

動作制御が可能な IoT デバイスに対応したネットワーク機能の適用

Application of Network Function for motion-controllable IoT Devices

肥後 直樹*¹ 末田 欣子*¹ 大羽 巧*¹ 小池 新*¹
 Naoki Higo Yoshiko Sueda Takumi Ohba Arata Koike

*¹ 日本電信電話株式会社 NTT ネットワーク基盤技術研究所
 NTT Network Technology Laboratories, NTT Corporation

将来の IoT サービスでは、ロボット等高機能な IoT デバイスの動作の遠隔からの自動化制御が行えるようになることが期待される。高機能 IoT デバイスでは、センサなどの低機能デバイスとは異なり、デバイスと遠隔の機器との間でリアルタイムでの情報のフィードバックループが必要である。しかし、ネットワークのジッタにより相対的に遅れて到着した情報は不要とされるため、フィードバックループを維持できなくなる可能性がある。そのため予め大量に情報を送出する必要があるが、デバイスでの処理のボトルネックとなりえる。そこで、不要となりえる情報を運ぶパケットを網内で間引く機能を提案した。本稿では、提案機能の適用例および実証について報告する。

1. はじめに

将来、サービスロボットやドローン等の様々な動作制御が可能な IoT (Internet of Things) デバイスが広域網に繋がりを、クラウドのサーバからの動作指令を受け自動制御されたり、遠方にいるヒトにより制御されたりすることが期待される。これにより、従来ヒトが行っていた作業を自動化するサービスやヒトが現地に行かなくても代わりとなる機器が現地で作業するサービスの実現が予想される [1,2].

これまで我々は、広域網を介した IoT デバイスの通信に対しネットワークへ具備すべき機能として、リアルタイムに情報を伝達させるために、遅れた情報を運ぶパケットを間引く機能を提案し検討を行ってきた [3,4]. [3,4]では、間引く情報を IoT デバイスへ送出された情報として検討した。本稿では、通信特徴に IoT デバイスから送出されるデータが大きいことを加え、大きなデータを受信するサーバ等の I/O への設備コスト増大も課題であると考えた。この課題に対し提案機能の適用は効果があることを明らかにし、IoT デバイスから送出される情報への適用も有効であることを示す。さらに、実際の IoT デバイスを用いて適用実証実験の結果を報告する。

2. 高機能 IoT デバイスでの通信の特徴

デバイスを制御する通信パターンは、クラウドのサーバや遠隔のヒトが操作するデバイス等の遠隔機器から、一括で制御情報を IoT デバイスに伝達するパターンと、制御情報を一定間隔で送出し逐次伝えるパターンが想定される。本稿は後者のパターンを持つサービスの実現容易化を目的とし、ネットワークが具備すべき機能を提案する。後者の通信パターンは、遠隔機器と IoT デバイス間で継続的なリアルタイムコミュニケーションを必要とし、通信品質がロボット等のデバイスの動作精度へ影響することが知られている [2,5].

逐次的に制御情報を伝える場合の IoT デバイスは、サーバ程ではないがセンサや ON/OFF スイッチ等のデバイスより性能が良い CPU やメモリ等の計算リソースを持つと想定する。具体的には Intel® Edison [6] や Raspberry Pi [7] 等の小型コンピュータを搭載している IoT デバイスである。これらの小型コンピュータは低価格であるにも関わらず、Linux マシンとして動作する性能を持ち、カメラ接続による映像配信等が出来る。小型コンピュータを使ったサービスを作るハッカソンやコンテストも開催され、急速な普及が予想されるため、今後のさらなる低価格化が期待される。しかし、これらのデバイスのみでは、リアルタイムでの映像処理による物体認識や深度センサを用いて周囲環境をマッピングするとともに IoT デバイス自身の位置推定を行う SLAM (simultaneous localization and mapping) 等の処理は負荷が大きく困難である。こうした動的に変化する環境・状況を把握する処理が出来なければ、自動化や遠隔制御は出来ない。このため、これらの高負荷な処理を遠隔地にあ

るサーバやヒトが行い制御情報を生成・伝達する必要がある。すなわち、IoT デバイス周囲の動的に変化する環境・状況を把握した上で、その環境・状況に応じた制御情報を生成し IoT デバイスに伝えるリアルタイムフィードバックが生じる。

より詳細に通信の二つの特徴を述べる。第一の特徴は、リアルタイムフィードバックに起因するもので、情報のスムーズかつ継続的なループが求められることである。リアルタイムフィードバックによる制御では、情報の伝達や処理の一定以上の遅延により動作が不安定化することが知られている [1,5]. また、制御対象の動作が秒単位の制御を要する場合は、数十 msec 間隔で新たな制御情報処理の実行が望まれる [3]. 第二の特徴は、上りリンクと下りリンクに必要な帯域の非対称性である。IoT デバイスから送出する情報は、IoT デバイスでは処理が困難なデータ量を持つ映像のように広帯域を必要とする。一方で、IoT デバイスへ送出される情報は、座標情報等の数値であるため、そのペイロード長は高々数十 Byte であり広帯域を必要としない。

