対戦を模擬して作る確率的ネットワーク

田中　秀俊†

† 三菱電機 情報総研　〒 247–8501 鎌倉市大船 5–1–1
E-mail: †Tanaka.Hidetoshi@ah.MitsubishiElectric.co.jp

あらまし　多数の移動体が登場して 1 回の模擬に多大な時間がかかる、精緻で大規模な対戦模擬では、もともと十分な模擬回数を確保しにくい。また、模擬途中で移動体が消滅するため、対戦が連鎖する可能性がある場合に、消滅以後の対戦可能性が得られず、その部分の模擬回数が少なくなる。そこで、模擬結果から確率的な対戦ネットワークを構築して可能性を補完し、その確率値は対戦結果から類似対戦を集計して求めることにより、模擬回数の補填をねらう。また、模擬結果を確率的ネットワークにしておくことで、模擬条件を変更した場合の値を、改めて模擬反復をすることなく見積れる。

キーワード　モデリング, シミュレーション, ベイジアンネットワーク, 状態共有化

Stochastic Network for Moving Object Simulation Analysis

Hidetoshi TANAKA†

† Information Technology R & D Center, Mitsubishi Electric Corporation
Ofuna 5–1–1, Kamakura, Kanagawa, 247–8501 Japan
E-mail: †Tanaka.Hidetoshi@ah.MitsubishiElectric.co.jp

Abstract　Computational cost of simulation in which a lot of moving objects engage and fight prevents from sufficient Monte-Carlo iteration. Moreover, disappearances of objects at preceeding matches lead to the insufficient iteration of the succeeding matches. The stochastic network which represents moving object simulation results are proposed. The network covers all possible matches by the tied-state method. It enables to estimate the average results by calculating the conditional probabilities.

Key words　Modeling, Simulation, Bayesian Network, Tied State

1. はじめに

1.1 移動体模擬の確率的構造

模擬を実施する基本的な目的のひとつは、現状と将来とをつなぐ規則を獲得することにある。1 回の模擬によって、ある前提状況という出発点から、既知のさまざまな細かい規則に従って、状況変化を計算していき、ある将来の状況に至る。これで、その前提状況とその将来状況との間のマクロな規則性の候補がひとつ得られる。このようなマクロ規則が、何度も模擬を反復することによって、蓄積され、集計して修正され、検証されて、普通は確率的規則の形で表現されることになる。ここで確率的規則とは、例えば極端に単純な例として「1 対 1 の対戦を 1000 回模擬したところ、速度の速い航空機が 980 回残存した」という模擬事例を得たとすると、そこから得られる「確率 98.0%で速度の速い航空機が残存する」のような規則を指す。

近年、多数の移動体、例えば航空機による大規模な対戦模擬の実施環境構築が進んでいる。対戦模擬の目的は、作戦の有効性の検証であったり、可能性分岐の確認であったり、あるいは使用する設備の仕様決定であったりとさまざまである。そのような、多数の移動体が登場して 1 回の模擬に多大な時間がかかる、精緻で大規模な対戦模擬では、もともと十分な模擬回数を確保しにくい。そこでは、数十回、あるいは数回の模擬で得られた結果を、解析に十分に利用する、模擬結果解析技術が求められる。

模擬結果から単純な確率的規則が得られるとよいが、それは望めない。しかし、各個の対戦を確率的規則でまず模式化し、続いて確率的規則の全体像を、確率的規則の連鎖したネットワークの形で表現すると、比較的見やすく記述できるだろう。図 1 はこの対戦連鎖事例のイメージ図 2 例と、反復した事例を集計して得られるネットワークのイメージ図を、それぞれ示している。

図 1 の上 2 図は、A1,A2 対 B1,B2 の 2 対 2 の対戦を 2 度実施した結果を、個別の対戦とその残存結果の連鎖の形で表現した。左図ではまず A1 対 B1 で A1、続いて A1 対 B2 で B2、最

