場面遷移ネットに基づくサービスのマルチアスペクトモデリング手法*

舘山 武史^{*1}, 御子柴 怜志^{*2}, 渡辺 健太郎^{*2}
千葉 龍介^{*1}, 下村 芳樹^{*3}, 川田 誠一^{*4}

A Multi-Aspect Modeling Method for Service Flow Simulation Using Scene Transition Nets (STNs)

Takeshi TATEYAMA^{*1}, Satoshi MIKOSHIBA, Kentaro WATANABE
Ryosuke CHIBA, Yoshiki SHIMOMURA and Seiichi KAWATA

^{*1} Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University
6-6, Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, 191-0065, Japan

Recently, a new academic field, "service engineering" has been very actively investigated. However, there are few effective methods and tools to simulate and evaluate services designed based on the concept of service engineering. In the past, the authors proposed a service flow simulation method using scene transition nets (STNs) which is a graphic modeling and simulation method for discrete-continuous hybrid systems. However, this method does not consider how to model and simulate complex service flows including multiple layered, parallel, and interrupted structures and it is difficult to construct STN models of such complex systems using the existing STN concepts. In this paper, the authors propose a new STN modeling method using "multi-aspect STN modeling" concepts in order to provide easy methods for modeling of such complex services. The experimental results for the modeling and simulation of a nursing service demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Key Words : Service Engineering, Scene Transition Nets (STNs), Discrete-Continuous Hybrid Systems, Multi-Aspect Modeling

1. は じ め に

近年、産業界ではサービス産業が一層重要視される傾向にあり、サービスの生産性を向上させることが重要な課題となっている。このような背景から、工学的な視点からサービスの設計・製造の方法論を確立することを目的とした新しい学問体系であるサービス工学⁽¹⁾が提案され、サービス設計を支援するサービス CAD⁽¹⁾の開発などが進められている。サービス工学では、設計したサービスの評価をいかにして行うかが、重要な研究課題の一つとなっている。先行研究としては、顧客アンケートや近似関数を用いて顧客満足度の予測値を算出する手法⁽²⁾などがあり、その有効性が示されている。しかし、サービスの評価は人(提供者、顧客など)の行動、顧客の嗜好、周囲の状況の変化など、様々な動的要素の相互作用の結果に大きく左右される。そのため、サービスの構造が複雑になるにつれ、その評価は数値計算のみでは非常に困難なものとなることが考えられる。このような背景から、サービスプロセスのモデリングを行い、シミュレーションによってその評価を行う手法が求められるようになってきている。

岡田らは、古くから研究されているサービス提供システムの設計技術であるサービス・ブループリンティングでは、設計したサービスの生産性や収益性を科学的に推定することは困難であるとしてシミュレーションの重要性を唱え、サービスの概念モデルと「サービス生産性シミュレータ」を提唱している⁽³⁾。岡田らの手法は、離散事象システムのモデリング・シミュレーション手法であるペトリネット⁽⁴⁾をベースとしている。しかし、シミュレー

* 原稿受付 2012 年 4 月 2 日

^{*1} 正員, 首都大学東京大学院システムデザイン研究科 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

^{*2} 首都大学東京大学院システムデザイン研究科 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

^{*3} 正員, フェロー, 首都大学東京大学院システムデザイン研究科
(〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

^{*4} 正員, 産業技術大学院大学産業技術研究科 (〒140-0011 東京都品川区東大井 1-10-40)

E-mail: tateyama@sd.tmu.ac.jp

ションによってサービスの動作検証を行う場合、顧客価値などの顧客の状態、製品や環境の状態など、時間的に変化する要素(連続システム)を同時に考慮する必要がある場合も多く、サービスのモデルが離散表現のみでは不十分となる場合も多々あると考えられる。

