

A.1 Atividade I – Central de peças

A.1.1 Introdução

A atividade de avaliação, descrita a seguir, consiste na implementação de um sistema de inferência nebulosa (SIN) para suporte a decisão e pode ser implementado em qualquer software de domínio do aluno.

O objetivo desta atividade é exercitar a criação de regras de inferência e seu enunciado, tal como segue, foi adaptado de Negnevitsky (2005) – sem muita preocupação com sua tradução para o português, mas nada que impeça o seu entendimento. Além disso, o problema original, publicado em Türkşen, Tian e Berg (1992), pode ser encontrada no Apêndice A.7.

Uma central de serviços fornece peças de carros para seus clientes e conserta as peças defeituosas. Um cliente traz uma peça defeituosa para a central e recebe uma peça boa do mesmo tipo. A peça defeituosa, então, é consertada e se torna uma nova peça em perfeito estado para ser fornecida para a outro cliente.

Se já existe uma peça em perfeito estado do mesmo tipo, ou seja, uma peça que pode substituir a peça defeituosa, o cliente recebe a peça em perfeito estado e pode ir embora. Caso contrário, o cliente tem que esperar até que uma peça do mesmo tipo esteja disponível. Isto é, o cliente tem que esperar até que uma peça do mesmo tipo seja consertada e encaminhada para o estoque de peças em perfeito estado para que possa ser disponibilizada ao mesmo.

O objetivo desse sistema é ajudar ao gerente da central de peças a manter o cliente satisfeito com o serviço. No caso exposto, o gerente está preocupado em reduzir o tempo de espera do cliente para o menor tempo possível.

Analisando o enunciado acima, tem-se que o gerente dessa central de serviços deseja definir o número necessário de peças em perfeito estado para manter o tempo de espera do cliente dentro de um intervalo aceitável.

Considerando que o desenvolvimento de um sistema especialista (nesse caso, o sistema especialista é um sistema de inferência nebulosa), é incremental (evolucionário), os passos a serem seguidos – descritos nas Seções A.1.2, A.1.3, A.1.4 e A.1.5 –, são:

1. especificar o problema e definir as variáveis linguísticas de entrada e saída, assim como, seus termos linguísticos;
2. definir a representação dos termos linguísticos, isto é, a representação dos conjuntos nebulosos (funções de pertinência, representação explícita etc.), que definem os termos linguísticos;
3. elicitar¹ e construir as regras de inferência;

¹ O texto original usa a palavra elicitar que pode ser substituída por “criar”. Contudo, a palavra original foi mantida, porque elicitar tem o sentido de criar a partir de elementos extraídos de algum contexto, de algum conteúdo específico. No caso da definição de regras de inferência o processo de criação se faz exatamente desta forma, ou seja, as regras são retiradas do contexto do problema.

4. codificar os conjuntos e regras de inferência e definir os procedimentos (modelo de inferência) para realização da inferência;
5. avaliar e melhorar o sistema.

A.1.2 Especificação do problema e definição das variáveis linguísticas

O primeiro passo na construção de um sistema especialista nebuloso é a especificação do problema em termos de engenharia de conhecimento, ou seja, definir as variáveis de entrada e de saída, assim como seus termos e respectivos intervalos de valores. Nesse problema, existem quatro variáveis linguísticas, a saber:

1. tempo médio de espera de um cliente (m) – não pode exceder o limite aceitável pelo cliente e deve ser o menor possível;
2. fator de utilização de reparo da central (p) – média entre clientes chegando (falhas por unidade de tempo) e clientes saindo (reparos por unidade de tempo), que é proporcional ao número de funcionários e ao número de peças extras disponíveis. Para aumentar a produtividade da central, o gerente deve manter esse parâmetro o maior possível;
3. número de funcionários (s) – número de funcionários existentes na central, ou seja, o número de pessoas disponível para o conserto das peças;
4. número de peças extras (n) – juntamente com o número de funcionários, afeta o tempo de espera, e, conseqüentemente, tem um grande impacto no desempenho da central de serviços. Aumentando s e n , obtém-se um tempo de espera pequena; entretanto, há um maior custo para contratar novos funcionários e manter as peças em perfeito estado nas estantes.

Neste caso, são três variáveis de entrada (m , s e p) e uma de saída (n), sendo n o número de peças em perfeito estado que são necessárias para eliminar, reduzir ou manter o tempo de espera do cliente dentro de um intervalo aceitável.

