

Um Tutorial em Controle Situacional Semiótico

Mário Ernesto de Souza e Silva
ernesto@dca.fee.unicamp.br

Ricardo Ribeiro Gudwin
gudwin@dca.fee.unicamp.br

DCA-FEEC-UNICAMP - Campinas - SP, Brasil

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.

Palavras chave – 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 por toda a 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. Segundo Pospelov, para se resolver um problema de controle deste tipo, são necessários os seguintes passos (**MEYSTEL 1995**):

- (1) Ter a percepção do objeto controlado e do ambiente no qual o sistema está imerso,
- (2) Analisar os dados percebidos em todas as multiplicidades de detalhes possíveis,
- (3) Correlacionar a análise com informações armazenadas na memória, sem a omissão dos links de mais alta resolução (detalhes do modelo),
- (4) Classificar os resultados da correlação com a certeza que nada tenha sido sacrificado,
- (5) Construir, manter, e atualizar relacionamentos entre e por meio dos conceitos percebidos e armazenados em todos os níveis de generalização,
- (6) Sintetizar, ou descobrir que ação deve ser tomada para satisfazer a meta do controlador, levando em consideração todas essas generalizações.

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 confundi-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. Modelos semióticos são baseados nas relações determinadas por conexões pragmáticas, podendo ser armazenados em redes semânticas e expressos por meio de estruturas sintáticas (ALBUS EM MEYSTELE 1995). 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 um 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, um 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 um DSN do ponto de vista da ciência ocidental, poderíamos alternativamente utilizar uma rede de Petri ou algo equivalente para a mesma finalidade.

Um 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 um 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 do DSN. Uma das grandes idéias de Pospelov é exatamente a atribuição da semântica das expressões da linguagem às situações do 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 ao 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 MEYSTELE 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 de SCL. Para processar a KS, utiliza-se o conceito de **resolvedores 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 ao DSN, implicando em uma atuação direta no sistema sendo controlado.

Um sistema semiótico, segundo Pospelov, envolve portanto diversos 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 na SCL
- Um **Resolvedor Semiótico** (RS) - que processa o conhecimento em KS, gerando decisões de controle

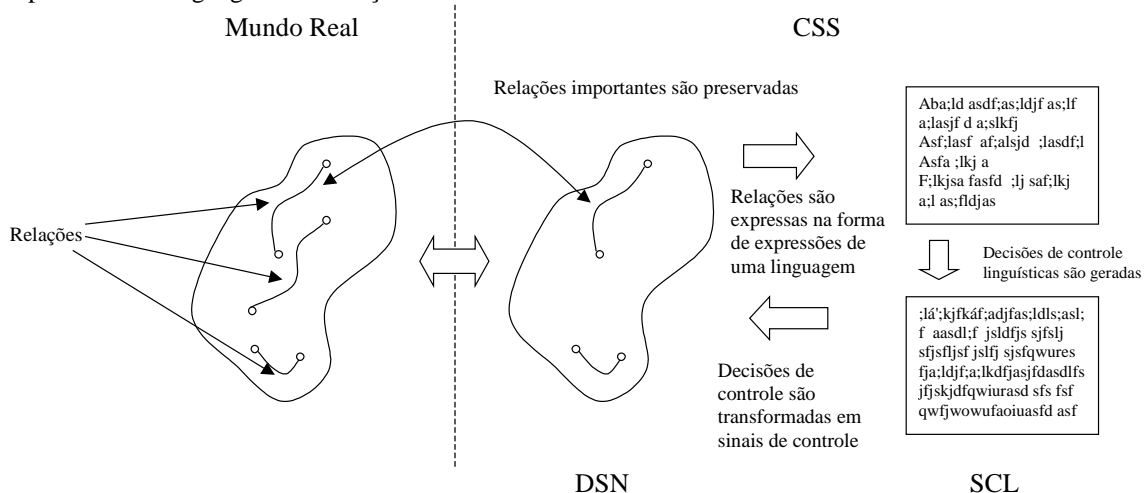


Figura 1 - Organização de um CSS

Pospelov usa recursivamente o conceito matemático de redes para descrever os componentes de seu modelo. Dessa forma, o conceito de sistema semiótico pode ser compreendido como uma grande rede dual hierárquica, multidimensional e multiresolucional envolvendo Resolvedores semióticos (RS), que estruturam as interações entre o DSN e uma base de conhecimento semiótico (KS) escrita em termos de expressões de SCL.

