

Um Glossário sobre Adaptatividade

J. J. Neto

Resumo — Este material complementa o tutorial sobre adaptatividade e temas afins, que foi apresentado em São Paulo, em 29 de janeiro de 2009, por ocasião do WTA 2009 – Terceiro Workshop de Tecnologia Adaptativa. Procura concentrar os principais conceitos, e apresentar uma versão atualizada da terminologia técnica referente ao tema, levando em consideração os mais recentes avanços científicos e tecnológicos da área. Pretende-se com isso proporcionar, aos interessados na adaptatividade, um panorama atualizado da terminologia em uso, visando à uniformização do vocabulário empregado nas futuras publicações dessa área.

Palavras-chave — Adaptatividade, Dispositivos Adaptativos, Comportamento Auto-modificável, Sistemas Adaptativos, Tecnologia Adaptativa.

IV. Conceitos e terminologia

Na pesquisa empreendida pelo LTA, desde sua criação, o tema de interesse central tem sido o estudo da teoria e das aplicações de dispositivos e de sistemas que apresentam comportamento variável, e, em especial, daqueles conhecidos como adaptativos os quais exibem comportamento autonomamente auto-modificável.

A implementação de tais sistemas é realizada, geralmente, na forma de softwares preparados para exibirem alterações dinâmicas em sua funcionalidade.

Tais alterações funcionais são as responsáveis pela realização computacional desses comportamentos dinâmicos, autonomamente auto-modificáveis, ou seja, do conceito da adaptatividade.

Há muitos estudos de sistemas e dispositivos com comportamento dinâmico, mas nem todas as publicações que os descrevem costumam empregar uma terminologia uniforme e consistente para designar os fenômenos e as atividades estudadas.

A finalidade desta seção é a de discutir o significado de alguns termos técnicos, muito utilizados nas publicações sobre tecnologia adaptativa, mas cujo emprego correto tem apresentado, com frequência, dúvidas e mal-entendidos.

O texto que segue relata resultados dos últimos esforços efetuados em uma tentativa de esclarecer o significado dos principais desses termos, em busca de uma padronização da terminologia, através de uma proposta concreta de uniformização do uso de algumas das palavras e expressões mais problemáticas.

A. Adaptatividade, Autômatos e Tecnologia Adaptativa

O foco principal da terminologia a que se refere este particular estudo reside no comportamento variável dos softwares, e softwares auto-modificáveis são os que maior interesse apresentam para essa área.

João José Neto é professor associado do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da EPUSP, e foi o coordenador geral do evento WTA 2008 – Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa. (joao.jose@poli.usp.br) fone: (11) 3091-5402

A implementação de tais sistemas de software costuma ser feita através de programas que não tenham impedimentos para efetuarem autonomamente modificações em sua própria funcionalidade.

A atenção terminológica principal neste trabalho está, por isso, focalizada no significado associado às palavras que designam fenômenos, técnicas e métodos ligados à alteração dinâmica do comportamento de programas auto-modificáveis.

Convém identificar, como causas de freqüentes deslizes terminológicos amiúde constatados em publicações sobre o assunto, certas ocorrências historicamente relacionadas a uma série de mal-entendidos quanto aos significados de alguns termos técnicos muito usados em publicações sobre a adaptatividade.

ADAPTATIVIDADE E AUTÔMATOS ADAPTATIVOS [1,2,4] – O primeiro grande mal-entendido é a errônea identificação entre o estudo do conceito de adaptatividade e o estudo de certos temas fundamentais da teoria da computação, como é o caso dos autômatos, em particular, dos autômatos adaptativos.

Pelo simples fato de os autômatos adaptativos terem sido os primeiros dispositivos adaptativos a surgirem e a serem objetos de estudo e publicação, provavelmente essa tenha sido a causa mais remota desse equívoco e de muitas de suas implicações.

Uma seqüela nefasta advinda desse mal-entendido pode ser facilmente identificada notando-se a maneira como tantos potenciais usuários de sistemas automodificáveis têm se mantido sistematicamente à margem da área.

Essa totalmente desnecessária rejeição do emprego da adaptatividade e de suas vantagens talvez ocorra porque desconheçam, não dominem ou não tenham afinidade com as bases teóricas da computação, particularmente com autômatos e linguagens formais.

Neste ponto, convém deixar bem claro que basta o bom-senso para que se possa identificar a conveniência de um comportamento dinamicamente variável em uma aplicação, sendo totalmente dispensável para isso um conhecimento muito profundo da teoria da computação.

Para a aplicação das técnicas e métodos baseados no conceito da adaptatividade, basta que se tenha um certo domínio da atividade de modelagem, e para isso, se esteja minimamente à vontade com algum tipo de formulação matemática com a qual se possa desenvolver modelos rigorosos das aplicações desejadas.

