

IoT 環境における通信性能向上のための検討

理学専攻・情報科学コース 伊藤 千紗 (指導教員：小口 正人)

1 はじめに

IoT 機器から収集された様々なセンサデータをクラウドで収集、解析し、活用することが期待されている。しかし、モバイル環境にある IoT データの収集では、各種サービスで要求される通信スループットや通信遅延を維持することが課題となる。そのため、IoT 環境における画像データの転送では、クラウド上の機械学習モデルや物体検出精度に与える影響を抑えつつ圧縮処理を適用する必要があるが、その性能特性は明らかでない。

本研究では、IoT データ通信を想定した環境で、JPEG 画像に対して通信性能と物体検出精度の相関を調査し、圧縮処理の実用性を示す。JPEG は離散コサイン変換 (DCT) に基づいた不可逆圧縮手法であり、1-100 の圧縮品質を指定できる。実験では、JPEG 圧縮を適用した場合の全体の通信時間を予測するために、圧縮品質に対する計算モデルを作成する。また、圧縮品質を変えて物体検出精度を比較する。

2 通信性能と物体検出精度の評価

IoT 通信において、JPEG 圧縮が通信性能と物体検出精度に与える影響を調査する。クライアント端末は Raspberry Pi、サーバはデータ活用社会創成プラットフォーム mdx の VM を用いる [1]。2.2 の実験では、IoT 用通信ライブラリを提供する SINETStream[2] を用いてサーバで MQTT ブローカを起動し、クライアント端末とブローカ間で往復通信を行う [1][3]。送受信データは、東京海洋大と NII が共同で実施した船上での多種センサデータ収集実験 [4] で収集されたデータから JPEG 画像を用いる。

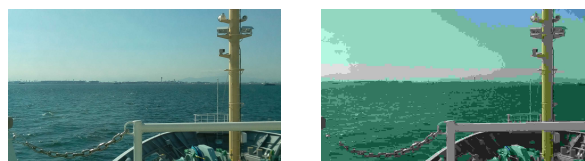
2.1 圧縮後画像の品質

JPEG 画像では 1-100 の圧縮品質を指定できる。ここで、圧縮品質は数値が小さいほど低品質でデータサイズも小さくなる。実験では、読み込んだ圧縮前データの品質を 100 と定義する。図 1 は圧縮後の品質 50 と品質 1 の JPEG 画像の例である。品質 50 では目視で大きな色の変化や画質の劣化はみられない一方で、品質 1 は色の変化や画質の低下が確認できる。

圧縮による品質の変化を定量的に調べるため、PSNR (Peak signal-to-noise ratio) を用いて評価する。PSNR は画質の尺度を表す指標であり、一般的に標準的な値は 30-50dB といわれている。3 枚の画像で圧縮品質を 1 から 100 まで変化させた際の PSNR 値を比較したものを図 2 に示す。縦軸は PSNR 値、横軸は圧縮品質である。グラフから実験で使用する画像の PSNR 値は 25-50dB の間であり、品質を下げて画質の低下は一般的な範囲であることが示唆された。

2.2 通信時間の計算モデル

通信環境ごとに通信時間を予測するために、圧縮品質に対する通信時間の計算モデルを作成する。通信時間は、ク



(a) quality=50 (b) quality=1

図 1: 圧縮後の JPEG 画像の例

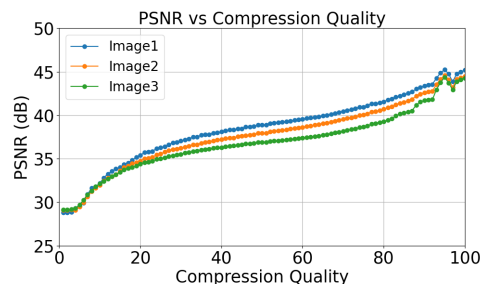


図 2: 圧縮品質ごとの PSNR 値の比較

ライアントでデータを圧縮する時間、クライアント-サーバ間で往復通信を行う時間の合計と定義する。圧縮時間は文献 [1] の測定結果を使用する。転送時間はクライアントとサーバ間の往復通信スループットから算出する。スループットは文献 [3] で用いた perftool プログラムで測定した。また、帯域が通信時間に与える影響を比較するために、クライアント端末にモバイルルータを接続した LTE 環境と有線でアクセスポイントに接続した環境の 2 通りで測定した。

