

UM TUTORIAL EM CONTROLE SITUACIONAL SEMIÓTICO

MÁRIO ERNESTO DE S. E SILVA, RICARDO R. GUDWIN

DCA-FEEC-UNICAMP - Cx. P. 6101, 13.083-970 - Campinas - SP, Brasil

E-mails: ernesto@dca.fee.unicamp.br, gudwin@dca.fee.unicamp.br

Resumo— O objetivo específico deste trabalho é mostrar qual a estratégia empregada, para a aplicação da semiótica no controle situacional de sistemas complexos, realizada na Rússia, desde os anos 70. A partir da perspectiva do trabalho de D. A. Pospelov, utilizando modelos lógico-linguísticos no controle de sistemas complexos, delinea-se uma visão geral do Controle Semiótico, criado em resposta à incapacidade dos modelos cibernéticos clássicos em lidar com problemas deste tipo.

Keywords— Controle situacional, Linguagem de controle situacional, Rede de situações discretas, Rede de conhecimento semiótico, Rede de Resolvedores semióticos, Modelo semiótico

1 Introdução

A modelagem semiótica de sistemas de controle inteligente, na Rússia, tem sua origem nos trabalhos de Pospelov (POSPELOV 1971, POSPELOV ET.AL. 1970), no final dos anos 60 e início dos anos 70. Pospelov e todo um grupo de pesquisadores que nele se inspiraram (KHOROSHEVSKY 1995; OSIPOV 1981; OSIPOV 1982; DOLMOTOVA ET.AL. 1995; SULOSKY 1996; PRUEITT 1996), criaram um movimento científico que nasceu na Academia de Ciências Soviética (CCCA), e que foi disseminado pela Rússia, dando origem a um conjunto de métodos de controle de sistemas, denominado Controle Situacional Semiótico (CSS). Antes de prosseguirmos com os detalhes do método, é necessário entretanto compreendermos que tipo de sistema Pospelov se propunha a controlar com essa metodologia. Seu interesse não era controlar sistemas mais tradicionais, para os quais outras abordagens de controle já eram conhecidas e bem empregadas. A classe de sistemas à qual Pospelov direcionou seus esforços é a de sistemas abertos complexos de grande porte: sistemas como sistemas ecológicos, sistemas sociais, grandes organizações comerciais e/ou industriais.

O CSS focaliza, portanto, sobre o controle de sistemas onde é difícil descrever a estrutura e o funcionamento específico do objeto, onde o comportamento de pessoas ou outras entidades ativas tem um impacto imprevisível sobre o sistema, e onde o sistema evolui através do tempo, incrementando a sua complexidade (POSPELOV 1995). Dentre outras peculiaridades, um CSS é caracterizado pela utilização das seguintes abordagens (POSPELOV 1991):

- Introdução do conceito de situação,
- A classificação de situações,
- Transformações de situações por métodos formais de semiótica.

Assim, o CSS tem como principal característica a introdução de métodos lógico-linguísticos na engenharia de controle, visando a solução de problemas para os quais os métodos de controle clássicos não são aplicáveis (POSPELOV 1995, POSPELOV ET.AL. 1995).

Uma análise precipitada da abordagem de Pospelov poderia facilmente confundir-la com uma espécie de versão russa para o que hoje conhecemos no ocidente como sistemas especialistas (*expert systems*), ou técnicas correlatas

ao que hoje chamaríamos de Inteligência Artificial clássica, baseadas em lógica matemática e mecanismos de inferência dedutiva (RUSSEL & NORVIG 1995). No entanto, ao contrário das abordagens ocidentais, que focalizaram no processamento simbólico, e com isso nos legaram uma série de problemas tais como a falta de fundamento simbólico (*symbol grounding problem*), o problema do enquadramento (*frame problem*), o problema da visão de referência (*frame-of-reference problem*) e o problema da contextualização (*situatedness problem*) (VERSCHURE 1993), a abordagem de Pospelov não se limitou a um processamento simbólico-dedutivo, mas efetuou um amplo aproveitamento dos conceitos semióticos, onde a unidade elementar é o signo e não o símbolo, sendo que outros tipos de signos tais como os ícones e os índices também podem participar, e o processamento não fica restrito ao processamento sintático, mas também ao semântico e ao pragmático. Com o uso de um **Modelo Semiótico**, a metodologia de Pospelov se mostra uma abordagem muito mais completa e abrangente que as abordagens clássicas de inteligência artificial.

