

Modelação e Verificação Formal de Processos de Negócio em Ambiente Hospitalar

Carlos Santos ¹, Carla Ferreira ², José Tribolet ³

1) Instituto Superior de Contabilidade e Administração, Universidade de Aveiro, Rua Associação Humanitária dos Bombeiros de Aveiro, 3811-902, Aveiro, Portugal;

CEO, Centro de Engenharia Organizacional – INOV, INESC-Inovação, Rua Alves Redol, nº 9, 1000-029, Lisboa, Portugal

carlos.santos@isca.ua.pt

2) Departamento de Engenharia Informática, Instituto Superior Técnico, Avenida Professor Cavaco Silva, 2780-990, Porto Salvo, Portugal

carla.ferreira@dei.ist.utl.pt

3) Departamento de Engenharia Informática, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal;

CEO, Centro de Engenharia Organizacional – INOV, INESC-Inovação, Rua Alves Redol, nº 9, 1000-029, Lisboa, Portugal

jose.tribolet@inesc.pt

Resumo

Embeber mecanismos de controlo interno em processos de negócio em ambiente hospitalar, com o objectivo de minimizar o risco que lhes está associado, pode comprometer a consistência dos modelos de negócio. Por esta razão, a verificação formal de processos hospitalares, com mecanismos de controlo embebidos, assume um papel relevante em direcção à auditoria contínua dos sistemas de informação hospitalares.

Este trabalho descreve a aplicação de técnicas e metodologias do âmbito da Engenharia Organizacional à modelação do negócio de um serviço de urgência hospitalar. Aos modelos assim obtidos são aplicadas técnicas formais, que permitem a sua simulação e verificação de conformidade das regras fundamentais do negócio. A existência de eventuais inconsistências será despistada através da aplicação destas técnicas, o que permitirá que se proceda às correcções adequadas.

A representação de sistemas complexos deve ser feita sob duas perspectivas: uma perspectiva “micro” em que o sistema é analisado ao nível das transacções organizacionais e uma perspectiva “macro” em que o sistema é analisado ao nível dos processos de negócio. A análise ao nível transaccional, focada na troca de mensagens entre processos, proporciona um bom suporte à aplicação da técnica formal “*model checking*”.

Palavras-chave: engenharia organizacional; “*model checking*”; verificação formal; PROMELA; SPIN.

1. Introdução

A complexidade dos sistemas de informação hospitalares, requer que a sua modelação seja feita com grande detalhe, relativamente aos seus componentes, estrutura, actividades e procedimentos. Nesta perspectiva, a avaliação deste tipo de sistemas pressupõe uma descrição tão precisa quanto possível de como trabalham, antes de elaborar modelos de simulação [Combes et al. 1993] que representem formalmente as situações reais que se pretendem estudar.

A modelação de processos hospitalares coloca-nos perante dois dilemas, ambos muito importantes e que devem ser tidos em atenção durante o processo de modelação:

- a necessidade de adoptar modelos informais de alto nível que possam ser facilmente construídos, dando uma percepção aproximada do que se pretende;
- a necessidade de adoptar modelos formais e detalhados, de difícil e complexa construção [Janssen et al. 2000], mas necessários se se pretender uma representação rigorosa que possa influenciar favoravelmente a confiança dos “*stakeholders*” nos processos modelados.

Face ao exposto, o objectivo do presente trabalho consiste em modelar processos hospitalares recorrendo a técnicas semi-formais e na sua transformação, através da sua especificação numa linguagem formal, em modelos que, embora não exprimam totalmente a realidade, representam a sua abstracção e descrevem as características essenciais do processo em estudo. Estes modelos tornam possível a utilização de técnicas formais, para simular a execução de processos em condições reais de funcionamento, permitindo validar o seu comportamento.

Este trabalho está estruturado em 5 secções, para além desta secção em que é feita a sua introdução, temos ainda: a secção 2 em que se faz o enquadramento teórico, referindo as metodologias fundamentais que foram usadas; a secção 3 em que é apresentado o caso de estudo desenvolvido num serviço de urgência hospitalar com foco no processo “admissão de doente” no contexto “macro” (processo, sub-processos e actividades) e no contexto “micro” (transacções); a secção 4 em que é desenvolvido o aspecto da simulação e da verificação formal de processos hospitalares temporizados com recurso à linguagem PROMELA (linguagem de entrada no verificador de modelos SPIN) e finalmente a secção 5 em que se dá nota das conclusões e proposta de trabalho futuro.