そこで著者らは、離散・連続混合システムのモデリング・シミュレーション手法である場面遷移ネット(Scene Transition Nets, STNs)⁽⁵⁾を用いてサービスの流れをモデル化し、シミュレーションによって評価を行う手法⁽⁶⁾⁽⁷⁾を提案している。これにより、サービスの流れを離散事象システムとして視覚的に確認することを可能とするとともに、顧客満足度などのパラメータの時間的推移を連続システムとして数理モデルを構築し、シミュレーションを行うことでその推移の観測および検証を行うことを可能としている。

しかしながら、これらの研究では、比較的構造が単純なサービスをモデル化し、検証することにとどまっている。しかし、現実のサービスは単純なモデルでは表現が困難となるような、複雑な構造を多数含んでいることが多いため、複雑な構造を容易にモデリング可能とする枠組みが必要となる。例えば、産業技術総合研究所のサービスプロセス可視化に関する一連の研究⁽⁸⁾⁽⁹⁾では、ある種の複雑なサービスは多重解像度的(階層的)な構造をもち、また特に顧客と従業員の接点時間が長く、顧客の要求に対して個別対応が求められるようなサービス(「現場裁量型プロセス」と呼ばれる⁽⁹⁾)では、不定性、並行性、サービス対象・方法論の多様性という観点から、そのプロセスの記述が困難であることが指摘されている。つまり、複雑なサービスは複数のタスクを同時並行的に実行するプロセスや、割り込み処理的なプロセスが多数含まれており、シミュレーションを行うためには、そのような複雑な構造をモデル化する必要がある。

しかし、現状のSTNによるモデリング手法では、そのような複雑なサービスのモデル化は困難である。これは、STNの基本的な定義では、複数の(アークで接続されていない)STNモデル間の相互作用を記述することが困難であることに起因している。サービスプロセスの階層的・並列的構造をモデル化する場合、各プロセスの階層ごと、あるいは並列動作する各プロセスをそれぞれ独立して記述し、それらの関係性・相互作用を記述することが有効であると考えられるが、このようなモデリングを行うためには、複数のSTNモデル間の相互作用を記述可能とするように拡張を行う必要がある。このような複雑な構造を分割記述せず、単一のSTNモデルとして記述しようとした場合、そのモデルは極めて複雑となり、シミュレーションによる動作確認も困難となる可能性が高い。

また、ここでSTNを、シミュレーションモデルを構築するための一種のプログラム言語であるという視点から考えてみる。現在一般的に用いられているプログラミングの技法の一つである構造的プログラミング⁽¹⁰⁾において、複雑なプログラムを記述する際の有効な手段の一つとしてプログラムの階層化があるが、STNのモデリングにおいても、複雑なプロセスモデルを記述する際、抽象的なプロセス(上位プロセス)から記述し、個々の上位プロセスの詳細なプロセス(下位プロセス)を順番に階層的に記述していく手法は、モデルの記述・変更のしやすさ、個々のプロセスモデルの動作の妥当性の検証のしやすさなどの面で有効であると考えられる。

本研究の最終目的は、設計したサービスのモデリングを行い、シミュレーションによってその成否を予測可能とすることであるが、そのためにはまず、複雑なサービスのモデリングを容易にし、また構築したモデルが正しく動作するか否かを容易に理解・確認可能とする手法が必要である。よって、前述した内容をふまえ、STNを用いてサービスの階層的構造・並列的構造を容易にモデル化可能とすることが必要であると考えられる。