De uma forma geral, um **Modelo Semiótico** (MS) pode ser visto como uma rede, onde cada nó representa um sistema formal, e cada arco entre os nós da rede representa uma transição, que permite que se passe de um sistema formal a outro sistema formal, a partir de certas regras de transição. Essa capacidade de passar de um sistema formal a outro é a grande diferença entre o modelo de Pospelov e os modelos lógicos ocidentais. Um modelo semiótico é, entretanto, uma entidade abstrata e geral, que pode ser instanciada e utilizada de diferentes formas. O CSS é uma dessas instanciações. Vejamos como ela é implementada.

A figura 1 apresenta um sumário da organização de um CSS. No mundo real, temos o sistema que desejamos controlar. Esse sistema está caracterizado por possuir diversas relações, que definem sua estrutura organizacional. Dentro do CSS temos, como um modelo direto do sistema, a figura de uma DSN, ou **Rede Situacional Discreta** (*Discrete Situational Network*). O uso de uma DSN como modelo direto do sistema, assume que o sistema em questão é um sistema a eventos discretos. Assim, uma DSN nada mais é do que uma ferramenta matemática para a modelagem de um sistema a eventos discretos. Essa ferramenta, como veremos adiante, é uma rede de autômatos. Analisando uma DSN do ponto de vista da ciência ocidental, poderíamos

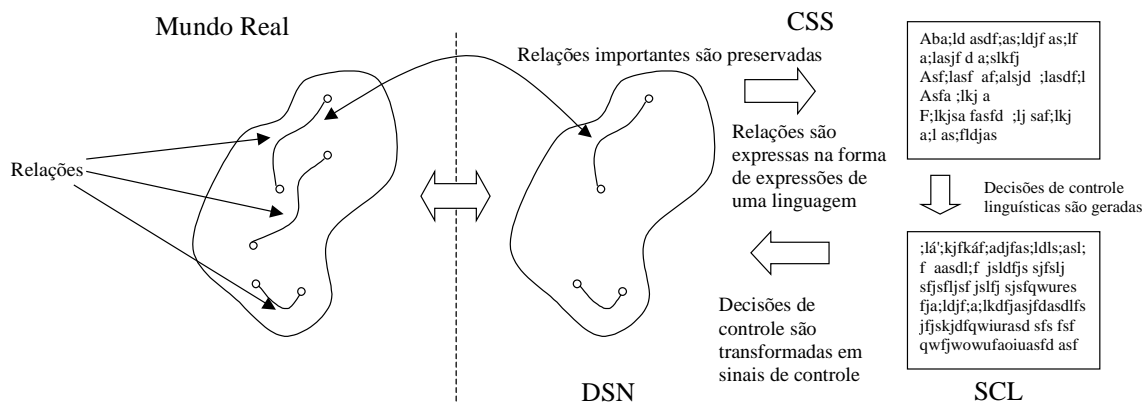


Figura 1 - Organização de um CSS

alternativamente utilizar uma rede de Petri ou algo equivalente para a mesma finalidade.

Uma DSN possui uma dinâmica discreta, que representa a dinâmica das mudanças no mundo. Essa dinâmica é representada sob a forma de **situações**. Uma situação nada mais é do que o retrato de uma DSN em um determinado instante de tempo. Até esse ponto, o modelo de Pospelov não apresenta nada de extraordinário. É a partir daqui, entretanto, que o CSS passa a mostrar seu ineditismo. A partir de uma determinada situação da rede, que representa um estado de coisas no mundo real, essa situação passa a ser descrita em termos de sentenças de uma linguagem especial, chamada de SCL, ou **Linguagem de Controle Situacional** (*Situational Control Language*). Uma das características da SCL é que ela possui uma semântica exata e bem definida, dada a partir do modelo matemático da DSN. Uma das grandes idéias de Pospelov é exatamente a atribuição da semântica das expressões da linguagem às situações da DSN. Se a semântica das expressões fosse atribuída diretamente aos fenômenos do mundo real, essa semântica seria cheia de ambiguidades e imperfeições, dado o aspecto impreciso, incerto e muitas vezes desconhecido dos fenômenos do mundo real. Ao atribuir a semântica das expressões da linguagem à DSN, foi possível a determinação de uma linguagem com semântica muito bem definida, mas que apesar disso apresenta uma grande similaridade com uma linguagem natural. Assim, a SCL apresenta estruturas linguísticas semelhantes às de uma linguagem natural, incluindo conceitos, nomes, relacionamentos, ações, avaliações, quantificadores, e operadores modais, tais como, possibilidade, prioridade e probabilidade. Essas estruturas são utilizadas para a descrição das situações discretas encontradas na rede, e para a descrição de como o sistema se comporta, ou deve se comportar (**ALBUS EM MEYSTEEL 1995**).