後に B2 対 A2 で双方が残存、右図では A1,A2 が相次いで B1 と対戦し B1 と B2 が残存したことをそれぞれ示す。下図は、A1,A2,B1,B2 による対戦を反復した結果得られる確率的構造の例を示している。ここでは各確率値の根拠はなく、あくまでイメージである。各機が存在確率 1.0 で始まり、4 種類の対戦が行われてそれぞれ残存確率が計算される。例えば A1 対 B1 では A1 の残存確率 0.13、B1 の残存確率 0.14 である。2 対 2 の対戦の残存確率は、それぞれの残存確率の和で見積もることができ、A 側は 0.231、B 側は 0.255 になる。

このようなネットワークの構築の際、ひとつの問題点として、模擬を反復したときの対戦数、つまり試行回数のばらつきが挙げられる。同じ確率であっても、母数である試行回数が違えば意味がおのずと違ってくる。図 1 の 2 度の試行では、A1 対 B1 だけが 2 度、残りは 1 度ずつしか試行されない。これは航空機が消滅することに起因する。

本稿では、第 2 章で個々の確率的規則の自動生成について述べ、この試行回数のばらつきの問題に対する一案を述べる。単純に言えばそれは、多数の移動体が参加している以上、模擬回数が少なくても対戦数までが少ないわけではないと仮定して、できる限り相互に対戦結果を融通して水増ししようということである。模擬結果の解析手段として、そのような水増しを含めれば、元の模擬結果に加えて、確率値の異なる結果、おそらくは、実施回数を数倍にした場合の確率の見積り値が得られると期待される。

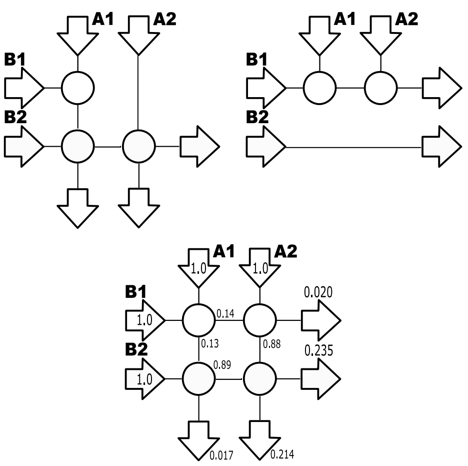

図 1　対戦連鎖と確率的構造 (イメージ)

1.2　確率的移動体による対戦関係探索

模擬結果解析技術の第一歩、対戦数水増しの先にあるのは、対戦関係の水増しである。例えば航空機の対戦模擬の場合、模擬で利用しなかった基地からの航空機を用いるとどうなるかについては、通常、再度その基地を含めた模擬をして、どのような対戦が実現しそうかを確認する必要がある。あるいは、環境条件、たとえば地形や天候によって、模擬した対戦関係が保たれないことが予想される場合にも、地形や天候を用意して再度模擬をする必要がある。しかし、確率的対戦ネットワークを一度構築してある場合、対戦可能性さえ判明するなら、そこに値をあてはめて、結果の見積もりが得られると期待できる。

ここで、（対戦結果の値は別途融通を前提とした）対戦関係検出用の模擬、というものを考えたい。それには、対戦で移動体が消滅しなければよい。あるいは、環境変化に対して、可能性のある位置すべてに移動体があればよい。第 3 章では、確率的移動体を用いて対戦関係を推測するという案を説明する。

航空機が複数の航空機と対戦する可能性があるということは、後続の戦闘に関わる航空機は、先行する戦闘の残存確率に等しい、1 以下の適当な存在確率を持つと見なせる。つまり、存在確率をもった移動体という概念を内包していることがわかる。この概念は、もう少し積極的に扱うこともできる。模擬を反復する際に、直接制御できないパラメータがある場合などで、条件を均一にできないことはよくある。そのような場合、模擬事例は、「1 対 1 の対戦を 1000 回模擬したところ、速度の速い航空機が 980 回残存した」ではなく、例えば「1000 回の 1 対 1 の対戦を模擬しようとしたところ、700 回は残弾 2、300 回は残弾 1 の状態ですることになって、速度の速い航空機が合わせて 980 回残存した」のような形になる。このような状況は、移動体に存在確率を付与することで表現できる。図 2 はこのような存在確率つき対戦連鎖の事例と、反復した事例を集計して得られる確率的構造を、それぞれ示している。