Nessa ocasião, pode-se então buscar, na tecnologia que nasceu dos fundamentos matemáticos da adaptatividade, recursos tecnológicos para a elaboração de soluções modernas e criativas para as aplicações desejadas.

Já para compreender em profundidade as bases científicas em que se apóiam todos os fundamentos da adaptatividade, certamente se torna conveniente que se tenha uma bagagem conceitual menos superficial sobre cada assunto que seja fundamento das atividades ligadas à computação e aos computadores, especialmente: matemática discreta, linguagens formais, autômatos, modelos de computação, computabilidade e complexidade computacional.

AUTÔMATOS (DE PILHA ESTRUTURADOS) ADAPTATIVOS [1,2] – Outra confusão muito freqüente é a que envolve as designações “autômato adaptativo” e “autômato de pilha estruturado adaptativo”. Embora ambas tenham sido usadas com exatidão o mesmo significado, encontram-se, nas publicações, poucas ocorrências da forma longa, cujo uso provavelmente tenha sido evitado não apenas por causa de

sua extensão, como também por não ter sido muito empregada nos primeiros textos publicados sobre o assunto.

Na época das publicações mais antigas sobre tais autômatos, não se suspeitava que poderia haver necessidade do nome completo para distinguir esse dispositivo de tantos outros, que um dia estariam sendo também utilizados. Dessa forma, a história consagrou o termo “autômato adaptativo” como sinônimo de “autômato de pilha estruturado adaptativo”.

Para designar outros autômatos adaptativos que não sejam derivados dos autômatos de pilha estruturados, recomenda-se usar, por exemplo, nomes tais como “autômato finito adaptativo”, procurando com isso conservar, para o termo “autômato adaptativo” o uso consagrado pela tradição.

TECNOLOGIA ADAPTATIVA [4] – O termo “tecnologia” denota o emprego de métodos e conhecimentos científicos com finalidades práticas. Assim, pode-se dizer que se entende por “Tecnologia Adaptativa” o conjunto das aplicações práticas do conceito fundamental da Adaptatividade, sempre que esta for utilizada como instrumento na resolução de problemas oriundos das mais variadas áreas de interesse.

Estão atualmente em uso diversos procedimentos, métodos, técnicas e ferramentas, centradas no conceito da Adaptatividade, e que constituem partes integrantes da crescente Tecnologia Adaptativa.

O alcance da Tecnologia Adaptativa é, portanto, muitíssimo mais amplo que o dos simples Autômatos Adaptativos, ou de qualquer outro artefato conceitual adaptativo particular.

Portanto, a Tecnologia Adaptativa não deve de forma alguma ser identificada com qualquer particular dispositivo adaptativo, já que cada um deles não passa de uma particular instância do formalismo geral em que foi desenvolvida a sua formulação.

Os estudos teóricos desenvolvidos no âmbito dos fundamentos da Tecnologia Adaptativa não se restringem, como muitos acreditam, apenas aos autômatos, estendendo-se também a gramáticas, programas, tabelas, e muitos outros dispositivos adaptativos.

É preciso notar ainda que nem qualquer uma dessas formulações em particular, nem todo o seu conjunto, nem mesmo aliados às aplicações que deles se desenvolveram, são suficientes para formar o que se denomina “Tecnologia Adaptativa”.

A Tecnologia Adaptativa abrange certamente tudo isso, mas compreende, adicionalmente, todo o universo das técnicas, métodos, ferramentas e aplicações que encontram na Adaptatividade as raízes de seu funcionamento diferenciado.

Dessa maneira, são consideradas pertencentes ao âmbito da Tecnologia Adaptativa não apenas atividades especificamente ligadas à área de computação, mas também as de qualquer outra área de interesse, desde que em sua concepção fundamental esteja fortemente atuante o conceito da Adaptatividade.

ADAPTATIVIDADE E DISPOSITIVO ADAPTATIVO [3,4] – A presença dessa adaptatividade obviamente independe de qualquer formalismo especial que tenha sido empregado para sua formulação ou representação, tenha ela sido feita na forma de um autômato, de um conjunto de cláusulas declarativas, de um programa de computador, de uma tabela de decisões, ou de qualquer outra.

Apesar da obviedade dessa afirmação, persiste a infundada crença de que a adaptatividade não poderia ser obtida, aplicada ou utilizada sem que fosse projetado, construído e empregado um autômato ou algum outro dispositivo adaptativo, e que isso obrigatoriamente exigiria que seus autores e usuários fossem profundos conhecedores das teorias, métodos e técnicas associadas a tais formalismos.

