

二重エッジシステムの性能評価方法の提案と評価

M2018SE003 廣瀬 隼大

指導教員 青山 幹雄

1 研究背景

近年、コネクテッドカーの実現のために車載エッジコンピューティングアーキテクチャが注目されている。例として二重エッジアーキテクチャが提案されている。コネクテッドカーでは、レイテンシが重要な非機能要求であるが、その測定は困難である。

2 研究課題

上記を踏まえて、研究課題は以下の2点である。

- (1) 二重エッジシステムの性能評価方法の提案
- (2) 提案する性能評価方法を二重エッジシステムと多段エッジシステムのプロトタイプに適用し、性能評価を行い、提案方法の妥当性を確認する。

3 関連研究

3.1 エッジコンピューティング

IoT(Internet of Things)におけるデバイスとクラウドの間にエッジ層を配置し、クラウドで実行していた処理の一部をエッジ上でメッセージの分散処理を行うことでリアルタイム性が向上する[10]。また、コネクテッドカーと基地局の通信に要求されるレイテンシは1000ms以下である[7]。

3.2 Publish/Subscribe (Pub/Sub) アーキテクチャ

メッセージの送受信でブローカを介して非同期通信を行うことで多対多のメッセージ送受信を可能にするメッセージ配信パターンである[4]。このアーキテクチャに基づくメッセージ交換の国際標準としてMQTTがある。MQTTは、軽量なプロトコルのため、組み込みシステムに適用されている[8]。MQTTではブリッジを使用してブローカ間でメッセージ通信を行うことができる。ブリッジは、一方のブローカがその設定を認証することで、機能する[9]。

3.3 コネクテッドカーのためのMQTT-Bridgeを用いた二重エッジアーキテクチャ設計方法

エッジコンピューティングにおいて車外エッジに掛かる負荷を軽減するために、車載エッジを配置し、エッジ間のスケールアウトを行うアーキテクチャが提案されている[11]。ブリッジを用いて車載エッジと車外エッジの間で通信を行うことによって、車外エッジとデバイス、クラウドの関係が多対多対多になる。その結果、デバイスの増加に応じてスケラブルとなる。図1に提案されたアーキテクチャを示す。

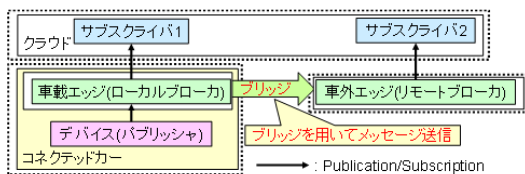


図1 二重エッジシステム

3.4 IoTシステムのための多段エッジシステム設計方法論

アーキテクチャデザインパターンを用いて、IoTシステムにおける多様な非機能要求を満たすエッジコンピューティングアーキテクチャの設計方法が提案されている[5]。その方法の一つに、エッジ間のメッセージ送受信を複数のPub/Subで行う多段Pub/Subパターンがある。図2に提案されたアーキテクチャを示す。また、図2において、サブスクリバからパブリッシャにメッセージを送信する際、メッセージ渡しが行われている。メッセージ渡しでは、トピックのメッセージをパブリッシャに送信する。

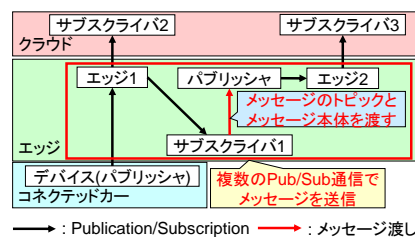


図2 多段エッジシステム

4 対象二重エッジシステム

4.1 ユースケース

性能評価には、「雨メッセージの送信」のユースケースを使用する。雨メッセージの構成要素を表1に示す。

表1 雨メッセージの構成要素

構成要素	プログラム名
雨強度	rain_strong
位置	altitude
測定時刻	clock
車両識別番号	VIN_code
付加	plus

また、雨強度とは、雨の強さを表す指標である。本稿では、表1に示すように雨強度を6段階と設定する[6]。

表2 雨強度の対応関係

雨強度	雨の強さと降り方
0	降っていない
1	やや強い雨
2	強い雨
3	激しい雨
4	非常に激しい雨
5	猛烈な雨

図3に想定する状況を示す。本稿では、高速道路上を時速80kmで走行している大量のコネクテッドカーがクラウドに雨メッセージを送信し、クラウドがその雨メッセージを基に豪雨情報を作成する状況を想定する。また、コネクテッドカーのデバイスは3つなのに対して、車載エッジは1つである。また、基地局に掛かる最大のデータ量は

75.4Mbps とする[7].

