

Elaboração de especificações adaptativas: uma abordagem biomimética

Í. S. Vega, C. E. P. de Camargo e F. S. Marcondes

Abstract—Projetos de software são caracterizados pelo desenvolvimento de soluções personalizadas, únicas, mesmo em situações que se apoiam em camadas computacionais reutilizáveis. Especificações comportamentais adaptativas foram propostas com o intuito de lidar, explicitamente, com esta natureza dos projetos de software. A capacidade intuitiva do modelador é peça-chave na elaboração de tais especificações, que pode ser ampliada caso ele busque inspiração na biologia. A biomimética pode ser utilizada para desenvolver esta intuição em projetos de software. Este artigo apresenta uma técnica que aplica o Método de Transposição Semiótica (MTS) no contexto de dispositivos adaptativos visando introduzir uma sistemática semiótica no processo de elaboração de especificações adaptativas. O conceito de unidade biomimética adaptativa habituação-sensibilização (UBA-HS) para aplicações de software é um dos importantes resultados do emprego desta técnica.

Palavras-chave:—Especificação adaptativa, transposição semiótica, padrões de análise.

I. INTRODUÇÃO

A biomimética é a ciência que estuda os modelos e processos da natureza com a finalidade de reproduzi-los em busca de soluções para problemas humanos [1]. Os processos da natureza incluem os fenômenos de natureza biológica e estes são os objetos de estudo neste trabalho. As aplicações mais comuns da biomimética relacionam-se ao desenvolvimento de produtos tangíveis inspirados em modelos de tais fenômenos. No entanto, mecanismos biológicos de caráter mais abstrato também podem servir como fontes de inspiração. Aqui, os campos da Ciência da Computação, da Bio-robótica e da Ciência Cognitiva fornecem vários exemplos: computação natural [2], bio-robótica [3] e inteligência artificial [4]. Estas são algumas áreas dentro desses campos que podem ser relacionados com abordagens biomiméticas. De forma mais ou menos direta, tais áreas inspiram-se em processos biológicos na busca de sistemas computacionais mais eficientes.

A ideia de buscar inspiração em organismos vivos para o desenvolvimento de algoritmos apoia-se na intenção de buscar novas perspectivas e soluções para problemas de processamento computacional de informações. Owens define um sistema computacional biologicamente inspirado “como um sistema de processamento de informações cuja estrutura e função foram projetados com inspiração em algum sistema biológico” [5]. Ele também introduz a noção de algoritmos bio-inspirados: são “uma classe de sistemas biologicamente inspirados restritos às preocupações computacionais”. Na visão de Reddy, algoritmos evolucionários são aqueles inspirados na “sobrevivência dos mais adaptados ou nos princípios de

seleção natural” [6]. Neste sentido, algoritmos evolucionários são “métodos computacionais inspirados pelos processos e mecanismos da evolução biológica”. O uso da inspiração biológica originou diversos paradigmas, tais como algoritmos genéticos [7], programação genética [8], programação evolucionária [9], etc. Neste artigo, o caminho que conecta a biologia com os algoritmos será percorrido com o Método de Transposição Semiótica, proposto por Camargo [10].

O Método de Transposição Semiótica (MTS) tem a finalidade de transpor comportamentos biológicos de seu campo original para o campo computacional. Devido à complexidade inerente aos fenômenos naturais, o campo da semiótica foi utilizado como elemento intermediário entre os dois campos em questão, pois atua identificando aqueles aspectos essenciais a serem convertidos em cálculos computacionais.