2. Enquadramento teórico

Vários exemplos¹ têm demonstrado que os erros num sistema podem causar danos económicos, físicos e humanos significativos. Com o objectivo de minimizar os potenciais erros afectos a qualquer sistema surgiu a necessidade de simular e verificar formalmente os seus modelos com o objectivo de analisar o comportamento e a conformidade das suas propriedades.

Para que os modelos desenvolvidos tenham uma perspectiva modular e sejam independentes da tecnologia que possa vir a ser utilizada na sua implementação utilizamos como linguagem de modelação a linguagem UML [Booch et al. 1999].

No presente trabalho utilizaremos uma abordagem mista proposta por [Gospodarevskaya et al. 2005], baseada na modelação de processos e na simulação e verificação formal de modelos utilizando a técnica “*model checking*”.

¹ Intel Pentium Chip; ARIANE; Therac-25

2.1 Modelação do negócio

Para modelar o negócio recorreremos à framework do Centro de Engenharia Organizacional² (FCEO), figura 1. Esta estrutura de referência assenta na definição de três conceitos fundamentais: estratégia de negócio, processos de negócio e sistemas de informação. A FCEO recorre à criação de um novo perfil para a linguagem UML, que permite descrever os conceitos organizacionais referidos [Tribolet 2002].

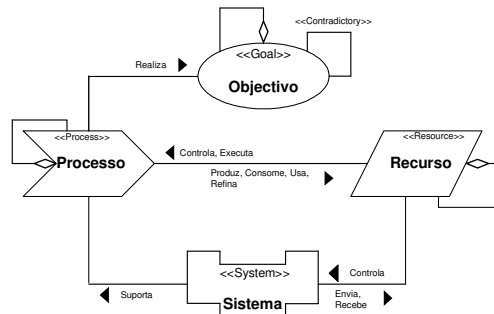


Figura 1 – Estrutura de referência CEO

A framework CEO contém um conjunto limitado de objectos de negócio com os quais se constroem modelos de negócio. Os objectos de negócio considerados nesta estrutura de referência são: os objectivos, para a modelação de estratégia; os processos, para a modelação de processos de negócio; os recursos, para a modelação dos recursos de negócio; e os blocos, para modelação dos blocos arquitecturais dos sistemas de informação. Para além dos objectos de negócio esta estrutura de referência descreve também as relações entre eles, bem como um conjunto de elementos predefinidos, construídos a partir dos conceitos base, e que representam as melhores práticas na área da modelação organizacional.

2.2 Processos temporizados

No âmbito da modelação de processos hospitalares não tem sido dado o relevo merecido à variável tempo. Ainda que grande parte das análises feitas sobre estes processos possa ser independente daquela variável, existem outras em que o tempo é determinante. Neste trabalho damos especial atenção à modelação de processos de negócio temporizados.

Embora se comecem a fazer sentir preocupações com a modelação do tempo, ainda há muito a fazer neste domínio. Por exemplo, a linguagem PROMELA que serve de entrada ao verificador de modelos SPIN, que é por nós utilizado neste trabalho não dispõe das necessárias primitivas para modelar o tempo sendo necessário estabelecer alguns pressupostos.

Na abordagem que fazemos, neste trabalho, para modelar o tempo consideramos dois mecanismos para sua medição: temporizadores e relógios. Os temporizadores têm por função controlar o tempo de execução de uma transacção incluindo o tempo que se possa verificar na comunicação entre os recursos envolvidos nessa transacção. Os relógios têm a função de contar as unidades de tempo ao longo de todo o percurso do processo organizacional. Vamos seguir de perto estudos feitos sobre a modelação do tempo por [Alur et al. 1966; Bosnacki 1998; Li et al. 1999; Xuandong et al. 2001; Matousek 2003; Mammam et al. 2004; Guelfi et al. 2005]

² Centro de investigação do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC-INOV).

Para que a transposição do modelo semi-formal de uma transacção temporizada (ver figura 2) se possa fazer para linguagem PROMELA, de forma transparente e rigorosa, devem ser conhecidas a sua sintaxe e semântica que permitem fazer o enquadramento formal de todos os pressupostos associados aos modelos em análise. Assim, a definição da sintaxe e da semântica para modelação do tempo associado aos processos hospitalares temporizados é uma peça essencial para que se possa proceder à sua verificação formal.

