

UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL HÍBRIDA: MULTI-LAYER PERCEPTRON (MLP) E INTERACTIVE ACTIVATION AND COMPETITION (IAC)

ANDRÉA T. R. BARBOSA, GLORIA M. CURILEM SALDÍAS, FERNANDO M. DE AZEVEDO

*Hospital São Vicente de Paulo, Centro de Engenharia Biomédica
Universidade de La Frontera, Dpto de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Catarina, Instituto de Engenharia Biomédica
E-mails: aricciobarbosa@yahoo.com.br; millaray@ufro.cl;
azevedo@ieb.ufsc.br*

Abstract— This article presents a hybrid artificial neural networks, composed by MLP (Multilayer Perceptron) and IAC (Interactive Activation and Competition) types, developed to be used in the mechanism of adaptation on adaptive hypermedia. The Adaptive Hypermedia System is defined as being a visualization system in that the contents to present, its presentation form or its navigation are adjusted in agreement with the user's profile. The developed hybrid artificial neural network was very important and applicable in the development of the mechanism of adaptation in this application, but after its implementation it was verified that this can be used in any problem type that needs the following characteristics: generalization of the knowledge, memorization, activation of any amount of neurons and the consideration of a neuron or groups of neurons as entrance at a given moment and exit in other.

Keywords— Hibrid artificial neural networks, Multi-layer Perceptron , Interactive Activation and Competition

Resumo — Este artigo apresenta uma rede neural híbrida, composta pelas redes neurais artificiais dos tipos MLP (Multilayer Perceptron) e IAC (Interactive Activation and Competition), desenvolvida para ser utilizada no mecanismo de adaptação de um sistema hipermídia adaptativo. Um Sistema Hipermídia Adaptativo (SHA) define-se como sendo um sistema de visualização em que os conteúdos a apresentar, a sua forma de apresentação ou sua navegação são ajustados de acordo com as características de cada utilizador. A rede híbrida desenvolvida foi muito importante e aplicável no desenvolvimento do mecanismo de adaptação desta aplicação, mas após sua implementação verificou-se que esta poderá ser utilizada em qualquer tipo de problema que necessite das seguintes características: generalização do conhecimento, memorização, ativação de qualquer quantidade de neurônios e a consideração de um neurônio ou grupos de neurônios como entrada em dado momento e saída em outro.

Palavras-chave— Rede neural artificial híbrida, Multi-layer Perceptron , Interactive Activation and Competition

1 Introdução

Este artigo apresenta uma rede neural artificial híbrida desenvolvida para ser utilizada no mecanismo de adaptação de um sistema hipermídia adaptativo.

Um Sistema Hipermídia Adaptativo (SHA) define-se como sendo um sistema de visualização em que os conteúdos a apresentar, a sua forma de apresentação ou sua navegação são ajustados de acordo com as características de cada utilizador, com o objetivo de guiá-lo para obter a informação mais relevante, desviando-o de informação menos interessantes ou que ele não conseguiria entender.

Devido às características do problema na implementação da metodologia, verificou-se que a ferramenta mais adequada seria a utilização de redes neurais artificiais (RNA).

A rede neural do tipo IAC é uma rede que apresenta uma topologia particular com características de memórias bidirecionais hetero-associativas o que a torna bastante apropriada para a implementação de mecanismos de adaptação para interfaces adaptativas. Seu uso, portanto, é interessante já que apresenta características relevantes para a realização do *feedback* com o usuário. Além da bidirecionalidade, permite que qualquer neurônio seja ativado, ou seja, qualquer neurônio poderá ser entrada ou saída em cada interação, salvo os do pool escondido, e não há número fixo de neurônios a serem ativados. A rede também utiliza, na atual interação do usuário com o

sistema, os valores de ativações obtidas nas interações anteriores possibilitando uma forma de “memorização” dos atos anteriores do usuário na determinação do estado atual.

