RBE. VOL.6 N.2 1989

A LOGICA TRIVALENTE DE KLEENE EM SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA MEDICINA

por

Nievola, J.C.[1] & Lima, W. Celso[2] & Ojeda, R.G.[3]

Resumo -- Os trabalhos clássicos de lógica computacional consideram que uma proposição pode ser verdadeira ou falsa, de maneira mutuamente exclusiva. Entretanto, em muitas aplicações, como em medicina, não se dispõe de todos os dados, e é necessário um terceiro valor para representar esta falta de informação acerca de algumas proposições. O presente trabalho aborda o uso da lógica trivalente de Kleene para a representação de problemas nos quais existe um estado de ignorância parcial e fornece um exemplo de sua aplicação. Este tipo de lógica é útil em programas de diagnóstico médico automático e qualitativo em medicina.

INTRODUÇÃO

A área médica sempre se apresentou receptiva as novas técnicas para diagnóstico médico e terapia em seus diversos ramos. Assim, quando surgiram técnicas de Inteligencia Artificial (AI) na década de 50, a ciência médica passou a trabalhar com o intuito de aplicar os novos conceitos, particularmente o de sistemas especialistas (SE) - um ramo da inteligência artificial - para a sua tarefa diária.

Os SE's são sistemas computacionais (em geral em software) que procuram simular o comportamento de um especialista humano em determinada área. Para tanto, ele é munido de dois subsistemas principais: uma base de conhecimentos e um motor de inferencia Dentro da base de conhecimentos está armazenado o conhecimento do especialista sob a forma de fatos (uma afirmação sobre alguma coisa, p.ex., "A causa mais comum de icterícia em crianças e adultos jovens é a hepatite" [Nie 88a]) e de regras (que expressam relacionamentos entre os fatos, p.ex., "SE o paciente tem as mucosas e a esclerótica coradas de amarelo ENTÃO o paciente apresenta icterícia" [NIE 88b]). O motor de inferência de um SE utiliza-se da base de conhecimentos para obter conclusões sobre o estado do paciente, fazer o seu diagnóstico, indicar a terapia adequada, etc. Para tanto, o motor de inferência utiliza-se também dos dados particulares do paciente sob observação, contidos numa memoria de trabalho [LIM 87].

1. Professor E2 do CEFET-PR, Mestre em Eng. Elétrica pela UFSC, doutorando em Sistemas de Informação pela UFSC.
2. Professor Titular da UFSC, Doutor em Ciências e Livre Docente, Coordenador do Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica da UFSC.
3. Mestre em Engenharia Elétrica pela UFSC, doutorando pela UFSC.

Observa-se que, a princípio, os SE's trabalham com a chamada <u>logica</u> <u>classica</u>, a qual considera que uma dada proposição tem um de dois valores-verdade: verdadeiro ou falso. Entretanto, sabe-se que, na realidade, tais afirmações podem ser em si mesmas imprecisas e/ou incompletas. Para evitar este problema, passou-se a utilizar outras lógicas como por exemplo a <u>logica</u> <u>difusa</u> ("fuzzy logic"), a qual considera que uma dada proposição não é apenas verdadeira ou falsa, mas associa um grau de confiança à mesma (p.ex., a proposição "O paciente tem câncer" é verdadeira com grau 0.6 [NIE 88c]). A lógica difusa é atualmente uma das lógicas com grande investimento em pesquisa para aplicação em inteligência artificial.

Há casos, entretanto, em que não se tem nenhuma informação disponível sobre a veracidade ou não da proposição. Nestes casos, torna-se difícil um raciocínio lógico preciso. Considere-se uma regra do tipo: SE premissa1 premissa2 ... premissai ... premissaN ENTÃO conclusão1 conclusão2 ... conclusãoN, na qual não se dispõe de nenhuma informação sobre a premissai. Torna-se impossível então determinar o estado do <u>antecedente</u> (conjunto de premissas da regra) a fim de se validar ou não o <u>consequente</u> (conjunto de conclusões da regra). Para evitar este tipo de inconveniente, é desejável que haja mais um estado, além de verdadeiro e falso, que possa ser assumido por uma proposição, no caso em que não se dispõe de meios para determinar, em certo instante, se ela é falsa ou não. Para tanto, pode-se lançar mão de uma <u>logica</u> <u>trivalente</u> [HAA 74],[HAA 78].

