1W-05

フォグコンピューティング向き資源管理機構の検討

柴田 大星† 中川 翔太‡ 田胡 和哉‡
東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻†
東京工科大学コンピュータサイエンス学部‡

1 背景

IoT (Internet of Things)の利用が広まっている。最近では、IoT アプリケーションの実行性能を満たすための分散処理形態として、一部処理をクラウドとIoT 端末の中間に設置された中間サーバで行うフォグコンピューティングが利用されつつある。このとき、フォグコンピューティングの実装上の課題として、各アプリケーションの性能を全体として保証する機構がないため、その実行性能を満たせない場合があることが指摘できる。そこで、複数のシステム基盤にまたがって動作するアプリケーションの性能を End to End で保証する機構を検討する。

具体的には、ステレオカメラを備えた自律移動ロボットを、クラウドとロボット本体で連携して制御する機構を実現し、その性能を調査したので報告する。

2 想定するシステム

ここで対象となるハードウェアは、IoT 端末・エッジルータ・クラウドから構成される。クラウドを用いて、深層学習技術を用いた大規模な人工知能システムを運用できる。デバイスとクラウドを結びつける機構として、エッジルータを導入する。デバイスと人工知能システムを接続するとともに、レスポンスタイムが問題となるデバイス制御プログラムをここで実行することができる。

IoT 端末として、処理能力の低いシングルボードコンピュータを搭載したロボットを利用する。エッジルータとして、スマートフォン端末や Jatson nano を利用する。エッジルータ上でリアルタイム性の必要な処理を行い、クラウド上でロボット行動制御のための強化学習系を動作させることにより、安価で高性能なロボットを実現する。

3 Visual Navigation

Visual Navigation は、カメラ画像から地図生成や自己位置推定を行うことにより、ロボットの自律移動を実現する技術である。ROS(Robot Operating System)[1] を利用し、図 1 に示す Visual Navigation 機構を構築した。 ロボット側で取得されたステレオ画像データは、サーバ側で処理される。

Visual Navigation 機構の動作には、毎秒 15 フレームのステレオ画像が必要であり、画像を圧縮した状態で 20Mbps の帯域を使用する。

また、ROS の移動制御では、数ミリ秒以内の遅延でモータを制御する必要があり、リアルタイム通信を行う必要がある。

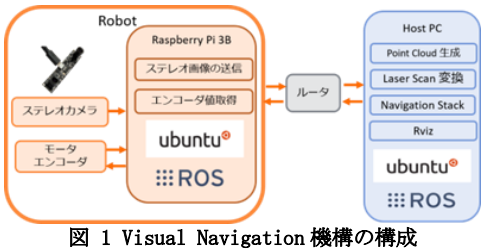

図 1 Visual Navigation 機構の構成

現状の通信機構やクラウドプラットフォームでは、インターネット上のクラウドサーバにステレオ画像を直接送信し、それを用いてリアルタイム性のある Visual Navigation を行うことは困難である。一方、ロボット側の Raspberry Pi 3B の処理能力では、地図生成や自己位置推定を行うことが困難であるため、両者の中間にあるエッジルータ上で、Visual Navigation を行い、ロボットの行動計画などの強化学習系に必要な最小限のカメラ画像や点群情報をクラウドに送信する構成を考える。 そのため、IoT 端末とエッジルータ間で、20Mbps のバックグラウンドトラフィックとモータ制御のリアルタイム通信を両立する方法について検討する必要がある。

4 遅延の計測

4.1 計測環境

実現したシステムに関して、Raspberry Pi3B と Host PC 間の通信遅延について詳細に分析する。Raspberry Pi3B と Host PC の性能を表 1・表 2 に示す。 通信媒体として、802.11/n を使用した。

表 1 Raspberry Pi 3B の性能

CPU	1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8
メモリ	1 GB
OS	Ubuntu MATE 16.04
Wifi IF	IEEE802.11/g/n 2.4 GHz WIFI
Wifi 帯域	35.7[Mbps]
Ethernet 帯域	100[Mbps]

表 2 Host PC の性能

CPU	Intel Celeron CPU N3050 1.6GHz × 2
メモリ	4GB
OS	Ubuntu 16.04 LTS

4.2 計測方法

片道遅延の計測は、Raspberry Pi3B から送信時タイムスタンプを UDP で 0.5 秒おきに 100 回送信し、 Host PC で受信時のタイムスタンプを取得することで行う。ノード間の絶対的な遅延を計測するために、平均の 2 倍以上の異常値を取り除き統計を取る。バックグラウン

Proposal of resource management mechanism for fog computing systems
†Daisi SHIBATA
Bionics, Computer and media science, Enterpreneurship program,Tokyo University of Technology Graduate School.
‡Shouta NAKAGAWA ‡Kazuya TAGO
School of Computer Science, Tokyo University of Technology

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

ドトラフィックを増加させた場合、どのように遅延・分散が変化するか計測を行った。遅延時間は、高精度の時刻合わせ機構である、Chrony[2] を利用し数十 μ 秒の精度で行った。