2 Modelos Semióticos

Como já dissemos, 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. 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. Considere-se que estas mudanças (de um modelo formal para outro) tanto podem representar uma mudança efetiva no sistema sendo controlado como simplesmente uma mudança na descrição do sistema, por questões de conveniência de representação. 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. Utilizando a terminologia da semiótica, podemos dizer que 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., para qualquer expressão formada por elementos de T (seqüência de elementos bases), um número finito de aplicações destas regras determina 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 em um modelo semiótico podem ser particionadas em dois subconjuntos, X_1 e X_2 . As regras pertencentes ao subconjunto X_1 são chamadas de internas, e representam as mudanças em G causadas por ações inteligentes. As regras pertencentes ao subgrupo 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.

Conflitos podem existir entre os elementos dos subconjuntos 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** Ξ 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.

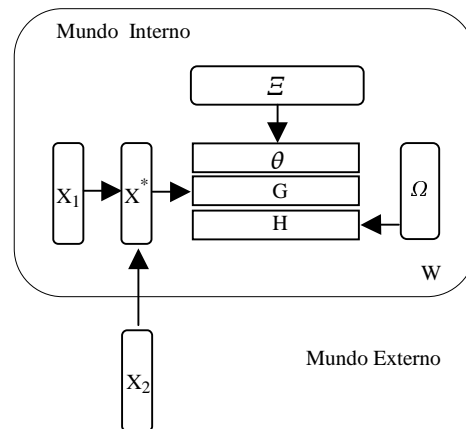


Figura 2: modelo semiótico

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
- **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. Uma descrição detalhada de todas estas situações nem sempre é relevante para os objetivos de controle. Na verdade, vemos que o número de decisões de controle diferentes usadas em qualquer situação particular é muito pequeno. Ou seja, uma característica de tais sistemas é o alta cardinalidade do conjunto de situações específicas descrevendo o problema versus a baixa cardinalidade do conjunto de decisões possíveis para resolvê-lo. Para resolver o problema de controle, devemos então particionar o conjunto de situações específicas de tal forma que para cada decisão possível esteja associado um conjunto de situações possíveis. Dentro de tal observação, o problema de controle pode ser considerado equivalente ao reconhecimento de padrões, ou classificação das microdescrições em termos de um conjunto de propriedades desconhecidas a priori. Em geral, não é factível resolvermos esse problema de partição de um conjunto de situações específicas de acordo com as decisões de controle, dado o imenso número de situações específicas que pode existir na prática. No entanto, é possível tentarmos descrever as situações envolvendo o sistema de uma maneira mais generalizada, passando de uma microdescrição de suas operações para uma macrodescrição aproximada. Na transição para a macrodescrição, deve-se levar em conta uma diminuição na eficiência do controle como consequência da perda de informações sobre a operação do objeto controlado existente no micronível. Um exemplo da consideração de uma macrodescrição de um sistema ao invés de sua microdescrição ocorre, por exemplo, quando queremos estudar um sistema como o do movimento de carros ao longo de uma estrada. Ao invés de adotarmos uma microdescrição, que levaria em conta cada carro individualmente como sendo um componente do sistema, adotamos uma macrodescrição

que considera somente o fluxo de carros na rodovia, na forma de um fluxo de fluido incompressível contínuo (POSPELOV ET.AL. 1970).

4 Rede de situações discretas (DSN)

Como visto anteriormente, uma DSN é um modelo para um sistema a eventos discretos. Especificamente, Pospelov define uma DSN como um grafo composto por vértices de três tipos diferentes:

- vértices do tipo fonte,
- vértices do tipo sorvedouro,
- vértices do tipo decisão.

