

M-010

GPU エッジでの画像処理効率向上に向けた光ネットワークリソース制御
Resource Allocation in Optical Networks for Efficient Image Processing at GPU-Based Network Edge

小野寺 幸仁¹ 井上 文彰² 久野 大介² 中山 悠¹
Yukito Onodera Yoshiaki Inoue Daisuke Hisano Yu Nakayama

1. はじめに

近年、ディープラーニング技術の進歩により、人工知能関連の研究が大幅に進められている。特に GPU を用いたエッジ AI による画像の物体検出は、バッチサイズ増大による効率性の向上が指摘されている[1]。ただし、大量の画像データをエッジサーバにバッチ到着させる際には、ネットワークの輻輳による遅延増大が課題となる。そこで本稿では、一般的な光アクセスシステムである Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON)[2]を用いて多数の Web カメラを効率的に收容し、画像データを低遅延にパースト到着させるシステムを提案する。提案するリソース割り当てアルゴリズムでは、信号伝搬遅延などを考慮して波長および送信時刻を割り当てる。結果として、従来の代表的手法である IPACT[3]と比較して、大幅なバッチサイズ増加が可能であることをシミュレーションにより示した。

2. 提案手法

2.1 概要

提案システムの構成を図 1 に示す。多数の Web カメラを PON により收容し、各カメラが定期的に画像データをエッジサーバにアップロードする。エッジサーバは、受信した画像データを GPU で処理し、ディープラーニングを用いて物体の検出/認識を行う。本システムは、多数のカメラで光ネットワークを共用可能なためコスト効率が高い。

提案アルゴリズムの目的は、エッジサーバのバッチサイズ増大による計算効率の向上と、リアルタイムでの物体検出を実現する低遅延のデータ伝送の両立である。エッジサーバは、データ到着時刻を同期させるため、時間領域グループ（以下グループ）を定義し、各 ONU (Optical Network Unit) の所属を定める。これに基づき、各 OLT (Optical Line Terminal) が配下 ONU の波長チャンネルと上り時間スロットを割り当てる。エッジサーバは画像のタイムスタンプに基づき、カメラごとに異なるデータ生成タイミングを推定し、グループの再割り当てを行うことで、低遅延性を担保する。

2.2 提案アルゴリズム

2.2.1 データ送信シーケンス

提案方式における、データ送信シーケンスを図 2 に示す。図では、例として、2つの ONU($j, j+1$)を描いている。リアルタイム物体検出のために、エッジサーバでは推論タスクが周期的に繰り返され、データ送信シーケンスも周期的に繰り返すこととする。 c を処理サイクルの識別子とし、1

¹東京農工大学情報工学科
Department of Computer and Information Sciences,
Tokyo University of Agriculture and Technology