遅延の要因として通信媒体だけでなく、ソフトウェアによる遅延が考えられるため、vmstat を利用し、割り込み数について計測を行った。

4.2 計測結果

通信遅延の計測結果を図 2 に、割り込み数の計測結果を図 3 に示す。

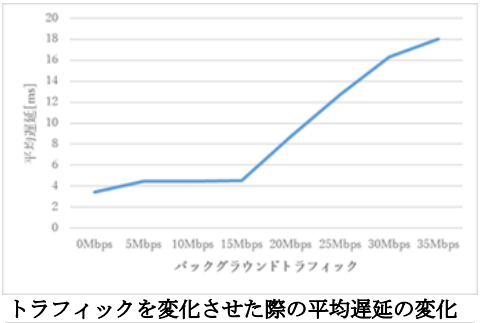

図 2　トラフィックを変化させた際の平均遅延の変化

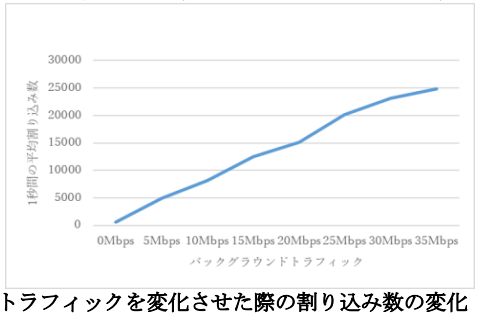

図 3　トラフィックを変化させた際の割り込み数の変化

- トラフィックが 15Mbps までは通信遅延が 4ms 程度で大きな変化はないが、20Mbps では、平均 8.7ms の通信遅延が発生している。リアルタイム通信を行うためには、総トラフィックを 15Mbps 以内に抑える必要がある。
- トラフィックが 5Mbps 増加するたびに、1 秒間の割り込み数が約 4000 回程度増加し、15Mbps で約 12000 回の大量の割り込みが発生している。

5 リアルタイム VPN 通信の検討

計測結果から、通信機構の改善が必要であることが分かった。各項目に対して、以下のような仕組みが考えられる。

- 通常の通信とリアルタイム通信の両立
  ロボットとの通信を、通信総量を調節する機能を持つトンネリング機構を実現し、リアルタイム通信プロトコルと他の通信の帯域幅をそれぞれ調整する。
- 割り込み数の低減
  100 分の 1 秒程度の頻度で流量を上げ下げして、流量が低下したタイミングにパケットをスケジューリングする。

通信機構には、VPN の利用を検討する。一定時間ごとに、コネクションごとの通信量を監視し、レスポンスが問題となるコネクションに必要な帯域幅を割り当てる。VPN では、全コネクションの通信量を集約的に把握できるため、帯域幅の制御により全体の流量をコントロールする。

実現する VPN は、通信ミドルウェア DDS[3]から利用できるように設計する。DDS は Pub/Sub 型通信ミドルウェアの仕様で、通信遅延をアプリケーションレベルで常時計測する機構を持つ。

VPN と DDS を統合し、DDS の機能により、システム運用中常時性能計測を行い、遅延の平均、分散、レスポンス低下確率、割り込み数の統計をとる。これにもとづいて、適切な通信運用条件を割り出し、実行する VPN 機構を実現することにより、全体としてリアルタイム性のある通信スケジューングを行う機構を検討する。

6 資源管理機構の検討

5 章でコネクション間の実行性能を満たす機構について検討を行った。本章では、End to End で性能を保証する機構について検討する。まず、アプリケーションプログラム自体が、性能判定を行い、それに基づいて不足する資源を判定し、システム基盤に要求を行う。

システム基盤は、要求をそのまま鵜呑みにするのではなく、アプリケーションプログラムの性能と、要求された特定資源の関係を別途観測し、要求を参考としながら、あらたな割り当てを行うべきか否かを決定する。このように、アプリケーションプログラム側のスケジューラと、システム側のスケジューラが交渉を行いながら資源割り当てを行う方法をとる。

6.1 必要な機能

- アプリケーションの構成定義
  アプリケーションを構成するプログラムのリスト、その間の通信経路等の必要な資源情報、サービス品質を評価するための評価関数を定義する。
- 大域的性能計測機能
  各ノード間の通信量と絶対的な遅延をアプリケーションが計測し、実行性能が十分か否かを判定する。
- アプリケーション側スケジューラ
  システム基盤へ性能評価値と不足する資源の種類と量を任意単位で示される、「要求の重要度」を付けて通知する。
- システム基盤側スケジューラ
  サービス品質の評価値を報酬とした強化学習により、性能の評価値が最大になるように資源割り当てをシステム基盤に指示し、資源割り当てを行う。
- 性能プランニング支援
  アプリケーション運用時の性能ログをとり、のちに設計者または機械学習による分析を行うことを支援する。

7 おわりに

遅延の計測結果から、リアルタイム通信と通常の通信の両立には、トラフィックの制御と割り込みの低減が必要であることが判明した。今後は、リアルタイム VPN 通信機構と、それと連携した資源管理機構の実装を進め、得られた知見について報告したい。

参考文献

[1] Open Sourece Robotics Foundation, “ROS wiki”, http://wiki.ros.org / , (2020/12/28)
[2] chrony – Introduction , https://chrony.tuxfamily.org/ , (2020/12/28)
[3] What is DDS? https://www.dds-foundation.org/what-is-dds-3/ , (2020/12/28)

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.