本論文では、川田らが提案しているマルチアスペクトの概念を用いたSTNモデルの構築法⁽¹¹⁾を導入することで、サービスの階層的・並列的構造をモデル化することを提案する。この手法は、複雑なシステムを様々な視点でとらえ、複数の独立したサブモデルを構築し、一つのシステムをそれらの組み合わせとして表現するというモデリング手法である。この概念を用いることにより、サービスプロセスの各階層、および各並列タスクを独立してモデル化し、さらにそれらの相互作用関係を記述することが可能となると考えられる。ここで、川田らが提案したマルチアスペクトモデリングを実現するためには、複数のサブシステムが並列的・同時進行的に動作し、かつ互いに影響を及ぼしあうようなシステムをSTNによって表現することが必要となる。しかし、前述のように、現状のSTNの定義では、独立して構築した個々のサブモデル間の相互作用関係をモデル化することは、シミュレーションモデルの実装上困難である。そこで本論文では、異なるサブモデル内のアクタ(ペトリネットのトークンに相当するSTNの構成要素)間で、それぞれが保持しているパラメータを共有するという概念をSTNに導入することにより、複数のサブモデル間の相互作用関係のモデル化を容易に可能とする手法を提案する。そして、上記の手法を用いたサービスプロセスの階層的・並列的構造のモデル化手法を示す。最後に、例題を通してサービスモデルの構

築のしやすさ、変更のしやすさ、構築したモデルの動作確認のしやすさなどの観点から本提案手法の検証を行う。

2. 場面遷移ネット (Scene Transition Nets, STNs) と STN シミュレータ

Fig. 1 STN Components

STNは、離散事象システムのモデリングに用いられるペトリネットのコンセプトをベースとした、離散・連続混合システムのためのモデリング・シミュレーション手法である。図1に示すように、STNはアクタ (actor)、シーン (scene)、トランジション (transition)、アーク (arc) で構成される。アクタは状態変数 (アクタ変数という) を保持し、シーンに記述されたダイナミクスに従って自らの状態変数を動的に変化させる。このアクタ変数が、出力側のトランジションに記述されている発火条件を満たしたとき、アクタは別のシーンに遷移する。つまり、アクタはアクタ変数を変化させながら、ネットワーク内を移動することになる。ユーザーはシミュレーションを実行し、各アクタの場面遷移の様子を観察することで離散事象システムの解析、またアクタ変数の時間的推移を観察することにより連続変数システムの解析を同時に行なうことが可能となる。

ユーザーは上記の要素を組合せてネットワークを構築後、シミュレーションを実行する。シミュレーションでは、各アクタの場面遷移の様子を観察することで離散事象システムの解析、またアクタ変数の時間的推移を観察することで連続変数システムの解析が同時に行えることになる。著者らは、容易にSTNのモデリング及びシミュレーションを行えるGUIツールとして、STN GUI Simulatorを開発しており、生産システムや搬送システムのシミュレーションを行っている⁽¹²⁾。図2にシミュレータの概観を示す。

Fig. 2 STN GUI Simulator

3. アクタ変数の共有による、STNを用いたマルチアスペクトモデリングの実現

大規模・複雑なシステムは、異なる目的・視点に基づいて設計された複数のシステムの組み合わせで構成されている。このようなシステムのSTNモデルを構築するには、個々のサブシステムを、それぞれ独立した視点からエンビジョニング (envisioning)⁽¹³⁾ (人間が物理システムを理解する際に、頭の中でシステムの定性的な挙動を思い

浮かべること)という過程によりサブモデルとしてモデル化し、一つの大規模システムをそれらのサブシステムの組み合わせとして表現する、マルチアスペクトモデリングが有効であることが既存研究によって示されている⁽¹¹⁾。

STNを用いてマルチアスペクトモデリングを行う場合、図3に示すように、必然的に複数のSTNのサブモデルが構築される⁽¹¹⁾ため、必然的に同一のアクタが複数のサブモデル内に存在することになる。あるサブモデル内でのアクタの挙動は、他のサブモデル内のアクタの挙動に影響を及ぼす場合がある。しかし、既存のSTNの枠組みは、異なる(アークで接続されていない)STN間でアクタ変数の値等の情報のやりとりを行うことが不可能であるため、サブシステム間の相互作用を表現することは困難である。そこで本論文では、複数のアクタ間でアクタ変数を共有するという概念をSTNに導入することにより、複数のSTN間の相互作用を表現することを可能とする手法を提案する。

