

動的タイムステップ制御方式の道路交通シミュレーションへの適用検討

尾崎 敦夫[†] 松下 和隆[‡] 白石 将[†] 渡部 修介[†] 古市 昌一[†]

[†]三菱電機(株) [‡]三菱電機インフォメーションシステムズ(株)

1. まえがき

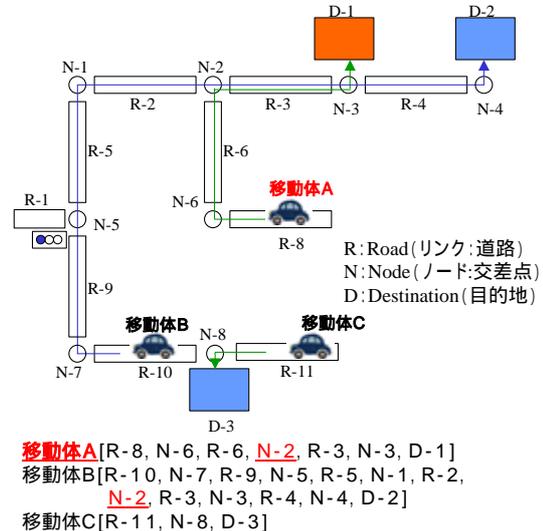
計算機クラスタ環境上で移動体(航空機、船舶、車両、人等)を主対象とした実世界シミュレーション[1]の高速化を図るための有効な方策が、移動体間の同期に伴うプロセッサ間の通信を極力減らすことである。動的タイムステップ制御方式(DTSS: event aware Dynamic Time Step Synchronization method)[2]は、計算機クラスタ環境を対象に移動体の単位で負荷分散させた場合の高速化手法である。本方式はタイムステップに基づく移動体シミュレーションを対象に、移動体間で相互作用が発生する可能性がある場合のみ、同期(通信処理)を行うものであり、このタイミングを基準にタイムステップ間隔(Δt)を設定するものである。従って、 Δt を大きく設定できる場合では、同期(通信処理)コストを抑えることができるため高速化が図れることになる。しかし、移動体数が大規模になる場合では、1つの計算機上でも複数の移動体を高速に模擬するための仕組みが求められる。

本稿では、特に移動体が道路網を移動する道路交通シミュレーションを対象に、1つのプロセッサ上で複数の移動体を高速に模擬する実行方式を提案する。本方式はDTSSの概念に基づいており、細かい固定の δt (Δt)をタイムステップとする従来方式と同等の模擬精度を維持しつつ、移動体間の同期コスト及び、個々の移動体の模擬コストの低減を図り、実行性能向上を図るものである。

2. 提案方式

2.1 基本概念

DTSSでは各移動体は次ぎの模擬時刻を、他の移動体との相互作用から模擬結果に影響を及ぼし合う可能性のある時刻に設定するものであり、直線距離上を他の移動体と互いに最高速度で近づくと仮定して算出する。これは最悪時を想定して次ぎの Δt 及び模擬時刻を設定するためであり、かつその計算コストを小さくするためである。しかし、移動体が道路網を移動する場合、他の移動体と直線距離に基づいて次ぎの模擬時刻を算出する方法では、 Δt の設定にかなりの制約をかける場合が多く非効率である。道路が存在しない地点で会合することを仮定して Δt を設定する場合も大いにあり得ることになる。このため、道路網に沿った距離情報に基づいて Δt を算出することが好ましい。この距離情報が実際に走行する経路とかけ離れていれば、やはり性能劣化に繋がるが、実際に近づけようとするとそのための計算コストが増すこととなる。しかし、我々は各移動体を持つ計画路情報を利用することによって、該計算コストを増やさずに性能向上を図る道路交通向け動的タイムステップ制御方式(DTSS-RT: DTSS for Road Traffic simulation)を考案した。本方式では、各移動体は自身の計画路上に他の移動体及び静止



N-2(会合可能性地点)が次ぎの Δt 設定の対象

図1. DTSSにおける計画路情報の活用

体が存在する、または他の移動体の計画路と重複する地点(会合可能性地点: 図1参照)が存在する場合に、その地点を基準に次ぎの Δt 及び模擬時刻を算出するものである。また、本方式は図1の移動体Aにとっての移動体Cのように、会合地点及び会合可能性地点が存在しない他の移動体を一切考慮せずに Δt を設定できるという特長がある。