まず、圧縮品質 Q を独立変数、圧縮時間 T_c 、転送時間 T_t を従属変数とすると圧縮時間と転送時間の 3 次関数モデルは式 (1)(2) のように表せる。

$$T_c = aQ^3 + bQ^2 + cQ + d \quad (1)$$

$$T_t = eQ^3 + fQ^2 + gQ + h \quad (2)$$

よって、通信時間 y のモデルを式 (3) のように定義する。

$$y = T_c + T_t \quad (3)$$

実験結果の圧縮時間と算出した転送時間からパラメータ a, b, c, d, e, f, g, h を求め、作成した通信時間のモデルを図 3 に表す。左側が LTE 環境で、右側が有線環境の結果である。画像ごとにグラフの色が異なり、線はモデルから得られた通信時間の予測値、ドットは実測値を表している。

グラフから、どのアルゴリズムにおいても帯域差により LTE 環境の方が有線環境より通信時間が長くなっている。また、圧縮品質に対する通信時間は非線形であり、3 次関数で近似できた。圧縮品質が高いほど通信時間が長く、データサイズが大きい画像の方が通信に時間がかかることもわかった。さらに、どちらの環境も圧縮品質が 30-50 ではグラフの傾きが緩やかになり、効率的に通信が行われていることが示唆された。これは圧縮時間と圧縮率のバランスが取れているためだと考えられる。圧縮無の通信時間との比較では、LTE 環境では品質 90、有線環境では品質 70 程度で圧縮を行った場合、通信時間が圧縮

Evaluation of an IoT Communication Performance Applying JPEG Compression and Object Detection Accuracy.

†Chisa Ito ††Atsuko Takehusa †††Hidemoto Nakada †Masato Oguchi

†Ochanomizu University

††National Institute of Informatics

†††Juntendo University

表 1: 物体検出精度の比較. 上段が圧縮後画像で学習・評価. 下段が圧縮前画像で学習・圧縮後画像で評価.

圧縮品質		圧縮無	q=80	q=70	q=60	q=50	q=40	q=30	q=20	q=10	q=5	q=1
mAP	圧縮後で学習	0.47616	0.46364	0.44443	0.49807	0.47638	0.48487	0.48104	0.48760	0.49194	0.41280	0.32787
	圧縮前で学習	0.47616	0.45771	0.45130	0.46699	0.46491	0.46336	0.45551	0.39087	0.36870	0.24062	0.22216

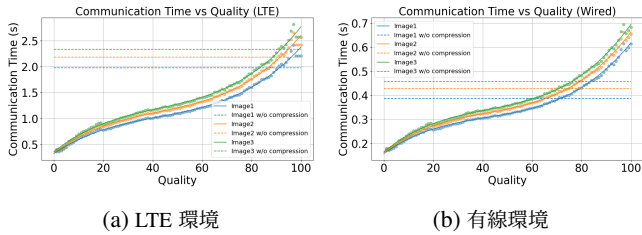


図 3: JPEG データについて圧縮品質に対する通信時間の計算モデル

を行わない場合とほぼ同等となることが確認できた. 圧縮品質を下げることで圧縮無の場合と比べて全体の通信時間を削減することができ, 特に LTE のような帯域幅の限られた環境で効果的であることが示された. また, 最適な圧縮品質は通信環境によって異なり, 通信環境に応じて圧縮品質を制御することが重要であることがわかった. 通信環境ごとに計算モデルを作成したことによって, 圧縮品質ごとの圧縮処理を適用した通信時間の予測が可能になり, 性能向上に効果的な圧縮品質を可視化することができた.

2.3 物体検出精度の評価

JPEG 圧縮が物体検出精度に与える影響を調査するために, JPEG 圧縮品質ごとに物体検出モデルを作成する. 物体検出には YOLOv5[5] ライブラリを使用する. 本実験では船上の画像データを用い, 作業中の人 (person) と船 (boat) を検出する.