LÓGICA TRIVALENTE

Uma lógica trivalente é aquela que dispõe de três valores-verdade [TUR 84]. Existem várias delas já desenvolvidas e bem formalizadas, como por exemplo, Lukasiewicz [LUK 20], Kleene [KLE 52], Bochvar [BOC 39] e outras. Concentrar-se-á neste trabalho na <u>logica</u> <u>trivalente</u> <u>de</u> <u>Kleene</u> devida a S. Kleene, de 1952. A lógica trivalente de Kleene tem o seguinte conjunto de valores-verdade: $\{ \perp, \top, U \}$. Aqui, a assinalação de $\perp$ a uma proposição indica que a mesma é falsa, enquanto que a assinalação de $\top$ a qualquer proposição significa que aquela proposição é verdadeira. Já no caso de se assinalar o valor U a uma proposição, significa que aquela proposição é indecidível, isto é, ela indica um estado de ignorância parcial.

Embora as lógicas trivalentes de Kleene, Lukasiewicz e Bochvar apresentem diferentes valores para os diversos conectivos (conjunção, negação, etc.), a diferença básica entre as mesmas reside na interpretação dada ao terceiro valor-verdade. Na lógica de Kleene ele indica que a veracidade ou falsidade da proposição à qual ele é assinalado não é conhecida, ou seja, embora a proposição tenha um valor-verdade, ele não é determinado no momento atual. Já no caso da lógica de Lukasiewicz, o terceiro valor-verdade indica que a proposição não tem um valor no instante considerado. Por exemplo: "Amanhã choverá". Esta proposição não tem atualmente assinalação $\perp$ nem $\top$, pois se o tivesse estar-se-ia assumindo o <u>fatalismo</u>, isto é, o futuro já estaria pré-determinado. Finalmente, a lógica de Bochvar usa o terceiro valor-verdade para proposições nas quais a idéia de veracidade ou falsidade não faz sentido, no momento ou em qualquer instante posterior, como é o caso do paradoxo do mentiroso (a proposição "Eu estou mentindo" não é verdadeira nem falsa).

Na lógica trivalente de Kleene, o relacionamento entre os diversos conectivos é o fornecido a seguir, onde $\neg$ significa a negação lógica, $\wedge$ indica a conjunção lógica, $\vee$ a disjunção lógica, $\Rightarrow$ significa a implicação lógica e $\Leftrightarrow$ a bicondicionalidade lógica. A e B indicam duas proposições quaisquer relacionadas pelo conectivo indicado:

A	$\neg$A
$\top$	$\perp$
$\perp$	$\top$
U	U

$\wedge$	$\top$	$\perp$	U
$\top$	$\top$	$\perp$	U
$\perp$	$\perp$	$\perp$	$\perp$
U	U	$\perp$	U

$\vee$	$\top$	$\perp$	U
$\top$	$\top$	$\top$	$\top$
$\perp$	$\top$	$\perp$	U
U	$\top$	U	U

$\Rightarrow$	$\top$	$\perp$	U
$\top$	$\top$	$\perp$	U
$\perp$	$\top$	$\top$	$\top$
U	$\top$	U	U

$\Leftrightarrow$	$\top$	$\perp$	U
$\top$	$\top$	$\perp$	U
$\perp$	$\perp$	$\top$	U
U	U	U	U

Observando-se as quantificações universal e existencial, respectivamente, como uma conjunção e uma disjunção infinitas, pode-se introduzir, dentro do mesmo espírito, os seguintes operadores:

$$\underset{i \in I}{\forall} d_i = \begin{cases} \top \text{ , se cada } d_i = \top, \\ \perp \text{ , se algum } d_i = \perp, \\ U \text{ , em caso contrário.} \end{cases}$$

$$\underset{i \in I}{\exists} d_i = \begin{cases} \top \text{ , se algum } d_i = \top, \\ \perp \text{ , se cada } d_i = \perp, \\ U \text{ , em caso contrário.} \end{cases}$$

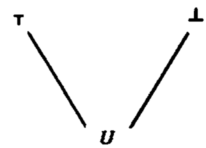
Observa-se que a lógica trivalente de Kleene encontra-se entre as lógicas que contrariam os princípios da lógica clássica, haja visto que ela é uma lógica irreflexiva, pois quando o antecedente e o consequente da implicação sao indecidíveis, não se tem uma relação cujo valor seja verdadeiro (A = U, B = U, então [A $\Rightarrow$ B] = U). Ou seja, a lógica trivalente de Kleene não preserva a lei da identidade.