O tempo pode ser modelado segundo uma de duas perspectivas: ou se trata o tempo de forma discreta; ou se trata o tempo de forma densa. Neste trabalho vamos modelar o tempo de forma discreta.

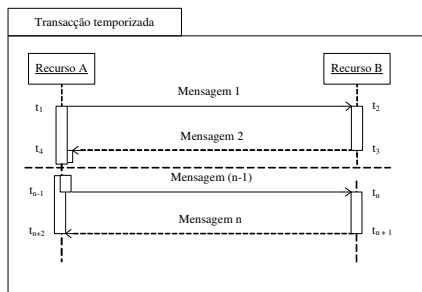


Figura 2 – Transacção temporizada

2.3 Validação formal

A validação formal de processos hospitalares está relacionada com a especificação desses processos em termos formais (com base em conceitos matemáticos, tais como lógica, teoria dos conjuntos, etc.). A especificação formal tem vantagens e desvantagens (ver tabela 1).

Existem diversas técnicas de validação de modelos, sendo de destacar as duas seguintes:

- validação por via semântica “*model checking*”. O processo a validar é representado por um conjunto de estados finito, sendo a validação automática e exaustiva;
- validação por via dedutiva “*theorem proving*”. O processo a validar é representado por um conjunto de estados infinito e a validação é apenas parcialmente automática embora seja “inteligente”.

Vantagens	Desvantagens
Os requisitos são definidos formalmente (contrato entre o cliente e equipa de desenvolvimento).	Não é possível provar formalmente que a especificação satisfaz os requisitos do cliente (validação).
Documentação do sistema com um nível elevado de abstracção.	Notações formais dificultam a comunicação com o cliente.
Demonstração formal das propriedades do sistema.	Nem todos os problemas podem ser formalizados de forma elegante.
Prototipagem rápida (execução do modelo formal) e geração automática de código.	Uso de métodos formais requer uma equipa de desenvolvimento qualificada.
Refinamento sucessivo do modelo abstracto até à implementação.	O desenvolvimento formal de um sistema é trabalhoso.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da especificação formal de modelos.

A técnica “*model checking*” verifica as propriedades de um modelo enumerando exhaustivamente todos os estados alcançáveis, devem assim, seguir-se os seguintes passos, (ver figura 3):

- construir o modelo formal do sistema – Modelo M;
- especificar as propriedades que o modelo deve ter para poder ser considerado correcto – Propriedade ϕ ;
- executar o verificador de modelos.

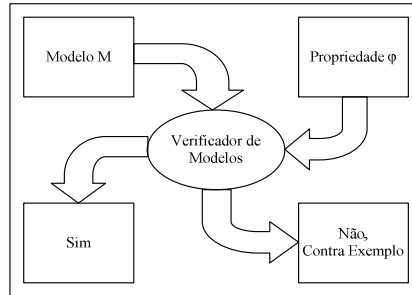


Figura 3 – Verificação formal

A utilização da técnica “*model checking*” deve-se ao seu elevado grau de automatização e à existência de ferramentas de simples utilização bastante utilizadas em vários tipos de modelos. Uma dessas ferramentas é o verificador de modelos SPIN que utiliza como linguagem de entrada a linguagem PROMELA, esta linguagem é muito semelhante à linguagem C o que torna fácil a sua interpretação para quem tenha alguns conhecimentos desta linguagem de programação.

3. Caso de estudo

O presente caso de estudo foi desenvolvido num serviço de urgência hospitalar, serviço em que a qualidade e a quantidade de informação associada a qualquer processo são factores determinantes para o seu bom funcionamento, particularmente no que respeita à qualidade que deve ser dispensada aos processos hospitalares.

Nestes processos é frequente acontecerem situações de concorrência. Um determinado número de recursos A (doentes), necessita de ter acesso concorrentemente a um determinado número de recursos B, sendo $A > B$. Nesta situação para além da concorrência pode ser importante conhecer o comportamento temporal da execução do processo para poder decidir sobre a afectação de recursos ao referido processo.

3.1. Modelação de processos

A cadeia de valor de um serviço de urgência hospitalar, figura 4, é constituída por três processos principais: processo “*admissão de doente*”; processo “*triagem de doente*”; e, processo “*prestar cuidado de saúde*”. Por uma questão de espaço, neste trabalho, fazemos somente a modelação do processo “*admissão de doente*”.

