



A Engenharia de Sistemas Processuais em Biotecnologia, Química e Ambiente

Eugénio Campos Ferreira*

A “Engenharia de Sistemas Processuais” (ou Engenharia de Processos e Sistemas) é a área da Engenharia Química dedicada às aplicações de computadores na resolução de problemas de modelação, síntese, projecto, operação, monitorização e controlo de processos. O aumento exponencial das capacidades dos computadores, bem como a diminuição do seu preço, conduziram a desenvolvimentos significativos nesta área nos últimos 25 anos (Sargent, 2004).

A presente comunicação pretende apresentar as principais linhas de investigação do grupo de Engenharia de Sistemas Bioprocessuais (BioPSEg) do Centro de Engenharia Biológica da Universidade do Minho. A actividade de investigação tem sido focalizada no desenvolvimento e aplicação de metodologias de engenharia de sistemas processuais (modelação, supervisão e controlo, análise de imagem e integração de processos) a processos biotecnológicos, químicos e ambientais. O grupo tem privilegiado as metodologias que se baseiam na descrição dos processos por modelos determinísticos ou de conhecimento com aplicação em tarefas de supervisão (monitorização, diagnóstico e detecção de falhas) e controlo, tendo como finalidade a operação de processos assistida por computador.

O trabalho principal tem sido centrado nas seguintes linhas de investigação:

- **Controlo Adaptativo e Sensores por Programação para estimativa de estado e de parâmetros**

Projecto de algoritmos para estimação em linha de variáveis de estado não mensuráveis em linha (observadores) e de parâmetros (taxas específicas de crescimento) em processos biotecnológicos (Lubenova et al., 2003). Estudo de questões associadas à sintonização destes sensores por programação (Oliveira e tal, 2003; Perrier et al., 2000).

Desenvolvimento de leis de controlo adaptativo para a regulação de processos fermentativos. A síntese das leis de controlo não linear é realizada por técnicas de geometria diferencial com linearização do sistema por retroacção de estado. A adaptação é feita com base na estimação de parâmetros variáveis no tempo. Os controladores desenvolvidos, obtidos por redução de ordem do modelo de estado, são aplicados à produção de fermento de padeiro e na produção de proteínas recombinantes em cultura de alta densidade celular de *Escherichia coli* (Rocha e Ferreira, 2002).

- **Supervisão e Controlo de Processos usando Sistemas Periciais**

Desenvolvimento de sistemas periciais para supervisão e controlo de sistemas de tratamento de efluentes (Baeza et al., 2000): sistemas inteligentes baseados em conhecimento para detecção e prevenção de problemas na remoção biológica de nutrientes englobando tratamentos sequenciais anaeróbios/anóxico/aeróbio; sistemas de controlo em tempo real baseados em redes neuronais que adaptam as regras de um sistema difuso com capacidade de aprendizagem em linha.

- **Modelação de Bioprocessos**

Planificação experimental em termos da programação de trajectórias de entradas na identificação de coeficientes de rendimento de um modelo determinístico. A planificação experimental visa a optimização da riqueza informativa da experiência, quantificada por índices relativos à matriz de informação de FISHER. A planificação experimental é ensaiada na produção de proteínas recombinantes em cultura de alta densidade celular de *Escherichia coli* com o objectivo de calcular trajectórias de alimentação de substrato (Veloso et al., 2004).

Modelação estruturada da viabilidade de células de levedura integrando informação de análise de imagem (Coutinho et al., 2004).

- **Desenvolvimento e Aplicação de Análise de Imagem**

O grupo tem vindo a desenvolver software para aplicações de análise de imagem em tratamento de efluentes e biotecnologia. Alguns exemplos de aplicação: reconhecimento e identificação de diversas espécies de protozoários presentes em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR); caracterização morfológica de agregados microbianos em digestores anaeróbios (Pereira et al., 2003);

* Internet: www.deb.uminho.pt/ecferreira Email: ecferreira@deb.uminho.pt

descrição da morfologia de agregados microbianos e abundância de bactérias filamentosas numa ETAR (Amaral et al, 2002); estudo da morfologia e fisiologia de leveduras (Kawasse et al., 2003).

- **Projecto e Integração de Processos para Prevenção da Poluição: Síntese, Análise e Optimização**

Desenvolvimento de ferramentas educativas com base no Solver do EXCEL para ensino de optimização no projecto e integração de processos (Ferreira et al., 2004; Ferreira e Salcedo, 2001ab).

Outros trabalhos em curso: estratégias de minimização de efluentes e resíduos na síntese de processos; síntese de redes de separação induzidas por calor para condensação de compostos orgânicos voláteis.

