

V2X 通信シミュレーションの大規模化に向けた一検討

樋口 雄大[†] 鐘 雷[†] 阿部 博[†][†]トヨタ自動車株式会社

1. はじめに

V2X (Vehicle-to-Everything) 通信サービスの高度化にあたり、通信シミュレーションによる仮説検証が果たすべき役割は大きい。しかし、通信シミュレーションの実行速度は、一般に、車両台数や通信負荷が増えるにつれ低下する傾向があり、都市規模の V2X 通信ネットワークを模擬するためには、長い計算時間を要する。本稿では、複数の通信シミュレーションインスタンスを並列実行し、それらを緩やかに同期・連携させることで、実行時間を短縮する手法を提案する。また、同並列計算フレームワークを原理実装し、高速化の効果を検証する。

2. アーキテクチャ

提案方式は、High Level Architecture (HLA) [1] と呼ばれる分散シミュレーションの標準アーキテクチャをベースとしている。HLA は、フェデレート (Federates) と総称される複数のシミュレータを、実行管理基盤 RTI (Runtime Infrastructure) を介して連携させることで、分散処理を行う。我々の原理実装では、図 1 に示すように、車両およびサーバ上の通信アプリケーションを模擬するアプリケーションシミュレータ、車両モビリティを模擬する交通流シミュレータ SUMO、ならびに、車両の無線通信を模擬する通信シミュレータ OMNeT++ を、それぞれ、フェデレートとして RTI へ接続している。

各フェデレート内のシミュレーション時刻は、RTI が持つイベントスケジューリング機能により、互いに同期される。また、RTI はメッセージング機構を併せ持ち、異なるフェデレート間で制御メッセージ (例えば、最新の車両位置情報や、車両が送受信する通信パケット等) の授受を行うことができる。これにより、異種のシミュレータを連合動作させることが可能となる。

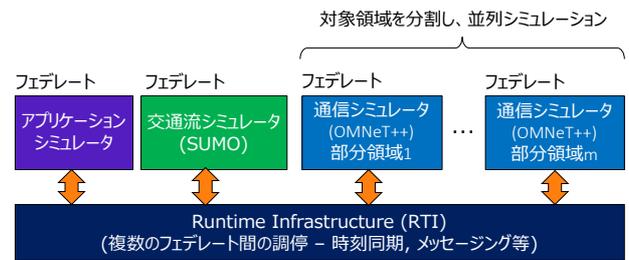


図1 統合シミュレーションのアーキテクチャ

3. V2X 通信シミュレーションの並列分散化

2章で述べた構成の中で、特に計算量が大きく、システム全体の実行速度に影響を与えるのが、OMNeT++フェデレートである。そこで、提案方式では、シミュレーション対象領域を、 m 個の部分領域へと分割する。そして、それぞれの部分領域内を走行する車両の通信シミュレーションを、個別の OMNeT++フェデレートで並列処理する。

SUMO フェデレートが出力する車両位置情報は、RTI を介して、その他のフェデレートへと通知される。OMNeT++フェデレートは、自身が担当する部分領域への車両の進入・退出をトリガとして、内包する通信シミュレータ内に、無線通信ノードを追加・削除する。前述の通り、車両上の通信アプリケーションは、アプリケーションシミュレータで模擬される。アプリケーションが送信した通信パケットは、RTI を介して、その車両を担当する OMNeT++フェデレートへと引き渡され、無線通信が模擬される。同様に、通信シミュレータ内で無線通信ノードが受信したパケットは、RTI を介して、アプリケーションシミュレータへ通知される。このように、アプリケーションを通信シミュレータから独立させることで、車両が部分領域の境界をまたいで移動した場合にも、その実行状態が失われることはない。

RTI は、各フェデレートのシミュレーション時刻を、一定周期 τ (原理実装では $\tau=100\text{ms}$) で緩やかに同期させる。高速化のため、異なるフェデレート間で、シミュレーション時刻が最大 τ だけ前後することを許容し、複数のシミュレーションイベントの並列処理を可能にしている点が、提案方式の特徴である。

Toward large-scale simulations of vehicular networks
Takamasa Higuchi[†], Lei Zhong[†], Hiroshi Abe[†]
[†]Toyota Motor Corporation