²大阪大学 大学院 工学研究科,
Graduate School of Engineering, Osaka University

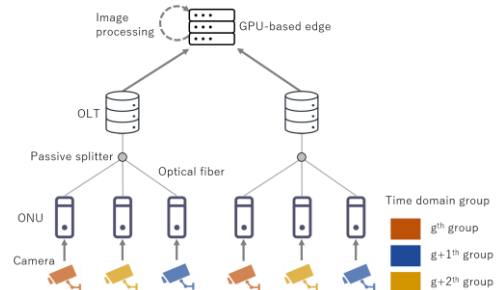


図1 提案システムの基本設計

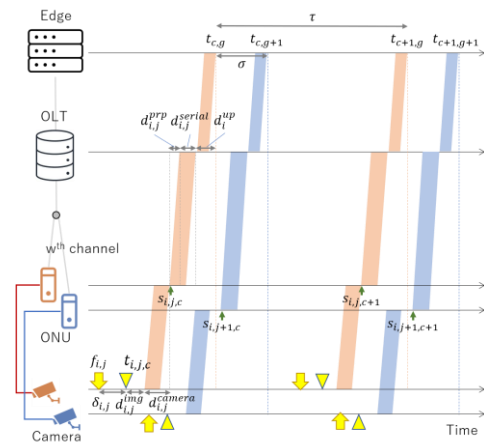


図2 データ送信のシーケンス

サイクルの長さを τ とする。 $t_{c,g}$ を g 番目のグループのデータ処理開始時刻とし、処理完了までの時間を σ とおく。

データ転送時間 $d_{i,j}^{serial}$ は画像サイズとリンク帯域幅によって定まる。 $d_{i,j}^{ppp}$ はPON内の伝搬遅延を示し、OLT-ONU間の距離に応じて定まる。 $d_{i,j}^{up}$ はOLT-エッジサーバ間の遅延を表す。このとき、 $s_{i,j,c}$ は次式のように表せる。

$$s_{i,j,c} = t_{c,g} - d_{i,j}^{ppp} - d_{i,j}^{serial} - d_{i,j}^{up} \quad (1)$$

画像データ生成間隔は全てのカメラで等しいと仮定し、これを $f_{i,j}$ とする。ただしデータ生成のタイミングはカメラごとに異なるとし、基準値からのズレを $\delta_{i,j}$ とおく。 c サイクル目のデータ生成時刻を $t_{i,j,c}$ と書く。なお、 $t_{i,j,c}$ はエッジサーバにてタイムスタンプとして取得可能である。さらに、カメラにおける画像生成から送信開始までの遅延を $d_{i,j}^{img}$ 、カメラ-ONU間の伝搬遅延を $d_{i,j}^{camera}$ とおく。

2.2.2 グループ割り当て

リアルタイムの物体検出に要求される低遅延性を担保しながら、アクティブな波長チャンネル数の最小化により消費電力を低減するようにグループ割り当てを行う。

まず各カメラについて式(2)により $d_{i,j}^{img}$ を計算し、 $d_{i,j}^{img}$ の最大値を用いて、データ生成間隔 f_c を式(3)により推定する。

$$d_{i,j}^{img} = s_{i,j,c} - t_{i,j,c} - d_{i,j}^{camera} \quad (2)$$

$$f_c = 1 / \text{Max}(d_{i,1}^{img}, d_{i,2}^{img}, \dots, d_{i,j}^{img}) \quad (3)$$

推定された f_c を用いて、各カメラの固有の $\delta_{i,j}$ を、

$$\delta_{i,j} = s_{i,j,c} - d_{i,j}^{img} - \left[\frac{t_{c,g}}{\frac{1}{f_c}} \right] \times \frac{1}{f_c} \quad (4)$$

で求める。また、 f_c 値より、処理時間 $t_{c+1,g}$ に対して最も近い $f_{i,j}$ からの遅延が計算可能である。この遅延を $d_{c+1,g}$ と定義し、次のように計算を行う。

$$d_{c+1,g} = t_{c+1,g} - \left[\frac{t_{c+1,g}}{\frac{1}{f_c}} \right] \times \frac{1}{f_c} - (a_{i,j}^{prp} + d_{i,j}^{serial} + d_{i,j}^{up} + d_{i,j}^{camera}) \quad (5)$$

このとき、 $d_{c+1,g}$ は次式を満たしていなければならない。

$$d_{c+1,g} > 0 \quad (6)$$

最後に、カメラを各グループに割り振るための遅延のしきい値 D_{Th} をグループ数 G より計算を行い、条件式(8)を満たすグループに割り当てを行う。

$$D_{Th} = \left(\frac{1}{f_c} \right) / G \quad (7)$$

$$(d_{c+1,g} - D_{Th}) \leq \delta_{i,j} < d_{c+1,g} \quad (8)$$

このとき、式(8)を満たすグループが存在しない場合は、空いているグループに順に割り振るものとする。以上により、各カメラに最適なグループを割り振ることが可能となる。

3. シミュレーション評価

3.1 実験項目とシミュレーション条件

提案アルゴリズムの性能をシミュレーションによって測定し、代表的な帯域割り当てアルゴリズムである IPACT と比較した。IPACT は波長割り当てを考慮していないため、本稿では、利用可能な波長チャンネルをランダムに割り当てることとした。比較項目は、カメラ台数ごとのバッチサイズと、サイクルごとの遅延時間とした。遅延は、画像生成からエッジサーバで処理が開始されるまでの時間とする。

