

Dispositivos Adaptativos Cooperantes

José Maria Novaes dos Santos

Abstract— Some complex problems can be modeled using more than one type of device thus having some interaction between them to represent their behavior. From this perspective, we do not have a common formulation to represent both the formalism and its interaction. The purpose of this paper is to fill in this gap by proposing a formulation that represents, for a group of devices, their behavior and interactions. We call this formalism as “Cooperating Adaptive Devices”. For illustration purposes, we presented an application where its behavior can be modeled using this formalism.

Keywords— Reactive systems modeling, adaptive devices, rule-driven formalisms, self-modifying machines, adaptive automata, cooperating adaptive devices, behavior modeling, Decision Table.

I. INTRODUÇÃO

A adaptatividade é a capacidade de um sistema modificar seu próprio comportamento com base apenas em seu histórico de operações e dados de entrada [1]. Duas instâncias idênticas de um mesmo sistema, porém submetidos a eventos diferentes gerando históricos também distintos, podem evoluir para configurações finais diferentes.

A tecnologia adaptativa é o uso da adaptatividade no desenvolvimento de algum modelo, sistema ou dispositivo dirigido por regras [1].

A adaptatividade pode ser aplicada aos formalismos tradicionais, tais como: Statechart, Autômatos Finitos, Redes de Markov e Tabela de Decisão.

Alguns problemas podem ser melhor representados com a utilização de vários formalismos distintos, contendo uma interação entre si.

Este trabalho apresenta uma formulação para o uso simultâneo de vários formalismos e a representação da sua comunicação, ou seja, entre os dispositivos utilizados na modelagem do problema.

II. TECNOLOGIA ADAPTATIVA

Um dispositivo adaptativo pode ser representado por um conjunto de regras expressas em qualquer formato (que podem ser descritas do tipo “se-então”) e um conjunto de operações associado a cada uma das regras. Isto implica em se ter uma relação entre um conjunto de regras (condições) e um conjunto de ações.

Aplicamos a tecnologia adaptativa para representar fenômenos que possam ser representados por um modelo computacional na forma de regras, conforme a definição descrita acima.

Algumas vezes, após a execução do modelo computacional representando várias situações do fenômeno estudado, conclui-se que os conjuntos que representam as regras e ações podem ser modificados para uma melhor adaptação ou aperfeiçoamento do modelo computacional. Esta alteração

pode ser representada nas regras iniciais do dispositivo, como regras adaptativas. As regras adaptativas, quando executadas, alteram o conjunto de regras e ações, representando a experiência e aprendizado do dispositivo.

A aplicação da tecnologia adaptativa pode ser aplicada em várias áreas da Ciência da Computação, dentre eles o Processamento de Linguagem Natural (PLN), Robótica, Engenharia de Software, Computação Evolutiva, Inteligência Artificial e Teoria da Computação.

III. DISPOSITIVOS ADAPTATIVOS

Se um dispositivo formal é adaptativo, seu conjunto de regras se modifica dinamicamente, sem ajuda externa, apenas em resposta a estímulos que ocorrem no ambiente e seu histórico de operação.

Segundo [2] um dispositivo adaptativo pode ser decomposto em dois elementos, um dispositivo subjacente, tipicamente não adaptativo, e um mecanismo adaptativo, responsável pela incorporação da adaptatividade. Assim, o comportamento do dispositivo adaptativo segue o comportamento do dispositivo subjacente equivalente, até a execução de alguma ação adaptativa não vazia, mudando a configuração do seu conjunto de regras

Os dispositivos adaptativos dirigidos por regras foram formalmente definidos em [1], no qual foi inspirado o resumo a seguir.

Define-se, em tempo de construção, um contador de tempo T com valor inicial zero, que é automaticamente incrementado por uma unidade, cada vez que uma ação adaptativa não vazia é executada. Assim, cada nome de um conjunto que varia no tempo é identificado pelo valor k , assumido por T .

Dessa forma, pode-se dizer que um dispositivo $AD_k = (ND_k, AM)$ é adaptativo quando para todos os passos de operação k , AD_k segue o comportamento do dispositivo subjacente ND_k até que alguma ação adaptativa, não nula, do mecanismo adaptativo AM seja executada, iniciando-se então o $(k+1)$ -ésimo passo de operações, alterando o conjunto de regras de ND_k , que passa a ser então o conjunto de regras do dispositivo subjacente ND_{k+1} . Um único incremento acarreta a execução de uma ação adaptativa anterior e uma ação adaptativa posterior. Ambas as ações adaptativas podem ser constituídas por um conjunto de ações adaptativas elementares, ou seja, podem ocasionar várias inclusões e/ou exclusões de regras no dispositivo.