図 2 の A1 と A2、B1 と B2 はそれぞれ同一の移動体で条件が若干違う程度を想定している。上図の円内の数値は、100 回の模擬を実施した結果どの対戦が模擬されたかを示す。ブロック矢印内の数値は、残存数を示す。B1 に遭遇した A1 は B2 には遭遇しないので、この構造は、正しくは右上図のように記述すべきだが、連結線が煩雑になるので左上図のように略記する。下図は、結果を確率的構造で表現したものである。円内の数値は遭遇確率を、ブロック矢印内の数値は、残存確率を示す。

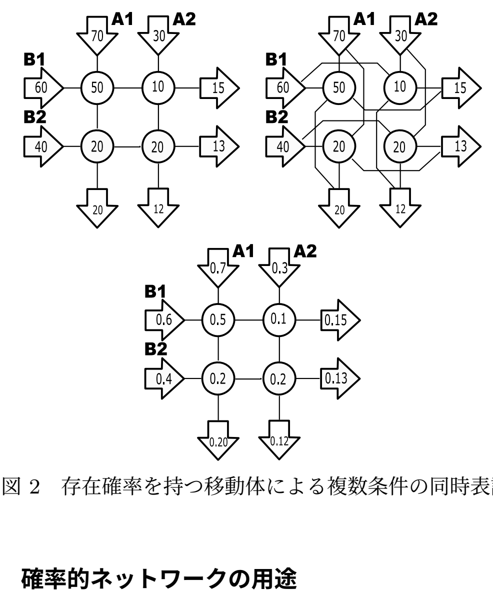

図 2　存在確率を持つ移動体による複数条件の同時表記

1.3　確率的ネットワークの用途

模擬結果解析技術の用途には、少なくとも推測、比較、最適化、部品化の 4 つがある。この 4 つの用途それぞれについて、少ない模擬結果から確率的ネットワークを構築することの利点を挙げることができると考えている。第 4 章ではこのうち、推測と比較における利点を考察する。部品化については、第 6 章で今後の課題として簡単に述べる。

2. 確率的ネットワークの計算

多数の移動体による大規模な戦闘模擬をもとに、移動体同士の遭遇関係をアークとし、移動体の消滅あるいは残存の関係をノードとするネットワークを構築する。アークの値、すなわち移動体が別の移動体と遭遇する確率を遭遇確率、ノードの値、すなわち移動体が別の移動体と遭遇した場合に残存する確率を残存確率と呼ぶことにする。本章ではまず、遭遇したときの残存確率の算出法について、Tied State 法による共有化の利点を述べる。遭遇関係のネットワーク構造の抽出と欠落部分の補完法については、確率的移動体による同時模擬の概念と利点を次章で述べる。

2.1 1対1での残存確率

まず、遭遇を前提として、ノードに付される残存確率について検討する。表1に遭遇の最小単位の模擬例、すなわち2つの移動体が遭遇し、消滅を伴う遭遇が発生する模擬の例を示す。表1には、遭遇時点で、A1を3次元空間中の原点位置にあって単位速度ベクトルを持つ移動体とした場合の、B1の相対位置および相対速度と、それによるA1の残存、あるいはB1の残存が2値(0/1)で記述されている。この表では、相対位置が前方にある移動体が消滅(1〜4)、相対位置が並行では双方残存(5)、相対速度が対向では双方消滅(6)という単純な例になっている。この例では相互の相対位置のみに着目した模擬結果にしているが、移動体の他の属性、例えば兵装種類や燃料残量などに着目することも当然ありうる。

