

**V SEMINÁRIO NACIONAL DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO**
INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

Promoção:



Utilização de Redes Neurais Artificiais como Estratégia de Controle Supervisório para Sistemas a Eventos Discretos Modelados por Redes de Petri

Lázaro E. Brito Silva*, Eduard M. M. Costa, Herman A. Lepikson***

* UFBA/DEM/EP/PPGM

** Faculdade ÁREA1

GRUPO: ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

TEMA: Temas Comuns (temas gerais e/ou comuns a mais de um grupo)

PALAVRAS CHAVE: Controle Supervisório, Sistemas, Evento Discreto, Modelagem, Redes Neurais, Redes de Petri.

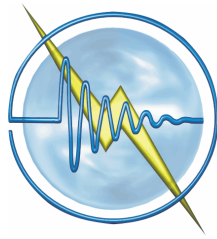
RESUMO – Através das Redes de Petri é possível modelar e caracterizar aspectos dinâmicos de sistemas. Este trabalho trata de sistemas a eventos discretos modelados por Redes de Petri, cujo disparo das transições é monitorado por redes neurais artificiais. A abordagem apresentada visa descrever sistemas industriais cuja dinâmica tenha problemas de retardo no tempo e sincronização de eventos. Exemplos típicos desses sistemas são as linhas de montagem de indústrias de manufatura. O problema de controle aborda a teoria de controle supervisório aliada ao uso da Inteligência Artificial através das Redes Neurais. A partir do estado inicial do sistema e de um universo limitado de estados obtidos pelo grafo de alcançabilidade, modelando este sistema por Redes de Petri, é possível ter o disparo das transições monitorado por Redes Neurais treinadas que viabilizam a não ocorrência de estados de bloqueios, garantindo que o sistema alcance as especificações de desempenho desejadas. As especificações de desempenho são primícias da teoria de Controle Supervisório e ditam o comportamento esperado do sistema ao longo de sua evolução dinâmica. Dessa forma, a estratégia proposta visa ser uma alternativa no controle de sistemas a eventos discretos e utilizará da discussão de estudos de casos em sistemas industriais para comprovar sua eficácia.

ABSTRACT - Using Petri Nets it is possible to model and to characterize dynamic aspects of

systems. This paper approach discrete events systems modeled by Petri nets, whose transitions are monitored by neural nets. The presented boarding aims to describe industrial systems whose dynamics has problems as retardation in the time and synchronization of events. Typical examples of these systems are the assembly lines of manufacture industries. The control problem approaches the allied theory of supervisory control to the use of Artificial Intelligence by the Neural Nets. From an initial state inside of limited set of possible states gotten of the graph for a system, it is possible to model for Petri nets and have the detonations of the transitions monitored for trained Neural Nets, what prevent the occurrence of block states, being guaranteed that the system reach the desired specifications of performance. The performance specifications are the base of the theory of Supervisory Control and define the disired behavior of the system throughout its dynamic evolution. So, the strategy proposal is presented as an alternative in the control of systems the discrete events and will be use in cases aplicated to industrial systems to prove its effectiveness.

INTRODUÇÃO

A modelagem de sistemas físicos dinâmicos tem utilizado, como ferramenta matemática, as equações diferencias ordinárias lineares e parciais. Estas equações descrevem o comportamento dos estados do sistema ao longo tempo. Contudo, o avanço tecnológico tem revelado a ocorrência de sistemas, que não são



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

facilmente descritos por equações diferenciais, como, por exemplo, sistemas de manufatura, sistemas robóticos e redes de computadores. Estes sistemas apresentam como característica peculiar, a dependência da ocorrência de eventos para apresentar uma evolução dinâmica. Para [1], após um evento o sistema reage e muda seu estado ou configuração até que um novo evento ocorra. Tais sistemas são denominados de sistemas a eventos discretos (SED), conforme verificado em [2] e [3].