O dispositivo AD inicia a sua operação em c_0 , com uma forma inicial $AD_0 = (C_0, AR_0, S_0, c_0, A, NA, BA, AA)$. Em um passo $k \geq 0$, um estímulo de entrada sempre altera o dispositivo AD para a próxima configuração, iniciando a operação em $(k+1)$ se e somente se alguma ação adaptativa não vazia foi executada. Então, em qualquer passo k ($k \geq 0$) o dispositivo tem a forma:

$$AD_k = (C_k, AR_k, S_k, c_0, A_k, NA, BA, AA). \quad (1)$$

Nessa formulação, temos:

- $AD = (ND_0, AM)$ é algum dispositivo adaptativo, composto de um dispositivo subjacente inicial ND_0 e um mecanismo adaptativo AM ,
- ND_k é um dispositivo não adaptativo de AD no passo k , sendo ND_0 o dispositivo subjacente inicial, definido pelo conjunto de regras NR_0 de regras não adaptativas. Por definição, qualquer regra não adaptativa em qualquer NR_k ($k \geq 0$) espelha a sua correspondente em AR_k ,
- C_k é o conjunto de todas configurações possíveis para ND no passo k ($k \geq 0$),
- S é um conjunto finito de todos os possíveis estímulos de entrada considerados como eventos válidos de entrada para AD , sendo que o evento vazio pertence a S ($\epsilon \in S$),
- w é a cadeia de entrada de estímulos, e $w = w_1 w_2 w_3 w_4 \dots w_n$ ($w \in S$),
- c_0 pertence a C e é a configuração inicial do dispositivo ($c_0 \in C$),
- A_k é o conjunto das configurações finais (de aceitação), $A_k \subseteq C_k$,
- NA é o conjunto finito de símbolos de saída,
- AR_k é o conjunto de regras adaptativas, dado pela relação $AR_k \subset BA \times C \times S \times C \times NA \times AA$. As regras do conjunto AR_0 definem o comportamento inicial do dispositivo AD . Ações adaptativas mapeiam o conjunto corrente de regras adaptativas do dispositivo, AR_k , de AD , em um novo conjunto de regras AR_{k+1} adicionando e/ou excluindo regras adaptativas. As regras em AR_k são da forma $ar = (ba, c_i, s, c_j, z, aa)$, significando que em resposta a algum estímulo $s \in S$ ela executa inicialmente a ação adaptativa anterior, ba , em seguida a regra não adaptativa $nr = (c_i, s, c_j, z)$, e por fim a ação adaptativa posterior aa . Uma ação adaptativa pode eventualmente excluir a regra à qual está associada. Nessa situação, se a ação elementar de exclusão de regra pertencer à ação adaptativa anterior, a atividade de execução da regra será descontinuada assim que a ação adaptativa anterior tiver sido concluída.
- Define-se AR como o conjunto de todas as possíveis regras adaptativas para AD ,
- Define-se NR como o conjunto de todas as possíveis regras não adaptativas subjacentes para AD ,
- BA e AA são conjuntos de ações adaptativas, ambos podendo ser a ação adaptativa vazia ϵ ($\epsilon \in BA \cap AA$) e
- Define-se para um dispositivo AD particular o mecanismo adaptativo como o conjunto $AM \subseteq BA \times NR \times AA$, aplicado em qualquer passo k em cada regra em $NR_k \subseteq NR$. AM é de tal forma que opera como uma função aplicada a qualquer subdomínio $NR_k \subseteq NR$. Isso significa associar um par de ação adaptativa a cada regra não adaptativa. AR_k é o conjunto de todas as ações adaptativas que estão associadas às respectivas regras não adaptativas de NR_k .

Em [1] podem ser encontrados os detalhes formais relacionados aos dispositivos adaptativos guiados por regras.

IV. DISPOSITIVOS ADAPTATIVOS COOPERANTES

Os dispositivos dirigidos por regras podem ser utilizados na modelagem de problemas complexos em Inteligência Artificial, Linguagem Natural e outras especialidades da computação, em que haja a necessidade de evidenciar uma alteração de comportamento, em função de mudanças no ambiente com o qual o sistema está interagindo.

Em algumas situações a modelagem pode tornar-se mais compreensível quando efetuada com o auxílio de vários tipos de dispositivos, um grupo heterogêneo de dispositivos em que o comportamento de um, pode afetar o comportamento dos demais.