Torna-se por isso necessário esclarecer que os autômatos, assim como tantos outros formalismos em uso, representam apenas casos particularíssimos dentre os inúmeros dispositivos passíveis de incorporarem características de auto-modificação autônoma, e que, portanto, sua utilização na implementação da adaptatividade em aplicações computacionais não passa de uma simples conveniência conjuntural.

O que mais importa, em suma, é a variabilidade dinâmica do comportamento do sistema ou do programa, e, caso se deseje modelar essa característica com a ajuda de qualquer formulação matemática específica cabível (como é o caso dos autômatos), isso é mera circunstância secundária, tendo-se total liberdade para fazê-lo, desde que a atenção não se desvie da adaptatividade que se deseja implementar.

V. Glossário

Apresenta-se neste glossário o significado e o uso de diversos termos técnicos específicos da área, que, por diversas razões, apresentam-se às vezes com conotações variadas, aplicados em situações não muito claras nem homogêneas, podendo isso dar margem a dúvidas quanto ao significado exato dos textos em que são empregados.

Os sentidos associados a tais termos são comentados, um de cada vez, procurando-se definir da forma mais rigorosa possível o significado de cada um no contexto das publicações sobre tecnologia adaptativa, sempre de acordo com a acepção adotada no âmbito das pesquisas realizadas no LTA [4].

DISPOSITIVO – refere-se a qualquer artefato abstrato que, a partir de uma configuração inicial conhecida e fixa, opera migrando sucessivamente de uma configuração para outra, em resposta a sucessivos estímulos de entrada recebidos, e de acordo com um conjunto de regras que define seu comportamento.

O termo “dispositivo” refere-se, portanto, a qualquer abstração que descreva um fenômeno, um programa, um processo ou algo similar, cuja operação ou comportamento dependa exclusivamente dessas mudanças sucessivas de configuração.

Neste sentido, portanto, pode ser tratado como dispositivo qualquer programa, qualquer fenômeno, qualquer processo que se consiga descrever como coleção de cláusulas do tipo “ao receber um estímulo X na configuração Y, a nova configuração passa a ser Z”.

CONFIGURAÇÃO – define-se como sendo a configuração de um dispositivo, em algum momento de sua operação, uma representação, naquele momento, do conteúdo de todos os elementos variáveis relevantes à operação do dispositivo.

A configuração de um dispositivo compreende, portanto, todos os elementos modificáveis que o compõem, incluindo: os valores de todas as suas variáveis de estado, os conteúdos de todos os elementos de memória do dispositivo, a situação instantânea de todos os seus elementos dinâmicos, incluindo topologias, regras e algoritmos que possam ser alterados em operação, a situação de utilização de seus estímulos de entrada, áreas de trabalho, suas saídas já realizadas, etc.

CONFIGURAÇÃO INICIAL – corresponde à configuração na qual o dispositivo deve ser encontrado por ocasião do início de seu funcionamento. Deve ser sempre a mesma, e compreender a cadeia de entrada completa, variáveis de estado e memórias auxiliares, todas em seus valores iniciais pré-estabelecidos.

CONFIGURAÇÃO FINAL – é aquela atingida pelo dispositivo ao término de sua operação.

DISPOSITIVOS ACEITADORES – em dispositivos aceitadores, a configuração final costuma ser indicativa de êxito ou de fracasso do dispositivo em atingir alguma meta preestabelecida.

Assim, em aplicações à triagem de cadeias, caso o dispositivo tenha determinado que a cadeia de entrada atende às convenções consideradas aceitáveis, então ela será aceita, caso contrário, será rejeitada.

Estando o dispositivo em alguma de suas configurações finais de aceitação, em geral a cadeia de entrada deverá estar esgotada, e o conteúdo das variáveis de estado e das memórias auxiliares deverá atender a alguma convenção preestabelecida.

Em configurações de rejeição, ao menos uma de tais condições não será atendida.

DISPOSITIVOS CLASSIFICADORES – são aqueles em que a triagem tem por finalidade a classificação das cadeias de entrada de acordo com múltiplos critérios.

Haverá assim, neste tipo de dispositivos, diversas configurações finais de aceitação, cada qual correspondente ao atendimento de uma das múltiplas condições estabelecidas. Nesse caso, a rejeição da cadeia somente ocorre quando a cadeia não for capaz de atender a qualquer dos critérios de classificação válidos para esse dispositivo.

ESTÍMULO OU SÍMBOLO DE ENTRADA – cada um dos elementos de entrada capazes de provocar uma mudança de configuração no dispositivo é chamado estímulo.

ALFABETO DE ENTRADA – é o conjunto de todos os possíveis estímulos que podem ser utilizados por um dado dispositivo.