Assim, utilizando a SCL, constrói-se uma base de **conhecimento semiótico** (KS), que compõe-se de descrições de situações e regras de atuação diante de situações, descritas como sentenças da SCL. Para processar a KS, utiliza-se o conceito de **resolvidores semióticos** (RS), que aplicam os operadores de abdução, dedução e indução de modo a derivar novos conhecimentos. Os novos conhecimentos gerados que sejam decisões de atuação são então aplicados à DSN, implicando em uma atuação direta no sistema sendo controlado.

Um sistema semiótico, segundo Pospelov, envolve portanto os seguintes componentes:

- Um **Modelo Semiótico** - que é um modelo abstrato instanciado em diversos pontos do sistema semiótico
- A **Rede Situacional Discreta** (DSN) - que descreve o sistema sendo controlado como um sistema a eventos discretos
- A **Linguagem de Controle Situacional** (SCL) - que permite a descrição de conhecimentos sobre o sistema, com sua semântica mapeada nos estados do DSN
- Uma **Base de Conhecimento Semiótico** (KS) - que armazena sentenças em SCL
- Um **Resolvidor Semiótico** (RS) - que processa o conhecimento em KS, gerando decisões de controle

2 Modelos Semióticos

Um modelo semiótico pode ser entendido como um grafo onde os nós são modelos formais, e os arcos representam as relações de transformações de um modelo formal para outro. Estas transformações tanto podem representar uma mudança efetiva no sistema sendo controlado como simplesmente uma mudança na descrição do sistema. Dessa forma, um modelo semiótico corresponde ao conjunto de todos os possíveis modelos formais que poderiam ser utilizados para representar situações referentes a um sistema sendo controlado. A utilização de um modelo semiótico introduz mecanismos de variação dos elementos utilizados em um sistema formal, o que é uma característica própria dos sistemas semióticos. Essa mudança de um modelo formal para outro pode ser descrita em termos das mudanças nas relações sintáticas, semânticas, e pragmáticas envolvendo um conjunto de signos.

Formalmente, um modelo semiótico pode ser definido como a héptupla

$$W = \langle T, H, G, \theta, X, \Xi, \Omega \rangle,$$

onde os quatro primeiros elementos desta héptupla, T, H, G e θ descrevem um sistema formal. Neste sistema,

- T é um conjunto de elementos básicos ,
- H é um conjunto de regras sintáticas que são usadas para formar expressões corretamente formadas de elementos de T,
- G é um conjunto de expressões que são declaradas expressões semanticamente corretas (SCE) e que por

sua vez podem ser divididas em mensagens e axiomas, interpretadas como fatos e leis (causa-efeito, lógica, etc.), respectivamente ocorrendo no mundo externo,

- θ é um conjunto de regras que permitem a obtenção de novas expressões SCE a partir de elementos de G

As regras H são regras de reconhecimento, i.e., determinam se a expressão é sintaticamente correta. O conjunto G pode ser multi-estruturado, ou seja, pode ser estruturado em diferentes níveis hierárquicos, o que pode ser considerado durante a aplicação das regras θ . Os elementos seguintes da héptupla não são usados em um modelo formal ordinário. As **regras X** variam o conjunto G, da mesma forma que θ . Entretanto, ao contrário de θ , que apenas deduz fatos que já se encontram implicitamente em G, as regras em X permitem a adição de elementos novos e a eliminação de elementos de G. A introdução das regras X no modelo complementa o comportamento de um sistema formal ordinário, dando-lhe uma característica adaptativa, além de permitir que as regras θ possam tanto conter SCEs que estão contidas em G a um dado momento como também SCEs que estão ausentes.

