

移動物体シミュレーションを対象とした動的タイムステップ制御方式の改良

白石将<sup>†</sup>, 尾崎敦夫<sup>†</sup>, 渡部修介<sup>†</sup>, 古市昌一<sup>†</sup>

<sup>†</sup>三菱電機株式会社

1 はじめに

多数の移動物体が互いに相互作用をしながら進行する状況を模擬する場合に、因果関係の矛盾発生を回避しつつ、実行性能を向上させる方式について検討を行っている。これまで、移動物体の論理時刻進行の刻み幅（以下  $\Delta t$  と記述）を大きくすることによって効率向上を図る手法である動的タイムステップ制御方式 DTSS (Dynamic Time Step Synchronization method) を提案している [1]。DTSS では  $\Delta t$  決定の際に、各移動物体に対して予め定められた  $\Delta t$  下限値（以下  $base\Delta t$  と記述）を利用するが、 $base\Delta t$  が移動物体によって異なる値を持つ時に、因果関係の矛盾が発生する可能性があることが分かった。そこで、本問題点を解決するための DTSS 改良案を検討したので、本稿ではその内容について述べる。

2 DTSS の概要

本稿で前提とする移動物体シミュレーションにおいては、各移動物体（以下 MO (Moving Object) と呼ぶ）は下記情報に基づいて、予め定められた内部規則に従い、論理時刻を  $\Delta t$  進行する手続きを反復するものとする。

- 現在論理時刻における内部状態。
- 他 MO との相互作用。

ここで他 MO との相互作用は、MO 同士が「会合状態」にある場合に発生しうるものとする。ここで会合状態とは、「自分が他 MO を探知可能」もしくは「他 MO が自分を探知可能」のいずれかの条件が満たされている状態を表す。

上記の MO シミュレーションにおいては、 $\Delta t$  を大きくすることにより、処理量、さらに MO 間の通信回数が減少するため、実行性能を向上することができる。そこで、因果関係の矛盾発生を回避しつつ、 $\Delta t$  を大きく取って性能を上げることを目的として、DTSS が開発された。

DTSS は、会合状態にない MO に関し、「他 MO と会合状態となりうる最小時刻までは、他 MO との相互作用がないものとして独立に論理時刻を進めることができる」との基本的アイデアに基づいて、

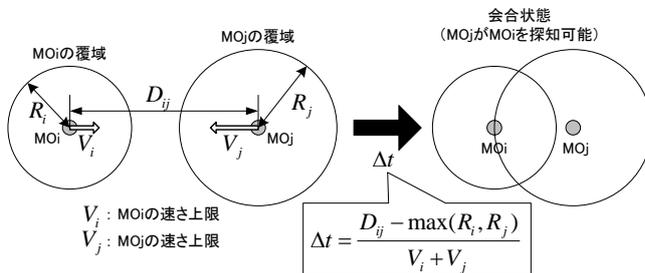


図1  $\Delta t$ 設定の基本的考え方

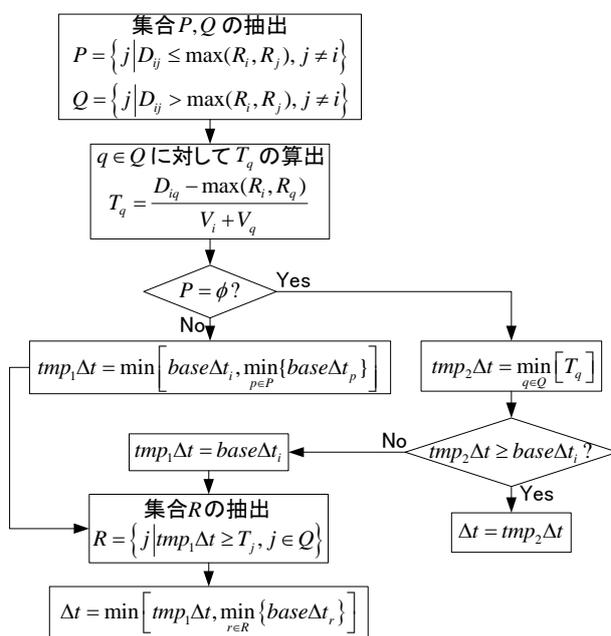


図2 MOiの $\Delta t$ 算出手順

$\Delta t$  を定める方法である。ここで、 $\Delta t$  は、現在論理時刻における MO 間の距離と、各 MO の速さ上限に基づいて決定する。MO 数が 2 の場合を例にとると、具体的には、MO 同士が互いに最高速度で近付いたと仮定した場合に会合状態になるまでの時間を  $\Delta t$  とする（図 1 参照）。しかし、この  $\Delta t$  決定方法では、MO 同士が会合状態に近づくにつれ、 $\Delta t$  算出結果がどんどん小さくなっていく。その場合、大幅に実行性能が劣化してしまうため、各 MO に対して  $\Delta t$  下限値である  $base\Delta t$  を決めておく。そして、 $\Delta t$  算出結果が  $base\Delta t$  を下回る場合、関連する MO の  $base\Delta t$  のうち最小の値を、最終的な  $\Delta t$  とする。

また、会合状態にある MO に関しても、 $base\Delta t$  に基づいて  $\Delta t$  を定める。基本的には、同一会合状態内にある MO の  $base\Delta t$  のうち、最小となる値を  $\Delta t$  とする。但し、最終的な  $\Delta t$  決定に際しては、「現在は同一会合状態にないが次に会合状態となりうる他 MO」の  $base\Delta t$  も考慮する。

Improvement of Dynamic Time Step Synchronization Method for Distributed Moving Object Simulation  
Masashi Shiraiishi, Atsuo Ozaki, Shusuke Watanabe, Masakazu Furuichi  
Mitsubishi Electric Corporation  
5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan

以上の考え方に基づく  $MO_i$  の  $\Delta t$  算出手順を図 2 に示す。ここで、 $base\Delta t_i$  は  $MO_i$  の  $base\Delta t$  を、 $P$  は  $MO_i$  と会合状態にある  $MO$  の添え字の集合を、 $Q$  は  $MO_i$  と会合状態にない  $MO$  の添え字の集合を表す。記号  $D_{ij}$ ,  $R_i$ ,  $R_j$ ,  $V_i$ ,  $V_j$  の意味は図 1 と同じである。

なお、 $MO$  の  $base\Delta t$  は、その速さを  $V$  とした場合、ある距離定数  $\sigma$  に対し、 $\sigma/V$  以下の値として定めることが適切である [2]。これにより、速さの異なる  $MO$  同士でも、 $\sigma$  以内に近付く状態であれば、必ずその接近状態を捉えることができるためである。

### 3 DTSS の改良

同一会合状態内にある  $MO$  間で  $\Delta t$  が異なり、さらに、それらの  $MO$  間で相互作用が発生した場合を考える。すると、大きい  $\Delta t$  を設定された  $MO$  では他  $MO$  からの作用に対する反応が遅れることにより、因果関係の矛盾が発生する可能性がある [1]。従って、同一会合状態内にある  $MO$  は全て同じ  $\Delta t$  で論理時刻進行を行う必要がある。

しかし、 $MO$  間で  $base\Delta t$  の値が異なる場合、図 2 に示した  $\Delta t$  決定方法では、「会合状態にあるのにもかかわらず、 $MO$  間で  $\Delta t$  が異なる」ことが起こりうる。以下に、そのような場合の例を示す (図 3 [A][B]参照)。但し、 $MO_i$  の  $\Delta t$  を  $\Delta t_i$  と表記する。

[A]  $tmp_1\Delta t = \min\{base\Delta t_i, base\Delta t_j\}$  と置く。そして、 $tmp_1\Delta t$  以内に  $MO_i$  と  $MO_k$  は会合状態となりうるが、 $MO_j$  と  $MO_k$  は会合状態となる可能性がない場合を考える。さらに、 $base\Delta t_k < tmp_1\Delta t$  であるものとする。この場合、 $\Delta t_i = base\Delta t_k$ ,  $\Delta t_j = tmp_1\Delta t$  となる。

[B]  $base\Delta t_i < base\Delta t_j < base\Delta t_k$  である場合を考える。この場合、 $\Delta t_j = base\Delta t_i$ ,  $\Delta t_k = base\Delta t_j$  となる。

これらの場合、 $MO$  間で相互作用が発生した場合に因果関係の矛盾が発生する可能性があるため、問題である。そこで、この問題を解決する方策の一つとして、図 2 の処理手順に従って  $\Delta t$  算出を行った後、さらに「会合状態の連鎖により関連した  $MO$  の  $\Delta t$  のうち最小の値を、それら全ての  $MO$  に適用する」との手順を実行することが考えられる。

しかし、この方法では  $\Delta t$  決定のコストが増加する上、会合状態の連鎖の中に極端に  $base\Delta t$  が小さな  $MO$  が含まれている場合、関連する全ての  $MO$  の  $\Delta t$  がその値に設定されるため、効率が大幅に低下する危険性がある。例えば図 4 に示す状況の場合、全ての  $MO$  の  $\Delta t$  が 0.01 に設定されてしまい、極端に処理性能が悪化すると考えられる。

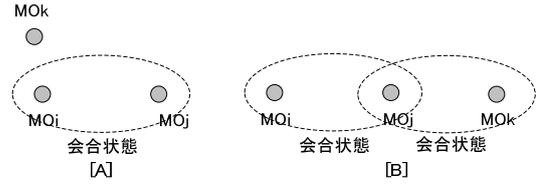


図3 会合状態のMOの  $\Delta t$  が異なる値となる例

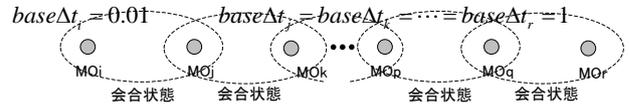


図4 会合状態の連鎖により効率が低下する例

そこで、 $\Delta t$  算出は図 2 に示す手順のまま上述の問題点を解決する方策として、以下のアイデアを導入することを考えた。

- $MO$  の模擬結果を、active なものと passive なものとに分類する。active な模擬結果は他  $MO$  への意図的な働き掛けを、passive な模擬結果は自分の内部状態の更新を表す。
- $base\Delta t$  は  $MO$  の「他  $MO$  への働き掛け」の周期の下限を表すものとする。つまり、 $MO$  の active な模擬結果の他  $MO$  への送信の周期は  $base\Delta t$  以上である。

そして、各  $MO$  の模擬結果の他  $MO$  への送信を以下のように行う。

- $\Delta t \geq base\Delta t$  の時は、模擬結果を  $\Delta t$  毎に送信する。
- $\Delta t < base\Delta t$  の時は、active な模擬結果は  $base\Delta t$  毎に、passive な模擬結果は  $\Delta t$  毎に送信する。

上記のアイデアを導入することにより、効率を下げることなく、同一会合状態で  $MO$  の  $\Delta t$  が異なることに起因する因果関係の矛盾の発生を回避することができると考えている。

### 4 おわりに

以上、複数移動物体シミュレーションの時刻同期手法である DTSS の改良について述べた。本手法によれば  $MO$  間の通信量を低減できるため、分散シミュレーションに対して特に有効と考えられる。今後は本改良方式に関する評価作業を実施する予定である。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.