CADEIA DE ENTRADA – é qualquer seqüência de estímulos que alimenta o dispositivo, nele provocando mudanças de configuração pela aplicação das leis codificadas no conjunto de regras que define o comportamento do dispositivo.

REGRA – lei que preside as mudanças de configuração de um dispositivo, a partir de sua configuração corrente, em resposta a um estímulo recebido.

Encontrando-se em certo instante em uma dada configuração, e recebendo algum estímulo de entrada, o dispositivo migra para uma nova configuração, que é determinada com base exclusiva no estímulo recebido e no conjunto de regras condicionais, do tipo “se ... então”, que define completamente o comportamento do dispositivo.

Note-se que, em cada diferente configuração, a reação do dispositivo a um particular estímulo recebido pode ser diferente, já que as regras aplicadas determinam os movimentos não só a partir dos estímulos recebidos como também da configuração corrente do dispositivo.

Como todo dispositivo tem seu comportamento regido por um conjunto dessas leis, cada regra corresponde a uma descrição parcial desse comportamento. Somente o conjunto de todas as regras é que determina de forma completa o comportamento do dispositivo.

MOVIMENTO OU PASSO DE OPERAÇÃO – por movimento entende-se o efeito da aplicação de uma das regras que definem o funcionamento do dispositivo, e cada movimento do dispositivo é também chamado passo de operação desse dispositivo.

Assim sendo, cada movimento realizado pelo dispositivo é determinado por alguma regra, cuja aplicação, a partir da configuração corrente do dispositivo e do estímulo recebido, determina a sua próxima configuração.

OPERAÇÃO DO DISPOSITIVO, OU COMPUTAÇÃO – corresponde ao processamento completo de uma cadeia de entrada por um dispositivo: dada uma cadeia de entrada completa, e encontrando-se o dispositivo em sua configuração inicial, estímulos sucessivos vão sendo extraídos dessa cadeia de entrada, provocando um novo movimento no dispositivo.

Assim, a cada passo do dispositivo, estando ele em uma dada configuração, e recebendo um estímulo de entrada, é consultado o conjunto de regras que define seu comportamento, para determinar qual deverá ser sua próxima configuração.

Pela aplicação adequada das regras, uma sucessão de movimentos ocorrerá no dispositivo, provocando uma correspondente seqüência de mudanças de configuração, até que seja atingida alguma configuração final, encerrando a computação da cadeia de entrada inicialmente proposta.

SISTEMAS ADAPTATIVOS GUIADOS POR REGRAS – conseguindo-se descrever todo o comportamento de um fenômeno na forma de uma coleção de regras condicionais, tem-se o necessário para especificar os chamados “sistemas guiados por regras”, que constituem o substrato dos sistemas adaptativos guiados por regras.

Para tanto, é preciso transformar as regras passivas de mudança de configuração, em regras ativas que, além de determinar as mudanças de configuração para o dispositivo, se torne também capaz de alterar o próprio comportamento do mesmo.

Torna-se assim possível, se necessário, estender regras não-adaptativas da forma “ao receber um estímulo X na configuração Y, a nova configuração passa a ser Z”, para torná-las capazes de definir comportamentos auto-modificáveis, ou seja, adaptativos.

Isso pode ser feito facilmente incorporando-lhes uma componente adaptativa, resultando cláusulas da forma: “ao receber um estímulo X na configuração Y, a nova configuração passa a ser Z, e também o conjunto de regras se altera pela remoção/ substituição/ inserção as regras R_1, \dots, R_n ”.

Todas essas cláusulas podem ser codificadas, por exemplo, na forma de estruturas de dados, e depositadas em uma área do programa passível de sofrer alterações por parte do próprio programa.

Nessas condições, nada poderá impedir que esse programa modifique esses dados, podendo assim, por exemplo, remover dessa área aqueles que codificam cláusulas consideradas desnecessárias, apagá-las, substituí-las por outras, alterar algum dos elementos que as compõem, etc.

A disponibilidade desse recurso proporciona a qualquer sistema ou programa todos os requisitos básicos para a materialização da sua própria auto-modificação, ou seja, para a incorporação, com uma relativa facilidade, do conceito da adaptatividade.

ADAPTATIVIDADE – é a propriedade que apresenta um sistema, dispositivo ou processo computacional, que lhe permite, sem a interferência de agentes externos – mesmo do próprio operador – tomar a decisão de modificar dinamicamente, de forma autônoma, seu próprio comportamento, em resposta apenas à sua configuração corrente e ao estímulo de entrada recebido.

DISPOSITIVO ADAPTATIVO – é todo dispositivo cujo comportamento incorpore o conceito da adaptatividade. Um dispositivo adaptativo guiado por regras é regido por um conjunto de cláusulas da forma “ao receber um estímulo X na configuração Y, a nova configuração passa a ser Z, e também o conjunto de regras se altera pela remoção/ substituição/ inserção as regras R_1, \dots, R_n ”.

