

ΣIGMA: Um Sistema Integrado de Gerenciamento do Meio Ambiente

F. Guerrin, U. Heller, W. Roque e P. Struss

Introdução

Na literatura científica atual da ciência da computação o termo Raciocínio Qualitativo (RQ) tem sido empregado para denotar uma sub-área da Inteligência Artificial, cujo objetivo principal é a geração de modelos computacionais capazes de representar o conhecimento e a forma de raciocínio empregados pelos engenheiros, técnicos e especialistas de diversas áreas do conhecimento [5].

De uma maneira geral, as técnicas de raciocínio qualitativo tem sido empregadas de forma satisfatória para descrever o comportamento de processos e sistemas físicos particularmente quando, as leis que regem um sistema não são conhecidas ou são conhecidas de forma incompleta, quando o custo computacional para tratamento das informações sobre o sistema é muito elevado, quando a natureza do problema a ser tratado é intrinsecamente qualitativa ou mesmo quando os métodos adotados pela matemática clássica não são adequados.

Um dos maiores interesses do RQ é considerar e tratar a informação incompleta, imprecisa e qualitativa de um sistema complexo, sem ter necessariamente que apelar para uma informação numérica ou métodos matemáticos clássicos, que tomam por base fundamentalmente equações diferenciais e sistemas dinâmicos.

Por exemplo, o RQ tenta combinar valores qualitativos como “grande”, “crescente”, “menor” ou “normal”, em vez de usar valores puramente numéricos. Desta forma, esta técnica possibilita um meio para o desenvolvimento de modelos de sistemas complexos que são pouco conhecidos, como é o caso dos sistemas ecológicos e do meio ambiente, em geral.

Ecologia é uma área onde os problemas apresentam um elevado grau de complexidade, onde o gerenciamento de um sistema envolve etapas como *percepção*, *cognição* e *ação*. Esta complexidade faz com que o conhecimento sobre o processo ecológico possua uma natureza qualitativa [1] e muitas vezes imprecisa. Por isto, o tratamento dos problemas tem sido, em sua maioria, realizados verbal e diagramaticamente.

A relevância da utilização de técnicas de raciocínio qualitativo para ecologia está na possibilidade de tornar operacional o conhecimento empírico dos processos

ecológicos, permitindo-se a tomada de inferências e uma estimativa de tendências do comportamento dinâmico do sistema ecológico.

Sistema Σ IGMA

O controle da qualidade do meio ambiente tornou-se uma preocupação universal devido ao esgotamento das fontes de recursos, das formas de seus manuseios e do elevado grau de entropia que se introduziu no mundo moderno. Em razão destes fatos tem havido uma crescente demanda pela preservação e utilização racional de sistemas naturais. Uma das formas encontradas para tratar os problemas é através do constante monitoramento do meio ambiente, o que produz resultados efetivos para as tomadas de decisão pelos organismos competentes.

O controle e monitoramento do meio ambiente não são tarefas fáceis, particularmente quando se trata de sistemas de larga escala com um potencial de recursos contabilizados na forma de capital. Por isto, a utilização do computador e de sistemas computacionais para auxiliar na execução destas tarefas tornou-se então imperativa [3].

Uma proposta de trabalho nesta direção está sendo conduzida pelos autores, dentro de um programa de cooperação internacional, buscando a integração de vários enfoques fundamentais do RQ:

- Construção de modelos
- Interpretação e Monitoramento
- Diagnóstico
- Simulação

Tais enfoques constituem a base de sustentação do desenvolvimento de um *Sistema Integrado de Gerenciamento do Meio Ambiente* - Σ IGMA, o qual tem como objetivo o apoio à tomada de decisão de medidas de gerenciamento do meio ambiente, através da avaliação do seu impacto sobre o mesmo.

A Figura 1 apresenta a concepção gráfica do sistema Σ IGMA, ilustrando os chamados Σ -modulos: construção de modelos, avaliação de situações/monitoramento, diagnóstico e planejamento de terapias.

A arquitetura do sistema Σ IGMA apresenta uma modularidade e uniformidade na sua concepção, através dos Σ -modulos, permitindo assim uma maior flexibilidade e reutilização. A figura 2 ilustra a arquitetura básica dos Σ -modulos.

Neste modulo o modelo simulado gera previsões que comparadas com as observações sobre o sistema permitem uma medida de afastamento entre o estado simulado e o atual, permitindo assim uma revisão do cenário de trabalho sobre o ecossistema.