As regras X podem ser particionadas em dois subconjuntos, X_1 e X_2 . As regras em X_1 são chamadas de internas, e representam as mudanças em G causadas por ações inteligentes. As regras em X_2 são chamadas externas, e representam as mudanças em G causadas por fontes externas ao sistema de controle. Estas regras podem ser conhecidas ou desconhecidas. Em particular, as regras X_2 podem ser usadas para especificar os fatos objetivos. A utilização de X_2 pelo sistema pode ser vista como a descoberta de leis que ocorrem no mundo externo. Podem existir conflitos entre os elementos de X_1 e X_2 . Para resolver estes conflitos, existem regras X^* de matching que permitem determinar os efeitos de resultados de regras conflitantes sobre G.

As **regras ε** definem mudanças nas regras θ , ou seja, expressam o problema da adaptação do sistema ao meio externo especificado. Finalmente, as **regras Ω** fixam as mudanças nas regras H, ou seja, expressam mudanças na sintaxe do sistema semiótico. Este comportamento pode ser entendido como a translação dos fatos de um sistema de representação para outro, implementando um processo de recodificação (POSPELOV 1991).

A Figura 2 mostra as interações entre os componentes de um modelo semiótico.

3. Fundamentos de Controle Situacional

Sistemas abertos complexos de grande porte (SACGP) são sistemas em que não é possível o conhecimento a priori de um modelo exato que descreva todo o comportamento do sistema. Isso decorre devido a uma série de características envolvendo o sistema sendo controlado, tais como (POSPELOV 1991):

- **Particularidades únicas** - cada parte do sistema possui estruturas e funções que são únicas e não permitem uma generalização com relação a ações de controle
- **Falta de um propósito formalizável de existência** - não é claro o propósito que mantém o sistema funcionando enquanto sistema

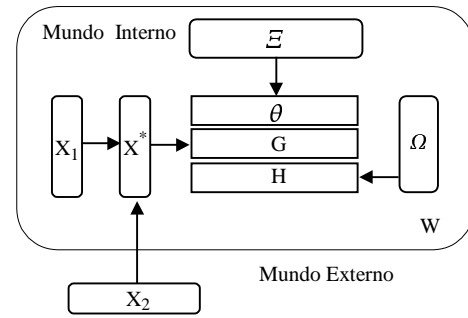


Figura 2: modelo semiótico

- **Ausência de otimalidade** - não é possível se formalizar um problema de otimização com relação ao sistema em questão
- **Comportamento Variável** - o sistema possui estruturas que estão em constante mudança de comportamento, de forma não periódica
- **Descrição incompleta** - o conhecimento que se tem sobre o sistema não o descreve por inteiro; existem partes do sistema que são desconhecidas e de comportamento imprevisível
- **Presença de livre-arbítrio** - partes do sistema podem tomar decisões independentes e autônomas, que fogem a qualquer tipo de modelagem

Para poder dar conta de características como essas, o controle situacional adota métodos adaptativos, baseados em modelos generalizados da estrutura e operação do sistema controlado, que vão sendo modificados ao longo do funcionamento do sistema, sendo que seu desempenho final é obtido ao longo da operação do sistema.

Em SACGPs, o número de situações específicas (microdescrições) envolvendo o estado do sistema pode ser muito grande, sendo que uma descrição detalhada de todas estas situações nem sempre é relevante para os objetivos de controle. Para resolver o problema de controle, devemos então passar de uma microdescrição de suas operações para uma macrodescrição aproximada. Um exemplo da consideração de uma macrodescrição ao invés de sua microdescrição ocorre, e.g, quando ao estudarmos o movimento de carros em uma estrada, ao invés de levarmos em conta cada carro individualmente, adotamos uma macrodescrição que considera somente o fluxo de carros na rodovia (POSPELOV ET.AL. 1970).

4. Rede de Situações Discretas (DSN)

Uma DSN é um modelo para um sistema a eventos discretos. Pospelov define uma DSN como um grafo composto por vértices do tipo **fonte**, **sorvedouro** e **decisão**. Cada um destes vértices é modelado formalmente como um autômato, ou seja, possui um conjunto de estados internos, entradas e saídas. As entradas comandam a transição entre estados do autômato. A cada transição, o autômato pode gerar uma saída correspondente. Os arcos conectando os vértices orientam uma conexão entre os autômatos, de tal forma que as saídas de alguns vértices acabam por corresponder à entrada de outros vértices, determinando uma rede de autômatos. As entradas e saídas dos autômatos são chamados

de objetos, sendo representados por ênuclas n-árias, que codificam informações sobre os objetos do mundo real que lhe são análogos. Os elementos dessas ênuclas podem conter informações que podem alterar o comportamento do autômato, principalmente informações do tipo temporal. Os objetos podem localizar-se nos vértices ou em posições marcadas na rede e, em instantes de tempo discreto, movem-se de um vértice para outro. Os vértices fontes geram objetos de acordo com uma lei determinística ou probabilística. Nos vértices sorvedouros, os objetos desaparecem. Os vértices chamados decisões podem mover ou transformar os objetos. Tais vértices podem ser de dois tipos: passivos ou ativos. Qualquer objeto no elemento de decisão passivo não muda suas características, sendo somente movido adiante depois de um atraso temporal, enquanto que nos elementos de decisão ativos, os objetos podem ter suas características mudadas.