As regras adaptativas especificam, para cada possível configuração do dispositivo, não apenas uma nova configuração, mas também as eventuais alterações de comportamento, a ela associadas, as quais caracterizam a adaptatividade do dispositivo, e são representadas pelos mecanismos de automodificação expressos nas regras adaptativas, que determinam o comportamento dinâmico do dispositivo.

PROCESSO ADAPTATIVO – é aquele que apresenta um comportamento ativo, responsável por modificar espontaneamente seu próprio funcionamento, por força de decisão tomada exclusivamente pelo próprio processo, com base apenas na sua configuração e no seu estímulo de entrada correntes, sofrendo assim alterações comportamentais, por vezes intensas, à medida que for avançando em sua operação.

Um processo adaptativo se caracteriza por ser auto-modificável, sendo as alterações que sofre exclusivamente ditadas pelas próprias regras que definem o comportamento desse processo, podendo portanto ser realizadas, por exemplo, através de uma auto-reestruturação dos elementos computacionais que o implementam.

Em processos adaptativos, podem ocorrer, portanto, mudanças de comportamento em tempo de execução, e em seqüência, enquanto operam, softwares adaptativos costumam permitir alterações tanto em seus dados quanto a em seu próprio código.

É característico de um software adaptativo tomar livremente a decisão de alterar seu próprio comportamento, em função ou em decorrência apenas da sua própria configuração na ocasião.

PROCESSO ADAPTÁVEL – diferindo dos processos adaptativos, cuja dinâmica comportamental é ativa, os processos adaptáveis apresentam-se com um comportamento modificável reativo, como acontece em softwares configuráveis ou selecionáveis.

Em outras palavras, o comportamento desse tipo de processos pode ser escolhido, em época de execução, pela ação de intervenções

externas, tais como comandos do operador, eventos específicos, condições especiais detectadas, etc.

Em sistemas com essa característica, escolhe-se o comportamento que se deseja para o processo, e em reação, ocorre uma alteração de comportamento, de acordo com a escolha realizada, sem a participação ativa do sistema, como seria o caso em processos adaptativos.

Em geral, processos adaptáveis oferecem a seus usuários um repertório de sub-sistemas operantes, os quais, tipicamente, são selecionados por algum agente externo ao processo, através, por exemplo, da ação de comandos de múltipla escolha.

Não ocorre, portanto, qualquer modificação de código ou de dados, nem mesmo alterações comportamentais reais em época de execução, e sim apenas a seleção de alguma funcionalidade pré-existente, que implemente o comportamento desejado em cada ocasião.

PROCESSO PARAMÉTRICO – costuma, em geral, apresentar um comportamento pré-determinável, ajustável a situações específicas, tirando para isso proveito da possibilidade de uma simples escolha apropriada de seus argumentos.

A implementação de programas que apresentam esta característica é feita, em geral, empregando-se procedimentos (funções, sub-rotinas, métodos, etc.) com parâmetros.

Embora simples, a chamada de tais procedimentos, cuja personalização pode ser feita pela escolha de argumentos adequados, mostra-se suficientemente poderosa para propiciar a seu usuário um mecanismo eficaz para a escolha de um particular comportamento desejado.

Verifica-se com facilidade que, neste tipo de processos, não ocorrem alterações comportamentais dinâmicas, apenas um simples ajuste do programa em execução, obtido exclusivamente pela alteração dos seus dados, sem quaisquer modificações de seu código.

PROCESSO COM COMPORTAMENTO SELETIVO – caracteriza-se por permitir que, em operação, seu comportamento seja estaticamente comutado entre um certo número fixo e pré-existente de alternativas, oferecidas na forma de um conjunto de opções.

Do ponto de vista de implementação, tudo se passa como se houvesse, nos processos com comportamento seletivo, um grande elemento de seleção múltipla, que disponibiliza, para escolha, diversos módulos relativamente independentes, os quais realizam os diferentes comportamentos para o processo, e que podem ser selecionados de acordo com a necessidade do seu usuário final.

Não há, tampouco neste caso, qualquer modificação comportamental dinâmica, mas apenas a seleção de um dos comportamentos disponibilizados, a partir de um repertório de possibilidades.

Pode-se afirmar que se trata de uma forma muito rudimentar de adequação do comportamento do processo às necessidades do usuário, sem envolver quaisquer alterações, quer no código, quer nos dados, já que aqui também não ocorre qualquer alteração dinâmica de comportamento, apenas uma simples seleção.

