

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：33803

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11985

研究課題名（和文）分散データベースによるフォグコンピューティング基盤の開発

研究課題名（英文）Development of fog computing infrastructure with distributed database

研究代表者

工藤 司（Kudo, Tsukasa）

静岡理工科大学・情報学部・特任教授

研究者番号：90583782

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：現在、Internet of Things（IoT）の進展に伴う大量のデータ入力に対応するため、一次処理をセンサ近くに設置された端末であるフォグノードで実行し、サーバには処理結果のみを転送するフォグコンピューティングが活用されている。本研究では、フォグノードで連続入力される動画から自動的に対象を検出、認識して必要な情報を抽出するとともに、フォグノードとサーバの間で効率的にデータを管理するための基盤を構築し、有効性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoTの進展に伴い、様々な監視カメラが展開され、膨大なデータが常時、連続入力されている。このようなデータの解析を行うには、まず、対象部分を自動認識し、その上で解析を行うのが効率的である。本研究は、フォグノードで連続的に一次処理を行うフォグコンピューティングの特徴を活用し、深層学習やコンピュータグラフィックス（CG）を活用して効率的な自動認識の仕組みを提案、評価した点に学術的意義がある。また、自動運転の車載カメラや、災害防止用の河川カメラなど、動画からの情報抽出の需要は高まっており、この点で社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Currently, in order to cope with the large amount of data input associated with the progress of the Internet of Things (IoT), fog computing is being utilized, in which primary processing is performed at fog nodes, which are terminals installed near sensors, and only the processing results are transferred to the server. In this study, I developed a method for automatic object detection and recognition to extract necessary information from continuously input videos at fog nodes and infrastructure for efficiently managing data between fog nodes and servers; and, I evaluated the effectiveness of this method.

研究分野：データベース関連

キーワード：データベースシステム 時制データベース フォグコンピューティング 深層学習 画像認識 Cycle-GAN

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、Internet of Things (IoT)の進展に伴い、膨大なセンサデータが入力されており、サーバに転送する際のネットワーク帯域の制約などの問題に対応するため、fogコンピューティングが活用されている。これは、センサの近くに設置されたfogノードで一次処理を行い、処理結果のみをサーバに転送する方式である。一方で、サーバ側の解析処理で、センサのオリジナルデータが必要になる場合がある。この課題に対して、研究代表者は図 1 に示すように、fogノードに分散データベースを配置してオリジナルデータを保存する方式を提案し、必要に応じてサーバ側から効率的にデータを検索できることを示した。

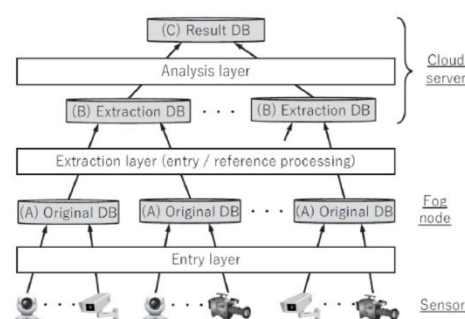


図 1 3階層データモデル

(2) 膨大な数のセンサデータから常時入力されるデータの中から必要な情報を自動抽出することが必要になっている。一方で、現在、人工知能、特に深層学習の分野で活発な研究が行われており、動画や画像の中から対象の検出や認識を行う様々な方式が提案され、実用化されている。GPUを含む計算能力の向上との相乗効果により、動画に対してもリアルタイムで物体検出などの一次処理を適用することが可能になっている。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、第一にサーバとfogノードに配置されたデータの効率的な管理を目的とする。1. (1)項に記載したfogノードのデータの検索結果を、サーバの解析処理に反映する場合には、サーバ側で統計的に処理されたデータの修正が発生する。この場合、センサからリアルタイムでサーバに転送されたデータの処理結果に、事後処理で検索されたデータの処理結果を効率的に反映することが必要になる。さらに、多様なセンサが展開され、また、各fogノードでは各々の状況に応じた処理が実行されるため、データベースの構造も異なることになる。従って、サーバ側で、このような多様なデータ構造を統合的に扱うための方式を構築する必要がある。