Tomando, em um certo instante de tempo, uma “fotografia instantânea” das posições de todos os objetos na rede, obtemos portanto uma **situação** da DSN. A operação de uma DSN pode portanto ser representada como uma mudança de situações ao longo do tempo. Mais detalhes sobre a formalização de uma DSN podem ser encontrados em (POSPELOV ET.AL. 1970).

Pospelov define uma representação gráfica para uma DSN (e.g. - figura 3), onde os vértices I (fonte) são apresentados como quadrados, os vértices P (decisão passivo) como círculos, os vértices AP (decisão ativo) como círculos duplos, e os vértices C (sorvedouros) como triângulos.

Além destes, Pospelov ainda define um outro tipo de vértice, a **posição**, onde um objeto permanece inerte exatamente por um período de tempo. Posições são representadas como pequenos pontos pretos. Um exemplo de controle de tráfego numa área de uma cidade incluindo dois cruzamentos, e diversas vias de acesso, seguindo esta convenção gráfica, é mostrada na figura 3. Nela, I_1 , I_2 , e I_3 representam três vias de acesso que alcançam um primeiro cruzamento controlado por um semáforo AP_1 . Este, faz conexão com uma via de acesso C_1 e com um segundo cruzamento controlado pelo semáforo AP_2 . Este, por sua vez, é alcançado pelas vias de acesso I_4 e I_5 , e também faz conexão com C_2 e C_3 . A via de acesso I_6 tem acesso direto à via de acesso C_3 sem passar por qualquer dos cruzamentos controlados. Além destes vértices, 7 posições são distribuídas ao longo da rede. Elas correspondem a certas seções nas principais vias de acesso onde os carros estão localizados. Os objetos circulando na rede corresponderão aos carros. Em vez de um fluxo contínuo de carros, como acontece na realidade, os objetos correspondentes aos carros na DSN, movem-se discretamente na rede. Para os segmentos sem posição, o movimento ocorre num único ciclo da DSN (POSPELOV 1991).

Uma DSN não somente disponibiliza a estrutura e operações suportadas pelo objeto de controle, como também é adequada para a maioria dos problemas de controle de sistemas complexos, tais como, sincronização, transmissão, alocação, distribuição, e otimização de recursos e processos na engenharia de transporte, de transmissão, de comunicação, de informação, de qualidade, etc.