PROCESSO CONFIGURÁVEL – essa designação refere-se àqueles processos que tenham sido projetados para disponibilizar, de uma vasta gama de funcionalidades possíveis, subconjuntos escolhidos caso a caso, estritamente de acordo com as necessidades de cada um de seus inúmeros usuários.

Processos configuráveis costumam ser muito usado em grandes sistemas, com um elevado número de usuários, e que disponibilizem uma grande variedade de funcionalidades.

Nessa situação, um particular cliente dificilmente se interessa pelo uso de todas as funcionalidades potencialmente disponíveis, sendo então adequado que cada qual adquira apenas os direitos de acesso daquelas que lhe sejam especificamente convenientes.

Para que o processo possa ser assim personalizado, costuma-se arquitetá-lo de forma tal que apresente um configurador, encarregado da tarefa de adequá-lo às necessidades de cada cliente, e para isso, operações de escolha ou de mascaramento de comportamentos podem

ser utilizadas por esse módulo para facilitar a composição do software de acordo com a conveniência de cada cliente.

Dessa maneira, em uma fase preliminar da utilização de um software configurável, permite-se ao usuário adquirir todas as funções que lhe sejam úteis, e, de posse de tal informação, o módulo configurador pode então gerar um programa personalizado, com o exato comportamento (estático) desejado, o qual passa finalmente à sua fase de operação, agora já com sua funcionalidade restrita ao conjunto dos comportamentos selecionados.

Embora com essa técnica sejam promovidas, em um software, variações comportamentais de fato, estas nunca se manifestam durante a operação final do processo configurável.

Apesar disso, para um dado software configurável, tais variações podem ser notadas com muita facilidade observando-se os comportamentos diferenciados exibidos por diversas de suas instâncias, que tenham sido independentemente configuradas.

É necessário, todavia, insistir que, apesar de existir nesses casos uma real variação de comportamento de programa para programa, essa variação não é dinâmica, ocorrendo apenas na fase de configuração, portanto totalmente fora da época de execução desses programas.

Assim, em geral, o código que implementa essa classe de processos é personalizado, caso a caso, a partir de módulos, porém, uma vez montado e entrando em operação, não mais se modifica.

Dessa forma, mesmo que dois usuários adquiram o mesmo software, se tiverem optado pela utilização de funcionalidades diferentes, cada um deles terá à sua disposição, para todos os efeitos, repertórios diferentes de comportamentos em seus programas.

PROCESSO MULTIFUNCIONAL – forma outra categoria de programas de comportamento variável, projetados para permitirem, a cada execução, a escolha estática de um comportamento particular, selecionado dentre um conjunto fixo de comportamentos disponibilizados, pré-existent e prontos para serem diretamente executados.

Este tipo de programa, construído definitivamente uma única vez, incorpora e disponibiliza ao seu usuário todas as funcionalidades possíveis, sendo em geral implementado na forma de uma única seleção múltipla, eventualmente hierárquica, abrangendo todas as partes do programa responsáveis pela realização dos variados comportamentos alternativos previstos para o programa.

Pela natureza desse tipo de programas, não é possível a ocorrência de alterações comportamentais dinâmicas, já que o controle de sua operação se restringe à seleção da funcionalidade a ser executada a cada utilização.

Processos multifuncionais são, portanto, completamente estáticos, e não efetuam modificações em seu código nem nos seus dados de controle, pois sequer sofrem alterações comportamentais.

Hoje em dia, é muito popular o uso de equipamentos multi-funcionais tais como, por exemplo, uma impressora que também é scanner, fax, telefone, relógio, etc., ou então um telefone celular que também é terminal de internet, máquina fotográfica, jogo eletrônico.

Trata-se de equipamentos preparados para realizarem muitas tarefas diferentes, porém em cada instante tais equipamentos executam, na maior parte dos casos, uma única dessas funcionalidades, em atendimento a uma seleção de função.

Para o usuário, obtém-se o efeito da variação comportamental através da solicitação de execução, dentre as funções disponíveis, daquela que confira ao programa o comportamento que se mostre mais adequado na ocasião.

PROCESSO PROGRAMÁVEL – oferece aos seus usuários a possibilidade de especificar, de programar e/ou de reprogramar sua funcionalidade. Para obter esse efeito há duas formas clássicas, ambas envolvendo modificações de uma representação lógica, ou especificação, do comportamento que se deseja para o processo.

A primeira dessas alternativas emprega uma máquina virtual, encarregada de interpretar, na forma de um script, uma especificação que descreva o comportamento desejado para o processo.

Nesse caso, tal script toma a forma de uma estrutura de dados, localizado em uma área de memória acessível para modificações, o que permite ao processo programável alterá-lo com facilidade durante a sua execução, ajustando-o assim, de forma dinâmica ao comportamento mais adequado em cada ocasião.

