Computação Orgânica♣

Índice

♣ Nota: Este material está predominantemente baseado em BRANKE *et al*. (2007).

1. Introdução

- Amplia-se a cada dia o número de dispositivos computacionais flexíveis, multifuncionais e interligados em rede.
- Adicione-se a isso o incremento exponencial na capacidade de processamento e memória de cada dispositivo individual, sustentado pela lei de Moore.
- Desse modo, espera-se que as novas gerações de sistemas computacionais ganhem complexidade, **evoluam de forma auto-organizada** e imponham novos desafios aos seus projetistas e também aos seus usuários.
- Caminha-se, de forma irreversível, para a **Tecnologia do Relacionamento**, onde o conhecimento deriva de múltiplas fontes e requer integração, os objetivos são múltiplos e conflitantes e as interfaces são customizadas.
- Dispositivos computacionais equipados com recursos de comunicação sem fio vão interagir e trocar informação numa escala nunca antes imaginada.

- É a chamada Internet of Things (IoT) (GUBBI *et al.*, 2013; VERMESAN & FRIESS, 2013).
- Um exemplo preliminar desse cenário de evolução tecnológica pode ser tomado a partir dos sistemas já embutidos em um automóvel: (1) controle de combustão e emissão de poluentes, (2) monitoramento de variáveis e de pontos de operação, (3) sistemas de segurança (como *air bags*), (4) condicionamento de ar, (5) sistema de navegação, (6) sistema de auxílio para estacionar o veículo, (7) controle de cruzeiro, (8) sistema de entretenimento aos passageiros.
- Esses sistemas de um automóvel estão interligados em uma complexa rede de comunicação interna e o seu desenvolvimento, com a incorporação de novas funcionalidades, é continuado. Num futuro próximo, os automóveis tendem a se adaptar a diferentes motoristas e condições das pistas, estabelecer ampla troca de informações com outros automóveis e com centros de monitoramento, além de integrar dispositivos em redes formadas pelos próprios automóveis.

- Esta expansão tecnológica, se por um lado traz facilidades aos usuários, por outro lado representa um grande desafio aos projetistas desses sistemas.
- Como ser capaz de projetar tais sistemas amplamente distribuídos, complexos e densamente conectados, e como torná-los confiáveis e de fácil uso?
- É evidente que o projetista não será capaz de prever todas as possíveis configurações e nem mesmo indicar o comportamento mais adequado em todos os casos e em detalhes.
- O usuário também deve ser liberado da função de ajuste de parâmetros de baixo nível, de modo que a sua influência na operação desses sistemas se dê com base na definição de metas de alto nível.
- Essencialmente, a complexidade crescente dos sistemas computacionais requer novos princípios de projeto, pois eles tendem a exibir propriedades emergentes, que não podem ser devidamente antecipadas.

2. Definição

- A computação orgânica tem por objetivo lidar com os desafios impostos por sistemas complexos distribuídos, **interpretando-os como se fossem organismos vivos**. São atribuídas a esses sistemas as chamadas auto-x-propriedades: auto-organização, auto-configuração, auto-reparo, auto-entendimento, auto-proteção e auto-adaptação.
- Busca-se, assim, simplificar a tarefa de projeto do sistema, visto que não se faz mais necessário especificar o comportamento de baixo nível do sistema para todos os cenários possíveis de operação. Também deixa de ser tarefa do projetista/usuário a manipulação de múltiplos parâmetros que influenciam de forma intricada o desempenho do sistema.
- Basta ao projetista/usuário especificar **um número reduzido de objetivos de alto nível**.

- Com isso, o sistema ganha um certo grau de autonomia, devendo reagir de forma apropriada a situações novas e, possivelmente, imprevisíveis.
- Apesar de sua complexidade, criaturas vivas apresentam robustez a alterações nas condições internas e externas, exibindo habilidades de aprendizado e adaptação a ambientes incertos e dinâmicos.
- Logo, **abordar a complexidade de projeto, evolução e operação de sistemas computacionais como se eles fossem criaturas vivas conduz a uma proposta alternativa àquela que requer a sua especificação completa e a priori.**
- Isso requer que tais sistemas possuam graus adicionais de liberdade, mas, por outro lado, traz algumas desvantagens: (1) para aprender, o sistema precisa cometer erros, o que pode tornar sua reação mais lenta a novos cenários; (2) os comportamentos e as próprias reações são menos previsíveis; (3) como os sistemas são auto-organizáveis, é mais difícil controlá-los.