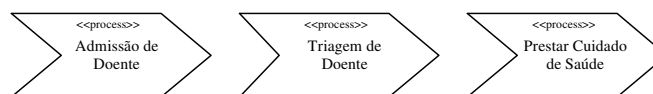


Figura 4 – Cadeia de valor de um serviço de urgência hospitalar

Caso de utilização “admissão de doente”

Qualquer doente à chegada ao serviço de urgência pode apresentar um dos seguintes estados: emergente ou urgente. No caso de ser um doente emergente é encaminhado directamente para a prestação de cuidados de saúde, podendo a sua identificação ser feita paralela ou posteriormente à prestação de cuidados de saúde. No caso de ser um doente urgente pode ainda apresentar dois estados: independente ou dependente. Se o doente é independente segue pelos seus meios para a identificação, se o doente é dependente é transferido para uma cadeira de rodas ou maca rodada, sendo a sua identificação feita simultaneamente pelo seu acompanhante.

Vista funcional

A funcionalidade controla os requisitos na maioria das aplicações. Na perspectiva do doente o sistema deve oferecer informações ou comportamentos para dar suporte ao processo ou aos objectivos de um serviço de urgência hospitalar [Pender 2004]. Com os diagramas de casos de utilização é possível modelar o que os doentes esperam encontrar quando interagem com a admissão de um serviço de urgência hospitalar, figura 5. O subsistema “admissão de doente” é responsável pela recepção e identificação dos doentes que se dirijam a um serviço de urgência hospitalar.

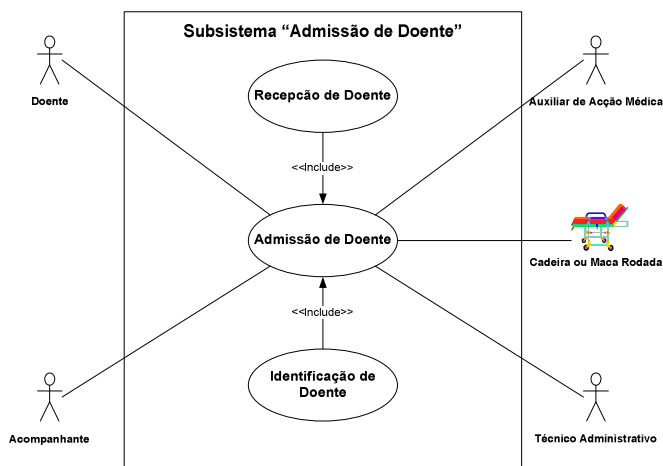


Figura 5 – Diagrama de caso de utilização do subsistema “admissão de doente”

Diagrama de sequência do subsistema “admissão de doente”

O diagrama de sequência do subsistema “admissão de doente” é representado na figura 6. Neste diagrama podem ver-se as principais interações (transacções) que ocorrem neste subsistema:

- TID1: transacção que se verifica entre o doente e o técnico administrativo (doente urgente independente);
- TID2: transacção entre o técnico administrativo e o repositório de dados;
- TID3: transacção que se verifica entre o acompanhante e o técnico administrativo (doente urgente dependente). Esta transacção é em tudo idêntica a TID1;
- TRD1: transacção entre o doente e o auxiliar de acção médica (doente urgente dependente);
- TRD2: transacção entre o auxiliar e o repositório de cadeiras ou macas rodadas.

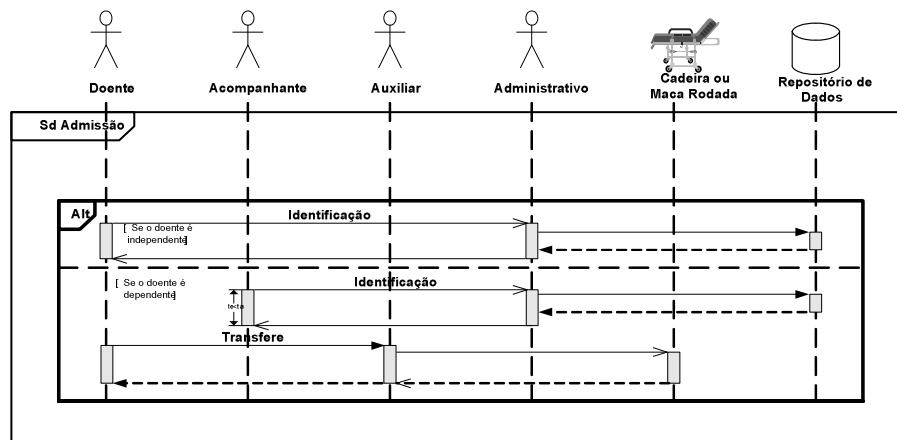


Figura 6 – Diagrama de sequência do subsistema “admissão de doente”.

