

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES CONEXIONISTAS APLICADOS À PERCEPÇÃO MUSICAL

Weber Martins^{1,2}, Clóvis de Carvalho Borges¹, Lauro E. G. Nalini^{1,2}
[weber, clovis, nalini]@pireneus.eee.ufg.br

¹ Universidade Federal de Goiás, Brasil
Escola de Eng. Elétrica e de Computação – Grupo PIRENEUS
UFG – EEEEC – Praça Universitária s/n – Goiânia – Goiás – Brazil

² Universidade Católica de Goiás, Brasil
Departamento de Psicologia
Av. Universitária, 1440, Setor Universitário – Goiânia – Goiás – Brazil

Abstract

This article presents an Intelligent Tutoring System based on MLP (multilayer perceptrons) artificial neural network capable of adaptation and reaction and able to offer customized and dynamic tuition. The proposed system has been developed in web environment and is composed of 12 musical notes in only one scale. As far as our knowledge goes, no study is reported on perceptual tasks as musical note perception in the literature when connectionist tutoring systems are used. To collect the data to compose the training set, a Free Tutor (without intelligent techniques) were employed. The Guided Tutor (proposed system that uses a MLP neural net) has been trained on the best examples of free navigation. Statistical analysis of results on both tutors indicates that the application of neural networks is adequate. The Guided Tutor has been superior to the Free Tutor since it was observed a decreasing on the time spent in the tutoring session and an increasing on the final marks.

Resumo

Este artigo apresenta um Sistema Tutor Inteligente baseado em redes MLP (multilayer perceptrons) capazes de adaptar e reagir no sentido de oferecer tutorial dinâmica e customizada. O sistema proposto foi desenvolvido em ambiente web com o objetivo de ensinar pessoas a discriminar as 12 notas musicais de uma única escala. Até onde os autores conhecem, nenhum estudo foi reportado na literatura científica sobre o uso de sistemas tutores conexionistas em tarefas perceptivas. Para coletar os dados que compõem o conjunto de treinamento, um Tutor Livre (sem inteligência) foi empregado. O Tutor Guiado (sistema proposto que usa redes MLP) foi treinado com dados das performances dos usuários que mais se beneficiaram com o uso da navegação livre. Análise estatística dos resultados de ambos tutores indicam que a aplicação de redes neurais é adequada. O Tutor Guiado é superior ao Tutor Livre, pois foram observados um decréscimo no tempo da sessão de tutoria bem como um aumento nas notas finais.

Keywords: Connectionist Intelligent Tutoring System, MLP neural network, musical perception.

1. Introdução

Desde a década de cinquenta (do século passado), o computador tem sido empregado na Educação como ferramenta auxiliar na tarefa de ensino-aprendizagem [1]. Os primeiros sistemas computacionais aplicados na Educação são classificados como Instrução Assistida por Computador ou Sistemas CAI (CAI, do Inglês *Computer-Assisted Instruction*). Tais sistemas não incluem técnicas inteligentes em sua concepção. Com o avanço das técnicas inteligentes (Inteligência Artificial Simbólica), nasceu neste meio um novo paradigma de sistemas educacionais, denominados ICAI (do Inglês, *Intelligent Computer-Assisted Instruction*) ou Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Nessa nova geração, os sistemas passaram a ter a capacidade de representar determinados domínios e de se adaptar às características dos alunos [2].

Apesar da evolução alcançada nos sistemas ICAI, nesses modelos os métodos tutores são, basicamente, determinados pelo conhecimento conceitual do especialista e pelo comportamento de aprendizagem dos estudantes durante a execução da tutoria. Além disso, o desenvolvimento de tais sistemas encontra-se limitado à área simbólica da Inteligência Artificial (IA).

Diante do contexto atual dos projetos de Informática voltados para a Educação, resolveu-se explorar uma nova linha de pesquisa através da aplicação de redes neurais artificiais (IA conexionista) em sistemas tutores inteligentes. Neste trabalho, o sistema é treinado com dados extraídos dos próprios estudantes para permitir a tomada de decisões baseadas na forma humana de agir.

