象庁気象予報データベース「GPV/JMA アーカイブ」(<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp>) の開発, 管理, 運用.
- 素粒子物理研究部門との連携：Japan Lattice Data Grid (JLDG) , International Lattice Data Grid (ILDG) の運営.
- 計算メディカルサイエンス事業 睡眠ビッグデータ
国際統合睡眠医科学研究機構 (IIIS) との連携：マウスとヒトの脳波／筋電図データを利用した睡眠ステージの自動判定アルゴリズム・ソフトウェアの研究開発.

8. シンポジウム, 研究会, スクール等の開催実績

該当なし

9. 管理・運営

天笠俊之教授

- 学外
 - 日本データベース学会理事
- 学内
 - 筑波大学情報ガバナンス基盤室長
 - 計算科学研究センター：ビッグデータ・AI 連携推進室長
 - 情報理工学位プログラム：デュアルディグリー推進室室長

塩川浩昭准教授

- 学外
 - 国立情報学研究所 グローバルサイエンスキャンプ 2020 年度「情報科学の達人」メンター
- 学内
 - 計算科学研究センター：セキュリティ委員会委員, 共同研究委員会委員
 - 情報科学類：カリキュラム委員会委員, クラス担任, 心青会担当委員
 - 情報理工学位プログラム：ダブルディグリープログラム推進室室員, 入試オンライン化 WG 委員

- ヒューマニクス学位プログラム：学生支援委員会委員

堀江和正助教

- 学外
 - 該当なし
- 学内
 - 情報科学類：広報委員会委員
 - 情報理工学位プログラム：インターンシップ委員会委員
 - ヒューマニクス学位プログラム：広報委員会副委員長，運営委員会委員

10. 社会貢献・国際貢献

天笠俊之教授

- 国際委員等
 - プログラム委員：DEXA2022, iiWAS2022, IDEAS2022, 他
- 国内委員等
 - 情報処理学会データベースシステム研究会（SIG-DBS）主査
 - 情報処理学会論文誌データベース（TOD）共同編集委員長

塩川浩昭准教授

- 国際委員等
 - 国際ジャーナル編集委員：IEICE Transactions on Information and Systems
 - 国際会議運営委員：VLDB2020 Proceedings Co-chair
 - 国際会議プログラム委員：IJCAI2020, AAAI2021, PAKDD2021, DASFAA2021
- 国内委員等
 - 電子情報通信学会 データ工学研究会 (DE) 専門委員
 - 日本データベース学会 電子広報委員会編集委員

堀江和正助教

- 国際委員等
 - 該当なし
- 国内委員等
 - 該当なし

VIII-2. 計算情報学研究部門

1. メンバー

教授	亀田 能成、北原 格
助教	宍戸 英彦
研究員	謝 淳
学生	大学院生 36名、学類生 6名

2. 概要

人間に纏わる情報を処理対象とする計算科学では、情報処理の空間表現と時間軸を人間に合わせることが必須である。そのために、グローバルに広がる人間社会とそれを取り巻く環境とを対象として研究を進めている。それによって得られる実観測データとシミュレーション結果とを融合させた情報を、人間に分かり易い形で提示し人間社会へフィードバックするために、計算メディアを仲立ちとするコンピューテーションの新しい枠組みを提案している。また、計算メディアの取り組みを発展させる形で、北原格教授は本センターの計算メディカルサイエンス事業における 3D Surgical Vision の研究を率いている。

本年度は、学際領域として、福祉工学（視覚障害者支援）、スポーツ学、Surgical vision を含む医療応用、などを中心に、後の節に上げるような様々な研究成果を上げ、学会発表として社会に貢献することができた。また、その学会発表において、国際会議で5件、国内シンポジウムで1件の受賞を得られたことは、研究が評価されていることを示しているといえよう。

共同研究も多方面に広がりをもちつつあり、次節で上げている研究のうち、4件は共同研究プロジェクトとしての成果である。文献リストにあるように、国際交流による国際共著論文・学会発表も増えつつある。

研究活動の広がりとして、本センターとイスラエルの Holon Institute of Technology 他で締結した MoU により実施している共同研究に関連して、査読付雑誌論文1件を発表した。また、オーストラリアの Curtin University、イギリス University of Southampton との国際共同研究から、査読付き国際会議論文3件、査読付き雑誌論文1件の発表に至った。

3. 研究成果

[1] モバイルデバイスによる点字ブロックの認識と最寄りの点字ブロックへの誘導

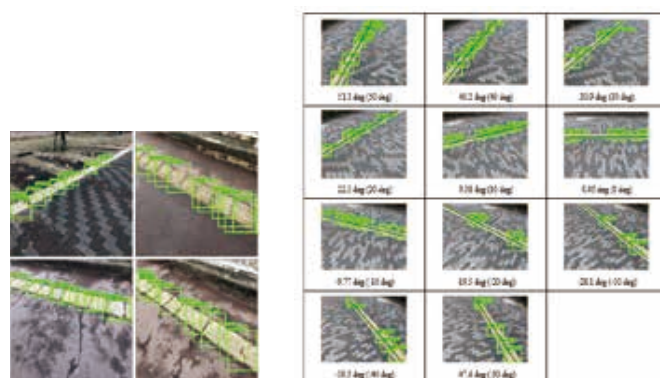
本研究では、視覚障害者が点字ブロックの存在を見つけられない状況において、画像認識技術に基づき、最短の点字ブロックに誘導する方法を実現することに成功した。まず、独自の画像データセットを用いて、深層学習ネットワーク SSD を用いた点字ブロックの検出方法を用意する。様々な種類の点字ブロックや規格外の点字ブロックは、屋内と屋外の風化によっ

で見え方が異なる(図：点字ブロックのデータベース)。提案手法はそれらに対応することができる。次に、検出方法を、カメラの高さの違いに対応できるようにする。人の身長や一般的なロボットで撮影した点字ブロックの画像で学習データセットを構築することで、高さの異なるカメラでの検出を実現した。実証実験として、モバイル端末のカメラを用いた点字ブロックのリアルタイム認識を実現した。このために、SSD ネットワークに軽量ディープラーニングネットワークである MobileNet を組み込んだ。その実行環境のもとで、点字ブロックの向きと最短距離を推定する方法も提案した(図：点字ブロックの方向推定)。これにより、モバイル端末単体でも視覚障害者の街歩き支援が可能であることを示すことに成功した。本研究については、成果までまとめて、2023 年 1 月開催の IWAIT2023 国際会議で発表した。(Shotaro Nakamura, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Braille Block Detection at Shortest Distance by Mobile Devices,” International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023.)



点字ブロックデータベースの構築 ブロック種別のアノテーション

図：点字ブロックのデータベース



JIS 規格外の点字ブロック認識結果路面上の直線推定

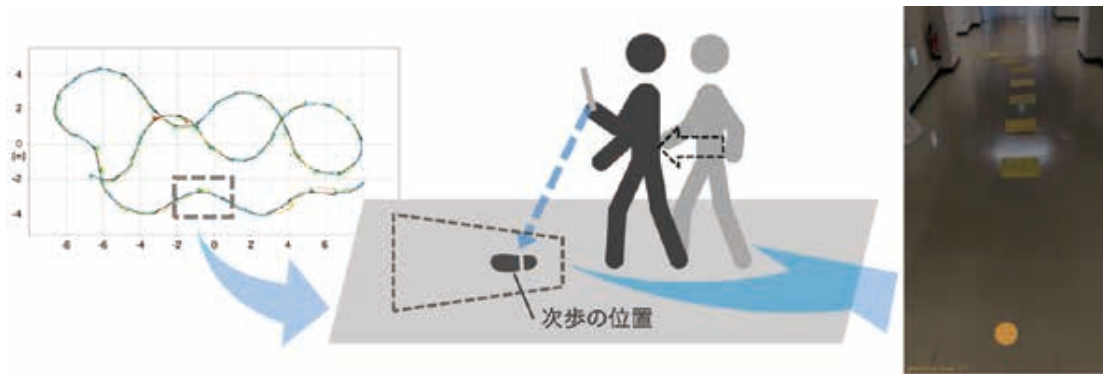
図：点字ブロックの方向推定

[2] 慣性センサのみからの歩行者の次歩推定

視覚障害者の歩行において、次の一步を、実際に足が地面に着く前に予測できれば、高度で安全・安心な歩行支援が可能になる。本研究では、地面に触れる一步と次歩と定義する。