As Tabelas A.1, A.2, A.3 e A.4 mostram as variáveis linguísticas, seus termos (ou valores linguísticos) e os respectivos intervalos, que, conforme o enunciado original, foram determinados por especialistas do domínio da aplicação.

A princípio os valores dos intervalos dos conjuntos nebulosos podem parecer estranhos ou sem sentido. Porém, deve ser observado que esses valores foram normalizados e se tornaram valores adimensionais. A normalização de valores de conjuntos nebulosos é uma prática comum na definição de modelos nebulosos em sistemas de inferência quando existem variáveis linguísticas com espaços de valores ou unidades de medida muito diferentes, como é o caso deste problema.

As variáveis de entrada são tempo de espera (quantidade de tempo), um quociente entre falhas e reparos sem unidade definida e número de funcionários (quantidade de pessoas). Assim, no texto original, foi feita a normalização dos valores de cada variável linguística para o intervalo $[0 \dots 1]$.

Tabela A.1 – Variável tempo médio de espera (m).

| Termo | Representação | Intervalo numérico |
|---------------|---------------|--------------------|
| muito pequeno | MP | [0 .. 0,3] |
| pequeno | P | [0,1 .. 0,5] |
| médio | M | [0,4 .. 0,7] |

Tabela A.2 – Variável fator de utilização (p).

| Termo | Representação | Intervalo numérico |
|-------|---------------|--------------------|
| baixo | B | [0 .. 0,6] |
| médio | M | [0,4 .. 0,8] |
| alto | A | [0,6 .. 1] |

Tabela A.3 – Variável número de funcionários (s).

| Termo | Representação | Intervalo numérico |
|---------|---------------|--------------------|
| pequeno | P | [0 .. 0,35] |
| médio | M | [0,3 .. 0,7] |
| grande | G | [0,6 .. 1] |

Tabela A.4 – Variável número de peças extras (n).

| Termo | Representação | Intervalo numérico |
|---------------|---------------|--------------------|
| muito pequeno | MP | [0 .. 0,3] |
| pequeno | P | [0 .. 0,4] |
| pouco pequeno | PP | [0,25 .. 0,45] |
| médio | M | [0,3 .. 0,7] |
| pouco grande | PG | [0,55 .. 0,75] |
| grande | G | [0,6 .. 1] |
| muito grande | MG | [0,7 .. 1] |

A.1.3 Definição dos conjuntos nebulosos

Definidos os intervalos de valores para cada uma das variáveis linguísticas, o próximo passo é definir o “formato” dos conjuntos nebulosos cujos os elementos são os valores das variáveis linguísticas. A relação de pertencimento entre os conjuntos nebulosos e seus elementos é materializada na representação dos conjuntos nebulosos.

Na construção e representação dos conjuntos nebuloso, é preciso manter interseção suficiente entre conjuntos adjacentes, de modo que a mudança entre os conceitos seja o mais suave possível².

Os conjuntos nebulosos quando definidos por funções de pertinência podem ter várias formas. Porém, funções de pertinência nas formas triangular ou trapezoidal, frequentemente, fornecem representações adequadas do conhecimento do especialista e, ao mesmo tempo, simplificam significativamente o processo de computação.

As Figuras A.1, A.2, A.3 e A.4 apresentam as representações gráficas (funções de pertinência) dos conjuntos nebuloso para as quatro variáveis linguísticas do problema.

² Trata-se da percepção do autor deste exercício, não constituindo um regra ou propriedade a ser seguida de forma obrigatória. Porém, tais aspectos podem ser determinantes para o sucesso da aplicação. P. ex., se esta “regra” foi criada a partir do conhecimento do especialista do domínio da aplicação, então não deve ser ignorada.

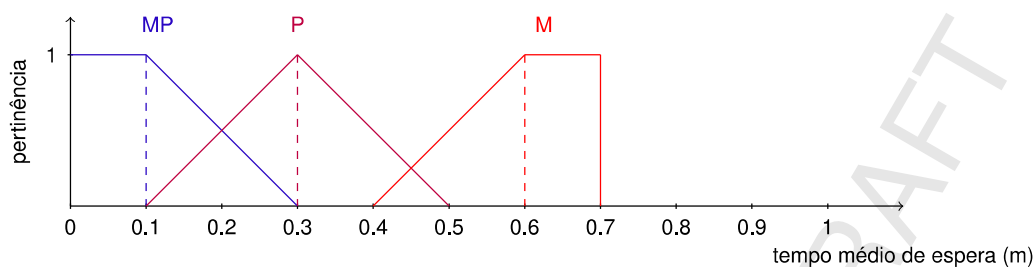


Figura A.1 – Conjuntos nebulosos para a variável linguística m (tempo médio de espera de um cliente).