Este artigo apresenta uma técnica de uso deste método geral no desenvolvimento de tipos específicos de entidades computacionais baseados em dispositivos adaptativos. As entidades computacionais assim elaboradas são formalizadas por meio das especificações adaptativas propostas por Vega [11]. A título de ilustração, consideram-se os fenômenos biológicos relacionados à capacidade de aprendizagem de um invertebrado marinho, a *Aplysia californica*. Este caso aponta para possibilidades de uso da entidade computacional resultante em domínios específicos e também aponta para a possibilidade de ampliar o escopo do MTS para a geração de vários modelos de dispositivos adaptativos decorrentes do estudo de outros fenômenos biológicos gerando, assim, um dicionário de modelos biomiméticos com especificações adaptativas próprias, aos moldes dos *analysis patterns* propostos por Fowler [12].

As demais seções deste artigo encontram-se assim organizadas. Na Seção II apresenta-se a relação primária entre a biomimética e a adaptatividade. A Seção III mostra como empregar especificações adaptativas para expressar modelos elaborados com a utilização do MTS. A Seção IV introduz a ideia de unidade biomimética adaptativa no contexto de padrões de projeto de software. A Seção V aponta na direção de possíveis usos desta técnica, como no caso do problema KWIC [13] e da *Internet das Coisas* [14].

II. BIOMIMÉTICA E ADAPTATIVIDADE

O desenvolvimento de sistemas computacionais biomiméticos pode servir a dois propósitos distintos e excludentes. Primeiro, como ferramenta para biólogos estudarem o comportamento de um determinado animal e, segundo, como suporte para engenheiros estudarem e avaliarem algoritmos biologicamente inspirados para aplicações em engenharia [3]. São

Ítalo S. Vega, Carlos Eduardo P. de Camargo e Francisco S. Marcondes, Departamento de Computação, PUC-SP

propósitos que partem de bases similares, uma vez que ambas buscam a transposição de fenômenos do campo biológico para o campo computacional, mas radicalmente diferentes em seus objetivos. O biólogo procura simular todos os aspectos orgânicos de um dado fenômeno com exatidão. O engenheiro, por outro lado, procura inspirar-se no comportamento biológico subjacente ao organismo em questão, representando apenas o seu aspecto abstrato essencial, suficiente para chegar a um algoritmo.

Com o objetivo de auxiliar no processo de desenvolvimento de softwares biomiméticos cujos propósitos coincidam com o segundo tipo descrito acima, ou seja, o estudo de algoritmos biológicos para potenciais aplicações em engenharia, foi desenvolvido o MTS [10]. A hipótese fundamental do MTS é a de que a Semiótica pode ser utilizada como campo intermediário na transposição entre os campos biológico e computacional. Este método heurístico procura reconhecer as semioses que operam no campo biológico transpondo-as como funções algorítmicas ao campo computacional. Cada tríade semiótica — objeto/signo/interpretante — corresponde, respectivamente, a uma interpretação de processo mecânico também de carácter triádico — entrada/processamento/saída — implementada por um entidade de natureza computacional, tal como um módulo ou uma classe, etc, por exemplo.

O argumento de Searle considera que as operações de um cérebro podem ser computacionalmente simuladas, descartando-se a produção da sua consciência e das suas propriedades emergentes [15]. Neste trabalho, a atribuição de funções aos comportamentos e processos biológicos não tem o objetivo de produzir a consciência de um *Aplysia californica*. A intenção primária é de elaborar modelos computacionais biologicamente inspirados em tal espécie de animal. Por conseguinte, o primeiro caso de aplicação do MTS teve como objetos de estudo os comportamentos de habituação e sensibilização daquele invertebrado marinho [10]. Esses comportamentos de aprendizagem são essenciais à sobrevivência do animal por dotá-lo da capacidade de distinguir informações relevantes provenientes de seu *habitat*. Segundo Kandel [16], a habituação permite que o comportamento do animal adquira foco. Quando ainda na sua infância, o animal quase sempre responde com exagero a estímulos não ameaçadores. Habituar-se a tais estímulos faz com que o animal se concentre em estímulos realmente importantes para a organização de sua percepção e, consequentemente, para a sua sobrevivência. Por outro lado, a sensibilização é a imagem espelhada da habituação, fazendo com que o animal tenha respostas comportamentais acentuadas a qualquer estímulo, mesmo os não nocivos, após ser exposto a um estímulo verdadeiramente ameaçador. É uma espécie de medo aprendido [16] que aumenta o nível de atenção do animal em contextos específicos. O processo bio-químico subjacente a esta dinâmica comportamental apresenta fatores de adaptatividade inerentes aos circuitos neurais envolvidos. Tais fatores, por sua vez, apontam para semelhanças com os dispositivos adaptativos da teoria das linguagens formais.