本研究では、歩行者に持たせたスマートフォンの IMU を用いた次ステップ着地位置予測の実現方法について提案する（図：次歩推定）。

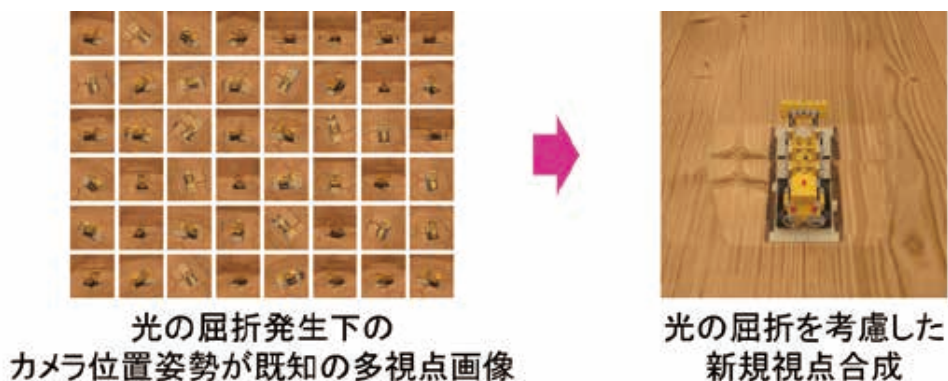
研究上の挑戦の一つは、スマートフォンが必ずしも体にしっかりと装着されているとは限らないとする点である。IMU のみによる次ステップ予測は不良設定問題であると考えられる。本研究では、人の歩行の揺れにはパターンがあるであろうことに着目した。そのことから、IMU の出力、次のステップの位置、スマートフォンの位置の組からなる学習データセットを作成し、次のステップの着地位置予測を実現した。本研究については、成果までまとめて、2023 年 1 月開催の IWAIT2023 国際会議で発表した。(Ikuto Ohki, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Study of Next-Step Prediction Method Using Smartphone IMU,” International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023.)



図：次歩推定

[3] ニューラル場を用いた多視点画像による光の屈折表現の学習

本研究では、透明な媒質による光の屈折が発生している状況を仮定し、任意のカメラ位置から見た視点の合成、すなわち新規視点合成を実現する手法を提案する（図：新規視点合成）。



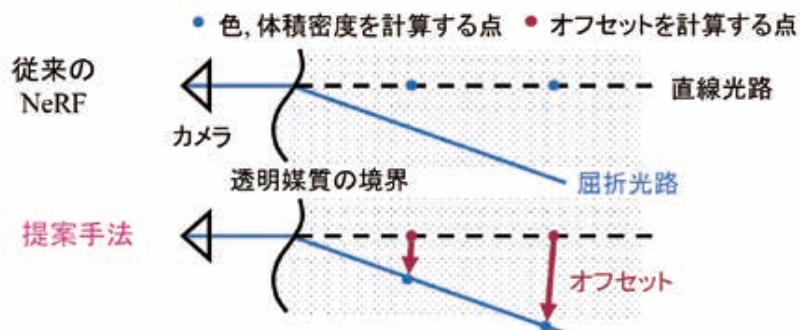
図：新規視点合成

新規視点合成の結果は多視点画像のみからニューラルネットワークの学習アルゴリズムを用いて計算される。この研究では、透明媒質の境界面の扱いが異なる二通りの手法を提案している。そのうちの一方の手法では新規視点合成の映像再現精度が高いことが特徴である。もう一方の手法では、透明媒質の境界面をも明示的に推定可能することができる。

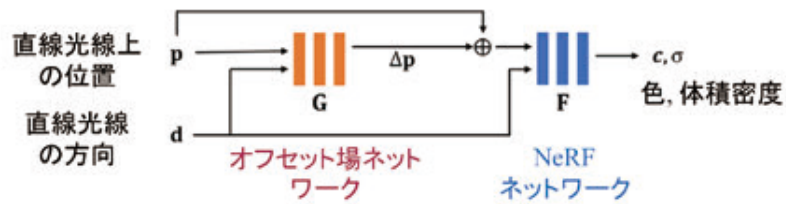
光の屈折とは、光が媒質の境界を越える際に屈折率に応じてその進行方向を変える現象を指す。この現象は、水やガラスのような我々の身近な透明媒質の表面でも発生する。従来の多視点画像による3次元再構成の手法である Structure from Motion, Visual SLAM, Multi-view Stereo では、基本的に直線光路を仮定したモデル化が行われており、透明媒質により光が屈折する状況ではその仮定に反することから再構成が困難になることがわかっている。

2020年にNeRFという深層学習に基づく新規視点合成のためのシーン表現が提案された。NeRFでも直線光路を仮定したレンダリングによりシーン表現が学習される。このため従来の3次元再構成と同じく光が屈折する状況にこの手法を適用することは問題となる。

本研究では、光の屈折発生下での多視点画像のみを利用したNeRFによるシーン表現の獲得を目的とする。このときに、光路の屈折を、屈折ではなく、オフセット場というアイデアを導入するのが本研究の着想のユニークな点である（図；オフセット場）。このように表現することで、NeRFネットワークに接続する形でオフセット場ネットワークを用意することができ、効果的な学習が可能となる（図：ネットワーク構成）。本研究の成果については、2022年11月のICIP2022国際会議で発表した。また、その前での国内発表では、MIRU2022という国内最大規模の画像処理認識シンポジウムで、研究を進めていた学生が若手奨励賞を受賞した。（Taku Fujitomi, Ken Sakurada, Ryuhei Hamaguchi, Hidehiko Shishido, Masaki Onishi, and Yoshinari Kameda, “Light Bending Neural Radiance Fields for Transparent Medium,” The 29th IEEE International Conference on Image Processing (IEEE ICIP2022), 2022. 藤富 卓, 櫻田 健, 濱口 竜平, 宍戸 英彦, 大西 正輝, 亀田 能成, “直線光路を表現可能な Neural Radiance Fields,” MIRU 学生奨励賞, 2022.)



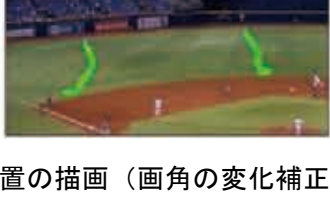
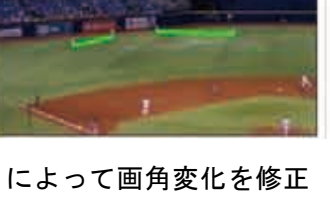
図：オフセット場



図：ネットワーク構成

[4] 野球映像を用いた外野手のフライ性打球に対する移動軌跡の可視化

本研究では、異分野間連携として広島大学総合科学部・人間社会科学研究科スポーツバイオメカニクス研究室と共同研究を実施した。本研究では、野球競技において外野手の守備範囲を定量的に評価することを目的とし、映像から選手の移動軌跡を検出する手法を提案した。具体的には、野球映像中の特定の選手を識別し、SIFTを用いた特徴点のマッチングにより画角変化のホモグラフィを推定することで、選手の移動軌跡を可視化した。特徴点は外野フェンスやスタンドの広告の文字や構造物の部分で多く検出され、画素値の変化に乏しいフィールドの領域では特徴点の検出数は少なかった。十分な特徴点の抽出が行えない場合においては、ホモグラフィの推定に大きな誤差が生じるが、大半の動画については十分な特徴点が取得できることを確認した。また、ホモグラフィ推定から選手の移動軌跡を算出することにより、提案手法の有効性を確認した。2023 年 1 月開催の国際会議 IWAIT2023 で発表し、Best Paper Award を受賞した。(Shunzo Yamagishi, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, Itaru Kitahara, "Visualization Method of Movement Trajectory in Outfielder's Fly Ball Catching Technique using Baseball Video," International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2023)