図4は、複数のアクタ間でアクタ変数を共有するという概念を示した図である。まず、図の上に示すように、アクタクラスAのインスタンスとなるアクタA1, A2, ..., ANを考える。これらのアクタは、同一の種類のアクタ変数をもつが、通常は互いに独立した異なるアクタとして扱われる。次に、下の図に示すように、それぞれのアクタが異なる視点で構築されたサブモデル sub-STN model 1, 2, ..., N に存在していることを考える。ここでは、これらのアクタA1~ANを同一のアクタとみなし、それぞれのアクタ変数を共有することとする。これにより、各サブモデル内のアクタの挙動が、他のサブモデル内のアクタの挙動に影響を及ぼすことを表現可能となる。つまり、時刻tにおけるアクタ変数x, y, z, ... の変化量は、各サブモデルの該当シーンに記述されている微分方程式によって導かれる変化量の総和となる。これにより、大規模・複雑なシステムを、さまざまな視点で構築された複数のサブモデルの組み合わせとして表現することが可能となる。

Fig. 3 Outline of Multi-aspect STN Modeling

Fig. 4 Concept of Actor-links for Multi-aspect Modeling

4. マルチアスペクトモデリング手法を用いたサービスのモデリングとシミュレーション

本研究の最終目的は、顧客・提供者・製品間の相互作用や、これらのサービス要素のばらつきなどが含まれる、複雑なサービスの動作を予測し、評価を行うことである。そのためには、まずは複雑なサービスのプロセスをいかにしてSTNでモデリングするかが問題となる。既存研究において、現実の複雑なサービスのプロセスは、下記

のような構造を多く含むことが指摘されている。

(1) 多重解像度的 (階層的) 構造

産業技術総合研究所のサービスプロセス可視化に関する研究⁽⁸⁾⁽⁹⁾では、病院のサービスプロセスを例として、ある種のサービスは多重解像度的 (階層的) な構造をもつことが指摘されている。また、現在一般的に用いられているプログラミングの技法の一つである構造的プログラミング⁽¹⁰⁾の概念から、複雑なプロセスモデルを記述する際、抽象的なプロセス (上位プロセス) から記述し、個々の上位プロセスの詳細なプロセス (下位プロセス) を順番に記述していく手法は、モデルの記述のしやすさ、変更のしやすさ、個々のプロセスモデルの動作の妥当性の検証のしやすさなどの面で有効であると考えられる。よって、STN を用いて階層的構造モデルを構築可能とすることは、複雑なサービスプロセスを記述するために必要不可欠なことであるといえる。

(2) 並列的構造

また、AIST の研究⁽⁹⁾では、特に顧客と従業員の接点時間が長く、顧客の要求に対して個別対応が求められるようなサービス (「現場裁量型プロセス」と呼ぶ。例えば介護施設や病院などのプロセスなど) では、下記に示す (i) 並行性、(ii) 不定性、(iii) サービス対象・方法論の多様性という観点から、そのプロセスの記述が困難であることが指摘されている。

(i) 並行性：1 名のサービス提供者が、複数の作業を同時並行に実行する必要がある

(ii) 不定性：顧客からの要求が多様であるため、不定のタイミングでタスクの割り込みが発生する

(iii) サービス対象・方法論の多様性：顧客属性によってプロセスが変化し、同一のサービスの提供方法が複数存在する

さらに、研究⁽⁹⁾では、並列作業を行わず、個々のタスクを独立して順次実行していくプロセスを「独立プロセス」(図 5(a)) とし、並列的なサービスプロセスは、「並行プロセス」(図 5(b)) と「割り込みプロセス」(図 5(c)) に分類されるとしている。

Fig. 5 Service Processes Including Parallelism

図 5(b) の並行プロセスは、従来の STN ではモデリングが困難である。その理由は、並列的に動作する複数の STN モデルを作成し、同時実行する場合、個々の STN モデル間の相互作用を記述することが不可能であるからである。そのため、並行プロセスを STN でシミュレートする場合、各 STN モデルの動作が他のモデルの動作にどのように影響を及ぼすかを記述する枠組みが必要となる。