Até hoje somente algumas investigações foram elaboradas no sentido de aplicar redes neurais em sistemas tutores inteligentes. Alencar [3] demonstrou a capacidade de uma rede neural Perceptron multicamadas extrair padrões que poderiam ser utilizados para auxiliar na navegação de um sistema tutor inteligente. Martins & Carvalho [4] implementaram um sistema tutor inteligente baseado em mapas auto-organizáveis de Kohonen [5] para ensino de

conceitos fundamentais de Informática, isto é, conhecimento declarativo. O foco deste trabalho, por outro lado, encontra-se na tarefa perceptual de discernimento de notas musicais, sendo, neste aspecto, inédito.

A principal diferença entre esta proposta e os sistemas ICAI tradicionais é que, nestes últimos, o conhecimento do especialista é fundamental para a modelagem do sistema. Neste projeto, os comportamentos dos próprios alunos indicam as ações do tutor. Cabe lembrar que nem todos os dados obtidos dos alunos que navegam livremente são aproveitados para compor o conjunto de treinamento, mas somente os dados oriundos de alunos que desempenharam bem a tarefa em questão.

Utilizam-se, neste trabalho, as redes neurais denominadas Perceptron de Múltiplas Camadas ou Multilayer Perceptrons (MLP) devido à sua capacidade de assimilar padrões bem definidos. Acredita-se que as pessoas quando submetidas a determinadas tarefas tendem a manter padrões, apesar de suas diferenças individuais. Assim, as redes neurais MLP tornam o sistema adaptativo e capaz de permitir uma tutoria individualizada e personalizada.

A hipótese central deste estudo, portanto, estabelece que o treinamento de uma MLP a partir de bons exemplos de navegação livre pode sustentar o direcionamento automático de novos usuários no sentido de possibilitar melhor desempenho em menor tempo de tutoria.

2. Redes Neurais Artificiais

Em 1958, Frank Rosenblatt [6] apresentou o modelo de RNA denominado *perceptron* com capacidade de classificar padrões. Conforme demonstrado, em 1969, por Minsky e Papert [7] o modelo perceptron possui capacidade de classificação limitada para problemas cuja solução pode ser alcançada dividindo-se o espaço de entrada em duas regiões, através de uma reta (classes linearmente separáveis). Este fato causou um esquecimento e uma conseqüente descrença em sistemas baseados em redes neurais.

As pesquisas na área de RNA, por um longo período, foram realizadas informalmente e não apresentavam resultados relevantes, ou melhor, os resultados foram obtidos em outras áreas e as idéias não circulavam adequadamente naquele momento histórico. Werbos, por exemplo, solucionou o desafio registrado por Minsky e Papert, registrando o algoritmo de retropropagação de erros (*backpropagation*) em sua tese de doutorado em Economia [8]. Apenas em 1986, Rumelhart [9] apresentou à comunidade diretamente relacionada a redes neurais o algoritmo *backpropagation*, que permite o treinamento de redes multicamadas, expandindo a capacidade das redes neurais para resolução de problemas com níveis de maior complexidade, além dos problemas linearmente separáveis. A partir de então, ocorreu um aumento no interesse pelas redes neurais artificiais. Além disto, o fato da escola simbolista (inteligência artificial simbólica) não ter conseguido grandes avanços na

solução de determinados tipos de problemas, principalmente perceptuais, favoreceu o ressurgimento das redes neurais artificiais.

Para solução de problemas mais complexos, tornou-se necessário uma estrutura com maior capacidade de representação. Precedido por propostas semelhantes, Rumelhart, Hinton e Williams, em 1986, demonstraram que é possível treinar eficientemente redes com camadas intermediárias, resultando no modelo de Redes Neurais Artificiais mais utilizado atualmente, a rede *Perceptron Multi-Camadas – MLP* (do Inglês, *Multilayer Perceptron*) [10].

Na rede MLP, cada camada tem uma função específica. A camada de saída recebe os estímulos da camada intermediária e constrói o padrão que será a resposta. As camadas intermediárias funcionam como extratoras de características, seus pesos são uma codificação de características apresentadas nos padrões de entrada e permitem que a rede crie sua própria representação, mais rica e complexa, do problema. Na verdade, é provado que o uso de uma única camada intermediária permite a aproximação de qualquer função contínua. O uso de duas camadas intermediárias capacita a rede a aproximar qualquer função (mesmo descontínua). [11]

As redes MLP têm grande aplicação na solução de problemas complexos, através do treinamento supervisionado com o algoritmo *backpropagation*. A larga utilização das redes MLP, além da evolução histórica da área de Redes Neurais Artificiais, justificam o status das MLP como alternativa inicial padrão de muitos trabalhos, sendo utilizada neste trabalho.