Cada um destes vértices é modelado formalmente como um autômato, ou seja, possuem 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. Vértices do tipo fonte só possuem saídas e vértices do tipo sorvedouro só possuem entradas. Vértices do tipo decisão possuem tanto entradas como saídas. 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, acabando por determinar uma rede de autômatos. Os elementos que funcionam como entradas e saídas dos autômatos são chamados de objetos, sendo representados por ênuplas n-árias, que codificam informações sobre os objetos do mundo real que lhe são análogos. Os elementos dessas ênuplas podem conter informações que podem alterar o comportamento do autômato, principalmente informações do tipo temporal. De certa forma, podemos portanto enxergar uma rede situacional discreta como se objetos de um certo tipo pudessem mover-se em tempo discreto, de vértice a vértice. Os objetos podem se encontrar localizados nos vértices, ou em posições marcadas na rede e, quando instantes de tempo discreto mudam, os objetos se movem de um vértice para outro. A operação de cada tipo de vértice é descrita como a seguir:

- (1) os vértices chamados fontes geram objetos de acordo com uma lei determinística ou probabilística, que passam então a mover-se ao longo da rede;
- (2) nos vértices chamados sorvedouros, os objetos desaparecem;
- (3) 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, alguns dos objetos podem mudar suas características.

Tomando, em um certo instante de tempo, uma “fotografia instantânea” das posições de todos os objetos na rede, obtemos o que é chamado de uma **situação** na DSN. A operação de uma DSN pode portanto ser representada como uma mudança de situações ao longo do tempo. O caráter desta mudança é determinado pelas leis de operação dos vértices da DSN. 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 do tipo fonte são apresentados como quadrados,
- os vértices P do tipo decisão passivo como círculos,
- os vértices AP do tipo decisão ativo como círculos duplos, e
- os vértices C do tipo sorvedouros como triângulos.

Além destes, Pospelov ainda define um outro tipo de vértice ao qual chama de posição, que seria um tipo de vértice do tipo decisão passivo simplificado, onde um objeto permaneceria 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).

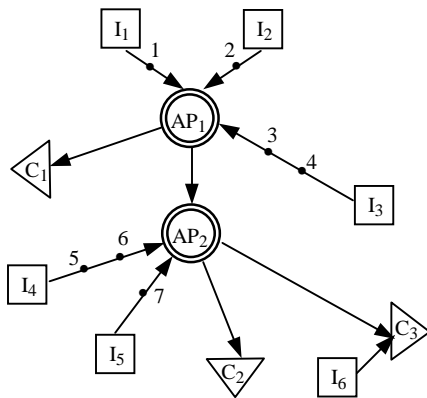


Figura 3: Rede Situacional Discreta

Uma DSN não somente disponibiliza a estrutura e operações suportadas pelo objeto de controle, como também é adequada para a maioria dos problema 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.

5 Linguagem de controle situacional

Como também dissemos anteriormente, é possível representarmos as situações descritas em uma DSN através de expressões de uma SCL. Assim, as expressões

linguísticas da SCL estão associadas não ao sistema do mundo real sendo controlado, mas a seu modelo equivalente no DSN. Assim, dizemos que a DSN é o instrumento que disponibiliza a estrutura e as operações suportadas pelo objeto controlado. As situações do DSN serão agora descritas na forma de microdescrições, que serão em seguida convertidas para sentenças da SCL. A microdescrição de uma situação é representada como um multigrafo cujos vértices determinam conceitos elementares a_i , 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 o conceito 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.

5.1 MICRODESCRIÇÃO

Para uma melhor compreensão do emprego das SCL no controle situacional, vamos analisar um exemplo ocorrendo em um cruzamento de duas vias controlado por semáforo e verificar como podemos derivar uma microdescrição a partir de uma situação do DSN. Suponhamos a seguinte situação: dois carros com velocidades 20 e 60 km/h próximos do cruzamento pela esquerda, sendo que um deles estando na seção colada ao cruzamento, enquanto que o outro está logo atrás dele. À direita do cruzamento localiza-se um carro distante com prioridade a uma velocidade de 90 km/h. O sinal verde está aberto na direção horizontal. Um carro sem prioridade está próximo abaixo do cruzamento a uma velocidade de 30 km/h, enquanto que nenhum outro carro com prioridade espera pelo sinal verde. Vejamos como formalizar um multigrafo, nesta situação específica:

Seja $\Pi = \{\langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4 \rangle\}$, um conjunto de ênuplas $\langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4 \rangle$, onde $\pi_i \in \Pi_i$ e

$\Pi_1 = \{\lambda, \text{com-prioridade, sem-prioridade}\};$

$\Pi_2 = \{\lambda, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100\};$

$\Pi_3 = \{\lambda, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\};$

$\Pi_4 = \{\lambda, \text{vermelho, amarelo, verde}\}.$

Cada ênupla $\langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4 \rangle$ corresponderá à representação de um conceito elementar a_i , onde o valor λ atribuído a π_i corresponde a um valor nulo, ou seja, sem significado. Como convenção, é assumido que se existe um π_i cujo valor é distinto de λ , todas as outras características da ênupla terão o valor λ . Todas as características não podem assumir simultaneamente o valor λ . Assim, a semântica das relações básicas é fixada como a seguir:

$\langle \pi_1, \lambda, \lambda, \lambda \rangle$ significa um “carro”,

$\langle \lambda, \pi_2, \lambda, \lambda \rangle$ significa “velocidade”,

$\langle \lambda, \lambda, \pi_3, \lambda \rangle$ significa “seção”, e

$\langle \lambda, \lambda, \lambda, \pi_4 \rangle$ significa “sinal do semáforo”

Assim, um carro é determinado somente pelo seu tipo, i.e., como tendo uma prioridade, uma velocidade, um sinal do semáforo numa certa direção fixada (por exemplo, vertical, horizontal). Seja $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$. A semântica de r_k é fixada como a seguir:

r_1 significa “ter”,

r_2 significa “localiza-se”,
 r_3 significa “próximo”, e
 r_4 significa “distante”

A figura 4 a seguir apresenta uma microdescrição da situação descrita anteriormente, onde cada conceito é representado por um nó e as relações são representadas por arcos.

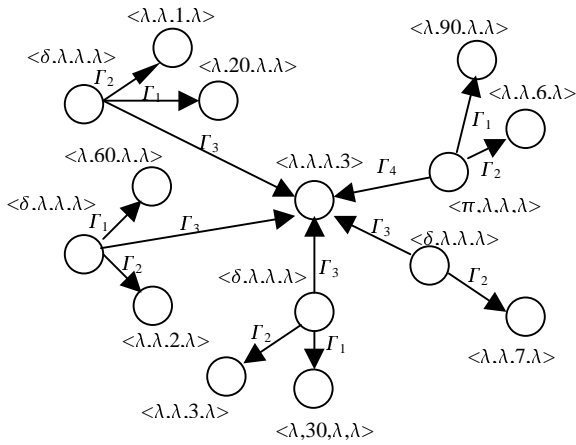


Fig. 4: Multigrafo

Observe que a microdescrição da figura 4 pode ser igualmente representada na forma de um conjunto de sentenças na SCL envolvendo as relações e os conceitos elementares descritos.

As microdescrições de situações como a descrita com o auxílio de Π e R formam o *primeiro nível* de um modelo situacional, onde cada situação é uma “fotografia instantânea” do estado do objeto controlado em um dado instante de tempo.

Com o passar do tempo, o primeiro nível de um modelo situacional é complementado por diversas microdescrições de situações identificadas no objeto controlado. Para que sejam descobertas novas relações essenciais entre essas situações, um *segundo nível* do modelo situacional é disparado, i.e., o *nível das hipóteses*. A cada instante uma fotografia instantânea de uma situação, i.e., um multigrafo do primeiro nível é enviado ao nível das hipóteses. Após decorrido um tempo T de iterações, os pesos de todas as conexões são comparados (com um limiar v) no nível das hipóteses, e então, todas as conexões que têm um valor maior que o limiar v são transmitidos para um *terceiro nível* do modelo situacional. Dessa forma, novas relações como “causa-efeito”, “parte-todo”, “atividade-meta”, etc., são obtidas. Essas relações são estabelecidas pela análise dos multigrafos no primeiro nível sob o ponto de vista de suas estruturas e dinâmica de variação no tempo. Por exemplo, se $a_k r_2 a_m$ sempre implica, após certo intervalo de tempo, na relação $a_1 r_2 a_m$, onde r_2 é uma relação com a semântica de “localizado a” e a_m tem a semântica de “seção”, a relação $a_k r^{***} a_1$ é obtida na qual r^{***} tem a semântica de “causa-efeito” (POSPELOV ET.AL. 1970).