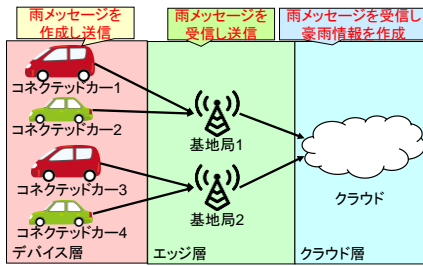


図 3 想定する状況

4.2 論理アーキテクチャ

アーキテクチャの構成を示す。デバイス層で生成されたメッセージをブローカにパブリッシュする。そして、エッジ層のローカルブローカでそれらのメッセージを受信する。そして、雨メッセージをブローカで作成する。その後、雨メッセージは車外エッジに送信され、クラウドにサブスクライブされる。

二重エッジシステムではブリッジでエッジ間通信を行う。一方、多段エッジシステムでは、Pub/Sub 通信でエッジ間通信を行う。また、エッジシステムでは、雨メッセージを車外エッジに送信する。従って、各論理アーキテクチャの差異は、エッジ間通信の方法である。

図 4 と図 5, 図 6 に論理アーキテクチャを記述する。

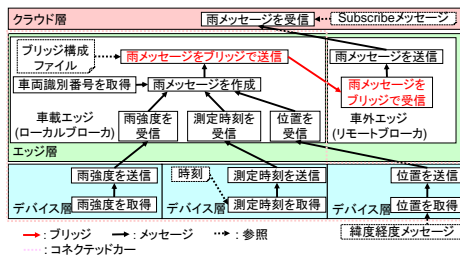


図 4 二重エッジ論理アーキテクチャ

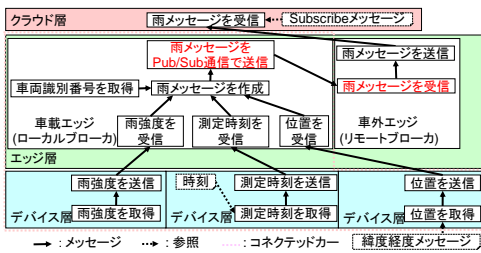


図 5 多段 Pub/Sub エッジ論理アーキテクチャ

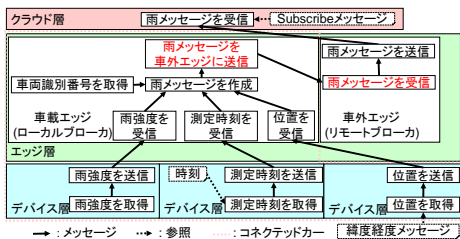


図 6 エッジ論理アーキテクチャ

4.3 トピック設計

本稿で使用するトピックを図 7 に示す。トピックは上の

階層から順に、実験に使用するトピック、雨メッセージの構成要素、デバイス層で生成されるトピックで構成する。

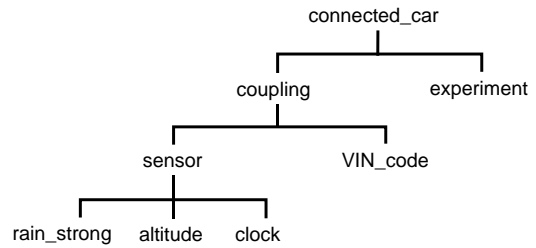


図 7 本稿で使用するトピック

4.4 物理アーキテクチャ

物理アーキテクチャを図 8 と図 9, 図 10 に示す。本稿では、通信ゲートウェイ内にメッセージ結合のサブスクリバとパブリッシャを配置して雨メッセージを作成し、MQTT パブリッシャと MQTT サブスクリバに Eclipse Paho[3]と、MQTT ブローカに Eclipse Mosquitto[2]を使用する。

二重エッジシステムでは、一方のブローカがブリッジの設定を認証することで、車載エッジから車外エッジへのメッセージ送信を行う。また、多段エッジシステムでは、通信ゲートウェイ内にメッセージフォワーダのサブスクリバとパブリッシャを配置し、車載エッジから車外エッジへのメッセージ送信を行う。