Observa-se que a rede IAC, apesar das vantagens que apresenta, é uma rede que não generaliza o conhecimento representado em sua matriz de conhecimento. Ou seja, ela apresenta soluções adequadas apenas para situações em que o conhecimento está inserido em sua matriz. Caso contenha informações suficientes para todo, ou quase todo, o universo de possibilidades, a rede vai “funcionar” bem. Por outro lado, se o universo de possibilidades for imenso, não possibilitando uma representação suficiente na matriz de conhecimento, a rede não vai apresentar bom resultado.

Com a implementação de uma rede neural híbrida (MLP + IAC) possibilitou que o problema de generalização fosse solucionado. No desenvolvimento do mecanismo de adaptação foram utilizadas, portanto, redes neurais artificiais (RNA) dos tipos MLP e IAC, que funcionam em conjunto, para implementação, respectivamente, da adaptação da mídia da hipermídia ao conteúdo, conforme o perfil do usuário e das alterações explícitas realizadas por ele. Estas redes apresentam características importantes para a solução do problema de adaptação, e uma nova configuração foi desenvolvida.

A seguir serão apresentadas as características da rede neural do tipo IAC, por ser uma rede pouco

conhecida e utilizada. Será apresentada a aplicação do sistema híbrido de rede, como foi implementado e os testes de validação. A rede MLP não será apresentada por ser totalmente conhecida. Algumas bibliografias poderão ser consultadas a respeito da rede MLP (De Azevedo, 2000; Haykin, 2001).

2 Materiais e métodos

2.1 Rede Neural do tipo IAC

O modelo da rede IAC foi apresentado originalmente por Rumelhart e McClelland (1986). A rede IAC, segundo sua arquitetura original, apresenta propriedades específicas tais como: os neurônios são organizados em grupos ou *pools* competitivos, cada grupo representando um “conceito”, interligados por um grupo oculto (espelho ou escondido) através de ligações excitatórias. Os neurônios de cada grupo representam “valores” ou “características” dos conceitos. Existem duas classes de unidades (neurônios): algumas que podem receber entradas diretamente de fora da rede e outras que não podem. As primeiras são chamadas de unidades visíveis e as últimas unidades escondidas (aquelas pertencentes ao grupo oculto). Nesta rede o usuário pode especificar um padrão de entrada para as unidades visíveis, mas, por convenção, não é permitido especificar entrada externa para as unidades ocultas (De AZEVEDO et al., 2000). Uma representação da rede pode ser observada na Figura 1.

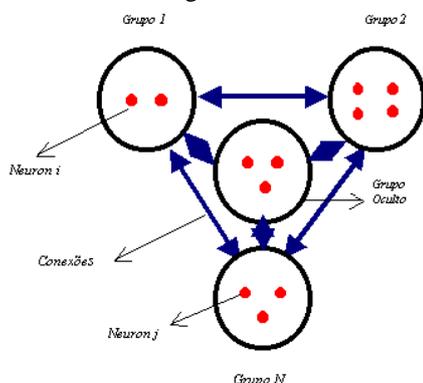


Figura 1. Estrutura de uma rede neural do tipo IAC.

A arquitetura da rede e os pesos caracterizam o conhecimento da rede. Ou seja, a tarefa principal do projetista na busca de uma solução para um problema se encontra, exclusivamente, em definir uma topologia que melhor represente o problema.

A rede IAC deve ser projetada da seguinte maneira:

- Definir, inicialmente, quais os “conceitos” envolvidos no problema, ou seja, definir quais serão os grupos. Observa-se que cada um destes conceitos representará os grupos visíveis, pois os neurônios pertencentes a eles devem ser ativados ou devem ser utilizados para fornecer resultados.

- Definir todos os possíveis “elementos” ou “características” para cada conceito, sendo que, cada um destes representará um neurônio dentro do pool. Uma observação importante é que todos os elementos que serão agrupados dentro do mesmo pool deverão ser excludentes, ou seja, um elemento deve inibir completamente o outro. As conexões entre os neurônios de um mesmo pool indicam, portanto, competição. E, quando um neurônio ou elemento é ativado, por uma excitação externa à rede, nenhum outro neurônio dentro do mesmo grupo poderá sê-lo.