LÓGICA TRIVALENTE DE KLEENE

Modelo Parcial

Um modelo parcial de L é uma estrutura M = < D, F >, onde D é um conjunto não-vazio e F é uma função que assinala para cada símbolo relacional de L de n lugares ($n \geq 0$) uma função de n lugares C de D em { $\perp$, $\top$, U }.

Considere-se que o conjunto de valores-verdade $\langle \bot, \top, U \rangle$ possui um <u>ordenamento</u> <u>parcial</u> <u>natural</u> $\geq$ definido por: $\top \geq U$, $\bot \geq U$, $\bot \geq \top$, $\top \geq \bot$, representado pelo <u>diagrama</u> <u>de</u> <u>Hasse</u> [BLA 87]:



<u>Teorema 1:</u>

Sejam M e M' modelos parciais de L com domínio comum D. Diz-se que M' é uma <u>extensao</u> de M (indicado por M $\leq$ M') se e somente se para cada constante relacional C de n lugares de L (n $\geq$ 0), C $\leq$ C no sentido de que para cada e0, e1, ..., e(n-1) em D, C (e0, ..., e(n-1)) $\leq$ C (e0, ..., e(n-1)).Para prova vide [TUR 84].

Baseando-se no teorema, observam-se algumas conseqüências interessantes. Por exemplo, se G é o procedimento que representa o comportamento de um SE, então ele pode ser formalmente representado como uma função que transforma modelos parciais em modelos parciais, obtendo os dados de um paciente e modificando de acordo com o estado da memória de trabalho. Ou seja, um SE usando a lógica trivalente de Kleene tomaria os dados do paciente em consideração e aplicando as regras contidas em sua base de conhecimentos faria com que se obtivessem novos dados, os quais seriam uma extensão dos anteriores, no sentido de que uma proposição que fosse considerada com valor-verdade $\bot$ ou $\top$ não teria seu valor alterado em algum instante posterior para U.

<u>Teorema 2:</u>

Seja G um operador monotônico sobre modelos parciais de L. Para qualquer modelo parcial M tal que M $\leq$ G(M), existe um mínimo M* com M $\leq$ M* e G(M*) = M*. Para prova vide [TUR 84].

O segundo teorema determina que há um ponto fixo M* que representa toda a informação que pode ser acumulada por meio de G. Podem existir várias conclusões que permanecerão indeterminadas. Também, se se tiver condições de questionar o SE sobre quaisquer fatos em qualquer instante, deve-se esperar que qualquer requisição futura sobre o estado de um fato A deve ser consistente com aquele já obtido, ou seja, se um fato assume um valor $\bot$ ou $\top$, este valor não será posteriormente alterado. Ainda, em um sistema médico isto representa o fato de que há um limite nas inferências que podem ser feitas, dado um conjunto de premissas, além do qual o SE não consegue obter nenhuma conclusão adicional.

<u>Teorema 3:</u>

Seja A qualquer sentença de L. Deseja-se que [A] represente o valor de A no modelo M, sob a interpretação de Kleene para os conectores lógicos. Então, $M \leq M'$ implica $[A] \leq [A]$. Para prova vide [TUR 84].