Os Dispositivos Adaptativos Cooperantes (DAC) ampliam a representação formal de dispositivos adaptativos, dirigidos por regras, nos quais o comportamento de um representante do grupo pode afetar o comportamento de outro dispositivo, resultando na alteração de suas regras.

Dessa forma, seu uso é apropriado para descrever formalmente a representação e modelagem da influência de fatores externos sobre um dispositivo, que pode reagir a eles através de mudanças comportamentais.

Os Dispositivos Adaptativos Cooperantes são constituídos de um grupo finito de dispositivos adaptativos, dirigidos por regras, cujos dispositivos subjacentes podem ser de naturezas distintas, uma camada de comunicação e um mecanismo responsável pelo gerenciamento e coordenação das mensagens de comunicação entre os dispositivos. Cada dispositivo possui um módulo de comunicação e interpretação de mensagens, as quais podem ser trocadas entre qualquer par de dispositivos.

Cada dispositivo é composto de:

- Dispositivo subjacente dirigido por regras,
- Camada adaptativa e
- Módulo de comunicação e interpretação, capaz de enviar e receber mensagens de comunicação padronizadas.

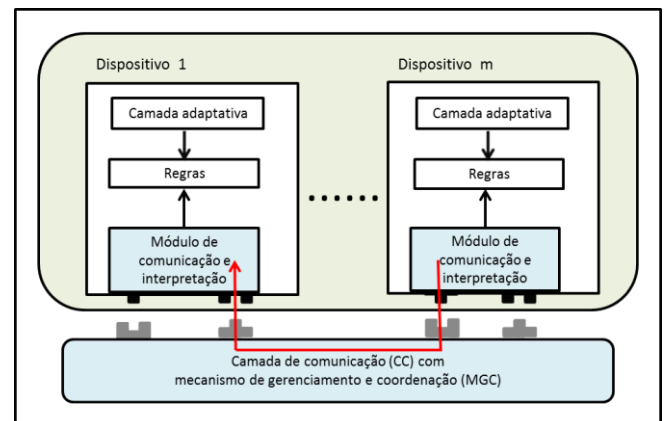


Fig 1 – Comunicação entre dois dispositivos

O conceito de dispositivos adaptativos cooperantes pode ser entendido como sendo a propriedade que um dispositivo, pertencente a um grupo finito de dispositivos, tem de alterar, de forma autônoma, o comportamento de outro dispositivo pertencente ao mesmo grupo, baseado no seu comportamento ou em função de estímulos de entrada.

As mensagens de comunicação são gerenciadas e controladas por meio de um mecanismo de controle.

A Figura 1 ilustra o funcionamento da interação entre dois dispositivos. O dispositivo “m” envia uma mensagem ao dispositivo “1”, através da camada de comunicação, representada pela seta vermelha.

Todo dispositivo do conjunto possui a capacidade de enviar e receber solicitação de alteração de regras. A comunicação entre os dispositivos é efetuada através de mensagens padrões, que compõem um protocolo de comunicação (PC).

DEFINIÇÃO

Seja AD o dispositivo adaptativo definido por Neto em (NETO, 2001). Dispositivos Adaptativos Cooperantes podem ser representados por m ($m > 1$) dispositivos adaptativos $\{AD_r\}$ para $r=1, \dots, m$, uma camada de comunicação (CC) e um mecanismo responsável pelo gerenciamento e coordenação das mensagens de comunicação (MGC):

$$DAC = (\{AD^r \mid r=1, \dots, m\}, CC, MGC) \quad (2)$$

Ao grupo de dispositivos adaptativos AD^r ($r=1, \dots, m$) podemos denominar de G_mAD , e dessa forma:

$$DAC = (G_mAD, CC, MGC) \quad (3)$$

Onde:

$$G_mAD = \{AD_1, AD_2, \dots, AD_m\} \quad (4)$$

Da mesma forma que aplicado ao comportamento dos dispositivos adaptativos, define-se para os dispositivos adaptativos cooperantes, em tempo de construção, um sequenciador T2 com valor inicial zero e que é automaticamente incrementado de uma unidade quando uma mensagem não vazia entre dois dispositivos é interpretada pelo módulo de comunicação e interpretação. Assim, cada nome de um dispositivo adaptativo dinamicamente modificável é identificado através de um diferente valor tc para a variável T2. Portanto, os dispositivos adaptativos cooperantes podem ser descritos como:

$$DAC_{tc} = (G_mAD_{tc}, CC, MGC) \quad (5)$$

ou,

$$DAC_{tc} = (\{AD^r_{kr,tc} \mid r=1, \dots, m; kr \geq 0 \text{ e } tc \geq 0\}, CC, MGC) \quad (6)$$