- Definir qual dos grupos de “conceitos” irá gerar o grupo espelho, ou escondido, através do qual todos os neurônios de todos os demais grupos se relacionam por meio de ligações excitatórias.

- Estabelecer se há existência de relação ou não (1 ou 0) entre os neurônios (características) do pool escondido com os neurônios (características) dos demais grupos.

- Montar a matriz de pesos pelas definições obtidas.

Cada neurônio do pool oculto é ligado a todos os neurônios dos grupos visíveis através de conexões excitatórias. Dentro de um mesmo grupo (visível ou oculto) existem conexões inibitórias bidirecionais entre cada neurônio e todos os outros, ocasionando assim, um comportamento que é denominado de competitivo. As conexões excitatórias entre os grupos são bidirecionais e, devido a isto, acabam criando condições para o surgimento de um processamento iterativo, pois o processamento em um determinado grupo influenciará e também será influenciado pelo processamento que ocorre nos outros grupos da rede.

Pode-se observar, ainda, que no modelo IAC, as entradas positivas da rede tenderão sempre a excitar as unidades, enquanto que as entradas negativas da rede tenderão sempre a inibi-las.

As unidades em uma rede IAC mudam suas ativações de acordo com uma função que considera tanto a ativação atual da unidade, como também a entrada da rede procedente de outras unidades ou oriunda de fora da rede para esta unidade.

Na maioria dos modelos de Redes Neurais, a entrada da rede, para uma unidade particular i , é considerada a mesma, ou seja, é simplesmente a soma das influências de todas as outras unidades de processamento da rede mais alguma entrada externa à rede.

Esta influência criada por alguma outra unidade, considerada unidade j , é apenas o produto da saída da unidade pelo peso da conexão da unidade j para a unidade i .

Equacionando o que foi descrito acima, chega-se a seguinte relação característica da entrada de uma unidade i . Considerando um modelo de uma rede IAC, tem-se, para operação em tempo discreto e no modo síncrono:

$$Net_i = \sum_j w_{ij} output_j + extinput_i \quad (1)$$

Onde:

Net_i = entrada do neurônio ou unidade i; w_{ij} = peso da conexão da unidade j para a unidade i; output_j = saída da unidade j; extinput_i = entradas externas; j = 1, 2, 3...último neurônio da rede. Na Equação 1 o índice j muda após ter efetuado todas as conexões com o neurônio i.

No modelo IAC, a ativação da unidade i (a_i) é igual à saída da unidade j, (a_i) = (output_j). O valor da expressão (a_j) vale a_j para todo a_j > 0; caso contrário o valor é zero. Ou seja, o valor de [a_j] é limitado em 0, conforme mostrado abaixo:

$$a_i = \begin{cases} a_j & \text{se } a_j > 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

Uma vez que a entrada de um neurônio (netinput) tenha sido calculada, esta mudará a ativação dos neurônios seguintes conforme as expressões a seguir:

Se net_i > 0:

$$\Delta a_i = (\max - a_i) net_i - decay(a_i - rest) \quad (3)$$

Caso contrário,

$$\Delta a_i = (a_i - \min) net_i - decay(a_i - rest) \quad (4)$$

Nestas equações, max, min, rest, e decay são todos parâmetros da rede. Em geral, os valores são max = 1, min e rest = 0 e decay está entre 0 e 1. Onde a_i assume valores para se estabilizar entre o intervalo [min, max].

No modelo da rede IAC existem, portanto, muitos parâmetros que podem ser controlados pelo usuário. Estes são (McClelland & Rumelhart, 1989): Max: parâmetro de ativação máxima; Min: parâmetro de ativação mínima; Rest: valor de ativação de repouso para o qual as ativações tendem a estabelecer-se na falta de uma entrada externa; Decay: taxa de decaimento, a qual determina a força da tendência de retorno ao nível de ativação de repouso; Estr: representa a força das entradas externas; Alpha: gradua a força das entradas excitatórias sobre as unidades provenientes de outras unidades da rede; Gamma: gradua a força das entradas inibitórias sobre as unidades provenientes de outras unidades da rede.