ここで、遭遇による残存の有無を教師として他の属性について分類する2値学習を実施すれば、2つの移動体に関する確率的規則が生成できる。表1から学習を実施すれば、遭遇時点で後ろあるいは脇にある移動体が残存するという確率100%の規則が得られることになる。あるいは、そのような学習をせず、相対位置や相対速度によらずA1対B1の対戦として集計すると、6回の対戦で双方3回ずつ残存するという確率的規則が得られることになる。以後は話を単純化するために、後者の視点を採用して説明を進める。

表1 1対1の模擬結果(イメージ)

	A1			B1		
	相対位置	相対速度	残存	相対位置	相対速度	残存
1	(0,0,0)	(1,0,0)	0	(−1,1,0)	(1,0,0)	1
2	(0,0,0)	(1,0,0)	0	(−1,0,0)	(1,0,0)	1
3	(0,0,0)	(1,0,0)	1	(1,1,0)	(1,0,0)	0
4	(0,0,0)	(1,0,0)	1	(1,0,0)	(1,0,0)	0
5	(0,0,0)	(1,0,0)	1	(0,1,0)	(1,0,0)	1
6	(0,0,0)	(1,0,0)	0	(1,0,0)	(−1,0,0)	0

2.2 連鎖する対戦での残存確率の集計

移動体模擬で、移動体どうしの遭遇による確率的消滅が起きる場合、消滅後の移動体に関して他の移動体との遭遇機会が失われ、試行回数が均一でなくなり、結果、得られる確率の精度に不均衡が生じる。図3に単純なネットワークでの遭遇確率と残存確率について述べる。

図3は100回の試行により、A1対B1は100回、A2対B2は81回の対戦が記録された状況を示している。A1対B2は15回、A2対B1は13回だった。A1対B1の対戦100回のうち、A1は15回、B1は13回残存した。A2対B1は100回中13回対戦がありA2は3回、B1は3回残存した。残り87回はB1消滅のため対戦がなく、A2が87回残存したので計90回の残存となった。結果として、A1は2回、A2は17回、B1は3回、B2は18回のそれぞれ残存が記録された。ここから2対2の対戦の残存確率を見積もると、A側は19回で0.19、B側は21回で0.21になる。

この問題に対処するためには、Tied State 法を適用することが考えられる。図4では、移動体模擬のネットワーク構築へのTied State 法の適用について例を用いて説明する。図4左上図(再掲)は、A1,A2対B1,B2の対戦の模擬結果の例を示している。図4右上図は、模擬結果をもとに、A1対B1, A1対B2, A2対B1, A2対B2の4つの対戦を共有化(tie)してA対Bとして集計する。対戦総数は209回、うちAは28回、Bは30回残存していることになる。Aの残存率は0.13、Bの残存率は0.14となる。図4下図は、A1対B2、B1対A2の試行回数が少なく偏りが生じていると仮定し、A対BでAの残存確率0.13、Bの残存確率0.14として全対戦を計算し直す。2対2の対戦の残存確率を見積もると、A側は0.231、B側は0.255になる。

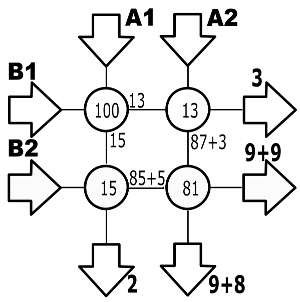

図3 対戦連鎖の模擬結果(イメージ)

Tied State 法は、隠れマルコフモデルで音響モデルを構築する際の常套技法のひとつとして知られる。前後の音素との調音結合の影響で同一の音素が変形してしまう現象をカバーするために、音響モデルには隣接音素に応じたコンテキスト依存モデルが採用される。しかし、隣接1つずつの単純な3つ組モデルを用いても、状態の総数は膨大になってしまう。そこで、類似した状態(state)を共有化(tie)して実質的な状態数を減らすという手法がよくとられる。これをTied State 法と呼ぶ。

