

令和元年6月20日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00177

研究課題名（和文）多種センサとクラウドを活用した分散リアルタイム機械学習処理基盤

研究課題名（英文）A Study on Distributed Real-time Machine Learning Processing Infrastructure using Various Sensors and a Cloud

研究代表者

竹房 あつ子 (Takefusa, Atsuko)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・准教授

研究者番号：70345411

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：多種センサを配備し、それらのセンサ情報をクラウドに集約して解析することが可能になってきた。一方、カメラの動画はデータ量が膨大なためクラウドへの集約は難しく、その解析処理に必要な計算量も多いため、リアルタイムに高精度な解析を行うのは非常に困難である。よって、大量のセンサデータに対し、センサ群およびクラウドの計算資源を有効活用して高精度な解析を即時に行う分散リアルタイム機械学習処理基盤技術を開発する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した分散リアルタイム機械学習処理基盤技術により、大量の動画データと他のセンサデータを利用した高精度なリアルタイム解析が可能になり、様々なサービスアプリケーションの創出に寄与することができる。

研究成果の概要（英文）：It has become possible to deploy various sensors and aggregate and analyze their sensor information in a cloud. But, it is very difficult to perform high-accuracy analysis in real time because the amount of the video data captured by cameras is too huge to be transferred to the cloud, and the amount of calculation required for the analysis is also large. Therefore, we develop technologies for distributed real-time machine learning processing to achieve high-accuracy and high-throughput analysis by effectively using the computational resources of sensors and the cloud.

研究分野：並列分散処理、クラウド基盤技術、ネットワーク

キーワード：クラウドコンピューティング 分散処理 ディープラーニング 機械学習 資源管理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多種センサの小型化と組み込み型汎用 Linux 計算機の普及等により、様々なセンサ情報をクラウドデータセンタに集約して、解析することが可能になってきた。しかしながら、カメラの動画画像のような大容量データを扱う場合、(a)センサとクラウド間の大容量データ転送の問題、(b)動画画像解析の困難さ、(c)効率よいリアルタイム処理の困難さ、の3つの技術的課題がある。(a)は、GPS や温度センサ等と比較するとカメラの動画画像はデータ量が膨大であり、複数の動画画像データをインターネット経由で収集すると、大きな通信遅延が生じてしまう。(b)の動画画像解析では、個々の動画画像に対して時間軸方向に複数の画像を入力値として解析する必要があり、機械学習が困難であることが知られている。静止画の解析では、多階層ニューラルネットワークを用いた深層学習(ディープラーニング)により、高度な専門知識がなくても高精度な学習が行えることが示されている。しかしながら、ディープラーニングの計算量は非常に大きく、並列分散処理を用いた静止画像の学習の高速化は試みられているものの、動画画像を対象とした学習は十分に行われていない。(c)は、センサデータの解析のようなストリームデータ処理では、データの供給量より解析の処理能力が低い場合、全てのデータの解析を行うことができず、リアルタイムな処理を実現することはできない。

2. 研究の目的

大量のセンサデータに対し、センサ群およびクラウドの計算資源を有効活用して高精度な解析を即時に行う分散リアルタイム機械学習処理基盤を開発する。多種センサを配備し、それらのセンサ情報をクラウドに集約して解析することが可能になってきた。一方、カメラの動画画像はデータ量が膨大なためクラウドへの集約は難しく、その解析処理に必要な計算量も多いため、リアルタイムに高精度な解析を行うのは非常に困難である。よって、センサとクラウドの計算資源を活用した分散環境でディープラーニングによる高精度な機械学習処理を実現する。これにより、動画画像と他のセンサデータを利用した高精度なリアルタイム解析を容易にし、様々な次世代サービスアプリケーションの創出に寄与する。

3. 研究の方法

多種センサとクラウドを活用した高効率・高精度な分散リアルタイム機械学習処理基盤の構築を目指し、(a)センサ・クラウドを活用した分散処理基盤の構築、(b)高効率な分散リアルタイム処理を実現する資源管理機構、(c)ディープラーニングを用いた高精度分散動画画像解析の3つの研究開発を行った。(a)では、(1)多階層ニューラルネットワークの処理をセンサ側、クラウド側で分散処理する手法を開発した。(b)では、(2)メッセージングシステムと分散処理フレームワークを組み合わせた並列分散処理フレームワークを構築し、その性能特性を調査した。また、(2)の結果をもとに(3)高効率な並列分散処理フレームワークを開発した。(c)については、(4)動画画像から様々な機械学習手法で動作を推論する手法の開発を始めた。