Observa-se ainda que nesta rede não há processo de treinamento e os pesos (que representam o conhecimento) são estabelecidos em uma matriz que representa as ligações entre grupos diferentes e o mesmo grupo (relações existentes entre cada característica de cada conceito, através do pool escondido, bem como a relação entre os neurônios de um mesmo pool). Os valores dos pesos podem ser 0, 1 ou -1 representando: nenhuma relação, existência de relação (apenas entre neurônios de grupos diferentes) e relação de inibição (apenas entre os de mesmo pool), respectivamente (McCLELLAND & RUMELHART, 1989).

A matriz sempre possuirá uma diagonal principal nula, o que garante a estabilidade do sistema. As ligações dentro dos mesmos grupos são inibitórias (-1). A matriz é preenchida com valores (0), entre os neurônios dos grupos visíveis, pois não há ligação entre eles. A parte principal da matriz, onde o conhecimento é realmente estabelecido, corresponde aos pesos entre os neurônios do *pool* espelho e os demais neurônios dos outros *grupos*. Todos estes valores numéricos são utilizados no algoritmo da rede neural.

2.2 A rede neural híbrida: redes MLP e IAC

Houve necessidade de obter uma rede neural que pudesse generalizar o conhecimento estabelecido por um especialista, para qualquer nova entrada; que pudesse ser excitada tanto pelos neurônios considerados entradas como os considerados saídas, sem um número fixo de neurônios a ser excitados, apresentando respostas adequadas para novas interações e que as interações anteriores fossem relevantes na obtenção da resposta atual (memória).

Observando-se que a rede neural do tipo MLP tem como objetivo refletir o comportamento do especialista de domínio, possibilitando a obtenção da generalização desejada, e que a rede IAC apresenta as características de memória associativa do conhecimento estabelecido nela, possibilitando que qualquer neurônio seja entrada, que não há quantidade fixa de neurônios a ser excitado e que apresenta memória das interações anteriores, propõe-se um sistema em que as duas redes funcionem complementarmente permitindo, portanto, o aproveitamento das características desejáveis de ambas.

Para a rede neural do tipo MLP refletir o conhecimento do especialista de domínio, esta é treinada através de exemplos. Os exemplos são fornecidos com o preenchimento de uma tabela com a relação entrada-saída desejada. Conseqüentemente, depois da rede treinada, quando uma nova entrada não presente no conjunto de treinamento é apresentada, a rede determina o valor de saída da mesma forma que o especialista faria. Esta tabela (com os valores entrada-saída) definidos para a rede MLP e a resposta da rede para uma nova, é convertida em números “zeros” e “uns” de forma a este conhecimento ser representado na matriz da rede neural do tipo IAC. Desta forma, sempre a rede IAC vai ter o “conhecimento” de uma situação nova (nova entrada e saída da rede MLP) inserido em sua matriz. A rede IAC também tem sua arquitetura definida em função das entradas e saídas da rede MLP. Cada tipo de neurônio de entrada e cada tipo de neurônio de saída da rede MLP vão representar cada grupo e unidade da rede IAC. Ou seja, em função da definição da rede MLP (que é definida em função do problema a ser resolvido) monta-se a topologia da rede IAC (os grupos e os neurônios dos grupos). O conhecimento

da rede IAC “é montado” em função do conhecimento da rede MLP (que reflete o conhecimento do especialista de domínio).

2.3 Implementação do sistema híbrido

Um conjunto rede MLP e rede IAC foi utilizado no mecanismo de adaptação de um sistema hipermédia adaptativo.

A metodologia desenvolvida constrói sistemas que realizam adaptação automática, na interface de uma hipermédia, conforme o perfil do usuário. Este perfil é determinado a partir de uma *teoria* cognitiva denominada Teoria das Inteligências múltiplas. O sistema modifica automaticamente as formas de apresentação do conteúdo usando texto, fluxograma, desenho e animação. Oferece, também, a possibilidade do usuário alterar explicitamente a mídia em que determinado conteúdo é apresentado, a fim de adequá-lo às suas necessidades.