Inicialmente especificado pelo usuário através de uma linguagem apropriada, esse script é convertido por um pré-processador para um formato adequado, e depositado, na forma de estruturas de dados, em uma área de trabalho.

Isso permite que o programa extraia dessas estruturas, na forma de estruturas de dados interpretáveis, informações simbólicas que descrevem de forma rigorosa o comportamento que se deseja para o processo, podendo então um programa interpretador, no papel de máquina virtual, interpretá-los sempre que necessário.

Adicionalmente, estando assim todo o comportamento do processo representado na forma de estruturas de dados, estas poderão ser alteradas sempre que se desejar, promovendo o efeito de uma funcionalidade dinâmica, totalmente controlável pelo usuário.

Vale notar a real variação de funcionalidade que pode ser obtida dessa forma, e que essa variação não resulta de alterações na área de código do processo, mas de modificações no conteúdo da parte de sua área de dados que codifica o comportamento do programa.

Como uma segunda alternativa para a realização de processos programáveis, é possível utilizar diretamente a própria máquina real, processando diretamente seu código nativo.

Nesse caso, o comportamento do processo fica representado na lógica do próprio código que se executa na máquina, e assim, somente através de modificações diretas do próprio código do programa é que se pode, neste caso, obter a funcionalidade dinâmica desejada.

Essa manobra nem sempre se mostra trivial na maior parte dos sistemas computacionais modernos, os quais costumam impor restrições de acesso à área de código, com a finalidade de impedir, ou ao menos, dificultar a prática da automodificação de programas.

Nas duas formas citadas de implementação, os processos programáveis alcançam funcionalidade genuinamente dinâmica, que se manifesta pela variação comportamental do programa em execução, em conformidade com o comportamento especificado, seja na forma de script ou de um código nativo.

PROCESSO AUTO-PROGRAMÁVEL – é todo aquele que permite que sua própria funcionalidade seja especificada, programada ou re-programada, a qualquer momento.

Isso lhes permite, dessa maneira, que registrem automaticamente, não apenas para uso próprio, mas também para que seja posta em execução, uma informação que codifique, em cada oportunidade, o comportamento que se deseja para esses processos.

Uma prática que permite obter esse efeito é garantir que estejam adequadamente codificadas, na forma de estruturas de dados, as seqüências de operações que descrevem o comportamento desejado.

Para que programas desse tipo possam ser de fato utilizados em aplicações complexas, pode-se dotá-lo adicionalmente de um recurso extremamente poderoso: o programa, por algum meio a seu alcance, gera, ele próprio, segundo sua própria lógica, e a partir de decisões tomadas pelo próprio programa, estruturas de dados que descrevam seu próprio funcionamento.

Dessa maneira, tais especificações tornam-se disponíveis para uso pelo próprio processo, a qualquer momento, e isso permite que uma máquina virtual, integrante do próprio processo auto-programável, as interprete e assim realize o comportamento que elas especificam.

Neste caso, o efeito obtido é o de uma funcionalidade genuinamente dinâmica e autônoma, embora para isso não seja necessário promover quaisquer alterações no código nativo do processo auto-programável, e sim apenas nas áreas de dados que codificam o seu comportamento.

Para que se possa tirar maior proveito ainda desse tipo de arquitetura, mostra-se oportuno que processos auto-programáveis, assim construídos, operem em colaboração com procedimentos de Inteligência Artificial.

Dado o poderoso potencial de suporte que representam, os procedimentos de Inteligência Artificial podem potencializar significativamente o alcance dos processos auto-programáveis aos quais estiverem incorporados.

Em geral, costumam ser acoplados aos processos para serem acionados em ocasiões estratégicas, como ocorre em situações de tomada de decisões e, em especial, naquelas ocasiões em que se necessita estabelecer quais alterações comportamentais dinâmicas devem ser promovidas no processo auto-programável.

Isso contribui significativamente para a obtenção de programas de alta complexidade, e de alcance muito vasto, não apenas devido ao comportamento dinâmico assim obtido, como também pelo aumento da expressividade que isso empresta aos processos auto-programáveis, especialmente àqueles que realizam atividades de elevada complexidade.

PROCESSO ADAPTATIVO – é um processo auto-programável especial, que permite a obtenção do efeito de funcionalidade dinâmica autonomamente auto-modificável com a ajuda dos recursos da auto-programação dinâmica obtida pela alteração do próprio código nativo, que é executado diretamente por uma máquina física, sem o auxílio de interpretadores.

Neste caso, a funcionalidade dinâmica resulta de uma alteração real do próprio código executável de máquina, que representa o processo, portanto, essa dinâmica de comportamento decorrente de ações emanadas da execução do próprio programa.

