

Performance Analysis of a Node and Module Discovery Protocol in Data Distribution Service

Ryosuke Tomishige^{*1} Yuya Tarutani^{*2} Tokumi Yokohira^{*3}

Yuki Takano^{*4} Koichi Imai^{*5}

2025 年 12 月 3 日

^{*1} Okayama University

^{*2} The University of Osaka

^{*3} Okayama University

^{*4} TIER IV, Inc.

^{*5} TIER IV, Inc.

0.1 はじめに

自動運転システムで採用されている ROS 2 は Data Distribution Service (DDS) と呼ばれる Pub/Sub 通信のミドルウェアを用いる。DDS ネットワークに参加するプロセスをノードと呼び、各ノードはトピックを出版/購読するためのモジュールを持つ。各モジュールは他のモジュールを Discovery Protocol (発見プロトコル) と呼ばれる仕組みを使用して自動的に発見し、通信を行なう。標準の発見プロトコルとして規定されている Simple Discovery Protocol (SDP) はノード発見とモジュール発見の 2 つの段階で構成される。しかし、SDP は小規模から中規模のネットワークを対象としており、大規模なネットワークで使用されることが想定されていない [?].

本研究では、多数のノードを前提とした SDP の性能解析を行い、スケーラビリティの問題を実験的に確認する。

0.2 Simpel Discovery Protocol

SDP のシーケンスの概略を図??に示す。各ノードは自身の情報を含む SPDP メッセージを定期的に送信し、ネットワーク上の他のノードに自身の存在を知らせる。SPDP メッセージを受信したノードは自身のモジュール情報を含む SEDP メッセージを送信する。

DDS のメッセージにはシーケンス番号が振られており、SEDP では信頼性確保のために、定期的に送信済み SEDP メッセージのシーケンス番号の一覧を HB メッセージで送信し、それを受信したノードは肯定確認応答または再送要求を ACKNACK メッセージで送信ノードに伝える。このとき、未知のノードからの SPDP 以外のメッセージは図??の二本目の矢印のように無視される。両ノードがお互いを発見した後に SEDP メッセージを受信することで他のノードが持つモジュールを発見する。

(a) 発見済み出版モジュール数 (b) パケットドロップ数

図 1: Fast DDS の SDP の観察結果

0.3 性能解析のための評価実験

SDP のスケーラビリティを検証するために、車載ネットワークを模した多数のノードが存在するネットワークでノードを同時に立ち上げたときの、UDP ソケットにおけるノード・モジュール発見の様子とパケットドロップを調査する。2 台のホストを用意し、同一のトピックの出版/購読モジュールをそれぞれ 1 つ持つノードを ROS2 のデフォルト DDS 実装である Fast DDS で実装し、各ホストで 102 ずつ立ち上げ実験を行なった。

実験結果を図 1 に示す。各ノードの起動開始時刻を $t = 0$ とし、図 1a は各ノードにおける発見済み出版モジュール数、図 1b は各 UDP ソケットにおける累積パケットドロップ数である。図 1a からモジュール発見の完了まで 50 秒程度かかっていることが観測された。図 1b から出版モジュール発見が完了するまでの間、多数のパケットがドロップしており、図 1a でモジュールを新規に発見が発生している時間と図 1b でパケットドロップが多発している時間が一致しているため、モジュール発見段階でパケットドロップが発生しているといえる。

パケットドロップが多発する原因としてモジュール発見のメッセージ数が大きいことが考えられる。総ノード数を P 、各ノードの平均モジュール数を E 、各ノードでの平均ドロップ率を D とするとき、モジュール発見のメッセージ複雑度は $O(P^2ED^2)$ と表せる。このため、ノード数が多くなるとメッセージ数が非常に多くなる。

0.4 まとめ

実験により、合計 204 ノード、408 モジュールで構成される DDS ネットワークにおいてモジュール発見段階で多数のパケットドロップが発生し、全

モジュールの発見に約 50 秒かかることが確認できた。また、モジュール発見の段階が問題の原因であることをメッセージ複雑度の計算によっても確認できた。