No mecanismo de adaptação as redes neurais artificiais dos tipos MLP e IAC, em conjunto, foram utilizadas para implementação, respectivamente, da adaptatividade e adaptabilidade do sistema. Através da adaptatividade o sistema tem capacidade de realizar a adaptação da mídia em determinado conteúdo, conforme o perfil do usuário e a definição de um especialista em inteligências múltiplas (vai preencher a tabela da rede MLP) e, a adaptabilidade permite que sejam realizadas alterações explícitas por parte do usuário.

Foi definido que a hipermédia a ser desenvolvida (treinamento para uso de um equipamento médico) seria dividida em 20 assuntos, listados no *menu*. O usuário ao acessar a hipermédia realiza um teste de múltipla escolha que define as notas de suas quatro inteligências múltiplas. Logo após o usuário pode acessar o *menu* da hipermédia e escolher um assunto a ser visitado. O usuário ao acessar um assunto visualizará o conteúdo em uma das quatro mídias (texto, fluxograma, desenho ou animação). Estas mídias são definidas pela rede MLP que está refletindo o conhecimento do especialista. Ou seja, vai apresentar o mesmo tipo de mídia que um especialista de domínio apresentaria, para um indivíduo com os mesmos valores de inteligência múltipla detectado pelo teste. O usuário então poderá modificar a mídia apresentada escolhendo um botão na tela com outra mídia. O usuário visualizará o conteúdo com a nova mídia escolhida. Neste momento a rede IAC atua e será responsável por definir as outras mídias dos outros assuntos a serem acessados posteriormente¹. A ativação na rede IAC vai atuar com ativação do neurônio da mídia escolhida e da mídia recusada (apenas

¹ Ou seja, conforme a mudança da escolha da mídia pelo usuário, seguidamente, poderá haver alteração na definição do perfil inicial deste usuário e modificações na forma de apresentação anteriormente definidas, podem ser modificadas pela rede IAC, assegurando a vontade do usuário.

dois neurônios serão ativados, sendo estes, neste momento, entrada).

Internamente as redes funcionam da seguinte maneira: para a rede neural do tipo MLP refletir o conhecimento do especialista de domínio, esta é treinada através de exemplos. Os exemplos são fornecidos com o preenchimento de uma tabela com 124 indivíduos hipotéticos, na qual se especifica a quantidade de mídias que deve ser apresentada segundo a nota de cada IM. Portanto, através deste conjunto de indivíduos com relação entrada/saída (nota/quantidade de mídias) desejada, a rede neural MLP é treinada.

Conseqüentemente, quando um novo indivíduo utiliza o sistema adaptativo e suas notas de IMs são obtidas (através do teste de múltipla escolha), o sistema determina, através da rede neural MLP, a quantidade que cada mídia deverá ser apresentada, da mesma forma que o especialista faria.

Esta quantidade de indivíduos (124), da tabela da rede MLP será utilizada na rede IAC, definindo o conhecimento do especialista em sua matriz de conhecimento.

Testes foram realizados para verificar a melhor configuração da rede MLP para este problema específico. Os parâmetros selecionados que apresentaram melhor resultado são descritos a seguir:

- Número de camadas: 3 totalmente conectadas, sendo uma camada de entrada, uma intermediária e uma de saída.
- Número de neurônios da camada de entrada: normalmente, o número de neurônios na entrada corresponde ao número de variáveis de entrada do processo a ser modelado. Nesta rede serão quatro neurônios na camada de entrada, cada neurônio correspondendo a uma nota de uma IM.
- Número de neurônios na camada intermediária: Nesta etapa do trabalho utilizaram-se 124 exemplos, pois o especialista preenche uma tabela com as notas das quatro IM consideradas de 124 indivíduos hipotéticos, estabelecendo como saída a quantidade de mídias por IM a ser apresentada. Considerando que serão utilizados os 124 indivíduos no treinamento, esta rede deve ter, aproximadamente, 62 pesos, conforme a heurística proposta por Kuri (2003). Portanto, a rede utilizada possui 64 pesos e 8 neurônios na camada intermediária.
- Função de ativação: logística sigmoideal tanto na camada escondida como na de saída.
- Neurônios de bias: todos iguais a 1.
- Algoritmo de treinamento: retropropagação com momento.
- Ordem de apresentação dos exemplos: aleatória.
- Modo de treinamento: seqüencial (por época ou lote)
- Taxa de aprendizagem (η): o valor é estabelecido conforme o número de neurônios na camada

precedente, segundo heurística apresentada por Kuri (2003). Nesta rede, utilizou-se o η na camada oculta com valor igual 0,05 e na camada de saída com valor igual a 0,025.