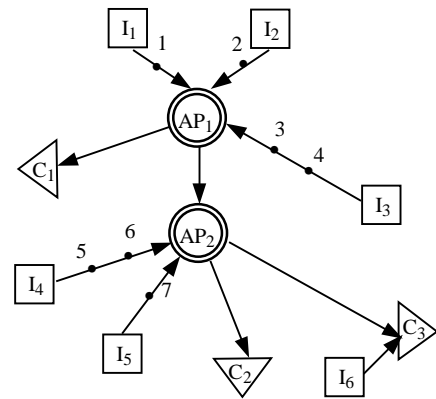


Figura 3: Rede Situacional Discreta

5. Linguagem de Controle Situacional

As situações descritas em uma DSN podem ser representadas através de expressões de uma SCL. Deste modo, as expressões linguísticas da SCL estão associadas não ao sistema do mundo real sendo controlado, mas a seu modelo equivalente na DSN. Assim, dizemos que a DSN é o instrumento que disponibiliza a estrutura e as operações suportadas pelo objeto controlado. As situações do DSN são portanto descritas na forma de microdescrições, que serão em seguida convertidas para sentenças da SCL. A microdescrição de uma situação é representada como um grafo cujos vértices determinam conceitos elementares a_i , associados a tuplas $\langle \alpha, \beta, \lambda, \delta, \dots \rangle$ e cujos arcos determinam relações binárias r_k , dizendo respeito à situação do DSN em um determinado instante de tempo. A presença de um arco (denotado por r_k) ligando a_i e a_j significa que os conceitos a_i e a_j estão numa relação r_k . Uma microdescrição, neste caso, corresponde a um conjunto formado por todas as triplas da forma $\langle a_i, r_k, a_j \rangle$ necessárias à descrição das situações formadas no objeto de controle. A linguagem SCL corresponde a uma linguagem semi-natural, onde Pospelov compila 76 relações possíveis, que têm sua semântica diretamente associada aos possíveis estados de uma DSN. Estas relações incluem relações de indicação, quantitativas, de comparação, de afiliação, de tempo, de espaço, causais, instrumentais, informacionais, etc.... A linguagem inclui ainda ações, quantificadores, modificadores, modalidades e avaliações, que também tem sua semântica atribuída em função do DSN (POSPELOV 1991).

A partir de sentenças da SCL com as microdescrições, macrodescrições são construídas usando-se quatro operações básicas: **Generalização**, **Abstração**, **Associação**, e **Truncamento**.

6. Conhecimento Semiótico

A microdescrição de conceitos elementares por meio de ênuclas, como no exemplo anterior, é apenas uma descrição simplificada. Pospelov descreve um modelo bem mais elaborado para a construção de microdescrições utilizando signos. Por meio do uso de signos, pode-se construir uma base de conhecimento semiótico (KS) que envolve uma descrição bem mais acurada das situações. Uma das principais características do controle situacional, envolvendo

uma base de conhecimento semiótico, em um sistema de controle inteligente, é a flexibilidade obtida na representação das situações que ocorrem no objeto de controle, dando origem a um modelo de conhecimento reconstrutível, característica imposta pela natureza do processo signico, que está em permanente auto-organização, por processos de auto-interpretação, visando capturar acuradamente o comportamento atual do objeto de controle.

O uso de uma base de conhecimento semiótico na forma de signos permite o particionamento deste conhecimento em diferentes modalidades, dependendo da parte da situação que este modela. Este particionamento acaba resultando na diferenciação e criação de diversas sub-linguagens:

- linguagens de descrição de situações (SCL),
- linguagem de descrição de conhecimento sobre o objeto de controle (DSC)
- linguagens para leis de transformações (LTR),
- linguagem para descrição dos objetivos do sistema de controle (textos, mapas, fórmulas, etc.).

Essa organização, fragmenta todo o conhecimento semiótico do sistema em regiões separadas, possivelmente, sobrepostas, chamadas *esferas*, onde cada *esfera* contém conhecimentos para os quais existe um fecho semântico, pragmático, ou situacional. Cada fato, armazenado na memória do sistema de controle, contém informações sobre as esferas a que pertence. Em outras palavras, uma KS apresenta uma organização hierárquica, multidimensional, e multiresolucional, cujos elementos são fragmentos de redes semióticas (FSN) denominados esferas (POSPELOV 1991; POSPELOV & OSIPOV 1997).

Uma KS, na sua forma mais simples, é um agregado de signos, relações e operações de transformações. Um signo, como uma unidade elementar numa KS, pode ser representado como mostrado na figura 4. É uma unidade mental, associada a um objeto no mundo real, formada por quatro constituintes:

- (1) *nomes*, para o propósito de identificação, acesso e uso por outros signos,
- (2) *conceitos*, informações cognitivas, associadas com as imagens mentais, obtidos por processos tais como, generalização, abstração, etc.,
- (3) *imagens*, informações perceptuais, obtidas através de observações, experiências, etc., e
- (4) *ações*, informações pragmáticas, hábitos de comportamento, etc., quando da interação com outros signos ou eventos observáveis.

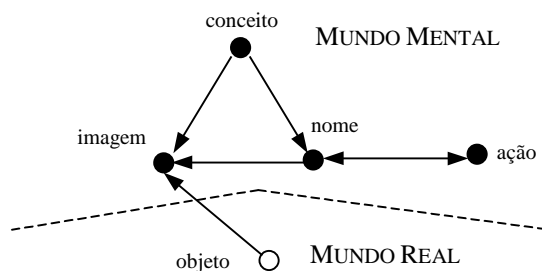


Figura 4: Elementos Constituintes do Signo

Uma KS é portanto uma base de conhecimento hierárquica, multidimensional e multiresolucional de FSNs, denominadas esferas, ou regiões de conhecimento semântico, pragmático, ou situacional (POSPELOV 1991; POSPELOV & OSIPOV 1997).