4. 研究成果

(1) 多階層ニューラルネットワークのセンサ、クラウドでの分散処理の実現

機械学習フレームワークの1つであるCaffeを拡張し、多階層ニューラルネットワークの学習処理をセンサ側の計算機とクラウド側の計算機でパイプライン的に分散画像解析処理を行う手法を開発した。開発した手法を用い、学習処理の分散方法、センサ側計算機の性能、センサとクラウド間のネットワーク帯域を変化させた評価を行った。実験から、現実的なセンサとクラウド間のネットワーク帯域下では、学習精度をあまり落とすことなく分散処理による処理時間の短縮が可能であることを示した(雑誌論文[3][7][8]他で発表)。

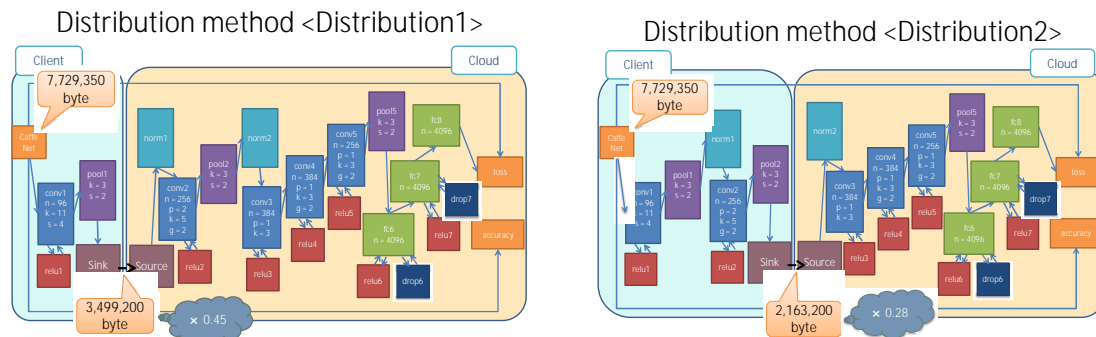


図 1. 多階層ニューラルネットワークのセンサ、クラウドでの分散処理

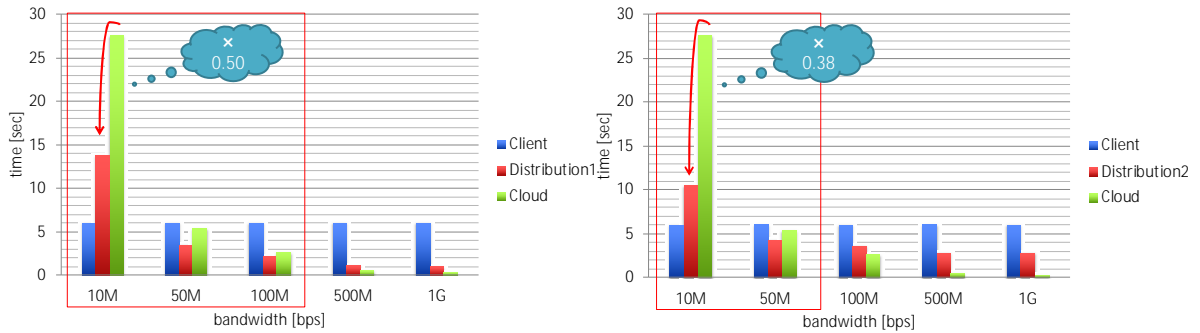


図 2. 学習処理の分散方法、センサとクラウド間のネットワーク帯域を変化させた評価

(2) 並列分散処理フレームワークの性能特性調査

分散メッセージングシステムである Apache Kafka と大規模分散処理フレームワークの Apache Spark を用い、複数センサデータを扱う分散リアルタイム処理基盤のプロトタイプ実装を行った。Apache Kafka により複数センサ端末で構成されるセンサネットワークを構築するとともに、Apache Spark によりクラウド側の計算環境を構築し、分散処理を可能にした。プロトタイプ上でディープラーニング用ライブラリ Chainer を用いた画像解析処理を行った。Kafka の評価では、メッセージをオンメモリで管理するブローカ間の通信帯域が十分ないと性能が劣化すること、それに伴い全体の処理スループットが律速してしまうことが分かった。また、Spark ではデータローカリティを重視したスケジューリングを行うため、ストリーミングデータのリアルタイム処理で並列化効率を上げるのは困難であることが明らかとなった（雑誌論文[1][2][4][5]他で発表）。