5.2 MACRODESCRÇÃO

As macrodescrições são construídas usando-se quatro operações:

- Generalização,
- Abstração,
- Associação, e

- Truncamento.

Para construir uma quarto nível de descrição generalizada são usados o primeiro e o segundo nível. Um exemplo de generalização é um exemplo de ocorrência de conceitos com a semântica de “qualquer carro” obtida pela união de todos os conceitos com a semântica “carro”. Um outro exemplo possível é a obtenção do conceito com a semântica de “coluna de carros” por especificar entre eles as relações “move para frente” com respeito a um e mesmo conceito, por exemplo, “semáforo”.

A operação de abstração é análoga, com a diferença que na união de conceitos em um conceito generalizado, uma parte das conexões são abstraídas antecipadamente. É possível, obter, por exemplo, conceitos generalizados como “objetos em movimento”. Deste modo é obtido ao *quarto nível* uma descrição em conceitos e relações generalizadas. O processo de generalização pode continuar chegando a um *quinto* e subsequentes níveis do modelo situacional. Todos os níveis, começando com o quarto nível, são denominados níveis de classificação, e as conexões entre os níveis representam o processo de generalização. A generalização continua até que o número de descrições generalizadas correspondam ao número de decisões sobre o objeto controlado.

Um modelo situacional tem duas propriedades importantes: a possibilidade de excitação de baixo para cima, e de cima para baixo. No primeiro caso, a ocorrência de uma situação ao primeiro nível (de microdescrição) é acompanhada a todos os níveis de classificação por excitação de situações generalizadas que aparecem como um resultado de uma série de situações contendo as situações dadas, ou (o que é mais importante) uma situação do mesmo tipo. No segundo caso, a excitação de qualquer descrição generalizada a qualquer nível causará o aparecimento, no primeiro nível, de uma situação (não determinada unicamente) que corresponde à situação generalizada excitada.

Um modelo situacional opera em dois estágios. No primeiro, informações sobre o objeto controlado são armazenadas, um modelo de situações generalizadas é construído, e regras de operação são estabelecidas. No segundo, o modelo treinado opera independentemente, estando apto, pela análise dos resultados de suas operações, a proceder ao aperfeiçoamento de seu desempenho (POSPELOV ET.AL. 1970).

6 Conhecimento semiótico

A microdescrição de conceitos elementares por meio de ênuplas, 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 sgnico, 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. Nela, uma composição da relação n -ária R_1 e da relação k -ária R_2 é uma relação $n+k+1$ -ária R_3 , tal que, cada uma de suas ênuplas é composta por ênuplas de relações R_1 e R_2 , de forma que o n -ésimo elemento da primeira n -ênupla seja igual ao primeiro elemento da segunda k -ênupla. Um signo, como uma unidade elementar numa KS, pode ser representado como mostrado na figura 5. 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 de mediação, 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.

Na maioria dos casos práticos, essas descrições sobre os signos são incompletas. Descrições que dispõem somente de nomes e conceitos são denominadas de redes semióticas intensionais, e as que dispõem somente das imagens e ações são denominadas redes semiótica extensionais. Uma rede extensional descreve os signos com uma dada interpretação enquanto que uma rede intensional não tem uma interpretação pré-definida. Por essas razões, uma rede extensional, por referir-se a um mundo mental em particular, pode ser chamada de um modelo do mundo, enquanto uma rede intensional, por referir-se a um conjunto de mundo mentais, pode ser chamada de modelo do conhecimento, onde cada mundo mental reflete uma visão particular do mundo real. Um

sistema que mantém uma rede de conhecimento intensional e uma rede de conhecimento extensional, e os relacionamentos existentes entre eles, é denominado rede de conhecimento semiótico. Dentre as operações definidas para uma FSN (uma rede cujos nós são signos, e cujos arcos definem várias relações existentes entre os signos, ou seus componentes), algumas operações elementares são: *pattern matching*, *união*, *interseção*, *inserção*, *remoção*, *semelhança*, *diferença*, etc. Uma KSN é 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).