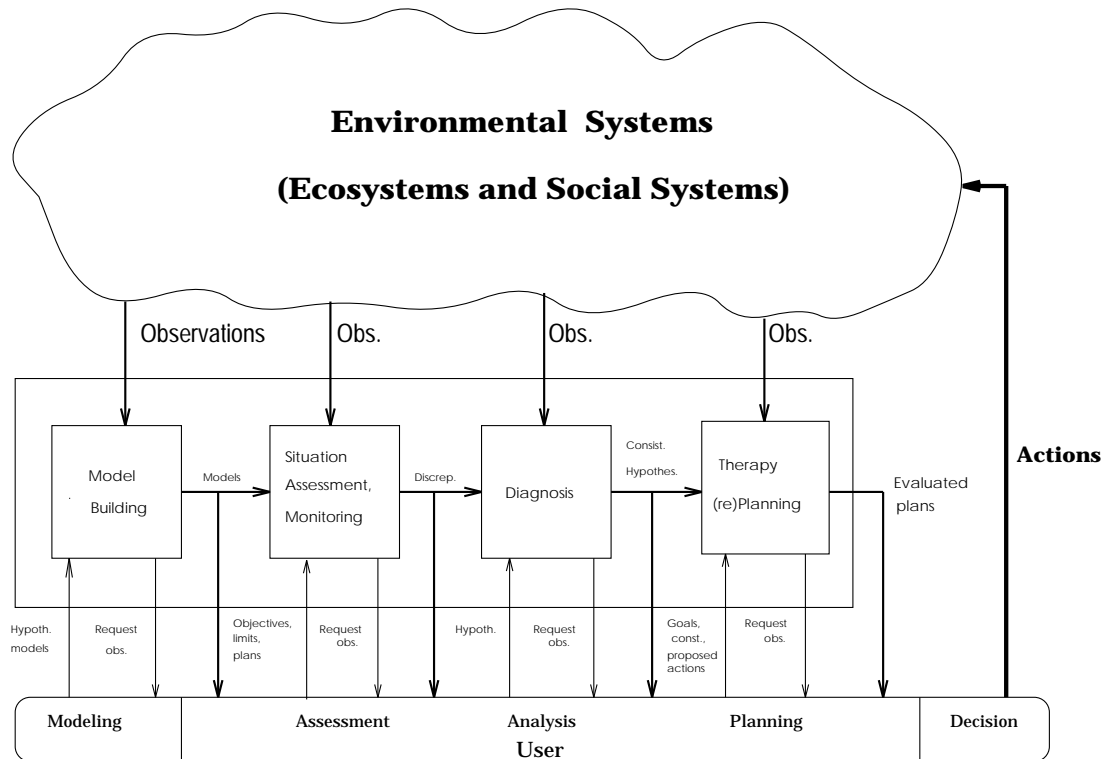


Figura 1: Representação diagramática da arquitetura do sistema SIGMA.

Modelamento e simulação

A construção de modelos para descrever o comportamento de um fenômeno é uma das mais importantes etapas para sua compreensão. Como os modelos são abstrações da realidade, neste sentido um mesmo sistema pode ser descrito por modelos distintos conforme o ponto de vista e interesses adotados.

O modelamento de um sistema consiste na escolha de parâmetros (variáveis) relevantes para a sua descrição e de relações funcionais entre as mesmas, dentro do quadro das tarefas a serem desempenhadas (avaliação de situações, diagnóstico, etc.).

Com base num modelo para um sistema é possível investigar-se a sua evolução através do cálculo de novos valores dos parâmetros e dos novos estados do sistema no decorrer do tempo.

O refinamento de um modelo é uma etapa relevante quando deseja-se obter uma maior e melhor precisão na descrição de um sistema, i.e, quando pretendemos dar um tratamento mais realista para o fenômeno investigado. Portanto, a simulação de novos estados do sistema e a sua análise auxiliam na construção de novos modelos que por sua vez possibilitam uma melhor compreensão sobre o comportamento do sistema.