Neto define o dispositivo adaptativo como um formalismo que tem a capacidade de alterar dinamicamente sua topologia e seu comportamento, de forma autônoma [17]. Em um modelo biomimético, as mudanças comportamentais de um organismo

devem-se tanto a estímulos externos quanto a internos. A sua reação comportamental resulta da consideração de ambos os tipos de estímulos. Nos termos operacionais de um dispositivo adaptativo, o modelo biomimético de um comportamento pode ser especificado por um conjunto de regras automodificáveis dinamicamente, conforme será apresentado na Seção IV. Para isso, será explorado o mecanismo adaptativo do dispositivo proposto por Neto, responsável por estas características de transformação dinâmica do seu comportamento, como sugerido por Tchémra [18]. O mecanismo faz uso de três categorias de ações adaptativas elementares: consulta, exclusão e inclusão. Uma função adaptativa abstrai particulares combinações destas ações elementares.

III. ESPECIFICAÇÕES ADAPTATIVAS

Neto e Silva propuseram um arcabouço adaptativo para suportar linguagens de especificação no contexto de um processo incremental de análise [19]. A ênfase do arcabouço é no dispositivo adaptativo utilizado como base para o projeto de uma linguagem de especificação com capacidades operacionais. Em um trabalho complementar, Vega introduziu a noção de métodos adaptativos como parte de uma semântica operacional para os autômatos adaptativos baseada no paradigma de objetos [20]: “A cada transição do autômato finito subjacente, será vinculada uma abstração do efeito conjunto das funções adaptativas *before* e *after* sobre a configuração da topologia de estados e transições do autômato.” Assim, quando da ocorrência de um tipo de evento vinculado a uma transição adaptativa, executa-se o correspondente método adaptativo. Tal execução poderá provocar uma reconfiguração na topologia do autômato subjacente, em termos similares aos quais um autômato adaptativo se altera por força da aplicação de alguma função adaptativa. Métodos adaptativos serviram como fundamentação das *especificações adaptativas*. Uma apropriada combinação dos efeitos dos métodos adaptativos deverá ser o objetivo durante a elaboração de uma especificação de requisitos comportamentais [11]: “Associada a cada transição, dever-se-á descrever quais mudanças a configuração do autômato deverá sofrer para que se expresse o comportamento desejado.”

Na Fig. 1 ilustra-se a configuração do autômato adaptativo AA na forma de um diagrama de estados com métodos adaptativos. Inicialmente, o autômato encontra-se no estado S1. De acordo com o modelo do diagrama, ele permanecerá neste estado enquanto houver alguma ocorrência de um evento do tipo *e1*. O método adaptativo *ma* será executado na ocorrência de um evento do tipo *e2*. Neste modelo, a execução de *ma* provocará uma reconfiguração do autômato adaptativo, tanto nos seus estados, quanto nas suas transições, como será apresentado a seguir.

A Fig. 2 ilustra a nova configuração do autômato, decorrente da execução do método adaptativo *ma*. Observa-se que o estado S1 foi substituído pelo estado S2 nesta configuração. Além disso, manteve-se a reação comportamental em relação a eventos do tipo *e1*, mas não em relação a eventos do tipo *e2*. Do ponto de vista comportamental, o autômato permanecerá sensível aos eventos *e1* no estado S2. Nenhum outro tipo de evento será tratado pelo autômato AA deste ponto em diante no tempo.