3. 確率的ネットワークの構築

遭遇関係のネットワーク構造を明らかにするには、どの移動体がどの移動体と遭遇する可能性があるかを網羅する必要があり、通常は模擬の反復によって可能性を列挙していくことになる。移動体が途中で消滅する模擬の場合は、消滅以後の遭遇可能性が模擬できないために、列挙の効率が悪くなり、一定回数

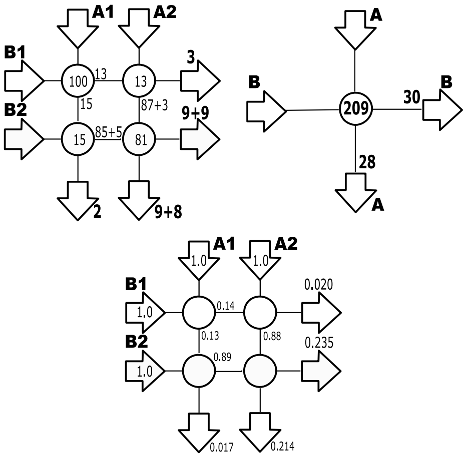

図 4　Tied State 法

で打ち切ると模擬できない遭遇関係が残る。この問題への対策として、存在確率を持った複数の移動体による模擬について述べる。

3.1　移動体の確率分岐

確率的な風向風速、天候などの影響で、移動体のとる位置は連続な確率分布をもつことがありうる。また、与えるシナリオ上で、行動を数種類に確率分岐させることもある。そのような模擬の確率モデルとして、両者をおなじ枠組みで扱うために、連続分布で表現される状況の方に離散化を施して確率分岐として扱い、数個の存在確率つき移動体の形で代表させることにする (図 5)。

ある時刻の移動体 A1 の次の時刻に位置が、図 5 左図のように分散が楕円で表現される連続分布に位置したとする。これを、3 つの確率的移動体 A11,A12,A13 で代表させる。各確率的移動体は、その近傍の確率分布に見合った存在確率をとる。図 5 右図ではそれぞれ 0.25,0.5,0.25 としている。

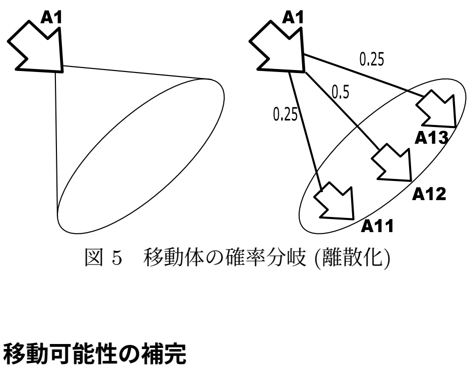

図 5　移動体の確率分岐 (離散化)

3.2　移動可能性の補完

確率的移動体をもちいて、模擬結果に欠けている移動可能性を補完するための追加模擬を実施する。まず、各確率的移動体の移動を、残存確率と同じく、類似な状況の移動体についてTied State 法で集計する。これにより、移動の確率分岐が集計できる。この集計によって得た確率分岐規則に基づき、確率的移動体の模擬を実施する。この模擬は、確率分岐規則に従って確率的移動体が増殖する点が通常の模擬と異なる (図 6)。

新たに分岐した移動体は、各移動体の存在確率が 1 未満という以外は通常の模擬と同じでよい。当然ながら、分岐した移動体はさらに分岐していく場合がある。確率分岐の頻度が高い場合には、頻度に応じた分岐の枝刈りをすることも考えられる。

図 6 左図は、A1 から A11 への移動は 100 回、そこから A111 へ 90 回、A112 へ 10 回の移動が模擬結果として得られ、A1 と A11 は類似状況とすることを示す。A1 と A11 を Tied State 法で集計すると、A1 の段階での確率分岐の可能性が示唆される。図 6 右図では、A1 から分岐した確率的移動体 A12 を生成する。A12 の存在確率は集計に基づいて 0.05 とする。A12 が A1 および A11 と類似状況であれば、さらに分岐させて A121 のほかに A122 を生成する。ただし、これを実施する場合には確率的移動体の数が爆発的に増えるおそれがあるので、存在確率に下限を設けて分岐させないこともありうる (e.g. A122 を生成しない)。