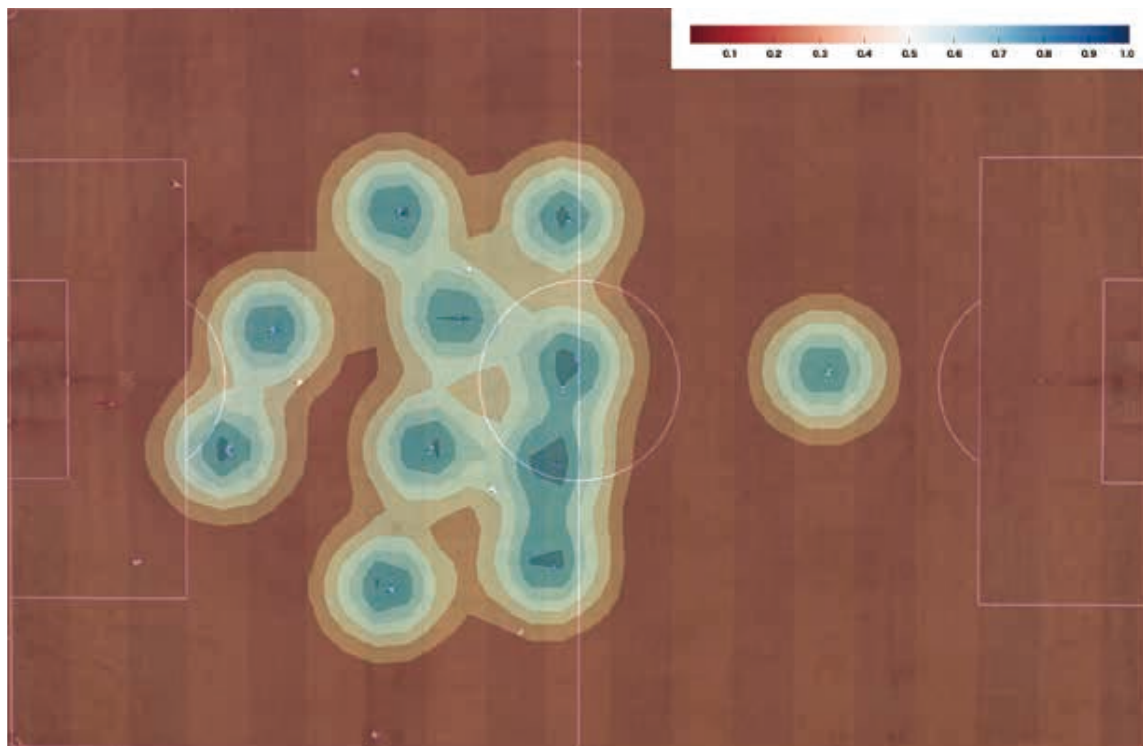
	画角の変化を 考慮しない 選手の移動軌跡	Homography推定 (初期フレームに 最終フレーム(緑枠)を合成)	選手の移動軌跡 算出
(1)			
(2)			
(3)			
(4)			

(左) 選手位置の描画 (画角の変化補正なし) (中央) Homography によって画角変化を修正
(右) 選手位置の描画画角の変化補正あり)

[5] サッカー競技映像における選手位置情報を用いたピッチ上のスペース推定

本研究では、サッカーの競技俯瞰映像からスペースを推定し、映像上に描画する手法を提案した。提案手法では物体検出によって映像上の選手を検出し、色情報を用いたチーム分類を行った。混合ガウス分布を用いることで選手の優勢領域を算出し、推定したスペース情報を可視化した。提案した可視化手法は、混合ガウス分布を用いることで選手個々人の守備領域だけでなく、複数人の守備選手が密集した状況におけるスペースを表現できることが分かった。図に示すように、守備の優勢領域を可視化することで、スペースの位置や大きさは直感的な観察を可能とする。同様に守備の優勢領域が可視化された提示は新たな視点による分析が期待できる。例えば、赤の領域が大きいほど相手が密集したブロック守備を行なっている状況であり、ピッチ幅を最大限に活用した大きなボールの展開が有効であるという戦略を立てることができる。赤い領域が小さいほど相手のブロックがコンパクトではない状況であり、守備ブロックの内部から攻略することが最適解であるという戦略を立てることができる。

混合ガウス分布を用いることは、相手の選手間の結びつきの強さを評価することができる。選手 1 人につき 1 つのガウス分布が存在するが、選手同士の結びつきが強いとガウス分布は結合される。したがって、ガウス分布の結合に着目することで、相手の守備の偏りの観点においても分析できること分かった。2023 年 2 月開催の情報処理学会オーディオビジュアル複合情報処理研究会（AVM）で発表した。（金侑輝，宍戸英彦，亀田能成，北原格，"サッカー競技映像における選手位置情報を用いたスペース推定"، 第 120 回オーディオビジュアル複合情報処理研究会（AVM））



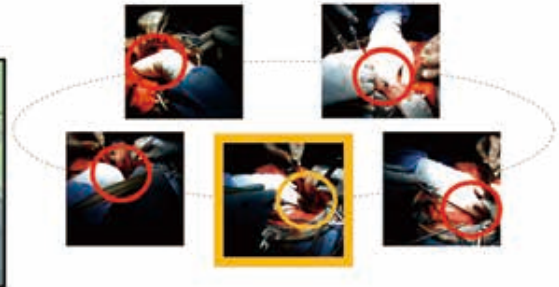
選手位置情報を用いて混合ガウス分布に基づく守備選手の優勢領域からスペースを推定

[6] 多視点映像に基づく外科手術支援（計算メディカルサイエンス：筑波大学病院）

外科手術の現場では深刻な人材不足が問題視されており、若手外科医教育の重要性が増加している。若手医師の教育では、手術映像から学ぶことは多いが、従来の撮影法には課題が存在する。無影灯からの撮影では、医師の頭や腕が遮蔽になることが多く、手技の技能継承に重要な手元がうまく見えない状況が発生する。本研究では、外科医と共同で外科手術現場に導入可能な多視点撮影システムを構築した。複数台のカメラを円周上に配置し、それらのカメラを適切に切り替えることで遮蔽問題を回避し、良質な教育映像コンテンツの収集を可能とする。筑波大学病院外科手術室での臨床実験を実施し、遮蔽問題に対する撮影手法の効果を確認した。2023 年 5 月開催の電子情報通信学会医用画像研究会（MI）での発表を予定し

ている。(高月峻太郎, 謝淳, 熊野皓一郎, 北口大地, 橋本真治, 小田竜也, 北原格, “開腹手術を対象とした多視点撮影システムの構築”, 医用画像研究会 (MI))

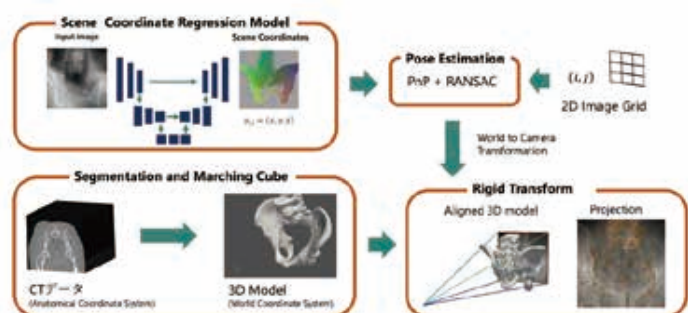
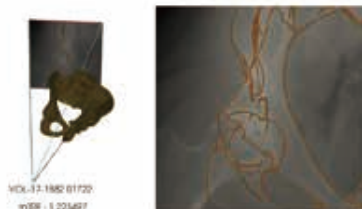
多視点映像に基づく外科手術支援 (筑波大学病院)



[7] X 線画像と 3 次元 CT モデルの位置合わせ (計算メディカルサイエンス：東京医科大)

X 線画像から 3 次元点群と画像上の対応点を推定し、CT モデルとの位置合わせを行う方法を考案した。従来手法では 3 次元 CT モデルから 3 次元の仮想透視画像を生成し、X 線画像との類似度を用いて投影姿勢の最適化を行うが、類似度として用いられる相互相関や相互情報量は、適切な投影姿勢の初期値を必要とする上に真値から大きく離れていると局所解に陥りやすいという問題が存在した。本研究では、X 線画像から 3 次元点群の復元と画像上の対応点を推定し、与えられた 3 次元 CT モデルとの位置合わせを行うことで初期値に依存しない全自動のレジストレーションパイプラインを実現した。2023 年 1 月開催の国際会議 IFMIA2023 で発表し、Best Presentation Award を受賞した。(Pragyan Shrestha, Xie Chun, Hidehiko Shishido, Yuichi Yoshii, Itaru Kitahara, "X-Ray to CT Registration Using Scene Coordinate Regression Network", International Forums on Medical Imaging in Asia (IFMIA2023))

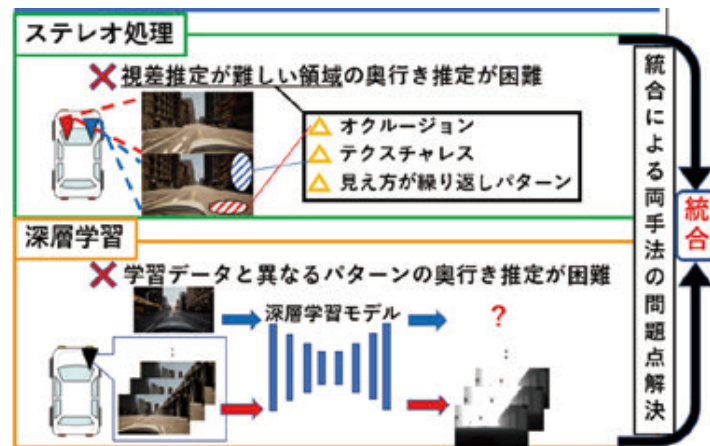
X線画像と 3 次元CTモデルの 位置合わせ (東京医科大)