3. Sistema Proposto

A idéia de criar um sistema tutor inteligente baseado em redes neurais artificiais surgiu do interesse de desenvolver um sistema que pudesse tomar decisões, independentemente da interferência de um especialista. Na maioria dos sistemas tutores inteligentes encontrados, o trabalho de um especialista é exigido para criar a base de domínio [12], responsável pelas tomadas de decisões.

No sistema proposto, as redes neurais artificiais são usadas para tomar as decisões [13]. O treinamento das redes é definido a partir de um conjunto de exemplos extraídos de coleta de dados. Tal coleta foi realizada através da utilização de um software tutor, denominado Tutor Livre.

O sistema Tutor Guiado (inteligente) é baseado nas características das pessoas mais bem sucedidas que se submeteram à coleta de dados, de onde foram gerados os padrões para o treinamento das redes neurais. A conseqüente adaptação do tutor é baseada na forma que as pessoas (mais bem sucedidas) realmente se comportam, gerando características mais próximas à forma humana de agir. Deste modo, a “base de domínio” deixa de existir, cedendo lugar às redes neurais artificiais, responsáveis pelas tomadas de decisões.

A seguir, descreveremos melhor cada um dos tutores envolvidos no processo de desenvolvimento e comparação de desempenho.

Tutor Livre

A primeira etapa do projeto realizou a coleta de dados, utilizando o Tutor Livre. Tal tutor possui características tão similares às do Tutor Guiado quanto possível, porém não é dotado de inteligência. Sua estrutura básica pode ser vista na Figura 1.

Tutor Livre

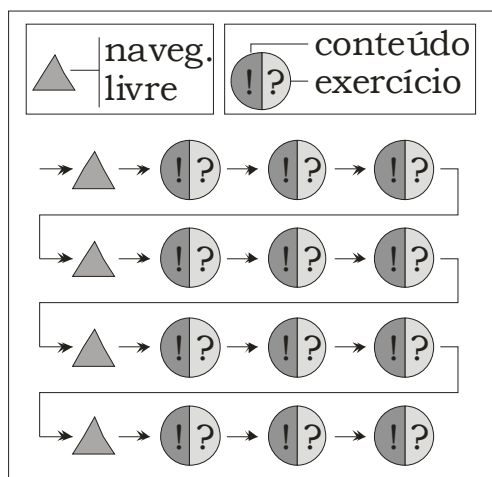


Figura 1: Estrutura do Tutor Livre

O Tutor Livre é um software composto de doze contextos sobre notas musicais de uma mesma escala. As notas musicais são constituídas por uma seqüência, dispostas em três níveis distintos: facilitado, médio e avançado.

A diferença entre os níveis encontra-se na distância musical entre as notas apresentadas em telas de instrução e nas alternativas componentes das telas de exercícios. Quanto mais avançado o nível, menores são as distâncias entre as notas musicais envolvidas no processo ensino-aprendizagem. A distância musical é medida em semi-tons. Por exemplo, a distância entre a nota Dó e a nota Dó sustenido é de 1 semi-ton.

Cada um dos níveis (facilitado, médio, avançado) é seguido de uma questão relacionada ao conteúdo musical daquele contexto musical e nível. Depois da escolha do nível inicial, o usuário é remetido ao contexto e uma questão numa seqüência de três em três duplas conteúdo-exercício. Depois de estudado estes três contextos, o usuário é exposto a uma página de navegação que lhe permite escolher outros níveis ou prosseguir para o próximo contexto no mesmo nível, de acordo com a sua necessidade e interesse. Se desejar prosseguir, mesmo depois de visitados níveis diferentes anteriormente, o tutor sempre o conduzirá ao nível desejado do próximo contexto, até concluir o tutor.

A denominação “Tutor Livre” é justificada pelo fato de que o usuário pode visitar, segundo sua própria opinião do que é melhor para ele no momento, quaisquer dos níveis na ordem que desejar. A única imposição estabelece que o usuário caminhe sempre

para frente no conteúdo, podendo retornar a outros níveis já utilizados, mas não retornando às notas musicais já ouvidas.