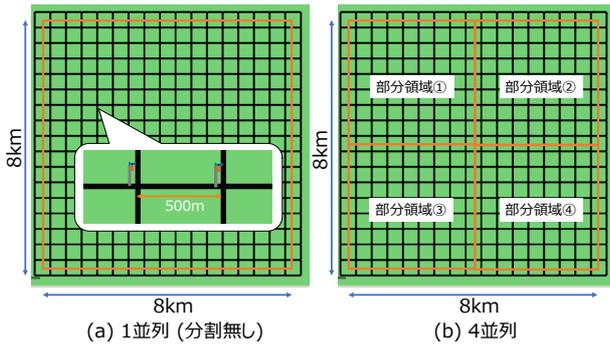


図2 評価シナリオ

4. 原理実装と効果検証

並列計算による高速化の効果を検証するため、分散シミュレーションフレームワーク Eclipse MOSAIC [2] を独自拡張し、提案方式を原理実装した。本効果検証では、格子状道路網(図2)を走行する車両群の無線通信をシミュレーションする。道路網のサイズは、小規模な都市を想定して8km四方とし、交差点を500m間隔で配置した。各交差点には、センサと無線通信機能とを有した路側機を配置している。路側機は、近傍を走行する車両の位置をセンサで検出し、最新の車両位置を反映した「交差点動的地図」(サイズ1KB)を、100ミリ秒周期で周辺車両へブロードキャスト送信する。車両は、路側機と同等の無線通信機能を備え、路側機が定期送信する交差点動的地図を受信する。これにより、周辺車両位置の把握と安全支援を行うシナリオを想定する。

シミュレーションの長さは300秒とし、シミュレーション開始から200秒の間、毎秒20台の車両が新たに流入する。トリップの起点と終点は、領域内からランダムに選択するものとした。これにより、道路網内を、同時に最大約4,000台の車両が走行することとなる。本検証では、これらの車両すべてがV2X通信機能を有し、路側機からの情報を受信できるものとした。

シミュレーションの並列分散化にあたっては、対象領域を1~8個の部分領域に等分割し、それぞれに個別のOMNeT++フェデレートを用意した。図2(a), (b)には、それぞれ、1並列と4並列の領域分割例を示している。

無線通信には5.9GHz帯を利用し、帯域幅は10MHz、無線送信電力は50mW、MACプロトコルはIEEE 802.11pとした。なお、無線干渉は距離250mでカットオフし、隣接する部分領域間で、電波干渉が発生しない構成とした。

すべてのシミュレーション評価は、6コア12スレッドCPUと32GB RAMを搭載したLinuxマシン1台を用いて実施した。

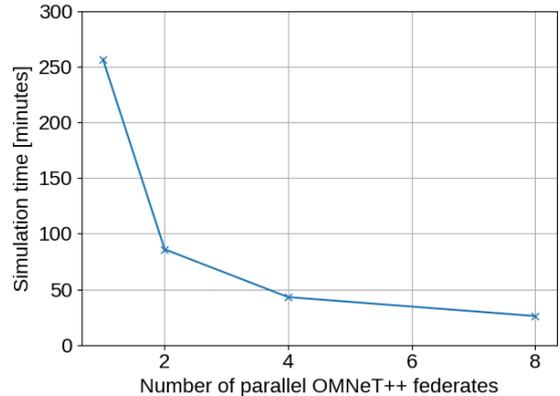


図3 並列数とシミュレーション速度との関係

5. 検証結果

OMNeT++フェデレートの並列数を変化させた場合の、シミュレーション実行時間を図3に示す。並列数1のケースでは、5分間のシミュレーションに4時間以上を要している。一方、並列数を8まで増やすと、実行時間が約1/10に短縮された。シミュレーションプログラムの中には、通信ノードおよび通信イベントの数が増えるにつれ、計算量が非線形に増加する関数が含まれる。領域の分割に伴い、個々のフェデレートが処理すべきノード・イベントの数が減少するため、大幅な高速化が実現している。

6. おわりに

本稿では、HLAによる並列分散シミュレーションで、都市規模のV2X通信ネットワークを高速に模擬するための検討と原理実装を行った。対象領域を分割し、複数の通信シミュレータで各部分領域内の通信イベントを並列処理したところ、8並列の場合で、計算時間を最大10倍高速化できることが分かった。今後、部分領域の境界をまたいだ通信が生じるシナリオへの対応や、RTIのスケラビリティ対策等を行うことで、適用先の拡大と、さらなる計算速度向上を目指す。

参考文献

[1] “IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) -- Framework and Rules,” in IEEE Std 1516-2010 (Revision of IEEE Std 1516-2000), pp. 1-38, 2010.
 [2] K. Schrab et al., “Modeling an ITS Management Solution for Mixed Highway Traffic with Eclipse MOSAIC,” in IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 24, no. 6, pp. 6575-6585, 2023.