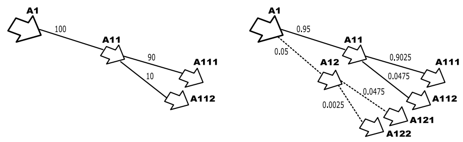

図 6　確率的移動体模擬による移動可能性の補完

上記のように、この模擬では、本来は単一の確率的移動体を複数、同じフィールド上で同時に模擬することができる。同時に模擬する場合の計算時間は、個別に模擬する場合と比べて、以下のような増加要因と減少要因とがあり、減少する状況があることがわかる。

増加要因　離散化による移動体数の増加は、模擬計算時間の増加要因となる。移動体間の距離や相対速度の計算がその大部分を占めると思われるので、その影響は移動体数増加のほぼ 2 乗に比例すると考えられる。

減少要因　多数の反復を数個の存在確率つき移動体で代表させることは模擬計算時間の減少要因である。要求精度から算出される必要反復回数がこの離散化の同時模擬による適当な数の模擬で代用できていると考えると、両者の比の分、計算時間が減少していると言える。

3.3　遭遇関係の補完

確率的移動体による模擬では、移動可能性の補完に加え、残存可能性の補完も実施する。図 7 にその例を示す。遭遇判定は、通常の移動体と同一でよい。対戦の後の残存確率は、前章で述べた Tied State 法によって定める。

図 7 左図は、楕円は移動体 A1 および B1 の移動先位置の確率分布をあらわす。図では A1 から 3 つの確率的移動体A11,A12,A13 が生成されている例を示している。図 7 右図は、A と B の遭遇後、確率つき移動体が残存して移動した位置を A11'～A13'、B11'～B13' で表す。模擬でのそれぞれの残存数は、残存確率の根拠となる。ここで、例えば B13' が 1000 回試行で 1 度も残存しなかった場合でも、Tied State 法によって残存確率が付与されることが期待されるので、この確率的移動体でも模擬を継続してその先の遭遇関係を補完する。

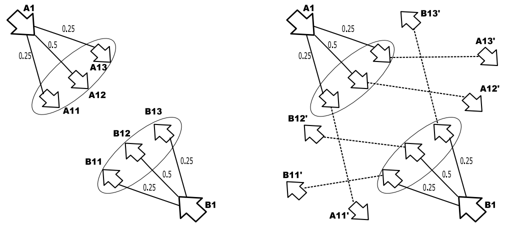

図 7　遭遇と残存の補完

4.　確率的ネットワークの利用

4.1　推測の方式

少ない模擬回数で得られた大規模模擬の結果をもとに、対戦関係検出用模擬で対戦関係を洗い出し、対戦結果値を代入してある確率的ネットワークを得たとする。その用途のひとつとして、「ある航空機の配置と作戦とから、その結果である相互の残存数を見積る」という、「推測」用途について、その方式の一例を挙げてみる。

小規模な例になるが、例えば 2 機対 2 機の模擬結果から 3 機対 3 機の結果を見積るとする。まず、3 機対 3 機での対戦関係の洗い出しを行う。得られた対戦関係のネットワークをもとに、各対戦での残存確率を、2 機対 2 機の確率的ネットワークで得られた確率を使って決定していく。確率的ネットワーク構築後は、条件つき確率の計算により、残存数の期待値が得られる（図 8)。

図 8 左図は、2 対 2 の模擬結果から得られた値 (Tied-State 法により共有化) を示し、残存確率の根拠に使う。図 8 右図は、模擬により対戦関係のネットワーク構造が得られたら、パラメータを補完する。ここで、残存確率 p と q が対戦する確率は、例えば pq で見積もる。同様に A2 対 B2 の対戦確率は、A2 対 B1 の残存確率 $1+pq-q$ と A1 対 B2 の残存確率 $1+pq-p$ との積で見積もる。以下、式が煩雑になり、その煩雑な式自体を提示することは本稿の目的ではないので省略するが、ブロック矢印の部分の残存確率までひととおり確定できる。この結果として、残存数の期待値が得られる。