Como estamos interessados no ensino de uma única escala musical, temos 12 notas. O agrupamento de 3 em 3 caracteriza, portanto, 4 fases. O usuário é exposto, assim, a 4 momentos de decisão correspondentes a cada uma das fases. Como dissemos previamente, os comportamentos dos usuários que desempenham bem a tarefa é usado como exemplos de boas decisões para a rede neural.

Tutor Guiado

O Tutor Guiado é semelhante ao anterior, porém dotado de inteligência. Sua estrutura básica pode ser vista na Figura 2. A grande diferença entre eles diz respeito à forma de navegação. O “navegador” existente no Tutor Livre cede lugar às redes neurais artificiais no Tutor Guiado. A decisão do destino a seguir, correspondente ao nível apropriado a adotar, passa do usuário para um rede neural especificamente treinada.

Tutor Guiado

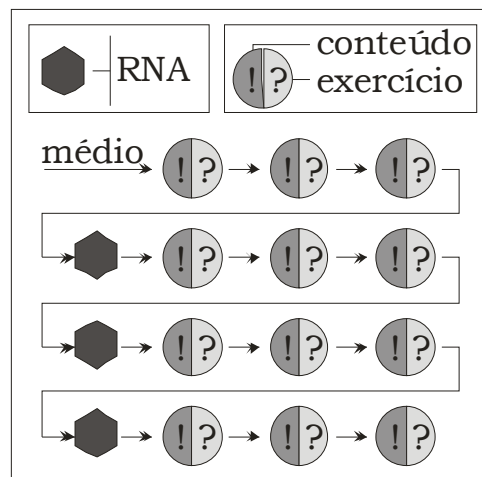


Figura 2: Estrutura do Tutor Guiado

Cada um dos níveis (facilitado, médio, avançado) é conduzido pela rede neural melhor treinada a uma questão relacionada ao conteúdo musical daquele contexto musical e nível que melhor adapte ao aluno submetido. Depois da escolha do nível inicial, o usuário é remetido ao contexto e uma questão numa seqüência de três em três duplas conteúdo-exercício. Depois de estudados estes três contextos, o usuário é guiado para o melhor nível escolhido pela rede neural, de acordo com a sua necessidade (tomando por base os exemplos históricos extraídos dos usuários bem sucedidos na tutoria livre). Se desejar prosseguir, mesmo depois de visitados níveis diferentes, o tutor o conduzirá ao nível desejado do próximo contexto, até concluir todo conteúdo.

As características das instruções (notas) e exercícios seguem inalteradas, tendo em vista que os dados coletados durante a navegação livre, destinados ao treinamento das redes neurais, devem ser coerentes com os dados coletados no Tutor Livre. Tal coerência é fundamental para que a comparação entre os dois

sistemas seja o mais justa possível. Desta forma, mantém-se, em ambos, a mesma estrutura de “layout”, cores, notas musicais, etc. Enquanto, no Tutor Livre, o usuário tem a oportunidade de escolher em que nível fará a primeira fase, no Tutor Guiado, por outro lado, o usuário sempre entra no nível médio. A rede neural MLP atua no início da segunda, terceira e quarta fases.

A denominação “Tutor Guiado” é justificada pelo fato de que o usuário é guiado ao melhor contexto e nível para o seu aprendizado por meio da decisão de uma rede neural específica.

No Tutor Guiado, assim como no Tutor Livre, cada passo do usuário é registrado em um banco de dados. Os registros resultantes são usados para submissão à rede neural, para decisão do próximo passo, bem como para comparação de resultados entre os dois tutores.

O **Tutor Guiado** oferece a vantagem de ser **facilmente adaptável a qualquer curso** (conteúdo), desde que possa ser oferecido com a mesma estrutura. Para tanto, torna-se necessário **apenas a inclusão** do novo curso no tutor, uma vez que o software já está preparado para toda gerência de apresentação e registro dos dados. Naturalmente, far-se-á necessária a devida **coleta** e conseqüente **treinamento das redes** neurais associadas.