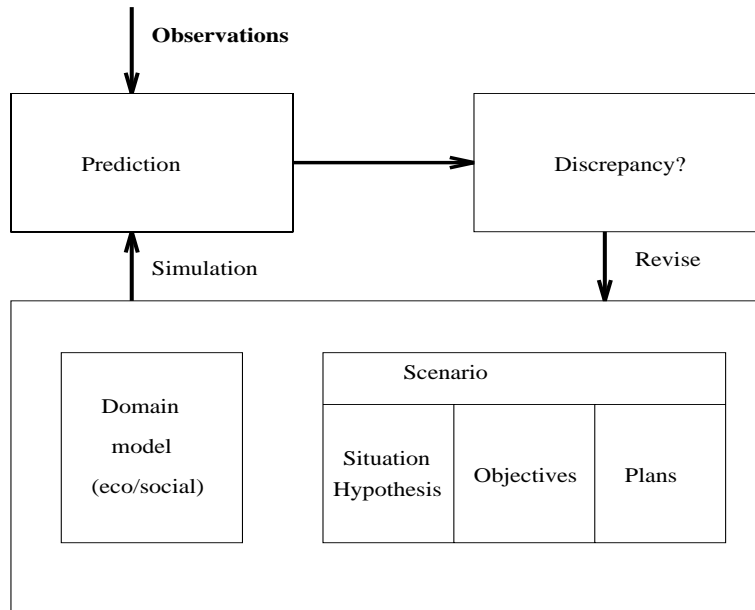


Figura 2: Princípio básico dos Σ -módulos.

Interpretação e monitoramento

O gerenciamento interno de ecossistemas é conhecido apenas pelas medidas e observações feitas no quadro do monitoramento rotineiro e específico. Além da verificação de que os valores obtidos encontram-se dentro do quadro de padrões normativos (quando estes existem) ou esperados, uma interpretação de mais alto nível pode ser efetuada para avaliar o estado das variáveis desconhecidas (i.e., sobre as quais não dispomos de medidas ou observações diretas) levando-se em consideração as possíveis relações entre as variáveis, entre as medidas disponíveis e entre ambas.

Por exemplo, no caso de um ecossistema aquático, uma transparência fraca e uma cor verde escura da água denota uma abundância muito acima do normal de fitoplâncton. Esta tem uma incidência decrescente sobre o teor de oxigênio dissolvido por meio do processo de respiração fitoplanctônica, o que por sua vez afeta a sobrevivência dos peixes (riscos de asfixia). Desta forma, pode ser estimado o “estado atual” do ecossistema, expresso não apenas em termos do cumprimento de padrões, mas sim de parâmetros ecológicos ou de parâmetros representativos dos usos possíveis do ecossistema (e.g. adequação para captação de água, balneabilidade, piscicultura de uma espécie, etc).

A descrição do estado atual gerado pelo modelo de interpretação, com base num conhecimento incompleto, deve levar também em consideração os “perigos” alheios ao ecossistema (tais como poluição causadas por acidentes, ações humanas imprevistas, etc.). Sobretudo, as explicações relevantes das várias interpretações geradas pelo modelo devem ser descritas explicitamente.

Modelo de diagnóstico

Além do estado atual gerado pelo modelo de interpretação, os dirigentes humanos do sistema definem objetivos de gerenciamento (e.g. preservação de uma certa espécie de peixes, melhoramento da qualidade da água para cumprir uma determinada especificação de uso, etc.), definindo assim um “estado desejado” para o ecossistema.

Um modelo geral de diagnóstico [7] será capaz de proporcionar alternativas de gerenciamento, auxiliando nas seguintes funções:

- Detectar “falhas” com relação a padrões e estados esperados
- Diagnóstico das causas responsáveis pelo afastamento observado.
- Identificação do nível de afastamento entre os estados atual e desejado.

O modulo de diagnóstico servirá também para checar consistência do modelo empregado, realimentando o processo de modelamento (*model building*).

Planejamento de terapias

O planejamento de terapias para corrigir as causas dos problemas diagnosticados é uma importante tarefa uma vez que a sua correta aplicação permitirá o planejamento de ações de curto, médio e longo prazos. Este Σ -modulo tem como finalidades:

- A identificação das medidas de tratamento eventuais capazes de modificar as causas diagnosticadas, visando minimizar a distancia entre o estado atual e o estado desejado.
- O planejamento de medidas a serem aplicadas no decorrer do tempo.

Tendo em vista a existência de várias combinações de medidas eventuais de gerenciamento e levando-se em conta que estas foram definidas através de uma análise do sistema, obtida do modelo de interpretação, é preciso avaliar o impacto destas se forem aplicadas.

Neste sentido a simulação [2] permitirá a avaliação de impactos virtuais, causados pela adoção de medidas de gerenciamento e dos parâmetros inferidos, dentro de uma escala de ação a curto, médio e longo prazos, gerando assim, em cada caso, um estado simulado.

Comparando-se o estado atual e o estado simulado, por um lado, e o estado simulado com o estado desejado, por outro, pode-se avaliar graus de melhoramento (refinamento) e de afastamento (distanciamento).

Por intermédio de métodos de otimização, tendo como critérios a maximização do melhoramento e a minimização do afastamento, podemos ajustar as ações de gerenciamento eventuais, para atingir os objetivos de gerenciamento dentro de um limite de condicionamento, buscando alcançar o estado simulado de menor afastamento possível do desejado.