Disso resulta, em tempo de execução, uma real modificação do programa em operação, e, em conseqüência, uma correspondente alteração do comportamento desse programa, enquanto ele próprio vai sendo executado e, possivelmente, até mesmo provocando, em si próprio, alterações comportamentais adicionais.

Não se trata, portanto, de uma ação externa que modifica a conduta do programa, mas de uma real e deliberada alteração de comportamento provocada *on line* pelo próprio programa, durante sua própria execução.

Portanto, as atividades de criação de programas, que codificam processos com código auto-modificável, exigem que se leve em consideração que programas adaptativos devem ser capazes de promover alterações dinâmicas em seu próprio código.

Isso pode ser obtido de várias formas, tais como:

- a) pela ativação explícita de funções de uma biblioteca específica, que adequadamente acionadas, promovam a alteração do código.
- b) usando máquinas virtuais para interpretar programas adaptativos, codificados em alguma linguagem de baixo nível auto-modificável, programas esses capazes de alterar uma área de dados na qual esteja descrito o comportamento do programa. Portanto esta seria, na realidade, uma implementação híbrida, baseada no conceito de processo auto-programável, descrito anteriormente.
- c) mediante o emprego de recursos de auto-referência e de auto-modificação, que sejam disponibilizados por alguma linguagem de alto nível voltada à codificação de programas adaptativos. Esta pode ser uma linguagem de programação nativamente adaptativa (especialmente projetada para essa finalidade, com recursos sintáticos adequados para expressar de forma adequada os fatos adaptativos do programa), ou então alguma extensão adaptativa de alguma linguagem convencional de programação (implementada com o auxílio de expansores de macros, de pré-processadores destinados à resolução de extensões sintáticas adequadas, ou ainda de compiladores específicos, projetados particularmente para o processamento de tais linguagens entendidas). Diversos esforços têm sido canalizados para a investigação deste assunto, tendo como meta a obtenção de linguagens de programação voltadas para a codificação confortável de programas de natureza automodificável.

VI. Observações Finais

O glossário aqui apresentado é constituído de um conjunto representativo dos principais termos envolvendo conceitos que têm sido alvos de pesquisas e desenvolvimentos recentes na área.

Seu conteúdo ainda está longe de ser exaustivo, pois o levantamento aqui relatado se limita a considerar os termos mais controversos ou empregados de maneira menos uniforme nas publicações disponíveis sobre o assunto.

Assim sendo, dada a importância, para todos os que se interessam por este ramo do conhecimento, de se dispor de um material completo desta natureza, solicita-se a todos os interessados que ofereçam suas contribuições para que, a partir delas e de suas complementações, o presente glossário venha a ampliar-se, em futuro próximo, pela incorporação também de outros termos técnicos da área, já consagrados.

Alcança-se assim uma abrangência cada vez maior, para que venha a tornar-se em breve um material de referência de grande utilidade, não apenas para todos os que já estudam, pesquisam e utilizam a adaptatividade em suas atividades, como também uma forma de disseminação do conceito entre todos aqueles que ainda não tiveram a oportunidade de trabalhar diretamente com esse importante conceito.

VII. Referências

[1] M.V.M. Ramos; J.J. Neto, I.S. Vega, Linguagens Formais, ISBN 978-85-7780-453-5, Porto Alegre, Ed. Bookman, 2009.

[2] J.J. Neto, Contribuições à Metodologia de Construção de *Compiladores*, Tese de Livre Docência – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

[3] Neto, J. J. *Adaptive Rule-Driven Devices - General Formulation and Case Study*. Lecture Notes in Computer Science. Watson, B.W. and Wood, D. (Eds.): Implementation and Application of Automata 6th International Conference, CIAA 2001, Vol.2494, Pretoria, South Africa, July 23-25, Springer-Verlag, 2001, pp. 234-250.

[4] <http://www.pcs.usp.br/~lta/> Página web do LTA – Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas.



João José Neto graduado em Engenharia de Eletricidade (1971), mestrado em Engenharia Elétrica (1975) e doutorado em Engenharia Elétrica (1980), e livre-docência (1993) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente é professor associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e coordena o LTA - Laboratório de Linguagens e Tecnologia Adaptativa do PCS - Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da

EPUSP. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase nos Fundamentos da Engenharia da Computação, atuando principalmente nos seguintes temas: dispositivos adaptativos, tecnologia adaptativa, autômatos adaptativos, e em suas aplicações à Engenharia de Computação, particularmente em sistemas de tomada de decisão adaptativa, análise e processamento de linguagens naturais, construção de compiladores, robótica, ensino assistido por computador, modelagem de sistemas inteligentes, processos de aprendizagem automática e inferências baseadas em tecnologia adaptativa.