Temporização dos processos

A aplicação de técnicas formais a modelos de negócio temporizados em ambiente hospitalar exige a identificação de todas as transacções que deles fazem parte (análise “micro”). Numa perspectiva sócio-tecnológica, qualquer transacção (ver figura 2), deve estar sujeita aos seguintes pressupostos: (1) uma transacção é a unidade básica de um processo; (2) são trocadas mensagens, entre os intervenientes, até se verificar uma mudança de estado; (3) em cada transacção intervêm apenas dois recursos; (4) qualquer mudança de estado é permanente; (5) as mensagens são autorizadas; (6) deve ser garantida a autenticidade das mensagens; (7) deve ser garantida a confidencialidade das mensagens [Guiochet 2003].

Sintaxe

Para modelar o tempo no contexto do presente trabalho consideramos que um diagrama de sequência UML temporizado pode ser representado como um grafo no sentido matemático. Assim, de facto, o diagrama de sequência pode ser representado pelo seguinte túbulo DST = (recurso, mensagem, relógio, temporizador):

- **recurso**: representa os dois recursos envolvidos na transacção modelada através do diagrama de sequência;
- **mensagem**: é desencadeada por cada um dos recursos quando estes necessitam de manifestar algum tipo de comportamento que exija a participação do outro recurso envolvido na transacção;
- **relógio**: tem a finalidade de gerir a duração de uma determinada transacção independentemente dos temporizadores associados a cada um dos recursos;
- **temporizador**: está afecto a cada um dos recursos envolvidos na transacção e refere-se à duração da execução da sua participação numa determinada transacção.

Utilizando esta sintaxe podemos representar o diagrama de sequência representado na figura 2, como sendo um túbulo (R, M, Rlg, T), sendo:

- $R = \{\text{recurso}_1; \text{recurso}_2\}$;
- $M = \{\text{mensagem}_1; \text{mensagem}_2; \dots, \text{mensagem}_{n-1}; \text{mensagem}_n\}$;
- $Rlg = \{t_1=0; t_2=0; \dots; t_n=0\}$;
- $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4 \dots\}$

Semântica

Para modelação dos processos, vamos recorrer aos diagramas de sequência UML para tratar as restrições relativas ao tempo (ver figura 7). Quando um recurso envia uma mensagem deve ser activado um temporizador, como se pode facilmente depreender a acção desencadeada pelo envio de uma mensagem terá uma certa duração, que pode ser importante considerar na verificação dos modelos. Também pode acontecer existirem atrasos entre transacções que devam ser considerados.

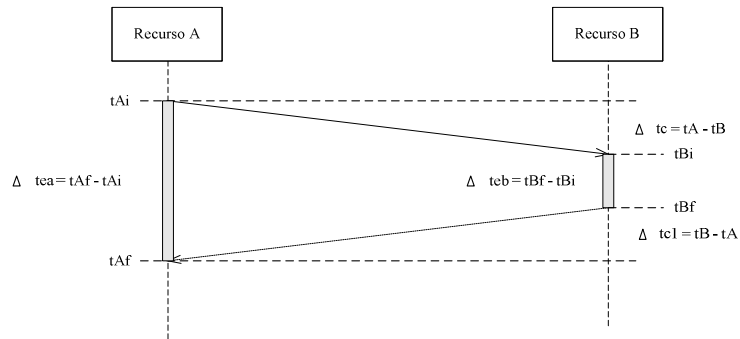


Figura 7 – Semântica do diagrama de sequência de um processo temporizado

Para modelar o tempo introduzimos restrições temporais associadas às diversas mensagens trocadas. Cada mensagem temporizada terá associado um intervalo de tempo $[t_A, t_B]$, em que t_A e t_B são relativos ao instante em que a mensagem temporizada tem início (t_A) e ao instante em que tem início a resposta à mensagem (t_B). Este intervalo de tempo é associado a um temporizador inerente a cada uma das mensagens temporizadas ($\Delta t_C = t_A - t_B$).

Também a execução das transacções tem uma determinada duração. Cada execução tem associado um intervalo de tempo $[t_{Ai}, T_{Af}]$, em que t_{Ai} é relativo ao instante em que a execução tem início e t_{Af} é relativo ao instante em que a execução termina. Também a estes tempos são associados temporizadores, à semelhança do que acontece para a temporização de mensagens ($\Delta t_{ea} = t_{Af} - t_{Bi}$).