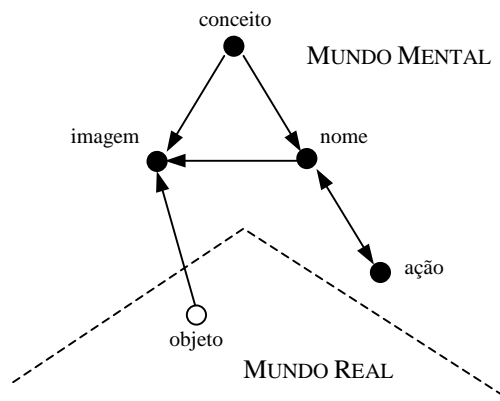


Figura 5: Elementos Constituintes do Signo

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 6 abaixo.

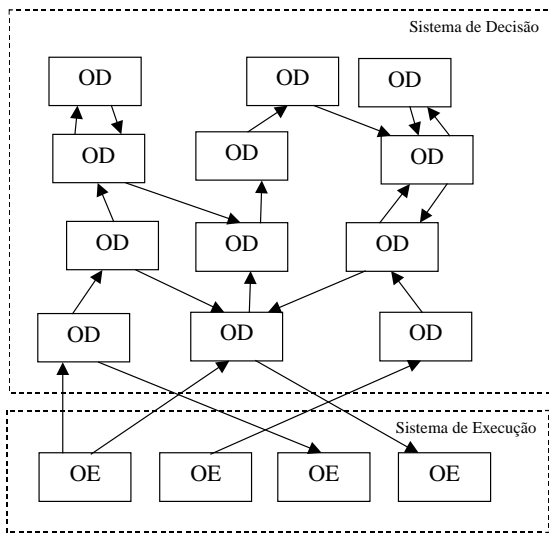


Figura 6 - Resolvedor Semiótico

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 subordinados. 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 subordinado, e deliberar as informações 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 7.

O universo externo de um OE envolve conhecimentos de caráter perceptivo, obtidos a partir dos sensores. Este conhecimento é eventualmente transformado internamente em conhecimento reflexivo (referente ao universo interno) e posteriormente em conhecimento objetivo (referente ao universo objetivo), dando origem a sinais de controle enviados aos atuadores.

Os conhecimentos reflexivos de um OE são enviados a um OD de primeiro nível, passando a constituir seu conhecimento perceptivo (ou seja, o universo interno do OE é equivalente ao universo externo do OD). Este conhecimento é então trabalhado pelo OD, dando origem a um conhecimento reflexivo (referente a seu universo interno) e posteriormente a um conhecimento objetivo (referente a seu universo objetivo). O universo objetivo de um OD de primeiro nível possui um conhecimento objetivo que representa basicamente as possíveis operações sobre o OE a ele subordinado, além das leis que governam o objeto de controle, e situações

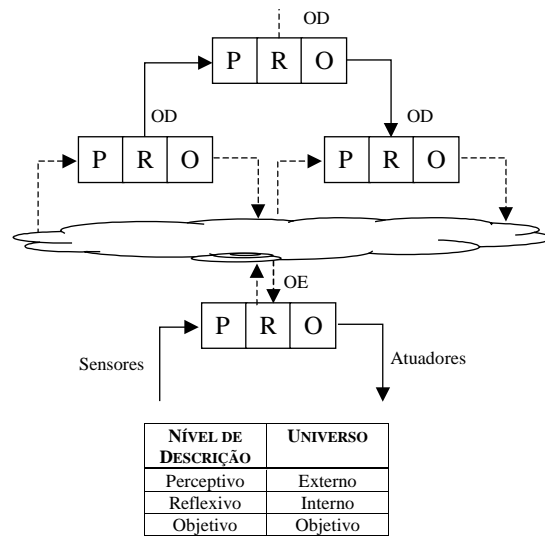


Figura 7 - Operações entre Níveis Distintos

iniciais e finais relativas a este. Estes conhecimentos serão equivalentes ao conhecimento reflexivo do OE, que serão posteriormente convertidos conhecimentos objetivos referentes a comandos de atuação. Estes comandos de alguma forma encontrarão um fecho semântico no próprio ambiente de controle, refletindo nos sinais dos sensores em tempos futuros, fechando um ciclo de semiose.