Segundo [4], os sistemas a eventos discretos, diferentemente dos sistemas dinâmicos a variáveis contínuas, não possuem uma representação matemática universal dependendo de características específicas como reinicialização, sincronização e concorrência, para serem modelados. Neste sentido, estudos foram realizados e algumas representações merecem destaque na modelagem de sistemas a eventos discretos, tais como Cadeias de Markov, Teoria das Filas, Álgebra de Processos, Teorias de Autômatos e Linguagens Formais e Redes de Petri [1]. Dentre as técnicas de modelagem para SED, citadas anteriormente, as Redes de Petri apresentam várias vantagens; a destacar: simulação a partir do modelo; possibilidade de testar aspectos indesejáveis do sistema, como conflito; excelente visualização de dependência entre sistemas e informação do estado atual do sistema que permite monitoração em tempo real [1].

Neste trabalho, apresentam-se dois sistemas a eventos discretos modelados por rede de Petri, com a proposta de possuir o controle do disparo das transições sendo feito por redes neurais artificiais [5]. Dessa forma, a dinâmica do sistema modelado é controlada pela avaliação das redes de Petri, que decidem pelos disparos das transições condicionando-os não apenas pelo peso dos arcos e pelo número de fichas nos lugares do modelo, conforme é empregado em muitos casos. Nas seções seguintes são apresentados conceitos básicos sobre as redes de Petri, a metodologia proposta para o emprego das redes neurais na estratégia de controle, resultados obtidos com a estratégia proposta, discussões, conclusões e considerações finais.

APLICAÇÃO E/OU DESENVOLVIMENTO

Redes Neurais Artificiais (RNAs) são estruturas matemáticas computacionais que através do aprendizado e generalização, conseguem interagir com o meio externo [5]. A

metodologia empregada no aprendizado, visou conceder às RNA, a capacidade de assemelhares-se a neurônios biológicos, e a tomar decisões, adaptando os seus parâmetros a partir da interação com o meio. O processo de aprendizado tendeu a melhorar o desempenho, e a generalização forneceu à rede a capacidade de dar respostas coerentes de dados de entrada não treinados. Na Fig. 1 é apresentada uma estrutura de uma rede neural artificial com três entradas, x_1, x_2 e x_3 , duas camadas intermediárias, com quatro e dois neurônios artificiais, respectivamente, e duas saídas y_1 e y_2 :

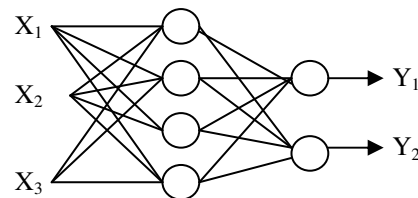
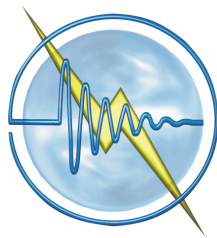


Fig. 1: Esquema de uma rede neural

Neste trabalho, dois sistemas de manufatura diferentes, a eventos discretos, foram modelados por redes de Petri, e todas as possibilidades de disparo das transições foram avaliadas pela elaboração de um grafo de alcançabilidade. Para cada combinação de número de fichas nos lugares, na modelagem por redes de Petri, a partir de um estado inicial, obteve-se uma combinação de transições habilitadas, gerando dessa forma uma tabela que representavam os possíveis estados da rede, inclusive os estados de bloqueio para cada sistema em estudo.

Mais da metade dos dados da tabela de cada sistema, escritos em planilha Microsoft Excel, serviram para o treinamento da rede neural artificial, que foi desenvolvida no ambiente do software Matlab® 6.5. O restante dos dados serviram para avaliar o desempenho da Rede Neural com dados inéditos. A proposta foi a utilização de uma metodologia do tipo retropropagação para o processamento da rede neural [6], que pela minimização do erro entre o valor e saída conhecido do banco de dados e o valor de saída estimado da RNA, ajustando os pesos sinápticos durante o treinamento e podendo, dessa forma generalizar para valores de entrada não conhecidos.