DAC_{tc} é dito cooperante quando, para todos os passos de operação tc ($tc \geq 0$), DAC_{tc} segue o comportamento de todos os dispositivos adaptativos do conjunto G_mAD_{tc} , até que a geração de alguma mensagem não vazia, do mecanismo CC, enviada por um dispositivo “b” ($b \in \{1, \dots, m\}$), seja interpretada por um dispositivo destino “r” ($r \in \{1, \dots, m\}$) iniciando-se um novo passo de operações no $(tc+1)$ -ésimo passo, alterando o conjunto de regras do dispositivo AD^r ($1 \leq r \leq m$, $1 \leq b \leq m$ e $r \neq b$), que passa a ser então o novo conjunto de regras dos dispositivos G_mAD^{tc+1} .

De forma análoga ao que ocorre com as ações adaptativas, um único passo de incremento pode resultar na execução de dois grupos de mensagens, um anterior e o outro posterior à execução de regras. Os dois grupos são constituídos de mensagens elementares (mensagens padrão), de cuja execução podem resultar inclusões e/ou exclusões de regras do dispositivo, e são executados respectivamente antes e depois da execução da regra à qual estão associados, e ao menos um dos grupos de mensagens não é vazio.

Os dispositivos adaptativos cooperantes DAC iniciam a sua operação com uma forma inicial DAC_0 , onde cada dispositivo adaptativo AD^r ($r=1 \dots m$, $m > 1$) tem uma configuração inicial relativa à camada de comunicação, quando o valor tc da fórmula (8) é zero, sendo expresso por:

$$DAC_0 = (\{AD^r_{kr,0} \mid r=1, \dots, m \text{ e } kr \geq 0\}, CC, MGC) \quad (7)$$

Na configuração inicial, representada por DAC_0 , nenhuma mensagem entre os dispositivos ocorreu, porém, cada dispositivo individualmente pode ter sofrido alterações em suas regras, decorrentes de suas ações adaptativas, indicadas por kr ($r=1, \dots, m$). Em um passo tc ($tc \geq 0$), um estímulo de entrada altera o conjunto de dispositivos AD para a próxima configuração, iniciando a operação no $(tc+1)$ -ésimo passo, se e somente se, alguma mensagem não vazia da camada de comunicação for executada. Então, para qualquer passo tc ($tc \geq 0$), DAC_{tc} corresponde à configuração associada ao passo tc de todos os seus componentes.

Em qualquer combinação de passos kr ($k_1, k_2, \dots, k_m$) e tc ($tc \geq 0$), cada um dos m dispositivos, (AD^r) para $1 \leq r \leq m$, tem a forma:

$$AD^r_{kr,tc} = (C^r_{kr,tc}, IAR^r_{kr,tc}, S^r, C^r_{kr,tc}, A^r, NA^r, BA^r, AA^r, IBA, IAA) \quad (8)$$

Portanto, $(AD^r)_{tc}$, para $r=1, \dots, m$, representa a configuração de cada dispositivo adaptativo, de DAC, no passo tc sendo $(AD^r)_0$ a sua configuração inicial, definida pelo conjunto de regras $IAR^r_{kr,0}$, para qualquer passo kc (para $kc \geq 0$), relativo à execução de ação adaptativa. Por definição, qualquer regra que não tenha mensagem da camada de comunicação (regra de $IAR^r_{kr,tc}$) espelha a sua correspondente em AR^r_{kr} . Assim temos:

• $G_mAD_{tc} = \{AD^r_{kr,tc} \mid r=1, \dots, m; kr \geq 0 \text{ e } tc \geq 0\}$ representa a configuração dos dispositivos adaptativos no passo tc , sendo

$AD_{0,0}^r$ a sua configuração inicial. Cada dispositivo $(AD^r)_{tc}$ é o espelho do dispositivo adaptativo AD^r no passo tc , cada um deles em seu passo kr ($kr \geq 0$, para $r=1\dots m$), relativo à execução de ação adaptativa.