[8] 車載映像からの周辺環境の 3 次元情報推定 (産学連携：日立製作所)

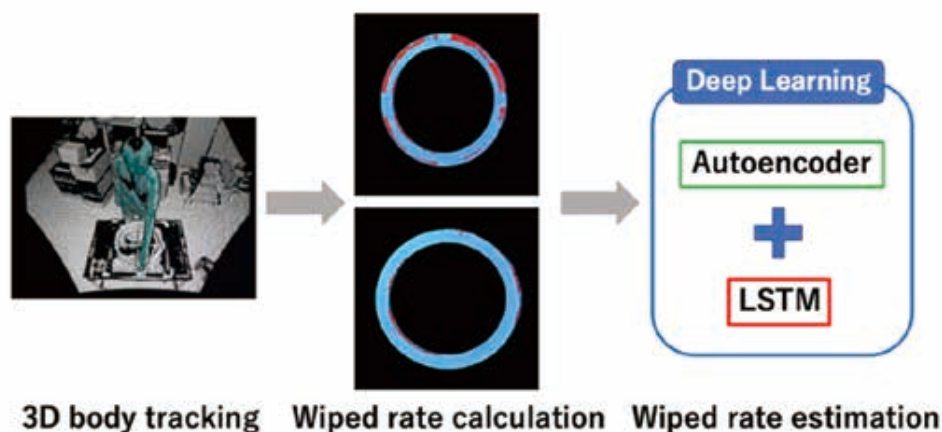
深層学習とステレオ視によって復元した奥行き情報を互いの弱点を補い合う形で統合することにより、推定精度向上を目的とした手法を考案した。深層学習による推定処理では単眼画像からシーンの奥行き情報を推定可能だが、学習時と異なる観測がなされた場合に推定精

度が低下する。ステレオ視は、事前学習を要さないが、正確な対応情報が得難い領域で推定精度が低下する。両者の推定信頼度に基づいて互いの端緒を補う統合法を実現し、その性能を確認した。2023年3月開催の電子情報通信学会メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会（MVE）で発表した。（村田実広，穴戸英彦，遠藤健，北原格，"深層学習とステレオ視の相補的統合による奥行き推定手法"，電子情報通信学会技術研究報告（MVE））



[9] 3次元身体動作データによる製造作業評価（産学連携：東京エレクトロン）

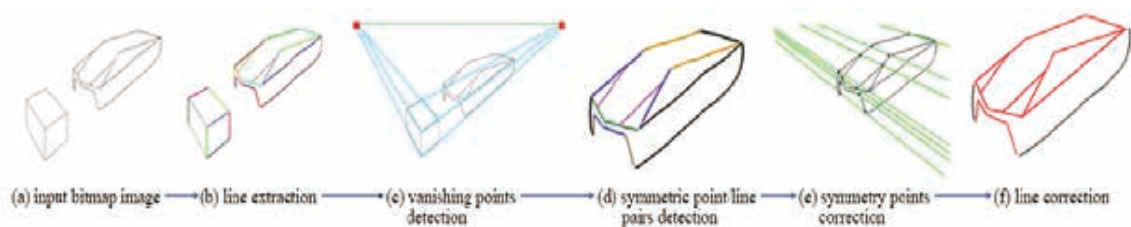
半導体生産現場における器具（石英リング）の拭き取り作業を対象とした作業効率推定に関する研究を実施した。3次元モーションキャプチャによって取得した上半身の拭き取り動作から、その動作によって成される拭き取り率を深層学習によって推定する。3次元身体モーションデータはRGB-Dカメラを用いて獲得し、拭き取り率は、粒子が付着した石英リングの紫外線照射画像から推定した。2023年3月開催の電子情報通信学会メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会（MVE）で発表した。（Takehiro Nagata, Li-Wei Cheng, Hidehiko Shishido, Hyejin Kim, Chanya Mahapun, Naoki Yoshii, Tsuyoshi Moriya, Itaru Kitahara, "Wiped-Rate Estimation for Semiconductor Manufacturing Using DNN Based on 3D Body Tracking, 電子情報通信学会 技術研究報告（MVE））



[10] 被写体の対称性を利用した透視投影に基づくスケッチの形状補正

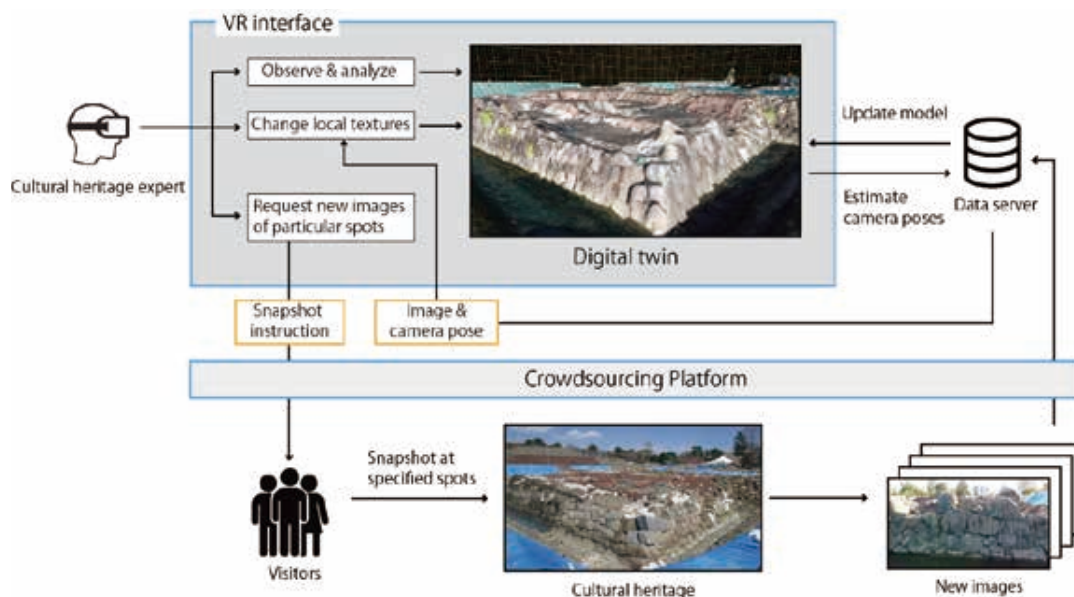
三次元のスケッチ画像を 3 次元モデルに変換できれば、デザイナーは直感的に自分の作品を確認し、改善可能となる。しかし、デザイナーはスケッチを描く時に必ずしも厳密に透視投影関係に従うとは限らず、被写体ある程度変形してしまうことが多く、そのような画像を直接に三次元復元すると精度が低くなる問題が存在する。本研究では、被写体の対称性を利用し手描きスケッチの形状を透視投影に従うように自動補正する手法を提案した。

本研究成果は、2022 年 10 月開催の 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022)で発表した。(Chun Xie, Siqi Dong, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, A Sketch Correction Method for Symmetric Structures Based on Two-Point Perspective, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022))



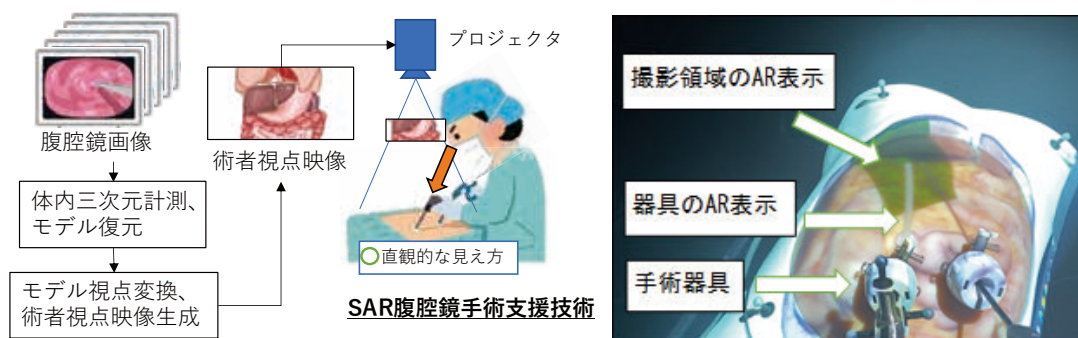
[11] 文化財のデジタルアーカイビングのための画像情報収集方式

本研究は文化財の有意義なデジタル情報の収集と利用を目的として、クラウドソーシング、3次元画像処理技術、及び VR インタフェースを用いて専門家が見学者に撮影指示をする方法を提案した。専門家が VR 空間で 3 次元形状復元されたモデルに指示をし、その地点情報と見本画像を QR コードで文化財現場にいる見学者に渡す。見学者が指示を受け、クラウドソーシングシステムを通して撮影画像をアップロードし、既存の三次元データと統合する。VR 空間内で 3D モデルのテクスチャマッピングを行い、最新の文化財情報の確認が可能になる。本研究成果は、2022 年 10 月開催の 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022)で発表した。(Chun Xie, Xue Xia, Hidehiko Shishido, Toshiya Matsui, and Itaru Kitahara, A VR Assisted Image Gathering Method for Digital Archiving of Cultural Properties, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022))