- Constante de momento: 0,7.
- Inicialização dos pesos: aleatória entre $-0,1$ e $0,1$.
- Parada de treinamento: 3000 épocas, pois o valor do erro no treinamento pôde ser considerado estável.

Com esta configuração de rede treinada é possível obter resultados de novos indivíduos. A tabela com os 124 indivíduos hipotéticos, acrescida dos valores para o novo indivíduo que está utilizando a hipermédia (resposta da rede MLP para as notas das IMs para o novo indivíduo que está usando o sistema), é convertida em números “zeros” e “uns” de forma a este conhecimento ser representado na matriz conhecimento da rede neural do tipo IAC. Com a inclusão do novo usuário na matriz de peso, assegura-se que o conhecimento, sobre este indivíduo, esteja presente na matriz de conhecimento.

A rede IAC, responsável pela adaptabilidade do sistema, modifica, eventualmente, a quantidade de assuntos por mídia a ser apresentada, de acordo com as novas preferências do usuário, ou seja, adaptando o sistema ao novo perfil do usuário.

Quando a rede IAC atua, sempre, somente dois neurônios são ativados, um neurônio refere-se ao grupo da mídia escolhida pelo usuário (com valor acrescido de uma unidade, ao neurônio original) e o outro neurônio refere-se ao grupo do neurônio da mídia rejeitada pelo usuário (com valor decrescido de uma unidade ao neurônio original). Por exemplo, se a condição original do usuário são as seguintes médias: 4 assuntos em texto, 6 assuntos em lógica, 3 assuntos em desenho e 7 assuntos em animação e o usuário, ao interagir com o sistema, rejeita uma mídia animação e escolhe a mídia texto para um determinado assunto, então, a rede IAC processa essas informações e o neurônio 6 (ou seja, $7 - 1$) do grupo animação, juntamente, com o neurônio 5 do grupo texto (ou seja, $4 + 1$), serão ativados. Uma nova condição de quantidades de médias para cada assunto é gerada, modificando a forma (mídia) de apresentação dos demais assuntos não visitados ainda, atendendo às necessidades do usuário durante a interação com o sistema.

A arquitetura da rede IAC implementada apresenta um total de 10 grupos:

- Quatro correspondendo as 4 IMs utilizadas (Inteligências Linguístico-verbal, Visual-espacial, Lógico-matemática e Cinestésico-corporal), cada um desses grupos possuindo 31 neurônios, que representam uma nota de IM variando de 1 a 4 com incremento de 0,1.
- Quatro representando as quatro médias consideradas (texto, desenho, fluxograma e animação), cada pool possuindo 17 neurônios, os quais se refe-

rem à mídia a ser apresentada. Portanto, cada neurônio representa uma quantidade de mídia.

- Um representando os indivíduos (a tabela com os 124 hipotéticos utilizados na rede MLP e um novo indivíduo que é o usuário do site).
- Um representando o pool escondido, que é um espelho do pool de indivíduos possuindo também 125 neurônios.

O processo é sumarizado na Figura 2.