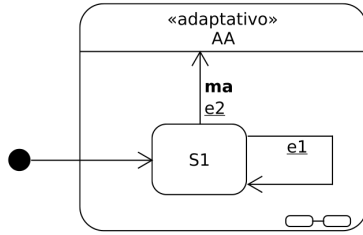
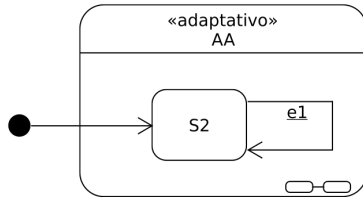


Figura 1. Configuração inicial do autômato AA


 Figura 2. Configuração do AA depois do e_2

Além da forma gráfica, a especificação do exemplo comportamental do autômato AA pode ser apresentada na forma de uma tabela de transições adaptativas, como mostrado por Vega [11]. A tabela ajuda na definição do modelo. No entanto, a atividade de elaboração de um modelo computacional ainda se apoia na capacidade intuitiva do especificador. O MTS pode ser utilizado para estimular esta intuição. Na próxima seção esta ideia será ilustrada em um caso de especificação adaptativa biomimética.

IV. UNIDADE BIOMIMÉTICA ADAPTATIVA HS

A aplicação do MTS ao comportamento da *Aplysia* (Seção II) resultou num metamodelo computacional que pode ser representado por dois estados: habituado e sensibilizado. O estado **Habituado**, por sua vez, subdivide-se em dois subestados: **Normal** e **Alerta**. As transições entre estados decorrem de um estímulo externo combinado com um fator de ajuste interno que regula a tendência e velocidade com que as transições são realizadas. Assim, esta unidade computacional pode ser aplicada à solução de problemas algorítmicos que exijam certo tipo de capacidade de aprendizagem ou de adaptabilidade [10]. Na teoria das linguagens formais, os dispositivos adaptativos são assim considerados por seus comportamentos se adaptarem dinamicamente como resposta espontânea aos estímulos de entrada que os alimentam [11]. Por conseguinte, justifica-se a tentativa de se explorar os possíveis resultados que podem ser alcançados tomando-se o uso do metamodelo proveniente da aplicação do MTS no comportamento de aprendizagem do *Aplysia* como base para uma técnica de modelagem de software adaptativo. Este artigo propõe o uso desta unidade de modelagem como base para uma técnica de modelagem de software adaptativo, o que será descrito a seguir.

Inicialmente, elaborase um modelo com um estado **Habituado**, constituído por dois subestados: «normal» N e um estado de «alerta» A. Estes dois estados são interligados

por transições desencadeadas por eventos dos tipos eh e es , que modelam um comportamento computacional de alternância entre eles. Além disso, existe um método adaptativo **mh** que, ao ser executado, introduz um novo estado na configuração: «sensibilizado» S com uma autotransição associada ao evento es e outra, associada ao método adaptativo **ms**, que restaura a configuração inicial do autômato subjacente. Aquela transição adaptativa também remove os dois estados originais (normal e atenção), bem como as duas transições que os interligam. A execução do método adaptativo **ms** restaura os estados N e A, bem como as transições com os eventos en , ea e método adaptativo **mh**.

Uma unidade biomimética adaptativa habituado-sensibilizado (UBA-HS) é constituída por três categorias de estados: normal, alerta e sensibilizado, respectivamente denotados por N, A e S na Fig. 3. O estereótipo «adaptativo» indica que se trata de um estado potencialmente alterado pelo mecanismo de métodos adaptativos [11]. Na referida unidade, qualquer aplicação de um método adaptativo poderá transformar os estados de uma categoria de estados.