Desta forma, um OD de primeiro nível trata do universo objetivo, como um universo de problemas perceptivos no futuro (pois suas decisões irão implicar em futuras percepções).

O universo interno de um OD de primeiro nível é um universo de problemas reflexivos, descrito ao nível de condições de problemas locais e representando principalmente as estruturas legadas por seus conhecimentos perceptivos.

Os universos de um OD do i -ésimo nível ($i > 1$) são definidos analogamente, a única diferença é que o universo objetivo deste OD é o universo de problemas reflexivos do $(i-1)$ -ésimo nível, e corresponde a transições de representações extensionais.

Quando da resolução de um problema global, cada OD resolve seu problema local no seu próprio nível (em seqüência, dos níveis de cima para baixo) e a solução obtida por este OD aparece como uma prescrição para a solução de problemas locais para todos os OD subordinados abaixo, até o OD de primeiro nível. A solução de um problema global é ultimamente representado na forma de uma solução composta de todos os problemas perceptivos do primeiro nível e o procedimento de pesquisa é representado na forma de uma hierarquia de procedimentos de pesquisa mutuamente enlaçados para a solução de problemas locais em diversos níveis. Se necessário, as soluções compostas são corrigidas com ajuda do sistema de execução. Soluções compostas estimadas e corrigidas são planos coordenados de operações do sistema de execução no ambiente externo.

Formalmente um resolvedor semiótico é definido como a seguinte héptupla:

$$A = \langle R, \Phi, M, N, Q, P, V \rangle,$$

onde R é a estrutura de controle do RS que determina a subordinação direta de ODs e OEs, Φ é o modelo intensional do universo objetivo que é especificado pelo conjunto de programas $\varphi \in \Phi$ que imitam as operações do sistema de execução, e as leis que governam o objeto de controle, M é o modelo do universo externo do RS que inclui um conjunto de descrições de soluções elementares de problemas perceptivos para cada OD e tradução de programas de Ω (o modelo M reflete o modelo Φ sobre o nível extensional e traduz as descrições de situações iniciais e finais em descrições de dados iniciais e resultados requeridos de problemas perceptivos), N é o modelo do universo interno do RS que inclui um conjunto de universos de estruturas de problemas perceptivos para cada OD (as estruturas jogam simultaneamente o papel de soluções elementares de problemas reflexivos) e correspondem a tradução de programas de Ω (o modelo N estende o modelo M sobre um nível reflexivo e traduz as descrições de problemas perceptivos em descrições das estruturas correspondentes, e vice versa), Q é um algoritmo de estratégia de pesquisa complexa dos planos de ação do sistema de execução, P é o espaço global de problemas, e V é o espaço de planos produzidos como saída do RS (POSPELOV ET.AL. 1977).

Um MS aplicado ao problema de geração de planos, ou seja, um RS, resulta da aplicação de uma estratégia generalizada de integração dos métodos de resolução de problemas (I-problemas), de decomposição de problemas em espaços de estados (SS-problemas) e de redução de problemas em espaços de problemas (PR-problemas), resultado da interação cíclica entre três estruturas formais, sobre as quais diferentes algoritmos podem ser definidos, pelo uso das operações elementares:

- (1) *de seleção*, especificação da estrutura interna do problema,
- (2) *de pesquisa*, busca de um solução para o problema, e
- (3) *de treinamento*, análise e proposta de evolução da solução encontrada.

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. A despeito 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.

9 Bibliografia

- 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, 10th 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, 10th 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, Engineer 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, Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC WORKSHOP, 10th 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. Architectures for Semiotic Modeling and Situation Analysis in Large Complex Systems, Proceedings of ISIC WORKSHOP, 10th 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.