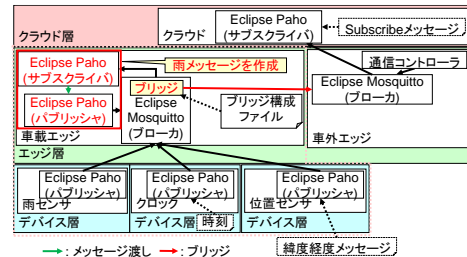


図 8 二重エッジ物理アーキテクチャ

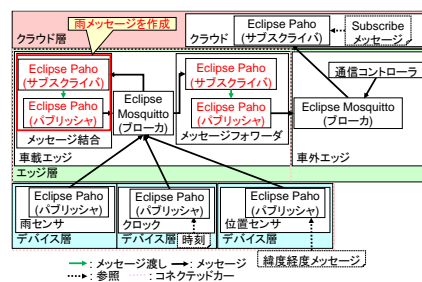


図 9 多段 Pub/Sub エッジ物理アーキテクチャ

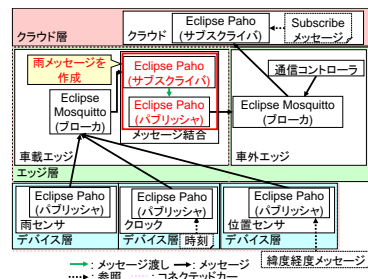


図 10 エッジ物理アーキテクチャ

5 アプローチ

図 11 にアプローチを示す。本稿では、エッジ間通信において、MQTT ブリッジを用いた二重エッジシステムと多段エッジシステムの性能を比較し、MQTT ブリッジの性能を評価する方法を提案する[5][11]。先行研究においてスケーラビリティは比較されているが、二重エッジシステムが適用されるのは、コネクテッドカーのため、リアルタイム性が重要になる[1]。よって、レイテンシの評価を行う必要がある。本稿では、エッジシステムのレイテンシを基準として性能評価を行う[11]。

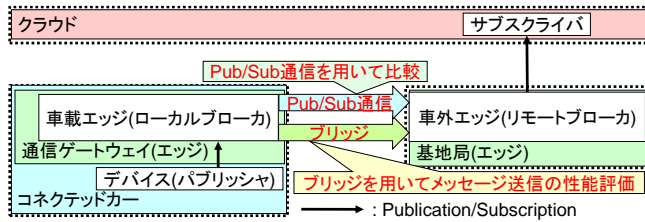


図 11 アプローチ

6 測定方法

6.1 レイテンシの測定方法

本稿では、二重エッジシステムと多段エッジシステムの車載エッジから車外エッジへのメッセージ送信のレイテンシ L を測定する。

エッジ間通信でのレイテンシ L の測定方法を式(1)に示す。また、 $T1$ と $T2, T3$ を表3に示す。

$$L = \frac{(T1 - T2) - T3}{2} \quad (1)$$

表 3 式(1)の詳細

変数名	詳細
$T1$	往復メッセージ受信時の時刻
$T2$	両メッセージ送信の開始時刻
$T3$	車外エッジの処理時間

また、式(1)の導出を図 12 に示す。

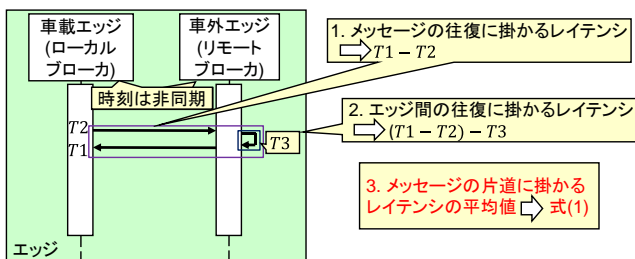


図 12 式の導出

コネクテッドカーと基地局の時刻が非同期であるため、車載エッジと車外エッジも非同期である。そこで、車載エッジから車外エッジの間でメッセージを往復させその片道の時間を求めればエッジ間通信の測定ができると思われる。

6.2 測定範囲とレイテンシの式

エッジ間通信の処理では往復のレイテンシを測定する。

6.1 節で定義した変数を用いて往復のレイテンシを表すと、 $T1 - T2$ となる。図 13 と式(2)に二重エッジシステムの測定範囲を、図 14 と式(3)に多段エッジシステムの測定範囲を、図 15 と式(4)にエッジシステムの測定範囲を示す。