- Conclusão: Deve haver um balanço entre os processos *bottom-up* de "criatividade auto-organizada" e o controle *top-down*.
- Na computação orgânica, os sistemas computacionais são capazes de exibir aprendizado on-line, sobreviver a ataques e a falhas internas de componentes, se adaptar aos usuários e reagir de forma apropriada mesmo a situações imprevisíveis.
- Os objetivos da computação orgânica (CO) são muito similares àqueles associados à computação autonômica (CA) (do inglês *autonomic computing*) (KEPHART & CHESS, 2003; STERRITT, 2005).
- A principal diferença é que a CA está mais voltada para aplicações em arquiteturas de servidores, enquanto que a CO engloba todo tipo de sistema computacional distribuído e auto-organizado (GÜDEMANN *et al.*, 2008; SEEBACH *et al.*, 2007).
- Embora esteja ainda se estabelecendo como uma área de pesquisa, a CO é um campo de estudo interdisciplinar que busca gerenciar o crescimento continuado de complexidade dos sistemas tecnológicos.

3. Uma estrutura formal para computação orgânica

- A estrutura mais empregada para o projeto de sistemas de computação orgânica é a chamada arquitetura observador-controlador (MÜLLER-SCHLOER *et al.*, 2004), conforme apresentado nas Figuras 1 e 2. Ela é similar ao ciclo MAPE (monitorar-analisar-planejar-executar) adotado para a computação autonômica, e pode ser interpretado como **um processo de auto-organização controlada** (PROKOPENKO, 2009).
- O observador monitora todo o sistema e é capaz de detectar tendências. Se um problema (Exemplo: erro, operação anormal) é detectado ou antecipado, o controlador age no sentido de resolver o problema ou minimizar os seus efeitos sobre todo o sistema, levando em conta a natureza emergente, distribuída e auto-organizada do comportamento complexo e global do sistema (MÜLLER-SCHLOER *et al*., 2011).

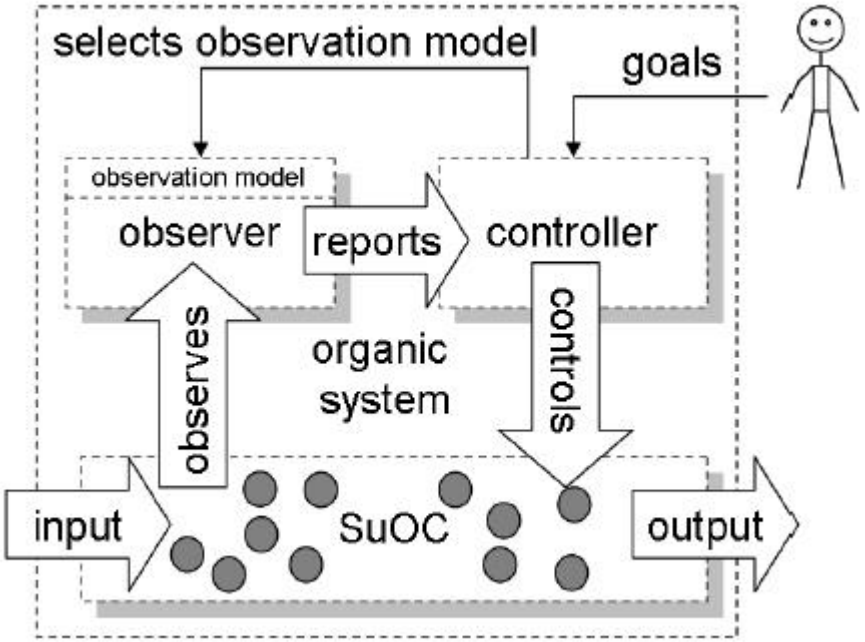


Figura 1 – Arquitetura observador-controlador em computação orgânica (SuOC: *System under Observation and Control*)

- Uma perspectiva mais detalhada é apresentada na Figura 2, sendo que as Figuras 1 e 2 foram extraídas de BRANKE *et al.* (2007).