図 5(c) の割り込みプロセスは、従来の STN でも記述が可能であるが、前述の階層的構造モデルの記述法を用いることで、より容易にモデル化を行うことが可能となる。本論文では、前述のアクタリンクの概念を用いて、上記の階層的構造および並列的構造をもつサービスの STN モデルの構築を容易に可能とする。

4.1 STN でのサービスの階層構造のモデル化

図 6 は、2 層の階層構造を持つサービスプロセスの STN モデルの例である。図中のサブモデル 1 は上位モデルである。サブモデル 2 は下位モデルであり、サブモデル 1 内のシーン S1-2 の詳細プロセスモデルであるとする。

この例では、サブモデル 1 内のアクタ A1 とサブモデル 2 内のアクタ A2 はアクタリンクの概念により、同一のアクタとして設定する。まず、アクタ A1, A2 に、共通の状態変数として **flag** を定義しておく。そして、サブモデル 1 においてアクタ A1 がシーン S1-2 に遷移したときにフラグが立つように、シーン S1-2 に状態変数 **flag** の変化式を記述する。アクタ A2 は、フラグが下がっているときは初期シーン S2-1 で待機状態となるが、フラグが立ったときにサブモデル 2 のプロセスの実行を開始するように、トランジション T2-1 に発火条件を記述する。また、サブモデル 2 のプロセスが終了した際（この例では、アクタ A2 がシーン S2-3 に遷移したとき）、フラグは下げられ、アクタ A1 が次のシーン S1-3 に遷移するようにトランジション T1-2 に発火条件を記述してする。これにより、任意のシーンの詳細モデルを階層的に構築することが可能となる。

Fig. 6 Layered Structure Modeling Using Actor-link Concepts

4.2 STN でのサービスの並列構造のモデル化

ここでは、図 5(b) の並行プロセスと、図 5(c) の割り込みプロセスの STN モデルを構築する手順を述べる。

(1) 並行プロセス

図 7 に、アクタリンクの概念を導入した、並行して動作する 3 つの STN サブモデル間の相互作用をモデル化した例を示す。ここでは、アクタ A1, A2, A3 を同一のアクタとして設定することにより、それらの全アクタは、全てのサブモデルに記述されているダイナミクスに従い、変数が更新されることとなる。

(2) 割り込みプロセス

割り込みプロセスは、(1) に示した並行構造モデルの状態遷移の条件を下記のように変更することで構築可能である。例えば、図 7 においてサブモデル 1, 2 が主プロセス、サブモデル 3 が割り込みプロセスであるとする。ここで、アクタ A1, A2, A3 に、割り込み発生フラグを表すアクタ変数を定義しておき、アクタリンクによってこれらのアクタを同一アクタとして設定する。そして、サブモデル 3 内でアクタ A3 が割り込み発生のシーンに遷移したときにフラグを立て、フラグが立ったときにアクタ A1, A2 の動作が停止するようにシーン内にダイナミクスを記述する。アクタ A3 のプロセスが終了した後はフラグを下げ、アクタ A1, A2 が再び元のプロセスに戻るようになる。これにより、割り込みによるタスクの一時中断および再開をシミュレート可能となる。

Fig. 7 Parallel Structure Modeling Using Actor-link Concepts

5. 例 題 検 証

本章では例題を通して、本提案手法が階層的構造、および並列・割り込みタスクのモデリングが可能であることを確認する。また、構造的プログラミングの概念に沿って概念的な STN モデルを段階的に詳細化していく手順を踏み、階層的モデリングは部分モデルの動作確認・検証に有益であることを、例題の結果を踏まえて次章で考察する。