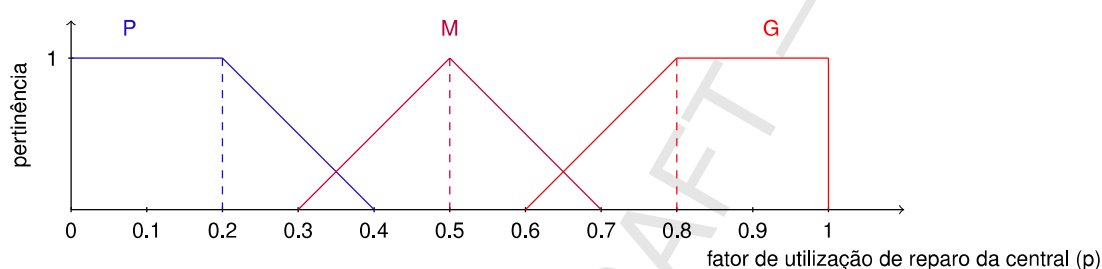


Figura A.2 – Conjuntos nebulosos para a variável linguística p (fator de utilização de reparo da central).

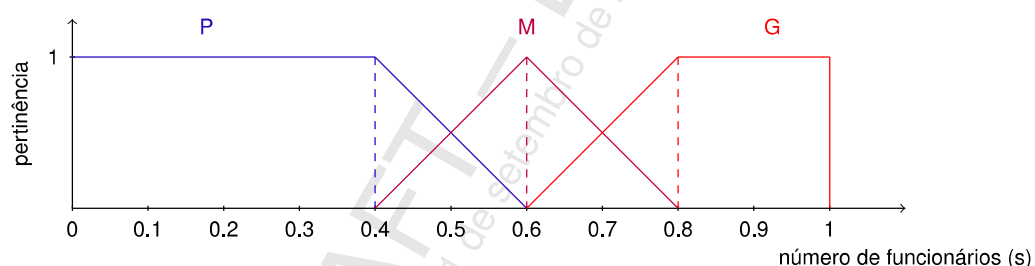


Figura A.3 – Conjuntos nebulosos para a variável linguística s (número de funcionários).

A.1.4 Elicitação e construção das regras de inferência nebulosa.

Para construir as regras de inferência nebulosa relacionadas ao problema é preciso ter conhecimento do contexto do problema e regras de negócio envolvidas no intuito de descrever como o problema pode ser resolvido. A obtenção desse conjunto de informações pode se dar por meio de diferentes fontes, p. ex., entrevistas com especialistas; livros, trabalhos e textos relacionados ao tema; análise de bases de dados relacionadas ao tema etc..

Considerando que há três variáveis de entrada e uma entrada de saída, pode ser conveniente representar as regras de inferência em forma de matriz, com o uso de Memória Associativa Fuzzy (MAF)³. Onde cada dimensão representa uma variável linguística de entrada e o valor de uma célula representa um valor da variável de saída.

³ Mais informações sobre Memória Associativa Fuzzy podem ser vistas no Exercício 3.6.

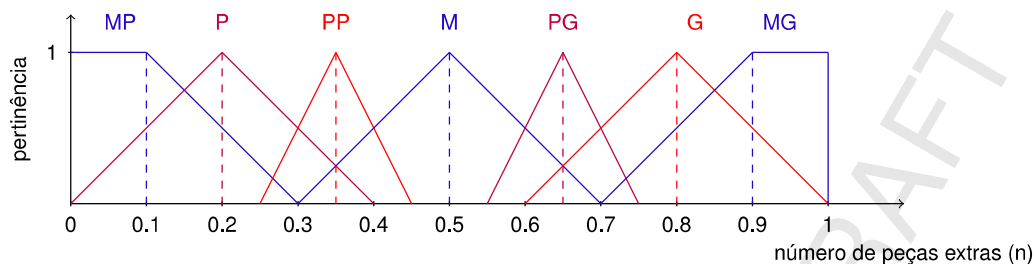


Figura A.4 – Conjuntos nebulosos para a variável linguística n (número de peças extras).

