ESTIMADOR DE ESTADO ADAPTATIVO PARACONSISTENTE

Arnaldo de Carvalho Jr, João Inacio da Silva Filho, Mauricio Conceição Mario.
IFSP Cubatão – adecarvalhojr@ifsp.edu.br, UNISANTA – inacio@unisanta.br, UNISANTA – cmario@unisanta.br.

Resumo – O Filtro Kalman é um algoritmo capaz de fornecer uma estimativa do valor real de uma grandeza medida, predizer uma saída e o grau de incerteza associado, entregando uma média ponderada entre o valor medido e o predito, sendo muito utilizado em sistemas de automação e controle para os mais variados fins. Este artigo apresenta um Estimador de Estado Adaptativo Paraconsistente, utilizando uma célula Neural Artificial Paraconsistente de aprendizagem por extração do efeito da contradição (cNAPapxct), desenvolvida a partir da Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de 2 valores (LPA2v), que apresenta resultados próximos ao Filtro Kalman, nos cenários estudados.

Palavras-chave: LPA2v, cNAP, cNAPapxct, Kalman.

INTRODUÇÃO

Um algoritmo que utiliza uma série de medidas realizadas no tempo, com ruído estatístico e imprecisões e produz estimativas de variáveis desconhecidas tendendo a ser mais preciso que medições baseadas em apenas uma única medida apresenta inúmeras aplicações em tecnologia, tais como orientação, navegação e controle de veículos, inclusive aeronaves e naves espaciais [1]. Um algoritmo bastante utilizado para estas aplicações é o Filtro de Kalman, um estimador quadrático linear proposto por Rudolf E. Kálmán [2].
A LPA2v, derivada da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA), é uma lógica não clássica, da família de lógicas paraconsistentes (LP). Um operador "~" que tem o sentido de negação é introduzido na LPA2v [3], sendo definido como segue:

$$\sim : |\tau| \rightarrow |\tau|, \text{ onde } \tau = \{(\mu,\lambda)\} \mid \mu,\lambda \in [0,1] \subset \Re$$

Na LPA2v, através de um par de valores normalizados (μ - grau de evidência favorável , λ - grau de evidência desfavorável), é possível expressar conhecimento sobre uma proposição *P*, com os limites extremos de V - Verdadeiro, F - Falso, T - Inconsistente e $\perp$ - Indeterminado, conforme a Fig. 1 [4].

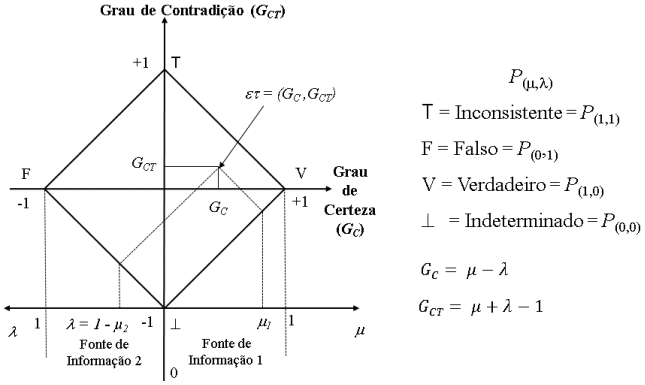


Figura 1 – Reticulado da LPA2v com Graus de Certeza e de Contradição.

As equações e interpretações da LPA2v escritas na forma de algoritmo formam um Nó de Análise Paraconsistente (NAP), base para diversos tipos de células neurais artificiais paraconsistentes (cNAP), entre elas, a cNAP de aprendizagem por extração do efeito da contradição (cNAPapxct) [5], sendo uma evolução da cNAP de aprendizagem (cNAPap) e que funciona como integrador, com maior ou menor grau, mediante um Fator de Aprendizagem (F_A), limitado entre 0 e 1. As equações da cNAPapxct são apresentadas (1) e (2) a seguir; sendo k, o instante atual, μ_{Ek}, o grau de evidência resultante atual, e $\mu_{E(k-1)}$, a saída μ_E anterior. As cNAPapxct em cascata se comportam como filtro, chamado de Filtro LPA2v [6].

$$\mu_{Ek} = \mu_{E(k-1)} + G_{CT} * F_A \quad (1)$$

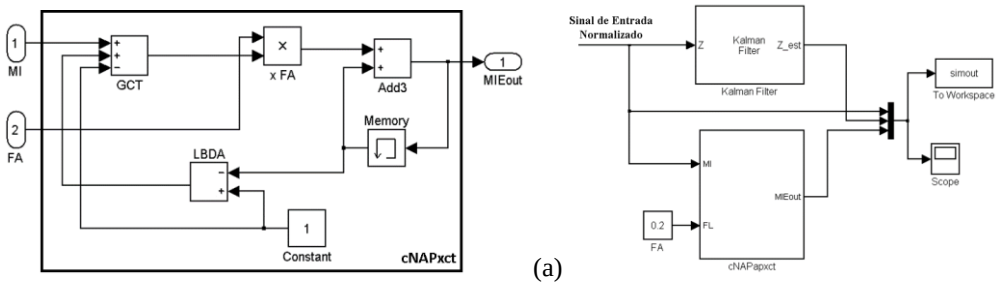
$$\lambda_{(k)} = 1 - \mu_{E(k-1)} \quad (2)$$

O presente trabalho apresenta os resultados de uma cNAPapxct comparada com Filtro Kalman de uma variável, como Estimador de Estado Adaptativo.