Tomada de decisão: ações

O planejamento de ações e a iteração do processo descrito conduzirá a um refinamento para encontrar as medidas de gerenciamento mais adequadas. Finalmente, propostas de ações serão oferecidas pelo sistema, o que facilitará os dirigentes à tomada de decisão a ser aplicada sobre sistema real.

As ações podem ser de caráter puramente técnico, de caráter socio-econômico ou de um conjunto delas.

Perspectivas

Não há dúvida de que o computador e técnicas computacionais podem trazer grandes benefícios à ciência do meio ambiente. As técnicas de modelamento e raciocínio qualitativo tem se mostrado potencialmente adequadas para o tratamento de problemas nesta área. Alguns exemplos do sucesso da utilização destas técnicas podem ser vistos em aplicações práticas em diferentes áreas [6, 4].

O projeto de desenvolvimento do sistema Σ IGMA encontra-se numa fase inicial. No entanto, estamos atualmente discutindo algumas aplicações como o gerenciamento da qualidade da água de sistemas hídricos, através da interpretação dos dados, do diagnóstico, da simulação e monitoramento. Por intermédio do monitoramento pode-se fazer o controle da qualidade e o diagnóstico indicará os fatores a serem controlados para cumprir os padrões estabelecidos pela legislação ou as condições necessárias para a manutenção e proteção do sistema ecológico.

Estas tarefas, quando atuando de forma integrada, podem auxiliar na identificação das causas da anormalidade do sistema, como a presença e o tipo de fontes poluidoras ou outras adversidades. Aliando-se a isto a capacidade de *raciocínio* do sistema, o mesmo dará suporte a análise de consequências, como prejuízos causados, terapias a serem aplicadas e o impacto sobre o sistema ecológico que está sendo tratado.

Atualmente, alguns trabalhos de pesquisa estão em andamento dentro do contexto do modelamento qualitativo de sistemas ecológicos. Particularmente, uma investigação no domínio de ecossistemas aquáticos está sendo conduzida com o objetivo de detecção de instabilidades que propiciam à ocorrência de florações de algas (*algal blooms*).

Ainda neste contexto, utilizando-se técnicas de raciocínio espacial (*spatial reasoning*), dinâmico e modelação com abstração temporal (*temporal abstraction reasoning*), desejamos desenvolver, numa primeira etapa, um modelo de simulação integrado ao quadro geral do sistema Σ IGMA, visando predizer a iminência de florações de algas.

A proposta do projeto é extremamente rica e ambiciosa, porém nos parece viável e com grande potencial de aplicabilidade.

Agradecimentos

Desejamos externar os nossos agradecimentos a Paulo Marcos Amaral Alves, Elenara Correa Lersch e Maria Mercedes Bendati, da Divisão de Pesquisas do DMAE, por várias discussões sobre o Guaíba.

Os autores

Dr. François Guerrin é pesquisador do Laboratório de Biometria e Inteligência Artificial do INRA, Toulouse, França.

Ulrich Heller é estudante de pós-graduação do Instituto de Informática da Universidade Técnica de Munique, Munique, Alemanha.

Dr. Waldir L. Roque é professor e pesquisador do Curso de Pós-Graduação em Matemática Aplicada da UFRGS, Porto Alegre.

Dr. Peter Struss é professor e pesquisador do Instituto de Informática da Universidade Técnica de Munique, Munique, Alemanha.

Referências

- [1] Guerrin, F., Qualitative Reasoning about an Ecological Process: Interpretation in Hydroecology. *Ecological Modelling*, **59**, 165-201, 1991.
- [2] Kuipers, B., Qualitative Simulation (MIT Press, 1994).
- [3] Ouellette, R. P., Greeley, R. S. and Overbey, J. W., Computer Techniques in Environmental Science (Mason/Chapter Pub. Inc., London, 1975)
- [4] Pénalva, J. M., Coudouneau, L., Leyval, L. and Montmain, J., DIAPASON: A Supervision Support System. *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, **8**, 57-65, 1993.
- [5] Roque, W. L. and Struss, P., Qualitative Reasoning and Model-Based Diagnosis: Foundations & Applications. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 1995 (in print).

- [6] Steyer, J. P, Queinnec, I. and Simoes, D., Biotech: A Real-Time Application of Artificial Intelligence for Fermentation Processes. *Control Eng. Practice*, **1**, 315-321, 1993.
- [7] Struss, P., What is SD? Towards a Theory of Modeling for Diagnosis. In *Readings in Model-Based Diagnosis: Diagnosis of Designed Artifacts Based on Descriptions of Their Structure and Function*, eds. W. Hamscher, L. Console and J. de Kleer (Morgan Kaufmann, San Mateo, 1992).