[12] 投影型拡張現実を用いた腹腔鏡手術支援システム

切開創を微小に抑えられる腹腔鏡手術が普及しつつあるが、習得の難しさや作業効率低下の課題が残っている。その原因の一つが既存のモニタを用いた情報提示である。映像を観察する視点と手術の様子を撮影するカメラの位置が離れていることや、カメラ視野が狭いことによって、術野付近での空間認識が難しいという問題が生じている。本研究は、腹腔鏡映像と投影型拡張現実技術を利用し、腹部体表を透視して腹腔内が直接見えるような観察法を実現した。本研究成果は、2022 年 9 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会で発表した。(謝 淳, 穴戸 英彦, 北口 大地, 小田 竜也, 北原 格, 投影型拡張現実を用いた腹腔鏡手術支援システムの構築, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集)



4. 教育

1. LI Qiaoge 博士(人間情報学) Light Field Generation Methods Using Multiple Omnidirectional Cameras
2. 飯田 雄介 修士(工学) ヘッドマウンドディスプレイを用いたサッカープレー体験時の認知に対する脳波特性解析
3. 大木 郁登 修士(工学) スマートフォンの完成センサを用いた次歩推定
4. 木村 文哉 修士(人間情報学) ニューラル場表現と表情類似度に基づく 4 次元ポートレート生成
5. Pragyana SHRESTHA 修士(人間情報学) A Registration Method for X-Ray Image and CT-Scan Model of Bone Using Scene Coordinate Regression
6. 吉川 優依 修士(工学) ダンスと場景を連動させた映像生成手法
7. 内田 郁真 修士(工学) 固定視点サッカー映像からのオフサイド検出
8. 古府 侑樹 修士(工学) 偏光反射特性に基づく水溜り領域の自動アノテーション手法
9. 藤富 卓 修士(工学) ニューラル場を用いた多視点画像による光の屈折表現の学習
10. 逸見 勲 修士(工学) パフォーマンス撮影のための演者立ち位置に応じたカメラワーク生成法
11. 木山 傑将 修士(工学) 自己注意機構を用いた空撮多視点画像から復元した三次元点群の欠損補完法
12. 佐川 加奈 修士(工学) 骨格情報の再帰的短時間主成分分析に基づくバドミントン選手の反応時間推定
13. QIN Jingwen 修士(工学) A Multiple-Fiberscope Camera System to Generate 3D Borehole Models
14. XIANG Zhizheng 修士(人間情報学) A Stylized Free-Viewpoint Video Generation Based on Neural Radiance Field
15. ZHANG Luoxi 修士(人間情報学) A 3D Model Generation Method of a Shooting Scene From a Single Snapshot
16. 田山悠人 学士(工学) VR 交通環境での驚き体験に対する脳波解析
17. 寺内翔英 学士(工学) 白杖歩行におけるカメラ映像からの白杖動作の定量化手法
18. 高月峻太郎 学士(工学) 開腹手術における遮蔽問題の解決に向けた多視点撮影システム構築とカメラ間の視点補完
19. 藤井航 学士(工学) 自由視点映像を用いた疑似光軸一致型プロカムシステムの構築

20. 山岸峻造 学士(工学) 野球映像を用いた外野手のフライ性打球に対する移動軌跡の可視化
21. 金侑輝 学士(工学) サッカー競技映像における選手位置情報を用いたピッチ上のスペース推定

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

1. MIRU 学生奨励賞, 藤富 卓, 櫻田 健, 濱口 竜平, 宍戸 英彦, 大西 正輝, 亀田 能成, "非直線光路を表現可能な Neural Radiance Fields," 2022/7.
2. The best presentation award at Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), Zhizheng Xiang, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, "Transparent Ink Wash Style for Free-Viewpoint Video Generation," 2022/12.
3. The best short paper award at Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), Yu Tamura, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, "Evaluation of Active Patterns on Direction Instruction for Pedestrians," 2022/12.
4. The Best Paper at International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, Fumiya Kimura, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, "4D Portrait Generation Based on Neural Radiance Field and Facial Expression Similarity," 2023/1.
5. The Best Paper at International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, Shunzo Yamagishi, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, "Visualization Method of Movement Trajectory in Outfielder's Fly Ball Catching Technique Using Baseball Video," 2023/1.
6. The Best Paper at International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA) 2023, The Best Paper at International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA) 2023, Pragyan Shrestha, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Yuichi Yoshii, and Itaru Kitahara, "X-Ray to CT Registration Using Scene Coordinate Regression Network," 2023/1.

外部資金

1. 科研費・基盤(B)「生体と行動の計測に基づく VR 体験の主観評価安定化」(2021-2024 年度) 代表者: 亀田能成(研究分担者: 宍戸英彦) 全年度直接経費: 960 万円 (2022 年度直接経費: 240 万円)
2. 科研費・挑戦的研究(萌芽)「道具を使う人間行動に対する拡張骨格構造を用いた計測と識別」(2022-2024 年度) 代表者: 亀田能成 全年度直接経費: 500 万円 (2022 年度直接経費: 200 万円)

3. 科研費・基盤(B)「XR 自動走行プラットフォームを用いた搭乗者の快適性を向上する移動感覚制御」(2021-2023 年度)代表者：神原誠之(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1240 万円 (2022 年度直接経費：430 万円、分担 120 万円)
4. 科研費・基盤(B)「情報化施工および情報化防災を加速する AI 岩盤・土壌自動評価システムの構築」(2022-2025 年度)代表者：川村洋平(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1180 万円 (2022 年度直接経費：260 万円、分担 80 万円)
5. 科研費・基盤(C)「多視点カメラの AI 制御による開腹手術ナビゲーションシステム開発」(2022-2024 年度)代表者：橋本真治(研究分担者：北原) 全年度直接経費：3100 万円 (2022 年度直接経費：240 万円、分担 30 万円)
6. 科研費・国際共同研究強化(B)「Mining4.0 時代における効率的な発破のためのデジタルツイン技術の共創」(2021-2024 年度)代表者：川村洋平(研究分担者：北原、宍戸、謝) 全年度直接経費：1460 万円 (2022 年度直接経費：450 万円、分担 200 万円)
7. 科研費・挑戦的研究(開拓)「道路路面の地盤変状の状態量から埋設管路の地震損傷を推定するアルゴリズムの開発」(2022-2024 年度)代表者：庄司学(研究分担者：北原) 全年度直接経費：1930 万円 (2022 年度直接経費：760 万円、分担 100 万円)
8. JST SATREPS「地中熱利用による脱炭素型熱エネルギー供給システムの構築」代表者：稲垣文昭(研究分担者：北原、宍戸、謝) 全年度：17980 万円 (2022 年度：1804 万円、分担 470 万円)
9. 2022 年度 ARIHHP 戦略的連携強化プロジェクト「単眼バドミントン映像を用いたショット推定手法の開発と試合形式におけるラリー戦術分析」代表：宍戸英彦 2022 年度：66.5 万円
10. スポーツ庁受託事業「先端的スポーツ医科学研究推進事業」代表：高橋英幸(研究分担者：北原、宍戸、謝) 全年度：25000 万円 (2022 年度：5000 万円、分担 500 万円)
11. 共同研究・株式会社日立製作所「自動運転の実現に向けた三次元計測の高精度化」代表者：北原格 2022 年度 183.3 万円
12. 共同研究・東京エレクトロン「マテリアルインフォマティクス、連携学習等」代表者：北原格 2022 年度 316 万円
13. 科研費・研究活動スタート支援「投影型拡張現実を用いた腹腔鏡手術支援システムの構築」(2021-2024 年度) 代表者：謝淳 全年度直接経費：240 万円 (2022 年度直接経費：120 万円)

知的財産権

1. 特許, 伊藤 誠, 亀田 能成, 高鳥 光, シミュレータ、サーバ、評価システム、評価プログラム、及び評価方法, 2022 年 10 月 24 日.