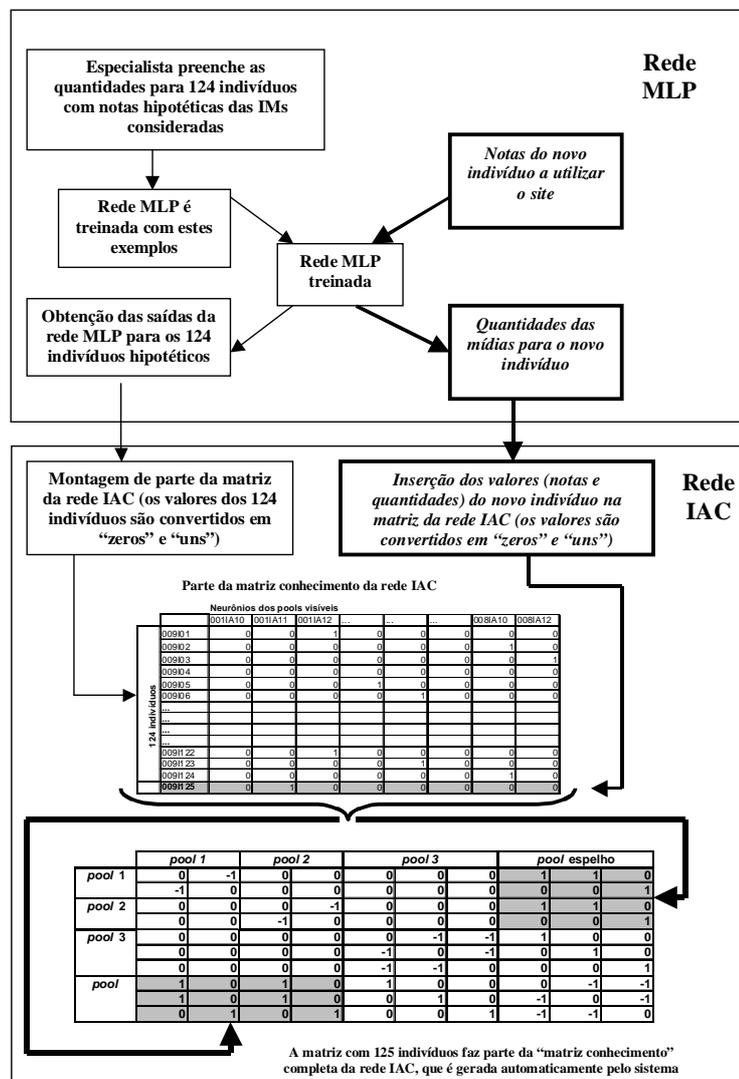


Figura 2. Representação de uma rede neural do tipo IAC.

2.4 Resultados obtidos

Com a definição das redes que são utilizadas e com suas arquiteturas e parâmetros especificados foram realizados testes para verificar a validade da proposição.

Para tal, foram geradas notas de novos indivíduos, cada um representando um novo usuário do sistema e, utilizando-se a rede MLP após treinamento foram geradas as suas respectivas quantidades de médias a serem apresentadas. O resultado individual gerado pela rede MLP é inserido na matriz da rede

IAC (indivíduo 125). E, para cada um destes novos indivíduos, são realizadas simulações de ações por parte dele, como se ele estivesse utilizando o sistema.

Com o intuito de comprovar o resultado esperado, situações repetitivas são simuladas, podendo, desta forma, melhor caracterizar o comportamento do indivíduo e da rede. Ou seja, são descritas as ações repetitivas simuladas e verifica-se se a rede fornece o resultado desejado conforme o comportamento especificado.

Por exemplo, suponha um indivíduo utilizando o sistema. Suas notas são processadas pela rede MLP fornecendo as quantidades das mídias a serem apresentadas. Estes valores são convertidos em “zeros” e “uns” e são agregados à matriz de conhecimento IAC definindo a quantidade de mídias para este indivíduo. Supondo que o usuário mude a mídia sempre para texto, quando esta não é assim apresentada, a rede deve ir aumentando a quantidade de texto e diminuindo as demais mídias (resultado do comportamento desejado da rede). Caso a rede se comporte desta maneira o resultado é satisfatório, pois representa o comportamento desejado, validando o mecanismo de adaptação e adaptabilidade. A Tabela 1 apresenta o resultado de um teste realizado.