(2) 第二に、膨大なデータの中から必要な情報を自動抽出するための方式の構築である。大量のセンサのデータを解析するためには、膨大な計算量が必要になる。一方で、現実の世界では必ずしも全てのデータが解析対象ではない。例えば、入退室を監視する監視カメラであれば、対象となるのは動きのあったフレームに限定される。一方で、fogコンピューティングではfogノードで網羅的に一次処理を行っているため、このような動きのある部分の情報を自動認識してサーバに伝達することが可能になる。このように、fogコンピューティングの特性を活用することで、膨大なデータの中から効率的に情報を抽出できることが期待される。

3. 研究の方法

(1) 2. (1)項のデータ管理方式については、時間に伴うデータの履歴を管理する時制データベースを活用し、事後処理の影響を削減する方式を研究した。また、多様なデータ構造に対しては、ドキュメント指向型 NoSQL データベースである MongoDB を活用した場合の効率を評価した。

(2) 2. (2)項の自動認識については、ウェアラブルカメラを使用して連続的に動画を収集する場合を対象とした。まず、ビデオのフレーム間の差分の情報から対象を注視しているフレームを抽出する。このフレームに対して、深層学習や画像処理を活用した物体検出、物体認識、対象の数量推定を試みた。具体的には、研究代表者が研究してきた、機械工場の在庫管理を対象に、作業者が装着したウェアラブルカメラの動画から、作業対象の部品、在庫数量を自動推定する機能を構築し、実環境での運用を想定した評価を行った。これは、在庫の変動は作業者の供給、出庫という作業によって発生することに着目したものであり、図 2 示すように在庫保管エリアへの入室や、図 2 の右側のコンテナ内の、目視では数えられない部品の在庫数量を自動推定し、在庫管理を自動化しようとするものである。



図 2 対象とするウェアラブルカメラによる在庫管理

4. 研究成果

(1) フォグノードから事後に転送されるデータを，サーバに効率的に反映するため，時制データベースを活用した方式の評価を行った[1]．サーバ側では，主に解析処理が行われるため，データの更新に伴い全ての計算を再度，実行することが必要になることがある．これに対し，時制データベースを活用して，指定期間内に修正されたデータを特定することで，このデータの変動のみを計算対象とする方式を提案した．この結果，図3の「Bitemporal table」(時制データベースのテーブル)に示すように，効率化が可能であることを示した．

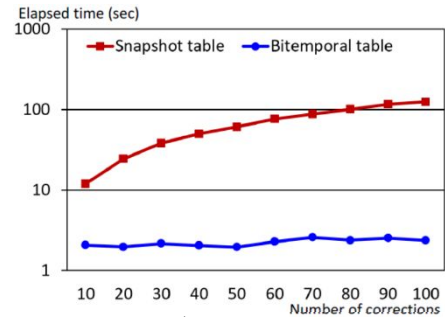


図3 時制データベース適用による効率の評価

(2) リレーショナルデータベースにおいて，様々なデータ構造のテーブルを1つのテーブルとして統合して使用することは，スパースの問題を引き起こすことが指摘されている．従って，このようなテーブルを統合的に扱う場合には，基本となるテーブルをベースして必要なテーブルを結合する方法が採用される．本研究では，このようなテーブル群をドキュメント指向型データベースである MongoDB に変換した上で統合する方式を提案し，リレーショナルデータベース (MySQL) を使用した場合との性能の比較評価を行った[2]．図4は，検索性の比較評価結果であり，テーブルを統合することで，性能の大幅な向上が可能であることが示された，