5.1 問題設定

例題として用いる問題は、病院や介護施設の看護師の巡回タスクである。基本的な業務内容は、看護師がナースステーションを出発し、それぞれ別室にいる患者 5 名を巡回し、基本的な看護サービスを行うことである。この巡回タスクには、複数のタスクを並行して行う並列作業や、ナースコールによる割り込みが含まれる。看護サービスのタスクは、ここでは体温・血圧などの「各種測定」と、点滴・包帯交換、投薬などの「各種手当」の 2 種とした。ここでは、これらの 2 つのタスクを「主業務」とする。看護師は上記の主業務と並行して、患者に関する「各種記録作業」を行う（並列タスク）。また、巡回対象ではない患者からナースコールがあった場合、主業務を中断し、ナースコールに対応するものとする（割り込みタスク）。

本検証の目的は、現実のサービスを再現することではなく、モデルの構築のしやすさ、動作確認のしやすさ、並列・割り込みタスクのモデル化が可能であるか否かを検証することである。そのため、ここでは実際の看護師の業務内容を簡略化したモデルを用いることとし、モデルの各種パラメータは下記のように仮想的な数値とした。看護師の歩行速度は 1[m/s]、部屋間の距離は 10[m] とした。各患者の看護サービスに要する時間は、患者 A(測定 5 分、看護 10 分)、患者 B(10 分、15 分)、患者 C(10 分、10 分)、患者 D(5 分、10 分)、患者 E(5 分、15 分) とした。ナースコールは仮想的に巡回開始から 10 分後と 25 分後に発生させ、対応時間は 5 分とした。

ここでは、構造化プログラミングの理念をベースとして、まずは抽象的なタスクのモデル化を行い、段階的に各タスクの詳細モデルを構築していくこととする。図 8 に、本 STN モデルの階層構造を示す。

Fig. 8 Layered Structure Model of the Nursing Care Service

それぞれの STN モデルは独立して記述されているが、前述のアクタリンクの設定により、各 STN モデルのアクタ「看護師」は同一アクタとする。これにより、それぞれのモデル間の相互作用をシミュレートすることが可能となる。下記に、各 STN モデルの概略を記す。

(1) 主業務モデル (Main task model, 図 9)

ナースステーション出発→巡回→帰還という業務全体の大まかな手順を表すモデルである。状態遷移は、下位モデルのアクタの状態遷移のタイミングに依存する。

(2) 巡回業務モデル (Rotation task model, 図 10)

(1) 主業務モデルのシーン「巡回」の詳細を表す、看護師の巡回手順のモデルである。看護師の移動、看護内容の詳細は、下位のモデル ((3)(4)(5) に示すモデル) に記述されている。

(3) 看護師移動モデル (Nurse's walking model, 図 11)

(2) 巡回業務モデルのシーン「移動」の詳細を表す、看護師の歩行による移動のモデルである。ここでは看護師の移動距離 $x[m]$ のダイナミクスを簡易的に $dx/dt = 1$ としている。

Fig. 9 Main Process Model

Fig. 10 Circuit Process Model

Fig. 11 Nurse's Walking Model

(4) 基本看護サービス (主業務) モデル (Basic care service model, 図 12)

(2) 巡回業務モデルのシーン「看護サービス」の詳細を表すモデルである。本モデルは、看護師 1 名と患者 5 名のアクタを含む。各患者は、アクタ変数として看護に要する時間を保持している。看護内容は主業務である「各種測定」、「各種手当」としたが、これらのタスクの詳細をさらに下位モデルとして記述することも可能である。

Fig. 12 Nursing Service Process Model

(5) 記録作業モデル (並行タスク) (Recording task model, 図 13 左)

(4) で記述した基本看護サービスと並行して行われる記録作業のモデルである。記録作業は、各患者の部屋に到着した瞬間から退出するまで、並行して行われることとした。

(6) ナースコールモデル (割り込みタスク) (Nurse call model, 図 13 右)