- $C_{kr,tc}^r$ é o conjunto de todas as configurações possíveis para $AD_{kr,tc}^r$ no passo tc e kr ($tc \geq 0$ e $kr \geq 0$, para $r=1\dots m$).
- IBA e IAA (para $r=1,\dots,m$) são grupos de mensagens entre dispositivos, ambos podendo ser vazios.
- S^r (para $r=1,\dots,m$) é um conjunto finito de todos os possíveis estímulos considerados como válidos, de entrada para AD^r , sendo que o estímulo vazio pertence a S^r ($\epsilon \in S^r$); w^r é a cadeia de entrada de estímulos:

$$w^r = w_1^r w_2^r w_3^r w_4^r \dots w_n^r \quad (9)$$

Onde $w_n^r \in S^r$, para $r=1,\dots,m$ e $n \geq 0$.

- $c_{0,0}^r$ pertence a $C_{0,0}^r$ e é a configuração inicial dos dispositivos DAC.
- A^r é o conjunto das configurações finais (de aceitação) dos dispositivos DAC, $A^r \subseteq C^r$ (para $r=1,\dots,m$).
- NA^r é o conjunto finito de símbolos de saída dos dispositivos r (para $r=1,\dots,m$)
- $IAR_{kr,tc}^r$ é o conjunto de regras, dado pela relação $IAR_{kr,tc}^r \subseteq IBA^r \times BA^r \times C^r \times S^r \times C^r \times NA^r \times AA^r \times IAA^r$.

As regras do conjunto $IAR_{0,0}^r$ (para $r=1,\dots,m$) definem o comportamento inicial do conjunto dos dispositivos DAC. As mensagens entre os dispositivos alteram o conjunto corrente de regras adaptativas do dispositivo, $IAR_{kr,tc}^r$, de DAC, convertendo-o em um novo conjunto de regras em $IAR_{kr,tc+1}^r$. As regras em $IAR_{kr,tc}^r$ ($r=1, \dots, m$) são da forma $iar^r = (iba, ba^r, c_i^r, s^r, c_j^r, z^r, aa^r, iaa)$, significando que em resposta a algum estímulo $s^r \in S^r$ ela executa inicialmente o subgrupo de mensagens anterior iba , em seguida a regra adaptativa $arr = (ba^r, c_i^r, s^r, c_j^r, z^r, aa^r)$, e por fim o subgrupo de mensagens posterior iaa . A regra adaptativa ar^r é executada da mesma forma definida em [1].

Para maiores detalhes relacionados à definição dos dispositivos adaptativos cooperantes recomenda-se os trabalhos [3] e [4].

V. EXEMPLO

Nesta seção é apresentado um exemplo de uma aplicação cuja modelagem pode ser composta de dois dispositivos, um “parser” e uma ontologia. Por meio de padrões sintático-semânticos, o “parser” identifica possíveis relações semânticas entre dois conceitos, gerando uma comunicação com o outro

dispositivo, a ontologia, resultando na adição de regras, representando a relação entre os conceitos.

Os padrões sintático-semânticos, utilizados no dispositivo “parser” são baseados nos padrões apresentados nos trabalhos (HEARST, 1992), tais como:

- a) SN_0 tais como $SN_1 \{, SN_2, \dots(e \mid \text{ou}) SN_i\}$
- b) $SN_0 \{, SN, \}^* \{, \} e \mid \text{ou} SN_2$
- c) Tipos de SN: $SN_1 \{, SN_2, , \} (e \mid \text{ou}) SN_i$
- d) SN chamado de SN_2 .

Trabalhos que apresentam a mesma técnica para construção de ontologia a partir de padrões sintáticos podem ser encontrados em (VELARDI, FARALLI e NAVIGLI, 2013) e (MORIN e CHRISTIAN, 2004).

Nas descrições apresentadas, “SN” são sintagmas nominais, “[]” indica opções de escolha que podem ocorrer, “{ }” indica uma lista de opções e “*” indica que a ocorrência é opcional.

O “parser” processa um “corpus”, extraindo o texto que seja formado por um dos padrões apresentados, identificando as relações semânticas.

Quando as relações são identificadas, o “parser” envia uma mensagem à ontologia, que cria a respectiva regra para identificação da relação semântica.

Para ilustrar o exemplo, consideramos duas frases sobre copa do mundo.

Frase 1: “Na copa do mundo, os visitantes viram vários jogadores de futebol tais como Messi, Iniesta e Cristiano Ronaldo”.

A frase 1 segue o padrão apresentado no item a, dessa forma o “parser” extrai as seguintes relações:

- hiperonímia(“Messi”, “jogador de futebol”),
- hiperonímia(“Iniesta”, “jogador de futebol”) e
- hiperonímia(“Cristiano Ronaldo”, “jogador de futebol”).