3. 遠隔からの高機能 IoT デバイス制御の課題

先述の一つ目の特徴を持つ時、広域網を介することで発生するジッタにより、デバイスやサーバ等で処理される前に無駄となる情報が生じる事象が発生する。フィードバックで処理される情報は到着順序が重要である。このため、一つの情報を処理している時には、次の情報を並列処理することは出来ず処理待ちをさせることになる。更に次の情報が届いた場合には、処理待ちしている情報を破棄し新たな情報を処理待ちにするように動作させることが望まれる。なぜなら、処理待ちにより遅れた情報は、リアルタイムに情報をスムーズにループさせる要件を満たさないためである。また、処理待ちのバッファが溢れてしまうことにより情報が間欠的になることを防ぐためでもある。広域網を介することで大きなジッタが発生する場合には、パースト的に情報が到着する可能性が高くなり、情報の破棄が頻繁に生じることが予想される。情報の破棄が頻発すると継続的な情報の伝達が保証されなくなってしまうため、情報の破棄を前提としてより細かい間隔で情報を発信することが求められる。しかし、処理を実行する前に大量の情報の選別

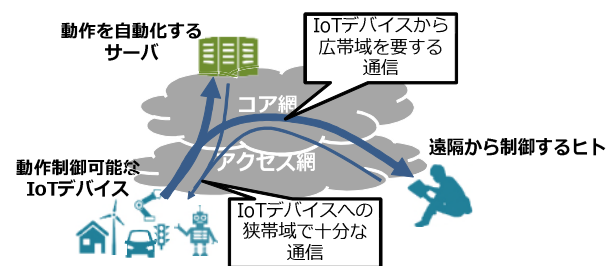


図 1. 配置例

をしなければいけないことになる。情報処理の実行箇所は、遠隔機器と IoT デバイスである。遠隔機器は処理性能が高く情報の選別は可能だが、IoT デバイスは情報の授受と選別に多くの計算リソースを奪われる恐れがあり、処理負荷が増大しボトルネックとなり異常動作の発生が懸念される。

前段落で述べた情報破棄の事象と併せて第二の特徴を考えると、IoT デバイスから送出される情報は広帯域を要するにも関わらず、結果的に無駄となる情報が広域網に流れ、クラウドのサーバやヒトが操作するデバイス等に到達する。大きなデータのストリームを受信するため、サーバやデバイスの I/O を強化する必要があるが、無駄になる情報の受け取りのために設備コストをかけることになってしまう。

4. 提案機能と適用先に関する評価

先述の課題解決のために、処理される際に不要となりえる情報をネットワーク内で間引くことで、IoT デバイスにおける処理負荷の低減およびサーバ等の I/O への設備コストを節約するためのアルゴリズムを提案した[3,4]。概要としては、デバイスに到着したパケットが後に送出されたパケットに追いつかれ破棄されるのであれば、網内を通過する時点である程度遅延したパケットは破棄すべきと見なし間引く機能を提供する。

ここで、提案機能の適用に関する評価結果を示す(表1)。広域網のネットワーク内に情報を間引く機能が存在するとして、その効果の大きさについて評価した。ネットワーク内の間引く機能部分を通過する前に遅延が発生する要因があることが前提となる。表1より IoT デバイスが“有線で接続”かつ“IoT デバイスから情報送出”に対する適用以外では効果が見られることが期待される。

5. 実証実験

我々は現在、マニピュレータ制御、平行二輪移動体制御、ドローン航路制御、コネクテッドカー協調制御の四つの実証実験を行っている。本稿では、最初の二つの実証実験結果について示す。表1より適用の評価で効果が大きいとされた、“有線で接続”かつ“IoT デバイスへの情報送出”の場合と“無線で接続”かつ“IoT デバイスから情報送出”の場合を想定して、それぞれ構成した。実証実験の結果、情報を間引くことで処理する情報が減るとともに、それぞれの場合において安定した動作が実現できることが確認された。この実機の動作については展示する予定である。具体的な構成は以下の通りである。

- マニピュレータ制御

マニピュレータはロボットの腕やショベルカーに用いられる。先の部分にカメラを搭載すれば、物体の多角的観察に用いることも出来る。容易に遠隔から制御が可能になれば今後多くの用途で活用が期待される。