Para além dos temporizadores utilizaremos relógios. Considerando que num processo hospitalar podem coexistir, simultaneamente, várias transacções que podem ser tratados concorrentemente, associaremos a cada um dos objectos um relógio com o objectivo de contar as unidades de tempo associadas a cada um deles em todo o percurso ao longo do processo. Considera-se o tempo dividido em fatias, o relógio permanecerá em cada fatia enquanto existir algum temporizador associado a um objecto em actividade.

Conforme se pode verificar (ver figura 8) podemos estabelecer a medida em unidades de tempo entre dois estados do mesmo temporizador, mas só poderemos estabelecer uma comparação relativa entre temporizadores diferentes na mesma unidade de tempo.

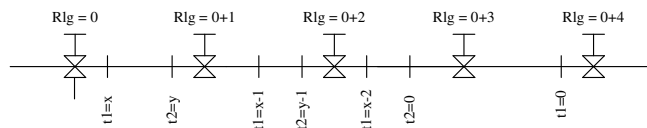


Figura 8 – O relógio é incrementado enquanto algum temporizador for positivo

4. Validação formal

A validação formal consiste na construção de um modelo utilizando uma linguagem formal que permita simular o seu funcionamento e verificar as suas propriedades. Entre as diversas técnicas existentes, para verificação formal de sistemas, a verificação de modelos “*model checking*” tem alcançado resultados bastante relevantes e tem sido cada vez mais utilizada fora do meio académico, devido à sua facilidade de uso, aplicabilidade e à existência de ferramentas para verificação automática de propriedades.

As regras associadas ao comportamento de uma transacção podem facilmente ser transpostas para LTL (Linguagem Temporal Lógica). Estas regras associadas ao modelo formal do processo permitem através da utilização de um verificador de modelos verificar a conformidade dos processos. Estas técnicas são úteis na verificação de processos hospitalares, sendo actualmente consideradas imprescindíveis em sistemas que envolvam risco.

O verificador de modelos SPIN opera em dois modos. O primeiro modo permite que o utilizador se familiarize com o comportamento do sistema modelado, simulando a sua execução. O segundo modo faz a verificação de todos os estados possíveis verificando a conformidade de regras [Bérard et al. 2001]. O SPIN pode ser utilizado para verificar a consistência de sistemas que executem processos concorrentes [Holzmann 2004].

Inicialmente todos os relógios são colocados a “zero”. Os temporizadores quando activados são colocados no valor correspondente à duração da transacção temporizada correspondente. Os temporizadores são decrementados e enquanto algum deles estiver activo o relógio correspondente vai sendo incrementado.

Definidos os processos, é usual testar os seus modelos quanto à sua correcção formal [Fisteus et al. 2004]. Isto pode ser feito com recurso à verificação formal dos modelos com recursos a ferramentas adequadas. No entanto é necessário que os modelos ao serem construídos tenham em atenção a utilização de uma semântica assim como de uma sintaxe, conforme já referido. Em [Eshuis 2002] é adicionada semântica aos digramas de actividade UML para facilitar a transformação destes modelos na linguagem formal PROMELA.

4.1. Simulação

O modelo formal do diagrama de sequência UML de um processo hospitalar concorrente temporizado pode ser transposto para linguagem PROMELA. Após a sua transposição para PROMELA pode efectuar-se a sua simulação com o verificador de modelos SPIN.

Neste caso tomamos como exemplo a transacção já referida, admitindo que existem 10 doentes que necessitam de ter acesso a serviços fornecidos pelo recurso B. Vamos simular o seu comportamento para três situações: a) existe somente um recurso B; b) existem três recursos B e c) existem seis recursos B. Os resultados para cada uma das situações referidas podem ver-se na figura 9, considera-se que a resposta a cada pedido demora em média 5 unidades de tempo.

Note-se que no caso representado em a) os pedidos são satisfeitos sequencialmente demorando a resposta ao último pedido 50 unidades de tempo. Na situação mostrada em b) a resposta às solicitações é feita de forma concorrente, demorando a resposta ao último pedido 20 unidades de tempo. Similarmente na situação retratada em c) o último pedido é satisfeito em 15 unidades de tempo porque existem mais recursos a fornecerem serviços.