Frase 2: “Os jogadores de futebol podem sofrer os tipos de ferimentos: muscular, hematoma e osso quebrado”.

A frase 2 segue o padrão apresentado no item c, da qual são extraídas as relações:

- hiperonímia(“muscular”, “ferimento”),
- hiperonímia(“hematoma”, “ferimento”) e
- hiperonímia(“osso quebrado”, “ferimento”).

A Figura 2 ilustra o exemplo apresentado, indicando as novas relações que são incluídas na ontologia, após a identificação de um padrão por parte do “parser” e a sua respectiva comunicação de cooperação.

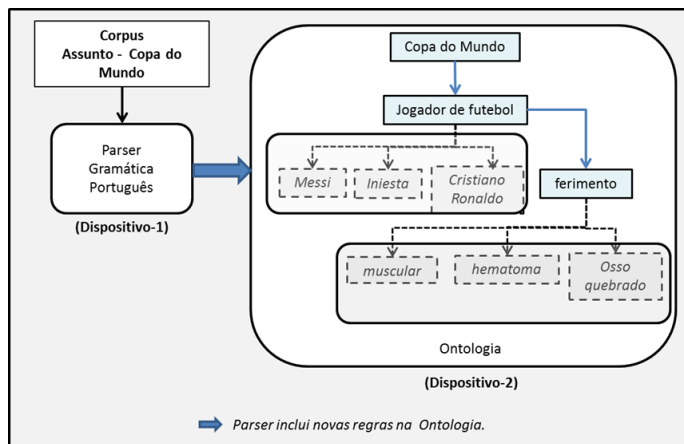


Fig 2 – Novas relações adicionadas na ontologia.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluindo, com os DAC temos uma formulação teórica mais abrangente para utilização da adaptividade. Com essa formulação pode-se representar problemas complexos na modelagem de sistemas reativos, sistemas híbridos e sistemas concorrentes, nas mais diversas áreas como, Biologia, Medicina e Ciências Sociais.

Dentro da Engenharia da Computação, pode-se utilizar o modelo DAC na representação de aspectos da Robótica, Aprendizagem de Máquina, Processamento de Linguagem Natural e Linguagem de Programação.

Na Linguagem de Programação pode-se aplicar o modelo, considerando duas linguagens de programação voltadas à codificação de aplicações adaptativas, com uma camada de controle de supervisão, de modo que o comportamento de uma das linguagens possa afetar a outra adequadamente, mantendo sua integridade. Uma das linguagens nesse modelo poderia ser uma linguagem formal de especificação, enquanto a segunda poderia ser a linguagem de codificação.

Pode-se aplicar o modelo DAC também em duas gramáticas de linguagem natural, uma representando um núcleo comum e a outra representando as alterações regionais da língua, alterando algumas das suas regras. Assim podemos fatorar a diversidade regional de uma língua, representada em uma gramática, que quando aplicada influenciará a gramática na forma padrão, gerando uma nova gramática, representando seu caráter regional.

Outra possibilidade é o uso do DAC na tradução de línguas naturais, representando em cada dispositivo um reconhecedor de uma língua natural, efetuando a tradução entre elas por meio de uma comunicação para cada par de reconhecedores.

Resumindo, o modelo DAC abre o leque de aplicações que podem empregar de modo formal a tecnologia adaptativa, utilizando vários tipos de modelos ou dispositivos.

REFERÊNCIAS

- [1] J. J. NETO, "Adaptive rule-driven devices – general formulation and a case study", In: CIAA '2001 Sixth International Conference on Implementation and Application of Automata, pages 234–250, Pretoria, South Africa, July 2001.
- [2] J. J. NETO, "Um levantamento da evolução da adaptatividade e da tecnologia adaptativa". Revista IEEE América Latina, 5.7, 1548-0992, 2007.
- [3] J. M. N. SANTOS, "Dispositivos adaptativos cooperantes: formulação e aplicação", Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2014.
- [4] J. M. N. SANTOS and J. J. NETO, "Modeling Reactive Systems Using Cooperating Adaptive Devices", in the Third International Conference on Informatics Engineering and Information Science, 2014, Lodz. Informatics Engineering and Information Science, 2014.



José Maria Novaes dos Santos é bacharel em Matemática Aplicada pela Universidade de São Paulo (1989), possui mestrado em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1997) e doutorado em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2014). Suas áreas de interesse e pesquisa abrangem: teoria da computação, tecnologia adaptativa, estratégias para jogos gerais e processamento em linguagem natural.