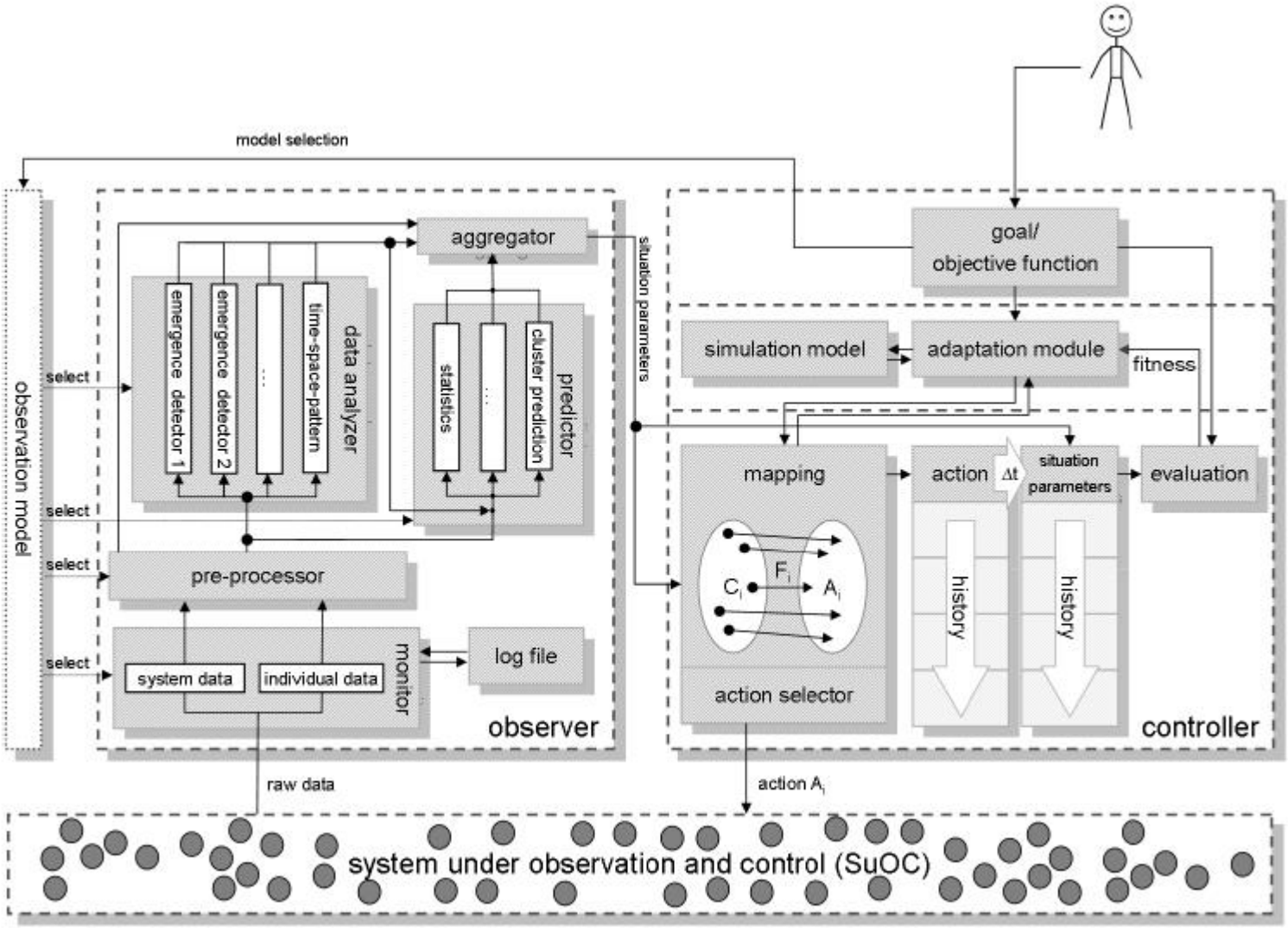


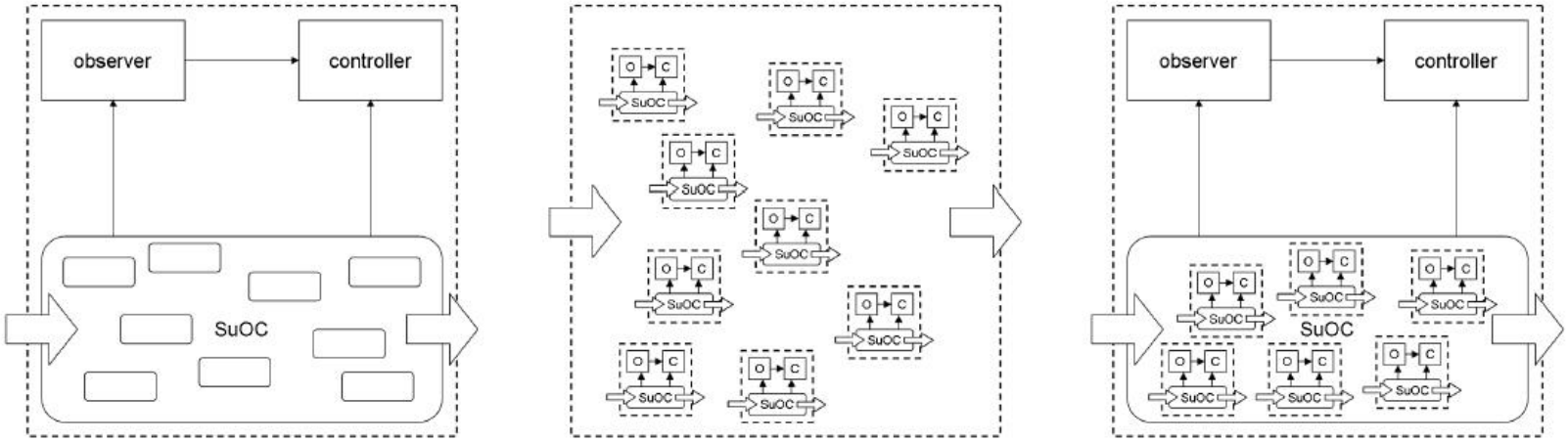
Figura 2 – Uma visão mais detalhada da arquitetura observador-controlador

- Cabe mencionar que o sistema sob observação e controle (SuOC) continua a operar mesmo se observador e controlador forem desativados.
- É esperado que o controlador atue apenas quando necessário e seu poder de atuação se restringe a um subconjunto de parâmetros do SuOC.
- O processo de observação consiste dos seguintes passos: monitoramento, pré-processamento, análise de dados, predição e agregação.
- Um modelo de observação (*observation model*) caracteriza o observador ao selecionar atributos do monitor, do pré-processador, do analisador de dados e do preditor.
- O preditor recebe como entrada os dados provenientes do pré-processador e do analisador de dados e os utiliza para predizer o estado futuro do sistema.
- As saídas do preditor, do pré-processador e do analisador de dados são agregadas e formam a entrada para o controlador, denominada de situação (*situation parameters*).

- Dentre os principais módulos do controlador está o selecionador de ações (*action selector*), o qual seleciona a ação mais adequada para a situação corrente. Sua reação deve ocorrer em tempo real, o que implica que o processamento interno deve ser suficientemente rápido. **Algumas implementações empregam sistemas classificadores com aprendizado** (*learning classifier systems*) aqui.
- O módulo de adaptação implementa capacidades de aprendizado e de planejamento, com o propósito de maximizar os objetivos formulados pelo projetista ou pelo usuário corrente. A avaliação de ações implementadas permite o aprendizado de melhorias no mapeamento situação $\rightarrow$ ação.
- A avaliação é executada tomando uma base de dados históricos, o que permite atribuir certas mudanças de estado do sistema a ações específicas.
- Conectado ao módulo de adaptação, pode existir um modelo de simulação, permitindo inferir as consequências de certas ações antes delas serem efetivamente implementadas no sistema real.