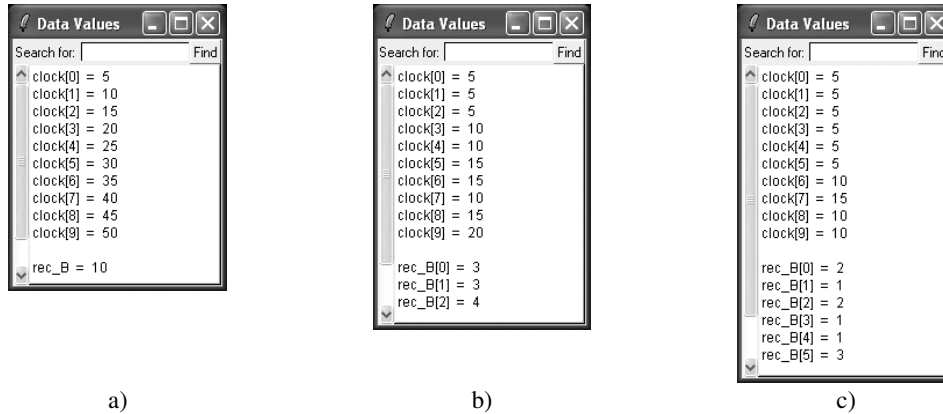


Figura 9 – Resultado da simulação efectuada com o SPIN

4.2. Verificação

A verificação do modelo permite averiguar se determinadas regras do negócio são verificadas. No caso em análise há algumas regras básicas do negócio que podem ser modeladas e verificadas. Vamos considerar uma regra simples que consiste em garantir que todo o doente (recurso A) que solicita a participação de um recurso B é identificado.

Regra

Todo o doente deve ser identificado

#define s (len (fila_admin) == 0)

Formula As Typed: <> [] s

Quadro 1 – Descrição da regra que garante que todo o doente é identificado

A identificação de todos os doentes que chegam a um serviço de urgência hospitalar é um factor determinante para minimizar o risco de prestar cuidados de saúde a doentes não identificados, minimizando-se assim o risco de não identificar atempada e adequadamente o episódio clínico no registo clínico do doente.

Na figura 10 vemos o quadro com o resultado da verificação do modelo do processo concorrente temporizado que estamos a considerar neste trabalho.

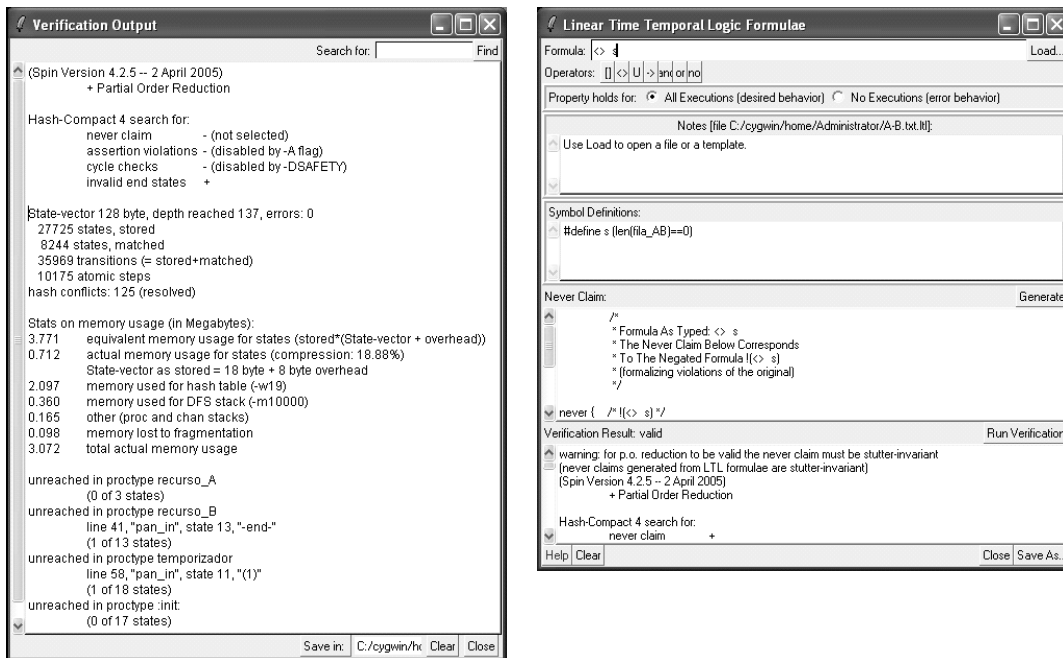


Figura 10 – Resultados da verificação do modelo e fórmula temporal para verificar se todos os doentes são identificados

5. Conclusão e proposta de trabalho futuro

A modelação de processos de negócio em ambiente hospitalar constitui um importante instrumento na definição de uma metodologia que associada ao conceito de transacção, é fundamental para que se possa modelar o processo subjacente a cada transacção e para que se possam seguidamente aplicar metodologias com base em modelos formais que permitam a sua validação formal.