Pelo terceiro teorema, observa-se que a lógica trivalente de Kleene satisfaz a característica da monotonicidade e que um SE nela baseado determinaria o valor-verdade de uma sentença (um fato) sempre que pudesse. Assim sendo, sempre que fosse possível obter alguma conclusão sobre um dos possíveis diagnósticos, ele o faria, mas caso não tivesse dados suficientes para se pronunciar sobre um deles, ele informaria que não há condições de determinar a veracidade ou não do mesmo, ou seja, o sistema não escolheria uma resposta sem ter bases sólidas para tanto.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Um SE baseado na lógica trivalente de Kleene obteria inicialmente os dados disponíveis acerca do estado do paciente. O sistema atribuiria aos sintomas presentes um valor-verdade $\top$ e aos sintomas não-presentes ele assinalaria o valor-verdade $\perp$. No caso de alguns dos dados não estarem disponíveis no momento da obtenção dos mesmos, a estes atribuir-se-ia o valor-verdade U. Como exemplo, considere-se um paciente dando entrada em um hospital com um ferimento de arma branca. Examinar-se-ia o ritmo cardíaco do paciente e, sendo considerado normal, a proposição "Ritmo cardíaco normal" teria o valor-verdade $\top$ assinalado. Já uma proposição como "Ferimento por arma de fogo" teria como valor-verdade $\perp$. Finalmente, se não se soubesse o tipo de sangue do paciente, a proposição "Sangue O positivo" teria o valor-verdade U.Passar-se-ia ao processo de inferência, durante o qual as conclusões das regras que fossem sendo utilizadas tomariam um valor-verdade de acordo com aqueles das premissas da regra e dos conectivos utilizados.

O final do processo de inferência poderia ser atingido de duas formas diferentes. Na primeira, por insuficiência dos dados, o sistema pararia de fazer inferências, já que não haveria nenhuma regra com premissas conhecidas (valor-verdade $\perp$ ou $\top$) para poder prosseguir. Num segundo caso, ele atingiria um ponto considerado final no qual as possíveis causas da disfunção apresentada pelo paciente assumiriam determinados valores-verdade e ter-se-ia então o diagnóstico.

Portanto, a construção de SE's para a área médica baseados na lógica trivalente de Kleene é viável, devido ao fato de que, em geral, não se dispõe de todos os dados necessários. Assim sendo, um tal SE estaria, em geral, em um estado de ignorância parcial e nunca alteraria os fatos que já tivesse obtido. Ele seria um elemento bem-comportado ("well-behaved system"). Ele nunca tiraria conclusões duvidosas e somente armazenaria em sua memória de trabalho fatos dos quais estivesse seguro e, portanto, não precisaria reconsiderar suas conclusões.

BIBLIOGRAFIA

Nievola, J. C. (1988a). "Um sistema especialista para auxílio ao diagnóstico médico", Dissertação de Mestrado, UFSC.

Nievola, J. C. & Lima, W. Celso & Dantas, W. (1988b) "ICTER: An Expert System for Medical Diagnosis in Gastroenterology", 3rd. IASTED International Conference Expert System Theory & Applications, december 12-14 - Los Angeles, USA.

Lima, W.Celso & Barreto, J.L. (1987). "Inteligência Artificial e diagnóstico médico automático", Revista Ciência Hoje, 6(38):51-56.

Nievola, J. C. & Lima, W. Celso & Zanchin, C.I. & Dantas, W. (1988c). "An Expert System of Medical Diagnostics of Icteric Patients", World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, San Atonio, Texas, USA, August 6-12.

Haack, S. (1974). "Deviant Logic", Cambridge University Press.

Haack, S. (1978). "Philosophy of Logics", Cambridge University Press.

Turner, R. (1984). "Non-Standard Logics for Artificial Intelligence", John Wiley & Sons.

Lukasiewicz, J. (1920). "On 3-valued Logic", in: McCall, S., Polish Logic 1920-1939, (Oxford U.P. 1967).

Kleene, S. (1952). "Introduction do Metamathematics", Van Nostrand.

Bochvar, D. (1939). "On Three-valued Logical Calculus and its Application to the Analysis of Contradictions", Matematiceskij Sbornik 4, 353-369.

Blair, H.A. & Subrahmanian, V.S. (1987). "Paraconsistent Logic Programming", Proc. 7th. Intl. Conf. on Foundations of Software Tech. & Theoretical Computer Science, Lecture Notes in Computer Science Vol. 287, pp. 340-360, Springer-Verlag.

KLEENE'S TRIVALENT LOGIC FOR EXPERT SYSTEMS IN MEDICINE

Classical works in computation logic consider that a proposition can be or true or false, not both. But, in many applications, like in automatic diagnostic programs in medicine, we don't have all of data, and is necessary a third value to represent this missing information about any propositions. The actual work presents the Kleene's trivalent logic to represent the problem in which there exists a state of partial ignorance and gives a example of its application. This kind of logic is useful in automatic and qualitative medical diagnosis programs in medicine.