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

1. Akira Ikumi, Yuichi Yoshii, Yuta Iwahashi, Satoshi Sashida, Pragyan Shrestha, Chun Xie, Itaru Kitahara, and Tomoo Ishii, “Comparison of 3D Bone Position Estimation Using Qr Code and Metal Bead Markers”, MDPI diagnostics, vol.13, no.6, ID-1141, 2023/03/16. (DOI: 10.3390/diagnostics13061141)
2. Masashi Tsukamoto, Yagiang Wei, Takashuke Nagai, Itaru Kitahara, Koji Takeuchi, and Junichi Yamamoto, “Promoting Visual Perspective-Taking Skills in an Adolescent with Autism and Intellectual Disabilities Using Multi-View Videos: A Pilot Case Study”, Journal of Developmental and Physical Disabilities, 2023/03/10. (DOI: 10.1007/s10882-023-09897-6)
3. Pragyan Shrestha, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Yuichi Yoshii, and Itaru Kitahara, “3D Reconstruction of Wrist Bones from C-Arm Fluoroscopy Using Planar Markers”, MDPI Diagnostics, vol.13, no.2, 12 pages, 2023/1/16. (DOI: 10.3390/diagnostics13020330)
4. 吉川 優依, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “ダンスと場景を連動させた映像生成の提案とダンス ONE プロジェクトへの実践”, 情報処理学会 トランザクションデジタルプラクティス, vol.4, no.1, pp. 10-20, 2023/1/15.
5. Yuichi Yoshii, Yuta Iwahashi, Satoshi Sashida, Pragyan Shrestha, Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, and Tomoo Ishii, “An Experimental Study of a 3D Bone Position Estimation System Based on Fluoroscopic Images”, MDPI Diagnostics, vol.12, no.9, 2237, 2022/9/16. (DOI: 10.3390/diagnostics12092237)
6. Dmitry Patashov, Yakir Menahem, Guy Gurevitch, Yoshinari Kameda, Dmitry Goldstein, and Michal Balberg, “Fnirs: Non-Stationary Preprocessing Methods”, Biomedical Signal Processing and Control, vol.79, no.1, 15 pages, 2022/8/24. (DOI: 10.1016/j.bspc.2022.104110)
7. Hisatoshi Toriya, Zedrick Paul L. Tungol, Hajime Ikeda, Narihiro Owada, Hyong D. Jang, Tsuyoshi Adachi, Itaru Kitahara, and Youhei Kawamura, “Fragmentation Size Distribution Measurement by Gns-Aided Photogrammetry at Real Mine Site”, MDPI Mining, vol.2, no.3, pp.438-448, 2022/6/24. (DOI: 10.3390/mining2030023)
8. Itsuki Ueda, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Spatio-Temporal Aggregation of Skeletal Motion Features for Human Motion Prediction”, Elsevier Array, vol.15, no.100212, 10 pages, 2022/6/23. (DOI: 10.1016/j.array.2022.100212)

9. Qiaoge Li, Oto Takeuchi, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, Hansung Kim, and Itaru Kitahara, “Generative Image Quality Improvement in Omnidirectional Free-Viewpoint Images and Assessments”, Trans on IEVC, vol.10, no.1, pp.107-119, 2022/6/16. (DOI: 10.11371/tievciieej.10.1_107)
10. Hisatoshi Toriya, Dewan Ashraf, Hajime Ikeda, Narihiro Owada, Mahdi Saadat, Fumiaki Inagaki, Youhei Kawamura, and Itaru Kitahara, “Use of a Dnn-Based Image Translator with Edge Enhancement Technique to Estimate Correspondence Between Sar and Optical Images”, MDPI Applied Sciences, vol.12, no.9, 16 pages, 2022/4/20. (DOI: 10.3390/app12094159)
11. Kohei Yoshino, Taiga Sato, Hisatoshi Toriya, Hidehiko Shishido, Jang Hyongdoo, Youhei Kawamura, and Itaru Kitahara, “Estimation Method of Fragmentation in Blast Muckpiles Using Deep Learning Based on 3D Point Clouds”, International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, vol.25, no.1, pp.78-84, 2022/4/1.

B) 査読無し論文

該当なし

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

該当なし

B) 一般講演

1. Misato Imai, Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, and Yoshinari Kameda, “A Visual Feedback Method of Motion Information on Alpine Skiing Experience in Head Mounted Display”, International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, 6 pages, 2023/1, Jeju and online, Korea. (DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2666665>)
2. Shotaro Nakamura, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Braille Bock Detection at Shortest Distance by Mobile Devices”, International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, 6 pages, 2023/1, Jeju and online, Korea. (DOI: 10.1117/12.2666662)
3. Ikuto Ohki, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “A Study of Next-Step Prediction Method Using Smartphone IMU”, International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, 6 pages, 2023/1, Jeju and online, Korea. (DOI: 10.1117/12.2666988)

4. Fumiya Kimura, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “4D Portrait Generation Based on Neural Radiance Field and Facial Expression Similarity”, International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, 6 pages, 2023/1, Jeju and online, Korea. (DOI: 10.1117/12.2666565)
5. Yui Yoshikawa, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, “Evaluation of a Video Generation Method Linking Dance and Scenes”, International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, 6 pages, 2023/1, Jeju and online, Korea. (DOI: 10.1117/12.2666428)
6. Shunzo Yamagishi, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, “Visualization Method of Movement Trajectory in Outfielder's Fly Ball Catching Technique Using Baseball Video”, International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, 6 pages, 2023/1, Jeju and online, Korea. (DOI: 10.1117/12.2666494)
7. Jingwen Qin, Hisatoshi Toriya, Hidehiko Shishido, Youhei Kawamura, and Itaru Kitahara, “An Image-Capturing System to Generate 3D Borehole Models Using Multiple Fiberscope Cameras”, International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT) 2023, 6 pages, 2023/1, Jeju and online, Korea. (DOI: 10.1117/12.2665982)
8. Pragyansh Shrestha, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Yuichi Yoshii, and Itaru Kitahara, “X-Ray to Ct Registration Using Scene Coordinate Regression Network”, International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA) 2023, 1 page, 2023/1, Jeju and online, Korea.
9. Itsuki Ueda, Yoshihiro Fukuhara, Hirokatsu Kataoka, Hiroaki Aizawa, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Neddf: Reciprocally Constrained Field for Distance and Density”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), P11, a full paper, 2022/12, Yokohama and online, Japan. (DOI: 10.48550/arXiv.2207.14455)
10. Qiaoge Li, Itsuki Ueda, Chun Xie, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Omnivoxel: A Fast and Precise Reconstruction Method of Omnidirectional Neural Radiance Field”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), 2022/12, Yokohama and online, Japan. (DOI: 10.48550/arXiv.2208.06335)
11. Chun Xie, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “A Laparoscopic Surgery Support System Using Spatial Augmented Reality”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), 2022/12, Yokohama and online, Japan.
12. Yu Tamura, Hidehiko Shishido, and Yoshinari Kameda, “Evaluation of Active Patterns on Direction Instruction for Pedestrians”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), 5 pages, 2022/12, Yokohama and online, Japan.

13. Zhizheng Xiang, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Transparent Ink Wash Style for Free-Viewpoint Video Generation”, Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), 7 pages, 2022/12, Yokohama and online, Japan. (DOI: 10.48550/arXiv.2208.06335)
14. Junyi Shen, Itaru Kitahara, Shinichi Koyama, and Qiaoge Li, “Size Does Matter: An Experimental Study of Anxiety in Virtual Reality”, 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp.73:1-73:2, 2022/11, Tsukuba and online meeting, Japan. (DOI: 10.1145/3562939.3565683)
15. Nicholas Schwier, Masayuki Masu, and Yoshinari Kameda, “The Impact of Artistic Images on Human Eye Gaze Behavior”, 63rd Annual Meeting of the Psychonomic Society, 2022/11, Boston and online meeting, USA.
16. Itsuki Ueda, Yoshihiro Fukuhara, Hirokatsu Kataoka, Hiroaki Aizawa, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Neural Density-Distance Fields”, European Conference on Computer Vision (ECCV) 2022, 18 pages, 2022/10, Tel Aviv and online meeting, Israel. (DOI: 10.48550/arXiv.2207.14455)
17. Taku Fujitomi, Ken Sakurada, Ryuhei Hamaguchi, Hidehiko Shishido, Masaki Onishi, and Yoshinari Kameda, “Light Bending Neural Radiance Fields for Transparent Medium”, The 29th IEEE International Conference on Image Processing (IEEE ICIP2022), pp.2142-2146, 2022/10, Bordeaux and online meeting, France. (DOI: 10.1109/ICIP46576.2022.9897642)
18. Qiaoge Li, Zhenghang Cui, Itaru Kitahara, and Ryusuke Sagawa, “Precise Gymnastic Scoring from TV Playback”, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022), pp. 412-415, 2022/10, Osaka and online meeting, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE56475.2022.10014208)
19. Qiaoge Li, Itsuki Ueda, Chun Xie, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “Omnivoxel: A Fast and Precise Reconstruction Method of Omnidirectional Neural Radiance Field”, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022), pp. 367-371, 2022/10, Osaka and online meeting, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE56475.2022.10014054)
20. Chun Xie, Siqi Dong, Hidehiko Shishido, and Itaru Kitahara, “A Sketch Correction Method for Symmetric Structures Based on Two-Point Perspective”, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022), pp. 377-380, 2022/10, Osaka and online meeting, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE56475.2022.10014276)
21. Chun Xie, Xue Xia, Hidehiko Shishido, Toshiya Matsui, and Itaru Kitahara, “A VR Assisted Image Gathering Method for Digital Archiving of Cultural Properties”, 2022 IEEE 11th

- Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022), pp. 152-155, 2022/10, Osaka and online meeting, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE56475.2022.10014128)
22. Yamato Kanno, Hidehiko Shishido, Masahiro Shinya, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, “Detection of Mitt Movement Trajectory in Catcher Framing Using Baseball Video”, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022), pp. 139-143, 2022/10, Osaka and online meeting, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE56475.2022.10014147)
23. Naoki Tanaka, Hidehiko Shishido, Masashi Suita, Takeshi Nishijima, Yoshinari Kameda, and Itaru Kitahara, “Detection of Hitting Point Area Using Footwork Trajectory in Badminton Video”, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2022), pp. 74-78, 2022/10, Osaka and online meeting, Japan. (DOI: 10.1109/GCCE56475.2022.10014402)
24. Kazuki Shimada, Taishi Sawabe, Hidehiko Shishido, Masayuki Kanbara, and Itaru Kitahara, “Video Generation Unconsciously Evoking Pre-Motion to Passengers in Automated Vehicles”, 2nd International Workshop on Comfort Intelligence with AR for Autonomous Vehicle(Workshop will be held in conjunction with ISMAR2022), pp.342-347, 2022/10, Singapore and online meeting, Singapore. (DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.00075)
25. Atom Scott, Ikuma Uchida, Masaki Onishi, Yoshinari Kameda, Kazuhiro Fukui, and Keisuke Fujii, “Soccertrack: A Dataset and Tracking Algorithm for Soccer with Fish-Eye and Drone Videos”, 8th International Workshop on Computer Vision in Sports (CVsports) at CVPR 2022, pp.3569-3579, 2022/6, Louisiana, USA.
26. Dmitry Patashov, Yakir Menahem, Yoshinari Kameda, Dmitry Goldstein, and Michal Balberg, “Preprocessing Fnirs Data Using the Cumulative Curve Fitting Approximation Algorithm”, Biophotonics Congress: Biomedical Optics, 2 pages, 2022/4, online and Florida, USA. (DOI: 10.1364/BRAIN.2022.BM2C.7)

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

1. 宍戸 英彦, “コンピュータビジョンによる計測技術及びスポーツデータサイエンスへの応用”, 情報処理学会 研究報告 AVM, 2023/2, 那覇.
2. 北原 格, “多視点画像データの利活用によるスマートマイニングの発展”, 2022 年度北海道資源・素材フォーラム「スマートマイニング for the future」, 2022/12, 札幌とオンライン.

B) その他の発表

1. 村田 実広, 宍戸 英彦, 遠藤 健, 北原 格, “深層学習とステレオ視の相補的統合による奥行き推定手法”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.440, pp. 321-326, 2023/3, 那覇.
2. 木山 傑将, 宍戸 英彦, 北原 格, “空撮多視点画像から復元した三次元点群に対する自己注意機構を用いた欠損領域補完法”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.440, pp. 278-283, 2023/3, 那覇.
3. 田 潤宇, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “RGB-D 画像に基づく 2 人の協調行動のレベル推定”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.440, pp. 254-259, 2023/3, 那覇.
4. 宇津呂 雄生, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “相撲映像に対するまわしのキーポイント検出を利用した決まり手分類”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.440, pp. 247-253, 2023/3, 那覇.
5. Nagata Takahiro, Cheng Li-Wei, Shishido Hidehiko, Kim Hyejin, Yoshii Naoki, Morita Tsuyoshi, Kitahara Itaru, “Wiped-Rate Estimation for Semiconductor Manufacturing Using DNN Based on 3D Body Tracking”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.120, no.440, pp. 235-240, 2023/3, 那覇.
6. 佐川 加奈, 宍戸 英彦, 吹田 真士, 北原 格, “骨格情報の再帰的短時間主成分分析に基づくバドミントン選手の反応時間推定法”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.120, no.440, pp. 229-234, 2023/3, 那覇.
7. 譚 鵬, 宍戸 英彦, 谷川 聡, 北原 格, “単眼 RGB 画像からの 3 次元姿勢推定に基づく陸上競技選手のジャンプ能力におけるスプリントパフォーマンスとの関係性”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.120, no.440, pp. 162-167, 2023/3, 那覇.
8. 亀田 能成, “人工知能と仮想空間活用拡大期における大学教育の在り方の検討”, 電子情報通信学会 サイバーワールド研究会, 2023/3, 筑波大学.
9. 金 侑輝, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “サッカー競技映像における選手位置情報を用いたスペース推定”, 情報処理学会 研究報告 AVM, 6 pages, 2023/2, 那覇.
10. 高橋 響熙, 上田 樹, 宍戸 英彦, 北原 格, “NeDDF を用いた単眼 Visual SLAM”, 日本バーチャルリアリティ学会 第 68 回複合現実感研究会, 6 pages, 2023/1, 奈良とオンライン.
11. 飯田 雄介, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “HMD 装着時における体動が脳波計測に与える影響の調査”, HCG シンポジウム 2022, 6 pages, 2022/12, 高松とオンライン.
12. 石井 智也, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “点字ブロック歩行時における対向歩行者との衝突回避手法の検討”, HCG シンポジウム 2022, 4 pages, 2022/12, 高松とオンライン.

13. 古府 侑樹, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “歩行者視点からの偏光反射特性に基づく水溜り領域の自動判別”, HCG シンポジウム 2022, 8 pages, 2022/12, 高松とオンライン.
14. タン コウシン, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “手足と視線探索の運動分析を行えるバスケットボール VR シミュレータ作成の取り組み”, HCG シンポジウム 2022, 4 pages, 2022/12, 高松とオンライン.
15. 佐川 加奈, 宍戸 英彦, 吹田 真士, 北原 格, “骨格情報の短時間主成分に対する極値探索に基づくバドミントン選手の反応時間推定法の検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告 CNR, pp.11-16, 2022/11, 那須とオンライン.
16. 田中 直樹, 宍戸 英彦, 吹田 真士, 高橋 英幸, 亀田 能成, 北原 格, “バドミントン選手移動軌跡の深層学習分類を用いた打点領域検出”, 情報処理学会 研究報告 AVM, vol.2022-AVM-119, no.13, pp. 1-6, 2022/11, 名古屋工業大学とオンライン.
17. 藤原 円央, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “卓球競技映像における深層学習を用いた打法認識手法”, 情報処理学会 研究報告 AVM, vol.2022-AVM-119, no.12, pp. 1-5, 2022/11, 名古屋工業大学とオンライン.
18. 吉川 優依, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “ダンスと場景を連動させた映像生成手法の評価”, 情報処理学会 研究報告 AVM, vol.2022-AVM-119, no.11, pp. 1-5, 2022/11, 名古屋工業大学とオンライン.
19. 新里 優太, 宍戸 英彦, 榎本 靖士, 亀田 能成, 北原 格, “陸上トラック競技における選手骨格位置を用いた移動軌跡推定手法”, 情報処理学会 研究報告 AVM, vol.2022-AVM-119, no.10, pp. 1-5, 2022/11, 名古屋工業大学とオンライン.
20. 木村 文哉, 宍戸 英彦, 北原 格, “ニューラル場表現と表情類似度に基づく 4 次元ポートレート生成法”, 日本バーチャルリアリティ学会 第 66 回複合現実感研究会, vol.2022-EC-65, no.38, pp.1-6, 2022/10, 釧路とオンライン.
21. 逸見 勲, 宍戸 英彦, 北原 格, “パフォーマンス撮影のための演者立ち位置情報を基にしたカメラ位置姿勢生成手法”, 日本バーチャルリアリティ学会 第 66 回複合現実感研究会, vol.2022-EC-65, no.37, pp.1-5, 2022/10, 釧路とオンライン.
22. 坂井 甚太, 宍戸 英彦, 北原 格, “映像作品のカメラワーク数値化に向けたカメラと被写体の位置姿勢推定法”, 日本バーチャルリアリティ学会 第 66 回複合現実感研究会, vol.2022-EC-65, no.36, pp.1-6, 2022/10, 釧路とオンライン.
23. 宇津呂 雄生, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “相撲映像からの骨格推定に基づく決まり手分類”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.200, pp. 63-68, 2022/10, 釧路とオンライン.