2.2 アルゴリズム

DTSS-RTでは、まず他の移動体との会合地点及び会合可能性地点を求める。最寄地点が会合可能性地点である場合は、対象とする他の移動体に関する該地点までの走行モデルを作成する。走行モデルは基本的に、他の移動体の状態から影響を受けない等加速度走行及び等速走行と、影響を受ける追従走行より構成される。なお、我々が想定している道路交通シミュレーションのモデルでは、各移動体は自身の走行車線上の走行方向のみの情報を利用して走行するものとし、反対車線等の状況は考慮しないものとしている。従って、その時点で自身の走行に影響を与えるものは、自身の計画路上の最寄の前方物(移動体または静止体)または他の移動体との会合可能性地点であり、該前方物が移動体である時でも、自身の方向に近づくことはない。このため、上記走行モデルでは該会合可能性地点の位置で速度が0になる走行モデルを作成する(図2(a))。そして、追従走行に入るまでの時間を Δt として次ぎの模擬時刻(現在時刻+ Δt)を設定する。しかし追従走行に入った、または入っている場合は、従来方式と同じ細かい δt のタイミングで模擬することとなる。会合可能性地点で速度が0になる走行モデルに基づいて Δt を設定する理由は、会合する可能性のある他の移動体が該地点をいつ、どのように移動したとしても、その動きに矛盾なく対応し模擬できるように追従走行区間を十分確保するためである。

Design of Dynamic Time Step Synchronization Method for Road Traffic Simulation

Atsuo Ozaki[†], Kazutaka Matsushita[‡], Masashi Shiraiishi[†], Shusuke Watanabe[†], Masakazu Furuichi[†]

[†]Mitsubishi Electric Corporation

[‡]Mitsubishi Electric Information Systems Corporation

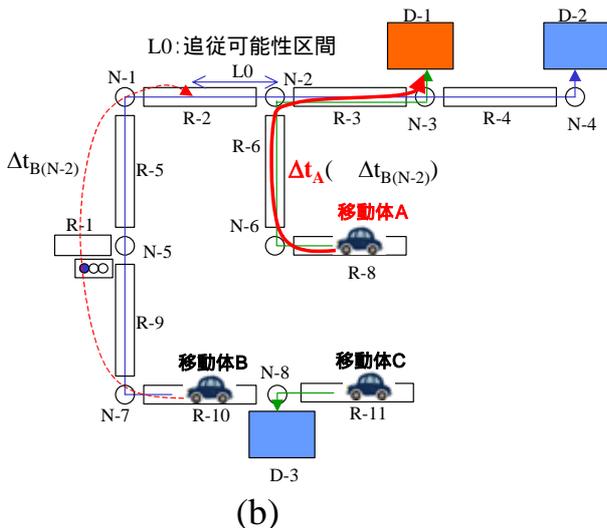
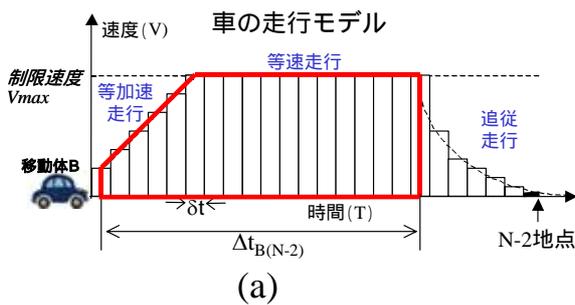


図 2 . DTSS-RT の基本概念

なお図 1 の例において、移動体 A の次の模擬時刻決定のための Δt を上記手順に基づいて算出する場合は、まず会合可能性地点 N-2 を共有する移動体 B に関して、上記走行モデルを作成する。次に該走行モデルにおいて追従走行になるまでの時間 ($\Delta t_{B(N-2)}$) を算出する。そして、移動体 A の走行モデルを作成し、この走行モデルに基づいて $\Delta t_{B(N-2)}$ の時間だけ移動体 A を移動する。この例の場合、移動体 A の走行モデルは、目的地 D-1 で速度が 0 になり、かつ移動体 B は追従走行開始時点で模擬を止めているので、移動体 B との会合を一切考慮しない走行モデルとして良い。目的地 D-1 までの移動時間 (Δt_A) が $\Delta t_{B(N-2)}$ よりも小さければ、移動体 A は一動作で目的地まで移動することになる (図 2(b))。これにより高速化が図れることとなる。また、該前方物が静止体である場合は、対象が動かないため、追従走行も含めた時間を Δt に設定できる。