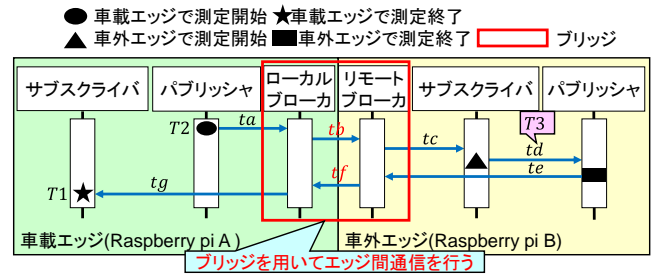


図 13 二重エッジシステムの測定範囲

$$L = ta + tb + tc + td + te + tf + tg = \frac{(T1 - T2) - T3}{2} \quad (2)$$

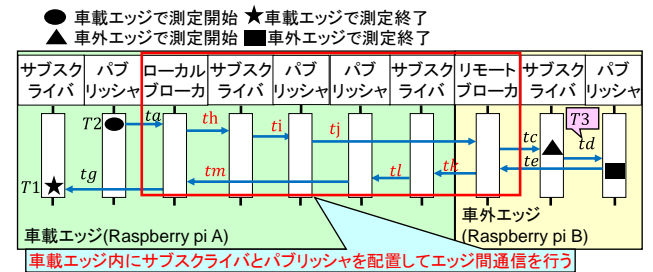


図 14 多段エッジシステムの測定範囲

$$L = ta + th + ti + tj + tc + td + te + tk + tl + tm + tg = \frac{(T1 - T2) - T3}{2} \quad (3)$$

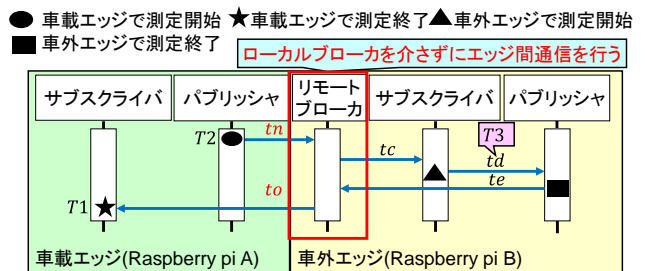


図 15 エッジシステムの測定範囲

$$L = tn + to + tc + td + te = \frac{(T1 - T2) - T3}{2} \quad (4)$$

7 プロトタイプの実行環境

プロトタイプの実行環境を表 4 に、実装に使用するソフトウェア情報を表 5 に示す。

表 4 実行環境

構成要素	デバイス	車載エッジ(ローカルブローカ)	車外エッジ(リモートブローカ)	クラウド
ハードウェア	Raspberry pi B+	Raspberry pi 3 B+	Raspberry pi 3 B+	Raspberry pi 2 B
OS	Debian9.9	Debian9.9	Debian9.9	Debian9.9
プロセッサ	700MHz シングルコア ARM1176JZF-S	1.4GHz クアッドコア ARM Cortex-A53	1.4GHz クアッドコア ARM Cortex-A53	900MHz クアッドコア ARM Cortex-A47
メモリ	512MB	1GB	1GB	1GB
ストレージ	16GB	16GB	16GB	32GB
実装言語	Python 3.6.5			

表 5 ソフトウェア情報

ソフトウェア	実装範囲	版
Eclipse Mosquitto	ブローカ	1.5.4
Eclipse Paho-MQTT client	パブリッシャ, サブスクライバ	1.4.0

8 評価結果と考察

8.1 評価結果

本稿では、各システムのプロトタイプにて測定間隔を 10 秒として、データ量を 0.2KB と 10KB, 100KB で 100 回測定を実行した。多段エッジシステムの 100KB の測定で、異常値を外し 93 回で測定を行い、エッジシステムの 100KB の測定では、96 回で測定を行った。そして、得られた結果に対して最小二乗法を用いて近似式を作成し、エッジシステムのレイテンシを基準として二重エッジシステムと多段エッジシステムのレイテンシを比較した。図 16 にプロトタイプでの測定の結果を示す。