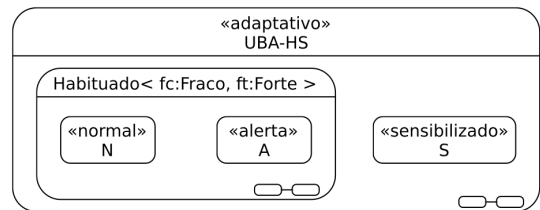


Figura 3. Modelo de estados da UBA-HS

Na configuração inicial, o dispositivo possui apenas estados da categoria «normal» e «alerta» (Fig. 4). Um estado da categoria «normal» suporta apenas estímulos externos do tipo eh , parametrizado por um sinal de fraca intensidade fc e outro de forte intensidade ft . Considera-se que o dispositivo ainda não se encontra habituado a ocorrências de estímulos do tipo eh . Assim, na ocorrência de um estímulo eh com um sinal fraco fc , o dispositivo entra em estado de alerta A. Sucessivas ocorrências de estímulos deste tipo — oriundas de um sinal fraco fc — fazem o dispositivo permanecer no estado de alerta A. Ao longo do tempo, uma condição de habituação irá se estabelecer. No *Aplysia*, tal condição está relacionada às alterações metabólicas que lhe é característico, sendo desencadeadas pela presença de uma certa quantidade de estímulos eh do sinal fc . O estabelecimento desta condição de habituação é capturado em um contador arbitrário, integrante do modelo do autômato subjacente da UBA-HS. Assim, o dispositivo se habitua e fica insensível a ocorrências adicionais de eh oriundas do sinal fc . Deste momento em diante, o dispositivo permanecerá no estado N. Duas situações podem alterar o estado do dispositivo em tais tipos de configuração. Em uma delas, mesmo diante de um sinal fc , o estado da UBA-HS se altera para A por decorrência da perda de memória em relação a fc . Em outra situação, o seu comportamento será alterado quando houver a ocorrência de um estímulo do tipo eh provocado por um sinal forte ft . Esta transição encontra-

se associada ao método adaptativo **mh** que, ao ser executado, altera a configuração do autômato adaptativo UBA-HS.

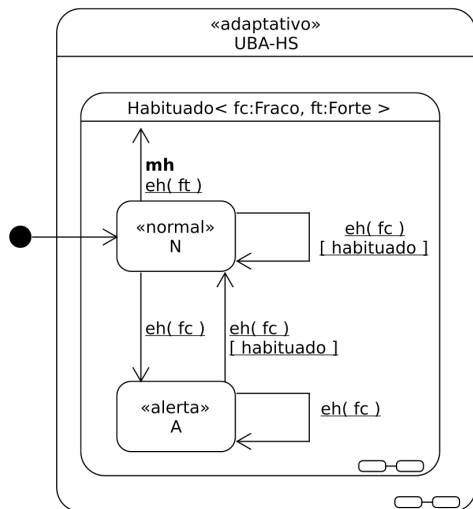


Figura 4. Configuração inicial do dispositivo adaptativo

Na ocorrência de uma transição adaptativa quando o dispositivo encontra-se em algum dos seus estados da categoria “normal”, a configuração se altera com a incorporação de estados das outras categorias de estados biomiméticos (Fig. 5). Em tais configurações, a UBA-HS passa a exibir uma riqueza maior de comportamentos, ora guiados por estímulos externos, ora guiados por algum fator interno, indicado por *nível*. Alterações no valor deste nível podem ser modeladas por meio de diferentes estratégias probabilísticas.

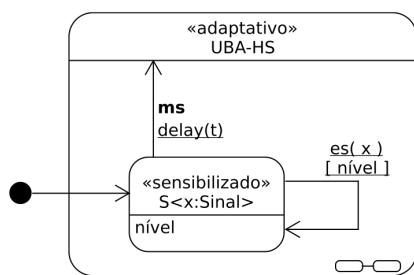


Figura 5. Efeito da função adaptativa Ah

V. CONCLUSÃO

Este artigo mostrou a utilização do MTS em conjunto com dispositivos adaptativos para a elaboração de especificações adaptativas no sentido proposto por Vega [11]. Partindo de fenômenos biológicos exibidos pelo animal *Aplysia*, o emprego das semioses do MTS produziu um modelo comportamental que combinou estados de habituação e de sensibilização. Estes são estados que modelam a reação do animal a diferentes tipos e intensidades de sinais por ele percebidos. Um dispositivo adaptativo foi utilizado para modelar os particulares fenômenos que desencadeiam as mudanças