3 . 性能評価

DTSS-RT の性能評価は、ロボカップレスキューシミュレーション[3]での道路交通シミュレータを利用して実施した。本評価での設定条件は以下の通りとした。

- ・ シナリオ：大地震後の救助活動
- ・ 対象領域：500m 四方
- ・ レスキューエージェント (移動体) 数：15
- ・ 模擬時間：110 分間 (= 110 × 60 秒間 (steps))

図 3 は、DTSS-RT と $\delta t=1$ 秒とした従来方式の実行性能及び、従来方式に対する DTSS-RT の高速化倍率を示したものである。初期状態では瓦礫の撤去作業が主となり、会合対象が静止体であることから、追従走行区間までも

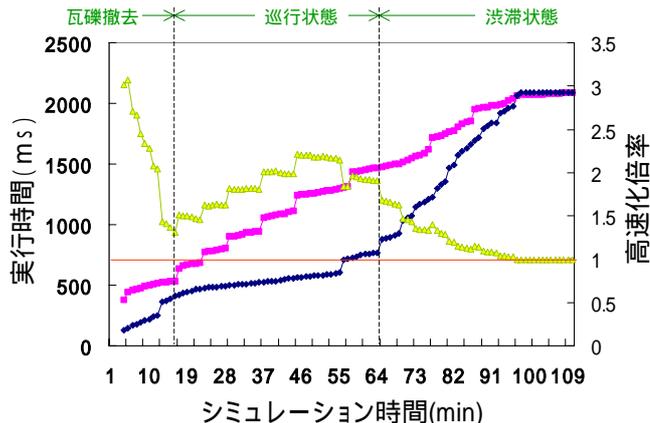


図 3 . DTSS-RT の性能評価結果

含めて Δt を設定できるので高速化倍率が約 3 倍となる。そして瓦礫を取り除かれるにつれ、会合対象が移動体へと変わるので実行性能は劣化するが、巡行状態に移行するにつれ約 2 倍程度の高速化が達成できる。しかしその後、移動体がセンターに帰るため、渋滞が生じ性能が徐々に劣化していくことが確認できた。

4 . むすび

本稿では、DTSS を道路交通シミュレーションへ適用するための道路交通向け動的タイムステップ制御方式 (DTSS-RT) を提案した。本方式の特長は以下の 2 点である。

- ・ 移動体間の同期コストを低減するだけでなく、移動体自身の模擬コストも低減することが可能。
- ・ 各移動体の計画路情報に基づいた移動体間の会合可能性地点や会合地点を利用することにより、次の模擬時刻を効率的に設定可能。

但し、本方式では、計画路情報に変更が生じた場合は一連のプロセスを再計算し直すこととなる。しかし、その頻度は一般的に低く、ロボカップレスキューの場合は高々 60 回 (秒) に 1 回であり、この場合でも殆んど性能に影響は無かった。DTSS-RT をロボカップレスキューの道路交通シミュレータへ適用した結果は、瓦礫撤去作業時で約 3 倍、巡行走行時で約 2 倍の性能向上が確認できた。しかし、渋滞時では Δt が大きく取れず、 Δt の計算コストがオーバーヘッドとなり実行性能が劣化するため、このような状態での性能改善が今後の課題となる。

なお、防災分野では救助計画、防衛分野では作戦計画等に基づき各移動体は行動するものである。日常生活でも目的地へ向かうまでの基本計画を立てて行動するものであり、計画路情報を活用する本方式は多くのアプリケーションへ適用できるものと考えられる。

参考文献

- [1] A.Ozaki, et al, "Design and Implementation of Parallel and Distributed Wargame Simulation System and Its Evaluation," IEICE Trans. Vol.E84-D No.10, pp.1376-1384, 2001.
- [2] A.Ozaki, et al, "Event-Aware Dynamic Time Step Synchronization Method for Distributed Moving Object Simulation," IEICE Trans. Vol. E89-A No.11 pp.3175-3184, 2006.
- [3] RoboCup-Rescue Official Web Page <http://www.rescuesystem.org/robocuprescue/>