A estrutura de controle supervisor se comportou como um sistema especialista, pois, a partir do conhecimento adquirido do banco de dados, avaliou o disparo das transições da rede



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

de Petri que modelava cada sistema de manufatura.

As dificuldades encontradas durante o estudo foram o levantamento da tabela a partir do grafo de alcançabilidade, visto que os sistemas deveriam apresentar uma razoável quantidade de situações de bloqueio, que serviriam para contribuir no treinamento da Rede; e a busca em ambientes industriais de SED que possuíssem essas características quanto aos estados de bloqueio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a modelagem dos dois sistemas por Redes de Petri foram levantados os grafos de alcançabilidade, que enumeravam todos os estados e marcações alcançáveis dos sistemas [7]. Para um melhor entendimento do grafo de alcançabilidade, a Fig.2(a) exemplifica um sistema produtor-consumidor modelado por Redes de Petri em que p_1 , p_2 e p_3 são os lugares e t_1 e t_2 , as transições; a Fig.2(b) apresenta o respectivo grafo de alcançabilidade, em que M_0 , M_1 , M_2 e M_3 são as marcações, α e β são eventos e t_1 e t_2 , as transições:

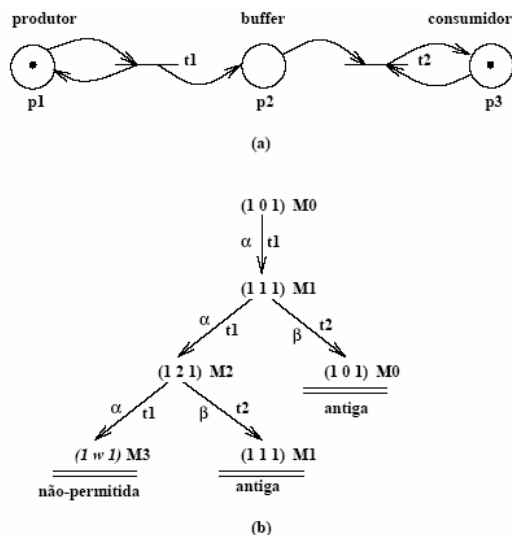


Fig. 2: Sistema modelado e grafo de alcançabilidade correspondente.

O primeiro sistema em estudo foi uma manufatura composta por oito ferramentas compartilhadas, para produção sequencial de seis peças em que situações de bloqueio na produção não eram desejadas. A modelagem desse sistema resultou numa Rede de Petri com sete lugares e cinco transições, além das

fichas simbolizando as peças e as ferramentas. A Fig.3 apresentada a seguir, revela a modelagem do sistema por Redes de Petri.

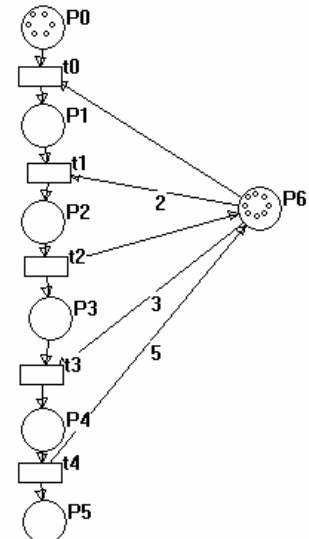


Fig. 3: Sistema modelado por Redes de Petri.

O grafo de alcançabilidade obtido, para a modelagem verificada na Fig.3, possuía 200 marcações das quais 7 levavam o sistema a uma situação de bloqueio. Parte dessas marcações, cerca de 83,4%, serviu para compor uma planilha Microsoft Excel, relacionando cada marcação, com as transições habilitadas para o disparo.