Seleção de Variáveis para MLP

Cada rede neural possui 12 entradas, considerando que a navegação livre dos usuários é realizada em 3 níveis diferentes (facilitado, médio e avançado) e que existem quatro aspectos fundamentais para cada um dos níveis. Estes quatro aspectos são:

- Tempo/latência do conteúdo: tempo gasto pelo aluno para ouvir o conteúdo musical que será tema de futura avaliação;
- Tempo/latência de exercício: tempo gasto para realizar o exercício;
- Nível de acerto local: acerto ou erro no ponto corrente do usuário dentro do conteúdo do curso;
- Nível de acerto global: razão entre o total de exercícios respondidos corretamente e o total de exercícios realizados.

4. Resultados

Coleta de Dados

No intuito de obter maior uniformidade nos dados, considerando tanto as pessoas componentes do conjunto de navegação livre quanto da navegação guiada, limitamos a coleta a uma população específica. Foram escolhidos alunos universitários dos primeiros anos dos cursos de Engenharia da Computação e de Sistemas da Informação.

Antes de os alunos serem submetidos aos tutores, foi distribuído material explicativo sobre o sistema. As principais características do tutor foram expostas, de modo a minimizar problemas inerentes à navegação. Foram transmitidas várias informações sobre o software, tais como estrutura, ambiente de desenvolvimento e tempo médio para conclusão do curso proposto. A primeira lição foi tomada como fase

adaptativa, de familiarização com o sistema para o aluno, não participando para efeito de treinamento e outras análises.

A coleta para os tutores Livre e Guiado envolveu dois grupos independentes, sendo um para cada tutor. Tal procedimento permite a comparação de grupos com características comuns, mas submetidos a situações distintas. Considerando a natureza da tarefa, não seria interessante utilizar o sujeito como controle de si mesmo, isto é, mensurar os mesmos sujeitos em dois momentos diferentes, tendo em vista que o contato com o tutor pela segunda vez ficaria influenciado pelo primeiro contato.

Conjunto de Treinamento

Vinte e um alunos foram submetidos à coleta de dados no Tutor Livre, sendo que quinze destes tiveram bom desempenho e, conseqüentemente, os dados selecionados e utilizados no conjunto de treinamento. A citada seleção refere-se, portanto, à utilização dos registros dos alunos que obtiveram melhor aprendizado durante a execução do tutor, isto é, somente os alunos que atingiram notas maiores tiveram seus dados incluídos no conjunto de treinamento.

Em cada registro foram coletadas informações como nível de acerto, latência (em milissegundos) e nota final.

O tutor possui 12 (doze) contextos, divididos em 03 (três) níveis (facilitado, médio, avançado), sendo que cada um destes possui um exercício associado. Assim, as estruturas do Tutor Livre e do Tutor Guiado mostradas nas figuras 1 e 2, devem ser entendidas conforme a Figura 3, isto é, há três níveis para cada par conteúdo-exercício.

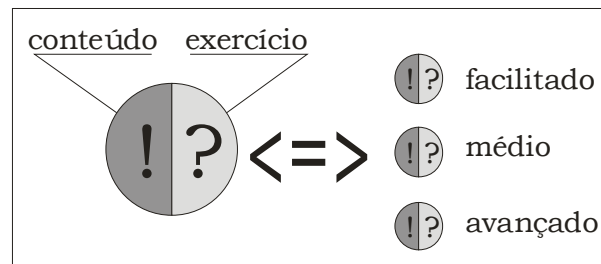


Figura 3: Par Conteúdo-Exercício

Modelo Neural Escolhido

Para este trabalho, optou-se por usar redes MLP com utilização do *backpropagation*. Cada rede neural possui um total de 12 (doze) neurônios na camada de entrada, seis na camada intermediária (oculta) e uma na de saída, cujos pesos iniciais foram escolhidos aleatoriamente com valores próximos de zero, na faixa de $-0,2$ a $+0,2$.

Depois de treinadas, as redes neurais apresentaram boa precisão de resposta. Assim, o **sistema independe de regras** específicas relativas à estratégia de ensino e, conseqüentemente, do especialista humano nesta área. A **decisão** sobre os destinos apropriados durante a navegação guiada é **tomada pela rede neural**, treinada a partir dos melhores exemplos.