Tabela 1. Teste com mudança de mídia do indivíduo 1. Nesta tabela os dados são apresentados da seguinte forma: a primeira linha apresenta as notas do usuário, a segunda linha apresenta as quantidades de mídias geradas pela rede MLP a serem apresentadas (T – texto, L – lógica, D – desenho e A animação), a terceira linha apresenta os valores dos neurônios a serem ativados na rede IAC (valores iniciais da rede IAC). A rede IAC, ao ser processada, fornece como resposta a quantidade de mídias a ser apresentada, na quarta linha. As linhas seguintes apresentam as ações simuladas do usuário (mudança do usuário), apresentando os novos valores de ativação dos neurônios, referentes às quantidades recusada e escolhida estando, portanto, sempre dois neurônios ativados. Aparece em seguida, a resposta da nota e as novas quantidades geradas pela IAC. Estes passos são realizados sucessivamente, até se obter o valor mínimo possível (uma quantidade) da mídia que está sempre sendo recusada.

	Indivíduo 1 – teste 1A			
	T	L	D	A
	1	2	3	4
Notas do novo usuário	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede MLP	5	8	5	2
Valores iniciais rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5
Quantidade gerada rede IAC	5	8	5	2
Mudança do usuário	6		4	
Resposta nota rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	6	8	4	2
Quantidade rede MLP	5	8	5	2
Mudança de usuário	7		3	
Resposta da rede IAC	2,6	3,1	2,4	1,5
Resposta quantidade	7	8	3	2
Quantidade rede MLP	5	8	5	2
Mudança do usuário	8		2	
Resposta nota rede IAC	3,9	3,5	1,6	1,3
Resposta quantidade	8	8	2	2
Quantidade rede MLP	9	8	2	2
Mudança do usuário	9		1	
Resposta nota rede IAC	3,9	3,5	1,6	1,3
Resposta quantidade	9	8	1	2
Quantidade rede MLP	9	8	2	2

Análise do resultado: Condição inicial do indivíduo 1: 5 assuntos em texto, 8 em fluxograma (lógica), 5 em desenho e 2 em animação. Neste teste, simulou-se a escolha sempre da mídia texto e a recusa da mídia desenho. Os resultados das iterações foram o aumento da mídia requerida e diminuição da mídia recusada, conforme o esperado. As duas outras mídias se mantiveram com os mesmos valores sendo, portanto, a escolha do usuário determinante na relação de excitação e inibição dos neurônios. Os resultados refletem a memória associativa e a atuação do usuário. Os resultados do teste se apresentam satisfatórios.

No total foram realizados 65 testes em 10 indivíduos. Todos os testes apresentaram resultados corretos, comprovando o uso híbrido das redes neurais.

3 Conclusão

Neste trabalho com uma abordagem inédita, o uso conjunto de uma rede MLP com a IAC possibilitou que o problema de generalização da rede IAC fosse solucionado. Com esta abordagem estabeleceu-se certo mecanismo de “aprendizado” para o modelo IAC, pois como esta não incorpora mecanismos de aprendizagem como às demais redes de representação distribuídas (MLP), o seu uso era limitado. Foi possível, portanto, unir as características desejáveis das duas redes.

Observa-se que este sistema híbrido de redes poderá ser utilizado em qualquer tipo de problema que necessite das seguintes características: generalização do conhecimento, memorização, ativação de qualquer quantidade de neurônios e a consideração de um neurônio ou grupos de neurônios como entrada em dado momento e saída em outro.

Referências Bibliográficas

- De AZEVEDO, Fernando (1993) *Contribution to the Study of Neural Networks in Dynamical Expert Systems*, Belgium: Namour, Institute d’Informatique – FUNDP.
- De AZEVEDO, Fernando; BRASIL, Lourdes Mattos; OLIVEIRA, Roberto C. L. (2000) *Rede Neurais eom Aplicações em Controle e Sistemas Especialistas*, Florianópolis: Visual Books.
- HAYKIN, S. (2001). *Redes Neurais: Princípios e prática*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman.
- McClelland, J. L.; Rumelhart, D. E. (1989) *Explorations in Distributed Processing – A Handbook of Models, Programs and Exercises*, USA: Massachusetts Institute of Technology: Ed. Bradford Book.