この推測の利点は、大規模な模擬を反復することなく結果を得ている点にある。ただし、残存確率の積で見積っている部分など、単純化しすぎている傾向がある。今後、単純化した部分を交互作用を考慮した値に変更した場合を検討して併用し、その値を範囲をもった値にするような拡張を行って、利用価値を向上したいと考えている。

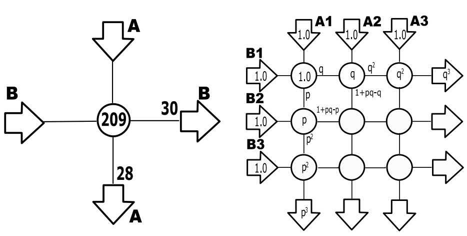

図 8　確率的ネットワークを利用した推測

4.2　比較の方式

少ない模擬回数で得られた大規模模擬の結果をもとに、複数の条件下での対戦関係検出用模擬で対戦関係を洗い出し、各条件での対戦関係にそれぞれ対戦結果値を代入して、複数の確率的ネットワークを得たとする。それをもとに「複数条件下での相互の残存数の優劣を見積もる」という「比較」用途について、その方式の一例を挙げてみる。

図 9 に、確率的ネットワークを比較に適用する簡単な例を示す。図 9 のように、機種 A(A1,A2)(左図、再掲) の代わりに機種 C(C1,C2) を用いたとき、右図のような確率的構造をとったとする。それぞれ独立に推測し、両者の残存確率を比較して機種選定の判断材料とするのがひとつの方法である。もし機種 B 側の残存確率を低くすることを目的としているなら機種 C 採用の方が有利、機種 A および C 側の残存確率を高くすることが目的なら機種 A 採用の方が有利という結論をもたらすことになる。

あるいは、模擬結果代入の過程で明白に残存確率に差が見られた場合、そこで打ち切ることで計算を省くことができるかもしれない。普通の模擬では複数回の反復をまっとうしなければ比較結果が得られないが、それに比べてかなり高速に比較結果を提示できる見込みがある。

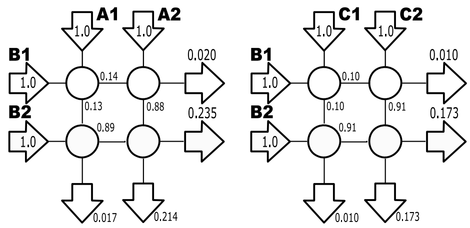

図 9　確率的ネットワークの比較 (イメージ)

5.　関 連 技 術

複数の (既存) 模擬器を通信で接続して大規模な模擬を実施する技術に関しては、HLA (IEEE1516) と呼ばれる国際標準 [1] があり、現在もこの標準の改訂作業は続いている。

本稿で記述に用いた確率的ネットワークは、ベイジアンネットワーク [2] の一種あるいは略記と見なすことができる。図 10 に、移動体 2 つの遭遇に関するベイジアンネットワークの記述例を示す。確率的ネットワークでは、このうち移動体の存在確率のみに着目したネットワークになっている。

図 10 では、移動体 A および B と環境要因 E から、次の時刻あるいはイベントでの A や B が決まる様子はベイジアンネットワークで記述できる。例えばグラフの A と A,B,E とのアークは、A の存在確率が A,B,E それぞれの状態によって決まり、それらの条件付確率で表現できることを表す。ここから環境のノード E を省いたものがほぼ本稿での議論に相当すると考えられる。

また、モンテカルロ法の一部を網羅的な事前実験結果で置き換える方法が提案されている [3], [4]。これは模擬した結果だけから数値を求める Tied State 法と類似性が認められるものの