ナースコールの発生と、その対応のモデルであり、(2) で記述した巡回業務の割り込みタスクとしてモデル化する。看護師が移動中・看護中であるにかかわらず、ナースコールが発生した場合、看護師はその対応を優先することとする。本検証では、仮想的に巡回開始から 10 分後と 25 分後に発生させ、対応時間は 5 分としたが、STN では確率変数を用いて確率的に発生させることも可能である。

Fig. 13 Recording Process Model (Left) and Nurse Call Model (Right)

5.2 シミュレーション結果

図 14(左) は、割り込みタスク (ナースコール) が発生しなかった場合の、時刻 0~60[min] の作業内容を表したチャートである。上図は移動、各種測定、手当のチャート、下図は記録作業のチャートである。これらのチャートから、変数として設定した通りにシミュレートできていることが確認できる。

図 14(右) は、割り込みを発生させた場合のチャートである。割り込み発生時は、主業務を中断し、ナースコールの対応を行っている。また、主業務の各タスクの所要時間は、ナースコール対応時間の分だけ増加していることがわかる。よって、本手法を用いることで、サービスの階層的・並列的 (並行タスク、割り込みタスク) 構造のモデリングが可能であることが示され、また構築した STN モデルは設定したパラメータに従い、正しく動作していることが示された。本手法の有効性については、次章で考察を行う。

Fig. 14 Time Carts of the Activity of the Nurse (Left: without Interrupted Processes), (Right: with Interrupted Processes)

6. 考 察

本提案手法を用いることにより、階層的なモデリングが可能となることを前章で示した。これにより、構造的プログラミングにおけるプログラムの階層化の利点と同様に、部分的なモデルが正常に動作するか否かの検証を行うことが容易となることが本手法の利点の一つとしてあげられる。例えば、看護師の移動モデルの動作検証、看護サービスモデルの動作検証などを独立して行うことが可能となり、上位層のモデルも、下位層のモデルの動作確認が完了した後で、容易に検証を行うことが可能となる。また、モデルの変更が容易となることも特筆すべき点である。例えば、階層的モデリング手法を用いない場合、看護師が移動を行うシーン全てに看護師の移動モデルを記述する必要があり、変更時はそれらすべての箇所を変更する必要があるが、本手法では独立して記述された移動モデルのみを変更すればよいことになる。

また、特に現場裁量型サービスが多く含む、並列タスク・割り込みタスクのモデル化が容易となったといえる。これらのプロセス構造は、本手法を用いずに記述することも可能ではあるが、その場合は記述するシーン数が膨大となり、モデルが複雑になる可能性が高い。例えば、A, B の 2 つのタスクがあり、それらの並列関係を記述することを考える。本手法を用いない場合 (サブモデル分割を行わない場合), 「タスク A のみ行う」「タスク B のみ行う」「タスク A を行いながらタスク B を行う」は、それぞれ別のシーンとして記述する必要がある。しかし本手法では、「タスク A」と「タスク B」というシーンを記述し、それらが並行して行われるか否かは、アクタ変数の制御で設定可能となる。並行・割り込みタスクの数が多いほど、本手法はシーン数削減の面でもさらに有効となると考えられる。

7. お わ り に

本研究では、複雑なサービスを離散・連続混合システムおよびマルチエージェントシステムとしてモデル化し、シミュレーションによる評価を可能とすることを目的としている。しかし、離散・連続混合システムの有効なモデリングツールとされる従来の STN では、独立して記述された個々の STN モデル間の相互作用を記述することが困難であるため、複雑なシステムを単純なサブシステムの集合としてモデル化することが困難であった。そのため、ある種の複雑なサービスに多数含まれるとされる、階層的・並列的構造をモデル化することは困難であった。

そこで本研究では、アクタリンクという概念を新たに導入し、システムの階層的・並列的構造をモデル化する手法を提案した。これにより、ある種の複雑なサービスの STN モデルの構築と、シミュレーションによる検証を容易に行うことを可能とした。