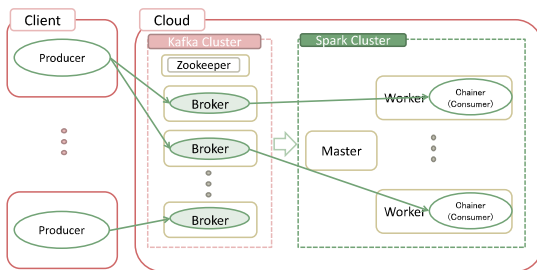


図 3. 並列分散処理フレームワークの概要

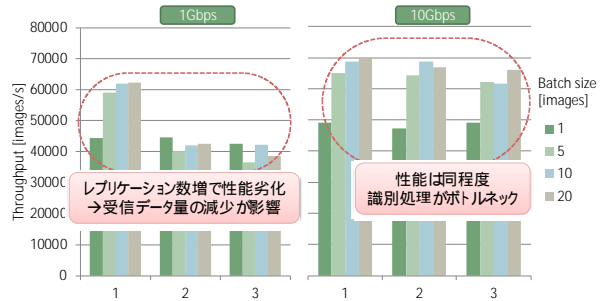


図 4. MNIST を用いた学習処理スループットの比較

(3) 高効率な並列分散処理フレームワークを開発

これまでの研究において、十分なネットワーク帯域がある環境では分散メッセージングシステム Apache Kafka により画像ストリーミングデータの収集が可能であることがわかった。しかしながら、一般にリアルタイム処理基盤として利用されている Apache Spark ではストリーミングデータの機械学習処理の並列化効率を上げることが困難であることが明らかとなった。よって、機械学習のための分散実行フレームワーク Ray と Kafka を組み合わせた分散ストリーミング処理基盤を新たに構築した。評価実験から、従来手法により低遅延かつ高いスケーラビリティを持つ処理基盤が構築できることを示した（[1]他で発表）。

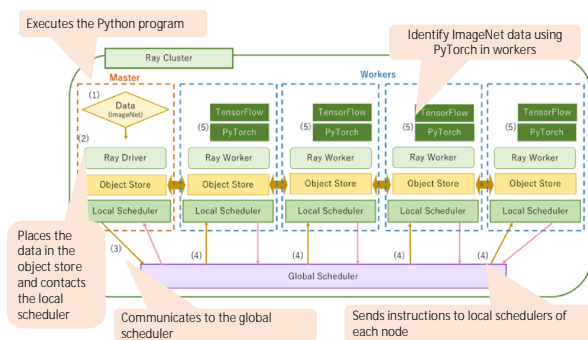


図 5. 改良した並列分散処理フレームワークの概要

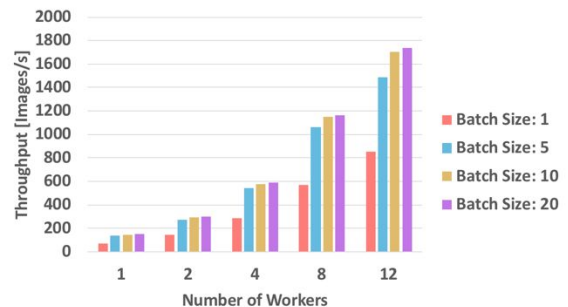


図 6. ImageNet を用いた学習処理スループットの比較

(4)動画像から様々な機械学習手法で動作を推論する手法の開発
動画像から動作を推論する手法として、動画像から静止画列を取り出してセンサ側で前処理後、特徴量のみをクラウドに送信して機械学習処理を行う手法を提案した。センサ側前処理ではキーポイント抽出ライブラリ OpenPose を用い、クラウドでの機械学習処理では、ロジスティック回帰、ランダムフォレスト、サポートベクターマシン、ニューラルネットワークの複数手法を用いて学習精度とロスと比較した。今後、より精度の高い手法の開発や並列処理フレームワークへの実装を行う (学会発表(2)(4)で発表)