7. Resolvedores Semióticos

Para se passar de microdescrições para macrodescrições, ou ainda de macrodescrições de um certo nível para uma macrodescrição de um nível superior, é necessário que apliquemos algum tipo de operação nos elementos da base de conhecimento semiótico. Esta tarefa é realizada pelos chamados resolvedores semióticos (RS). Podemos compreender um resolvedor semiótico, portanto, como uma instância do Modelo Semiótico visto na seção 2, quando aplicado em problemas de planejamento de atividades, ou geração de comportamento de sistemas inteligentes artificiais.

Um sistema de planejamento de atividades que tenha por base um modelo semiótico, trata do problema da inferência de um fato específico (incluído em G) a partir de um grupo de fatos, especificado com o auxílio das regras θ e Ω . Em casos particulares (que seriam os sistemas especialistas, conforme a inteligência artificial clássica), um RS pode operar em condições de regras θ invariantes e de conjuntos H e G especificados, i.e., sob condições específicas de um sistema formal dedutivo. Entretanto, como ressaltamos no início deste texto, a força de um RS não está aqui, mas na habilidade de modificar seu comportamento por meio de adaptação e aprendizagem.

Um RS consiste de dois sistemas interagindo mutuamente: um sistema de decisão e um sistema de execução, conforme a figura 5. Os elementos do sistema de decisão são os **órgãos de decisão** (OD) que formam uma hierarquia de n camadas de acordo com a estrutura de controle. Os elementos do sistema de execução são os **órgãos de execução** (OE). Os OD organizam-se de baixo para cima. De forma que, os ODs da primeira camada têm autoridade sobre os OEs. Todos os ODs restantes lidam somente com seus ODs subalternos. A função de um sistema de decisão é realizar buscas efetivas de soluções no espaço de problemas, enquanto que a função de um sistema de execução, é estimar uma decisão obtida segundo o modelo de um universo subalterno, e deliberar as informações

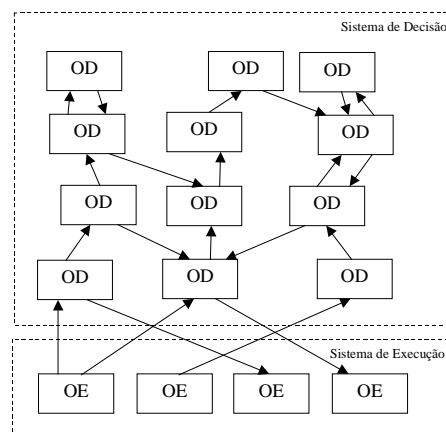


Figura 5 - Resolvedor Semiótico

corretivas para o sistema de decisão, se necessário.

Os problemas resolvidos por cada OD são denominados locais e os resolvidos por um sistema de ODs são denominados globais. Para a solução de um problema local é assumido que as descrições dos dados iniciais, das condições e das soluções elementares foram especificadas, e sua solução é expressa na forma de uma cadeia causa-efeito de soluções elementares.

Cada OD lida com três universos: *externo*, *interno* e *objetivo*, para os quais constroem-se os níveis de descrição *perceptivo*, *reflexivo* e *objetivo*, conforme mostra a figura 6.

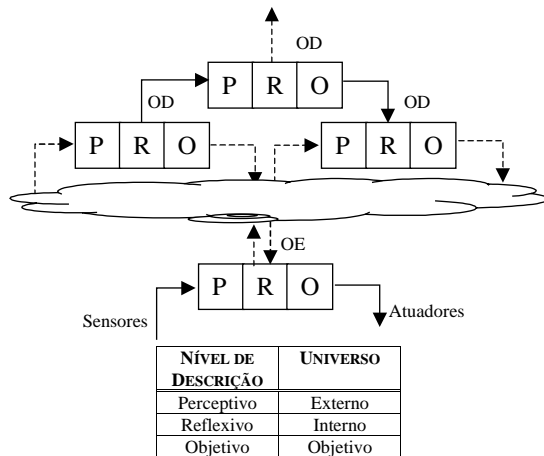


Figura 6 - Operações entre Níveis Distintos

Dessa estratégia de obtenção de estruturas (inferenciais) de alto nível pela interação de um pequeno número de estruturas de baixo nível, surge a natureza hierárquica, multidimensional, e multiresolucional intrínsecas às estruturas duais de conhecimentos e de processos encontrada nos Resolvedores Semióticos (POSPELOV ET.AL. 1977).