また、階層的構造をモデル化可能としたことで、抽象的な STN モデルを段階的に詳細化していく手順を踏むという、構造的プログラミングの概念に沿った階層的モデリングが可能となることを示した。そして例題を通して、本提案手法がサービスモデルの構築のしやすさ、変更のしやすさ、構築したモデルの動作確認のしやすさなどの点で有効であることを示した。

今後は、本論文の成果を発展させ、実用規模の現実の問題を対象にした研究を展開したい。

謝 辞

本研究の一部は、公益財団法人日本生産性本部 平成 22 年度生産性研究助成「効果的なサービス最適設計ループの実現のための、離散・連続ハイブリッドシミュレーションによるサービス評価手法」の支援を得て実施した。

文 献

- (1) 下村芳樹, 原辰徳, 渡辺健太郎, 坂尾知彦, 新井民生, 富山哲男, “サービス工学の提案 - 第 1 報, サービス工学のためのサービスモデル化技法 -”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 71, No. 702 (2005), pp. 315-322.
- (2) Y. Yoshimitsu, T. Hara, T. Arai and Y. Shimomura, “An Evaluation Method for Service in the Point of Customers' View”, *Proceedings of IEEE International Conference Service Systems and Service Management 2006 (SC SSSM 2006)* (2006), pp. 7-12, Troyes, France.

- (3) 岡田幸彦, 河合亜矢子, ““ サービス生産性シミュレータ”のための概念モデルの提唱”, *Department of Social Systems and Management Discussion Paper Series*, No. 1238, University of Tsukuba. Graduate School of Systems and Information Engineering. Doctoral Program in Social Systems & Management (2009).
- (4) T. Murata, “Petri Nets, Analysis and Application”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 77, No. 4 (1989), pp. 541-580.
- (5) 川田誠一, 川田尚吾, 渡辺敦, “場面の概念を用いた離散連続混合システムのシミュレーションモデル”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 59, No. 563 (1993), pp. 10-16.
- (6) 佐藤友亮, 鈴木遼, 原辰徳, 下村芳樹, 新井民夫, “サービス工学に基づくサービス CAD システムの構築(第 36 報) -サービス・マーケティング手法と場面遷移ネットに基づくサービスフロー・シミュレーション-”, 2007 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(2007), pp. 941-942.
- (7) T. Tateyama, Y. Shimomura, S. Mikoshiba and S. Kawata, “Service Flow Simulator using Scene Transition Nets (STN) including Satisfaction-Attribute Value Functions”, *Proceedings of the 15th Design for Manufacturing and the Lifecycle Conference - DFMLC2010 -*, CD-ROM, The American Society for Mechanical Engineering (ASME), Montreal, Canada (2010).
- (8) 産業技術総合研究所, “平成 21 年度 IT とサービスの融合による新市場創出促進事業(サービス工学研究開発事業) 成果報告書”, 平成 21 年度経済産業省委託事業成果(2010).
- (9) 産業技術総合研究所, “平成 22 年度 IT とサービスの融合による新市場創出促進事業(サービス工学研究開発事業) 成果報告書”, 平成 22 年度経済産業省委託事業成果(2011).
- (10) E. W. ダイクストラ, C. A. R. ホーア, O. J. ダール, “構造化プログラミング”, サイエンス社(1975).
- (11) 川田尚吾, 川田誠一, 河合成治, 松永繁秋, 渡辺敦, “アクタ変換とマルチアスペクト化による場面遷移ネット(STN)の拡張”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 62, No. 599 (1996), pp. 2905-2912.
- (12) T. Tateyama, H. Chin, S. Kawata and Y. Shimomura, “Development and Improvement of Scene Transition Nets (STN) GUI Simulator for Discrete-continuous Hybrid Systems”, *International Journal of CAD/CAM*, Vol. 8, No. 1 (2008), pp. 55-62.
- (13) J. de. Kleer, “Multiple representations of knowledge in a mechanics problemsolver”, *Proceedings of 5th IJCAI* (1977), pp. 299-304.