A proposta de modelação, que apresentamos no presente trabalho, utilizando a estrutura de referência CEO juntamente com diagramas de sequência UML é uma proposta viável conforme se pode ver pela apreciação do exemplo apresentado.

A simulação e a verificação formal de modelos de negócio são fundamentais para que se possa garantir a sua coerência e consistência. Esta garantia permite avaliar o comportamento de negócios tão complexos como um serviço de urgência hospitalar permitindo pela análise dos modelos propor soluções que melhorem o desempenho do negócio em situação real.

O presente trabalho permite concluir que a modelação de processos de negócio em ambiente hospitalar com um nível de abstracção que permita a sua compreensão sem tornar a tarefa demasiado complexa e em que seja igualmente possível modelar os mesmos processos com recursos a lógica formal permite efectuar a sua validação formal (simulação e verificação) com recurso a um verificador de modelos.

A variável tempo, em determinados processos de negócio em ambiente hospitalar, reveste-se de extraordinária importância sendo oportuno desenvolver esforços no sentido de a representar formalmente e poder verificar regras temporais.

6. Referências

- Alur, R., G. J. Holzmann, et al. (1966). "An Analyzer for Message Sequence Charts." Software-Concepts and Tools **17**: 70-77.
- Bérard, B., M. Bidoit, et al. (2001). Systems and Software Verification: Model-Checking Techniques and Tools. Berlim, Springer.
- Booch, G., J. Rumbaugh, et al. (1999). The Unified Modeling Language User Guide, Addison Wesley.
- Bosnacki, D. (1998). Extending Promela and Spin with Discrete Time. VIRES project meeting. Grenoble.
- Combes, C., C. Force, et al. (1993). Modelling Methodology for Hospital Systems: Application to an Emergency Department. Systems, Man and Cybernetics, Le Touquet, France.
- Eshuis, H. (2002). Semantics and Verification of UML Activity Diagrams for Workflow Modelling. Centre for Telematics and Information Technology (CTIT). Enschede, University of Twente. **Ph. D.**: 240.
- Fisteus, J. A., A. M. López, et al. (2004). VERBUS: A Formal Model for Business Process Verification. Information Resources Management Association International Conference. New Orleans, Louisiana, USA.
- Gospodarevskaya, E., L. Churilov, et al. (2005). Modelling the Patient Care Process of an Acute Care Ward in a Public Hospital: A Methodological Perspective. 38th Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, Hawaii.
- Guelfi, N. and A. Mammar (2005). A Formal Semantics of Timed Activity Diagrams and its PROMELA Translation. APSEC'2005: Asia Pacific Software Engineering Conference, Taipei, Taiwan.
- Guiochet, J. (2003). Maîtrise de la Sécurité des Systèmes de la Robotique de Service: Approche UML Basée sur une Analyse du Risque Système. Laboratoire d'étude des systèmes Informatiques et Automatiques. Toulouse, L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. **Docteur**.
- Holzmann, G. J. (2004). The Spin Model Checker: Primer and Reference manual. Boston, Addison-Wesley.
- Janssen, W. and R. Mateescu (2000). Verifying Business Process Using SPIN. Enschede, Telematics Institute.
- Li, X. and J. Lilius (1999). Timing Analysis of UML Sequence Diagrams. TUCS Technical Report No 281. Turku, University of Turku, 16.
- Mammar, A. and N. Guelfi (2004). A Formal Approach for the Verification of E-business Processes Using the Promela language. Luxembourg, University of Luxembourg.
- Matousek, P. (2003). Verification of Business Process Models. departament of Computer Science. Ostrava, Technical University of Ostrava. **Ph. D.**: 94.
- Pender, T. (2004). UML, a Bíblia. Rio de Janeiro, Elsevier.
- Tribolet, J. (2002). Engenharia Organizacional: A Engenharia ao Serviço das Organizações, CEO, INESC-INOV.
- Xuandong, L., C. Meng, et al. (2001). Timing Analysis of UML Activity Diagrams. M. Gogolla and C. Kobryn.