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- [1] Kasumi Kato, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#) and [Masato Oguchi](#), Construction Scheme of a Scalable Distributed Stream Processing Infrastructure Using Ray and Apache Kafka, Proc. the 34th ISCA International Conference on Computers and Their Applications (CATA 2019), pp. 368-377, 2019.
DOI: 10.29007/8lbk
- [2] Kasumi Kato, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#), and [Masato Oguchi](#), A Study of a Scalable Distributed Stream Processing Infrastructure Using Ray and Apache Kafka, Proc. IEEE BigData 2018 (Poster), pp. 5351-5353, 2018.
DOI: 10.1109/BigData.2018.8622415
- [3] Ayae Ichinose, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto NAKADA](#), [Masato Oguchi](#), Performance Evaluation of Pipeline-Based Processing for the Caffe Deep Learning Framework, IEICE Transactions on Information and Systems, E101-D(4), pp. 1042-1052, 2018.
DOI: 10.1587/transinf.2017DAP0015
- [4] Ayae Ichinose, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#), [Masato Oguchi](#), A Study of a Video Analysis Framework Using Kafka and Spark Streaming, Proc. Second Workshop on Real-time & Stream Analytics in IEEE Big Data, pp. 2396-2401, 2017.
DOI: 10.1109/BigData.2017.8258195
- [5] Kasumi Kato, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#), [Masato Oguchi](#), Consideration of Parallel Data Processing over an Apache Spark Cluster, Proc. IEEE BigData (Poster), pp. 4757-4759, 2017.
DOI: 10.1109/BigData.2017.8258533
- [6] Kanokwan Rungsuptaweekoon, Vasaka Visoottiviseth, [Ryousei Takano](#), Evaluating the power efficiency of deep learning inference on embedded GPU systems, 2017 2nd International Conference on Information Technology (INCIT), 5 pages, 2017.
DOI: 10.1109/INCIT.2017.8257866
- [7] Ayae Ichinose, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#), [Masato Oguchi](#), Pipeline-Based Processing of the Deep Learning Framework Caffe, Proc. ACM IMCOM 2017, pp. 1-8, 2017.
DOI: 10.1145/3022227.3022323
- [8] Ayae Ichinose, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#), [Masato Oguchi](#), Evaluation of Distributed Processing of Caffe Framework using Poor Performance Device, Proc. IEEE BigData (Poster), pp. 3980-3982, 2016.
doi: 10.1109/BigData.2016.7841082

[学会発表] (計 30 件)

- (1) Kasumi Kato, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#) and [Masato Oguchi](#), Construction Scheme of a Scalable Distributed Stream Processing Infrastructure Using Ray and Apache Kafka, Proc. the 34th ISCA International Conference on Computers and Their Applications (CATA 2019), 2019 年.
- (2) 高崎 智香子, [竹房 あつ子](#), [中田 秀基](#), [小口 正人](#), 姿勢推定ライブラリ OpenPose を用いた機械学習による動作識別手法の比較, 情報処理学会 第 81 年全国大会, 2019 年.
- (3) 加藤 香澄, [竹房 あつ子](#), [中田 秀基](#), [小口 正人](#), スケーラブルな分散ストリーム処理基盤の検討と構築, 情報処理学会 第 81 年全国大会, 2019 年.
- (4) 高崎 智香子, [竹房 あつ子](#), [中田 秀基](#), [小口 正人](#), 姿勢推定ライブラリ OpenPose を用いた機械学習による動作識別手法の検討, 第 11 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2019), 2019 年.
- (5) 加藤 香澄, [竹房 あつ子](#), [中田 秀基](#), [小口 正人](#), スケーラブルな分散ストリーム処理基盤の構築と評価, 第 11 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2019), 2019 年.
- (6) Kasumi Kato, [Atsuko Takefusa](#), [Hidemoto Nakada](#), and [Masato Oguchi](#), A Study of a

Scalable Distributed Stream Processing Infrastructure Using Ray and Apache Kafka, IEEE BigData 2018 (Poster), 2018 年.