- **Quimiometria aplicada a Processos Ambientais.**

Têm vindo a ser aplicadas técnicas de quimiometria no tratamento de informação obtida por análise de imagem em processos de microbiologia ambiental. As técnicas de "Análise Discriminante", "Análise de Componentes Principais" e "Redes Neurais" são usadas para identificação de cada espécie ou grupo de populações de protozoários e metazoários presentes em várias ETARs (Amaral e tal., 2004). O reconhecimento dos protozoários/metazoários e sua classificação foram realizados através de parâmetros morfológicos.

A técnica de "Mínimos Quadrados Parciais" tem sido empregue para correlacionar a informação morfológica obtida por análise de imagem com os parâmetros "Sólidos Suspensos Totais" e "Índice Volumétrico de Lamas" em sistemas de tratamento de efluentes por lamas activadas (Amaral et al, 2002).

Mais detalhes sobre os trabalhos realizados no seio do grupo BioPSE podem ser consultados na Internet no endereço www.deb.uminho.pt/biopseg.

Referências

- Amaral, A.L., da Motta, M., Pons, M.N., Vivier, H., Mota, M., Ferreira, E.C. Survey of Protozoa and Metazoa Populations in Wastewater Treatment Plants by Image Analysis and Discriminant Analysis. *Environmetrics* (em impressão) 2004.
- Amaral, A.L., S. Rodrigues, M. Mota, E.C. Ferreira, Morphological Characterisation of Biomass in Wastewater Treatment using Partial Least Squares, *Proc. 2nd IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing* (J.J. Villanueva, Ed.), Málaga, Espanha, 9-12 Setembro 2002, Acta Press, Anaheim, 300-305, 2002.
- Baeza, J., Ferreira, E.C. and J. Lafuente, Knowledge-based supervision and control of WWTP: A real-time implementation, *Water Science & Technology*, 41:12, 129-137, 2000.
- Coutinho, J.A.P., Coelho, M.A.Z., Ferreira, E.C., Belo, I., Determination and modelling of yeast viability under stress conditions, *14th European Symposium on Computer Aided Process Engineering* (aceite), 2004.
- Ferreira, E.C., R. Lima, R. Salcedo, Spreadsheets in Chemical Engineering Education - a tool in process design and process integration, *International Journal of Engineering Education* (aceite), 2004.
- Ferreira, E.C., Salcedo, R. Can Spreadsheet Solvers Solve Demanding Optimization Problems? *Computer Applications in Engineering Education*, 9:1, 49-56, 2001b.
- Ferreira, E.C., Salcedo, R. Optimizing VOC removal by absorption/stripping using spreadsheets. *Chemical Engineering*, 108:1, 94-98, 2001a.
- Kawasse, F.M., P.F. Amaral, M.H.M. Rocha-Leão, M.A.Z. Coelho, A.L. Amaral, E.C. Ferreira. Morphological Analysis of *Yarrowia lipolytica* under Stress Conditions through Image Processing. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 25:6, 371-375, 2003.
- Lubenova, V., Rocha, I., Ferreira, E.C. Estimation of Multiple Biomass Growth Rates and Biomass Concentration in a Class of Bioprocesses, *Bioprocess and Biosystems Engineering* 25:6, 395-406, 2003.
- Oliveira, R., Ferreira, E.C., Feyo de Azevedo, S. "Stability, dynamics of convergence, and tuning of observer-based kinetics estimators", *Journal of Process Control*, 12:2, 311-323, 2002.
- Pereira, M.A., Roest, K., Stams, A.J.M., Akkermans, A.D.L., Amaral, A.L., Pons, M.-N., E.C. Ferreira, Mota, M., Alves, M.M. Image Analysis, Methanogenic Activity Measurements and Molecular Biological Techniques to Monitor Granular Sludge from an EGSB Reactor Fed With Oleic Acid. *Water Science & Technology* 47:5, 181-188, 2003.
- Perrier, M., S. Feyo de Azevedo, Ferreira, E.C., D. Dochain. Tuning of Observer-based Estimators: Theory and Application to the On-line Estimation of Kinetic Parameters. *Control Engineering Practice* 8:4, 377-388, 2000.
- Rocha, I., E.C. Ferreira, Model-Based Adaptive Control of Acetate Concentration during the Production of Recombinant Proteins with *E. coli*. *15th IFAC World Congress on Automatic Control*, Barcelona, Spain, 2002.
- Sargent, R.W.H., Introduction: 25 years of progress in process systems engineering, *Computers and Chemical Engineering*, 28, 437-439, 2004.
- Veloso, A.C.A., Rocha, I., E.C. Ferreira, Identification of Yield Coefficients in a *E. coli* Model - An Optimal Experimental Approach based on Genetic Algorithms. *9th Int. Symp. Computer Applications in Biotechnology*, Nancy, (aceite) 2004.