Os dados da planilha descrita anteriormente foram utilizados como entrada para o treinamento de uma rede neural, que composta por sete neurônios de entrada, quatro neurônios na camada escondida, e dois neurônios de saída. Os neurônios nas camadas intermediárias possuíam função de ativação do tipo sigmoide e os neurônios da saída, função do tipo linear, formando uma estrutura Perceptron [8]. A Fig.4(a) apresenta a estrutura da rede Neural utilizada e a Fig.4(b) o resultado do treinamento da rede Neural para a primeira modelagem:

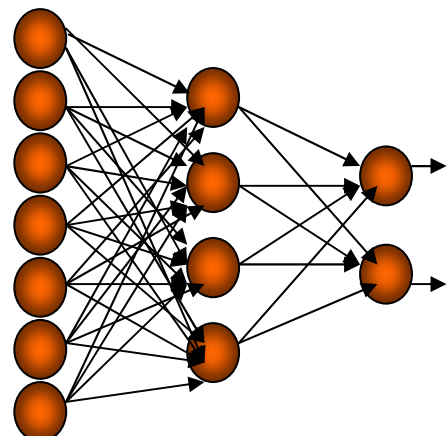
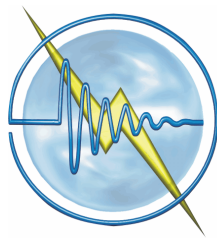


Fig.4(a):Estrutura da Rede Neural Utilizada



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

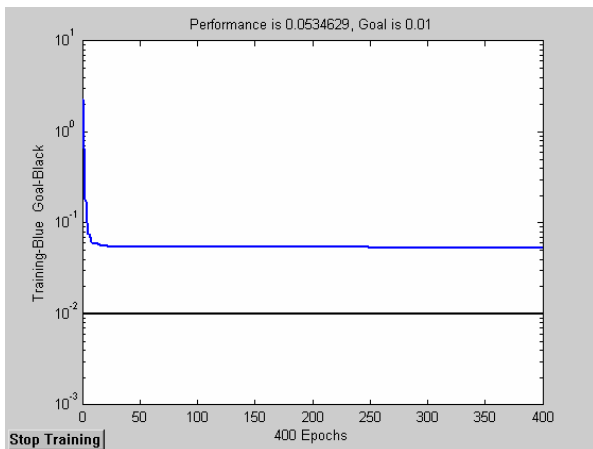


Fig.4(b):Resultado do treinamento da Rede Neural

Observando o gráfico apresentado na Fig.4(b) foi possível avaliar a evolução do erro entre o valor esperado e o valor estimado pela Rede Neural, durante o treinamento e constatar que o mesmo alcançou o patamar de 1×10^{-2} . Durante a validação dos resultados foi utilizado o percentual de 16,5% das marcações que não entraram no treinamento do Rede Neural. O índice de acerto obtido foi de 98%.

O segundo sistema em estudo representava a mesma manufatura anteriormente modelada, considerando oito peças sequencialmente produzidas. A modelagem por Redes de Petri revelou um aumento do grafo de alcançabilidade para 257 marcações, das quais 11 levavam o sistema a uma situação de bloqueio do sistema. Setenta por cento dessas marcações serviu para compor uma planilha Microsoft Excel, relacionando cada marcação, com as transições habilitadas para o disparo.

A planilha obtida foi utilizada como entrada para o treinamento uma rede neural, com a mesma estrutura anteriormente citada. O resultado do treinamento da Rede Neural para a essa modelagem avaliar a evolução do erro entre o valor esperado e o valor estimado pela Rede Neural, durante o treinamento e constatar que o mesmo alcançou o patamar de 1×10^{-3} . Durante a validação dos resultados foi utilizado o percentual de 30% das marcações que não entraram no treinamento do Rede Neural. O índice de acerto obtido foi de 90%.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na seção anterior foi descrita uma metodologia de controle supervísório para

sistemas modelados por Redes de Petri, que utilizavam uma Rede Neural Artificial, implementada no ambiente do Matlab, para definir sua evolução controlada e evitar bloqueios ou situações indesejadas, considerando um universo de marcações pré-definidas e partindo de marcações iniciais específicas dos sistemas. Esta estratégia permitiu alcançar especificações de comportamento pré-definidas (a produção sequencial das peças sem o bloqueio do sistema de manufatura), apresentando uma estrutura de controle supervísório externa ao sistema modelado e imutável para as marcações iniciais do universo definido. Dessa forma a estratégia proposta pode ser utilizada como uma alternativa no controle de sistemas a eventos discretos.