Neste caso, com três variáveis de entrada e cada uma delas com três termos, a MAF seria formada por um “cubo” que iria gerar 27 regras de inferência.

Contudo, pode ser que não exista a necessidade de “combinar” todas as variáveis do modelo – apenas como um exemplo hipotético, **dependendo do contexto e do modelo nebuloso que está representando o mundo real (problema)**, a MAF poderia ser gerada sem o uso de todas as variáveis.

Neste exemplo, a Tabela A.5 mostra a MAF com apenas duas variáveis de entrada, as variáveis linguísticas m (eixo horizontal) e s (eixo vertical) e, em cada célula, têm-se os valores para a variável linguística de saída n .

Tabela A.5 – Memória associativa fuzzy, considerando as variáveis linguísticas de entrada m e s .

| s | | | | |
|----------|-----------|----------|----------|----------|
| G | MP | P | MP | |
| M | PG | PP | P | |
| P | MG | G | M | |
| | MP | P | M | m |

Apenas discutindo as possibilidades de criação das regras de inferência, outro exemplo hipotético poderia ser a utilização de apenas uma variável, sempre **considerando o contexto e o modelo nebuloso que está representando o mundo real (problema)**. Neste caso, p. ex., as regras

IF (p is B) THEN (n is P)

IF (p is A) THEN (n is G)

definem, respectivamente que, se o valor da variável p é B (fator de utilização baixo) então o valor de n será P (pequeno número de peças extras); se, por sua vez, o valor de p é A (fator de utilização alto), então o valor de n será G (grande número de peças extras).

Ainda discutindo diferentes possibilidades de criação de regras de inferência, poder-se-ia ter, também, regras mais complexas, tais como

IF (m is MP) AND (s is P) THEN (n is MG)

IF (m is M) AND (s is G) AND (p is A) THEN (n is PP)

que definem, respectivamente:

- se o valor de **m** é MP (tempo médio de espera muito pequeno) e o valor de **s** é P (pequeno número de funcionários), então o valor de **n** é MG (número muito grande de peças extras), como mostra a célula inferior esquerda da matriz da Tabela A.5;
- se o valor de **m** é M (tempo médio de espera é médio) e o valor de **s** é G (grande número de funcionários) e o valor de **p** é A (alto fator de utilização), então o valor de **n** é PP (número muito pequeno de peças extras).

A.1.5 Avaliação e melhoria do sistema.

O último passo consiste em verificar se o sistema atende aos requisitos especificados inicialmente no projeto, avaliando o mesmo e definindo possíveis melhorias que, porventura, podem ser pertinentes de serem feitas. Nesta fase, a opinião do especialista é importante, pois ele pode estar ou não satisfeito com o sistema.

Identificar e realizar melhorias no sistema pode demandar mais tempo e esforço do que determinar os conjuntos nebuloso e construir as regras de inferência. As melhorias podem ser feitas no intuito de aumentar o desempenho do sistema especialista e pode envolver um conjunto de ações, tais como:

1. rever o modelo das variáveis de entrada e de saída e se é necessário redefinir seus intervalos;
2. rever os conjuntos nebuloso e se é necessário definir conjuntos adicionais com relação ao domínio (universo do discurso). Neste ponto, é importante ressaltar que um número maior de conjuntos nebuloso pode tornar os resultados mais precisos;
3. fornecer sobreposição suficiente entre conjuntos nebuloso adjacentes – recomenda-se de 25% a 50% de sobreposição entre intervalos numéricos de conjuntos nebulosos adjacentes⁴;
4. rever as regras de inferência e verificar a necessidade de alterá-las ou de adicionar novas regras à base de regras;
5. verificar se a inclusão de modificadores nos conjuntos nebuloso pode melhorar o desempenho do sistema;
6. ajustar o peso de execução das regras de inferência. Alguns softwares para implementação de sistemas de inferência nebulosa permitem o controle da importância das regras;
7. rever a forma dos conjuntos nebuloso e verificar a necessidade de alteração no intuito de prover maior precisão.

⁴ Trata-se da percepção do autor que pode ser levada em consideração. Mas, não existe a necessidade de ser tratada como uma regra obrigatória.