comportamentais do animal. A técnica de especificações adaptativas suportou a representação do modelo adaptativo assim elaborado. Um posterior refinamento originou um padrão de comportamento chamado de unidade biomimética adaptativa habituação-sensibilização (UBA-HS), também proposto neste artigo. Estes resultados apontam na direção de um catálogo de padrões biomiméticos adaptativos que se encontra em elaboração nesta pesquisa. Em particular, uma versão preliminar da UBA-HS foi utilizada em um ensaio de modelagem do KWIC [13] e está em estudo o seu emprego no contexto da *Internet das Coisas* [14], os quais não foram alvo de discussão detalhada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] J. M. Benyus, *Biomimética: Inovação inspirada pela natureza*. São Paulo, SP, Brasil: Cultrix, 2003.
- [2] L. N. Decastro, “Fundamentals of natural computing: an overview,” *Physics of Life Reviews*, pp. 1–36, 2007.
- [3] B. Webb and T. R. Consi, *Biorobotics, methods and applications*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2001.
- [4] J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, and C. Shannon, “A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence,” *AI Magazine*, vol. 27, pp. 12–14, 1955.
- [5] N. D. L. Owens, “From biology to algorithms,” Ph.D. dissertation, University of York, 2010.
- [6] M. J. Reddy and D. N. Kumar, “Computational algorithms inspired by biological processes and evolution,” *Current Science*, vol. 103, pp. 370–380, 2012.
- [7] M. Mitchell, *An introduction to genetic algorithms*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 1998.
- [8] N. L. Cramer, “A representation for the adaptive generation of simple sequential programs,” in *Proceedings of the 1st international conference on genetic algorithms*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc., 1985, pp. 183–187.
- [9] J. Brownlee, *Clever algorithms: Nature-inspired programming recipes*. Lulu Enterprises Incorporated, 2011.
- [10] C. E. P. Camargo, “Método de transposição semiótica para modelagem computacional biomimética,” Master’s thesis, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2014.
- [11] I. S. Vega, “Especificações adaptativas e objetos, uma técnica de design de software a partir de statecharts com métodos adaptativos,” in *Memórias do VI Workshop de Tecnologia Adaptativa – WTA 2012*, São Paulo, SP, Brasil, 2012, pp. 68–79.
- [12] M. Fowler, *Analysis patterns reusable object models*. Addison Wesley, 1996.
- [13] D. L. Parnas, “On the criteria to be used in decomposing systems into modules,” *Communications of the ACM*, vol. 15, pp. 1053–1058, 1972.
- [14] K. Ashton, “That ‘internet of things’ thing: In the real world, things matter more than ideas,” *RFID Journal*, June 2009.
- [15] J. R. Searle, *The Rediscovery of the Mind (Representation and Mind)*. The MIT Press, 1992, paperback.
- [16] E. R. Kandel, *Em busca da memória: O nascimento de uma nova ciência da mente*. São Paulo, SP, Brasil: Companhia das Letras, 2006.
- [17] J. J. Neto, “Adaptive rule-driven devices – general formulation and case study,” in *International conference on implementation and application of automata*, E. Springer-Verlag, Ed., 2001, pp. 234–250.
- [18] A. H. Tchemra, “Application of adaptive technology in decision making systems,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 5, 2007.
- [19] J. J. Neto and P. S. M. Silva, “An adaptive framework for the design of software specification languages,” in *Proceedings of international conference on adaptive and natural computing algorithms*, 2005, pp. 21–23.
- [20] I. S. Vega, “An adaptive automata operational semantic,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 6, pp. 461–470, 2008.