216 枚の JPEG 画像データセットを訓練データとテストデータに分け, 学習と評価を行う. ここで, person と boat は YOLOv5 のデフォルトモデルで既に学習済であるため, 本実験では 65 枚の画像で再学習を行う. 圧縮品質は圧縮無, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 5, 1 の 11 通りで比較を行う. 評価指標は mAP (mean Average Precision) 0.5:0.95 を用いる. mAP はモデルの予測精度を表す AP (Average Precision) のカテゴリごとの平均値であり, mAP 0.5:0.95 は IoU (Intersection Over Union) の閾値が 0.5 から 0.95 までの平均値であることを表す.

物体検出精度の比較を表 1 に示す. 上段は圧縮後画像, 下段は圧縮前画像で学習を行った結果である. q は圧縮品質を表す. 圧縮後画像で学習・評価を行った場合は圧縮品質が 10 以上, 圧縮前画像で学習・圧縮後画像で評価を行った場合は圧縮品質が 30 以上で mAP がほぼ一定であり, 高い精度を維持していることが確認された. これは図 2 で示したように品質 10 以上の場合は PSNR 値が 30 以上であるためだと考えられる. 上記以外の条件では精度が大幅に低下したが, 圧縮後画像で学習・評価を行った場合は, 圧縮前画像で学習・圧縮後画像で評価を行った場合と比較して精度の低下を抑えられている.

実験から, 圧縮後画像で学習したモデルを用いることで, JPEG 圧縮品質を 10 まで下げた場合でも作業中の人や他の船を検出する精度に影響は小さいことがわかった. また, 圧縮後画像で学習したモデルを用いることで, さらに低品質な圧縮画像においても精度の低下を抑えることが可能だと示された.

表 1 から, 圧縮後画像で学習したモデルを用いること

で, JPEG 圧縮品質を 10 まで下げた場合でも作業中の人や他の船を検出する精度に影響は小さいことがわかった. また, 我々の既発表研究 [3] では, 効果的に圧縮を行いデータサイズを削減することで, 通信性能が向上することを示した. さらに, 別の研究 [1] では, JPEG 圧縮品質を 100 から 10 に下げることでもわずかな圧縮時間でデータサイズを 0.3 倍に削減できることを示した. これらから, IoT 通信で JPEG 画像データを扱う際, センサ側で必要に応じて圧縮品質を制御し, データサイズを削減してから通信を行うことで物体検出精度への影響を抑えつつ通信性能を高めることができると考えられる. 特に, 人や船など検出しやすい物体においては, 圧縮品質を大幅に下げても精度がほぼ変わらず, 通信時間を大幅に削減することが期待できる.

3 まとめと今後の課題

IoT 通信を想定した環境で, JPEG 画像に対して通信性能と物体検出精度を評価した. 実験結果から, 実験から, 圧縮品質を下げることで圧縮無の場合と比べて全体の通信時間を削減できること, 圧縮品質を低下させても物体検出精度への影響が小さいことが確認され, 通信環境に応じた圧縮品質の制御が重要であることを示した.

今後は, IoT 機器から得られた他のセンサデータや, PNG など別の圧縮アルゴリズムに対しても同様の実験を行い, 圧縮処理の適用について引き続き調査を行う.

謝辞

本研究は JST, CREST, JPMICR21M3 および JPMICR22M2 の助成を受けたものです. また, 本研究成果はデータ活用社会創成プラットフォーム mdx を利用して得られたものです.

参考文献

- [1] Chisa Ito, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, and Masato Oguchi. A Study of Effective Compression Methods for IoT Communication. In *2025 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2025, To appear.
- [2] SINETStream. <https://sinetstream.net/>.
- [3] Chisa Ito, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, and Masato Oguchi. Communication performance evaluation using compression processing for iot systems in mobile environments. In *2024 IEEE 48th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, pp. 2369–2374, 2024.
- [4] 小林久美子, 竹房あつ子, 北川直哉, 大島浩太, 竹島雅之, 平田真樹, 森松文毅, 吉田浩, 合田憲人. IoT アプリケーションシステムのための SINETStream 多種センサデータ可視化・監視機能の開発. 学術情報処理研究, Vol. 28, No. 1, pp. 66–75, 2024.
- [5] YOLOv5. <https://github.com/ultralytics/yolov5>.