24. 川田 洸希, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “方向指示のための視線反応型アクティブパターンの検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.200, pp. 18-23, 2022/10, 釧路とオンライン.
25. 大木 郁登, 宍戸 英彦, 亀田 能成, “スマートフォンの IMU を用いた次歩推定方法の検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.200, pp. 13-17, 2022/10, 釧路とオンライン.
26. 謝 淳, 宍戸 英彦, 北口 大地, 小田 竜也, 北原 格, “投影型拡張現実を用いた腹腔鏡手術支援システムの構築”, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集, 4 pages, 2022/9, 札幌とオンライン.
27. 張 洛汐, 宍戸 英彦, 北原 格, “A 3D model generation of a shooting scene from a single snapshot”, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集, 4 pages, 2022/9, 札幌とオンライン.
28. 菅野 大和, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “野球映像を用いた捕手のフレーミング技術におけるミット移動軌跡の球種別分析”, 第 21 回情報科学技術フォーラム, pp.169-170, 2022/9, 横浜とオンライン.
29. 田中 直樹, 宍戸 英彦, 吹田 真士, 亀田 能成, 北原 格, “バドミントン選手移動軌跡の機械学習分類を用いた打点領域検出”, 第 21 回情報科学技術フォーラム, pp.261-262, 2022/9, 横浜とオンライン.
30. 宍戸 英彦, “コンピュータビジョンによる計測技術及びスポーツ科学への応用”, 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE), 企画トークセッション, 2022/9, 東京とオンライン.
31. 山岸 峻造, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “野球映像を用いた外野手の捕球技術における移動軌跡の分析”, 第 21 回情報科学技術フォーラム, pp.257-258, 2022/9, 横浜とオンライン.
32. 向 志政, 宍戸 英彦, 北原 格, “A Method to Style Transfer for Free-Viewpoint Video Generation”, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集, 4 pages, 2022/9, 札幌とオンライン.
33. 木山 傑将, 宍戸 英彦, 北原 格, “自己注意機構に基づく空撮多視点画像から復元した三次元点群の欠損補完法の検討”, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集, 4 pages, 2022/9, 札幌とオンライン.
34. 山岸 峻造, 宍戸 英彦, 亀田 能成, 北原 格, “野球映像を用いた外野手の移動軌跡によるフライ性打球処理の可視化”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.122, no.175, pp.32-37, 2022/9, 東京とオンライン.

35. Zhang Haihan, 鳥屋 剛毅, 宍戸 英彦, 北原 格, “空撮映像に基づく建物群三次元復元と階層化点群補完”, 第 50 回 画像電子学会年次大会 (学会創設 50 周年記念大会), 4 pages, 2022/8, 知床とオンライン.
36. 蛭田 雄也, 宍戸 英彦, 北原 格, “全方位カメラと球面鏡で構成された反射屈折撮像系における奥行き推定法”, 第 50 回 画像電子学会年次大会 (学会創設 50 周年記念大会), 4 pages, 2022/8, 知床とオンライン.
37. Ueda Itsuki, Fukuhara Yoshihiro, Kataoka Hirokatsu, Aizawa Hiroaki, Shishido Hidehiko, Kitahara Itaru, “NeDDF: Neural Density-Distance Fields”, 第 25 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2022), 4 pages, 2022/7, 姫路とオンライン.
38. 蛭田 雄也, 宍戸 英彦, 北原 格, “全方位カメラと球面鏡で構成された反射屈折撮像系における奥行き推定”, 第 25 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2022), 4 pages, 2022/7, 姫路とオンライン.
39. Li Qiaoge, Ueda Itsuki, Xie Chun, Shishido Hidehiko, Kitahara Itaru, “OmniVoxel: a Fast Omnidirectional Neural Radiance Field Reconstruction Method”, 第 25 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2022), 4 pages, 2022/7, 姫路とオンライン.
40. 藤富 卓, 櫻田 健, 濱口 竜平, 宍戸 英彦, 大西 正輝, 亀田 能成, “非直線光路を表現可能な Neural Radiance Fields”, 第 25 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2022), 4 pages, 2022/7, 姫路とオンライン.
41. セレスタ プラギャン, 謝 淳, 宍戸 英彦, 吉井 雄一, 北原 格, “3次元ボリューム推定ネットワークを用いた X 線画像と CT ボリュームの位置合わせ手法”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MI, pp. 61-65, 2022/7, 小樽とオンライン.
42. 島田 和輝, 澤邊 太志, 宍戸 英彦, 神原 誠之, 北原 格, “自動走行車両搭乗者の予備動作喚起を目的とした映像生成”, 電子情報通信学会 技術研究報告 CNR, pp. 6-11, 2022/7, 那覇とオンライン.

7. 異分野間連携・産学官連携・国際連携・国際活動等

産学官連携

- ・ 産学連携：日立製作所との共同研究（代表：北原）

「自動運転の実現に向けた三次元計測技術の研究」

屋外環境を複数台のカメラで撮影した画像群を入力とし、他のカメラと重複されて撮影された領域を手がかりとしてそれ以外の全ての領域を高精度に推定する深層学習技術、および、観測データの質を改善するための補完技術に関する研究を日立製作所と共同で実施した。筑波大学においては、深層学習とステレオ視によって復元した奥行き情報を互いの弱点を補い合う形で統合することにより、推定精度向上を目的とした手法を考案した。

- ・ 産学連携：東京エレクトロンとの共同研究（代表：北原）

「人物行動観測技術に基づく半導体生産支援技術に関する研究開発」

半導体生産で使用する器具の拭き取り作業効率を推定する研究を東京エレクトロンと共同で実施した。3次元モーションキャプチャによって取得した上半身の拭き取り動作から、その動作による拭き取り率を深層学習を用いて推定した。粒子が付着した石英リングに紫外線を照射しながら撮影した画像から拭き取り率を自動的に算出する方法を実現した。

国際連携・国際活動

亀田能成教授が中心となって締結した、計算科学研究センター、イスラエルの Holon Institute of Technology、およびアゼルバイジャンの Azerbaijan Medical University、およびイスラエルの Innovative Technologies Group 社との4者間の MoU に関連する研究成果から、査読付き雑誌論文1件が採択された。

北原格教授がオーストラリアの Curtin University、イギリス University of Southampton との国際共同研究から、査読付き国際会議論文3件、査読付き雑誌論文1件の発表に至った。

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

電子情報通信学会サイバーワールド研究会を2023年3月2日に筑波大学計算科学研究センターのワークショップ室で開催した（現地幹事：亀田）。

9. 管理・運営

亀田 能成

エンパワーメント情報学プログラム 運営委員会 委員

エンパワーメント情報学プログラム 学務カリキュラム委員会 委員長

知能機能システム学位プログラム 学務カリキュラム委員会 副委員長

全学教育戦略会議 委員

北原 格

ヒューマニクス学位プログラム 運営委員会 委員

ヒューマニクス学位プログラム 入試委員会 副委員長

知能機能システム学位プログラム・エンパワーメント情報学 入試委員会 委員

知能機能システム専攻 学務・カリキュラム委員会 委員

宍戸 英彦

システム情報工学研究科知能機能システム専攻 広報委員会 委員
知能機能システム学位プログラム 学務・カリキュラム委員会 委員

10. 社会貢献・国際貢献

亀田 能成

電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・仮想環境基礎研究会(MVE) 顧問
電子情報通信学会 サイバーワールド 時限研究専門委員会(CW) 委員

北原 格

日本バーチャルリアリティ学会 SIG-MR 研究会 委員長
映像情報メディア学会スポーツ情報処理研究会(SIP) 幹事

宍戸 英彦

情報処理学会 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会(CVIM) 委員
電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・仮想環境基礎 研究会(MVE) 委員
日本バドミントン学会 研究推進委員
情報処理学会 第20回情報科学技術フォーラム 担当委員, プログラム委員

11. その他

亀田 能成

人工知能科学センターでも研究に従事（プロジェクト研究部門モビリティ分野）。

北原 格

筑波大学サイバニクス研究センターでも研究に従事。