Análise do Tempo de Execução

Quando se fala em ensinar, mais especificamente em ensino a distância (um dos possíveis usos da tecnologia aqui proposta), um fator da maior relevância é o tempo gasto no curso. Nesta linha de raciocínio, comparamos adiante os tempos médios gastos para conclusão de estudos nos tutores Livre e Guiado. Tendo em vista que o interesse é focalizar o tempo gasto em estudo propriamente dito, incluímos somente as latências de conteúdos e de seus respectivos exercícios, ou seja, não consideramos o tempo utilizado pelo aluno no Tutor Livre para escolher o nível mais apropriado. O gráfico da Figura 4 mostra o tempo médio gasto na execução de cada um dos tutores.

De acordo com o gráfico da Figura 4, fica evidente que no Tutor Guiado o tempo de curso foi reduzido significativamente. De qualquer forma, realizou-se análise estatística para verificar se a diferença entre as médias é realmente significativa.

Aplicou-se o teste “t” de Student, assumindo como hipótese nula (H_0) que a diferença entre as médias se deve ao acaso, e como hipótese alternativa (H_a) que a característica do Tutor Guiado influencia na diminuição do tempo de estudo. O resultado deste teste estatístico foi significativo com nível de significância 5%, comprovando uma de nossas hipóteses iniciais.

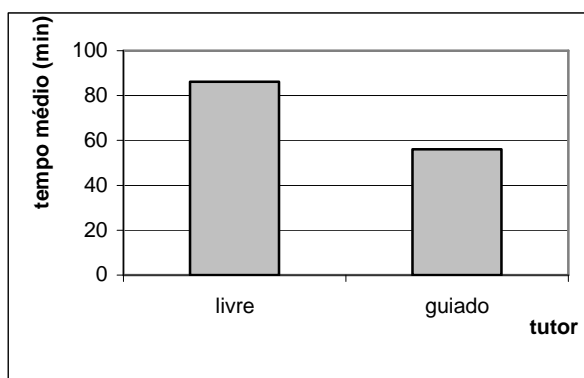


Figura 4: Gráfico do tempo de execução dos tutores.

Análise das Notas Finais

Inicialmente, verificou-se em quais dos tutores os alunos conseguiram maior resultado. Isto foi feito através da comparação das notas de questões respondidas corretamente de ambos os tutores, considerando no Tutor Livre e Guiado.

O gráfico da Figura 5 apresenta o número médio de questões respondidas corretamente (conjunto de Tutor Livre e Tutor Guiado). Como pode ser visto no gráfico, a navegação guiada ofereceu uma vantagem em relação à navegação livre. Cabe observar que os resultados para o Tutor Livre engloba todos os casos coletados, incluindo os que não fizeram parte do conjunto de treinamento das redes neurais. Em outras palavras, não estamos comparando resultados do Tutor Guiado aos resultados exclusivo dos alunos que participaram do treinamento, mas, sim, de todos que navegaram livremente. Sem dúvida, se comparássemos apenas aos que participaram do conjunto de treinamento, teríamos, no máximo, desempenhos semelhantes.

Os resultados obtidos dos tutores Livre e Guiado remetem à indicação de realizar uma análise estatística para verificar se a diferença entre as médias é realmente significativa ou casual. Para fazer tal análise, aplicou-se o teste “t” de Student, onde a hipótese nula (H_0) supõe que a diferença entre as médias deveu-se ao acaso. Para contrapor à H_0 , supõe-se H_a onde o desempenho do Tutor Guiado foi significativamente maior. O resultado do teste rejeitou a hipótese nula, fortalecendo a hipótese experimental de que as redes neurais auxiliaram positiva e significativamente no processo.

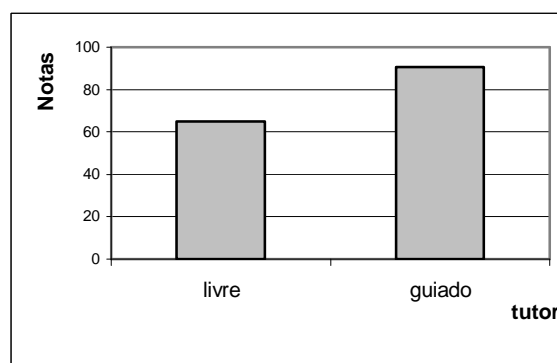


Figura 5: Comparação entre testes e tutores.