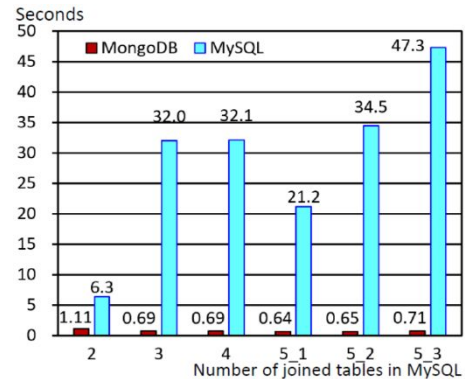


図4 MongoDB によるテーブル統合の効率評価

(3) 連続撮影された動画から，必要な情報が抽出できることを検証するため，ウェアラブルカメラで連続撮影した動画を対象に，図5に示す手順で情報を抽出する方式を評価した [3]．まず，連続撮影したビデオのフレーム間の差分から対象を注視しているフレームを抽出し(1)，深層学習の多クラス分類を活用して所在や目的とする在庫管理エリアへの入室を判別する(2)．最後に領域内の対象物を認識する(3, 4)．実験を通じて，動画の隣接フレームを使用して対象を繰り返し認識できること，入室に伴って在庫保管エリアなどの，現在位置を判別して対象物を絞り込むことで，認識精度を高められることを示した．一方で，環境が変化した場合や，対象物の領域が画像内で比較的小さい場合には，認識精度が劣化するという課題が明らかになった．

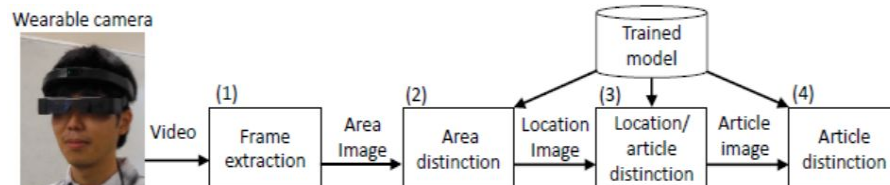


図5 ウェアラブルカメラを活用した情報抽出

(4) (3)に記載の通り，深層学習による物体認識では，昼夜や天候の変化に伴う精度の劣化は発生することが分かった．一方で，深層学習では訓練データの準備が課題となる．そこで，訓練データ準備の負荷を削減するため，コンピュータグラフィックス (CG) を活用した訓練データの作成を評価し，直接，適用した場合には精度が劣化するものの，実データの一部を混在させる方法，あるいは画像変換により改善が可能であることを示した．さらに，環境の変化に対応するためには，CG 画像を基本とし，実画像をCG画像に変換することが有効であると着想した．そこで，実画像とCG画像の間の変換に，敵対的生成ネットワーク (GAN) の一種である Cycle-GAN を活用することを着想した．この方式は，これらの2種類の各画像を，正解画像として1対1に対応させる必要がないため，効率的に訓練データを準備できる．さらに，パルクテナ内に保存された部品の在庫推定を対象に，Cycle-GAN を拡張した変換モデルを構築した．これは，Cycle-GAN の識別機に在庫推定のロスを組み込み，在庫推定のロスが小さくなるようにモデルを訓練するものである[4]．この結果，図6の「本方式」に示すように，CG画像で訓練したモデルを実画像に応用した場合であっても，CG画像に応用した場合と近い精度が得られることが示された[5]．

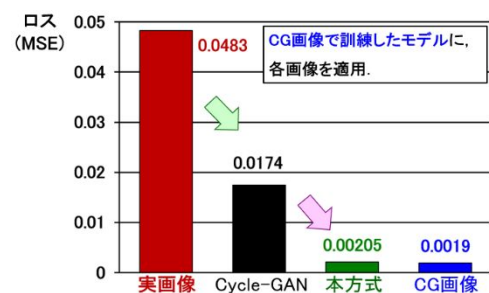


図6 Cycle-GAN を活用したデータ変換の効果

(5) (3)に記載の対象物の領域が画像内で小さい場合に、認識精度が劣化する問題については、在庫管理作業で作業者が対象を手にとることに着目し、オプティカルフローによる物体検出方式を提案、評価した[6]。オプティカルフローはビデオのフレーム間での対象の見え方(移動)を示すものであり、直接適用するにはカメラ側も動いている、という課題がある。そこで、画面の周辺に近い領域である背景と、対象領域のオプティカルフローを計算し、前者を使用してカメラの視点の移動を補正した。この結果、図7の「Adopted result」に示すように、背景が複雑な場合でも一定の精度で領域抽出が可能であり、平坦な背景では90%以上の精度で抽出できることを示した。