DESENVOLVIMENTO

Uma cNAPapxct foi projetada no MATLAB® SIMULINK R2008a tendo sua saída comparada com uma célula Filtro Kalman já existente no *software*, conforme Fig. 2. Os sinais simulados, assim como as

medições de campo, são introduzidos no *software*, normalizados entre 0 e 1 para atender a LPA2v e aplicados sobre os 2 filtros para fins de comparação.



(a) (b)

Figura 2 – cNAPapxct projetada (a) e Filtro Kalman (b) no Simulink.

Os seguintes parâmetros foram utilizados para o Filtro Kalman: 1 filtro com 1 matriz de medida; condição inicial para estado estimado em zero; condição inicial para covariância do erro estimado em um, covariância do ruído de processo de 0,5 e covariância do ruído da medida variável.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da comparação de resultados da aplicação de uma função degrau unitário na entrada, com diferentes ajustes do F_A para a cNAPapxct e R (Covariância do Ruído da Medida) para o Filtro Kalman, chegou-se a Tabela 1 comparativa, cuja equação aproximada por regressão não linear é dada em (3).

TABELA 1 – cNAPapxct vs Filtro Kalman.

F_A	R
0,6	0,5
0,5	1
0,2	10
0,095	50
0,065	100

$$F_A \cong \frac{(R + 5{,}855)}{(0{,}103 * R^2 + 6{,}107 * R + 7{,}509)} \quad (3)$$

Observa-se pela Fig. 3 que a cNAPapxct, apresenta uma resposta comparável ao Kalman para os parâmetros utilizados, para 490 amostras normalizadas de Potência Recebida (*Received Signal Strenght Indicator* – RSSI) por um computador conectado à rede sem fio em diferentes distâncias e obstáculos.

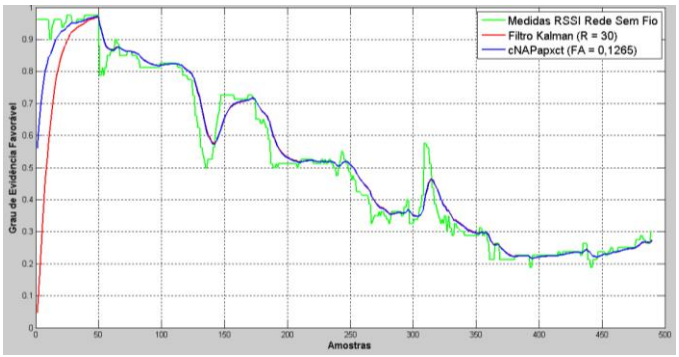


Figura 3 – Resposta da cNAPapxct (FA = 0,1265) e Filtro Kalman (R = 30) na filtragem do sinal RSSI de rede sem fio.

REFERÊNCIAS

[1] P. ZARCHAN and H. MUSOFF. “Fundamentals of Kalman Filtering: A Practical Approach”. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Incorporated. ISBN 978-1-56347-455-2, 2000.
[2] R.E. KALMAN, "A new approach to linear filtering and prediction problems", Transactions of ASME - Journal of Basic Engineering, vol. 82, D, pp. 35-45, Mar, 1960.
[3] N.C.A. DA COSTA, J.M. ABE and V.S. SUBRAHMANIAN, “Remarks on annotated logic”, Zeitschrift f. math. Logik und Grundlagen d. Math, no. 37, pp 561-570, 1991.
[4] J.I. DA SILVA FILHO, “Lógica Paraconsistente e Probabilidade Pragmática no Tratamento de Incertezas”, Revista Seleção Documental, no. 9, pp. 16-27, Ed. Paralogike, Brasil, Jan, 2008.
[5] M. F. MINICZ, G. R. MATUCK, P. M. TASINAFFO et al., “Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem por Extração do Efeito da Contradição”, Revista Seleção Documental, n. 33, São Paulo, Brasil. 2014.
[6] A. DE CARVALHO JR.”Proposta de Estimador de Qualidade de Enlace em Redes de Sensores Industriais Sem Fio Utilizando Rede Neural Artificial Paraconsistente”. 2017. 113f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília – UNISANTA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos – SP, 2017.