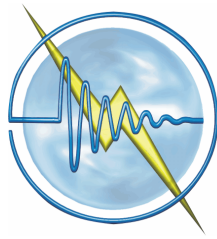
CONCLUSÃO

A estrutura de controle proposta forneceu a uma Rede Neural Artificial, conhecimento especialista suficiente, para avaliar a dinâmica de um sistema a eventos discretos modelado por redes de Petri. Dessa forma, a partir de dados confiáveis para treinamento, obtidos a partir do grafo de alcançabilidade, e generalização do modelo de controle, alcançou-se uma dinâmica de funcionamento robusta do sistema, pela avaliação dos dados da entrada da RNA.

Foi de suma importância que os dados de entrada fossem fornecidos do grafo de alcançabilidade, para que o treinamento da rede levasse a resultados coerentes, e índice de erro baixo, bem como a definição da quantidade de dados da entrada da rede, pois o número de dados para treinamento aumentou o desempenho da RNA minimizando o índice de erro o processamento do treinamento.

A utilização do método da retropropagação do erro como ferramenta matemática de treinamento da rede, e a escolha dos neurônios da camada intermediária com função de ativação do tipo sigmóide, também foram decisões importantes no desempenho da RNA.

Como dificuldades encontradas merece destaque a não convergência para o valor estabelecido como objetivo, durante o treinamento da RNA, nas duas modelagens estudadas, revelando problemas como a ocorrência de mínimos locais, a necessidade de treinamento da RNA para cada valor diferente da marcação inicial da Rede de Petri, e o acesso a sistemas reais para modelagem e utilização do método proposto. Em linhas gerais os resultados apresentados constatarem que o uso de Redes Neurais Artificiais, para o controle do disparo de



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

transições em sistemas modelados por Redes de Petri foi satisfatório, tornando-se uma alternativa a solução para o problema de Controle supervisorio de sistemas industriais, que tenham situações de retardo no tempo e sincronização, levando ao estado de bloqueio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aqueles que, direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] BARROSO, Giovanni C, (1996) Uma Abordagem para a Síntese de Supervisores de Sistemas a Eventos Discretos. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 15-26.
- [2] COSTA, Eduard M. Meira e LIMA, Antonio M. Nogueira, (2005) Introdução às Redes de Petri e à Modelagem de Sistemas – Editora da Unibahia, volume I, 10-18.
- [3] PETERSON J. L. (1981) *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*. Prentice-Hall, N. J., N. J., USA 25-36.
- [4] COSTA, Eduard M. Meira, (2004) Introdução aos Sistemas a Eventos Discretos e à Teoria de Controle Supervisorio - Editora Alta Books, volume I, 10-22.
- [5] BARRETO, Jose Muniz. (1997) Inteligência Artificial no Limiar do século XXI, volume 1, 1ª Edição, 8-23.
- [6] BARRETO, Jose Muniz. (1997) Inteligência Artificial no Limiar do século XXI, volume 1, 2ª Edição, 5-35.
- [7] COSTA, Eduard M. Meira e LIMA, Antonio M. Nogueira, (2005) Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos – Fundamentos Básicos para a Moderna Automação Industrial. Editora EUFBA, 107-118.
- [8] CAVUTO, David J. (1997). *An Exploration and Development of Current Artificial Neural Network Theory and applications with Emphasis on Artificial Life*. Thesis of Master of Engineering. The Cooper Union Albert Nerken School Of Engineering, , 14 -35.