方向性がやや異なり、必要な模擬は完全に実施するという考え方と思われる。

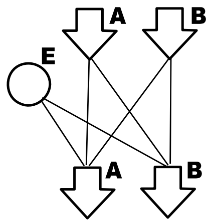

図 10　ベイジアンネットワークによる移動体模擬の記述

6.　今後の課題

6.1　実 証 実 験

本稿では、少ない回数しか対戦模擬結果が得られない場合の解析の一手段として、確率的なネットワークという道具を用い、その確率値の計算に少しでもサンプル数を多く使えるようにすることと、確率的ネットワークをできる限り拡張して対戦可能性を網羅することの２つのアイディアを述べたに過ぎない。実際に、妥当な数の移動体同士で一定回数の対戦模擬を実施し、その一部の実施結果から全部の実施結果を見積もった場合のばらつきを測定することが、まずなにより優先される課題である。

その次には、最も用途が広いと思われる複数条件を比較する模擬について、全体の比較結果と、その一部の比較結果から全体の比較結果を見積もった場合との相違の測定を課題としたいと考えている。

6.2　部品としての模擬

模擬は、しばしば他のシステムの部品として用いられることがある。そのような場合、模擬は、与えられた条件から結果を推測してシステムに提出し、次の条件をもらってまた次の結果を推測して提出、という一連の手続きを反復する。部品的模擬は、外部のシステムが実機か、人間か、あるいは他の模擬か、という観点によって以下のように分類できる。目下、いずれもアイディアの検討段階である。

- 実際の機材を用いて実験する際に、機材の一部機能を模擬で代用する。(Hardware in the Loop)
- 人間の操作訓練や作戦演習において、機材を模擬で代用する。(Human in the Loop)
- 複数の異なる模擬部品を使い、まとめてひとつの模擬として運用する。

6.3　模擬規則のマクロ化の効果

部品としての模擬には、独立した模擬器を調停し運用する分散模擬のほか、模擬中の模擬精度と要求速度によって模擬規則の精度を変更するようなケースが考えられる。

従来はすべて詳細な時刻管理下で、詳細なミクロ規則のみを用いて実行されていた模擬のうち、その一部を確率的ネットワークの形にまとめあげて、大きな時刻間隔の、あるいは複数の模擬主体をたばねたグループ模擬規則とする。他との相互作用の可能性が少ないことがわかっている箇所や、複数の移動体が一体となって行動しているような箇所など、模擬の時刻間隔を大きくでき、模擬主体をまとめあげることができるところを、この大きな時刻間隔のグループ模擬規則で実行する。これにより、模擬の高速化が図れる。マクロ化の単位と性能の関係など、性能検証を要する課題である。

7.　ま　と　め

多数の移動体による大規模な戦闘模擬の確率的規則を、個々の対戦や移動に関する確率的規則の連鎖したネットワークの形で記述すると、限られた実施回数の模擬では得られない、移動可能性や対戦での残存可能性を補完できるとともに、模擬結果の数値を確率的な根拠をもって表現できるようになる。また、模擬条件を変更した場合の値を、改めて模擬反復をすることなく見積れる。複数の模擬条件の比較においては、模擬反復に加えて条件毎反復の分も回数補填に利用でき、さらなる精度向上が期待できる。模擬結果から得た確率的ネットワークを他の模擬に利用すること、中でも、詳細な時刻間隔での多数のミクロな模擬規則を確率的ネットワークという形でマクロ化して高速化を図ることは今後の注目課題として挙げられる。

文　　献

[1] 古市, 和泉. 分散シミュレーションのための統合基盤アーキテクチャHLA の紹介. 情報処理 41 巻 12 号. 2000.

[2] 佐藤. ベイジアンネットと信念伝播の新潮流. 信学技報 AI 2002-8, 43-48. 2002.

[3] 小野寺, 川村, 車谷, 大内. 部分的全調査モンテカルロ法による不確実性を考慮した行動評価関数の設計と TAC への適用. 信学技報 AI 2003-78, 13-18. 2004.

[4] 小野寺, 川村, 大内. 部分的完全調査モンテカルロ法の提案と不確実性を含んだプランニングへの適用. 信学技報 AI 2004-71, 1-6. 2004.