3.1. Aspectos de implementação

- A arquitetura apresentada pode ser customizada junto a diferentes cenários de aplicação, produzindo as seguintes versões:
    - Centralizada: um observador-controlador para todo o sistema;
    - Descentralizada: um observador-controlador para cada elemento do sistema;
    - Multinível: um observador-controlador para cada elemento do sistema e também para todo o sistema.
- Na estrutura multinível, podem surgir holarquias (do inglês *holarchy*), em que um elemento é ao mesmo tempo o todo e uma parte do todo.



(a) Centralizada (b) Descentralizada (c) Multinível

Figura 3 – Possibilidades de implementação da arquitetura observador-controlador

4. Exemplos de aplicação e formas de validação

- As aplicações já realizadas vão de *smart grids* ao controle auto-organizado de tráfego, passam pela coordenação auto-organizada de múltiplos robôs e vão até o projeto auto-organizado de circuitos integrados.

- A computação orgânica pode ser considerada uma nova estratégia de projeto de engenharia, pois o sistema projetado deve ser capaz de auto-organizar diversos aspectos de seu comportamento, fazendo isso de forma autônoma e, possivelmente, na presença de interferência externa.
- Essencialmente, o sistema deve manter um bom nível de desempenho mesmo na presença de ambientes variantes no tempo, mudanças de objetivos e de funcionalidades requeridas. Para tanto, ele deve exibir (parte de) as auto-x-propriedades.
- É evidente que **a validade da computação orgânica para a solução de problemas complexos será comprovada caso seja possível demonstrar formalmente ou ao menos fornecer evidências empíricas de que a solução fornecida por um sistema orgânico é mais confiável, mais robusta e mais flexível do que aquela fornecida por um sistema não-orgânico.**
- Questões de escalabilidade também devem ser consideradas.

5. Referências bibliográficas

AGARWAL, A. & HARROD, B. (2006), "Organic Computing", MIT and DARPA Technical Report.

BRANKE, J., MNIF, M., MÜLLER-SCHLOER, C., PROTHMANN, H., RICHTER, U., ROCHNER, F. & SCHMECK, H. (2007), "Organic Computing – Addressing Complexity by Controlled Self-organization", Proceedings of the Second International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation, pp. 185-191.

GUBBI, J., BUYYA, R., MARUSIC, S. & PALANISWAMI, M. (2013) "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", Future Generation Computer Systems, vol. 29, pp. 1645-1660.

GÜDEMANN, M., NAFZ, F., ORTMEIER, F., SEEBACH, H. & REIF, W. (2008) "A Specification and Construction Paradigm for Organic Computing Systems", Proceedings of the Second IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems, pp. 233-242.

KEPHART, J.O. & CHESS, D.M. (2003), "The vision of autonomic computing", IEEE Computer, vol. 36, no. 1, pp. 41-50.

MÜLLER-SCHLOER, C., SCHMECK, H. & Ungerer, T. (Eds.) (2011) "Organic Computing – A Paradigm Shift for Complex Systems", Springer.

MÜLLER-SCHLOER, C., VON DER MALSBURG, C. & WÜRTZ, R.P. (2004), "Organic Computing", Informatik Spektrum, vol. 27, no. 4, pp. 332-336.

PROKOPENKO, M. (2009), "Guided self-organization", HFSP Journal, vol. 3, no. 5, pp. 287-289.

SCHMECK, H. (2005), "Organic Computing – A New Vision for Distributed Embedded Systems", Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'2005), pp. 201-203.

SCHMECK, H., MÜLLER-SCHLOER, C., ÇAKAR, E., MNIF, M. & RICHTER, U. (2010), "Adaptivity and Self-Organization in Organic Computing Systems", ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, vol. 5, no. 3, Article 10.

SEEBACH, H., ORTMEIER, F. & REIF, W. (2007) "Design and Construction of Organic Computing Systems", Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2007), pp. 4215-4221.

STERRITT, R. (2005), "Autonomic Computing", Innovations in systems and software engineering, vol. 1, no. 1, pp. 79-88.

VERMESAN, O. & FRIESS, P. (Eds.) (2013) "Internet of Things – Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems", River Publishers.