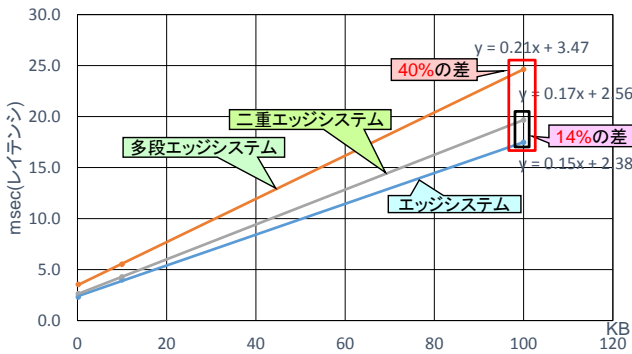


図 16 比較結果

図 16 より、エッジシステムと多段エッジシステムのレイテンシは、40%増加しているのに対して、エッジシステムと二重エッジシステムでは、14%増加である。よって、二重エッジでは多段エッジと比較してレイテンシが改善されていると言える。

8.2 レイテンシの評価

図 13 と図 14 より、二重エッジシステムでは 1 回の Pub/Sub を行うのに対して、多段エッジシステムでは 2 回の Pub/Sub を行う。そして、図 16 より、二重エッジシステムはレイテンシにおいて優位であると言える。

8.3 測定方法の妥当性の評価

(1) 測定間隔

本稿では測定間隔を 10 秒にして測定を行った。各システ

ムのレイテンシの最大値はコネクテッドカーと基地局に要求されるレイテンシを超えないため測定間隔は妥当である。

(2) 測定回数の性能評価

本稿では 100 回のメッセージ送信を行った。平均レイテンシは、3.1 節で示されているコネクテッドカーと基地局に要求されるレイテンシを超えないため測定回数は妥当である。

(3) データ量の妥当性の評価

図 16 よりデータ量が増大すると各システムのレイテンシが増大する。そして、100KB のレイテンシは、3.1 節で示されているコネクテッドカーと基地局に要求されるレイテンシを超えないためデータ量は妥当である。

9 今後の課題

(1) 二重エッジシステムの妥当性評価

二重エッジシステムではレイテンシやスケーラビリティ以外の非機能要求も満たす必要があるため、これらを測定し評価する必要がある。

(2) 二重エッジシステムの他ユースケースへの適用

二重エッジシステムの適用事例は他にもあるので、それらの事例に適用し、非機能要求を評価する必要がある。

10 まとめ

本稿では、エッジ間通信における性能評価方法を提案し、二重エッジシステムと多段エッジシステムのレイテンシの評価を行った。「雨メッセージの送信」をユースケースとし、車載エッジと車外エッジは非同期であるので、車載エッジと車外エッジの間でメッセージを往復させ測定を行った。その結果から提案方法の妥当性の評価を行った。

参考文献

- [1] AECC, General Principle and Vision V. 2.0.0, Apr. 2018, https://aecc.org/wp-content/uploads/2018/02/AECC_White_Paper.pdf.
- [2] Eclipse Mosquitto, <https://mosquitto.org>.
- [3] Eclipse Paho, <https://eclipse.org/paho/>.
- [4] P. T. Eugster, et al., The Many Faces of Publish/Subscribe, ACM Computing Survey, Jun. 2003, pp. 114-131.
- [5] 濱野 真伍 他, IoT システムのためのエッジアーキテクチャ設計方法論の提案と評価, 第 198 回ソフトウェア工学研究会, Vol. 2018-SE-198, No. 12, 情報処理学会, Mar. 2018, pp. 1-8.
- [6] 気象庁, 予報用語 雨の強さと降り方, Sep. 2017, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/yougo_hp/amehyo.html.
- [7] 工藤 理一 他, コネクテッドカーサービス実現に向けた LTE V2X 技術, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J101-B, No. 6, Jun. 2018, pp. 417-433.
- [8] NTT データ, 絵で見てわかる IoT/センサの仕組みと活用, 翔泳社, 2015.
- [9] OASIS, MQTT, Version 3.1.1, Oct. 2014, <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>.
- [10] W. Shi, et al., The Promise of Edge Computing, IEEE Computer, Vol. 49, No. 5, May. 2016, pp. 78-81.
- [11] 宇野 聡将 他, 二重エッジアーキテクチャ設計方法の提案と MQTT-Bridge を用いたプロトタイプによる評価, 第 81 回全国大会講演論文集, No. 1N-03, 情報処理学会, Mar. 2019, pp. 215-216.