- (7) 加藤 香澄, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, 大規模データ分散処理基盤におけるパラメータ制御の一検討, DICOMO2018 シンポジウム, 2018 年 7 月.
- (8) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, Kafka を利用したリアルタイム動画画像解析フレームワークのレプリケーションによる性能変化の考察, xSIG 2018, 2018 年.
- (9) 加藤香澄, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人, ビックデータ分散処理基盤を用いたタスク並列化におけるパラメータ制御の考察, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018 年.
- (10) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, Kafka と Spark Streaming を利用したリアルタイム動画画像解析フレームワークの評価, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018 年.
- (11) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, Kafka を利用したリアルタイム動画画像解析フレームワークのレプリケーションによる性能変化の調査, 第 10 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2018), 2018 年.
- (12) 加藤 香澄, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, ビックデータ分散処理基盤におけるパラメータ制御の一検討, 第 10 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2018), 2018 年.
- (13) Ayae Ichinose, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, Masato Oguchi, A Study of a Video Analysis Framework Using Kafka and Spark Streaming, Second Workshop on Real-time & Stream Analytics in IEEE Big Data, 2017.
- (14) Kasumi Kato, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, Masato Oguchi, Consideration of Parallel Data Processing over an Apache Spark Cluster, IEEE BigData (Poster), 2017.
- (15) 加藤 香澄, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, 大規模データ分散プラットフォーム Apache Spark におけるタスク並列化に関する検討, モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA), 2017 年.
- (16) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, Kafka と Spark Streaming を利用したリアルタイム動画画像解析フレームワークの構成検討, モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA), 2017 年.
- (17) K. Rungsuptaweekoon, V. Visoottiviseth and R. Takano, Evaluating the power efficiency of deep learning inference on embedded GPU systems, 2017 2nd International Conference on Information Technology (INCIT), 2017.
- (18) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, ビックデータ処理基盤 Apache Spark のストリーミング機能を利用したセンサデータ解析フレームワークの検討, DICOMO2017, 2017 年.
- (19) 加藤 香澄, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, ビックデータ分散処理基盤を用いた機械学習処理並列化に関する一考察, DICOMO2017, 2017 年.
- (20) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, ディープラーニングフレームワーク Caffe の分散処理における多種クライアントを用いた比較, xSIG 2017, 2017 年.
- (21) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, Apache Spark のストリーミング機能を利用した機械学習処理の検討, xSIG 2017 (Poster), 2017 年.
- (22) 加藤香澄, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人, ビックデータ分散処理基盤を用いた機械学習処理並列化の一検討, xSIG 2017 (Poster), 2017 年.
- (23) Ayae Ichinose, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, Masato Oguchi, Pipeline-Based Processing of the Deep Learning Framework Caffe, ACM IMCOM 2017, 2017.
- (24) 加藤香澄, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人, 大規模データ分散処理プラットフォーム Apache Spark を用いた分散並列機械学習の検討, 情報処理学会第 79 回全国大会, 2017 年.
- (25) 一瀬絢衣, 竹房あつ子, 中田秀基, 小口正人, 大規模データ処理フレームワークのストリーミング機能を利用した機械学習処理の検討, 情報処理学会第 79 回全国大会, 2017 年.
- (26) 加藤 香澄, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, 大規模データ分散処理プラットフォーム Apache Spark を用いた分散並列機械学習に関する考察, DEIM Forum 2017, 2017 年.
- (27) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, 大規模データ処理フレームワークのストリーミング機能を利用した機械学習処理の評価, DEIM Forum 2017, 2017 年.
- (28) Ayae Ichinose, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, Masato Oguchi, Evaluation of Distributed Processing of Caffe Framework using Poor Performance Device, IEEE BigData (Poster), 2016.
- (29) 一瀬 絢衣, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, ディープラーニングフレームワーク Caffe の分散処理の評価, DICOMO2016, 2016 年.
- (30) Ayae Ichinose, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, Masato Oguchi, Evaluation of Distributed Processing of the Deep Learning Framework Caffe, ACM HPDC 2016 (Poster), 2016 年.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：小口 正人
ローマ字氏名：OGUCHI, Masato
所属研究機関名：お茶の水女子大学
部局名：基幹研究院
職名：教授
研究者番号（8桁）：60328036

研究分担者氏名：中田 秀基
ローマ字氏名：NAKADA, Hidemoto
所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所
部局名：情報・人間工学領域
職名：研究主幹
研究者番号（8桁）：80357631

研究分担者氏名：高野 了成
ローマ字氏名：TAKANO, Ryousei
所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所
部局名：情報・人間工学領域
職名：研究グループ長
研究者番号（8桁）：10509516

(2)研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。