シミュレーション条件は以下の通りである。エッジサーバの処理時間 300ms、リンク帯域幅 10Gbps、OLT と ONU 間の平均距離は 10km、標準偏差 5km で正規分布に基づき決定する。画像データサイズは 2.2MB、波長チャンネルは 4 とし、グループ数は、ONU/波長チャンネルとした。エッジサーバでのメモリサイズを 140.8MB と仮定し、メモリに 140.8MB を超える場合は次のバッチで処理することとする。またメモリにデータが存在する場合は、バッチサイズにする前処理 γ を定義し、これを 50ms とした。 $d_{i,j}^{ps}$ は、(1/FPS)の間でランダムに生成することとした。

3.2 評価結果

図 3 に提案手法と IPACT において、エッジサーバで処理するデータの平均バッチサイズと、用いたカメラ台数の関係を示す。 $f_c = 1/12$ s、PON 数は 32 とした。提案アルゴリズムを用いた場合、カメラ台数によらず常に IPACT より平均バッチサイズが大きい。平均ではバッチサイズを 50%改善しており、エッジ AI の処理効率を大幅に向上させることが可能である。なお、提案手法ではバッチサイズが鋸歯状を示すが、これはグループ数が増加した際にグル

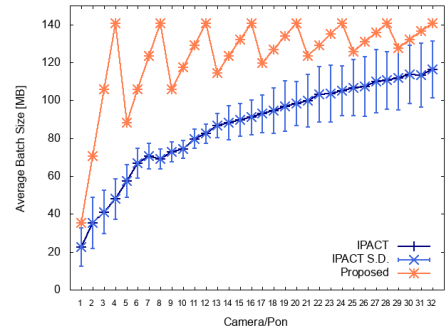


図3 カメラ台数に対してのバッチサイズ

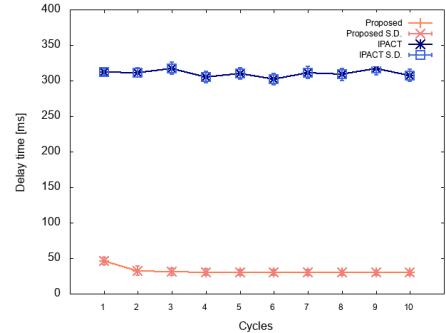


図4 サイクルごとの平均遅延時間

ープあたりのカメラ数が一時的に減少するためであり、問題ないといえる。

図 4 に、 $f_c = 1/12$ s、PON 数が 1、カメラ台数 32 台の場合の平均遅延時間の推移を示す。プロットは平均値、エラーバーはその標準偏差を示している。提案手法を用いた場合、IPACT と比較して大幅に遅延を低減している。これは、提案手法では各 ONU を適切なグループに割り当てることで、エッジサーバでの処理待ち時間を低減可能なためである。また、提案手法ではサイクルが進むごとに遅延時間が減っており、これはグループの再割り当ての効果を示している。

4. まとめ

本論文では、多数のカメラが PON を用いて GPU ベースのサーバに定期的に画像データをアップロードする推論システムのコンセプトと、リソース制御手法を提案した。提案アルゴリズムにより適切なリソース割り当てを行い、バッチサイズ増大と遅延低減を両立可能なことをシミュレーションにより示した。しかし、現状では提案手法の適用条件が限定されているため、より一般化を行うことが今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、JST ACT-I (JPMJPR18UL) の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] N. A. I. Platform, "Giant leaps in performance and efficiency for AI services, from the data center to the networks edge." [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/enus/datacenter/resources/inference-technical-overview/>, browsed in February 2020.
- [2] Y. Nakayama, K. Maruta, T. Shimada, T. Yoshida, J. Terada, and A. Otaka, "Utilization comparison of small-cell accommodation with PON-based mobile fronthaul," *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 8, no. 12, pp. 919–927, 2016.
- [3] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT a dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 2, pp. 74–80, 2002.