8. Conclusão

O controle semiótico, desenvolvido por Pospelov e seus seguidores, constitui-se de uma nova abordagem paradigmática para o controle inteligente de sistemas, que traz muitos resultados e muitas idéias para serem exploradas pela ciência ocidental. Apesar de permanecer desconhecido no ocidente, a abordagem semiótica de Pospelov mostra-se muito eficiente, resolvendo parte dos problemas que a inteligência artificial no ocidente ainda não resolveu. Sua melhor compreensão e utilização por pesquisadores ocidentais, e seu hibridismo com técnicas modernas tais como a lógica fuzzy, as redes neurais e a computação evolutiva poderão trazer subsídios significativos para o estudo dos sistemas inteligentes no futuro.

Neste texto, procuramos abordar os aspectos mais relevantes das idéias de Pospelov, fazendo um sumário de quase 30 anos de pesquisa na área de controle semiótico, que se encontra disperso em publicações de difícil acesso no ocidente, e que possui as vezes problemas sérios de tradução. Nosso esforço, além de uma simples coleta de bibliografia, envolveu a busca de uma terminologia comum e coerente, que nem sempre é encontrada nos textos originais, ao mesmo tempo que se busca a fidelidade à idéia original colocada nos textos. Para tal, entendemos que a sumarização

das idéias de Pospelov como colocadas neste artigo possa servir para o leitor como um guia para uma melhor compreensão destas idéias. Esperamos que esse esforço possa ser compartilhado com outros leitores ocidentais, e que o trabalho de Pospelov possa ser melhor apreciado e eventualmente popularizado no ocidente a partir de esforços como esse.

Referências Bibliográficas

- Dolmatova, L.M. and Khoroshevsky, V.F., Help Leader: Making Situation Control to Work in Software Engineering, Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC WORKSHOP, 10^o IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- Khoroshevsky, V.F., A., Situation Control Software: From Symbol Manipulation Languages Through Knowledge Representation Systems to Semiotic Technologies, Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC WORKSHOP, 10^o IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- Meystel, A., Semiotic modeling and Situation Analysis: na introduction, AdRem, Cynwyd, PA, 1995.
- Osipov, G.S., Two Problems in the Theory of Semiotic Control Models I. Representations of Semiotic Models, Engineering Cybernetics, Makhachkala, 1981(6):79-88.
- Osipov, G.S., Two Problems in the Theory of Semiotic Control Models II. Semantic Analysis, Engineering Cybernetics, Makhachkala, 1982(1):98-104.
- Pospelov, D.A. and Zhelezov, Zh. Y., On a Class of Large Systems, Engineering Cybernetics, Moscow, 1970(2):243-246.
- Pospelov, D.A., Principles of Situation Control, Engineering Cybernetics, Moscow, 1971(2):216-222.
- Pospelov, D.A. and Yeimov, Ye. I., Semiotic Models in Planning Problems of Artificial Intellect Systems, Engineering Cybernetics, Moscow, 1977(5):37-43.
- Pospelov, D. A., Situational Control: Theory and Practice, Nauka Publisher, Tradução em Inglês, 1991.
- Pospelov, D.A. and Osipov, G.S., Knowledge in Semiotic Models, 2nd Workshop on Applied Semiotics, Smolenice Castle, Slovakia - 15 September 1997.
- Pospelov, D.A., Semiotic Models in Control Systems, Proc. of ISIC-10^o IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- Pospelov, D.A., Ehrlich, A.I., Khoroshevsky, V.F., and Osipov, G.S., Semiotic Modeling and Situation Control, Proc. of ISIC - 10^o IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, 1995.
- Prueitt, P.S., Is Computation Something New?, Intelligent Systems: a semiotic perspective, Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference, Vol. II: Applied Semiotics, Gaithersburg, Maryland, 1996.
- Russell, S. and Norvig, P., Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, 1995.
- Sulosky, M.F., Semiotics Situational Control, JSM-type Reasoning and Q-analysis, Intelligent Systems: a semiotic perspective, Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference, Vol. II: Applied Semiotics, Gaithersburg, Maryland, 1996.
- Verschure, P., Formal Minds and Biological Brains - AI and Edelman's Extended Theory of Neuronal Group Selection, IEEE Expert, October 1993, pp. 66-75.