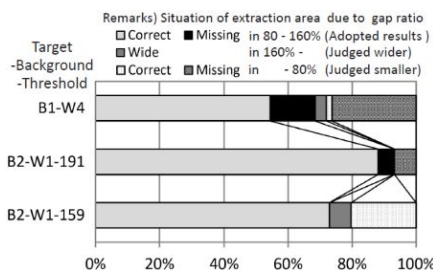


図7 オプティカルフローを使用した物体検出の評価

(6) さらに、対象が密集している場合には、個々の物体検出が困難になる。このため、Cycle-GAN を活用して、対象の画像を輪郭画像に変換する方式を提案した [7]。この場合、輪郭画像を手作業で作成する必要がある。そこで、効率化のため、CG を活用する方法を使用した。図8に本棚に並べた書籍の事例を示す。(b)がCG画像であり、あらかじめ各書籍と本棚のモデルを作成しておき、書籍をプログラムでランダムに本棚に配置する。このとき、書籍の輪郭の座標が取得できるため、(b)の輪郭画像の訓練データを自動生成することができる。この画像と、(a)の実画像を使用して Cycle-GAN のモデルを訓練することで、(a)の実画像から(b)の輪郭画像を自動生成できることを示した。



図8 Cycle-GAN を活用した輪郭検出方式

<引用文献>

- [1] T. kudo, Data Correction Management Method Using Temporal Data in Fog Computing, Int. Conf. Mobile Computing and Ubiquitous Network, 2019, 1-4.
- [2] T. Kudo, T. Yamamoto, T. Watanabe, Three-Step Master Data Creation Method from Big Data: Scraping, Semi-Structuring, and Extraction, 2022, Procedia Computer Science (in press).
- [3] T. Kudo, A proposal for article management method using wearable camera, 2020, Procedia Computer Science, Vol.176, 2020, 1338-1347.
- [4] T. Kudo, Application Method of Deep Learning Model Trained with CG Images to Real Images, Procedia Computer Science Vol.192, 2021, 1484-1493.
- [5] 工藤 司, AI 技術を活用した在庫管理自動化の研究, 次世代設計・製造構造研究会講演資料, 2022, https://researchmap.jp/kudo_tsukasa/presentations/36122946.
- [6] T. Kudo, Moving Object Detection Method for Moving Cameras Using Frames Subtraction Corrected by Optical Flow, Int. J. Informatics Society Vol.13(2), 2021, 79-91.
- [7] T. Kudo, Contour Detection Method by CycleGAN Using CG Images as Ground Truth, Int. J. Informatics Society, Vol.14, 2022 (in press).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tsukasa Kudo	4. 巻 14
2. 論文標題 Contour Detection Method by CycleGAN Using CG Images as Ground Truth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tsukasa Kudo	4. 巻 13(2)
2. 論文標題 Moving Object Detection Method for Moving Cameras Using Frames Subtraction Corrected by Optical Flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society	6. 最初と最後の頁 79-91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 kudo, Tsukasa	4. 巻 12(1)
2. 論文標題 CG Training Model Application Method Using Cycle-consistent Adversarial Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society	6. 最初と最後の頁 41-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件／うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Tsukasa Kudo, Takehiro Yamamoto, Tomoki Watanabe	
2. 発表標題 Three-Step Master Data Creation Method from Big Data: Scraping, Semi-Structuring, and Extraction	
3. 学会等名 26th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems（国際学会）	
4. 発表年 2022年	

1．発表者名 尾関政朋，桑田彩華，工藤 司
2．発表標題 任意の方向からの物体認識用訓練データ生成手法 ～ 動画とCGを活用した2つのアプローチ ～
3．学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアインタプライズモデリング研究会
4．発表年 2022年

1．発表者名 工藤 司，山本剛大，渡邊智紀
2．発表標題 ビッグデータとfogノードの間の循環型データモデルの提案
3．学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアインタプライズモデリング研究会
4．発表年 2022年

1．発表者名 工藤 司
2．発表標題 ビッグデータとfogノードの統合モデル - 英語穴埋め問題自動生成システム
3．学会等名 高度情報シンポジウム2021
4．発表年 2021年

1．発表者名 工藤 司
2．発表標題 CGの正解画像を使用したCycleGANによる輪郭検出方式
3．学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアインタプライズモデリング研究会
4．発表年 2021年