5. Conclusão

Este trabalho formalizou a proposta de um Sistema Tutor Inteligente baseado em redes MLP (Perceptron de Múltiplas Camadas)

Neste estudo, além de ter desenvolvido um Sistema Tutor Inteligente baseado em redes neurais, promoveu-se ainda um estudo mais detalhado da sua capacidade de ensinar, quando comparado a um tutor não dotado de inteligência, em uma tarefa perceptual, distinta do ensino de conhecimento declarativo (comum na literatura da área).

Para chegar aos resultados obtidos, desenvolveu-se um sistema tutor sem inteligência, destinado unicamente à coleta de dados para referência futura e também para subsidiar (através da amostra dos melhores casos) o treinamento, denominado Tutor Livre. O Tutor Livre tem a mesma estrutura do Tutor Guiado proposto neste trabalho de modo a assegurar uma boa comparação. A coleta dos dados utilizados no treinamento das redes neurais foi realizada com alunos universitários dos primeiros anos dos cursos de graduação. Após o treinamento das redes neurais e conseqüente adaptação ao tutor inteligente, foi efetuada uma nova coleta de dados, com o Tutor Guiado, para proceder um estudo comparativo do desempenho do sistema.

Na comparação entre o Tutor Livre e o Tutor Guiado, foi comprovado estatisticamente uma significativa diminuição no tempo de tutoria e aumento das notas dos alunos.

Este trabalho contribui no sentido de apresentar uma nova proposta para a criação de Sistemas Tutores Inteligentes. Isto não significa que as redes neurais artificiais devam substituir quaisquer outras abordagens

utilizadas na criação de STIs, mas, sim, que elas podem ser aplicadas como método alternativo e, até mesmo, em conjunto com outras tecnologias.

A estrutura desenvolvida oferece ainda a vantagem de ser facilmente utilizada por tutores (conteúdos) diversos, incluindo tarefas perceptuais, incomuns na literatura. Estudos futuros pretendem investigar tal qualidade mediante o desenvolvimento de novos conteúdos ou a expansão para novas escalas musicais, acordes, fonemas de outros idiomas, etc.

Referências

- [1] CHAIBEN, H. Um Ambiente Computacional de Aprendizagem Baseado em Redes Semânticas. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestrado em Ciências) - CEFET-PR - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.
- [2] GIRAFFA, L.M.M & VICCARI, R.M. The Use of Agents Techniques on Intelligent Tutoring Systems. Instituto de Informática-PUC/RS. Porto Alegre, 1997.
- [3] ALENCAR, W.S. Sistemas Tutores Inteligentes Baseados em Redes Neurais. Escola de Engenharia Elétrica e de Computação. Goiânia. Janeiro, 2000.
- [4] MARTINS, W. & CARVALHO, S. D. Mapas Auto-Organizáveis Aplicados a Sistemas Tutores Inteligentes. Anais do VI Congresso Brasileiro de Redes Neurais, pp. 361-366, São Paulo, 2003.
- [5] KOHONEN, T., *Self-Organizing Maps*. Berlim. Springer-Verlag, 2ª. edição, 1977.
- [6] ROSENBLATT, F. The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychol. Rev.*, 1958
- [7] MINSKY, M. And PAPERT, S. *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. MIT Press, Massachusetts, 1969.
- [8] WERBOS, P., *Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioural sciences*, PhD thesis, Harvard University, Cambridge, MA, USA, 1994.
- [9] RUMELHART, D. E., HINTON, G. E. and WILLIAMS, R.J., Learning Representations by Back-propagation Errors. *Nature*, 1986.
- [10] REED, R.D. & MARKS II, R.J., *Neural Smthing: Supervised Learning in Feedforward Artificial Neural Networks*, MIT Press, 1996.
- [11] HAYKIN, S. *Redes neurais artificiais: princípios e prática*. 2.ed. – Porto Alegre, RS : Bookman, 2001
- [12] VICCARI, R.M. & GIRAFFA, L.M.M, *Sistemas Tutores Inteligentes: Abordagem Tradicional vrs. Abordagem de Agentes*. XII Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial. Curitiba. Outubro, 1996.
- [13] RUMELHART, D.E., WIDROW, B., & LEHR, M.A., The basic ideas in neural networks. *Communications of the ACM*, 37, 87-91, 1994.