簡易的なロボットアームを用いて実証を行った。ロボットアームと Raspberry Pi 2 を USB ケーブルによりシリアル接続した。Raspberry Pi 2 は Ethernet 経由でサーバと繋がり制御情報を受け取り、制御情報をシリアル接続先のロボットアームに伝達する。遠隔からヒトがマニピュレータの先を制御することを想定して、ロボットアームの先の位置座標制御を行う。

- 平行二輪移動体制御

平行二輪車による移動は、多くの掃除ロボットやサービスロボット等に用いられている。また、近年ではパーソナルモビリティとしても用いられており、平行二輪車は移動における基本的手段である。

平行二輪車掃除ロボットを用いた。Intel® Edison を掃除ロボットとシリアル接続しサーバにより生成された移動速度の制御情報を送るとともに、Intel® Edison に UVC カメラを接続し周囲の環境の情報を取得し、サーバに送り掃除ロボット自身の位置座標を求める。ここでは簡易的にカメラで捉えた物体との相対位置を求め、目

表 1. 適用に関する評価

	IoTデバイスへの情報送出	IoTデバイスから情報送出
IoTデバイスが Ethernet等の有線で接続	○ 動作を自動化するためのサーバのI/Oの輻輳しやすい低質なクラウドにある場合や品質の悪いISP網を経由して遠隔制御する場合に効果大	× ほぼ遅延が無く網内を通過することが予想されるため不適
IoTデバイスが IEEE802.11等の無線で接続	△ IoTデバイスへ情報が到達するラストホップで遅延が乗りやすいため効果は少ない可能性があるが、クラウドのサーバやインターネットでも一定以上遅延が乗れば効果有	○ 映像等の2次元配列データを送る時には十分な帯域が必要となるが無線がボトルネックになり遅延が乗る可能性が高く、またその遅延も一定ではないためジッタが大きい

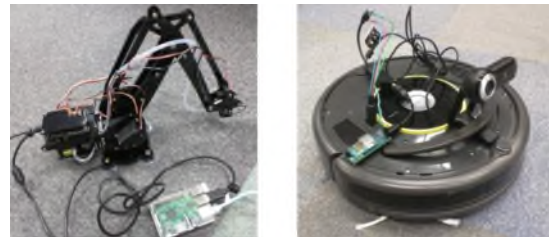


図 2. 実証実験を行ったマニピュレータと平行二輪移動体

標距離を保つように速度情報を送り位置制御を行った。Intel® Edison は、Wi-Fi アクセスポイント経由でサーバと接続を確立し通信を行う。

6. 考察

表1で、提案機能は、“有線で接続”かつ“IoT デバイスから情報送出”以外の箇所で効果を示唆した。IoT デバイスの通信は無線の使用が多いと想定されるため、広い範囲で提案機能が有効であることが期待される。

また実証実験の結果、情報を間引くことにより動作が不安定化する現象は、本実験では確認されなかった。この動作結果について定量的に評価する方法については、今後の課題であり展示において議論したい。

今後の課題としては、実証実験結果について定量的な評価を行い提案機能による効果を確認する。また、ドローン航路制御とコネクテッドカー協調制御に関しても、実験による観察および定量的評価を行う。

7. まとめ

本稿では、将来的な IoT デバイスとして、クラウドのサーバにより動作が自動化したり遠隔からヒトが動作を制御したりする広域網に繋がったデバイスを想定した。リアルタイムでの遠隔制御を行うために、情報をスムーズにループさせることが必要である。ジッタが生じる広域網を介して情報を伝達させる場合には、送信した情報の中に不要となる情報が生じてしまう。本検討では、不要となりえる情報をネットワーク内の機能で間引く機能を提案し、その適用例および実証結果について示した。今後、実証結果について定量的な評価を実施した上で実環境での適用を目指す。

参考文献

[1] 久保, “IoT/M2M 時代のコミュニケーションオリティ,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, vol. 2014, no.2, pp.74-75, BI-4-5, Sep 2015.
 [2] Sang C.Suh et al., “Applied Cyber-Physical Systems” Springer 2014
 [3] 肥後他, “動作制御が可能な M2M 端末に対応したネットワーク機能の一検討,” 信学総大, B-7-51, March 2015.
 [4] 肥後他, “動作制御可能なデバイスの M2M 通信の効率化を実現するネットワーク機能の評価,” 信学技報, vol. 115, no. 41, NS2015-16, pp. 9-14, May 2015
 [5] J. Xiong, and J. Lam, “Stabilization of networked control systems with a logic zoh,” Automatic Control, IEEE Transactions on, vol.54, no.2, pp.358-363, Feb 2009.
 [6] Intel® Edison (<http://www.intel.com/content/www/us/en/do-it-yourself/edison.html>)
 [7] Raspberry Pi 2(<https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-2-model-b/>)