1. 発表者名 Tsukasa Kudo
2. 発表標題 Application Method of Deep Learning Model Trained with CG Images to Real Images
3. 学会等名 25th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsukasa Kudo
2. 発表標題 Contour Generation for Object Detection Utilizing Cycle-GAN with Error Monitoring
3. 学会等名 International Workshop on Informatics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤 司
2. 発表標題 ウェアラブルカメラを活用した移動体認識
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアインタプライズモデリング研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsukasa Kudo
2. 発表標題 A proposal for article management method using wearable camera
3. 学会等名 24th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1．発表者名 Tsukasa Kudo
2．発表標題 Object Extraction Method from Mobile Camera Videos Using Optical Flow
3．学会等名 International Workshop on Informatics (国際学会)
4．発表年 2020年

1．発表者名 山下大悟，工藤 司
2．発表標題 位置情報を用いた入退室管理システム
3．学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4．発表年 2020年

1．発表者名 秋山裕太，工藤 司
2．発表標題 顔認証を用いた自然な動作の入退室管理
3．学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4．発表年 2020年

1．発表者名 東屋那音，工藤 司
2．発表標題 変動のある様式を対象とした文字情報抽出方式
3．学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4．発表年 2020年

1．発表者名 工藤 司
2．発表標題 フォグコンピューティングにおけるセンサデータ管理方式の提案
3．学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアインタプライズモデリング研究会
4．発表年 2020年

1．発表者名 Kudo, Tsukasa
2．発表標題 Data Correction Management Method Using Temporal Data in Fog Computing
3．学会等名 12th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (国際学会)
4．発表年 2019年

1．発表者名 Kudo, Tsukasa
2．発表標題 A proposal of fog computing infrastructure for inventory management with images
3．学会等名 Symposium on Advanced Information Systems (国際学会)
4．発表年 2019年

1．発表者名 Kudo, Tsukasa
2．発表標題 Training Data Generation Method for Deep Learning Using Cycle-GAN
3．学会等名 International Workshop on Informatics (国際学会)
4．発表年 2019年

1 . 発表者名 Kudo, Tsukasa
2 . 発表標題 CG Utilization for Creation of Regression Model Training Data in Deep Learning
3 . 学会等名 23th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 工藤 司
2 . 発表標題 画像認識を活用したラボラトリオートメーション
3 . 学会等名 高度情報シンポジウム2019
4 . 発表年 2019年

〔 図書 〕 計0件

〔 産業財産権 〕

〔 その他 〕

AI 技術を活用した在庫管理自動化の研究（次世代設計・製造構造研究会 講演資料） https://researchmap.jp/kudo_tsukasa/presentations/36122946 IoTとAI技術を活用した機械部品の在庫管理の研究（先端精密技術研究会 講演資料） https://researchmap.jp/kudo_tsukasa/presentations/32119286 情報システム導入の手順と事例（『ITを活用した業務効率化入門セミナー』 講演資料） https://researchmap.jp/kudo_tsukasa/presentations/32119416 情報システムを活用したビジネスデザイン（社会人ビジネス講座 講演資料） https://researchmap.jp/kudo_tsukasa/presentations/32119529 Inventory Estimation Method for Bulk Container (Academic Work Shop 講演資料) https://researchmap.jp/kudo_tsukasa/presentations/32119860 AI 技術を活用した在庫推定の研究（金型技術研究会 講演資料） https://researchmap.jp/kudo_tsukasa/presentations/32119892 静岡理工科大学 情報学部学部 工藤研究室ホームページ https://www.sist.ac.jp/~kudo/

6 . 研究組織			
	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究協力者	尾関 政朋 (ozeki Masatomo)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	桑田 彩華 (Kumeta Ayaka)		
研究協力者	秋山 裕太 (Akiyama Yuuta)		
研究協力者	山下 大悟 (Yamashita Daigo)		
研究協力者	東屋 那音 (Higashiya Naoto)		
研究協力者	山本 剛大 (Yamamoto Takehiro)		
研究協力者	渡邊 智紀 (Watanabe Tomoki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------